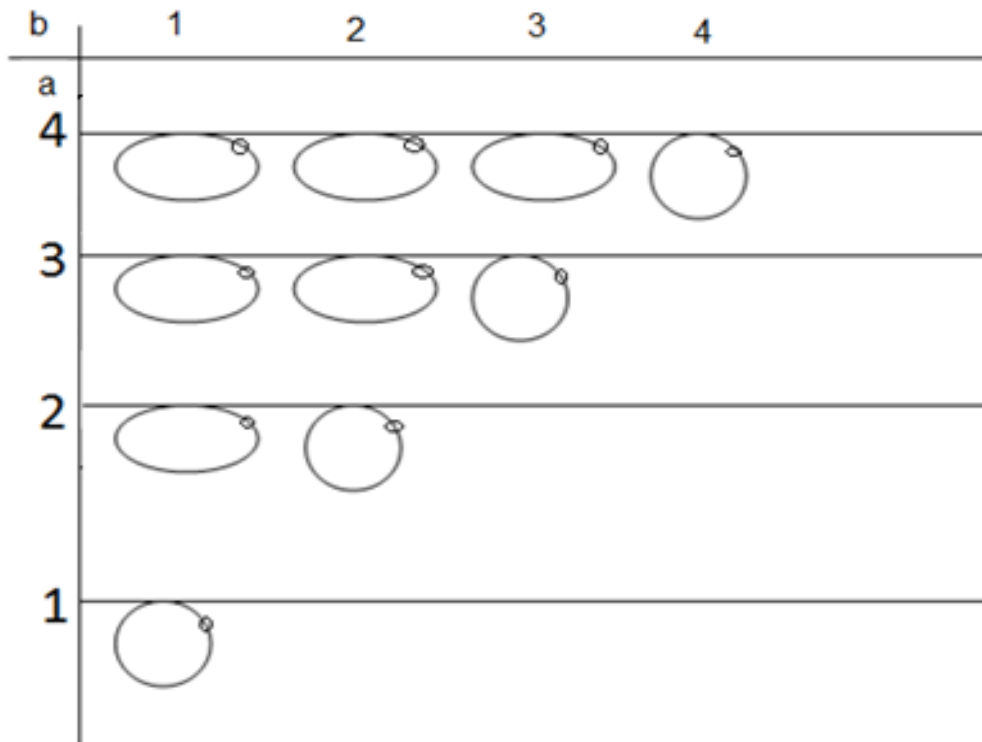


Физикаи атом

Физикаи ҳаста (ядро) ва дозасанҷӣ



Мундарица

Пеишгифтор.....	1
Боби 1. 1.1 Мавҳуми умуми дар бораи таърихи тараққиёти физикаи атом, ҳаста ва дозасанҷӣ.....	2
1.2 Элементҳои оптикаи ионӣ ва электронӣ. Ҳаракати электрон дар майдони магнитӣ.....	5
1.3. Ҳаракати электрон дар майдони электрикии кундаланг.....	9
1.4 Ҳаракати электрон дар майдони электрикии каҷӣ.....	10
1.5 Усулҳои муайян кардани заряди ҳос $\frac{e}{m}$. Усули Томсон.....	12
1.6 Муайян кардани заряди ҳос $\frac{e}{m}$ бо усули ду гунҷоии.....	14
1.7 Муайян кардани заряди ҳоси электрон $\frac{e}{m}$ бо усули қонундоди майдони магнитии каҷӣ.....	16
1.8 Полоиш ва қонундоди сели зарраҳои заряднок.....	18
1.9 Монанди қонунҳои геометрияи оптикӣ ва электронӣ. Линзаҳои электронӣ.....	23
Боби 2. 2.1 Изотопҳо. Усулҳои муайянкунии массаи атомҳо.....	32
2.2 Усули парабола (Томсон).....	32
2.3	
Массатайфсанҷҳо.....	35
2.4 Массатайфсанҷи Астон.....	35
2.5 Массатайфсанҷи Бейнбридж.....	38
2.6 Вобастагии масса аз суръат, мавҳум дар бораи назарияи нисбият.....	39
Боби 3. 3.1 Хусусияти корпусулавӣ нури электромагнитӣ. Фотозэффект ва назарияи электромагнитии рӯшноӣ.....	43
3.2 Назарияи кванти рӯшноӣ. Маънидодкунии ҳодисаи фотозэффект бо назарияи квантии рӯшноӣ.....	46
3.3 Назарияи кванти майлқуни эффеќти Комптон.....	48
3.4 Электрони ақибзанӣ.....	52
Боби 4. 4.1 Хусусиятҳои мавҷӣ ва корпусулавиҳои зарраҳо. Гипотезаи де-Бройл дар бораи хусусияти мавҷии зарраҳо. Муодилаи мавҷӣ де-Бройл.....	54

4.2	Суперпозитсияи мавҷи ҳамвор.....	56
4.3	Суръати фазагӣ ва группавӣ.....	58
4.4	Хосиятҳои мавҷи де-Бройл.....	60
4.5	Ба таври таҷрибавӣ тасдиқкунии мавҷи де-Бройл. Таҷрибаи Девисон ва Чермер.....	62
4.6	Дифраксияи зарраҳои молекулавӣ ва нейтронҳо.....	66
4.7	Маънои физики мавҷи де-Бройл.....	69
4.8	Таносуби номуаяни Гейзенберг.....	71
4.9	Функсияи мавҷи ва муодилаи Шредингер.....	75
4.10	Маънои физики ва хосиятҳои муодилаи Шредингер.....	80
4.11	Зарраҳо дар чоҳи потенциалӣ.....	81
4.12	Гузаштани зарраҳо аз монеаи потенциалӣ. Эффементи тунелӣ.....	85
Боби 5.	5.1 Модели планетарии атом.....	91
5.2	Ду модели сохти атом.....	91
5.3	Сохти атом.....	94
5.4	Таҷрибаи Резерфорд бо алфа-зарраҳо.....	96
5.5	Тайфи атомҳо. Тайфи атоми ҳидроген.....	103
5.6	Серияи Лайман, Балмер, Папен, Брэкэт ва Пфунд.....	105
5.7	Омузиши атоми ҳидроген дар асоси назарияи Бор. Постулатҳои Бор.....	105
5.8	Термҳои тайф. Принципи дигаргунсозӣ.....	108
5.9	Речаи сатҳҳои энергияи атоми ҳидроген.....	109
5.10	Таҷрибаи Франк ва Герс.....	111
5.11	Бархурии чандирӣ.....	114
5.12	Бархурии гайричандирӣ. Потенциали бухронӣ (резонансӣ).....	115
5.13	Муайян кардани потенциали ионизатсионии атомҳо.....	117
5.14	Шиобарори атомҳои дар ангезишбуда.....	119
5.15	Мадорҳои эллипсӣ.....	120
Боби 6.	6.1 Квантонидани фазогӣ.....	128
6.2	Маънои физикии ададҳои квантӣ.....	131
6.3	Моменти магнитии атом.....	132
6.4	Таҷрибаи Штерн ва Герлах.....	133
6.5	Серия ва терми тайфи металҳои шиқорӣ.....	135

6.6	Спектри металҳои ишқорӣ.....	137
6.7	Спини Электрон.....	141
6.8	Эффекти гиромагнитӣ.....	143
Боби 7.	7.1 Атом дар майдони магнитии беруна. Теоремаи Лармор. Квантонидани фазогии ададҳои L, S, j	144
7.2	Эффекти Зеeman.....	147
7.3	Эффекти аномалии Зеeman.....	151
7.4	Эффекти Пашен ва Бак.....	158
7.5	Эффекти Штарк.....	160
7.6	Тайфи атоми ҳелий. Парра (чуфт) ва ортоҳелий	162
7.7	Таҷрибаи Эйнштейн ва де-Газ.....	163
7.8	Таҷрибаи Барнета.....	167
7.9	Хусусияти магнитии атомҳо.....	167
7.10	Магнетизм. Пазирандаги дио ва пара-магнетизм.....	168
Боби 8.	8.1 Модели вектории атом. Моменти мадорӣ.....	171
8.2	Моменти хусусии миқдори ҳаракат. Спини электрон.....	172
8.3	Вектори пурраи моменти миқдори ҳаракат.....	173
8.4	Вектори пурраи моменти миқдори ҳаракати атомҳои бисёрэлектрона....	174
8.5	Хосияти дучандаи тайфи металҳои ишқорӣ. Тайфи натрий.....	175
8.6	Таснифи тайфи металҳои ишқорӣ.....	177
8.7	Принципи Паули.....	180
8.8.	Қишр (қабат)-и электронҳо.....	181
8.9	Нурҳои Рентгенӣ	185
8.10	Тайфи бифосила ва тавсифи нурҳои рентгенӣ.....	186
8.11	Таркиби маҳини нури рентгенӣ	189
8.12	Қонуни Мозел	190
8.13	Тайфи фурӯбарии нурҳои рентгенӣ.....	192
8.14	Таъсири мутақобили афканишоти рентгенӣ дар моддаҳо.....	194
8.15	Пароканиши нурҳои рентгенӣ	198
8.16	Флорессенсияи рентгенӣ	199
8.17	Фотоэлектронҳои дуҷумин ё оже-электронҳо.....	200

8.18 Сохт ва тайфи моллекулаҳо.....	201
8.19 Навъҳои алоқа.....	204
8.20 Алоқаи ионӣ (алоқаи диполӣ).....	205
8.21 Алоқаи гомеокутбӣ	208
8.22 Савияҳои ҷарҳзанӣ ва лапиши молекулаҳо. Гузариши байни онҳо.....	212
8.23 Ҷарҳзаниши молекулаҳои дуатома.....	214
8.24 Қишири электронҳо ва гузариши дар молекулаҳо.....	218
8.25 Комбинатсияи (дигаргунсозии) пароканиши нур.....	225
Боби 9. 9.1	
Радиофаъолият.....	22
8	
9.2 Синфбандии зарраҳои бунёди.....	231
9.3 Гузариши зарра дар мода. Гузариши зарраҳои вазнин ва сабук дар мода..	232
9.4 Гузариши зарраҳои зарядноки вазнин ва сабук дар мода.....	235
9.5 Навъҳои сарфи энергия.....	237
9.6 Гузариши гамма афканишот дар модда.....	238
9.7 Зариби пурраи фурӯбариши гамма-афканишот.....	242
9.8 Усулҳои қайгириши зарраҳои ҳаста.....	243
9.9 Навъи қайдгирарҳо.....	243
9.10 Суръатфизои зарраҳои заряднок.....	248
9.11 Суръатфизои электростатикӣ.....	249
9.12 Суръатфизои ҳатти резонансӣ.....	250
9.13 Суръатфизои сиклӣ.....	251
9.14	
Фотофузунсозҳо.....	254
9.15 Реакторҳои ҳастаи ва ҳифзи онҳо.....	254
9.16 Реактори нейтронҳои сареъи импулсӣ	256
9.17 Тадқиқот дар соҳаи химояи физика.....	256
Боби 10. 10.1 Дозасанҷи ва ҳифзи радиатсионӣ.....	
10.2 Доза, тавоноии доза ва воҳидҳои он.....	262
10.3 Дозаи фурубурди организмҳои зинда.....	268
10.4 Вобастагии байни воҳидҳои дозаи радиатсия.....	273
10.5 Зарбиавандаи массавии афканишот. Навъҳои афканишот ва миқёси энергия.....	275
10.6 Ҷиркини аз моддаҳои радиофаъол ва ҷенкунии онҳо.....	277
10.7 Олимҳое, ки ба дараҷаи эҳтимолияти ҳафнокии қор бо моддаҳои радиофаъол вобастаанд.....	281
10.8 Андозаи зарра.....	281

10.9 Касалии нурӣ. Дозаи летали (марговар).....	283
10.10 Таъсири биологии афканишоти ҳастаи.....	286
10.11 Гурӯҳи радиозахроқи моддаҳои радио-фаъоли кушод.....	292
10.12 Синфбандии қор бо моддоҳои радиофаъоли кушод.....	294
Адабиёт.....	296

Пеиғуфтор

Донишмандони илми физикаи атому ҳаста ва дозасанҷи на таонҳо барои физикҳо ё химикҳо барои қормандони илми муҳандисон ва аксарияти мутахасисон ҳамчун элементи асоси барои маълумоти умумии соҳои физика ба ҳисоб меравад.

Барои қормандони баъзе соҳаҳои техника зарур ва лозим аст, барои фаҳмидани як қатори дигар фанҳо дар соҳаи тайёр кардани мутахасисони баландихтисос ин равандҳо кумак мерасонад. Мисол, курси асбобҳои электрони ва ионӣ, дастгоҳҳои нимноқилӣ, моддаҳои электроизолатсионӣ ва ғайра, ки барои як қатор донишқадаҳои радиотехникӣ ба қисми мувофиқони физика асос ёфтааст, ба монанди: Физикаи электроника, физикаи нимноқилҳо, диэлектрикҳо, метеорология ва ғайра. Ғайр аз ин дар баъзе мактабҳои олӣ барои тайёр кардани физик-муҳандис бо ихтисосҳои номбаршуда ҳамчун базаи асоси илми физикаи атому ҳаста ва дозасанҷӣ ба ҳисоб меравад.

Бо ин алоқамандӣ дар аксарияти факултаҳое, ки қормандонро дар соҳаи радиоэлектроника, физика, метеорология тайёр мекунад, масъалаҳои асоси пешниҳодшуда ба курси номбаршуда асос ёфтааст. Дар бобби якум таъсири майдонӣ магнити ва электрики ба зарраҳои заряднок (электронҳо) қонундошавии сели зарраҳои ва полоиши онҳо васеъ омӯхта мешавад. Маълум аст, ки ҳангоми истифодабарии маводҳои радио-электроника, микро ва наноэлектроника ба монанди микросхемаҳо, резисторҳо, схемаҳои радиоэлектрони ва ғайра, ки ҳангоми истифодабарии дар қоинот дар зерии таъсири ин майдонҳо тавсифи худро тағйир медеҳанд.

Дар зерии таъсири майдони магнитӣ ва электрикӣ электрон танҳо равиши хурдро дигар мекунад. Бузургии он бе тағйир менамояд. Ҳангоми электрон дар майдони электрики қадди ҳаракат қардан энергияи он меафзояд бо афзудани потенциали майдон.

Майлқардани электронро истифода бурда заряди хоси $\frac{e}{m}$ электронро бо саҳеҳии қалон чен қарда мешавад. Ғайр аз он дар зерии таъсири ин майдонҳо полоиши ва қонуншавии сели зарраҳои парокандашударо меомӯзад. Истифодабарии дастгоҳҳои навтарин имконият медиҳад, ки сели зарраҳои зарядноки парокандашуда дар порчаи хурди АВ қонқидод шавад. Ин процес аз фарқи потенциал вобаста аст.

Аз ҳодисаи майқунии ионҳо истифода бурда дастгоҳи маҳсуе ба монанди массатайфсанҷҳо сохта шуд, ки барои муайян қардани массаи атомҳо

истифодабаранда аст. Афзудани суръат ҳолати хусусии қонуни умуми табиат мебошад, ки вобастагии массаи ҷисмҳоро бо энергияшон алоқаманд мекунад.

Нури электромагнити ба хусусияти корпусулавӣ соҳиб буданашонро аз раванди вотоэффект ва назари электромагнити рушнони фаҳмонида мешавад. Қонунҳои асосии фотозэффект муфассал навишта шудааст. Маънидоди фотозэффект ва механизми пайдоиши он дар асоси назарияи кванти рӯшнои фаҳмида мешавад. Ғайр аз он дар асоси назарияи квати майлқунии эффекти Комптон дар элементҳои гуногун омӯхта тайфи майқуниро дар қунҷҳои гуногун чен номида хусусиятҳои эффекти Комптонро мвайян кардан мумкин аст.

Назарияи кванти ва электромагнити рӯшноӣ, ҳосияти корпусулавӣ, қонунҳои асосии фотозэффект, маънидод ва механизми пайдоиши онро ваҳмонид. Назарияи кванти пайдоиши эффекти Комптон ва майлқунии он дар элементҳои гуногун нишон дод, ки агар фотони шиоӣ рӯшноӣ ба қунҷҳои калон майл кунад, ҳамон қадар электронӣ ақибзанӣ ба энергияи калон соҳиб мешавад. Ҳосияти мавҷи ва корпусулави (дуализми) мода зарраҳо фарзияи де-Бройл, муодилаи он бо бузургоҳи басомад (ν) дарози мавҷ (λ) энергия (E) ва импулс (P) тавсифонида шуд. Ин фарзия дар якҷанд таҷрибаҳо мушоҳида шуд ва тасдиқи худро ёфтанд. Аз ҷумла таҷрибаҳои Девисон, Кенсман, Чермер, Лауэ, Дебай-Шререр ва Ғайра.

Барои фаҳмонидани сохти атом, тарзи ҷойгиршавии ҳаста ва электронҳо ду модел пешноҳод шуд, модели Томсон ва Резерфорд. Қадом аз ин моделҳо дуруст сат бояд таҷриба муайян кунад. Бинобарин Резерфорд таҷрибаи омузиши пароканиши алфа-зарраҳоро дар қоғази нафиси никел гузаронд ва исбот кард, ки алфа- зарраҳо, ки дорои заряди мусбат мебошад, ҳангоми ба қоғази никел наздик шудан дар масофаи нишонӣ дар таҳти қунҷи 90° , 180° майл мекунад. Сабаби он таъсири қувваи Кулони теладиҳи, ки аз тарафи ҳастаи никел таъсир мекунад. Ҳаминтавр ӯ нишон дод, ки дар маркази ҳаста ядро дорои заряди мусбат дар атрофии он электронҳо, ки дорои заряди манфи мебошад аз рӯи мадорҳои сарбаста ҳаракат мекунад. Аммо Резерфорд нурафкани ва фурубариро дар асоси механикаи Классики ва термодинамикаи классики фаҳмонд, ки хато буд. Қамбуди Резерфордро Н. Бор ислоҳ намуд, ки тайфи атом рах-рах буда, хатҳои алоҳидаро ташиқил мекунад. Ҳангоми гузариш аз як савияи энергиявӣ энергияи калон ба дигар савияи энергия хурд нур хориҷ мекунанд, ин энергияи ба фарқи энергияи савияҳо баробар аст. Ин моделро модели атоми Бор-Резерфорд номиданд. Тайфи (спектри) атомҳо аз хатҳои алоҳида буданро постулатҳои Н. Бор тасдиқ намуд.

Ҳаракати электрон дар мадори доирави ва элипсӣ, ошубхурии мадор дар майдони магнитӣ, квантонидани фазагӣ, моменти магнити атомҳо, тайфи металҳои шиқорӣ, ҳосиятҳои дучандии тайфи металҳои шиқорӣ, фарқияти тайфи ҳидроген, эффекти гиромагнити ва Ғайра пурра омӯхта шудааст. Ҳодисаҳои номбаршуда аз натиҷаҳои таҷрибавӣ ба осони фаҳмонидан мумкин аст.

Теоремаи Лармор, квантонидани адаҳои кванти L, S, J , тақсимишақи савияҳои энергиявӣ атому молекулаҳо дар майдони магнити беруна. Таҷрибаи Зеeman, Папен ва Бак, Штарк ба компонентаҳо тақсимишақи хатҳои тайфро исбот карданд. Тайфи атоми Хелиро омукта хосияти орто ва парагелиро ошкор намуданд. Таҷрибаи Эйнштейн де-Газ, Барнет хосияти гиромангити атомҳоро исбот карданд.

Электронҳо дар атом аз рӯи қишр (қабат) (K, L, M, N) гурӯҳ ва зергурӯҳ (S, P, D, F , ва ғайра) ҷойгиранд. Таъриқи ҷойгиришақи электронҳоро принципи Паули меваҳмонанд. Гузариши электрон байни қишрҳо ба пайдоиши нури рентгени меоварад, ки тайф ва хосиятҳои онро аз тарафи Рентген фаҳмонида шуд.

Дар қисми физикаи ҳафта навъҳои таъсир, ки дар табиат мавҷуд аст. Таъсири мутақобили зарраҳои аҷиб (странный) коҳиши онҳо ки аз як зарра якҷанд зарраҳои дигар пайдо мешавад. Гузариши зарраҳои вазнин ва сабук дар мода, сарфи энергия дар 1см роҳи тайкарда, навъҳои сарфи энергия пура фаҳмонда шудааст.

Бояд қайд кард, ки қайдгиракҳое, ки дар ин соҳа истифода мешавад, аз нишондоди асбобҳои макроскопи бузургҳои микроламо муайян мекунанд. Қайдгиракҳо бояд дорои тавсифи хуб бошад, ки ҳамаи талаботҳои пешниҳодшударо қаноат кунанд. Навъҳои гуногуни қайдгиракҳо бо тавсифашон пурра акс шудааст.

Ғайр аз он таъсири мутақобили нури радиатсионӣ дар мода, бофтаҳои зинда, ҳуҷайраҳо мефаҳмонанд, ки чи гунна таркиб ва хусусияти ҳайёти ҳуҷайраҳо тағйир меёбад. Миқдори энергияи дар воҳиди массаи модаҳо фуру меравад, муайян карда мешавад. Аломатҳои пайдоиши касалиҳои радиатсионӣ вобаста аз таъсири дозаҳои гуногун, оқибатҳои хатарнокии он ба органиҳои зинда муфассал бо гатиҷаҳои амалӣ маънидод шудааст.

Хонандагони муҳтарам! китобе, ки Шумо ба даст мегиред меҳнати 40 солаи корӣ мебошад, ки дар факултаи физикаи ДМТ шуъбаи физикаи радиофизика ва электроника, метеорология дарс мегузаранд. Албата китоб аз хатоги ва норасогӣ озод нест. Бинобарон муаллифон пешаки аз Шумо узру минатдориашонро баён намуда, умедворанд камбудии ошкоршударо ба мо дастрас менамояд.

Сураға: ш. Душанбе, шаҳраки донишҷӯён ДМТ факултаи физика кафедраи физикаи ҳафта.

БОБИ 1

1.1. МАФҲУМИ УМУМИ ДАР БОРАИ ТАЪРИХИ ТАРАҚҚИЁТИ ФИЗИКАИ АТОМӢ ВА ҲАСТА

Физикаи атоми –яке аз қисмҳои навтарин ва муҳимтарини физикаи ҳозиразамон –физикаи асри 21 мебошад. Пайдоиш ва роле, ки вай дар илм бозид ба буд ва бозид истодааст, натиҷаи дурударози аз худкунии қонунҳои беиштар умумитарини табиат мебошад.

Ақида дар бораи сохти атоми доштани моддаҳо яке аз масъалаҳои классики мебошад ва вай 2400 сол пеш, якӯминбор аз тарафи олими юнони қадим Демокрит пешниҳод шуда буд. Мувофиқи ақидаи Демокрит атомҳо ҳиссаҳои устувор, абадӣ, вайроннашаванда буда, онҳо аз якдигарашон бо шакл ва андозаи худ фарқ мекунанд. Вай таълим меод, ки атомҳо холиғӣ асоси ҳамаи ҳодисаҳои табиат мебошад ва инчунин ҳамаи қисмҳои дунё аз холиғӣ ва зарчаҳои тақсимнашаванда –таъғирнаёбанда атомҳо иборат мебошад.

Дар бораи сохти моддаҳо, қувваи табиат ва қонунҳои ӯ, дигар олимони юнони қадим Фалес, Анаксимандр, Аристотель ва дигарон низ фикри худро баён карда буданд. Лекин фақат ақидаи Демокрит нисбат ба ҳамаи дигар ақидаҳои натурфилософони дунёи қадим то асри 17 давом карду халос. Сабаби ин дар он буд, ки атомистикаи Демокрит бисёртар ба ҳаёти ҳарӯзаи одамон таъра ва асос карда шуда буд.

Дар давоми бисёр асрҳо атомистикаи олимони дунёи қадим ва бисёр дигар ақидаҳои онҳо нотараққӣ ва берун аз илм монд. Сабаби ин дар он буд, ки то асри 17, аз сабаби баъзе ҳодисаҳои таърихи, набалки дар атомистика, балки умуман дар илми табиатишиносӣ тараққиёти ҳақиқии илмӣ набуд.

Назарияи илмии физикаи атоми, пас аз ба химияи илмӣ, ба фанни миқдорӣ –мубаддал шудани алхимияи асримиенагӣ сар шуд. Мафҳум дар бораи атом – чун зарраи таъғирнаёбанда ва тақсимнашаванда – бевосита аз доимӣ будани таркиби пайвастиҳои химиявӣ ва қарроти будани миқдори элементҳои соддаи дар ин пайвастиҳо дохил мешудагӣ баромада меояд. Аз ҳамин сабаб то нимаи дуҷуми асри XIX атом асосан объекти мушоҳидаи фанни химия буду халос, лекин вай дар ин ҷо ҳам роли асосиро набозид,

балки роли ёридихандаро барои ҳалли баъзе масъалаҳо мебозид. Чи хеле аз ин ҷо дида мешавад, доираи тараққиёти атомистика то нимаи асри XIX бисёр танг буд, лекин бо вучуди он дар ин доира дар он вақт масъалаи табиати қувваҳои дар байни атомҳо таъсиркунанда дар пайвастагиҳои химиявӣ гузошта шуда буд.

Масалан, Дэви якуминбор ҳодисаи электролизро мушоҳида карда, тахмин карда буд, ки дар пайвастагиҳои мураккаб атомҳо бо қувваҳои электростатикӣ нигоҳ дошта мешаванд. Дар соли 1833-1834 Фарадей техникаи Дэви ро инкишоф дода, қонунҳои электролизро кашф кард ва вай аз таҷрибаҳои худ ба чунин хулоса омада буд: агар моддаҳо аз атомҳо иборат бошанд, онҳо бояд дар ягон ҳолати муайян электрики заряднок бошанд. Бо дараҷаи тараққиёти физикаи давраи Фарадей бо ин хулоса хусусияти электрики атомҳо ва таркиби онро фаҳмонидан бисёр душвор буд. Назарияи атомӣ, ақидаҳои атомӣ дар ҳамон вақт маънои ҳақиқии худро гирифта метавонанд, агар ин проблемаҳо дуруст ҳал карда шаванд.

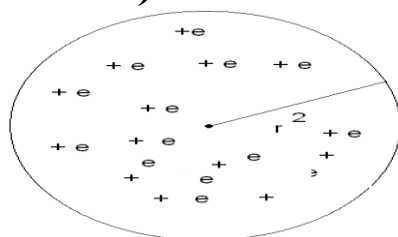
Дар солҳои 60 - ми асри XIX физика ба таври васеъ ба тараққӣ кардан сар карда буд. Лекин дар ин солҳо атомистика дар физика ба эътироф гирифта намешуд. Дар ин солҳо гарчанде ҳодисаи электролиз ва баъзе ҳодисаҳои разряди электрикӣ дар газҳо маълум бошад ҳам, масалан омили намоён, физики бузург, ихтироъчи назарияи майдони электромагнети Максвелл дар бораи электролизм чунин гуфта буд: "тасаввур кардан аз ақл берун аст, ки агар мутабиати ҳақиқии электролизро доништанӣ шавем, бояд назарияи молекулярии зарядро нигоҳ дорем". Ин суханро Максвелл соли 1873, доир ба нуқтаи назари Фарадей, оид ба табиати электрики атому молекулаҳо гуфта буд. Пас аз як сол ҳамзамони Максвелл, Стоуней гуфта буд: "дар ҳодисаи электролиз табиати вай моро бо миқдори муайяни электрик шинос мекунад", вай ин тахмини худро дурусттар омӯхта, дертар заряди элементарии атомро муайян кард.

Ба ҳамин тариқ дар ин солҳо набалки химия, инчунин ҳодисаи гузаштани электрик аз маҳдуди газҳо физиконро водор намуданд, ки тасаввуроти атомиро инкишоф диҳанд.

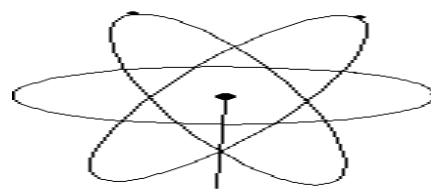
Дар охири асри XIX ҳодисаҳои зерин муқаррар карда шуда буданд: табиати электромагнети рӯшноӣ маълум буд; қонунҳои эмперикии тайфҳо дар баъзе газҳо ошкор карда шуда буд; катъӣ муқаррар карда шуда буд, ки моддаҳо аз атомҳо иборатанд ва ҳуди атомҳо боз аз зарраҳои майдатар иборатанд; дар ин вақт нурҳои катодӣ ошкор шуда ва табиати электромагнети онҳо муайян карда шуда буд; ҳодисаи фотозффект ва қонунҳои он кашф карда шуда буданд; дар ин вақт намуди нави нурҳои аз моддаҳои ношаффоф мегузаштагӣ кашф карда шуда буд ва ҳоказоҳо. Ҳамаи ин далелҳо водор мекунад, ки сохти ва таркиби атом чигуна аст, муайян карда шавад.

Аз ҳамин сабаб дар аввалҳои асри XX аз тарафи олимони якҷанд моделҳои атоми пешниҳод карда шуд, ки аз ҳама машҳуртарини онҳо модели атоми Томсон мебошад. Дар асоси модели Томсон атом чун қурраи мусбат зарядноке тасаввур карда мешавад, ки дар дохили он зарраҳои зарядшон манфӣ ва мусбат ҳаракат мекунанд. Яъне атом дар асоси модели Томсон

чун ҳаҷми бо моддаҳои заряди электрики дошта тасаввур карда мешуд (ниг. ба расми 1.1.1).



Расми 1.1.1



Расми 1.1.2.

Тасаввурот дар бораи атоме, ки вай аз системаи ҳастаи ва электронҳо дар атрофи вай давр мезананд иборат мебошад, таҷрибаҳои сахҳу дуру дарозро талаб кардаанд. Ин гуна таҷрибаҳо аз тарафи Резерфорд (шогирди Томсон) бо α – зарра гузаронида шуда буд. (α – зарра тақрибан 10 сол пеш аз таҷрибаи Резерфорд аз тарафи Беккерел, Кюри ва Склодовская дар вақти омӯхтани моддаҳои радиофаъл кашф кардашуда буд.) Соли 1911 Резерфорд гузаштани α – зарраҳоро аз моддаҳои тунуки метали омӯхта бо натиҷаҳои таҷриба ҳастаи атомро ихтиро намуд, ки он асоси сохтани модели ҳозираи атомӣ гардид. Дар асоси назарияи Резерфорд атом аз ҳастаи вазнини мусбат зарядноки андозааш бо 10^{-13} см баробар буда ва маҷмӯи электронҳо иборат мебошад. Электронҳо дар атом дар атрофи ҳаста бо мадорҳои муайян сарбаста давр мезананд (ниг. ба расми 1.1.2). Буриши атом, андозаи атом аз андозаи ҳаста 10^5 маротиба калон мебошад. Атом дар ҳолати нормали нейтрал аст, чун ки дар он миқдори заряди мусбату манфӣ баробаранд.

Агар ба модели атоми Резерфорд назар кунем, ба чунин хулоса омадан мумкин аст, ки атом бояд системаи ноустувор бошад, чунки дар асоси қонунҳои электродинамикаи классикӣ электрони дар атрофи ҳаста ҳаракат карда истода бояд аз ҳудаи нур барорад ва пас аз гузаштани вақти кӯтоҳ ба ҳаста омада афтад.

Барои ин муҳолифотро ҳал кардан шогирди Резерфорд, Бор постулатеро пешниҳод кард, ки дар асоси он электрони дар атом дар мадорӣ муқимӣ ҳаракат карда, бе таъсири қуваи беруна аз худ нур намебарорад. Процесси нурбарорӣ атомро Бор дар асоси назарияи квантии нурбарорӣ, ки с. 1900 аз тарафи Планк барои бартараф кардани муҳолифоти байни назарияи классикӣ ва натиҷаҳои таҷрибавӣ тақсимоти энергия дар ҷисмҳои мутлақ сиёҳ пешниҳод карда буд, манидод мекунад. Планк пешниҳод карда буд, ки нурбарорӣ ҷисми мутлақ сиёҳ набалки бефосила балки бо процесси муайян иҷро карда мешавад. Ин ақидаи Планк, ба тасаввуроти муқаррарии то асри XIX мавҷудан бефосила нурбарорӣ ва нурфурубарии ҷисмҳо, қатъи муқобил буд. Бор ҳамин ақидаи Планкро ба эътибор гирифта пешниҳод кард, ки электрони атом дар ҳамон вақт аз ҳудаи нур мебарорад агар он аз як мадор ба мадори дигар гузарад. Дар асоси ҳамин постулати худ, Бор қонуни ҷойгиришавии тайфҳоро дар атоми ҳидроген бо сахҳеҳии калон муайян карда буд. Ба ҳамин тариқ асоси илми физикаи атомӣ аз тарафи Резерфорд ва Бор гузошта шуда буданд.

Сохтори назарияи илми атоми берун аз мухолифот ва тамоми натиҷаҳои таҷрибаҳои мавҷударо маънидод карда метавонистагӣ аз физика набалки ба ҳам вобастакунии назарияи классикӣ ва тасавуроти квантӣ, балки тамоман аз нав дида баромадани ҳамаи тасавуроти фундаменталии физикӣ, ки ба ҷаҳонбинии физикаи классикӣ тақия мекарданд, талаб кард. Ин азнавбинӣ дар солҳои 20 – ми асри XX гузаронида шуда буд ва вай ба сохтани механикаи кванти –механикаи микродунё оварда расонд. Механикаӣ нав, механикаи системаи атомӣ, принципан аз механикаи классикии Нютон фарқ мекунад ва пайдоиши он тараққиёт дар физика мебошад.

Механикаи квантӣ, ки ба таҷрибаи васеи илми асос карда шудааст, ба ӯ тақия мекунад, то охир метавонад таркиби атомҳо хусусиятҳои вай, механизми нурбарорӣ ва ғайраҳоро фаҳмонида метавонад.

Дар замони муосир таҷрибаҳо натавонанд сохти мураккаб доштани атомро, балки сохти мураккаби нуклонҳои ҳастаро низ нишон доданд. Тахминҳо ҳастанд, ки мумкин электрон ҳам сохти мураккаб дошта бошад.

Ба ҳамин тариқ, физикаи атомӣ ва ҳаста роҳи мураккаберо тай намуда, ба як фанни махсусе мубаддал шудааст, ки вай тамоми вазифаҳои дар пешгузашта шударо ҳал карда метавонад.

1.2. ЭЛЕМЕНТҲОИ ОПТИКАИ ИОНӢ ВА ЭЛЕКТРОНӢ ҲАРАКАТИ ЭЛЕКТРОН ДАР МАЙДОНИ ЭЛЕКТРИКӢ ВА МАГНИТӢ

Физикаи атомиро тахминан ба ду қисм ҷудо кардан мумкин аст, қисми аввал аз омӯхтани қонунҳои асосии ҳаракати электронҳо дар майдони электрикӣ ва магнитӣ иборат мебошанд. Зарурияти ба физикаи атомӣ дохил кардани чунин қисм, бо ду ҳолат ҷудо карда мешавад. Сабаб дар он аст, ки атом системаи мураккаб буда, аз ҳастаи мусбат заряднок ва электрони манфӣ заряднок иборат мебошад, ки онҳо доимо бо якдигар майдонҳои электрикӣ ва магнитии худашонро ба вуҷуд меоранд, ба якдигар таъсир мекунанд. Аз тарафи дигар ба таъсири байни ҳамдигарии зарраҳои заряднок - асосан электронҳо бо майдони беруна асос карда чунин асбобҳои техникӣ сохтан мумкин аст, ки аксари онҳоро барои омӯхтани хусусияти худи атомҳо ва ҳастаҳо истифода бурдан мумкин аст:

Ғайр аз ин табиати зарраҳои заряднок бо ду бузургии асосӣ – массаашон m_i ва зарядашон e_i тавсифонида мешаванд.

Барои массаи электронҳо дар таҷриба муайян кардан ҳаракати онро дар майдони электрикӣ ва магнитӣ омӯхтан лозим аст. Фарз мекунем, ки электрон дорои заряд аст, дар майдони электромагнитӣ шитобонида мешавад. Шитоби ҳаракати электронро доништа массаи онро муайян кардан душвор нест. Бинобар он ҳамаи усулҳои муайян кардани массаи электрон ба омӯхтани ҳаракати он дар майдони электрикӣ ва магнитӣ асос карда шуда аст.

Қуввае, ки ба зарраи заряднокӣ, заряди e_i – дошта, аз тарафи майдони электромагнитӣ таъсир мекунад, қувваи Лорентсӣ номида мешавад:

$$\vec{F}_\Lambda = e\vec{\varepsilon} + \frac{e}{c}[\vec{\vartheta}\vec{\kappa}] \quad (1.2.1)$$

Дар ин ҷо аъзои якум қуввае, ки аз тарафи майдони электрикӣ таъсир мекунад, аъзои 2-юми қуввае, ки аз тарафи майдони магнитӣ таъсир мекунад.

Аз қонуни дуюми Нютон F ба ҳосили зарби масса m бар шитоб v маълум аст:

$$\dot{F} = m\dot{v} \quad (1.2.2)$$

Бинобар он (1.2.1) – ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$m\dot{\vec{v}} = e\vec{\varepsilon} + \frac{e}{c}[\vec{\vartheta}\vec{\kappa}]. \quad (1.2.3)$$

Акнун таъсири майдони магнитӣ ва электриро ба заряди электрон алоҳида – алоҳида дида мебароем.

Фарз кунем, ки $\varepsilon = 0$ ва $\kappa \neq 0$. Он гоҳ (1.2.3) намуди зеринро мегирад:

$$m\dot{\vec{v}} = \frac{e}{c}[\vec{\vartheta}\vec{\kappa}]. \quad (1.2.4)$$

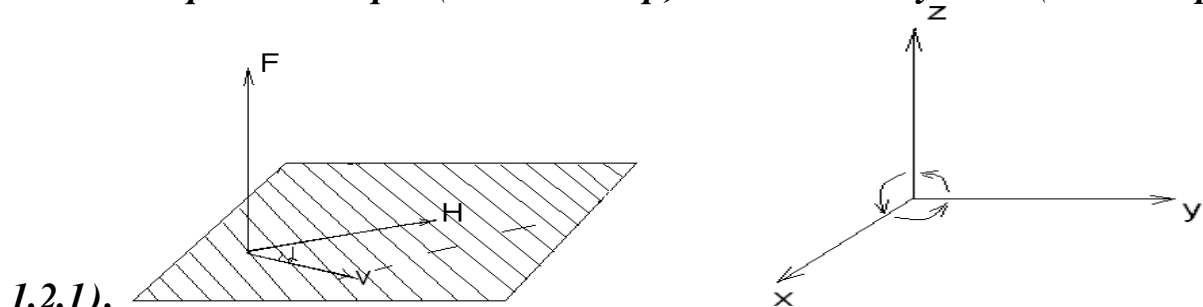
Дар ин ҷо e ба воҳиди CGSE навишта шудааст. Дар системаи CGSM (1.2.4)-ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$m\dot{\vec{v}} = e[\vec{\vartheta}\vec{\kappa}] \quad (1.2.5)$$

ё ки

$$\dot{\vec{v}} = \frac{e}{m}[\vec{\vartheta}\vec{\kappa}]$$

Азбаски қуввае, ки аз тарафи майдони магнитӣ ба заряди электрон таъсир мекунад, ба ҳосил зарби векторӣ тасвир карда шудааст, векторҳои $\vec{\kappa}$, \vec{v} , \vec{F} системаи роствинтаро (меҳи печдор) ташкил мекунанд (ниг. ба расми



1.2.1).

Расми 1.2.1

Майдони вектори (1.2.5)–ро ба намуди скалярӣ, чунин навиштан мумкин аст. Барои ёфтани $\frac{dv_x}{dt}$, $\frac{dv_y}{dt}$, $\frac{dv_z}{dt}$ аз бузургихои H_x , H_y , H_z ва v_x , v_y , v_z дитерминант тартиб дода, яъне

$$\begin{vmatrix} i & j & k \\ \vartheta_x & \vartheta_y & \vartheta_z \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix} \quad (1.2.6)$$

онро ҳал мекунем:

$$\begin{cases} \frac{d\vartheta_x}{dt} = \frac{e}{m} (\vartheta_y H_z - \vartheta_z H_y) \\ \frac{d\vartheta_y}{dt} = \frac{e}{m} (\vartheta_z H_x - \vartheta_x H_z) \\ \frac{d\vartheta_z}{dt} = \frac{e}{m} (\vartheta_x H_y - \vartheta_y H_x) \end{cases} \quad (1.2.7)$$

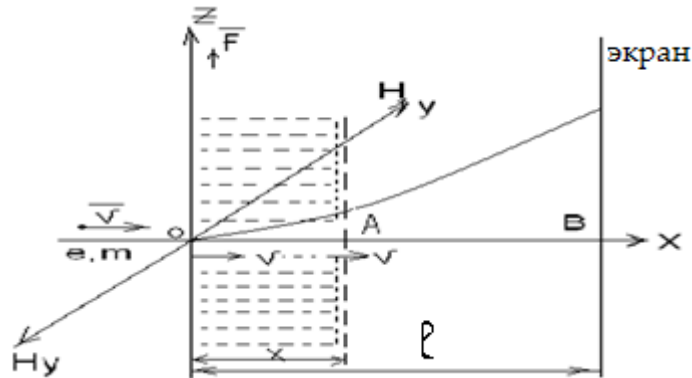
Барои хатисайри ҳаракати электронро муайян кардан системаи се муодилаи дифференциалиро ҳал кардан лозим аст. Ҳалли он ба таври математикӣ душвор аст, бинобар он мо намуди хатисайрӣ ҳаракати онро муайян накарда, балки бузургии майлишавии онро муайян мекунем.

Фарз кунем, ки дар вақти $t=0$ зарра ба равиши тири x ҳаракат мекунад, он гоҳ $\vartheta = \vartheta_x$ ва $\vartheta_y = \vartheta_z = 0$ (а) мешавад.

Инчунин фарз мекунем, ки майдони магнитӣ бо вақт доимӣ бошад, ва бо тири y раван бошад (ниг. ба расми 1.2.2), онгоҳ

$$\begin{cases} H_x = H_y = 0, \\ H_z = H(x) = H \end{cases} \quad (б)$$

аст. Дар расми 1.2.2 майдони магнит ибo нуқтаҳо ишора шудааст.



Расми 1.2.2.

Фарз кунем, ки майдони магнитӣ дар масофаи $OA = X$ таъсир мекунад ва дар масофаи $OB = l$, ки ба $OA = X$ нобаробар аст, барои ченкардани майлкунии зарра экран гузошта шуда аст (ниг. ба расми 1.2.2). Онгоҳ шартҳои (а) ва (б) - ро ба (1.2.7) гузошта ҳосил мекунем.

$$\frac{d\vartheta_z}{dt} = \frac{e}{m} (H_y \vartheta_x - \vartheta_y H_x), \quad (1.2.8)$$

яъне ҳаракати электрон танҳо дар ҳамвории XZ мегузарад.

Агар майлкунии электрон ниҳоят хурд бошад, онгоҳ $\vartheta = \vartheta_x = \frac{dx}{dt}$ мешавад. Дар ҳақиқат аз формулаи Пифагор:

$$\vartheta = \sqrt{\vartheta_x^2 + \vartheta_z^2} = \vartheta_x \left[1 + \left(\frac{\vartheta_z}{\vartheta_x} \right)^2 \right]^{1/2} = \vartheta_x \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\vartheta_z}{\vartheta_x} \right)^2 + \dots \right] \approx \vartheta_x$$

Азбаски аъзои дуйӯми формулаи (1.2.8) ба сифр баробар аст, вайро ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$\begin{aligned} \frac{d\vartheta_z}{dt} &= \frac{e}{m} \vartheta H; & \vartheta_z &= \frac{dz}{dt}; & \frac{d}{dt} &= \frac{d}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} \\ \frac{d^2 z}{dt^2} &= \frac{e}{m} \vartheta_x H_y; & \frac{d}{dt} \left(\frac{dz}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} \right) &= \frac{e}{m} \frac{dx}{dt} H_y. \end{aligned}$$

$\frac{dx}{dt}$ -ро бо ϑ иваз карда, ҳосил мекунем:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dz}{dx} \right) = \frac{e}{m\vartheta} H.$$

Барои майлқунии электронро муайян кардан муодилаи охириро ду маротиба аз сифр то X ва аз сифр то e меинтегронем:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{e}{m\vartheta} \int_0^x H(x) dx, \quad Z = \frac{e}{m\vartheta} \int_0^l dx \int_0^x H dx \quad \dots \quad (1.2.9)$$

Муодилаи (1.2.3) -ро дар ҳудуди аз 0 то e ($[0, e]$) бо усули қисм қисм интегрони, яъне

$$U = \int_0^x H dx, \quad d\vartheta = dx. \quad \int U d\vartheta = U \cdot \vartheta - \int \vartheta dU$$

интегронида, пайдо мекунем:

$$Z = \frac{e}{m\vartheta} \left\{ l \int_0^l H dx - \int_0^l x H dx \right\} = \frac{e}{m\vartheta} \int_0^l H(l-x) dx;$$

$$Z = \frac{e}{m\vartheta} \int_0^l H(l-x) dx.$$

Дар ин формула интегралро бо A шиора карда, яъне

$$A = \int_0^l H(l-x) dx,$$

ҳосил мекунем:

$$Z = \frac{e}{m\vartheta} A \quad (1.2.9)$$

Дар ин ҷо A – доими асбоб мебошад, ки вай танҳо аз H ва масофаи l - байни ҷои дохилишавии зарра то экран, вобаста аст.

Пас аз (1.2.9) дида мешавад, ки майлқунии зарраи заряднок дар майдони магнитӣ ба заряд мутаносиби роста буда ба масса m ва суръати ϑ мутаносиби чаппа мебошад.

Ҳолатҳои хусусиро дида мебароем:

1. Вобаста ба бузургии заряд майлқунии зарраҳо гуногун мешавад.

2. Агар майдон якҷинса бошад ва аз $x = 0$ то $x = a$ давом кунад, дар фосилаи аз $x = a$ то фосилаи $x = l$, $H = 0$ бошад, онгоҳ:

$$A = a \left(l - \frac{a}{2} \right) H \text{ мешавад.}$$

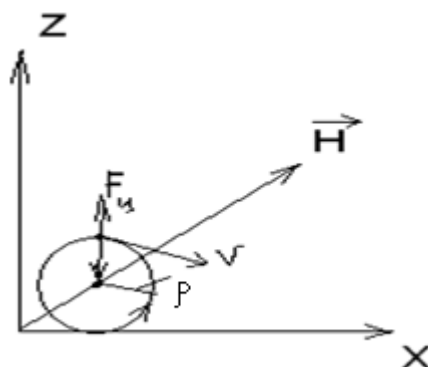
3. Агар экран дар наздикии магнит зич гузошта шуда бошад, яъне $l = a$ бошад, онгоҳ: $A = \frac{a^2}{2} H$.

4. Агар майдони чқҷинса ба равиши суръати электрон перпендикуляр бошад, хатисайри \vec{y} ро муайян кардан душвор нест. Дар ҳақиқат, азбаски қувваи ба $\vec{\vartheta}$ перпендикуляр мебошад, вай фақат равиши ҳаракати электронро тағйир медиҳаду халос, бузургии \vec{y} бошад, бетағйир мемонад. Бинобар он электрон аз $r_{\vec{y}}$ доира ҳаракат мекунад, ки радиуси онро ҳангоми қувваи Лоренс бо қувваи марказгурез баробар будан, ба осонӣ ёфтан мумкин аст, яъне

$$\frac{m\vartheta^2}{\rho} = l\vartheta H.$$

Аз ин ҷо

$$\rho = \frac{m\dot{\vartheta}}{l} \frac{1}{H}. \quad (1.2.10)$$



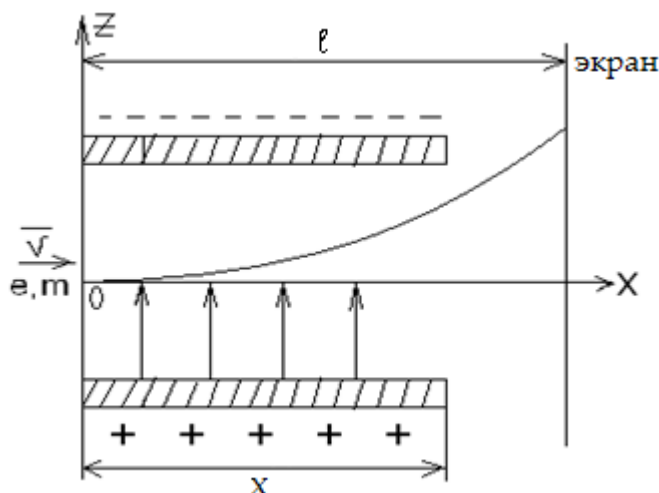
Расми 1.2.3

Маълум мешавад, ки ҳаракати заррача аз $r\dot{\vartheta}$ доира ба масса ва суръат мутаносиби роста мебошад. Азбаски $\frac{m}{e} = \text{const}$, бинобар он зарраҳое, ки бо суръатҳои гуногун ҳаракат мекунад, доираҳои радиусашон гуногунро мекашанд (расми 2.1.3)

1.3. ҲАРАКАТИ ЭЛЕКТРОН ДАР МАЙДОНИ ЭЛЕКТРИКИИ КҶНДАЛАНГ

Ҳолати $H = 0$; $E \neq 0$ – ро мебинем. Акнун майлқунии зарраҳои заряднокро дар майдони электрикии кҷндаланг, ки $v \perp \varepsilon$ дида мебароем. Фарз кунем, ки зарра дар фосилаи ба майдони электрикӣ дохил шудан бо тири x $v = v_x$ ҳаракат мекунад ва равиши майдони электрикӣ бо воситаи варақаи пластинаҳои (лавҳаи) конденсатор ҳосил карда шуда ба тири z равона бошад (ниг. ба расми 4.). Ин ҳолатро ба назар гирифта майлқунии электронро муайян мекунем.

Формулаи (1.2.3) – ро дар вақти $H = 0$, $\varepsilon \neq 0$ будан ба намуди зерин менависем :



Расми 1.3.1

$$m\dot{\vartheta} = e\varepsilon \quad (1.3.1)$$

Азбаски $\varepsilon_z = \varepsilon$ ва $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$ ва $\vartheta_z = \vartheta_y = 0$, $v = v_x$ системаи муодилаҳои склярии (1.2.7) – ро чунин навиштан мумкин аст:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = 0, \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = 0, \quad m \frac{d^2z}{dt^2} = e\varepsilon \quad (1.3.2)$$

Агар майлқунии заррача бисёр хурд бошад, суръат ҳамавақт $\vartheta = \frac{dx}{dt}$ мешавад, онгоҳ аз муодилаи $m \frac{d^2z}{dt^2} = e\varepsilon$ истифода бурда, майлқунии зарраро муайян мекунем. Барои ин табдилдиҳиҳои заруриро иҷро намуда, ҳосил мекунем:

$$\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dz}{dt} \right) = \frac{d}{dx} \left(\frac{dz}{dx} \frac{dx}{dt} \right) \frac{dx}{dt} = \vartheta^2 \frac{d^2z}{dx^2}. \quad (1.3.3)$$

Аз ин ҷо

$$\frac{d^2z}{dx^2} = \frac{l}{m\vartheta^2} \varepsilon. \quad (1.3.4)$$

Ин муодиларо дар ҳудуди аз 0 то l ду маротиба интегронида, ҳосил мекунем:

$$Z = \frac{e}{m\vartheta^2} \int_0^l dx \int_0^x \varepsilon dx = \frac{e}{m\vartheta^2} \int_0^l \varepsilon(l-x) dx. \quad (1.3.5)$$

Ишораи $B = \int_0^l \varepsilon(l-x) dx$ -ро дохил намуда, (13) ро ба намуди менависем.

$$Z = \frac{l}{m\vartheta^2} B \quad (1.3.6)$$

Дар ин ҷо B доими асбоб мебошад. Ҳолатҳои хусусиро дида мебароем: агар майдон якҷинса бошад, дарозии варақҳои конденсатор ба $x = b$ баробар буда, экран дар масофаи l гузошта шуда бошад, онгоҳ ҳалли интегралӣ (1.3.5) чунин мешавад:

$$B = b \left(l - \frac{b}{2} \right) \varepsilon. \quad (1.3.7)$$

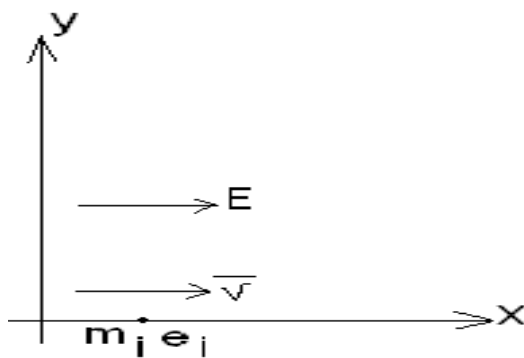
Агар $b = l$ бошад, он гоҳ

$$B = \frac{b^2}{2} \varepsilon \quad (1.3.8)$$

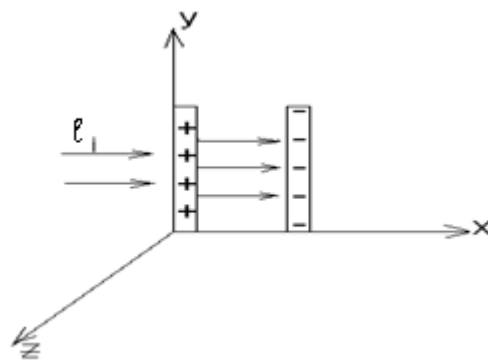
аст. Аз ин ҷо хулоса мебарорем, ки доими асбоб ва аз он ҷумла майлқунии зарраҳои заряднок дар майдони электрикии кӯндаланг ба шиддатнокии майдон мутаносиби роста мебошад.

1.4. ҲАРАКАТИ ЭЛЕКТРОН ДАР МАЙДОНИ ЭЛЕКТРИКИИ ҚАДӢ

Фарз кунем, ки равиши ҳаракати электрон бо равиши майдони электрикӣ якхела бошад ва вай бо тири X раван бошад (ниг. ба расми 1.4.1 ва 1.4.2).



Расми 1.4.1.



Расми 1.4.2

Он гоҳ $\varepsilon_x = \varepsilon$, $\varepsilon_y = \varepsilon_z = 0$ ва $\vartheta = \vartheta_x$, $v_y = v_z = 0$.

Дар асоси ин шартҳо муодилаи ҳаракати электронро ба намуди скалярӣ чунин навиштан мумкин аст:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = e\varepsilon \quad (1.4.1)$$

Азбаски $\frac{dx}{dt}$ – ро бо ϑ - суръати ҳаракати электрон иваз кардан мумкин аст, (1.4.1) - ро ба намуди зерин менависем.

$$m \frac{d\vartheta}{dt} = e\varepsilon \quad (1.4.2)$$

Ҳар ду тарафи ин муодиларо ба ϑ зарб карда ҳосил мекунем:

$$m \cdot \vartheta \frac{d\vartheta}{dt} = e\varepsilon \cdot \vartheta \quad (1.4.3)$$

Тарафи чапи (1.4.3) $\vartheta \frac{d\vartheta}{dt}$ – ро чунин навиштан мумкин аст:

$$\vartheta \frac{d\vartheta}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d(\vartheta^2)}{dt},$$

он гоҳ (1.4.2) намуди зеринро мегирад:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m\vartheta^2}{2} \right) = e\varepsilon \cdot \vartheta \quad (1.4.4)$$

Агар потенциали майдони электрикиро бо φ – ишора кунем, шиддатнокии майдони электрикӣ вобаста ба ε – ро чунин менависем:

$$\varepsilon = \varepsilon_x = -\frac{d\varphi}{dx}, \quad \text{он гоҳ} \quad \varepsilon\vartheta = -\frac{d\varphi}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = -\frac{d\varphi}{dt}. \quad (1.4.5)$$

Инро ба назар гирифта (1.4.4) - ро ба намуди зерин менависем:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m\vartheta^2}{2} \right) = -e \frac{d\varphi}{dt}; \quad \text{ё ин ки} \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{m\vartheta^2}{2} + e\varphi \right) = 0$$

аз ин ҷо

$$\frac{m\vartheta^2}{2} + e\varphi = \text{const.} \quad (1.4.6)$$

Ин муодилаи қонуни бақои энергия мебошад.

Азбаски дар ин, ҷо $\frac{m\vartheta^2}{2} = w$ энергияи кинетикӣ ва $e\varphi = \varepsilon_{\text{пот}}$ энергияи потенциалӣ мебошад, (1.4.6) - ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$w + \varepsilon_{\text{пот}} = \text{const.} \quad (1.4.7)$$

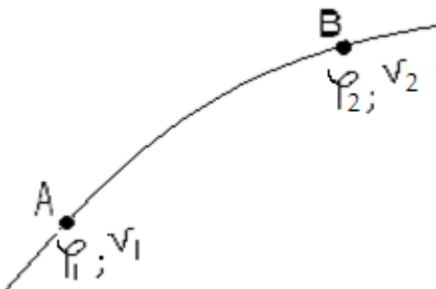
Акнун шартҳои зеринро дида мебароем:

а). Суммаи энергияи потенциалӣ ва кинетикӣ электрон ҳангоми ҳаракат дар майдони доими электрики чкхела мемонад, яъне дар он ҳолат қонуни ниғаҳдоишташавии энергия ҷой дорад.

б). Тағйирёбии энергияи кинетикӣ танҳо бо таъсири майдони электрикӣ ба амал меояд формулаи (1.4.4).

Ҳангоми ҷойивазкардани заряд аз нуқтаи майдони потенциали φ_1 ба нуқтаи потенциали φ_2 , азбаски $\varphi_1 - \varphi_2 = V$, он гоҳ формулаи (1.4.6)-ро ба намуди зерин менависем (ниг. ба расми 1.4.3):

$$\frac{m\vartheta_2^2}{2} - \frac{m\vartheta_1^2}{2} = e(\varphi_1 - \varphi_2) \equiv eV. \quad (1.4.8)$$



Расми 1.4.3

Агар $\vartheta_1 = 0$ бошад, он гоҳ:

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = eV \quad (1.4.9)$$

Ба ҳамин тарик, энергияи кинетикии зарраи заряднок бо фарқи потенциали ба заряд таъсиркунанда муайян карда мешавад.

Дар физикаи атомӣ энергия одатан бо электроволт ифода карда мешавад. $1eV$ – чунин энергияе мебошад, ки ба электрон дар вақти бо фарқи потенциали шитобдиҳандаи як волт таъсир кардан соҳиб мешавад. Вобастагии электроволтро бо эрг бо формулаи зерин ифода кардан мумкин аст:

$$w = 1eV = \frac{4,8 \cdot 10^{-10} \text{ CGSE вох.зар} \cdot 1V}{300} \cong 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}. \quad (1.4.10)$$

Агар энергияи электронҳо бо электроволт маълум бошад, он гоҳ ба осони аз формулаи (1.4.9) суръати ϑ – ро ёфта, қимматашро муайян кардан мумкин аст, яъне

$$\vartheta = \sqrt{\frac{eV}{m}} = 5,93 \cdot 10^7 \sqrt{V(\text{ВОЛТ})} \text{ см/сек.}$$

1.5. УСУЛҲОИ МУАЙЯН КАРДАНИ ЗАРЯДИ ХОС $\frac{e}{m}$

Дар параграфҳои гузашта мо ҳаракати зарраро дар майдони магнети H ва электрикии ε дида баромадем. Акнун аз натиҷаҳои ҳосил кардаамон истифода бурда, усулҳои таҷрибавии муайян кардани заряди хос $\frac{e}{m}$, яъне нисбати заряд бар массаро меёбем.

Ба назар гирифтани лозим аст, ки дар майдони магнитӣ ва электрикии кӯндаланг на танҳо аз $\frac{e}{m}$ балки аз ϑ – ҳам вобаста мебошад, чи хеле, ки дидем агар майлқуни дар майдони магнети бо бузургии $\frac{e}{m\vartheta}$ муайян карда шавад, дар майдони электрикӣ $\frac{e}{m\vartheta^2}$. Бинобар он таҷриба имконияти дар як майдон муайян кардани суръати зарра v ва $\frac{e}{m}$ – ро намедихад. Аз ин сабаб барои муайян кардани $\frac{e}{m}$ ҳаракати зарраро дар ҳарду майдон меомӯхтанд. Яке аз ингуна усулҳо усули Томсон мебошад.

УСУЛИ ТОМСОН - Якӯмин бор Томсон майлқунии электронҳоро дар майдони магнитӣ ва электрикӣ истифода бурда заряди хос ва суръати электронро муайян кард.

Речаи асбоби Томсон аз лулаи вакумие иборат мебошад, ки ҳавои он то фишори 100 мм сутуни симобӣ кашида гирифта шудааст (расми 1.5.1). Дар дохили лула K – катод ва A – анод ва конденсатор ҷойгир карда шудааст. Катод роли манбаи электронҳоро мебозад. Электронҳо дар байни K ва A бо манбаи B_1 иштибонида мешавад. Электронҳо дар зери таъсири ин майдони иштибқунанда ҳаракат карда аз сурохи анод гузашта ба экран омада мерасанд.

Шартҳои зеринро дида мебароем:

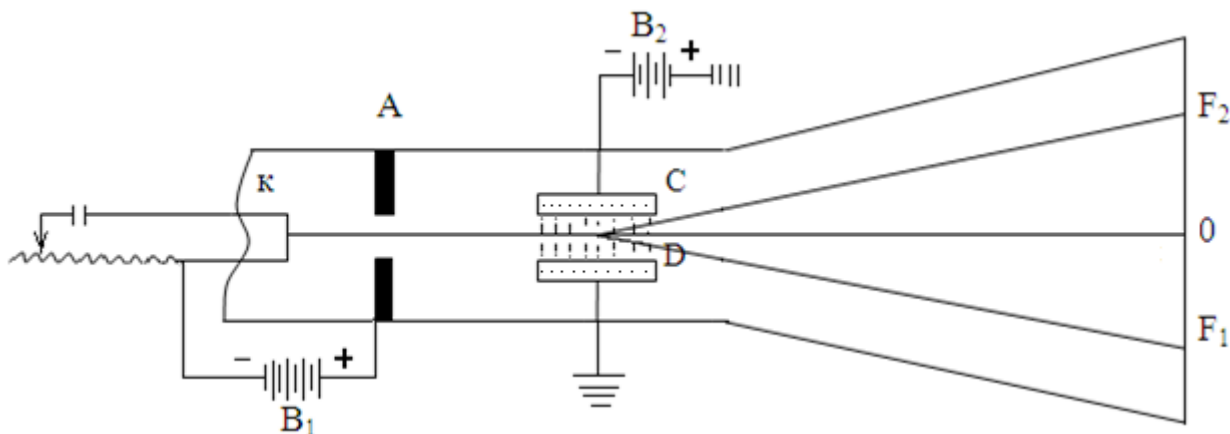
1. Ҳангоми $B_2 = 0$ будан майлқуни дида намешавад ва электронҳо ба нуқтаи O омада мерасанд.
2. Ба конденсатори CD - манбаи B_2 – ро мегузорем, он гоҳ сели электронҳо ба нуқтаи F_1 майл мекунанд.

$$OF_1 = \frac{e}{m\vartheta^2} B \quad (1.5.1)$$

3. Агар дар варақаҳои конденсатор майдони магнитии якҷинсаро ҳамроҳ кунем, яъне $H \perp E$, он гоҳ майлқуни дар нуқтаи F_2 дида мешавад.

$$OF_2 = \frac{e}{m\vartheta^2} A. \quad (1.5.2)$$

Майдони магнитӣ дар расми 1.5.1 бо нуқтаҳо ишора карда шудааст, ки ба ҳамвории конденсатор перпендикуляр аст.



Расми 1.5.1.

Майдони магнитӣ ва электрикиро чунон интиҳоб кардан лозим аст, ки $OF_1 = OF_2$ шавад. Дар ин ҳолат $E = H$ мешавад. Бинобар он

$$\frac{e}{m\vartheta} A = \frac{e}{m\vartheta^2} B, \quad A\vartheta = B; \quad \vartheta = \frac{B}{A} \dots \quad (1.5.3)$$

Азбаски майдони магнитӣ ва электрикӣ якдигарро ҷуброн мекунанд, суръати ҳаракати электронҳо фақат ба доими асбоб мутаносиб мебошад. Акнун суръатро дониста ӯро ба (1.5.1) ё (1.5.2) гузошта $\frac{e}{m}$ – ро муайян кардан душвор нест. Ғайр аз ин суръатро бо тарзи зерин муайян кардан мумкин аст. Суръати ҳаракати аввала электронҳои аз катод мебаромадагӣ бисёр хурд мебошад. Мисол агар катоди волфрамирро то температураи 2400° гарм кунем фақат 0,1 % электронҳо ба энергияи 1,42эв, ва 0,0001% ба

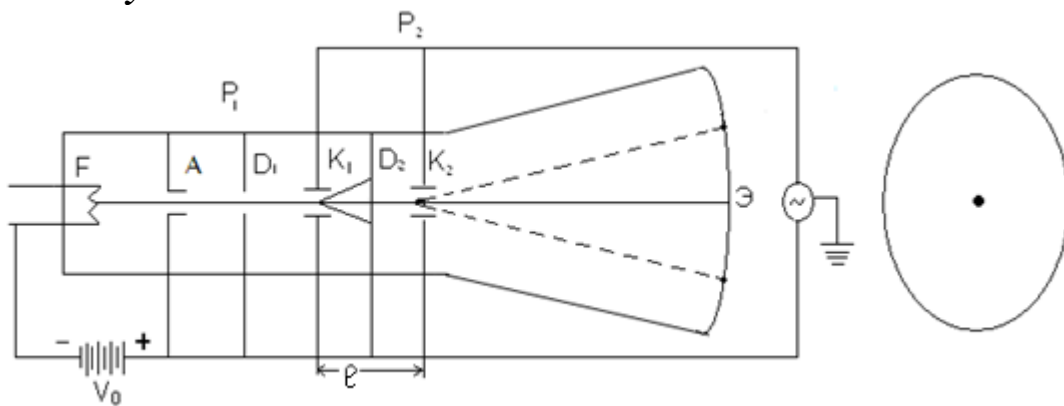
2,85эв соҳиб мешаванд. Бинобар он дар вақти муайян кардани суръат , суръати аввалаи зарраҳои аз катод мебаромадаро баробари сифр гӯем ва барои муайян кардани v аз формулаи $\frac{mv^2}{2} = eV$ (а) истифода мебарем. Аз инҷо фарқи потенциали байни катод ва анодро дониста суръати ҳаракати электронҳоро муайян кардан душвор нест. Қиммати v – ро аз (1.5.3) ба (а) гузошта ҳосил мекунем:

$$\frac{mv^2}{2A^2} = ev; \quad \frac{e}{m} = \frac{B^2}{2A^2v}. \quad (1.5.4)$$

Ин усул яке аз усулҳои мебошад, ки барои муайян кардани $\frac{e}{m}$ ва v аз конундоди зарраҳо дар ҳар ду майдон истифода бурда мешаванд. Роҳи муайян кардани суръат бо формулаи (а) имконият медиҳад, ки бузургии майлқуниро дар яке аз майдонҳо дониста $\frac{e}{m}$ ва v муайян кунем. Дар ин ҳолат зарурияти омӯختани ҳаракати зарраҳо дар ҳар ду майдон қатъ мегардад. Бинобар он мо дар оянда барои муайян кардани $\frac{e}{m}$ ва v ҳаракати зарраҳо дар яке аз майдонҳо меомӯзем.

1.6. МУАЙЯН КАРДАНИ $\frac{e}{m}$ БО УСУЛИ ДУ КОНДЕНСАТОР (ҒУНҶОИШ).

Яке аз усулҳои, ки заряди ҳос бо саҳеҳии хеле зиёд муайян карда мешавад, методи ду конденсаторҳо мебошад. Реҷаи асбоб дар расми 1.6.1 нишон дода шудааст.

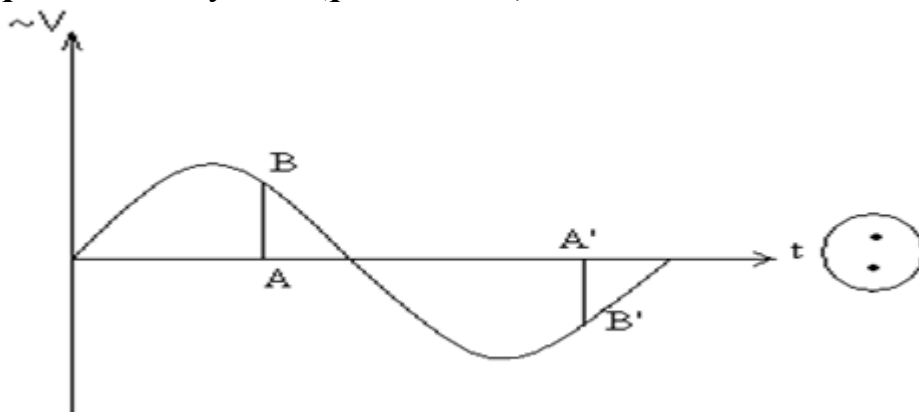


Расми 1.6.1.

Сели электронҳои, ки аз катодаи K мебароянд ба майдони шитобдиҳаки V_0 – и байни катодаи K ва анодаи A шитобонида мешаванд. Ин электронҳо аз анод A ва сӯроҳи D_1 гузошта ба конденсатори K_1 , ки дар он майдони тағйирёбандаи электрикӣ пайваस्त шудааст омада мерасанд. Дар зери таъсири ин майдон электронҳо аз конденсатори K_1 гузашта гоҳ ба поён гоҳ ба боло майл карда равишашонро дигар мекунанд ва инъикосарашон ба экрани P_2 нигоҳ дошта мешаванд. Дар ин ҳолат аз сӯроҳи D_2 он электронҳо мегузаранд, ки дар вақти аз конденсатори K_1 гузаштанишон ҳатти потенциали аз сифр гузарад. Ин электронҳо баъд ба конденсатори K_2 омада мерасанд, азбаски конденсаторҳои K_1 ва K_2 фазаҳои якхеларо доранд, дар ҳар

як давр аз конденсатори K_2 электронҳо ду маротиба мегузаранд ва дар экран ба ягон андоза ба боло ё поён майл мекунад.

Барои ҳосил кардан душвор нест, ки электронҳои аз K_2 мегузаштагӣ ду равиши имконпазири майлқуни доранд. Масалан дар фосилаи вақт электрон аз конденсатори K_1 то K_2 масофаи $K_1 - K_2 = l$ -ро тай мекардагӣ ба $t_1 = OA$ бошад, он гоҳ баъзе электронҳо ба конденсатори K_2 дар вақти потенциал ба $AB = V_1$ ва $AB = V_1$ баробар буда омада мерасанд ва дар зери таъсири ин потенциал ба боло ё поён майл карда ду доғи симетрикиро ҳосил мекунанд (расми 1.6.2).



Расми 1.6.2

Вақтро тағйир дода истода ҳамин хел t_1 - ро ёфтан лозим аст, ки бузургии нимдаври шиддати тағйирёбанда $\frac{T}{2}$ ё ки ба ададҳои қаратнокии он $\Delta t = n \frac{T}{2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) баробар шавад, он гоҳ миқдори электронҳои аз сӯрохи D_2 гузаштагӣ ба конденсатори K_2 дар ҳамон муддати вақте омада мерасанд, ки фарқи потенциал дар он баробари сифр бошад. Аз ҳамин сабаб электронҳои шартӣ болоиро қаноат мекардагӣ ба майлқуни ба экран омада мерасанд, ва дар экран як доғро ҳосил мекунанд (расми 1.6.1).

Аз баски масофаи байни конденсаторҳо ба l баробар аст, онро чунин муайян карда мешавад.

$$l = \vartheta t, \quad \vartheta = \frac{l}{t}. \quad (1.6.1)$$

Азбаски $t = \frac{T}{2} = n \frac{T}{2}$, пас аз (1.6.1) қимати t - ро гузошта ҳосил мекунем

$$\vartheta = \frac{2l}{nT} = \frac{2lf}{n}. \quad (1.6.2)$$

Зеро $T = \frac{1}{f}$ аст. Аз тарафи дигар

$$eV = \frac{m\vartheta^2}{2}, \quad (1.6.3)$$

пас

$$\frac{e}{m} = \frac{\vartheta^2}{2V}. \quad (1.6.4)$$

Ба формулаи (1.6.4) қиматти ϑ - ро гузошта ҳосил мекунем

$$\frac{e}{m} = \frac{4l^2 f^2}{2Vn^2} = \frac{2l^2 f^2}{Vn^2}. \quad (1.6.5)$$

Қимати заряди хосро ба ин усул муайян карданд баробар аст.

$$\frac{e}{m} = (1,7590 \pm 0,0015) \cdot 10^7 \text{ CGSM} \cdot 2^{-1}$$

Бартариш ин усул (усули сифри) дар он аст, ки вай баъзе хатогихое, ки дар вақти ченкунии бузургии майли электронҳо содир карда мешавад, надорад.

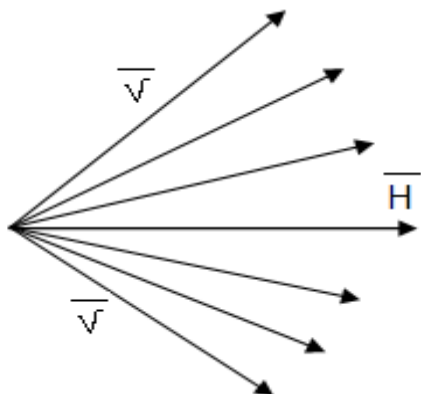
1.7. МУАЙЯН КАРДАНИ ЗАРЯДИ ХОСИ ЭЛЕКТРОН $\frac{e}{m}$ БО УСУЛИ ҚОНУНДОДИ МАЙДОНИ МАГНИТИИ ҚАДӢ.

Ин усул, яке аз усулҳои сахт буда вай ба истиода бурдани таъсири майдони магнитии қадӣ ба хатти сайри зарраҳо асос карда шудааст.

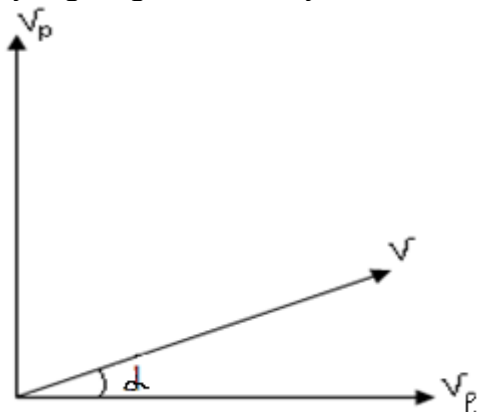
Таъсири майдони магнитиро ба электронҳои аз сӯрохи баромадаро мебинем. Қуввае, ки аз тарафи майдони магнитӣ ба электрон таъсир мекунад ба баробар аст.

$$\vec{F} = e[\vartheta H] \quad (1.7.1)$$

Агар дастаи электронҳоро нисбат ба равиши хатҳои қуввагии майдони магнитӣ дар тахти кунҷи α ҳаракат кунанда (расми 1.7.1), $\alpha \neq 0, 90^\circ$ муайян кунем, он гоҳ суръати ҳаракати онҳоро ба ду ташкилдиханда тақсим кардан мумкин аст. Ташкилдихандаи якум ϑ_l – ба равиши хатҳои қуввагӣ майдон раван буда, ташкилдихандаи 2-юм бошад (расми 1.7.1) ба равиши хатҳои қуввагии майдон перпендикуляр ҳаракат мекунад, (1.7.2)



Расми 1.7.1



Расми 1.7.2

$$\left. \begin{array}{l} \vartheta_l = \vartheta \cos \alpha \quad - \text{ ташкилдихандаи қадӣ } \\ \vartheta_\rho = \vartheta \sin \alpha \quad - \text{ ташкилдихандаи кўндаланг. } \end{array} \right\} \quad (1.7.2)$$

Таъсири майдони магнитиро ба ин ташкилдихандаҳо алоҳида – алоҳида дида мебароем.

Ба электронҳое, ки ба суръати ϑ_ρ перпендикуляр ба H ($v_\rho \perp H$) ҳаракат мекунад қувваи $F_\rho = e\vartheta_\rho H$ таъсир мекунад. Азбаски F_ρ дар ҳамаи масофаи ҳаракат ба суръати электрон перпендикуляр таъсир мекунад, вай доирае мекашад, ки радиуси онро аз формулаи зерин меёбем, F_ρ ва қувваи марказгурез:

$$e\vartheta_\rho H = \frac{m\vartheta_\rho^2}{\rho} \quad (1.7.3)$$

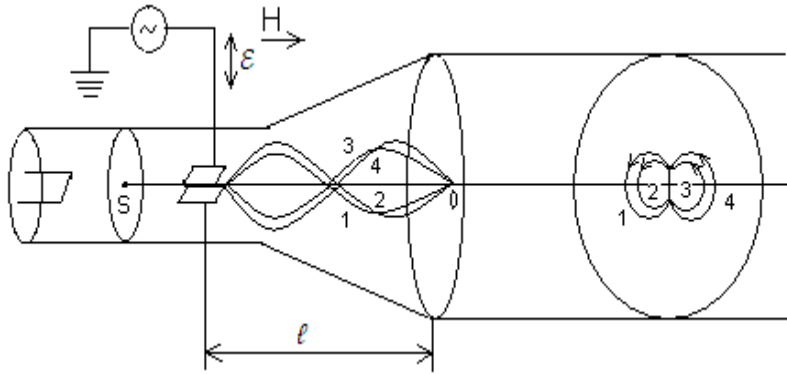
Аз ин ҷо

$$\rho = \frac{\vartheta_\rho}{\frac{e}{m}H}, \quad \vartheta_\rho = \frac{e}{m}H\rho. \quad (1.7.4)$$

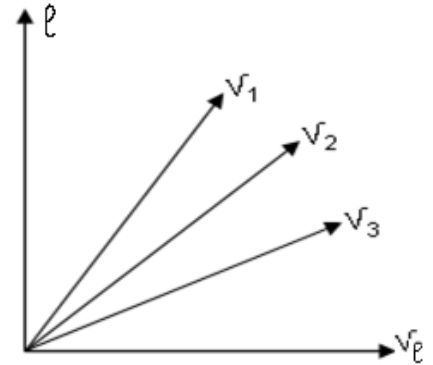
Фосилаи вақте, ки электрон як доираи пурра мекашад ба

$$t = \frac{s}{\vartheta_\rho} = \frac{2\pi\rho}{\vartheta_\rho} = \frac{2\pi m\rho}{eH\rho} = \frac{2\pi m}{eH} \quad (1.7.5)$$

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки t аз радиуси ρ вобаста нест. Бинобар он фарз кунем, ки якчанд электронҳо дар як фосилаи вақт аз як нукта бароянд бо суръатҳои гуногун ба майдони магнитӣ перпендикуляр дохил шаванд, онҳо аз рӯи доираҳои радиусашон гуногун ҳаракат карда боз ба як нукта омада мерасанд (расми 1.7.3)



Расми 1.7.3



Расми 1.7.4

Таъсири H – ро бо ташиқдихии қаддии суръат мебинем. Сели электронҳо, бо суръати ϑ_e ҳаракат мекунад, майдони магнитӣ таъсир намекунад. Бинобар он дар фосилаи вақти t электрон бо равиши хатҳои қуввагии соленоид ҳаракат карда масофаи l – ро тай мекунад:

$$l = \vartheta_l t = \frac{2\pi\vartheta \cos \alpha}{\frac{e}{m}H} \quad (1.7.6)$$

Фосилаи вақте, ки электрон бояд доира кашад, баробар аст ба: $t = \frac{2\pi}{\frac{e}{m}H}$

Агар кунҷ бисёр хурд бошад $\cos \alpha = 1$ мешавад ва (1.7.6) намуди зеринро мегирад.

$$l = \frac{2\pi\vartheta}{\frac{e}{m}H} \quad (1.7.7)$$

Ба ҳамин тариқ электронҳо, ки аз сӯрохи бо суръатҳои якхела мебароянд дар фосилаи вақти t , ки дар ин муддат тасвири ба ҳамвории соленоид \perp - ри онҳо як доираи пурраро мекашанд, масофаи якхелаи l – ро тай менамояд. Аз инҷо маълум мешавад, ки электронҳои гайрипаралел аз сӯрохи баромада энергияи якхела дошта, бо таъсири майдони магнитӣ қаддӣ дар масофаи l – қонундод мешаванд. Принципи ин усул ба ҳамин хусусияти соленоид асос карда шудааст.

Тарзи қонундод чунин аст: Электронҳо, ки аз сӯрохи S мебароянд аввалба майдони электрикӣ тағъирёбандаи ε пароканда карда мешавад ва баъд ба майдони соленоид дохил мешаванд. Майдони магнитиро тағъир дода ин электронҳоро дар нуктаи O қонундод кардан мумкин аст. Баъд майдони магнитии H –ро доништа $\frac{e}{m}$ – ро муайян мекунад. Суръати ҳаракати электронҳоро аз (1.7.7) меёбем.

$$\vartheta = \frac{\ell e H}{2\pi m} \quad (1.7.8)$$

Аз тарафи дигар формулаи энергияи электронҳоро истифода бурда, ба $\frac{m\vartheta^2}{2} = eV$ қиммати (1.7.8)-ро гузошта ҳосил мекунем.

$$\frac{\ell^2 e^2 H^2 m}{8\pi^2 m^2} = eV. \quad (1.7.9)$$

Аз ин ҷо

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 V}{H^2 \ell^2} \quad (1.7.10)$$

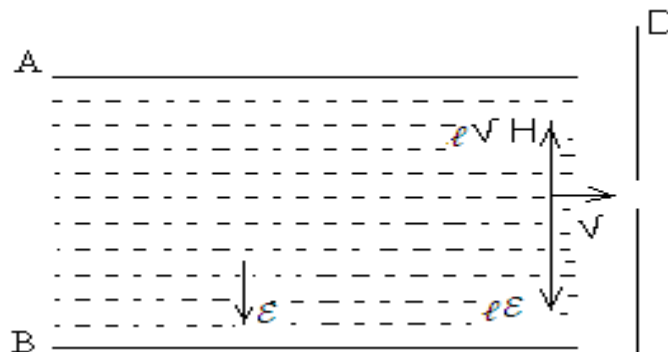
Дар ин ҷо H , ва ℓ – ро доништа $\frac{e}{m}$ –ро ёфтан душвор нест. Натиҷаи ба воситаи (1.7.10) ҳисоб карда шуда баробар мебошад:

$$\frac{e}{m} = (1,7586 \pm 0,0023) \cdot 10^7 \text{ CGSM} \cdot 2^{-1}.$$

1.8 ПОЛОИШ ВА ҚОНУНДОДИ СЕЛИ ЗАРРАҲОИ ЗАРЯДНОК

Дар ин ҷо мо усулҳои ҳосил кардани сели зарраҳои суръатҳои якхела дошта ва усулҳои қонундоди зарраҳои заряднокро дида мебароем:

а) Принципи кори полоиши содатарин ба он асос карда шудааст, ки сели зарраҳои заряднок якбора аз майдони электрикӣ ва магнитӣ, ки равишҳои ба якдигар перпендикуляр доранд гузаронида мешавад. Ин майдонҳо зарраҳоро ба тарафҳои муқобил майл мекунанд.



Расми 1.8.1

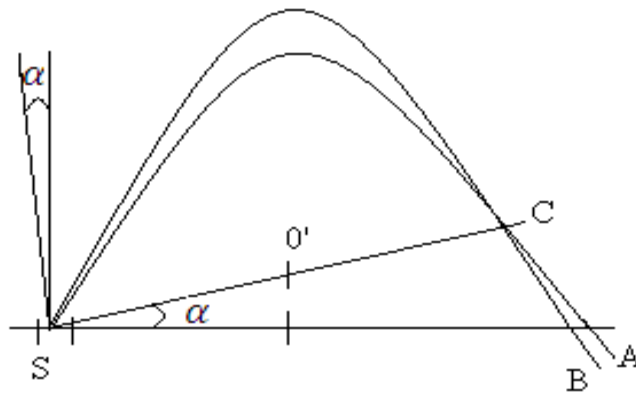
Дар расми 1.8.1 намуди содатарини полоиши суръатҳо нишон дода шудааст. Дар ин ҷо равиши майдони электрикӣ ва магнитӣ нисбат ба якдигар перпендикуляр мебошад. Равиши H перпендикуляр ба ҳамвори нақша. Равиши E ва H -ро чунин интихоб мекунанд, ки дар зери таъсири ин қувваҳо зарраҳо ба тарафҳои гуногун майл кунанд. Дар ин ҳолат қувваи натиҷавӣ ба зарра таъсир кунанда ба $e\vartheta H - e\varepsilon$ баробар мешавад. Дар зери таъсири ин қувваҳо ҳатти сайри ҳаракати ин зарра аз ҳати қачқие табдил меёбад, ки радиуси онро аз баробарии қувваҳои натиҷавӣ $e\vartheta H - e\varepsilon$ ва марказгурез, ба осони ёфтан мумкин аст.

$$e\vartheta H - e\varepsilon = \frac{m\vartheta^2}{\rho} \quad (1.8.1)$$

Аз сӯроҳи D дар он вақт сели зарраҳо мегузарад, ки агар ду қувваи таъсиркунанда ба ҳамдигар баробар бошанд, яъне бояд шартҳои зерин

$$e\vartheta H = e\varepsilon \quad \vartheta = \frac{\varepsilon}{H} \quad (1.8.2)$$

ичро шавад. Зарраҳое, ки шарти (1.8.2) ро қаноат намекунонад аз сӯроҳӣ гузошта намешавонанд.



Расми 1.8.2.

б) Дар бисёр ҳолатҳо барои қонундоди зарраҳое аз майдониякҷинсаи магнитӣ кӯндаланг истифода мебаранд.

Фарз кунем, ки манбаи зарраҳо дар нуқтаи s мебошад (расми 1.8.2) ва онҳо ба бузургии якхелаи $\frac{m\vartheta}{e}$ тафсифонида мешаванд. Зарраи ба боло ҳаракат карда истода нимдоираеро мекашад, ки диаметри он ба $SA = 2\frac{m\vartheta}{eH} = 2\rho$ баробар мебошад.

Зарраи дигари бо кунҷи α ба болои ҳаракат карда бо радиуси ρ нимдоираи дигареро мекашад, ки вай хатти рости SA - ро дар нуқтаи B мебурад. Он гоҳ аз расми 1.8.2 масофаи AB ба

$$AB = SA - SB = 2\rho - 2\rho \cos \alpha = 2\rho(1 - \cos \alpha) \quad (1.8.3)$$

Агар α бисёр хурд бошад, $\cos \alpha$ - ро ба қатор ҷудо кунем:

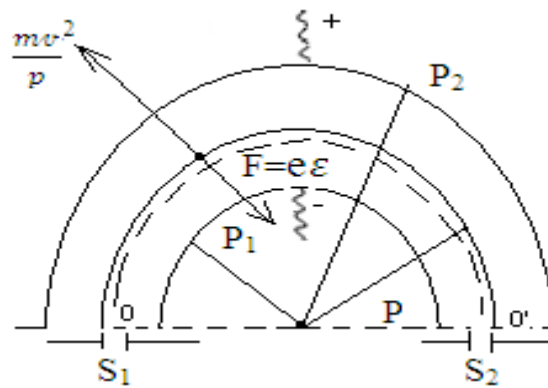
$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2!} + \frac{\alpha^4}{4!} + \dots +$$

Аз ин ҷо ду аъзои аввалаширо мегирем ва ба (1.8.3) гузошта ҳосил мекунем.

$$AB = 2\rho \frac{\alpha^2}{2} = \rho \alpha^2 \quad (1.8.4)$$

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки ҳамаи зарраҳое, ки дар ҳудуди кунҷи α ҳаракат мекунад ба радиуси ρ нимдоираи кашида SA - ро дар байни AB мебуранд. Аз ҳамин сабаб агар манбаи S ягон сӯроҳи зарра мебаромадагӣ бошад, он гоҳ порчаи AB тасвири ин сӯроҳи мешавад. Пас маълум мешавад, ки майдони магнитии якҷинсаи кӯндаланг роли линзаи цилиндриро мебозад, яъне ҳам чун линзаи цилиндрикӣ хизмат мекунад.

в) Яке аз навҳои дигари қолақи суръатҳо, ки дар вақтҳои охир ба таври васе истифода бурда мешавад, бо таъсири майдони электрикии радиалӣ дар конденсатори цилиндрики асос карда шудааст (Расми 1.8.3).



Расми 1.8.3

Ҳангоми сели электронҳо аз сӯроҳии S_1 гузаиштан ба конденсатори силиндрики дохил шудан ба онҳо қувваи $F = e\varepsilon$ таъсир мекунад, ки равиши он ба равиши суръат ҳаракати зарра перпендикуляр мебошад.

Электронҳо дар ҳамон вақт аз рӯи хатти қаччи OO бемухолифат ҳаракат мекунад, агар қувваи $F = e\varepsilon$ ба қувваи марказгурез баробар шаванд:

$$e\varepsilon = \frac{m\vartheta^2}{\rho} \quad (1.8.5)$$

Дар конденсатори силиндрики майдон ба симметрияи радиалӣ соҳиб мебошад, бинобар он

$$\varepsilon = -\frac{dV}{d\rho} \quad (1.8.6)$$

Дар асоси (1.8.6) формулаи (1.8.5) – ро, яъне шарти бемухолифатро дар конденсатори силиндрики ҳаракат кардани зарраро ба таври зерин менависем.

$$e \frac{dV}{d\rho} = \frac{m\vartheta^2}{\rho} \quad (1.8.7)$$

қиммати $m\vartheta^2$ – ро аз $\frac{m\vartheta^2}{2} = eV_0$ ба формулаи (1.8.7) мегузорем.

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dV}{2V_0} \quad (1.8.8)$$

Агар радиуси беруна ва дохили конденсаторро бо ρ_2 ва ρ_1 ва потенциали сафҳаи обклаткаи беруниро бо V_k ва дохилро бо 0 ишора кунем ва (1.8.8) – ро интегронем, он гоҳ

$$\int_{\rho_1}^{\rho_2} \frac{d\rho}{\rho} = \frac{1}{2V_0} \int_0^{V_k} dV \quad (1.8.9)$$

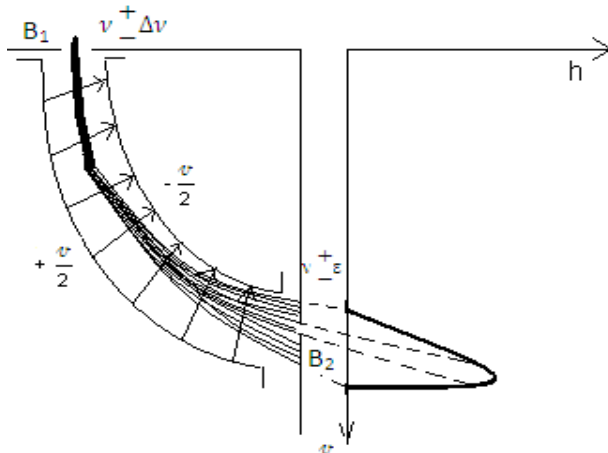
аз ин ҷо: $\ln \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{V_k}{2V_0}$, ё ин ки

$$V_k = 2V_0 \ln \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (1.8.10)$$

Аз ин ҷо дида мешавад, ки ба ҳар як қиммати фарқи потенциал V_k сафҳаи конденсатор, қиммати муайяни энергия V_0 мувофиқ меояд, ки бо ин энергия зарраҳо метавонад аз конденсатор гузаранд. Ҳамин тариқ маълум мешавад, ки вобаста ба фарқи потенциал дар конденсатори силиндриқӣ зарраҳои суръаташон муайянро қонундод кардан мумкин аст.

Дар расми 1.8.4 тарзи положиш аз суръати зарраҳо бо конденсатори силиндриқӣ нишон дода шуда аст. Чи хеле, ки дида мешавад зарраҳо бо

суръати $\vartheta \pm \Delta\vartheta$ аз сӯроҳии B_1 ба конденсатор дохил шуда аз сӯроҳии B_2 бо суръати $\vartheta \pm \varepsilon$ мегузаранд. Яъне зарраҳои суръати гуногун дошта аз B_2 гузашта наметавонанд. Танҳо зарраҳои суръати $\vartheta \pm \varepsilon$ дошта аз B_2 мегузаранд (қонундод аз рӯи суръат мегузаранд). Дар тарафи рости расм тасвири графیکی тақсимилавиши электронҳо аз рӯи суръат то положиш ва баъди положиш сатҳи рах-рах карда шуда, нишон дода шудааст.



Расми 1.8.4

г) Конденсатори Юз ва Рожанский. Яке аз хусусиятҳои муҳими конденсатори Юз ва Рожанский дар он аст, ки вай қобилияти сели зарраҳои оҳиста парокандашавандаро қонундод кардан дорад. Юз ва Рожанский ба таври назариявӣ ва таҷрибавӣ нишон доданд, ки агар сели зарраҳое, ки аз ягон сӯроҳии S баромада парокандашуда ба конденсатори цилиндрикӣ дохил шуда пас аз камони $\frac{\pi}{\sqrt{2}} = 127^\circ$, $17'$ - ро дар конденсатор тай намуда, боз аз нав қонундод мешаванд.

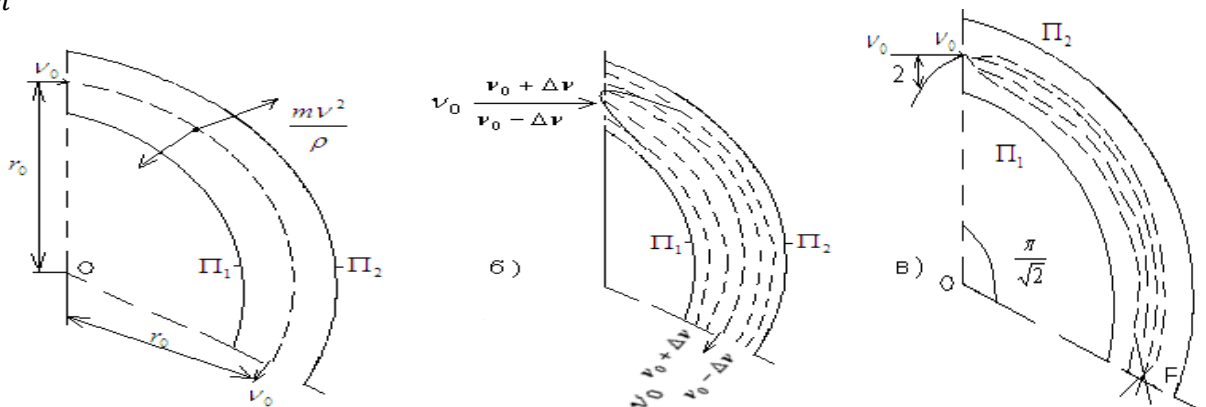
Тарзи кори ингуна конденсаторҳоро дида мебароем. Дар ҳолате, ки зарра бо тири конденсатор дохил мешавад ва аз он мебарояд, ба шарте, ки агар $\frac{m\vartheta_0^2}{2} = eV_0$ иҷро шавад. Агар зарра дорои фарқи потенциалҳои аввала V_0 шитобонидашуда бошад, он гоҳ

$$\frac{m\vartheta_0^2}{2} = eV_0; \quad e\varepsilon = \frac{2eV_0}{\rho_0} \quad (1.8.11)$$

аз ин ҷо

$$\varepsilon = \frac{2eV_0}{\rho_0}. \quad (1.8.12)$$

Ҳамин тавр барои он ки зарра ба конденсатор дохил шуда вобаста ба $\frac{e}{m}$ боз аз он барояд, бояд шарти (1.8.11) иҷро шавад.



Расми 1.8.5

Агар энергияи зарраҳои ба конденсатор дохил шуда ба $e(v_0 + \Delta v)$ бошад, он гоҳ қувваи марказгурез расми 1.8.5; 1.8.6; 1.8.7.

$$F_{\text{ч}} = \frac{m(\vartheta_0 + \Delta\vartheta_0)^2}{\rho_0} > e\varepsilon$$

мешавад. Бинобар он зарраҳо ба тарафи лавҳаи Π_2 майл мекунад. Баъд онҳо аз конденсатор ё ба наздикии лавҳаи Π_2 мебароянд, ё ки ба Π_2 расида аз конденсатор намебароянд. Агар энергияи зарраҳо $e(V_0 + \Delta V)$ бошад, он гоҳ қувваи марказгурез

$$F_{\text{м.г.}} = \frac{m(\vartheta_0 + \Delta\vartheta_0)^2}{\rho} < e\varepsilon$$

мешавад. Дар ин ҳолат зарраҳо ба тарафи лавҳаи Π_1 майл мекунад ва аз конденсатор ба лавҳаи Π_1 наздик мебарояд ё ки ба Π_2 расида аз конденсатор намебароянд (расми 1.8.6).

Агар зарра ба конденсатори камонишакл бо ягон кунҷи α ба расандаи камони радиусаи r_0 дохил шавад вай аввал аз тире конденсатор дур мешавад, чунки дар ин ҳолат муқобили равиши E майл мекунад ва ташиқкунандаи радиали суръат он кам мешавад (1.8.7).

Дар вақти α хурд будан то зарра ба сафҳаи конденсатор Π_2 расидан ташиқкунандаи радиали суръат $\vartheta_r = 0$ мешавад, баъд \bar{y} аломаташро инъикос мекунад, яъне зарра ба тир наздик шудан ҳаракат мекунад ва дар ягон нуқта \bar{y} мебурад. Ҳисобкуниҳо нишон доданд, ки ин буриш ба камони $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$ дуруст меояд. Ба монанди ҳамин дар вақти $\alpha < 0$ будан ҳам ҳоди болои мушоҳида карда мешавад. Дар ин ҳолат зарраҳо аввал ба лавҳаи Π_1 наздик шаванд, бояд аз \bar{y} дур шуда камони радиусаи r_0 дар нуқтаи F мебуранд. Ба ҳамин тариқ аз ин ҷо дида мешавад, ки зарраҳои дорои энергияи $e_1 \cdot V_0$ ба конденсатор дохил шуда бо хати сайри гуногун ҳаракат мекунад ва пас камони $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$ ро тай намудан дар нуқтаи F қонундод мешаванд. Агар буриши зарраҳо аз конденсатор мебаромадагӣ бо ҳамин кунҷ $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$ гузошта шавад, дар оянда зарраҳо рост ҳаракат мекунад. Зарраҳои энергияи $e(V_0 + \Delta V)$ дошта ба тарафи лавҳаи Π_2 қонундод шуда, зарраҳои энергияи $e(V_0 - \Delta V)$ дошта ба тарафи Π_1 қонундод мешавад.

Ба ҳамин тариқ конденсатори камонишакли кунҷи сектораи ба $127^\circ 17'$ баробар, ки якҷамъинбор аз тарафи Юз ва Роженский пешниҳод шудааст ба монанди конденсатори ҳамвор зарраҳо вобаста ба суръаташон ба тарафи мувофиқ ҷудо мекунад ва онҳоро дар хатти қонуни конденсатор қонундод мекунад.

1.9 МОНАНДИ ҚОНУНҲОИ ГЕОМЕТРИЯИ ОПТИКӢ ВА ЭЛЕКТРОНӢ. ЛИНЗАҲОИ ЭЛЕКТРОНӢ. МИКРОСКОПИ ЭЛЕКТРОНӢ.

Муайян кардани заряди хоси электронҳо ва гузариши онҳо аз майдони электрикӣ ва магнитӣ яке аз тарзҳои истифодаи онҳо мебошад. Тарзи истифодаи майлқуни ва қонундоди дастаи электронро дар майдони электрикӣ ва магнитӣ, дар бисёр асбобҳои оптикӣ дигар дидан мумкин аст. Масалан принципи кори лӯлаҳои телевизионӣ ва отселографӣ, базе намудҳои электролампаҳо, фотофузунсозҳо, микроскопи электронӣ ва ғайра ба ҳамин асос карда шудааст. Дар ин ҷо мо ба тарзи кори микраскопи электронӣ ва фотофузунсозҳо (ффе) шинос мешавем. Пеш аз он ки ба тарзи кори микраскопи электрони ва (ффе) шинос шавем аввал бо қонуни гузариши дастаи электронҳо аз муҳитҳои нишондоди шикасти гуногун дошта ва монанди ин қонунҳо қонуни геометрияи оптикӣ дида мебароем.

Аз курси оптика қонунҳои зерини геометрия маълуманд:

1. Қонуни ростхатта паҳншавии рӯшноӣ.
2. Қонуни шикасти рӯшноӣ $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$.
3. Қонуни инкоси рӯшноӣ $\alpha_1 = \alpha_2$.
4. Қонуни суперпозитсия.

Барои оптикаи электронӣ дурустии ҳар яки ин қонунҳоро алоҳида алоҳида дида мебароем:

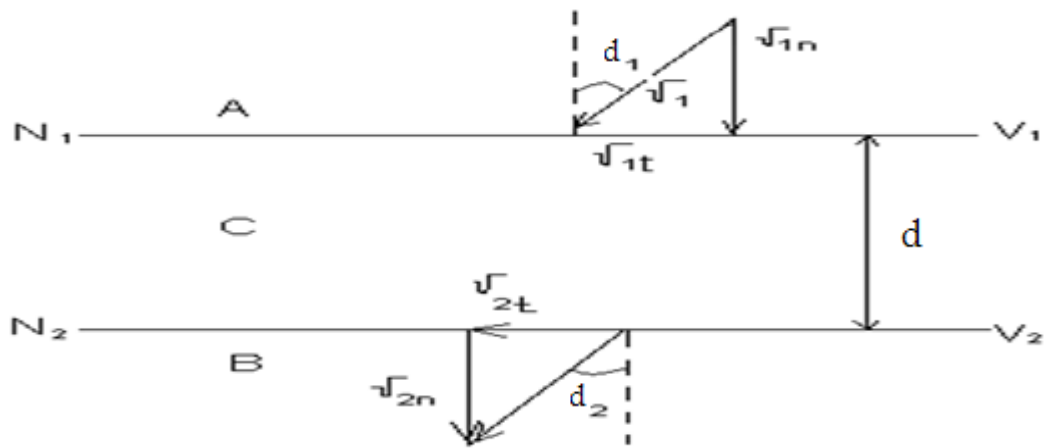
1. Дар ҳолигӣ, ки майдони электрикӣ ва магнитӣ мавҷуд нестанд дастаи электронҳо ростхатта ва мунтазам паҳн мешаванд. Ҷи хеле, ки мо медонем ба зарра дар майдони электрики ва магнители қувваи $m\vec{v} = -e\vec{E} - \frac{e}{c}[\vec{v}\vec{H}]$ таъсир мекунад. Азбаски дар ҳолиги ин қувваҳо мавҷуд нестанд

$$m\vec{v} = -e\vec{E} - \frac{e}{c}[\vec{v}\vec{H}] = 0 \quad (1.9.1)$$

мешавад. Ин ҳолат дар бисёр таҷрибаҳо тадқиқ карда шудааст.

2. Фарз мекунем, ки ду муҳити A ва B — и дорой потенциалҳои доимии V_1 ва V_2 дошта бошем. Ин муҳитҳо аз якдигар бо сатҳи эквивалентии N_1 ва N_2 маҳдуд карда шудаанд. Аз ҳамин сабаб гузариши аз муҳити A ба муҳити B вобаста аз муҳити C ба амал меояд.

Фарз мекунем, ки ϑ_1 суръате, ки электрон бо он ба N_1 мегузарад ϑ_2 — суръате, ки электрон дар муҳити B дорад. α — масофаи байни ҳамвориҳои N_1 ва N_2 . α_1 — кунҷи афтишии электрон ба ҳамвориҳои N_1 α_2 — кунҷи шикаст кунҷи байни нормали ба N_2 фуруварда шуда ва суръати электрон ϑ_2 . Вақте, ки зарра аз муҳити A ба суръати ϑ_1 таҳти кунҷи α_1 ба муҳити C дохил мешаванд. Суръати онҳо аз ҷиҳати бузурги ва равиш тағйир меёбад ва онҳо ба муҳити B бо суръати ϑ_2 дар таҳти кунҷи α_2 мебароянд ($\alpha_1 \neq \alpha_2$). Аз ин ҷо маълум мешавад, ки ҳудуди ду муҳит, ки ба потенциалҳои гуногун соҳиб мебошанд, ҷои шикасти зарраҳо мешаванд. Қуввае, ки ба зарраҳо дар муҳити C таъсир мекунад бо нормални рӯяҳои конденсатор равон карда шудааст. Аз ҳамин сабаб он танҳо ташкилдихандаи нормали суръат ϑ_{1n} — ро тағйир медиҳаду ҳалос расми 1.9.1.



Расми 19.

Ташиклдиҳандаи тангенциалӣ суръати v_{1t} доими менамояд. Аз ҳамин сабаб

$$v_{1t} = v_{2t}$$

Аз расм $\frac{v_{1t}}{v_1} = \sin \alpha_1$ ё $v_{1t} = v_1 \sin \alpha_1$ ва $\frac{v_{2t}}{v_2} = \sin \alpha_2$; $v_{2t} = v_2 \sin \alpha_2$. Аз баски $v_{1t} = v_{2t}$, $v_1 \sin \alpha_1 = v_2 \sin \alpha_2$. Аз ин ҷо

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_2}{v_1}. \quad (1.9.2)$$

Ин муодиларо ба қонуни шикасти рушноӣ қонуни скелнус

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad (1.9.3)$$

муқоиса карда мебинем, ки қонуни шикасти электронҳо бо қонуни шикасти рушноӣ монанди дорад.

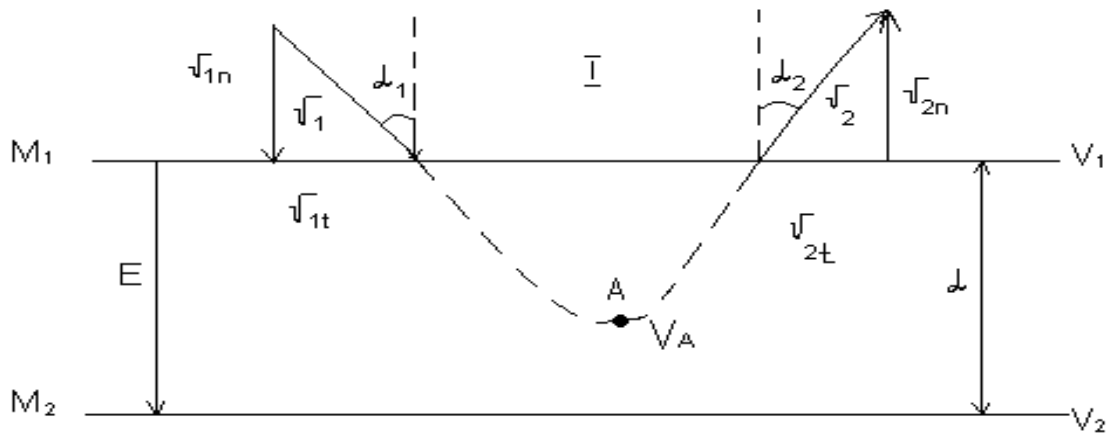
Аз қонуни шикасти рӯшноӣ (1.9.3) ва электронҳо (1.9.2) дидан мумкин аст, ки $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$ ба нисбати суръатҳои ду муҳит муайян карда мешавад, барои қунҷи ихтиёрии α бузургии доими мебошад.

Азбас, ки суръати v_1 дар муҳити А бо $\frac{mv_1^2}{2} = eV_1$; $V_1 = \sqrt{\frac{2e}{m}} V_1$ дар муҳити В, бо $\frac{mv_2^2}{2} = eV_2$; $V_2 = \sqrt{\frac{2e}{m}} V_2$ муайян карда мешавад, қонуни шикасти электрониро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n_{1,2} = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{V_2}{V_1}} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.9.4)$$

Аз ин ҷо дида мешавад, ки нишондодди шикаст n ба решаи квадрати потенциал мутаносиб мебошад. Одатан дар оптикаи электронӣ $\sqrt{V_1}$ ва $\sqrt{V_2}$ — ро нишондодди шикасти муҳитҳо барои зарраи афтанда ва нисбати $\sqrt{\frac{V_2}{V_1}}$ — ро нишондодди шикасти муҳити дуҷум нисбат ба муҳити якҷум меноманд. Ба ҳамин тарикқ мо монанди қонуни шикасти рӯшноӣ ва электрониро нишон додем.

3) Фарз кунем, ки ду тӯри зарядноки M_1 ва M_2 — и бо ҳам параллели дорои потенциалҳои V_1 ва V_2 дорем. Фарз кунем, ки $V_1 < V_2$ аз ҳамин сабаб равиши E аз M_1 ба M_2 раван карда шуда аст. $M_1 \perp E$; $M_1 \parallel M_2$ дар муҳити 1 ва 2 $E = 0$, расми 1.9.2



Расми 1.9.2

Фарз кунем, ки ба варақаи M_1 —и конденсатор дар тахти кунҷи α_1 бо суръати v_1 электронҳо меафтанд. Ин электронҳо ба фазои конденсатор дохил шуда боздошт мешаванд. Агар фарқи потенциалҳо $V_1 - V_2$ калон бошад, v_1 суръати электронҳо хурд-ташқилдиҳандаи нормали суръат v_{1n} тез ба сифр баробар мешавад. Он гоҳ фарз мекунем, ки ин ҳолат дар нуқтаи A ба амал меояд, ки дар ин ҷо фарқи потенциал ба $V_1 - V_n$ баробар аст. Аз инҷо

$$\frac{m v_{1n}^2}{2} = e(V_1 - V_2). \quad (1.9.5)$$

Аз нуқтаи A электронҳо ба қафо ба тарафи варақаи M_1 бо иштоб ҳаракат мекунад. Ташқилдиҳандаи нормали онҳо дар ин ҳолат ҳам бо

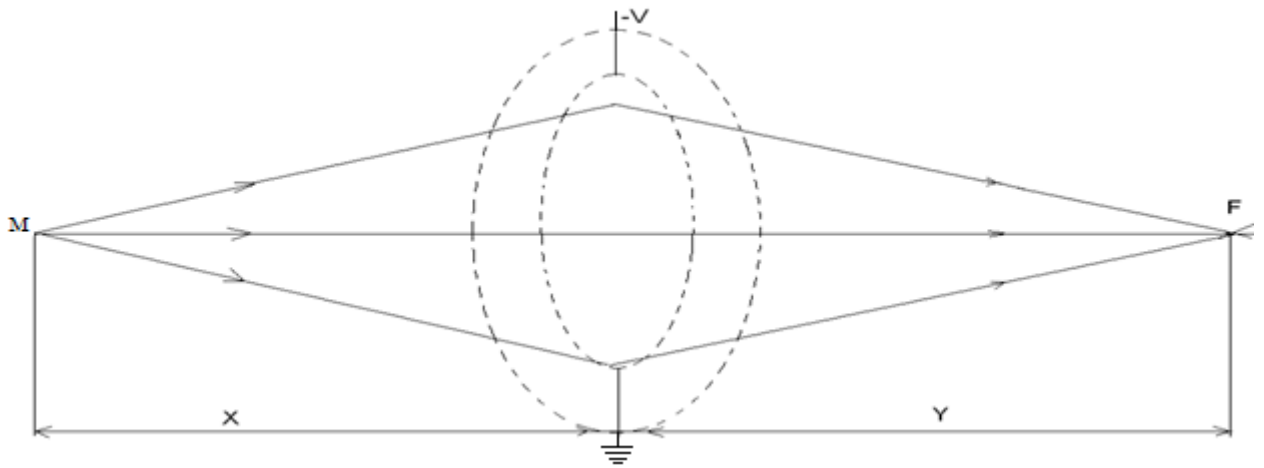
$$\frac{m v_{2n}^2}{2} = e(V_1 - V_A) \quad (1.9.6)$$

муайян карда мешавад.

Азбас ки дар формулаи (1.9.5) ва (1.9.6) тарафҳои ростшон баробаранд $v_{1n} = v_{2n}$ мешавад. Аз сабаби онки ташқилдиҳандаи тангенсали суръати электронҳои бо конденсатор дохилшаванда ва аз он бароянда $v_{1t} = v_{2t}$ суръатҳои пурраи онҳо v_1 ва v_2 ба ҳам баробаранд. Аз ин ҷо маълум мешавад, ки кунҷи афтиш α_1 ба кунҷи инкос α_2 бо ҳам баробаранд. Ба ҳамин тарикқ мо нишон додем, ки қонуни инкоси рӯшноии барои оптикаи электрони ҷой доштааст.

Қонундоди зарраҳои заряднок ба тарзи кори линзаи электронӣ асос карда шудааст. Линзаҳои электрони вобаста аз майдони (магнити ва электрикӣ) ба линзаҳои электрикӣ ё магнити тақсим мешаванд. Тарзи кори линзаҳои электрикиро дида мебароем.

Линзаҳои соддатарини электрикиро дар натиҷаи ба намуди сфера қачқунии варақаҳои конденсатор сохтан мумкин аст. Барои он ки ингуна линзаҳо барои инкоси электронҳо шафоф бошанд, рӯяҳои конденсаторро аз тӯри симин сохта будаанд, расми 1.9.3



Расми 1.9.3

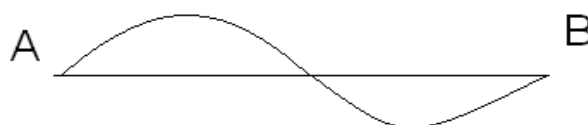
Аз сабаби он, ки ҳамаи қонунҳои гузариши электронҳо аз муҳити ба қонуни гузариши рӯшноӣ аз муҳит монанданд, бояд қонунҳои оптикаи геометрӣ барои линзаҳо барои линзаҳои электрони низ дуруст бошад. Масалан агар x ва y масофа аз манба то линзаи тунук ва аз линза то тасвир бошад, он гоҳ бояд, ки барои линзаи электронӣ формулаи зерин ҷой дошта бошад.

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{F} \quad (1.9.7)$$

F - фокуси асосии линза.

Якӯминбор барои қонундоди дастаи электронҳо ба воситаи линзаи тунук соли 1930 кӯшиши карда буданд. Лекин ингуна линзаҳо ба таври васе истифода бурда нашудаанд, чунки онҳо қонундоди саҳеҳ надоданд. Сабаб дар он аст, ки майдони электрикӣ дар назди варақаҳои конденсатор якҷинса нестанд. Инро дар расми 1.9.3 дидан мумкин аст. Хатҳои қувваги майдони электрикӣ то тӯри варақаҳои конденсатор бо нормал раван карда шудаанд – хатти яклухт. Сатҳои эквипотенсиалӣ ба хатҳои қуввагӣ перпендикуляр бошанд бо хатчаҳо нишон дода шудааст.

4. Қонуни суперпозитсия. Барои зарраҳои макроскопи ҷой доштани қонуни суперпозитсия нури рӯшноӣ аз муқоисаи равандҳои асосии оптикаи рӯшноӣ бо механикаи ҳаракати зарраҳои материалӣ дар майдони қуввагӣ истифода мебарем. Одатан дар геометрияи оптикӣ қонунҳои асосии он ба раванди ферми така мекунад. Ин раванд чунин маъно дорад: Дар муҳити нишондоди шикастаи тағйирёбандаи $n = n(x, y, z)$ роҳи ҳақиқии паҳншавии рӯшноӣ аз нуқтаи A ба нуқтаи B он роҳе мебошад, ки барои вай нисбат ба ҳамаи дигар роҳҳои имконпазир вақти кам сарф мешавад (расми 1.9.4).



Расми 1.9.4

Ба таври математики инро чунин менависем. Барои тай намудани порчаи роҳи ds барои рӯшноӣ вақти $dt = \frac{1}{v} ds = \frac{n}{c} ds$ сарф мешавад. v –

суръати пахншавии рӯшноӣ дар муҳити нишондодӣ шикасташ n – мебошад, ба суръати пахншавии рӯшноӣ дар холигӣ c – чунин вобастагӣ дорад:

$$v = \frac{c}{n}. \quad (1.9.8)$$

Агар баробарии (1.9.8) ҷой дошта бошад, он гоҳ барои тай намудани роҳи байни A ва B вақти зерин сарф мешавад:

$$t_A - t_B = \int_A^B \frac{n}{c} ds = \frac{1}{c} \int_A^B n ds \quad (1.9.9)$$

Ин вақт бояд, ки дар асоси принципи Ферма аз ҳама хурдтарин (минималӣ) бошад. Яъне вариатсияи якуми он ба сифр баробар шавад.

$$\delta(t_A - t_B) = \delta \frac{1}{c} \int_A^B n ds = 0 \quad (1.9.10)$$

ё ки

$$\delta l(t_A - t_B) = \delta z = \delta \frac{1}{c} \int_A^B n(x, y, z) ds = 0 \quad (1.9.11)$$

Дар ин, ҷо Z – дараҷаи роҳи оптикӣ мебошад, ки ба ҳосили зарби вақта тайнамуда бар суръати рӯшноӣ дар холигӣ C баробар аст. Дар механика раванди таъсири хурдтарин мавҷуд аст, ки дар асоси он зарраҳои материалӣ дар зери таъсири майдони қуввагӣ ҳаракат мекунад ва он қиммати хурдтарин дорад, он гоҳ

$$\delta \int_A^B p ds = \delta \int_A^B m v ds = \delta \int_A^0 \sqrt{2mw} ds = 0 \quad (1.9.12)$$

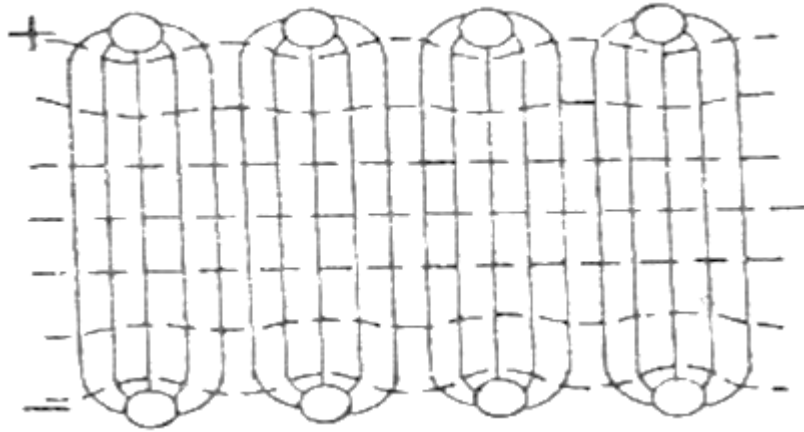
Азбаски дар майдони электростатикӣ $w_{\text{кин}} = eV$ он гоҳ:

$$\delta \int_A^B \sqrt{2meV} ds = \delta \sqrt{2me} \int_A^B \sqrt{V} ds \quad (1.9.13)$$

Яъне дар ин ҷо ҳолати $\int_A^B n ds = \int_A^B \sqrt{V} ds$ ҷой дошта аст. Яъне аз ин ҷо чунин хулоса мебарояд, ки ҳаракати электрон дар майдони электрикӣ потенциалаш $U(x, y, z)$ ба ҳаракати рӯшноӣ дар муҳити нишондодӣ шикасташ $n = \sqrt{\epsilon}$ монанд будааст.

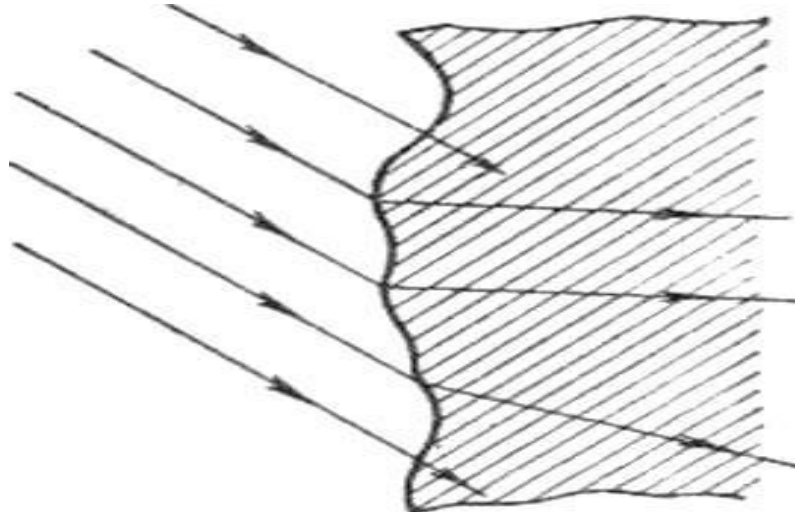
Иҷрошавии раванди Ферми дар оптикаи электронӣ нишон медиҳад, ки зарраҳои заряднок дар майдони электрикӣ бо хатти сайри ҳаракат мекунад, ки барои тай намудани он вақти аз ҳама камтар сарф мешавад.

Чӣ хеле, ки аз расми 1.9.4 дида мешавад хатҳои қуввагӣ дар назди варақаҳои конденсатор якҷинса нестанд. Аз ҳамин сабаб вобаста ба ҷои афтиши зарраҳо ба майдон, зарраҳо ба тарзҳои гуногун шикасти мекунад. Тарзи қонундодӣ ин гуна линза аз тӯри симин сохта шуда ба тарзи қонундодӣ нури рӯшноӣ ба линзаи ноҳамвор монанд аст. Масалан дар расми 1.9.5 шикасти нури рӯшноӣ дар оинаи сатҳаш ноҳамвор нишон дода шудааст. Чи хеле, ки дида мешавад вобаста ба ҷои афтиш нурҳо шикасти гуногун мешавад.



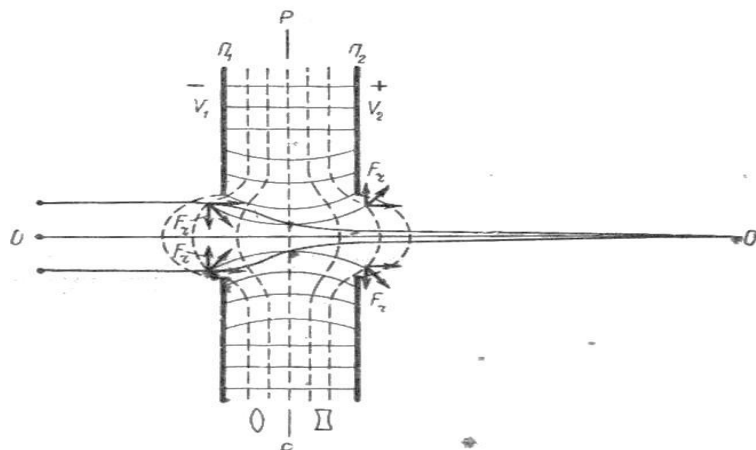
Расми 1.9.4

Одатан барои қонундоди зарраҳои заряднок он линзаҳои истифода бурда мешавад, ки ба воситаи онҳо зарраҳо мунтазам ба майдони электрики бо ягон тире симетри буда қонундор мешавад. Тарзи кори ингуна линзаҳо ро дида мебароем. Барои тарзи кори линзаи электрикиро дида, фарз мекунем, ки ду варақаи ҳамвориши π_1 ва π_2 , ки дар байни онҳо майдони электрики ба вуҷуд оварда мешавад, дода шуда бошад.



Расми 1.9.5

Дар ин варақаҳо сӯроҳии якхелаи доирашакл бурида шудааст, ки маркази онҳо бо тире OO' ба ҳамвориши $\Pi_1\Pi_2$ перпендикуляр мехобад, майдони электрики дур аз сӯроҳ ва дар қанорҳои варақаи $\Pi_1\Pi_2$ якҷинса буда дар назди сӯроҳи ғайриякҷинса мебошад расми 1.9.6



Расми 1.9.6

Фарз кунем, ки электронҳо бо рваиши тири $00'$ ба суръати $v_0 = \sqrt{\frac{2e}{m} V_1}$

бо рваиши хатҳои қуввагии ҳаракат карда конденсатори $\Pi_1\Pi_2$ – ро мегузаранд. Дар ин ҳолат гарчанде бузургии суръат тағйир ёбад ҳам аммо рваиши тағйир намеёбад. Вақте, ки электронҳо ба болотар ё поёнтари тири $00'$ ҳаракат карда ба майдони конденсатор дохил мешавад ба онҳо ба тарафи чапӣ ҳамвори PP' қувваи радиали F_r – и ба тири $00'$ равон шуда таъсир мекунад. Вақте, ки электронҳо ба тарафи ростӣ PP' гузаштанд қувваи радиалӣ баракс таъсир мекунад, яъне аз $00'$ ба боло ё поён. Аз ин ҷо дида мешавад, ки рваиши электронҳо дар тарафи чапӣ ҳамвори PP' ба $00'$ наздик шуда, дар тарафи ростӣ баракс мешавад. Аз гуфтаҳоямон чунин хулоса мебарояд, ки электронҳо бо кадом рваише, ки ба конденсатор дохил шуда бошанд, бояд боз ба ҳамон рваии бароянд. Аммо дар ҳақиқат ин тавр нест. Суръати ҳаракати электронҳои ба тарафи $00'$ нигаронида шуда дар қисми чапӣ PP' нисбат ба тарафи ростӣ кам яъне хурд аст. Аз ин ҷо вақте ки барои ҳамвори чапро тай кардан сарф мешавад Δt_1 нисбат ба тарафи рост мегузаистагӣ Δt_2 калон аст. Аз ҳамин сабаб қувваи радиалӣ $F_r \Delta t_1$ ба тири $00'$ равон карда шуда аз қувваи радиалии $F_r \cdot \Delta t_2$, ки электрон дар тарафи ростӣ PP' мегузарад калон мебошад. Бинобар он қобилияти қонундод кардани майдон дар тарафи рост аз ғайриқонундод кардан дар тарафи чап калон мебошад. Аз ҳамин сабаб дастаи электронҳои паралели аз тарафи чап ба майдон дохилшаванда дар ягон нуқтаи O' ҷамъ мешавад.

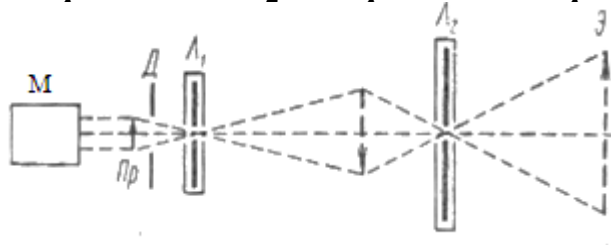
Агар аломати фарқи потенциалҳоро дар варақаҳои конденсатор иваз кунем, ҳам зарраҳои ба конденсатор дохилшуда дар ягон нуқта ҷамъ мешавад. Дар ин ҳолат қисми якуми майдон чун линзаи парокандакунанда ва қисми дуюмаи чун линзаи ҷамъкунанда хизмат мекунад, лекин дар ин ҳолат қобилияти қонундод кардани зарраҳо дар тарафи рост бо линзаи ҷамъкунанда нисбат ба қобилияти линзаи парокандакунанда пурзӯртар мебошад. Аз ҳамин сабаб зарраҳо дар ягон нуқта дар тири симетри ҷамъ мешавад.

Раванди кори линзаҳои электроники магнити ба тарзи қонундоди сели электронҳо ба воситаи майдони магнити қадди асос карда шуда аст. Фарқ дар он аст, ки дар линзаҳои электроники магнити қонундод ба воситаи майдони магнити ғайриҷамъинса ба вуҷуд оварда мешавад, ки хатҳои қуввагӣ ба тири линзаи электроники магнити симетрики мебошад.

Линзаҳои электроники истифода бурда микроскопи электрони сохтаанд. Чи хеле, ки маълум аст қобилияти калон карда нишондиҳии микроскопҳои оптикӣ аз сабаби ҷой доштани ҳодисаи дифраксионӣ, маҳдуд мебошад. Онҳо ду нуқтаи объект дар масофаи аз дарозии мавҷ хурд ҷойгиршударо ҷудо карда нишон дода наметавонанд. Ин ҳолат қувваи оптикии микроскопҳои оптикиро то ду се ҳазор маротиба маҳдуд мекунад. Ҳодисаи дифраксия барои электронҳо ҳам ҷой дорад, лекин ҳаминтавр бошад ҳам, қобилияти калонкардани нишондиҳии объект барои электронҳои суръаташон

калон ($\sim 10^5$ эВ) дар микроскопи электрони ба якчанд тартиб аз микраскопҳои оптикӣ калонанд.

Дар расми 1.9.7 речай микраскопи электрони оварда шудааст, ки тарзи кори вай ба микраскопи проексионӣ оптикӣ монанд аст. Микраскопи дар ин ҷо оварда шуда аз элементҳои асоси иборат аст: аз манбаи электронҳо бо линзаи конденсорӣ И, сӯроҳи пас аз ҷисм гузошташудаи Д, линзаи объективӣ Л₁, линзаи проексионӣ Л₂ ва экрани Э – иборат мебошад.

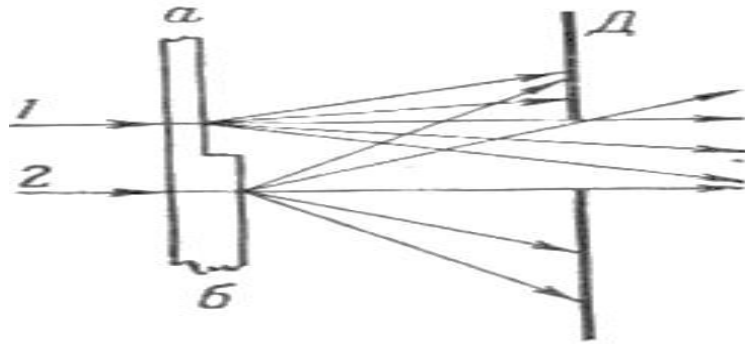


Расми 1.9.7

Электронҳои аз катод баромадагӣ бо воситаи линзаи конденсорӣ ба объекти ҷисм ҷамъ карда мешаванд. Баъд онҳо аз объект гузашта ба воситаи линзаи объективӣ Л₂ ба масофае, ки дар он объект тасвири калон шударо дорад қонундод карда мешаванд. Баъд электронҳо, ки аз тасвири калон кардашудаи объект мегузаранд бо линзаи проексионӣ ба экрани Э қонундод карда мешаванд. Дар ин ҷо яъне дар экран тасвири якчанд маротиба калон шудаи объект намудор мешавад. Тасвири дар экран ҳосилшуда сиёҳу сафед мебошад. Сабаб дар он аст, ки он ҷойҳое, ки электронҳо аз ҷисм ба экран бисёртар омада мерасанд ториктар намудор шуда, он ҷойҳое, ки электронҳо аз ҷисм кам омада мерасанд равшантар намудор мешавад.

Дар микраскопи оптики қисмҳои гуногуни ҷисм дар намуди ранги равшану ториктар намудар мешаванд. Сабаб дар он аст, ки дар ингуна микраскопҳо қисмҳои гуногуни ҷисм рӯшноиро ба тарзҳои гуногун фурӯ мебаранд. Ин ҳолатро барои микраскопҳои электрони бо ду сабаб истифода бурдан мумкин аст. Сабаби якум дар он аст, ки агар як миқдори электронҳо ба ягон ҷои объект зиёд фурӯ бурда шаванд, мумкин аст энергияи ин электронҳо ба энергияи гармӣ табдил ёфта объектро вайрон кунанд. Сабаби дуюм дар он аст, ки агар як миқдор электронҳо бисёр энергияшонро барои фурӯбари сарф кунанд, яъне агар онҳо ба тарзҳои гуногун фурӯ бурда шаванд, фарқияти энергияи электронҳои аз объект мегузаштагӣ бисёр калон шуданиш мумкин аст. Дар ин ҳолат энергияи кинетики электронҳои аз қисмҳои гуногуни объект ба линза омада мерасадагӣ гуногун мешаванд, линза ин гуна электронҳоро қонундод карда наметавонад. Дар натиҷа тасвири предмет ҳосил намешавад.

Фарқият дар миқдори электронҳои ба экран омада мерасидагӣ дар микраскопи электронӣ дар он аст, ки электронҳо дар қисмҳои гуногуни ҷисм бо атомҳои он бо тарзҳои гуногун таъсир чандирӣ карда аз он бо тарзҳои гуногун иникос мешаванд,



Расми 1.9.8

Масъалан агар қисми гуногуни объект ғафсихои гуногун дошта бошад, он гоҳ аз қисми тунуктари он “а” дастаи электронҳо I бо кунҷи хурдтар иникос шуда мебароянд. Аз қисми ғафсии объект “б” бошад дастаи электронҳои 2 нисбат ба қисми “а” бо кунҷи калон иникос мешаванд. Аз ҳамин сабаб миқдори электронҳо аз қисми “а” иникос шуда аз сӯроҳи Д бисёртар мегузаранд ва тасвири ҳамон ҷои ҷисм ториктар мешавад. Ба ҳамин тариқ суроҳи нас аз ҷисм гузошта шуда дар микраскопи электронӣ роли калонро мебозад (нигаред ба расми 1.9.8).

Дар микраскопи электронӣ тасвири ду нуқтаи дар масофаи 20 \AA ҷойгир бударо мушоҳида кардан мумкин аст. Қобилияти калон карда нишондиҳии объект дар онҳо то $2 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^5$ мерасад. Онҳо нисбат ба микраскопи оптикӣ зиёда аз 2000 маротиба қобилияти калонкунии ҷисмро доранд. Аз ҳамин сабаб дар замони ҳозира микраскопи электронӣ ба таври васе истифода бурда мешавад.

Боби 2. 2.1 ИЗОТОПҲО. УСУЛҲОИ МУАЙЯНКУНИИ МАССАИ АТОМҲО

Дар ҷадвали Менделеев вазни элементҳои гуногун, ки бо усулҳои химиявӣ муайян карда шудаанд ба ададҳои бутун баробар набуда балки ба ададҳои касри баробаранд. Масалан агар вазни атоми оксигенро ба 16 баробар гӯем вазни атоми неон ба 22,2; вазни атоми хлор ба 35, 45 баробаранд ва ҳоказо. Сабаб дар он аст, ки атоми ҳар як элемент аз якчанд атомҳои дорои хусусияти физикави ва химияви якхелаю дорои вазни атоми гуногун иборат мебошад. Изотонҳо гуфта, он моддаҳоеро меноманд, ки дар ҷадвали элементҳои Менделеев як ҷойро ишғол мекунанд, лекин вазни атоми гуногуни доранд. Усулҳои химиявӣ вазни атоми ҳар як элементро бо қимати миёнаи ҳаммаи изотопҳои ба атоми омӯхташавандаи дахлдор муайян мекунанд, бинобар он вазни атоми элементҳо ба адади бутун баробар набуда балки ба адади касрдор баробар мешаванд.

Аз ин ҷо масалаи муайян кардани массаи ҳақиқии атомҳо ба миён меояд. Барои муайян кардани массаи ҳақиқии атомҳо усулҳои истифода бурда мешавад, ки онҳо ба майлқунии ионҳои мусбати газҳои гуногун дар майдони электрикӣ ва магнитӣ асос карда шудаанд. Ин хел усулро якҷуминбор Дж.Дж.Томсон соли 1910 пешниҳод карда буд.

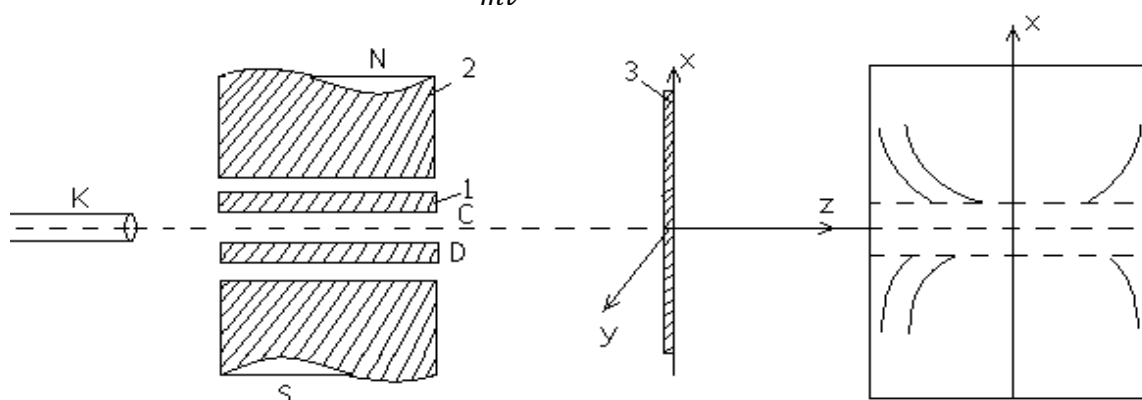
2.2 УСУЛИ ПАРАБОЛА (ТОМСОН)

Усули Томсон бо омӯхтани тарзи ҳаракати сели зарраҳои каналӣ, ки таркиби онҳо асосан аз ионҳои мусбат иборат мебошад дар майдони электрикӣ ва магнитӣ асос карда шудааст. Ғайр аз ионҳои мусбат дар таркиби ионҳои канали ионҳои манфӣ ва нейтралӣ, ки дар натиҷаи рекомбинасияи ионҳои мусбат бо электронҳо дар фазои берун аз катод пайдо мешавад, мавҷуд мебошад.

Тарзи муайянкуни массаи атомҳо бо методи Томсон чунин аст. Сели зарраҳои каналӣ аз коллиматори K гузафта ба фазои майдонни электрикӣ ва магнитӣ равишҳои параллелӣ ё ғайрипараллелӣ дошта дохил мешавад. Дар зери таъсири майдони электрикӣ ва магнитӣ зарраҳо ба тарафҳои ба ҳам муқобил (пенпендикуляр) майл мекунанд расми 2.1.1. Ин майлқуни дар майдони электрикӣ $X = OA$ буда дар майдони магниту $Z = OB$ мебошад, ё ки :

$$Z = \frac{e}{mv} A \quad (2.2.1)$$

$$X = \frac{e}{mv^2} B \quad (2.2.2)$$



Расми 2.2.1

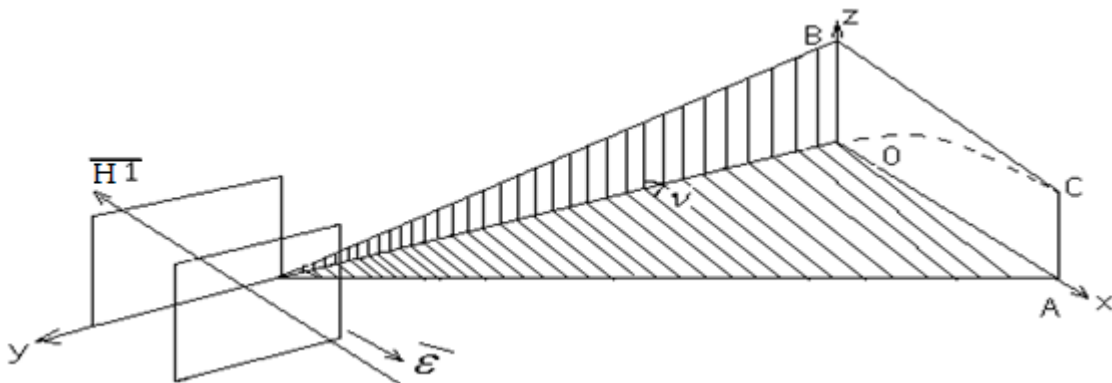
Агар сели ионҳои дар майдони электромагнитӣ ҳаракат карда суръатҳои якхела дошта бошад, дар экран нуқтаи C ҳосил мешавад, расми 2.2.2. Агар зарраҳо ғайри якҷинса бошанд, яъне суръатҳои гуногун дошта бошад, он гоҳ дар экран хати каҷи OC ҳосил мешавад, ки муқобилаи онро меёбем. Аз формулаи (2.2.1) ва (2.2.2), баробарии (2.2.1)-ро бо квадрат бардошта ба (2.2.2) тақсим карда, суръатро хориҷ мекунем. Пас чунин баробариро ҳосил мекунем:

$$\frac{Z^2}{X} = \frac{A^2}{B} \cdot \frac{e}{m}. \quad (2.2.3)$$

Агар ионҳо масса ва заряди якхела дошта бошад он гоҳ $\frac{e}{m} = \text{const}$ ва (2.2.3) намуди зеринро мегирад:

$$Z^2 = kX, \quad (2.2.4)$$

ки дар ин ҷо $k = \frac{A^2}{B} \cdot \frac{e}{m} = \text{const}$.



Расми 2.2.2

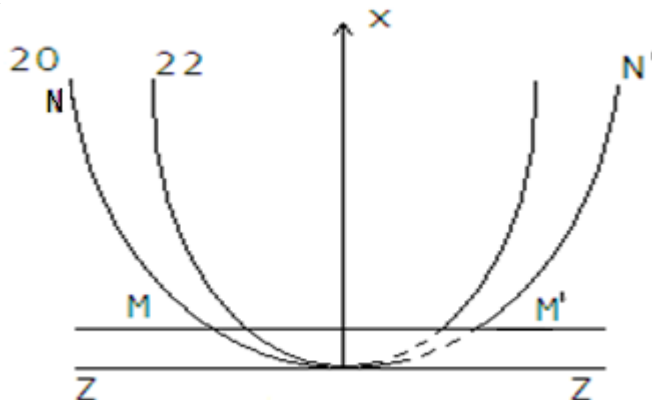
Аз ин ҷо маълум мешавад, ки хатти қачи дар экран ҳосил шуда аз як порчаи хатти қачи парабола иборат мебошад.

Ба ҳамин тарик агар зарраҳои массаҳои якхелаю суръатҳои гуногун дошта бошад як порча хатти парабола ҳосил мешавад, ки муодилаи онро боз ба ин намуд навиштан мумкин аст.

$$z^2 \cdot \frac{m}{e} = \frac{A^2}{B} x. \quad (2.2.5)$$

Чи хеле, ки аз муодилаҳои (2.2.1) ва (2.2.2) дида мешавад бузургҳои майлқунии Z ва X – ро дар майдони электрикӣ ва магнитӣ дониста A ва B – ро аз шартҳои таҷриба муайян карда, массаи изотопҳоро бо осони муайян кардан мумкин аст. Ҳар як парабола ба як изотопи атоми мувофиқ меояд. Параболаҳои гуногун ба изотопҳои гуногун мувофиқ меоянд.

Барои бузургии майлқуниро дар ордината чен кардан, аввал координатаро ёфтан зарур аст, бинобар он аломати майдони магнитиро тағйир дода ба дигар тарафи тири координата хатҳои параболии M'N' – ба MN симетриро ҳосил мекунанд. Аввал координата ба зарраҳои дар вақти E ва H баробари сифр будан ба экран омада мерасидагӣ қайд карда мешавад. Баъд бузургии майлқунии зарраҳоро дониста, массаи атомҳоро муайян мекунанд, расми 2.2.3



Расми 2.2.3.

Якӯмин элементе, ки Томсон бо ин усул таҳлил карда буд элементи неон, вазни атомиаш 20,2 мебошад. Ҷу ду параболаро ҳосил кард, ки онҳо ба изотопҳои вазни атомиаш ба 20 ва 22 – и неон дуруст меоянд.

Ба ғайр аз элементи неон бо ин усул таркиби изотопи элементҳои гуногун муайян карда шудааст. Қобилияти ҷудокунии изотопҳо бо усули парабола то он дараҷае мебошад, ки вай ду изотопи аз якдигар бо массааш ба 1/600 фарқ мекардагиро муайян карда метавонад. Бо вуҷуди он ин усул аз хатогихо содир нест.

Камбудии асосии ин сабоб калон набудани “қувваи оптики” он мебошад. Нуқтаҳои атомҳо дар экран ҳосил мекардаги дар қади хати парабола ба таври парешон ҷойгир мешаванд. Ин сабаби дар экран ба таври новозеҳ ҳосилшавии хати параболи мешавад. Агар хати параболи борик ва сахтеҳ набошад, бузургии K –ро дар формулаи (2.2.4) ва массаи атомҳоро аниқ муайян кардан мумкин нест. Барои ба таври борику сахтеҳ ҳосил кардани хати параболи бояд, ки андозаи сӯроҳии катоди лулаи тахлиявиро ки аз он ионҳо мебароянд, хурд кардан даркор аст. Дар вақти иҷро кардани ин шарт барои ба таври сахтеҳ ҳосил кардани хати параболи вақти бисёри экспозитсия лозим аст. Агар вақти намоиш (экспозитсия) калон гирифта шавад, он гоҳ душвории дигар пайдо мешавад. Ин ҳам бошад бисёр душвор будани доимии нигоҳ доштани майдони H ва E дар тамоми вақти намоиш мебошад. Бинобар он барои тезтар ва сахтеҳтар муайян кардан массаи изотопҳо зарурияти кор карда баромадани усулҳои нав ва сохтани асбобҳои мукаммалтар лозим буд. Яке аз ингуна асбобҳо масатайфсанчи Астон мебошад.

2.3 МАСАТАЙФСАНЧҲО

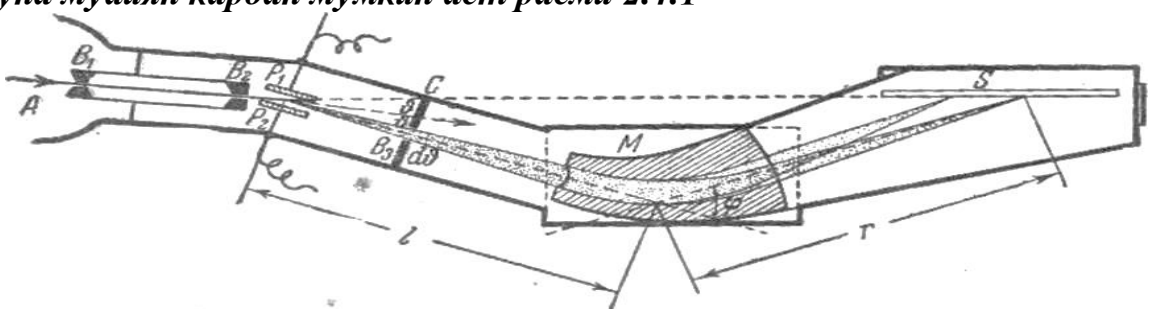
Асбоби Томсон ҳам масатайфсанч мебошад, лекин вай баъзе норасоихо дошт, ки массаи атомҳоро бо сахтеҳии калон муайян кардан душвор буд. Ин норасоихо чунинанд:

1. Ба воситаи асбоби Томсон фақат изотопҳои массаашон аз якдигар то 1/600 фарқ мекардагиро ҷудо кардан мумкин буд;
2. Аз сабаби носаҳтеҳии асбоб, бузургихои майлқуниро аниқ муайян кардан бисёр душвор буд.

Барои ин хатогихоро бартараф кардан чунин масатайфсанчҳо сохта шудаанд, ки тарзи кори онҳоро дида мебароем.

2.4 МАССАТАЙФСАНЧИ АСТОН

Астон норасоихои усули Томсонро ба назар гирифта асбоберо сохт, ки бо воситаи он на балки массаи якхеларо, балки миқдори онҳоро дар намуна муайян кардан мумкин аст расми 2.4.1



Расми 2.4.1.

Дар масатайфсанчи Астон равиши майдони магнити бар хилофи усули Томсон (дар усули Томсон равиши E ва H ба таври паралелӣ ё гайри паралелӣ равонанд) ба равиши майдони электрикӣ перпендикуляр равона карда шудааст, яъне равиши майдонҳо дар масатайфсанчи Астон чунин гирифта шудааст, ки дар онҳо майлқунии сели ионҳо дар E баринҷикоси майлқунии дар H мебошад. Реҷаи масатайфсанчи Астон дар расми 2.4.1 нишон дода шуда аст. Ионҳои мусбат аз лулаи тахлия, ки дар фишори хеле хурд кор мекунад баромада ба сӯроҳии $B_1 B_2$ дохил мешавад. Аз сӯроҳии дастаи ионҳои паралел ба конденсатори $P_1 P_2$ мегузаранд. Дар майдони электрикӣ ин конденсатор ионҳоро бо энергияшон дисперсия кунанда дастаи ионҳоро васеъ мекунонад, яъне ионҳои ба конденсатор дохил шуда ба $\frac{e}{m\vartheta^2}$ – мутаносиб буда, ба ҳамвориш нақша майл кунанда мешавад. Баъд як миқдор ионҳои бо конденсатори $P_1 P_2$ васе карда шуда аз сӯроҳии D гузашта ба электромагнити M , ки майдони H -ро ба вуҷуд меоварад ва равиши он ба E перпендикуляр аст, дохил мешаванд. Равиши майдони магнитиро чунин интиҳоб мекунам, ки зарраҳои заряднокро ба тарафи боло баринҷикоси E майл кунанд. Пас дар экрани S чунин зарраҳои ҳаме мешаванд, ки онҳо массаи якхела суръатҳои гуногун доранд.

Азбаски майлқуни дар майдони электрикӣ бо квадрати суръат мутаносиби чап мебошад, ионҳои энергияи хурд дошта бо таъсири E нисбат ба ионҳои энергияи калон дошта калонтар майл мекунам. Дар майдони магнити бошад радиуси қаччи хати сайри ионҳо бо формулаи

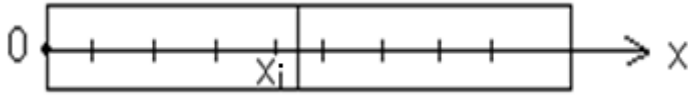
$$\rho = \frac{m\vartheta}{eH} \quad (2.4.1)$$

муайян карда мешавад, ва ρ ба $\frac{m\vartheta}{e}$ мутаносиб мебошад. Бинобар он ионҳое, ки дар майдони электрикӣ бо бузургии калон майл кардаанд, дар майдони магнитӣ бо хатти сайрӣ радиуси қаччи хурд ҳаракат мекунам. Бинобар он майдони магнитиро чунин интиҳоб мекунам, ки вай ионҳои m/e – и якхелаю суръатҳои гуногун доштаро дар ягон нуқтаи M – и экран ҳаме кунанд.

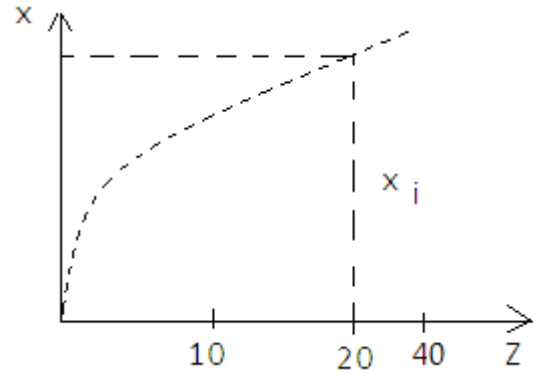
Чӣ хеле, ки аз фор (2.4.1) дида мешавад майдони магнити қобилияти бо дисперсия кунонидани ионҳоро низ дорад. Бинобар он ионҳои дорои m/e -и гуногун ба нуқтаҳои гуногуни экрани S омада мерасанд, ва дар он хати борикӣ сиёҳро ҳосил мекунам. Ҳар яки ин хати борик ба як изотони элементи муайян мувофиқ меояд.

Барои муайян кардани вазни атоми ионҳо бо масатайфсанчи Астон онро дараҷабанди кардан лозим аст. Масалан, барои ин манбаи ионҳоро яъне лулаи тахлиявиро бо гази элементҳои муайян пур карда, дар фотолаҳқа хатҳои борикӣ ба он элементҳо мувофиқ меомадагиро ҳосил мекунам. Баъд масофаи фокуси ин элементҳо x_i – ро нисбат ба ягон нуқтаи интиҳоби O ҳисоб карда, графика дараҷабандиро сохтан мумкин аст (расми 2.4.2). Чӣ хеле, ки аз ин расм дида мешавад, агар мо масофаи x_i –ро донем бо осони вазни атоми элементи ба он мувофиқ омадагиро муайян карда метавонем,

расми 2.4.2 ва 2.4.3. Шарти қонундод карданро дар асбоби Астон дида мебароем.



Расми 2.4.2.



Расми 2.4.3

Агар масофаи байни конденсатор то маркази магнит l – бошад ва масофаи аз маркази магниту то экран r бошад, зарра дар вақти майдони магниту $H = 0$ будан дар зери таъсири майдони электрики E бо кунҷи $d\vartheta$ парвоз карда масофаи $(l + r)$ - ро тай мекунад.

Агар $H \neq 0$ бошад, он гоҳ зарраҳои ҳаракат карда бо таъсири H ба кунҷи $d\varphi$ масофаи $r d\varphi$ -ро тай мекунад. Шарти қонундоди он аст, ки бояд ҳардуи майлқуниҳо баробари сифр шаванд, яъне

$$(l + r)d\vartheta - r d\varphi = 0. \quad (2.4.2)$$

Азбаски майлқуни дар майдони электрики ба

$$Z = \frac{e}{m\vartheta^2} B; \quad B = \frac{a^2}{2} \varepsilon; \quad Z = \frac{e}{2m\vartheta^2} a^2 \varepsilon, \quad (2.4.3)$$

a – дарозии конденсатор. Аз инҷо майлқуни барои кунҷи хурд чунин мешавад.

$$\vartheta \approx \operatorname{tg} \vartheta = \frac{Z}{a} = \frac{e}{2m\vartheta^2} a \varepsilon; \quad (2.4.4)$$

$$\vartheta v^2 = \frac{1}{2} \frac{e}{m} a \varepsilon = \operatorname{const}. \quad (2.4.5)$$

Аз ин ҷо дифференциал гирифта ҳосил мекунем:

$$v^2 d\vartheta + \vartheta 2v dv = 0,$$

ё ки

$$\frac{d\vartheta}{\vartheta} = -2 \frac{dv}{v} \quad (2.4.6)$$

Агар L – дарозии магнит бошад, кунҷи майлқунии φ бо таъсири майдони магниту баробар мешавад:

$$\varphi = \frac{l}{\rho} = \frac{e}{mv} LH; \quad \rho = \frac{mv}{e} \frac{1}{H} \quad (2.4.7)$$

Аз инҷо

$$v\varphi = \frac{e}{m} LH = \operatorname{const}, \quad v d\varphi + \varphi dv = 0, \quad \frac{d\varphi}{\varphi} = -\frac{dv}{v} \quad (2.4.8)$$

Баробариҳои (2.4.6) ва (2.4.8) – ро ба (2.4.2) гузошта ҳосил мекунем:

$$l d\vartheta + r d\vartheta - r d\varphi = 0, \quad (2.4.9)$$

$$2l\vartheta \frac{d\vartheta}{\vartheta} + r \left(-2\vartheta \cdot \frac{d\vartheta}{\vartheta} + \varphi \frac{d\vartheta}{v} \right) = 0, \quad (2.4.10)$$

$$\frac{d\vartheta}{v} [(\varphi - 2\vartheta)r - 2l\vartheta] = 0 \quad (2.4.11)$$

Азбаски $\frac{dv}{v} \neq 0$ аст, бинобар он бузургҳои дохили қавси баробари сифр аст, яъне

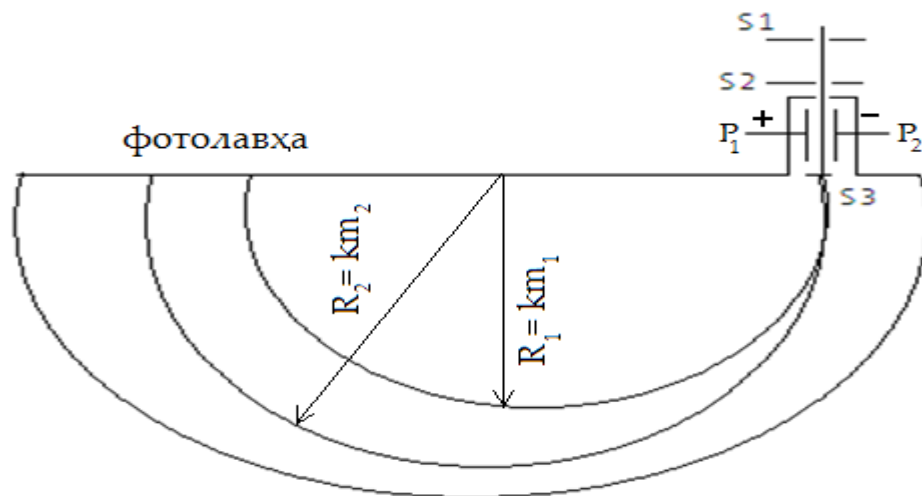
$$(\varphi - 2\vartheta)r - 2l\vartheta = 0; \quad (\varphi - 2v)r = 2lv$$

Ин аст шартӣ қонундодӣ ионҳо дар масатайфсанҷӣ Астон. Ба ҳамин тариқ дар масатайфсанҷӣ Астон бо воситаи фотолавҳа тайфи ба изотопҳои муайян мувофиқ меодадагиро гирифта массаи онҳоро муайян кардан мумкин аст. Барои ин аввал масатайфсанҷро бо элементи массаи муайян дошта дараҷабандӣ карда мешавад.

2.5 МАССАТАЙФСАНҶӢ БЕЙНБРИДЖ

Сели ионҳои каналӣ аз сӯрохиҳои s_1 ва s_2 гузашта ба полоиши суръатҳо дохил мешаванд. Зарраҳо аз ин полоиши баромада бо массаҳои гуногун ва суръатҳои якхела ба майдони магнито дорои 15000 эрстед буда дохил мешаванд. Радиуси қатъии нимдоираи зарраҳо кашидагӣ баробар аст, расми 2.5.1

$$\rho = \frac{mv}{eH}. \quad (2.5.1)$$



Расми 2.5.1

Азбаски суръати ҳамаи ионҳо доимӣ ва массашон гуногун, бинобар он радиуси доиравӣ дар зери таъсири H мекашидагӣ ионҳо $\rho = \text{const} * m$. Дар асоси ин масофаи хатҳо ҳам дар экран аз ягон нуқтаи ҳисобот ба m мутаносиб мебошад. Бинобарон дар масатайфсанҷи Бейнбридж барои ҳисобкунии массаи изотопҳо миқёси хатти, ки ба воситаи он массаи моддаҳои омӯхташавандаро муайян карда мешавад.

БОБИ II

2.6 ВОБАСТАГИИ МАССА АЗ СУРЪАТ. МАФҲУМ ДАР БОРАИ НАЗАРИЯИ НИСБИЯТ

Қимати дар боби аввал муайян кардаи масса m ва заряди хос $\frac{e}{m}$ -и электронҳо барои электронҳои бо суръати хурд $\frac{v}{c} = \beta \ll 1$ дуруст мебошад. То нимаи дуйӯми асри XIX массаи ҳаргуна ҷисмро новобаста аз суръат доими мешумориданд. Чен кардани $\frac{e}{m}$ -и электронҳо бо суръати калон ҳаракат карда нишон дод, ки массаи ҷисмҳо дар вақти ҳаракат кардани онҳо бо суръатҳои калон доими наменонанд. Барои инро нишон додан таҷрибаи зеринро дида мебароем.

Фарз кунем, ки манбаи электронҳо моддаи радиофвёол бошад ва электронҳои аз он мебаромадагӣ аз майдони электрикӣ ва магнитӣ бо якдигар паралел ё гайри паралел гузаронида шавад, он гоҳ бузургҳои майлқуни дар майдони электрикӣ ба

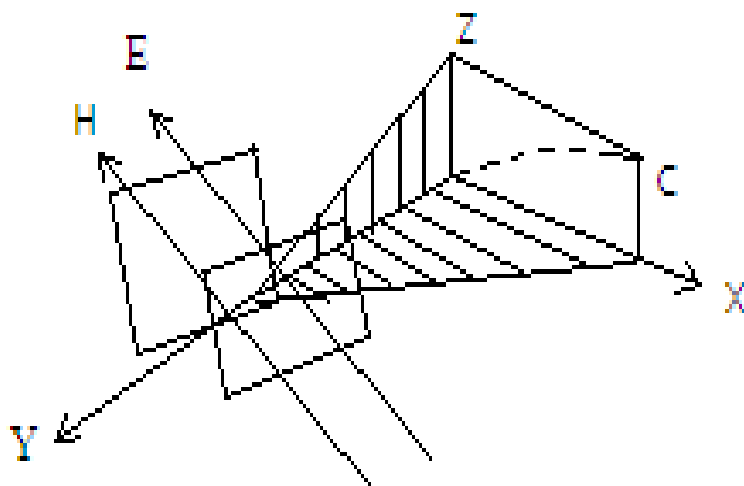
$$X = \frac{e}{mv^2} B \quad (2.6.1)$$

ва магнитӣ

$$Z = \frac{e}{mv} A \quad (2.6.2)$$

мешавад.

Агар ҳамаи электронҳои аз манба ба майдон дохил шуда суръатҳои якхела дошта бошанд, он гоҳ онҳо дар зери тасири майдон ба ягон нуқтаи координатаи X ва Y омада мерасанд. Дар нақша нуқтаи C расми 2.6.1 агар



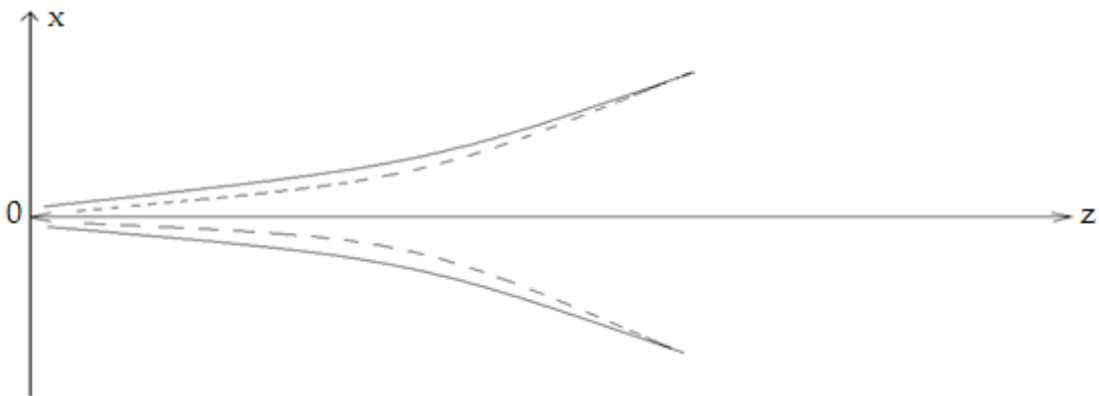
Расми 2.6.1

электронҳо суръатҳои гуногун дошта бошанд чи хеле, ки дар боло овардем, онҳо дар экран хати қачеро ҳосил мекунанд, ки вай як қисми парабола мебошад. Муодилаи он хати қач (хати сайрӣ ҳаракати электронҳо), чунин аст:

$$Z^2 = kx, \quad (2.6.3)$$

дар ин ҷо $k = \frac{A^2 e}{B m}$.

Параболаҳои ҳосилшударо дар расми зерин (расми 2.6.2) бо хати қанда



Расми 2.6.2

канда тасвир кардан мумкин аст. Агар электронҳо суръатҳои калон дошта бошанд (v ба C наздик бошад) ва онҳо аз майдони электрикӣ ва магнитӣ гузаронида шаванд онҳо дар экран параболаеро ҳосил мекунанд, ки вай нисбат ба хати параболаи дар вақти электронҳо бо суръати хурд аз майдони электрики ва магнители гузаштан ҳосилшуда дар боло меҳобад (хати яклухт дар расми 2.6.2). Ин нишон медиҳад, ки бо калонишавии суръат массаи ҷисмҳо тағйир меёбад.

Ин ҳолатро якҷуминбор 4 сол пеш аз пайдоиши назарияи нисбӣ Кауфман мушоҳида карда буд. Вай инчунин мушоҳида кард, ки фарқияти хатҳои параболи бо калонишавии суръати электронҳо калон мешаванд.

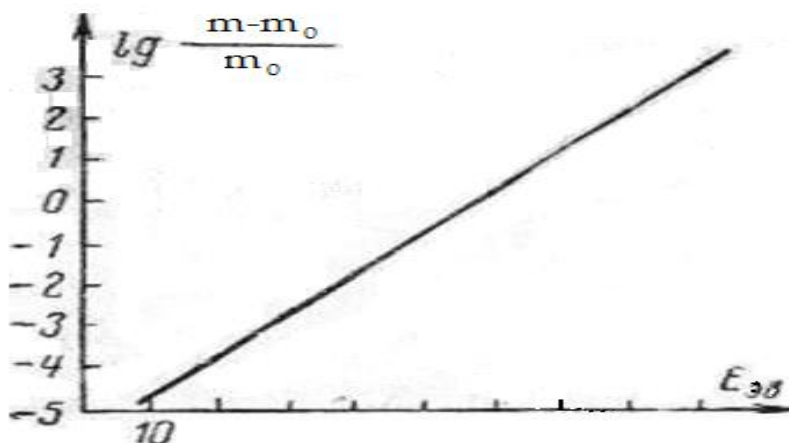
Маънидоди вобастагии масса аз суръат соли 1905 аз тарафи Эйнштейн бо назарияи нисбии \bar{y} дода шуда буд. Мувофиқи ин назария массаи ҳамагуна ҷисмҳо бо суръат вобастагии зерин дорад:

$$m(v) = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2} \quad (2.6.4)$$

Дар ин ҷо β нисбати суръати зарра v бо суръати рӯшноии C , m_0 – масса дар вақти $v \rightarrow 0$ (массаи оромӣ).

Ҷадвали 2.6.1

$E, \text{ эВ}$	10	10^3	10^5	10^7
β	$0,006$	$0,06$	$0,55$	$0,999$
$\frac{m(v)}{m_0}$	$1,00002$	$1,002$	$1,2$	$22,4$



Расми 2.6.3

Дар қадвали 2.6.1 якчанд қимматҳои $\frac{m(v)}{m_0}$ – и бо формулаи (2.6.4)

ҳисоб карда шуда, барои энергияи гуногуни зарраҳо оварда шудааст.

Дар расми 2.6.3 вобастагии $\frac{m-m_0}{m_0}$ аз E оварда шудааст. Аз қадвали 2.6.1 ва расми 2.6.3 дида мешавад, ки фарқият дар тағйирёбии масса асосан барои суръатҳои калони электронҳо нағз мушоҳида карда мешавад.

Аз формулаи (2.6.4) дида мешавад, ки дар ягон қисми массааш аз сифр ($m_0 > 0$) фарқ мекардагиро бо ягон қувва шитобонидан гирем, шитоби \bar{v} бо калонишавии суръат хурд шуда, дар охир ҳангоми $\beta \rightarrow 1$ ба сифр баробар мешавад.

Аз ин ҷо хулоса мебарояд, ки ягон қисм суръати ҳаракаташ аз суръати рӯшноӣ калон ё бо он баробар шуда наметавонад. Ҳангоми суръати қисм бо суръати рӯшноӣ наздик шудан қувваи ба қисм таъсиркунанда суръати \bar{v} ро наафзоянда балки барои зиёдишавии массаи \bar{v} сарф мекунад.

Зиёдишавии масса бо калонишавии суръат ҳолати хусуси қонуни умуми табиат мебошад, ки ин қонун вобастагии массаи қисмҳоро бо энергияшон алоқаманд мекунад. Барои инро нишон додан ҳолати зеринро дида мебароем.

Фарз кунем, ки ба қисм дар воҳиди роҳи ds қувваи F таъсир мекунад. Он гоҳ тағйирёбии энергияи кинетики зарраҳо чунин навиштан мумкин аст.

$$dw = Fds \quad (2.6.5)$$

Азбаски дар асоси (2.6.4) масса бузургии доими нест қувваро дар асоси қонуни дуюми Нютон чунин навиштан мумкин аст.

$$F = \frac{d(mv)}{dt} \quad (2.6.6)$$

Аз инҷо тағйирёбии энергияи кинетикии зарра:

$$dw = \frac{d(mv)}{dt} ds, \quad (2.6.7)$$

азбаски

$$\frac{ds}{dt} = v; \quad dw = v d(mv) = v^2 dm + m v dv. \quad (2.6.8)$$

Формулаи (2.6.4) – ро ба квадрат бардошта онро ба намуди зерин менависем:

$$(m(v))^2 = \frac{m_0^2}{c^2 - v^2}; \quad (m(v))^2 (c^2 - v^2) = m_0^2 c^2 \quad (2.6.9)$$

$$m^2 c^2 = m^2 v^2 + m_0^2 c^2 \quad (2.6.10)$$

Аз инҷо дифференциал гирифта ҳосил мекунем:

$$2m c^2 dm = 2m v^2 dm + 2m^2 v dv$$

Ҳар ду тарафро ба $2m$ тақсим мекунем:

$$c^2 dm = v^2 dm + m v dv \quad (2.6.11)$$

(2.6.11) - ро ба (2.6.8) гузошта ҳосил мекунем:

$$dw = c^2 dm. \quad (2.6.12)$$

Аз (2.6.12) интеграл гирифта ҳосил мекунем:

$$\int_0^w dw = c^2 \int_{m_0}^m dm; \quad w = m c^2 - m_0 c^2 \quad (2.6.13)$$

Формулаи (2.6.13) намуди релятивии энергияи кинетикии зарраҳо мебошад. Чи хеле, ки мо медонем энергияи кинетикии барои зарраҳои бо суръати хурд ҳаракат карда бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$w = \frac{mv^2}{2} \quad (2.6.14)$$

Агар v - бисёр хурд бошад он гоҳ (2.6.13) намуди зеринро мегирад:

$$w = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) = m_0 c^2 \left[\left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{2} \frac{v^4}{c^4} + \dots \right) - 1 \right] = m_0 c^2 \cdot \frac{v^2}{2c^2} = \frac{1}{2} m_0 v^2 \quad (2.6.15)$$

Аз инҷо маълум мешавад, ки дар вақти v бисёр хурд будан (2.6.13) ба энергияи кинетикии намуди классики дошта табдил меёбад. Формулаи (2.6.13) – ро ба намуди зерин ҳам навиштан мумкин аст

$$E = mc^2 = m_0 c^2 + w. \quad (2.6.16)$$

Дар ин ҷо $E = mc^2$ - энергияи пурраи ҷисм; $m_0 c^2$ – энергияи оромии ҷисм, w – энергияи кинетикии.

Ба ҳамин тариқ мо нишон додем, ки энергияи пурраи ҷисм ба ҳосили зарби масса ба квадрати суръати рӯшноӣ баробар будааст.

$$E = mc^2 \quad (2.6.17)$$

Дар бисёр ҳолатҳо ин формуларо қонуни Эйнштейн меноманд. Онро ба намуди зерин ҳам навиштан мумкин аст

$$E = mc^2 = m_0 c^2 / \sqrt{1 - \beta^2}; \quad \beta^2 = \frac{v^2}{c^2}. \quad (2.6.18)$$

Ин формуларо ба квадрат бардошта ба намуди зерин менависем:

$$E^2 c^2 - E^2 v^2 = m_0^2 c^6 \quad (2.6.19)$$

Азбаски $E = mc^2$ ва импульси зарра $\rho = mv$ мебошад (2.6.19) – ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$E^2 c^2 - \rho^2 c^4 = m_0^2 c^6 \quad \text{ё ки} \quad E = \sqrt{\rho^2 c^2 + m_0^2 c^4} \quad (2.6.20)$$

Ин формула вобастагии энергияи пурраро аз импульс нишон медиҳад. Дар инҷо мо бо ҳамин ҳолатҳо маҳдуд мешавем. Ба ҳолатҳои асоси назарияи нисби дар курси дигари физика шинос мешавем.

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; \quad v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{w}{m_0 c^2}\right)^2}}. \quad (2.6.21)$$

Барои электрон - e : $m_0 c^2 = 9,1 \cdot 10^{-28} \cdot 9 \cdot 10^{20} = 0,511$ мЭВ.

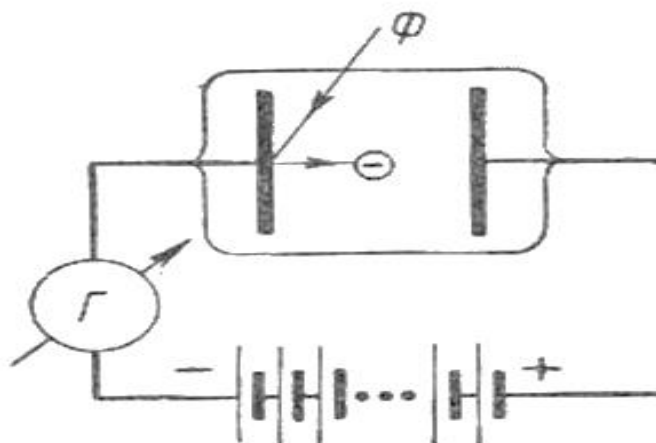
Барои протон - p : $m_0 c^2 = 1,67 \cdot 10^{-24} \cdot 9 \cdot 10^{20} = 1,503 \cdot 10^{-3}$ эрг = 938 мЭВ.

Барои электрон $w \gg m_0 c^2$; $v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{w}{m_0 c^2}\right)^2}} = 2,8 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сон}}.$

Барои протон $w < m_0 c^2$; $w = mv^2/2$; $v = \sqrt{\frac{2w}{m_0}} = 1,4 \cdot 10^9 \frac{\text{см}}{\text{сон}}.$

Боби 3. 3.1 ХУСУСИЯТҲОИ КОРПУСКУЛАВӢ НУРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТӢ. ФОТОЭФФЕКТ ВА НАЗАРИЯИ ЭЛЕКТРОМАГНИТИИ РӢШНОӢ

Дар вақти бо рӯшноии равшанкунии электроди манфӣ, дар дохили балони вакуми гузошташуда дар занҷири беруна ҷараён ҷори мешавад. Сабаби дар занҷир ҷори шавиш ҷараён дар он аст, ки дар вақти электродоро бо рӯшноии равшан кардан вай аз ҳудуши зарраҳои манфӣ заряднокро мебарорад ва ин зарраҳо бо таъсири фарқи потенциалҳои дар байни анод ва катод гузошта шуда аз катод ба анод ҳаракат карда ба он мерасанд. Ченкуни бузургии $\frac{e}{m}$ - и зарраҳои аз катод баромада нишон доданд, ки онҳо электронҳо мебошанд, расми 3.1

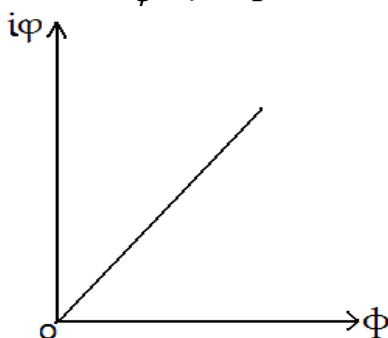


Расми 3.1

Ҳодисаи хориҷкунии электронҳо аз ҷисмҳои сахт (ё газҳо) бо таъсири рӯшноии ҳодисаи фотоэффект ё ҳодисаи фотоэлектрикӣ номида мешавад. Электронҳои аз катод хориҷ шуда дорои энергияи гуногун мебошад.

Энергияи онҳо аз $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$ мин то $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$ мак. тағйир меёбад. Барои фотоэффект бояд қонунҳои зерин ҷой дошта бошанд:

1. Қувваи фотоҷараёни дар занҷир ҷоришаванда i_ϕ (дар шароити яқхела) ба сели қувваи рӯшноии ϕ ба фотокатод афтанда мутаносиб мебошанд, Қонуни Столетов $i_\phi \sim \phi$, расми 3.2

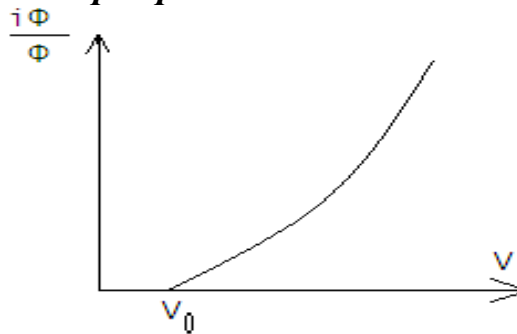


Расми 3.2

2. Барои фотокатоде додашуда, ҳодисаи фотоэффект дар ҳамон вақт мушоҳида карда мешавад, ки агар басомади рӯшноии фотокатодро

равшанкунанда v аз ягон басомади муайян ν_0 калон шавад, яъне бояд, ки $v > \nu_0$ бошад ҳудуди басомади ν_0 ки вай тайфро ба қисми фотоактивӣ (фотофаълӣ) ва гайри фотоактивӣ ҷудо мекунад сарҳади сурхи фотоэффект номида мешавад.

Сарҳади сурхи фотоэффект барои фотокатодҳои гуногун гуногун мешавад. Бузургии нисбати қувваи фоточараён i_ϕ ба сели қувваи рӯшноӣ $\phi \left(\frac{i_\phi}{\phi} \right)$ бо зиёдшавии v (нисбат ба ν_0) зиёд мешавад. Инро дар расми 3.3 дидан мумкин аст. Вобастагии $\frac{i_\phi}{\phi}$ аз басомади v барои фотокатоде додашуда тавсифи тайфи фотокатод номида мешавад.



Расми 3.3

3. Таксимоти фотозлектронҳо бо энергияи кинетикии аввалашон $\frac{m_0 v^2}{2}$ (энергияи кинетикии аввала) аз сели қувваи рӯшноӣ вобаста мебошад.

4. Энергияи кинетикии максималии фотозлектронҳо $\frac{1}{2} m_0 v^2$ бо калонишавии басомади хатти калон мешаванд, яъне

$$\left. \frac{1}{2} m_0 v^2 \right|_{max} = a + b\nu. \quad (3.1)$$

5. Фотоэффект дорoi инерсия намебошад. Ҳодисаи фотоэффект пас аз равшанкунии фотокатод тез мушоҳида карда мешавад ва баъд аз қат гардидани равшанкуни тез қат мешавад. Ин вақт тақрибан ба 10^{-10} сон баробар аст.

Ҳодисаи фотоэффект аз нуқтаи назари назарияи электромагнитӣ чунин фаҳмонида мешавад; вақте, ки рӯшноӣ ба фотокатод меафтад майдони даври тағйирёбандаи электрикии мавҷи рӯшноӣ дар дохили фотокатод қувваи даври тағйирёбандаи ба электрон таъсиркунандаро ба вуҷуд меорад. Баъд электронҳо дар зери таъсири ин қувва лапшиҳои маҷбури иҷро мекунанд. Агар энергияи қабул кардаи электрон калон бошад, яъне агар энергияи электрикӣ мавҷи электромагнители рӯшноӣ электронҳоро то дараҷае ба лапшии оварда тавонад, ки энергияи \bar{y} барои бартарафкардани кори баромади фотокатод баробар ё зиёд шавад, электронҳо аз фотокатод баромада мераванд.

6. Аммо бисёр қонунҳои фотоэффектро ба ин назарияи электромагнители фаҳмонидан душвор мебошад. Масалан дар зери таъсири мавҷҳои электрикӣ ба лапшии омадан ва пас аз ягон миқдор энергияро қабул карда аз фотокатод баромадани электронҳо бояд, ки барои ягон басомади резонансии шиоӣ рӯшноӣ, қиммати максимали дошта бошад. Агао $\nu_{рез}$ аз ин қиммат хурд ё калон шавад, баромади электронҳо кам

мешавад, дар натиҷа ҷараён ҳам кам мешавад. Аммо ин ба қонуни дуйӯми фотозффе́кт муқобил мебошад. Чи хеле ки дар расми 3.3 нишон додем бо зиёдашавии ν ҷараён зиёд мешавад.

7. Аз тарафи дигар дар асоси ин назария чӣ қадаре, ки сели энергияи рӯшноӣ ба фотокатод афтада зиёд бошад, яъне чи қадаре, ки амплитудаи лапшиши майдони электрикӣ мавҷи рӯшноӣ калон бошад амплитудаи лапшиши электронҳо ҳам бояд ҳамонқадар калон шавад ва онҳо аз фотокатод бо суръати калон баромада мераванд. Чи хеле, ки таҷрибаҳои нишон дод бо зиёдашавии сели энергияи рӯшноӣ суръати электронҳо тағйир намеёбад - қонуни сейӯми фотозффе́кт.

8. Чи хеле, ки дар боло нишон додем суръати ба лапшиши омада ва энергияи мавҷи рӯшноиро қабул кардани электронҳо аз ν вобаста мебошад. Бинобар он дар асоси ин назария бояд, ки суръати ибтидоӣ ва суръати максималии фотозлектронҳо аз ν вобаста бошад. Дар ин ҷой ҳам ба қиммати максималии соҳибшавии суръати фотозлектронҳо $(v_0)_{\max}$ ба ягон $\nu_{\text{рез}}$ вобаста мебошад, вай (яъне ν) дар қиматҳои аз $\nu_{\text{рез}}$ хурд ё калону хурд мешавад. Ин ҳам ба қонуни чорӯми фотозффе́кт муқобил мебошад.

Дар охир қонуни дорои инерсия набудани фотозффе́ктро ҳам бо ин назария фаҳмонидан мумкин нест. Масалан агар фотокатодӣ N электрон дошта бо сели энергияи рӯшноӣ ϕ_1 равшан карда шавад, он гоҳ энергияе, ки як электрон мегирад ба $\frac{\phi_1}{Nd}$ баробар мешавад. Дар ин ҷо d – бузургии ба фотокатод дохилишавии рӯшноӣ; $d \sim 5 \cdot 10^{-5}$ см. Вақте, ки дар муддати он электрон ба худ энергияи ба қори аз фотокатод баромада λ баробарро ҷам мекунад бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$\tau = \lambda Nd / \phi_1 \quad (3.2)$$

Агар $x = 3\text{эВ} = 5 \cdot 10^{-12}$ эрг; $N \sim 3 \cdot 10^{22}$ 1/см³; $d \sim 5 \cdot 10^{-5}$ см бошад, он гоҳ $\tau = 8 \cdot 10^{10} / \phi_1$ мешавад. Агар $\phi_1 = 1\text{ЭРГ/см}^2 \cdot \text{сон}$. бошад (фотозэлементҳои ҳозира сели энергияи рӯшноӣ 10^{-5} эрг/см² сон – ро нағз ҳис мекунад). $8 \cdot 10^6$ сон. мешавад. Агар $d = 5 \cdot 10^{-8}$ см бошад, $\tau = 8 \cdot 10^3$ сен = 2 соат мешавад. Чихеле, ки аз ин ҷо дида мешавад, ба қонуни панҷуми фотозффе́кт ҳеҷ дуруст намеояд. Бинобар он фотозффе́ктро ба назарияи электромагнитии рӯшноӣ маънидод кардан мумкин нест.

3.2 НАЗАРИЯИ КВАНТИИ РҶШНОӢ. МАЪНИ ДОДКУНИИ ҲОДИСАИ ФОТОЭФФЕКТ БО НАЗАРИЯИ КВАНТИИ РҶШНОӢ.

Яке аз сабабҳои пайдоиши назарияи квантӣ рӯшноиро соли 1905 Эйнштейн пешниҳод карда буд, дуруст маънидод карда натавонистани бо назарияи электромагнитӣ ҳодисаи фотозффе́кт мебошад. То пайдоиши ин назария, Планк ба физика фаҳмиши квантии рӯшноиро дохил карда буд. Аз рӯи фаҳмиши Планк атомҳо ё ин ки системаи атомҳои аз худашон рӯшноӣ басомади ν доштара хориҷ мекардагӣ ва рӯшноӣ дорои басомадро фурубурдагӣ энергияи худашонро фақат метавонанд бо порсияҳои муайян $h\nu$ тағйир диҳанд. Сабаби ин мумкин дар он бошад, ки худи рӯшноиро аз

порсияҳои муайяни энергияшон ба $h\nu$ баробар иборат бошанд. Инро ба назар гирифта Эйнштейн назарияи квантии рӯшноиро пешниҳод кард. Дар асоси назарияи рӯшноӣ, мавҷи электромагнитие, ки миқдори муайяни энергияро ба атомҳо медиҳад, инҳо сели порсияҳои энергия (кванти рӯшноӣ, фотонҳо) мебошанд, ки аз тарафи атомҳо ё ки электронҳо бо порсияҳои муайян $h\nu$ ё бароварда мешаванд. Энергияи кванти рӯшноӣ бо $\varepsilon = h\nu$ муайян карда мешавад.

Механизми фотоэффект бо назарияи квантии рӯшноӣ чунин фаҳмонида мешавад. Электрони дар фотокатод буда фотонро $h\nu$ бурда энергияи кинетикии худ K_0 –ро ба бузургии $h\nu$ зиёд мекунад ва дар натиҷа дорони энергияи кинетикии $K = K_0 + h\nu$ мешавад. Ин электрон ба тарафи катод ҳаракат карда як миқдор энергияи худ ΔK –ро дар натиҷаи бархӯрд бо электронҳои дигар сарф мекунад ва ба катод бо энергияи $K'' = K_0 + h\nu$ мерасад. Агар энергияи боқимондаи \bar{y} барои бартараф кардани майдони электронҳои дар сатҳи катод нигоҳ медоштагӣ кифоягӣ кунад вай кори бо $e\phi$ баробарро иҷро карда ба берун бо энергияи кинетикии K''' мебарояд, яъне

$$K''' = \frac{mv^2}{2} = K_0 + h\nu - \Delta K - e\phi. \quad (3.2.1)$$

Дар асоси назарияи классикӣ электрони $K_0 = \frac{3}{2}kT$ дар температураи нормалии бисёр хурд мебошад, бинобарон K_0 –ро ба назар нагирифтани мумкин мебошад:

$$K''' = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - \Delta K - e\phi \quad (3.2.2)$$

Акнун қонуни фотоэффектро ба таври зерин мефаҳмонем:

1. Сели энергияи рӯшноӣ дар асоси назарияи фотони рӯшноӣ ба

$$\phi = N_\phi h\nu \quad (3.2.3)$$

баробар мебошад. Дар инҷо N_ϕ – адади фотонҳои дар воҳиди вақт ба воҳиди сатҳи фотокатод афанда мебошад. Зиёдагии интенсивнокии сели энергияи рӯшноӣ басомади ν –дошта, ба зиёдагии зичии сели фотонҳои N_ϕ – и ба сатҳи катод афанда сабаб мешавад. Бинобарон чи қадре, ки N_ϕ зиёд бошад, ҳамон қадар электронҳо дар катод бисёр ба ангезиш меоянд ва ҳамон қадар аз катод зиёдтар хорҷ мешаванд. Ин ба қонуни 1-мӣ фотоэффект $i_\phi \sim \phi$ дуруст меояд.

2. Барои онки фотонҳо ба электронҳо энергияи аз катод хориҷшавиш имконпазирро дода тавонанд, бояд энергияи онҳо $h\nu$ аз энергияи минималии $h\nu_0$ –и ба $e\phi$ баробар, калон бошад, яъне

$$h\nu > h\nu_0 \cong e\phi. \quad (3.2.4)$$

Ин ба қонуни дуюми фотоэффект дуруст меояд. Чӣ тавреки аз инҷо дида мешавад басомаде, ки ба сарҳади сурхи фотоэффект дуруст меояд ба кори баромади электрон аз сатҳи фотокатод вобаста мебошад. Аз муодилаҳои (3.2.3) ва (3.2.4) энергияи кинетикиро ба таври зерин навиштан мумкин аст.

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - h\nu_0 - \Delta K = h(\nu - \nu_0) - \Delta K \quad (3.2.5)$$

Дар вақти $v \sim v_0$ будан фақат электронҳои дар сатҳи катод мавҷуд буда қобилияти аз катодҳо баромадан дораду ҳалос. Чӣ хеле, ки фарқ $(v \sim v_0)$ калон бошад ҳамон қадар электронҳо бузургии калони ΔK – ро бартараф карда метавонанд ва ҳамон қадар аз қабатҳои чуқуртарӣ катод баромада метавонанд. Ин сабаби зиёдашавии i_ϕ бо зиёдашавии $(v \sim v_0)$ мешавад.

3. Аз муодилаи (3.2.2), аз зичии сели рӯшноии ϕ вобаста набудани ν намоён мебошад. Суръати электронҳо аз зичии сели фотонҳо вобаста набуда балки аз энергияи фотонҳо, қори баромади аз фотокатод ва сарфшавии энергия барои ангезиши дигар электронҳо вобаста мебошад.

4. Электронҳои аз катод баромада дар ҳамон вақт дорои энергияи максимали кинетикӣ мешаванд, ки агар $\Delta K = 0$ бошад. Дар ин ҳолат

$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\text{мач}} = h\nu - e\phi \quad (3.2.6)$$

Ин формулаи Эйнштейн барои фотозэффект мебошад. Агар ин муодиларо ба муодилаи қонуни (3.2.4) $\left(\frac{1}{2}mv_0^2\right)_{\text{мач}} = a + b\nu$ муқоиса кунем, дар муодилаи (3.2.6) $a = e\phi$ буда $b = h$ мебошад.

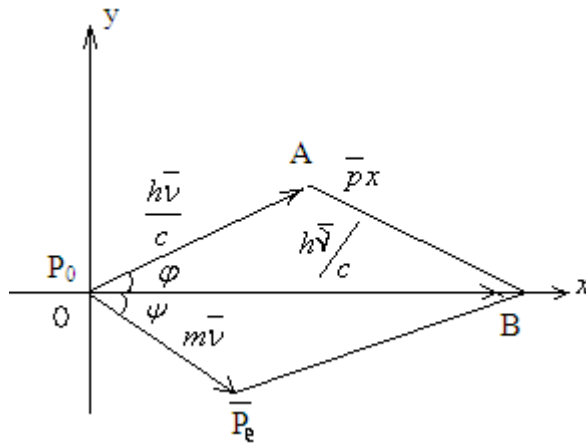
5. Дорои иннерсия набудани фотозэффект чунин фаҳмонида мешавад; дар вақти ба фотокатод рӯшноии раво кардан энергияи ϕ ба ҳамаи Nd электронҳои ягон қабати d , ки ба он рӯшноии дохил мешавад тақсим нашуда балки фақат $\frac{\phi}{h\nu} = N\phi$ – электронҳои онҳо дар як сония энергияро бо порсия $h\nu$ дар як рӯйдоди баҳамтаъсиркунии қабул мекунанд. Бинобар он пас аз рӯшноии ба сатҳи фотокатод афтидан дар ҳамон замон электронҳои дорои энергияи $h\nu$ пайдо мешавад ва агар ин энергия $h\nu > e\phi$ бошад дар занҷир фоточараён ҷори мешавад.

Ба ҳамин тариқ назарияи фотони рӯшноии ҳодисаи фотозэффектро ба таври осон маънидод мекунад.

3.3 НАЗАРИЯИ КВАНТИИ МАЙЛКУНИИ ЭФФЕКТИ КОМПТОН

Агар фотон дорои энергияи E_0 , буда басомади ν_0 ва импулси $\frac{h\nu_0}{c}$ дошта бошем ва \bar{y} ба тири X раво карда шавад (расми 3.3.1). Ҳангоми ин фотон бо электрони озод бархурдан як қисми энергияи худро ба электрони озод медиҳад. Дар ин ҳолат энергияи кинетики электрон ба $E_{\text{кин}} = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = m_0c^2 \left(1/\sqrt{1 - \beta^2} - 1\right)$ баробар мешавад.

Дар ин ҷо E - энергияи пурраи электрон пас аз бархӯрд бо фотон, E_0 – энергияи оромии \bar{y} $\beta = \frac{v}{c}$.



Расми 3.3.1

Энергияи фотон бо формулаи $\varepsilon = h\nu$ муайян карда мешавад. Импулси \bar{y} бошад чунин муайян карда мешавад. Дар асоси назарияи нисбӣ масса $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ азбаски фотон бо суръати рӯшноӣ ҳаракат мекунад $v = c$ мебошад. Бинобарон дар формулаи болои $m = \frac{m_0}{0} = \infty$ аст. Аз инҷо маълум мешавад, ки фотон массаи ороми надорад. Бо ин хусусият фотон аз дигар зарраҳо фарқ мекунад. Барои импулси фотонро муайян кардан формулаи $p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}}$ истифода мебарем.

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot \frac{v}{c^2} = E \frac{v}{c^2} \quad (3.3.1)$$

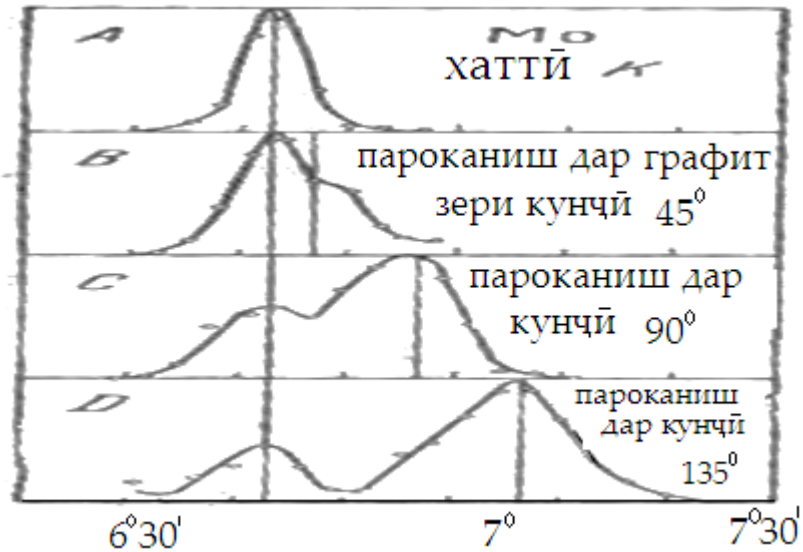
Азбаски барои фотон $v = c$ ва $E = h\nu$ онгоҳ $p = \frac{h\nu}{c}$ мешавад.

Импулси электрон пас аз бархӯрдан бо фотон $\bar{p}_c = mv$ мешавад. Дар асоси қонуни нигоҳдошташавии энергия ва импулс фотон пас аз бархӯрӣ бо электрон ба дигар тараф бо энергия ва импулси нисбат ба аввалаи хурд майл мекунад. Агар энергияи фотон пас аз бархӯри ε басомади ν , ва импулсаи $\frac{h\nu}{c}$ бошад, он гоҳ $\nu < \nu_0$, ва $\lambda > \lambda_0$. Аз ин ҷо маълум мешавад, ки дар асоси назарияи квантии рӯшноӣ дарозии мавҷи фотон пас аз майлкунӣ дароз мешаванд. Ингуна майлкуниро эффеќти комптон номида мешавад, ва \bar{y} бо электронҳои дар атом алоқаи суст дошта ба амал меояд. Ин электронҳо дар ваќти фотон таъсир кардан аз атом канда шуда мебароянд, ки ӯро қайдгиракҳо ё камераи Вилсон ба қайд мегиранд.

Комптон майлкунии фотонро дар элементҳои гуногун омӯхта ва тайфи майлкуниро дар кунҷҳои гуногун чен кард, барои ин ҳодиса хусусиятҳои зеринро муайян кард:

1. Дар тайфи майлкунӣ ду хат дида мешавад, хатти λ_0 тағйир наёфта ва хати λ дарозии мавҷи тағйир ёфта. Электронҳои қабати дохилии атом бо ҳаста бисёр алоқаи мустаҳкам доранд, бинобарон онҳоро электрони азод шуморидан мумкин нест. Фотон дар ваќти ба ингуна электронҳо таъсир кардан энергияашро намедихад (энергияаш барои кандани \bar{y} кифоягӣ намекунад) аз ҳамин сабаб дарозии мавҷаш λ – ро тағйир надода баромада меравад.
2. Дар атомҳои сабук ҳамаи электронҳо бо ҳаста алоқаи суст доранд, дар атомҳои вазнин бошанд фақат электронҳои қабати

охирин бо ҳаста алоқаи суст дорвнд. Бинобар ҳамин дар вақти зиёдашавии Z шиддатнокии хатҳои тағйир ёфта кам шуда, шиддатнокии хатҳои тағйир наёфта зиёд мешавад, расми 3.3.2



Расми 3.3.2 Эффеќти Комптон дар графит

3. Дар ваќти майлқунии шиоҳҳои дидашаванда (шиоҳҳои дарозмавҷ) аз атомҳои вазнин фақат λ_0 (дарозии мавҷи тағйир ёфта) мушоҳида карда мешавад. Аз инҷо маълум мешавад, ки фотонҳои дарозмавҷ қобилияти аз атом қандани электронро надоранд.
4. Баракс дар ваќти майлқунии фотонҳои басомади қалон дошта аз атомҳои сабук, фақат шиоҳҳои λ - аш тағйир ёфта мушоҳида карда мешавад, чунки энергияи фотон аз энергияи алоқаи K - электронҳо кам мебошад.
5. Тағйирёбии λ аз қунҷи ченқуни вобаста мебошад ва ин тағйирёби бо қалонишавии қунҷ зиёд мешавад.
6. Дар ваќти қалонишавии қунҷи майлқунии шиддатнокии дарозии мавҷаи λ тағйирёфта зиёд шуда, λ_0 - тағйирнаёфта кам мешавад. Тағйирёбии дарозии мавҷро дар эффеќти комптон муайян мекунем: $\lambda > \lambda_0$, Дар асоси қонуни нигоҳдоштани энергия $\varepsilon_0 = \varepsilon + E_{\text{кин}}$, ё ки

$$h\nu_0 = h\nu + m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right). \quad (3.3.2)$$

Инро ба таври зерин менависем:

$$h(\nu_0 - \nu) + m_0c^2 = mc^2, \quad (3.3.3)$$

чунки $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$.

Ин муодиларо ба квадрат мебардорем.

$$m^2c^4 = [h(\nu_0 - \nu)]^2 + 2h(\nu_0 - \nu) \cdot m_0c^2 + \underline{m_0^2c^4} = h^2\nu_0^2 + h^2\nu^2 - \underline{2h^2\nu\nu_0} + m_0^2c^4 + 2hm_0c^2(\nu_0 - \nu) \quad (3.3.4)$$

Дар асоси қонуни нигоҳдоштани импулс

$$\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} + \overline{mv}, \quad (3.3.5)$$

ё ки $\overline{p_0} = \overline{p} + \overline{p_e}$

Ин муодилаи вектории секунҷаи OAB –ро ташкил мекунад, расми 3.3.1. Бинобар ин аз он истифода бурда квадрати тарафи $AB = mv$ –ро меёбем.

$$AB^2 = OA^2 + OB^2 - 2OA \cdot OB \cos \varphi \quad (3.3.6)$$

ё ки

$$m^2 v^2 = \frac{h^2 v^2}{c^2} + \frac{h^2 v_0^2}{c^2} - 2h^2 \frac{v_0 v}{c^2} \cos \varphi \quad (3.3.7)$$

ба таври дигар

$$\left. \begin{aligned} m^2 v^2 c^2 &= h^2 v^2 + h^2 v_0^2 - 2h^2 v_0 v \cos \varphi \\ p_e^2 c^2 &= \varepsilon^2 + \varepsilon_0^2 - 2\varepsilon_0 \varepsilon \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (3.3.8)$$

Импулс ва энергия ба яқдигар бо формулаи зерин вобаста мебошад.

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p_e^2 c^2, \quad (3.3.9)$$

$$p^2 = \frac{v^2}{c^4} E^2 = \frac{\beta^2}{c^2} E^2 = \frac{E^2}{c^2} [1 - (1 - \beta^2)] = \frac{E^2}{c^2} - \frac{E^2}{c^2} (1 - \beta^2) = \frac{E^2}{c^2} - \frac{m_0^2 c^4}{(1 - \beta^2) c^2}.$$

$$(1 - \beta^2) = \frac{E^2}{c^2} - m_0^2 c^4, \quad E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2 \quad (3.3.10)$$

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \frac{v}{c} = E \frac{v}{c^2} \quad (3.3.11)$$

Формулаи (3.3.4) –ро ба намуди зерин менависем:

$$E^2 = \varepsilon^2 + \varepsilon_0^2 - 2\varepsilon_0 \varepsilon + m_0^2 c^4 - 2m_0 c^2 \varepsilon + 2m_0 c^2 \varepsilon_0 \quad (3.3.12)$$

Аз муодилаи (3.3.9) қиммати E –ро ба (3.3.4) мегузорем:

$$m_0^2 c^4 + p_e^2 c^2 = \varepsilon^2 + \varepsilon_0^2 - 2\varepsilon_0 \varepsilon + m_0^2 c^4 - 2\varepsilon m_0 c^2 + 2\varepsilon_0 m_0 c^2; \quad (3.3.13)$$

қиммати $p^2 c^2$ аз (3.3.8) ба ин муодила мегузорем

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon^2 + \varepsilon_0^2 - 2\varepsilon \varepsilon_0 \cos \varphi &= \varepsilon^2 - \varepsilon_0^2 - 2\varepsilon_0 \varepsilon + 2\varepsilon m_0 c^2 + 2\varepsilon_0 m_0 c^2; \\ \varepsilon(\varepsilon_0 + m_0 c^2 - \varepsilon_0 \cos \varphi) &= \varepsilon_0 m_0 c^2 \end{aligned} \right\} \quad (3.3.14)$$

Аз ин ҷо

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_0 m_0 c^2}{\varepsilon_0 + m_0 c^2 - \varepsilon_0 \cos \varphi} \quad (3.3.15)$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_0 m_0 c^2}{\varepsilon_0 + m_0 c^2 - \varepsilon_0 \cos \varphi} = \frac{\varepsilon_0 m_0 c^2}{m_0 c^2 + \varepsilon_0 (1 - \cos \varphi)};$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_0}{1 + \frac{\varepsilon_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \varphi)}; \quad h\nu = \frac{h\nu_0}{1 + \frac{h\nu_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \varphi)}; \quad v_0 - v = \frac{h}{m_0 c^2 v\nu_0 (1 - \cos \varphi)};$$

$$v_0 = v \left[1 + \frac{h\nu_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \varphi) \right]; \quad v_0 - v + \frac{h}{m_0 c^2 v\nu_0 (1 - \cos \varphi)};$$

ҳар ду тарафро бо C зарб мекунем:

$$c(v_0 - v) = \frac{h}{m_0 c} v_0 v (1 - \cos \varphi)$$

ба $v\nu_0$ тақсим мекунем:

$$\frac{c}{v} - \frac{c}{v_0} = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi); \quad \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi);$$

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi); \quad \sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1}{2} (1 - \cos \alpha)}; \quad \Delta\lambda = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\varphi}{2}.$$

Бузургии $\frac{h}{m_0 c}$ дарозии мавҷи комптонӣ номида мешавад.

$$\Lambda = \frac{h}{m_0 c} = \frac{6,62 \cdot 10^{-27}}{9,1 \cdot 10^{-28} \cdot 3 \cdot 10^{10}} = 0,0242 \text{ \AA} = 0,0242 \cdot 10^{-8} \text{ см.}$$

Формулаи охири намуди зеринро мегирад.

$$\Delta\lambda = 2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2} = 0,048 \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad (3.3.16)$$

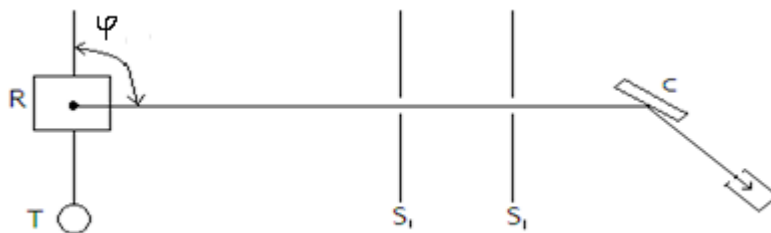
Аз ин ҷо агар $\varphi = 0$; $\Delta\lambda = 0$ $\varphi = 90^\circ$; $\Delta\lambda = \Lambda$ ва агар $\varphi = 180^\circ$; $\Delta\lambda = 2\Lambda$ — яъне бо зиёдавии кунҷ, тағйирёбии λ — калон мешавад.

Формулаи (3.3.16) исбот кардаамон барои электронҳои беҳаракати азод мебошад. Дар ҳақиқат бошад майлқунии барои электрони дар атрофи ҳаста ҳаракат карда ба амал меояд.

Блох нишон дод, ки формулаи (3.3.16) барои электрони ҳаракаткарда истода намуди зеринро мегирад. Дар ин ҳолат $\Delta\lambda$ ба бузургии $\delta\lambda > 0$ хурдтар мешавад. Бузургии $\delta\lambda > 0$ ба λ^2 мутаносиб мебошад.

$$\delta\lambda = D\lambda^2 \quad \Delta\lambda = 2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2} - D\lambda^2$$

Ин формулаи таҷрибавӣ барои мушоҳидаи шиоҳои рентгенӣ Комптон дар солҳои 1922 – 1923 истифода бурд. Раҷдаи таҷрибаи Комптон чунин аст: Шиоҳои рентгени ба воситаи лулаи рентгенӣ T — ҳосил кардашуда ба графити R раван карда мешавад. Баъд онҳо дар графити R майл карда аз системаи сӯрохиҳои S_1 ва S_2 гузашта ба булури тайфнигори — рентгенӣ C мерасанд. Дар ин таҷриба таркиби шиоҳои рентгени майлшуда бо дарозии мавҷашон омӯхта мешаванд, расми 3.3.3.



Расми 3.3.3

Барои шиоҳои рентгенро дар кунҷҳои гуногун чен кардан лулаи рентгенро бо графити R дар таҳти кунҷҳои гуногун давр мезанонанд. Шиоҳои рентгени майлшуда бо камераи ионизатсионӣ ё лавҳа чен карда мешавад (расми 3.3.3).

2.4. ЭЛЕКТРОНИ АҚИБЗАНӢ

Чӣ хеле, ки дидем дар ҳар як рудоди ба ҳам таъсирқунии фотони рӯшноӣ бо электрон аз атом электрон канда бароварда мешавад, ки мо ҳозир тағйирёбии энергияи кинетикии онро меёбем. Дар асоси қонуни нигоҳдошташавии энергия ин энергия бояд

$$E_k = h\nu_0 - h\nu = h\Delta\nu \quad (2.4.1)$$

Аз инҷо маълум мешавад, ки энергияи кинетикии электрон ба фарқи энергияи аввала ва охираи фотон баробар мешавад.

Нисбати E_k ба энергияи аввалаи фотон ва ҳиссаи энергияи қабулкардаи электрон ки аз атом баровардашударо мефаҳмонад.

$$\frac{E_k}{hv_0} = \frac{\Delta v}{v_0} \quad (2.4.2)$$

Аз тарафи дигар:

$$\Delta v = v_0 - v = \frac{c}{\lambda_0} - \frac{c}{\lambda_0 + \Delta\lambda} = \frac{c\lambda_0 + c\Delta\lambda - c\lambda_0}{\lambda_0(\lambda_0 + \Delta\lambda)} = \frac{c}{\lambda_0} \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0 + \Delta\lambda} = v_0 \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0 + \Delta\lambda}; \quad (2.4.3)$$

Ё дар намуди

$$\frac{E_k}{hv_0} = \frac{\Delta v_0}{v_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0 + \Delta\lambda} = \frac{2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\lambda_0 + 2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}; \quad \frac{E_k}{hv_0} = \frac{2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\lambda_0 + 2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}; \quad (2.4.4)$$

Аз формулаи (2.4.4) ҳиссаи энергияи кабулкардаи электронро ҳисоб мекунем.

Фарз кунем, ки $\lambda = 10\Lambda = 0,2A^0$

$$hv = h \frac{c}{\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{0,24 \cdot 10^{-8} \cdot 1,66 \cdot 10^{-12}} = 5 \cdot 10^4 \text{ эВ}; \quad (2.4.5)$$

$$\frac{E_k}{hv} = \frac{2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\Lambda(10 + 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2})} = \frac{2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{10 + 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}} = \frac{2 \cdot \frac{1}{2}}{10 + 2 \cdot \frac{1}{2}} = \frac{1}{11}; \quad (2.4.6)$$

пас $E_k = 0,1E_{\text{фот}} = 6 \cdot 10^3 \text{ эВ}$; азбаски: $\varphi = 90^0$; $\sin 45^0 = \frac{\sqrt{2}}{2}$; $\sin^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2}$.

Агар 1: $\varphi = 0$; $\lambda = \Lambda = 0,02A^0$. Чӣ ҳолате, ки набошад нисбати E_k бар $hv = 0$; $E_k = 0$ мешавад.

2. $\varphi = 60^0$. $\sin \frac{\varphi}{2} = \sin 30^0 = \frac{1}{2}$; $\sin^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{4}$; $\lambda = \Lambda = 0,02A^0$. (2.4.7)

$$hv = h \frac{c}{\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{0,02 \cdot 10^{-8}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{20}}{2} = 9,93 \cdot 10^{-7} \text{ эрг} = 9,93 \frac{10^{-7}}{1,6 \cdot 10^{-12}} \text{ эВ} = 6,2 \cdot 10^5 \text{ эВ}. \quad (2.4.8)$$

$$hv = 6 \cdot 10^5 \text{ эВ}; \quad \frac{E_k}{hv} = \frac{2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\Lambda(1 + 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2})} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4}}{1 + 2 \cdot \frac{1}{4}} = \frac{\frac{1}{2}}{1 + \frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{3} = 0,3; \quad E_k = 0,3hv.$$

(2.4.9)

3. $\varphi = 90^0$; $\sin \frac{90}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$; $\sin^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2}$; (2.4.10)

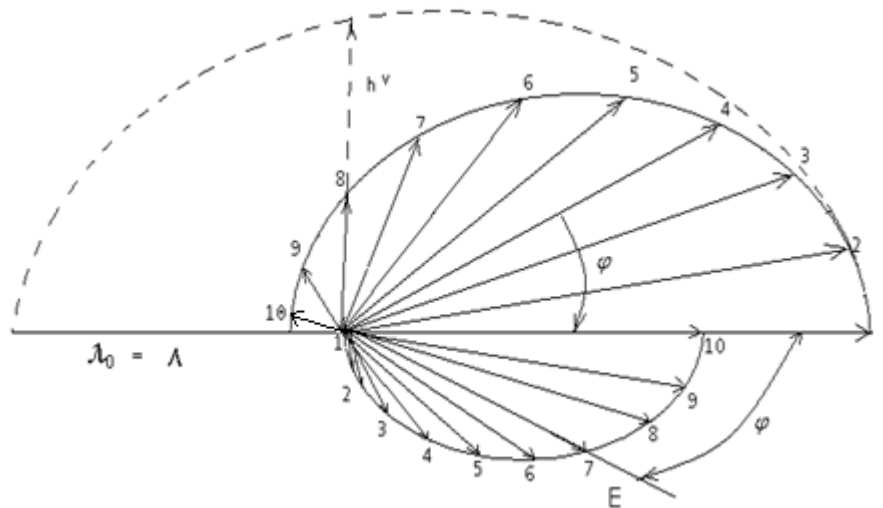
$\lambda = \Lambda = 0,02A^0$; $hv = 6 \cdot 10^5 \text{ эВ}$; (2.4.11)

$$\frac{E_k}{hv} = \frac{2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\Lambda(1 + 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2})} = \frac{2 \cdot \frac{1}{2}}{1 + 2 \cdot \frac{1}{2}} = \frac{1}{2} = 0,5; \quad E_k = 0,5hv. \quad (2.4.12)$$

4. $\varphi = 120^0$; $\sin^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{3}{4}$; $\lambda = \Lambda$; $E_k = 0,6hv$. (2.4.13)

5. $\varphi = 180^0$; $\sin^2 \frac{\varphi}{2} = 1$; $\lambda = \Lambda$; $E_k = 0,67hv$. (2.4.14)

Ҳамин тавр аз қиматҳои овардашуда маълум мешавад, ки чӣ қадаре, ки фотони шиоии рӯшноии ба кунҷи калон майл кунад, электрони ақибзани ҳамонқадар ба энергияи калон соҳиб мешавад. Ин вобастагӣ дар диаграммаи қутбӣ нишон додан мумкин аст, расми 2.4.1



Расми 2.4.1

Фарз кунем, ки фотон аз чап ба рост ҳаракат карда бошад. Қисми болоии диаграмма энергияи фотони майлкардари мефаҳмонад, қисми поёнии диаграмма, энергияи кинетики электрони ақибзаниро ба кунҷҳои гуногун майлкарда мефаҳмонад. Радиус векторҳои қисми болои ва поёнии диаграмма бо як хел ададҳо ишора карда шудааст ва онҳо ба як рудоди таъсиркунӣ мувофиқ меояд. Радиус вектори нимдоираи қалон ба энергияи фотони майлнакарда мувофиқ меояд.

Чӣ тавре, ки аз расми 2.4.1 дида мешавад, электронҳои ақибзанӣ равиши бартарӣ дошта бо равиши фотони аввала раван шудаанд. Дар ҳақиқат ҳосилшавии электрони ақибзани дар асоси назарияи Комптон ба таври таҷрибавӣ аз тарафи якчанд олимон бо воситаи камераи Вильсон дар майдони магнитӣ тасдиқ карда шуд. Ба ҳамин тариқ эффекти Комптон боз як бори дигар исбот мекунад, ки рӯшноӣ ғайр аз хусусияти мавҷи инчунин ба хусусияти корпускуляри ҳам соҳиб мебошад.

Боби 4. 4.1 ХУСУСИЯТҲОИ МАВҶӢ ВА КОРПУСКУЛАВИИ ЗАРРАҲО. ГИПОТЕЗАИ ДЕ – БРОЙЛ ДАР БОРАИ ХУСУСИЯТИ МАВҶИИ ЗАРРАҲО. МУОДИЛАИ МАВҶИ ДЕ- БРОЙЛ

Аз курси электрик ва оптика ҳодисаҳои фотозэффект ва эффекти комптон шинос шуда будем, ки дар ин таҷрибаҳо таъсири майдони электромагнитӣ бо моддаҳои гуногун омӯхта мешавад. Аз ин таҷрибаҳо чунин хулоса мебарояд, ки мавҷҳои электромагнитӣ ғайр аз хусусияти мавҷи боз ба хусусияти корпускулавӣ ҳам соҳиб мебошанд. Энергия ва импулси ин гуна зарраҳои рӯшноӣ, яъне фотонҳо ба

$$\varepsilon = h\nu \quad (4.1.1)$$

ва

$$p = mc \quad (4.1.2)$$

баробар аст, ки дар ин ҷо h – доими Планк $h = 6,62 \cdot 10^{-27}$ эрг. сон., m – массаи фотон ва $v = \frac{c}{\lambda}$ басомади рӯшноӣ мебошад. Дар асоси мавзӯи дар боло зикршуда, энергия бо масса алоқамандии зеринро дошт:

$$E = mc^2. \quad (4.1.3)$$

Аз ин ҷо m – ро ёфта ва формулаҳои (4.1.1), (4.1.2) ва (4.1.3) – ро ба назар гирифта импулси фотонро вобаста аз дарозии мавҷ, чунин муайян кардан мумкин аст: Аз (4.1.3) $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$. Инро ба (4.1.2) гузошта ҳосил мекунем:

$$p = mc = \frac{h\nu \cdot c}{c^2} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (4.1.4)$$

Яъне

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (4.1.5)$$

Инро ба назар гирифта Де – Бройл соли 1924 ақидаро пешниҳод кард, ки мувофиқи он ба хусусияти мавҷи ва корпускулавӣ на танҳо шуоҳои рӯшноӣ, балки ин хусусиятҳоро дар бисёр таҷрибаҳо барои зарраҳои бунёдӣ; электронҳо, протонҳо, атомҳо ва ғайраҳо ҳам мушоҳида кардан мумкин аст.

Барои хусусияти мавҷӣ ва корпускулави зарраҳо фаҳмидан, фарз кунем, ки мо зарраи материалии бо суръати v ҳаракат кардари дорем. Агар массаи ин зарра m бошад, он гоҳ импулси \bar{y} $p = mv$ мешавад. Агар $p = mv$ – ро ба (4.1.5) гузорем, он гоҳ мо формулаи вобастагии дарозии мавҷи зарра аз масса ва суръати \bar{y} ро ҳосил мекунем, яъне формулаи

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (4.1.6)$$

– ро ҳосил менамоем. Дар ҳама мавридҳо хусусияти корпускулави зарраҳо бо энергия E ва импулс p тавсифонида шуда, хусусиятҳои мавҷи бошад бо зудии v ва дарозии мавҷ λ – фаҳмонида мешавад. Аз ҳамин сабаб дар формулаи (4.1.6) mv – хусусияти корпускулави зарраҳо тавсифонида, λ – бошад хусусияти мавҷи онҳо метавсифонад.

Формулаи (4.1.6) формулаи Де – Бройл номида мешавад.

Агар $\frac{1}{\lambda} = k$ адади мавҷҳои дар масофаи l см дуруст мемондагӣ бошад, он гоҳ импулси зарраҳо бо формулаи

$$p = \hbar k \quad (4.1.7)$$

муайян карда мешавад. Дар ин ҷо p – бузургии векторӣ мебошад, \hbar – бузургии скалярӣ, бинобар ин k – бузургии векторӣ мебошад.

Барои чун мавҷ ҳаракат кардани зарраҳо омӯختан, мавҷи якранги монохронатики ҳамворро дида мебароем. Фарз кунем, ки мавҷи якранги ҳамвори бо тири x – раво карда шуда дорем, ки муодилаи он

$$u = a \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c'} \right) + \delta \right] \quad (4.1.8)$$

мебошад. Дар ин ҷо u – суръати паҳншавии мавҷ дар зери таъсири ягон майдон, яъне майлқунии зарра аз ҳолати аввала дар зери таъсири ягон майдон E ё H аст. a – амплитудай мавҷ; $\omega \left(t - \frac{x}{c'} \right) + \delta$ – фазаи мавҷ; δ – фазаи аввала. Ҳамворие, ки дар ҳама нуқтаҳои он мавҷ қиммати якхела дорад, ҳамвори фазаҳои якхела номида мешавад. Барои доимӣ будани фаза лозим аст, ки

$$t - \frac{x}{c'} = \text{const} \quad \text{ё ки} \quad x = c't = \text{const}$$

бошад. Дар ин ҷо c' – суръати ҷойивазқунии сатҳҳои фазаҳои якхела дошта ё ки суръати фазагии мавҷ номида мешавад.

Азбаски бузургиҳои x ва t дар аргументи функцияи даврӣ иштирок мекунад, онҳо бояд дар фазо ва вақт даври тағйир ёфтани мавҷро ошкор кунанд, аз сабаби бо вақт даврӣ будани мавҷ ҳамин хел вақти T ёфт мешавад, ки дар он шарт зерин ҷрӣ дорад. $t = t + T$ ва

$$\cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c'} \right) + \delta \right] = \cos \left[\omega \left(t + T - \frac{x}{c'} \right) + \delta \right] \quad (4.1.9)$$

Ин шарт дар ҳамаи вақт ҷой дорад, агар:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}; \quad T = \frac{1}{\nu}; \quad \omega = 2\pi\nu$$

ν – басомади хати, T – даври лапшии, ω – басомади кунҷӣ.

Аз сабаби даври тағйир ёфтани мавҷ дар фосилаи вақти додашудаи t ҳар як қиммати u дар вақти тағйир ёфтани X ба ягон порчаи λ (дарозии мавҷ) бояд такрор шавад. $X = x + \lambda$

$$\cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c'} \right) + \delta \right] = \cos \left[\omega \left(t - \frac{x+\lambda}{c'} \right) + \delta \right] \quad (4.1.10)$$

Ин нишон медиҳад, ки

$$\frac{\omega\lambda}{c'} = 2\pi; \quad \lambda = \frac{2\pi c'}{\omega} = \frac{c'}{\nu} \quad c' = \lambda\nu \quad (4.1.11)$$

Формулаи (4.1.10) вобастагии байни суръати фазагӣ ва дарозии мавҷро нишон медиҳад.

То ин вақт мо паҳншавии мавҷро танҳо ба равиши тири X дида баромадем. Акнун фарз кунем, ки мавҷи ҳамвор бо равиши дилхоҳ дар тахти кунҷи α, β, γ нисбат ба тирҳои координат паҳн мешавад, он гоҳ:

$$U = a \cos \left[\omega \left(t - \frac{x'}{c'} \right) + \delta \right] \quad (4.1.12)$$

$$x' = x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma$$

$$U = a \cos \left[\omega \left(t - \frac{x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma}{c'} \right) + \delta \right] \quad (4.1.13)$$

Муодилаи ҳамвори фазаҳои якхела дошта чунин аст:

$$x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma = \text{const.}$$

Азбаски $\omega = 2\pi\nu$ бинобарон қимати ω – ро ба (4.1.13) гузошта ҳосил мекунем:

$$\begin{aligned} U &= a \cos \left[2\pi\nu \left(t - \frac{x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma}{c'} \right) + \delta \right] = \\ &= a \cos \left[2\pi \left(\nu t - \frac{x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma}{\lambda} \right) + \delta \right]. \end{aligned} \quad (4.1.14)$$

Акнун вектори k – и дар боло номбаркардари истифода мебарем, ки равиши он ба равиши нормали ҳамвори фазаҳои якхела дуруст меояд: $k = \frac{1}{\lambda}$. Аз тарафи дигар вектори k – ро ба намудҳои зерин навиштан мумкин аст.

$$k_x = \frac{\cos \alpha}{\lambda}; \quad k_y = \frac{\cos \beta}{\lambda}; \quad \text{ва} \quad k_z = \frac{\cos \gamma}{\lambda}$$

Он гоҳ бузургии

$$\frac{x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma}{\lambda} = xk_x + yk_y + zk_z = \overline{kr}. \quad (4.1.15)$$

Дар ин ҷо r – радиус - векторе, ки мо ба нуқтаи ихтиёрии ҳамвори фазаҳо баробар гузаронида будем; (4.1.15) – ро ба (4.1.13) гузошта муодилаи мавҷи ҳамворро ба намуди зерин менависем:

$$U = a \cos [2\pi(\nu t - kr) + \delta] \quad (4.1.16)$$

аз тарафи дигар формулаи мавҷи ҳамворро монанди формулаи лапшиш ба намуди комплекси навиштан мумкин аст.

$$U = ae^{[2\pi(vt-kr)+\delta]} \quad (4.1.17)$$

Амплитудай комплекси бо $A = ae^{i\delta}$ дохил карда онро ба (4.1.17) гузошта, муодилаи мавҷи ҳамворро ба намуди комплексӣ, чунин менависем:

$$U = Ae^{i2\pi(vt-kr)} \quad (4.1.18)$$

Муодилаи (4.1.16, 4.1.17 ва 4.1.18) функцияи мавҷи – муодилаи мавҷи ҳамвори де – Бройл барои зарраҳо мебошад. Мавҷи де - Бройл ба монанди дигар мавҷҳо бо қонунҳои муайяни оптикӣ паҳн мешаванд, интерференсия ва дифраксияро ҳосил мекунанд.

4.2 СУПЕРПОЗИТСИЯИ МАВҶИ ҲАМВОР

Дар табиат мавҷи ҳамвори якранг вучуд надорад, чунки барои мавҷи якранги ҳамвор вучуд доштан, мо бояд мавҷе дошта бошем, ки вай дар фазо ва вақт дарозии беохир дошта бошад. Дар ҳақиқат бошад он мавҷҳое, ки мо дар табиат мушоҳида мекунем, онҳо ҳама вақт дар фазо маҳдуд буда, дар муддати вақти муайян ба вучуд меоянд ва онҳо қатъи гармоникӣ намебошанд. Ин гуна мавҷҳои дар табиат мавҷуд бударо, наметавонем чун суперпозицияи мавҷҳои ҳамворӣ гармоникӣ якдигарро дар натиҷаи интерференсия дар ягон ҳамвории фазо пурқуват мекардагӣ ва дар ҷой дигар хомӯш мекардагӣ дида бароем, расми 4.2.1

Фарз кунем, ки ду нави басомадҳои v_0 ва v ва вектори нави $k_0 = \frac{1}{\lambda_0}$; $k = \frac{1}{\lambda}$ дошта бо тири X ҳаракаткунанда аз ҳамдигар бисёр кам фарқ мекардагӣ

$$(k_0 - k = \Delta k \rightarrow 0, \quad v_0 - v = \Delta v \rightarrow 0)$$

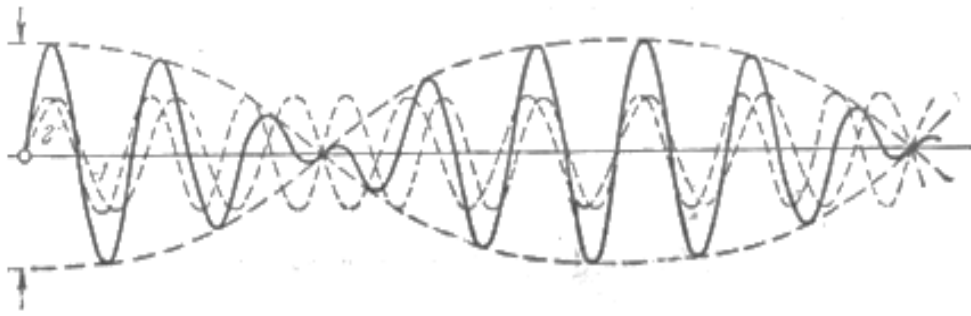
дошта бошад, он гоҳ

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= a \cos 2\pi(v_0 t - k_0 x) \\ U_2 &= a \cos 2\pi(v t - k x) \end{aligned} \right\} \quad (4.2.1)$$

Ин мавҷҳоро ҳам карда як мавҷи мураккабро ҳосил мекунем

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 = a \cos 2\pi(v_0 t - k_0 x) + a \cos 2\pi(v t - k x) = \\ &= \\ 2a \cos 2\pi \left(\frac{v_0 - v}{2} t - \frac{k_0 - k}{2} x \right) \cdot \cos 2\pi \left(\frac{v_0 + v}{2} t - \frac{k_0 + k}{2} x \right) &= \text{аз баски } \frac{v_0 \sim v}{k_0 \sim k} \mid = U = \\ 2a \cos 2\pi \left(\frac{\Delta v}{2} t - \frac{\Delta k}{2} x \right) \cdot \cos 2\pi(v_0 t - k_0 x) &= \quad (4.2.2) \\ \text{Ғайр аз он } \cos \alpha + \cos \beta &= 2 \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \end{aligned}$$

Бигузор $v_0 = v$; $k_0 = k$ бошад. Азбаски v_0 ва v ; k_0 ва k аз якдигар бисёр фарқи кам доранд, муодилаи охириро ба намуди зерин менависем:



Расми 4.2.1 Пайдоиши гӯруҳҳои мавҷҳо

Муодилаи охириро чунин маънидод кардан мумкин аст. Зарбшавандаи дуҷуми муодила $\cos 2\pi(v_0 t - k_0 x)$ фазаи мавҷи бо басомади v_0 ва адади мавҷии k_0 ҳаракат кардари мефаҳмонад. Зарбшавандаи якум бошад $2a \cos 2\pi\left(\frac{\Delta v}{2} t - \frac{\Delta k}{2} x\right)$ амплитудайи мавҷи де - Брайл мебошад, ки вай охиста ($\Delta v \rightarrow 0$; $\Delta k \rightarrow 0$) ва даври тағйир меёбад. Ба маънои дигар мо мавҷи U - ро чун мавҷи дорой басомади v_0 адади мавҷии k_0 ва дорой амплитудайи модулирононидашуда дида метавонем (расми 4.2.1). Лекин ҳаминро дар назар доштан лозим аст, ки мавҷи (4.2.2) ва расми 4.2.1 ҷиддӣ гармоникӣ намебошад. Мавҷи гармоникӣ бояд дар тамоми дарозии худ ($-\infty$ то $+\infty$) бояд амплитуда ва басомади якхела дошта бошад. Аммо мавҷи (4.2.2) бошад гарчанде амплитудайи даври тағйирёбанда дошта бошад ҳар асбоби тайфсанҷи дар вай на як басомадро, балки ду басомади v_0 ва v - ро нишон медиҳад. Мавҷи дар расми 4.2.1 нишон додашуда дар натиҷаи суперпозитсияи ду мавҷ ҳосил шудааст. Дар вай ду қисми қитъаи нави гармоникӣ аз якдигар бо дарозии мавҷашон λ_0 ва λ кам фарқ мекардагӣ оварда шудааст.

Формулаи (4.2.2)-ро истифода бурда суръати фазавӣ ва гурупувиро муайян мекунем. Барои муайян кардани суръати фазавӣ аз шартҳои доимӣ фаза истифода мекунем.

$$v_0 t - k_0 x = \text{const}$$

Аз ин ҷо координатаи X ҳосила гирифта, суръати фазагии мавҷро меёбем:

$$v_0 - k_0 \frac{dx}{dt} = 0 \quad (4.2.3)$$

Суръати фазавиро бо C' ишора намуда, аз (4.2.3) ҳосил мекунем:

$$C' = \frac{dx}{dt} = \frac{v_0}{k_0} \quad \text{ё ки} \quad C' = v_0 \lambda_0. \quad (4.2.4)$$

Акнун аз доимии амплитуда истифода бурда, суръати ҷойивазкунии амплитударо муайян мекунем. Одатан суръати ҷойивазкунии амплитуда бо суръати ҷойивазкунии гурӯҳи мавҷ дуруст меояд, бинобар он вайро суръати гурӯҳавӣ меноманд.

$$\frac{\Delta v}{2} t - \frac{\Delta k}{2} x = \text{const} \quad (4.2.5)$$

Аз (4.2.5) ҳосила гирифта ҳосил мекунем:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\Delta v}{\Delta k}. \quad (4.2.6)$$

Ҳудуди ин муодила ҳангоми $\Delta k \rightarrow 0$ суръати гурӯҳавӣ номида мешавад.

$$q = \frac{dv}{dk} \quad (4.2.7)$$

Аз (4.2.4) ва (4.2.7) маълум мешавад, ки суръати фазогӣ ва группавӣ бо формулаҳои гуногун муайян карда мешаванд. Барои хусусиятҳои онҳоро муайян кардан ҳаракати онҳоро дар муҳитҳои гуногун дида мебароем.

4.3. СУРЪАТИ ФАЗАГӢ ВА ГРУППАВӢ

Суръати фазавӣ ва группавиро омӯхта онҳоро дар ду ҳолат бо якдигар муқоиса мекунем.

1) Суръати фазавии мавҷ аз вектори мавҷии K вобаста намебошад. Агар ҳаракатро нисбат ба муҳит бинем, муҳите ки мавҷ паҳн мешавад дисперсия надорад.

2) Ҳолати 2^M муҳит ба дисперсия молик аст, яъне суръати фазавӣ функсиявӣ K мебошад.

Ҳолати якум: Аз формулаи $c' = \frac{v}{k}$ истифода бурда v –ро муайян мекунем: $v = c'k$. Акнун суръати группавиро мебинем:

$$q = \frac{dv}{dk} = \frac{d}{dk}(c'k) = c'. \quad (4.3.1)$$

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки дар вақти муҳит ба дисперсия соҳиб набудан суръати группавӣ бо суръати фазавӣ якхела мебошад. Ҳолати 2^M . c' функсияи k –мебошад.

$$q = \frac{d}{dk}(c'k) = c' + k \frac{dc'}{dk} \quad (4.3.2)$$

$$\frac{dc'}{dk} = \frac{dc'}{d\lambda} : \frac{dk}{d\lambda} = \frac{dc'}{d\lambda} : \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{1}{\lambda} \right) = -\lambda^2 \frac{dc'}{d\lambda}. \quad (4.3.3)$$

Дар асоси (4.3.3)

$$q = c' - \lambda \frac{dc'}{d\lambda}. \quad (4.3.4)$$

Ба ҳамин тариқ аз ин ҷо дида мешавад, ки дар вақти муҳит ба дисперсия соҳиб будан, суръати фазавӣ ва группавӣ ба якдигар баробар нестанд, ва вобаста ба аломати $\frac{dc'}{d\lambda}$ суръати группавӣ метавонад аз суръати фазавӣ хурд шавад, $q < c'$ дар вақти $\left(\frac{dc'}{d\lambda} > 0 \right)$ метавонад калон ($q > c'$) бошад $\left(\frac{dc'}{d\lambda} < 0 \right)$. Дар оптика ҳар дуи ин ҳодиса нағз мушоҳида карда мешавад. Барои дисперсияи нормалӣ бо зиёдшавии нишондоди шикаст μ – хурд аст, c' – калон мешавад ва $\frac{dc'}{d\lambda} > 0$ буда, дар натиҷа $q < c'$ мешавад. Барои дисперсияи аломатӣ вобастагии μ ва λ баракс аст ва $\frac{dc'}{d\lambda} < 0$ мешавад.

Ба ҳамин тариқ дар ҳолигӣ (ваккум) суръати фазавӣ ва группавӣ якхела мебошанд. Дар муҳит бошад барои дисперсияи нормалӣ $q < c'$ барои дисперсияи аномолӣ ($q > c'$).

Мавҷудияти суръати фазагӣ ва группавӣ масалаеро ба миён меорад, ки кадоме аз ин суръатҳоро дар вақти чен кардани суръати рӯшноӣ муайян кардан мумкин аст. Санҷиши усулҳои гуногуни муайянкунии суръати рӯшноӣ нишон дод, ки ягон усул имконияти муайянкунии суръати фазагиро надорад. Ҳамаи онҳо суръати группавиро муайян мекунад.

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки суръати фазавӣ бузургии бевосита ченкарданашиаванда будааст. Аз тарафи дигар дар вақти омӯхтани ҳаракати мавҷи дар муҳити маҳдуд кардашуда, яъне пакети мавҷ дар муҳити дисперсиядор, мавҳуми суръати фазавӣ маънояширо гум мекунад, чунки мо дар ин ҷо на балки бо як мавҷ, балки бо системаи мавҷҳо кордорем. Аз ҳамин сабаб дар таҷрибаҳо суръати группавиро муайян мекунад.

Аз тарафи дигар суръати фазавӣ фақат суръати ҷойивазкунии фазаи муайянро мефаҳмонад. Вай бо суръати ҳаракати фронти мавҷҳо ё бо суръати ҳаракати энергия мавҷҳо вобастагӣ надорад. Аз ҳамин сабаб ҳосилшавиши суръати фазавии c' калон аз суръати рӯшноӣ c дар ҳолигӣ, ки дар асоси назарияи нисбӣ суръати калонтарини ҳудудӣ мебошад, муқобилат намекунад.

24.4. ХОСИЯТҲОИ МАВҶИ ДЕ - БРОЙЛ

1. Суръати паҳншавиши мавҷи де – Бройлро ҳисоб мекунем:

а) Суръати фазагии мавҷи Де – Бройл ба

$$c' = \frac{v}{k} = \frac{hv}{hk} = \frac{E}{p} = \frac{mc^2}{mv} = \frac{c^2}{v} \quad (4.4.1)$$

$c > v$ бошад, бинобар он суръати фазагии мавҷи де – Бройл c' аз суръати рӯшноӣ дар ҳолигии c калон мебошад. Ба ҳайрат омадан лозим нест, чи тавре, ки дар боло нишон додем, суръати фазагӣ на суръати сигнал, на суръати ҳаракати энергияро мефаҳмонад, бинобар он вай метавонад аз суръати рӯшноӣ калон ва хурд шавад

б) суръати группавиро ба формулаи зерин ҳисоб мекунем:

$$q = \frac{dv}{dk} = \frac{d(hv)}{d(hk)} = \frac{dE}{dp} \quad (4.4.2)$$

Нишон медиҳем, ки $\frac{dE}{dp} = v$ мебошад. Тағйирёбиши энергияи зарраи масофаи ds – ро дар зери таъсири қувваи F тайкунанда ба

$$dE = \bar{F} ds$$

мебошад. Аз ин ҷо $F = \frac{d\bar{p}}{dt}$, аз ҳамин сабаб

$$dE = \frac{dp}{dt} \cdot \overline{ds} = dp \frac{ds}{dt} = dpv; \quad dE = v dp.$$

Инро ба (4.4.2) гузошта ҳосил мекунем.

$$q = \frac{dE}{dp} = \frac{v dp}{dp} = v; \quad q = v; \quad (4.4.3)$$

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки суръати группавии мавҷи Де -Бройл ба суръати ҳаракати зарра баробар аст.

2. Қонуни дисперсия. Вобастагии байни басомади мавҷи де – Бройл ва ташиқдихандаи вектори мавҷиро дида мебароем. Барои ин аввал аз муодилаи релятивии $E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$ истифода бурда вобастагии \mathcal{V} ва K –ро ҳосил мекунем.

$$\frac{E^2}{c^2} = m_0^2 c^2 + p^2 = m_0^2 c^2 + (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) \quad (4.4.4)$$

Ба (4.4.4) қиматҳои:

$$\left. \begin{aligned} E &= h\nu \\ p_x &= hk_x; \quad p_y = hk_y; \quad p_z = hk_z \end{aligned} \right\} \text{- ро гузошта ҳосил мекунем:}$$

$$\frac{h^2 \nu^2}{c^2} = m_0^2 c^2 + h^2 (k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)$$

$$\frac{\nu^2}{c^2} = \frac{m_0^2 c^2}{h^2} + k_x^2 + k_y^2 + k_z^2. \quad (4.4.5)$$

Агар $\frac{m_0 c^2}{h} = \nu_0$ бошад, он гоҳ

$$\frac{\nu^2}{c^2} = \frac{\nu_0^2}{c^2} + k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 \quad (4.4.6)$$

Барои зарраҳое, ки массаи оромӣ надоранд $\frac{\nu_0}{c^2} = 0$ мешавад, он гоҳ

$$\frac{\nu^2}{c^2} = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 \quad (4.4.7)$$

мешавад. Муодилаҳои (4.4.6) ва (4.4.7) муодилаи дисперсияи зарраҳо мебошад.

3. Дар охир яке аз хусусиятҳои муҳими мавҷи Де – Бройл чунин аст. Дар назарияи элементарии атомҳои гидрогенмонанди Бор барои мавҷудияти мадорҳои муқимӣ бояд, шарти зерин ҷой дошта бошад.

$$mva = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.4.8)$$

a – радиус аз ҳаста то мадори муқимӣ.

Муодилаи (4.4.8) –ро ба намуди зерин менависем:

$$2\pi a = n \frac{h}{mv} \quad (4.4.9)$$

Азбаски $\frac{h}{mv} = \lambda$ – дарозии мавҷи Де – Бройл мебошад, он гоҳ

$$2\pi a = n\lambda. \quad (4.4.10)$$

Аз ин ҷо хулоса мебарояд, ки дарозии мадорҳои муқимӣ бояд ба ададҳои бутуни дарозии мавҷи Де – Бройл баробар шаванд.

Барои мадорҳои эллиптикӣ шарти (10) намуди дигарро мегирад. Чунки дар ҳар нуқтаҳои мадорҳои эллиптикӣ, аз сабаби гуногун будани \mathcal{V} дарозии мавҷи Де – Бройл гуногун мебошад.

Мавҷудияти мадорҳои эллиптикии Бор бо ду шарти квантии зерин тавсифонида мешавад:

$$\oint p_r dr = n_r h; \quad \oint p_\varphi d\varphi = n_\varphi h \quad (4.4.11)$$

Ҳар дуи онҳоро ҷамъ карда ҳосил мекунем:

$$\oint (p_r dr + p_\varphi d\varphi) = (n_r + n_\varphi)h = nh \quad (4.4.12)$$

Энергияи кинетикиро ба намуди дигар

$$E_{\text{кин}} = \sum_k \frac{p_k q_k}{2}$$

навишта метавонем. Аз (4.4.12) интеграл мегирем:

$$\left. \begin{aligned} 2 \int E_{\text{кин}} dt &= \sum_k \oint p_k dg_k \\ 2 \int E_{\text{кин}} dt &= \oint p_r dr + p_\varphi d\varphi \end{aligned} \right) \quad (4.4.13)$$

(4.4.13) - ро ба (4.4.12) гузошта ҳосил мекунем:

$$nh = \oint (p_r dr + p_\varphi d\varphi) = \oint 2E_{\text{кин}} dt = \oint mv^2 dt = \oint mv \frac{ds}{dt} dt = \oint mv ds$$

Азбаски: $\lambda = \frac{h}{mv}$, $nh = h \oint \frac{ds}{\lambda}$; $n = \oint \frac{ds}{\lambda}$ $n = 1, 2, 3 \dots$. *Аз ин ҷо маълум мешавад, ки ба дарозии мадор бояд, ададҳои бутуни λ -и Де – Бройл дуруст оянд.*

4.5. БА ТАВРИ ТАҶРИБАВЌ ТАСДИҚКУНИИ МАВҶИ ДЕ – БРОЙЛ. ТАҶРИБАИ ДЕВИСОН ВА ҶЕРМЕР

Фарзияти де – Бройл дар бораи он, ки зарраҳои материали дорои хусусияти мавҷӣ ва корпускулавӣ мебошад, дар вақт нагузашта дар таҷриба бо ҳодисаҳои интерферсия ва дифраксия тасдиқ карда шуд.

Пеш аз таҷриба андозаи дарозии мавҷи де – Бройлро ҳисоб мекунем. Ин имконият медиҳад, ки барои мушоҳидаи ҳодисаҳои интерферсия ва дифраксияи зарраҳои материали бояд қадом усулҳо истифода бурда шавад. Фарз кунем, ки мо сели электронҳои бо фарқи потенциалӣ шитобида V дошта бошем. Агар потенциали шитобкунанда он қадар калон набошад, он гоҳ суръати электронҳо бо формулаи механикаи классикии муайян карда мешавад:

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{eV}{300} \quad (4.5.1)$$

$$\lambda = \frac{h}{m\vartheta} = \frac{h}{m \sqrt{\frac{eV}{m \cdot 150}}} = \sqrt{\frac{h^2}{m \frac{eV}{150}}} = \sqrt{\frac{h^2}{me}} \cdot \sqrt{\frac{150}{V}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-27}}{\sqrt{9,1 \cdot 10^{-28} \cdot 4,8 \cdot 10^{-10}}} \cdot \sqrt{\frac{150}{V}} \approx$$

$$\approx 10^{-8} \text{ см} \sqrt{\frac{150}{V}} = \frac{12,25}{\sqrt{V}} \text{ \AA}; \quad (4.5.2)$$

Дар ин ҷо агар $V=150$ в. бошад, $\lambda = 1 \text{ \AA}$ ва $V=440$ в. бошад, $\lambda = 0,6 \text{ \AA}$.

Агар суръати электронҳо калон бошад, формулаи болоӣ барои ҳисобкунии λ дуруст намеояд. Дар ин ҳолат ислоҳи релятивии вобастагии масса аз суръатро ба назар гирифтани лозим аст. Формулаи тақрибан, барои ҳисобкунии λ бо ислоҳи релятиви -- чунин мебошад.

$$\lambda = \frac{12,25}{\sqrt{V}} (1 - 0,489 \cdot 10^{-6} V) \text{ \AA} \quad (4.5.3)$$

Барои протонҳо дарозии мавҷи де – Бройл нисбат ба электронҳо ба бузургии $\left(\frac{1}{\sqrt{1836}}\right)$ хурд мебошад.

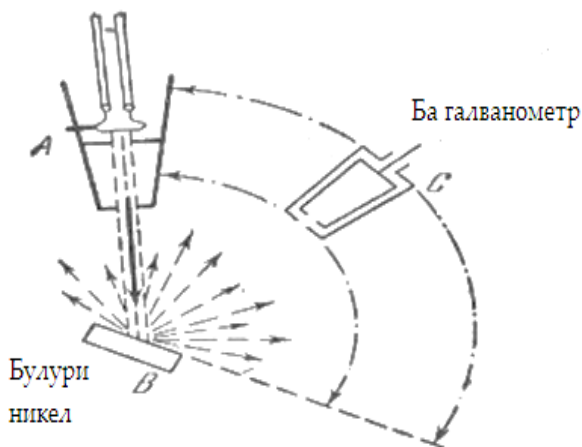
Аз натиҷаҳои овардашуда маълум мешавад, ки дарозии мавҷи Де-Бройл тартиби дарозии шиоҳҳои рентгенро доранд. Аз ҳамин сабаб барои ҳодисаҳои интерференсия ва дифраксияи зарраҳои материалро мушоҳида кардан, аз усулҳои истифода бурдан лозим аст, ки ба воситаи онҳо интерференсия ва дифраксияҳои шиоҳҳои рентгенӣ омӯхта мешаванд.

Таҷрибаҳои зеринро дида мебароем. То пайдоиши фарзияи Де-Бройл соли 1921-1923 Дэвисон ва Кенман нишон доданд, ки дар вақти электронҳо аз варақаи тунуки металли никелӣ майл кардан, дар байни кунҷи майлкунӣ ва интенсивнокии электронҳо вобастагии намоёне (максимумҳо) мушоҳида карда мешавад. Дар ин ҳолат мавҷе ва бузургии максимумҳо аз суръати электронҳо вобастагии калон доранд, расми 4.5.1/а. Пас аз ин онҳо варақаи никелиро дар вакуум ва дар атмосфераи гидроген бисёр тафсонида бозбулӯришуда карданд. Баъди бозбулӯришудан дар варақа як миқдор булӯрҳои калонтар (масофаи байни атомиашон калонтар) пайдо мешаванд. Баъд сели электронҳоро ба ин булӯр равона карда, онҳо мушоҳида карданд, ки шумораи максимумҳо зиёдтар ва намоёнтар мешавад, расми 4.5.1/б. Сабаби инро онҳо дер вақт нафаҳмиданд ва дар охир ба хулоса омаданд, ки дар ин ҳо ҳодисаи интерференсия вуҷуд дорад. Дурустии инро таҷрибаи Дэвисон ва Чермер нишон доданд.



Расми 4.5.1 Пароканиши электронҳо аз лавҳаи никелии полибулӯр: а) то тафсонидан; б) баъди тафсинидан.

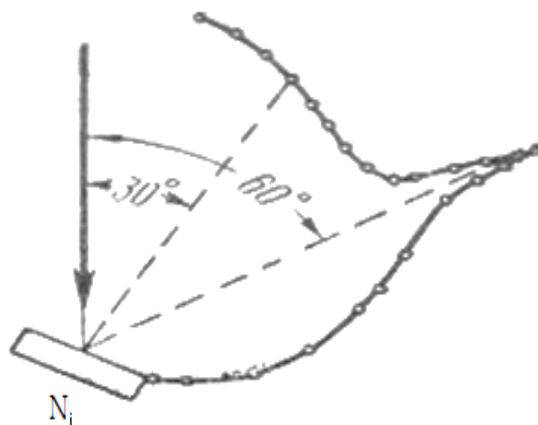
Ин ҳолатро ба назар гирифта Дэвисон ва Чермер таҷрибаи зеринро гузарониданд. Онҳо дастаи электронҳои суръати муайяни параллелиро, ки бо воситаи тӯпи электрони ҳосилкарда мешавад, ба монобулӯри В равона карда, майлишавии онро ба кунҷҳои гуногун мушоҳида карданд (расми 4.5.2) электронҳои аз булӯр майлишуда дар асбоби Дэвисон ва Чермер бо калораметри ҷамъкунандаи электронҳои С, ки ба галванометр пайваस्त мебошад ҳисоб карда мешавад.



Расми 4.5.2 Раҷдаи таҷрибаи

полярӣ

Девисон ва ҷермер.



Расми 4.5.3 Диаграмаи

интенсивияти инкоси
электронҳо аз монобулури никел.

Ҷамъкунандаи электронҳо чунин гузошта шудааст, ки вай нисбат ба шиоҳои афтанда ба кунҷҳои ихтиёрӣ тағйир додан мумкин аст ва ӯ бо ин кунҷҳои ихтиёрӣ дар як ҳамворӣ ҷой иваз мекунад. Ҷараёни электрикиро бо воситаи галванометр дар ҳолатҳои гуногун чен карда вобастагии интенсивнокии сели электронҳоро аз кунҷ муайян кардан мумкин аст. Ҷенкуниҳои интенсивноки дар кунҷҳои гуногун нишон дод, ки максимум намоёни интерференсия монанди ҳодисаҳои оптикӣ дар ҳолате ҳосил мешавад, ки агар кунҷи афтиши ва аксшавӣ зарраҳо аз монобулӯр ба ҳамдигар баробар бошанд, расми 4.5.3

Ин ҳодисаи мушоҳида кардаи мо айнан ба инъикоси интерференсиони шиоҳои рентгенӣ аз булӯре, ки бо методи Брег мушоҳида карда мешавад дуруст меояд. Барои инъикоси шиоҳои рентгенӣ аз булӯр бояд, ки дар байни λ ва φ вобастагии зерин (формулаи Вулф ва Брэг) ҷой дошта бошад.

$$n\lambda = 2d \sin \varphi \quad (4.5.4)$$

Дар ин ҷо d — масофаи байни сатҳҳои атоми дар булӯрҳо n — тартиби максимумҳои шиоҳои инъикосишуда.

Шарти аз монобулӯр дуруст инъикосшавиши электронҳо ҳам ба ҳамин қонун итоат мекунад. Дар асоси ин қонун интерференсияро бо ду роҳ мушоҳида кардан мумкин аст.

1. Ба булӯр шиоҳои λ — муайян доштаро равон карда, булӯрро ба кунҷҳои $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ давр мезанонем (n — ҳам монанди φ ба 1, 2, 3... қиммат мегирад.)
2. Кунҷи лағҷиширо доимӣ нигоҳ дошта, ба булӯр дарозиҳои мавҷҳои гуногунро равона мекунем. Дар ин ҳолат инъикосшавӣ дар ҳамон вақт ба амал меояд, ки агар шарти зерин

$$\lambda_n = \frac{1}{n} 2d \sin \varphi \quad \text{яъне} \quad \lambda_1, \lambda_2 = \frac{\lambda_1}{2}, \quad \lambda_3 = \frac{\lambda_1}{3} \quad (4.5.5)$$

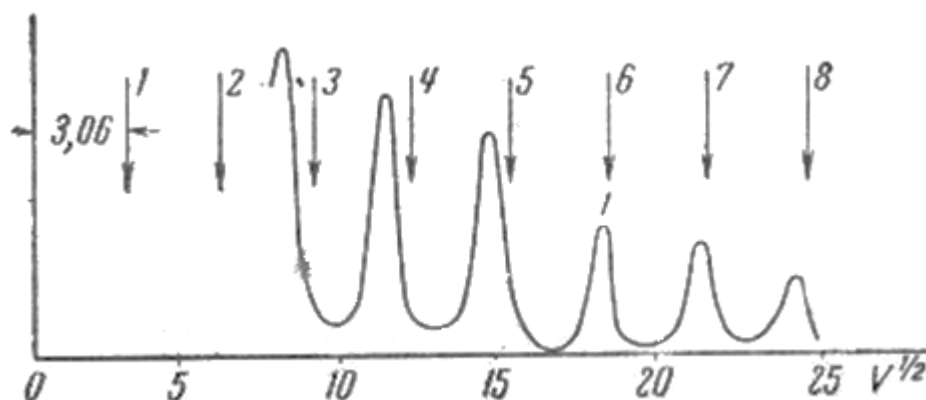
ва ғайра ҷой дошта бошад.

Интерференсияи электронҳо бо роҳи 2^m мушоҳида карда мешавад, чунки сели электронҳо суръатҳои муайян доранд, ва ин суръатро тағйир дода булӯрро дар вакуум давр занондан бисёр осон мебошад.

Аз формулаҳои (4.5.1) ва (4.5.5) чунин баробариҳоро ҳосил мекунем:

$$\left. \begin{aligned} \frac{12,25}{V^{1/2}} &= \frac{1}{n} 2d \sin \varphi \\ V^{1/2} &= n \frac{12,25}{2d \sin \varphi} \end{aligned} \right\} (4.5.6)$$

Дар асоси ин формула барои потенциалҳои гуногун қувваи ҷараёнро бо воситаи галванометр чен карда, максимумҳои гуногуни дар масофаи якхела ҷойгиришударо мушоҳида мекунем. Ин вобастагӣ дар расми зерин нишон дода шудааст, (расми 4.5.4).



Расми 4.5.4 Тағйири формулаи Вулф – Брегг барои интерференсияи уникоси электронҳо аз монобулӯри никел.

Дар ин ҷо бо тире ордината ҷараён, дар тире абсисса қиммати потенциал $V^{1/2}$ гузошта шуда аст. Кунҷи φ – барои ҳама ҳолатҳо ба 80° ($\varphi = 80^\circ$) баробар мебошад. Масофаи байни сатҳи атомҳо ба $d = 2,03 \text{ \AA}$ аст. Чи хеле, ки аз расм дида мешавад, барои қимматҳои гуногуни потенциал максимумҳои гуногун мувофиқ меояд. Нишондодҳои дар расми 4.5.4 додашуда ҳолати максимумҳои ба формулаи Вулф Брег ҳисоб кардашударо мефаҳмонад.

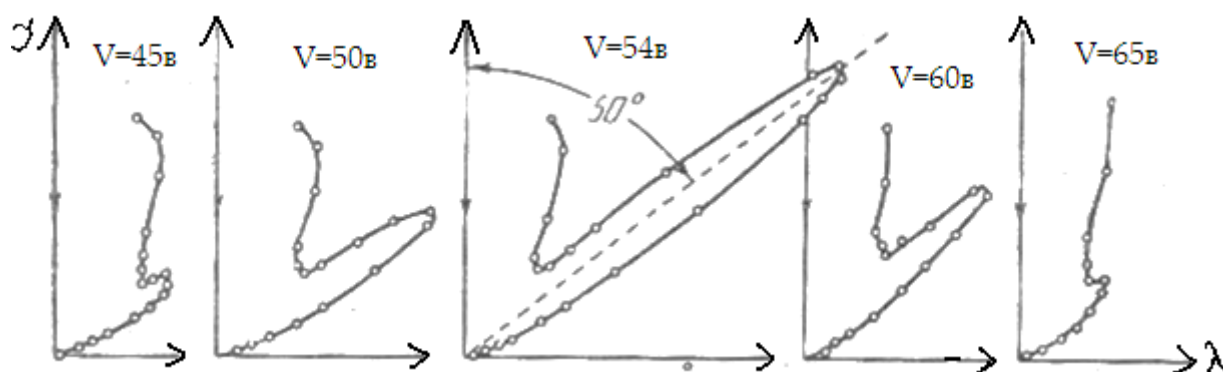
Дар вақти n ба $7 \div 8 \div 9$ баробар будан дар байни n ва максимумҳо фарқ нест, аммо дар вақти n – хурд будан номувофиқии дар байни максимумҳои дар таҷриба ҳосилкардашуда ва бо формулаи Вулф ва Брег ҳисоб карда, мушоҳида карда мешавад. Ин нишондодҳо аз он сабаб аст, ки Вулф - Брег дар вақти истифода бурдани формулаҳо дарозии мавҷро берун аз булӯр ва дар дохили булӯр якхела ҳисобиданд.

Ин ҳисобкунӣ барои дарозии мавҷҳои хурд дуруст мебошад. Барои дарозии мавҷҳои калон нишондоди шикастро ба назар гирифтани лозим аст.

Ба ғайр аз усули Вулф – Брег барои мушоҳидакунии интерференсияи шиоҳои рентгенӣ боз усулҳои дигар низ мавҷуданд. Масалан, усули Лоуэ (барои мушоҳидаи интерференсияи шиоҳои рентгенӣ дастаи борики нурҳои рентгении тайфи яклухт дошта, аз булӯр гузаронида мешавад) ва усули

Дебай – Шррер (дастаи борики шиоҳои рентгенӣ аз даруни хокаи булӯр ё аз қабати варакаи булӯрӣ гузаронида мешавад).

Дэвисон ва Чермер дар таҷрибаҳои дигари худ барои ҳосил кардани интерференсияи электронҳо усули Лоуэро ба қор бурданд. Дар таҷрибаи онҳо дастаи электронҳо ба сатҳи суфтакардашудаи булӯри никел (ки таркиби куббӣ дорад) равона карданд. Бо ёрии колиматори ҷамқунандаи электронҳо интегсивнокии дастаи уникосишудаи онҳоро дар зери кунҷҳои гуногун чен карданд. Ҳангоми мунтазам тағйир додани суръати электронҳо (инчунин дарозии мавҷ) бо кунҷи муайяни афтиши афзоиши ва (камшавии) пастишавии қуллаҳои интерференсионӣ мушоҳида карда шуд. Диаграммаи кутбии се суръат 44эВ, 48эВ ва 54эВ ва кунҷи уникоси $\theta = 50^\circ$ дар расми 4.5.5 оварда шудааст.



Расми 4.5.5

Ба ҳамин тариқ мо ба таври таҷрибавӣ - бо ҳодисаҳои интерференсия ва дифраксия ба хусусияти мавҷи молик будани зарраҳои материалро дидем. Ин барои тараққиёти ояндаи физикаи атомӣ яке аз роҳҳои муҳимро бозид.

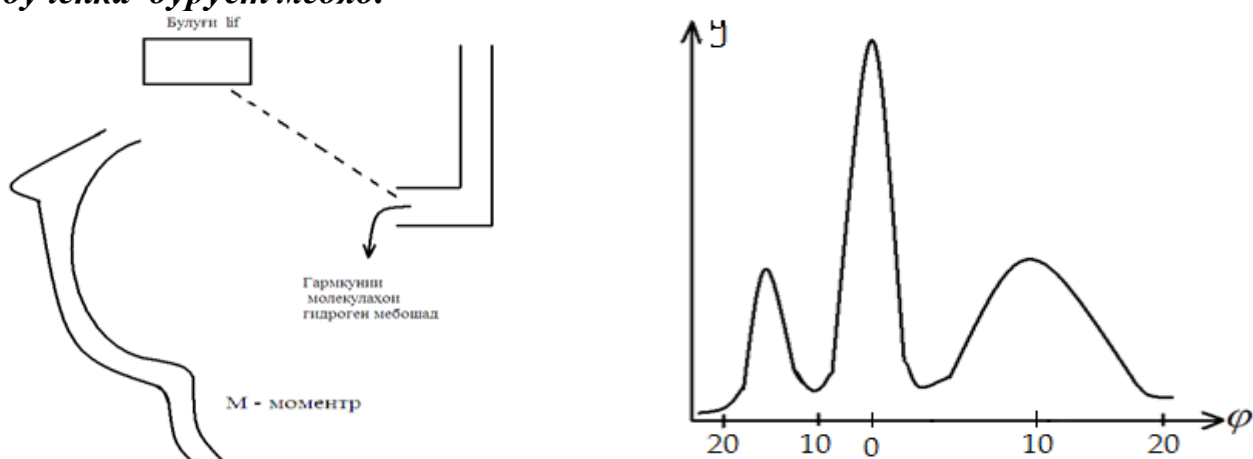
4.6. ДИФРАКСИЯИ ЗАРРАҲОИ МОЛЕКУЛАВӢ ВА НЕЙТРОНҲО

Азбаски формулаи де – Брайлро барои ҳамаи зарраҳои материалӣ татбиқ кардан мумкин аст. Ҳодисаи интерференсия ва дифраксияро нафақат барои электронҳо балки барои ҳамаи атомҳо ва молекулаҳо ва инчунин барои зарраҳои бунёдӣ вазнин ҳам мушоҳида кардан мумкин аст.

Дар асоси формулаи $\lambda = \frac{h}{mv}$ дарозии мавҷ λ ба масса мутаносиби чап мебошад бо қалон шавии масса, бузургии λ бисёр хурд мешавад. Бинобар он ҳодисаи дифраксия барои зарраҳои вазнин, атомҳо, молекулаҳо фақат дар вақти бисёр хурд будани суръаташон дида мешавад. Ҳисобкунӣҳо нишон доданд, ки дарозии мавҷи де - Бройл дар температураи нормалӣ барои атомҳои сабук ба 10^{-8} см баробар аст, яъне дар температураи нормали дарозии мавҷи атомҳои сабук тақрибан ба дарозии мавҷи нурҳои рентгенӣ баробаранд. Аз ҳамин сабаб он усулҳое, ки дар асоси онҳо дифраксия нурҳои рентгенӣ мушоҳида карда мешаванд, барои зарраҳои вазнин ҳам истифода бурдан мумкин аст.

Фарқи ҳодисаҳои дифраксионӣ ва интерференсионӣ барои зарраҳои вазнин аз нурҳои рентгенӣ дар он аст, ки зарраҳои вазнин аз сабаби суръати хурд доштанишон ба дохили булӯр даромада наметавонанд. Бинобар он ҳодисаи дифраксия дар атомҳо бо атомҳои берунии булӯрҳо ба амал меояд.

Дифраксияи атомҳо ва молекулаҳо дар булӯр якҷамъин маротиба Штернер нишон дода буд. Вай ба сифати булӯри LiF , $NaCl$ – ро истифода бурд. Штернер молекулаҳои аз кристалл (булӯр) инъикосшудаи гидроген ва гелийро дар кунҷҳои гуногун чен карда нишон дод, ки максимуми дифраксия дар вақти баробар будани кунҷи афтиши ва инъикосшавӣ мушоҳида карда мешавад. (ба расми 4.6.1 нигаред). Интенсивнокии зарраҳои инъикосшуда бо манометр чен карда мешавад. (расми 4.6.1) минъикосимуми интенсивнокӣ, ки дар он кунҷи афтиши бо кунҷи инъикос баробар мебошад, нисбат ба ҳолати манометр 0° ҳисобида мешавад. Манометрро нисбат ба ин кунҷ ба тарафҳои чапу рост ҷойгир карда, интенсивноки молекулаҳои гидрогену галлий инъикосшударо чен карда минъикосимумҳои ояндаро ҳосил кардаанд. Ин минъикосимумҳо ба минъикосимумҳои тартиби якуми шиҳои рентгенӣ аз панҷараи булӯрии дученка дуруст меояд.

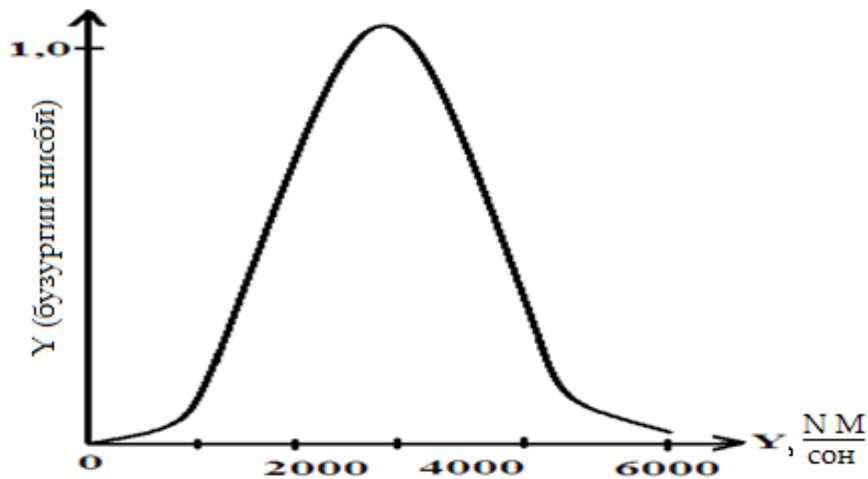


Расми 4.6.1

Дар расми 4.5.1 вобастагии J ва φ дифраксияи гелий аз булури LiF Тен $250^\circ K$ -ро мефаҳмонанд.

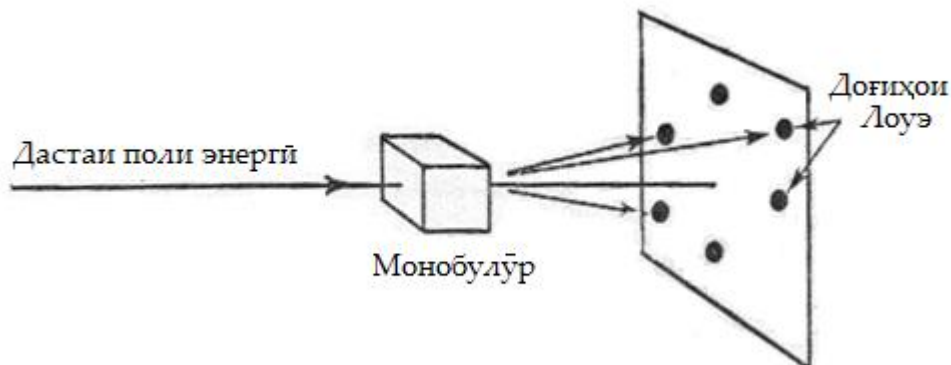
Ба ҳамин тариқ ин таҷриба нишон дод, ки ба хусусияти мавҷи на балки электронҳо балки атомҳо ва молекулаҳо ҳам моликанд.

Барои ба хусусияти мавҷи доро будани зарраҳои бунёдии вазнинро нишон додан, ҳодисаи дифраксияро барои нейтронҳо дида мебароем. Бинобарон ин аз усули Лауэ истифода мебарем. Дар асоси усули Лауэ зарраҳо бояд, ки тайфи яклухт дошта бошанд. Тайфи яклухти де – Бройл барои нейтронҳо дар ҳамон вақт ҳосил мешавад, агар энергияи нейтронӣ ба модда дохил шуда, бо энергияи гармии дохили модда якхела бошад. Дар ин ҳолат тайфи тақсимоти нейтронҳо бо суръат ба қонуни тақсимоти суръати Максвеллӣ дуруст меояд. Вай дар расми 4.6.1 оварда шудааст.



Расми 4.6.2

Дар ин чо барои нейтронҳои суръати 2200 м/сон дошта λ ба $1,8\text{\AA}$ баробар аст. Барои ингуна нейтронҳо, (нейтронҳои нимэнергӣ) раҷаи таҷриба ва тасвирҳои дифраксионӣ дар расми 4.6.3 оварда шудаанд.



Расми 4.6.3 Усули дифраксияи Лоуэ барои нури рентгени ва дастаи нейтронҳо.

Дар ин чо нейтронҳо бо энергияҳои гуногун аз масофаҳои байни атомии панҷараи фазогии булӯр дифраксия шуда, дар экран доғҳои ҳосил мекунад, ки вай симетрияи панҷараи булӯриро нишон медиҳад.

Дар ин ҳолат кунҷи майлқунӣ бояд шарти $\lambda = 2d \sin \varphi$; $\lambda = \frac{h}{mv}$ – ро қаноат кунонад. Бо ҳамин роҳ дар кунҷҳои гуногун нейтронҳои дорои энергияи ихтиёро ҳосил карда, ҳодисаи дифраксияро мушоҳида кардан мумкин аст.

Дифраксияи нейтронҳо дар замони ҳозира ба таври васеъ барои омӯзиши таркиби булӯриҳо истифода бурда мешавад. Инҳо усулҳои то ин вақт маълум: Рентгеннигорӣ ва электронигориро пурра мекунад. Усули омӯхтани таркиби булӯрҳо дифраксияи нейтронҳо, усули нейтроннигорӣ номида мешавад.

Ба ҳамин тариқ мо ба хусусияти мавҷи доро будани зарраҳои электрони вазнинро ҳам нишон додем.

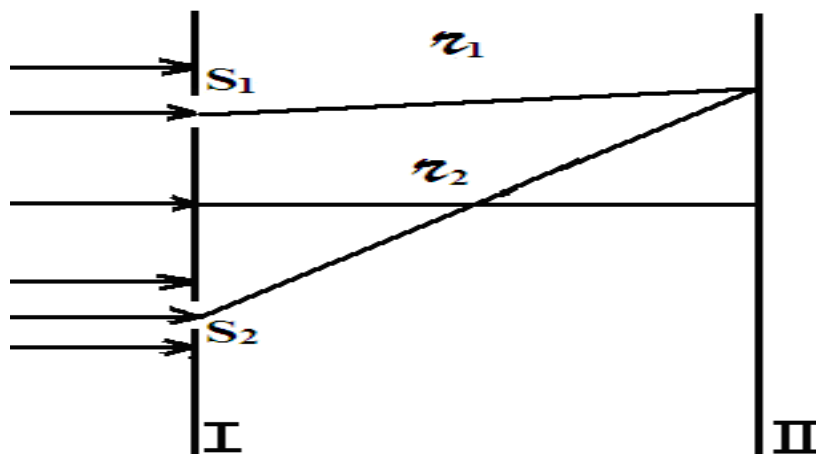
4.7. МАЪНОИ ФИЗИКИИ МАВҶИ ДЕ – БРОЙЛ

Дар ҳамаи ҳодисаҳои микроскопи электрон худро чун заряди дар ҳаҷми бисёр хурд маҳдуд буда нишон медиҳад. Онро чун заряди нуқтавӣ дидан мумкин аст. Лекин мавҷи якранг хусусияти мавҷии электронро метавсифонад, дарозии беохир дорад. Саволе ба миён меояд, чи хел ин ду хусусият ба хусусияти мавҷи ва корпусулавӣ доро, яъне дар фазо ва вақт маҳдуд буданро бо якдигар алоқаманд кардан мумкин аст. Де – Бройл кӯшиш карда буд, ки хусусияти мавҷии электронро на бо мавҷи якранг (чунки мавҷи якранг дарозии беохир дорад), балки бо гурӯҳи мавҷ тавсифонад. Вай аз гурӯҳи мавҷ-пакети мавҷие сохт ки он дар фазо маҳдуд буда суръати гурунавиш он ба суръати ҳаракати зарра баробар мебошад. Бо ҳамин хост зарраро чун пакети мавҷи омӯзад. Лекин пакети мавҷӣ шакл ва андозаи худро танҳо дар фазои дисперсия надоштагӣ нигоҳ дошта метавонад. Дар вақти пакет дар фазои дисперсиядор ҳаракат кардан шакл ва андозаашро нигоҳ дошта наметавонад – вай оҳиста – оҳиста васеъ мешавад. Электрон бошад ин хусусиятҳоро надорад.

Аз тарафи дигар яке аз хусусиятҳои асосии зарраҳо тақсимнашаванда будани онҳост. Мавҷҳо бошад ба ин хусусият молик намебошад, бинобар он онҳо дар вақти аз ҳудуди ду муҳит гузаштан бо фазоҳои гуногун ба мавҷҳои аз муҳит гузашта ва инкосишуда тақсим мешавад. Бинобар он агар зарраҳо ба ин хусусият молик мебуданд бояд, ки дар вақти аз ду муҳит гузаштан ба қисмҳо тақсим мешуданд. Дар ҳақиқат ин тавр нест. Аз ин ҷо мебарояд, ки зарраҳо дар ҳамаи просесҳои мавҷи дар вақти аз муҳит гузаштан бояд, ки ё бутун гузаранд, ё ки бутун инъикос шаванд.

Аз ҳамин сабаб алоқаи байни зарра ва мавҷро ба таври оморӣ ин тавр шарҳ додан лозим аст; Квадрати амплитудани мавҷ дар ҷои додашуда, ки вай интензивнокии мавҷро муайян мекунад, мавҷудияти зарраро дар ҳамон ҷой мефаҳмонад.

Барои дурустии ин хел маънидодкарданро фаҳмидан таҷрибаи зеринро дида мебароем. Мавҷи ҳамвор ба экрани, ки сӯрохиҳои s_1 ва s_2 дорад, равон карда мешавад. Сӯрохиҳои s_1 ва s_2 маркази мавҷҳои сферикӣ Гюгенс мешаванд. Мавҷҳо ҳаракат карда ба экрани II мерасанд ва он сатҳҳои равшан ва торик интерференсиониро ҳосил мекунанд. Агар дар экрани II фарқи ғайти роҳи мавҷҳо ба сифр ё ки, ба ададҳои чуфти ин мавҷҳо баробар шавад, он гоҳ дар экран максимуми амплитуда вобаста ба он максимуми сатҳи равшани интерференсионӣ ҳосил мешавад, ва агар дар экрани II фарқи ғайт ба адади тоқи ниммавҷҳо баробар шавад, мавҷҳо якдигарро хомӯш мекунанд, амплитудани онҳо баробари сифр мешавад ва дар экран сатҳҳои торикӣ интерференсионӣ ҳосил мешавад. Аз ин ҷо маълум мешавад, ки сатҳҳои равшани интерференсионӣ барои нури рӯшноӣ дар ҷое ҳосил мешавад, ки агар фарқи ғайти мавҷ ба сифр ё ададҳои ниммавҷҳо баробар шаванд. Дар ин ҷойҳо тақсимнавиши амплитуда мувофиқ наояд расми 4.7.1.



Расми 4.7.1

Акнун фарз кунем, ки мавҷи ба сӯроҳ равон карда электронҳо бошанд. Таҷриба нишон медиҳад, ки характери тасвирҳои интерференсионӣ аз сели зарраҳои ба экран равон кардашуда вобаста намебошад. Аз ҳамин сабаб мо аввал ба экрани I сели хурди электронҳоро равон мекунем, электронҳо аз сӯроҳҳои экрани I гузашта ба экрани II омада мерасанд дар он дар ҳолати аввал доғҳои алоҳидаи парешони бетартибонаро ҳосил мекунам. Дар вақти таҷрибаро дер давом додан дар экран сатҳҳои равшану торики интерференсионӣ ҳосил мешавад, ки вай сабаби ба экран бисёр омада расидани электронҳоро мефаҳмонад. Таҷрибаро саҳеҳ омӯхта дидан мумкин аст, ки дар он ҷойҳое, ки сатҳҳои равшани интерференсионӣ ҷойгиранд, электронҳо бисёр расидаанд ва дар ҷойҳое, ки сатҳҳои торики интерференсионӣ ҷойгиранд, электронҳо тамоман нарасидаанд. Яъне аз инҳо маълум мешавад, ки дар қучое ки амплитуда қиммати максимуми дорад, электронҳо бисёр омада расидаанду дар ҷойҳое амплитуда қиммати минималӣ дорад тамоман нарасидаанд.

Агар ба экран электронҳои алоҳида равон карда шавад, дар ин ҳолат ҳам дидан мумкин, ки эҳтимоли мавҷияти электрон дар он ҷое аз ҳама калон мебошад, агар дар он ҷой амплитуда қиммати максимуми дошта бошад. Эҳтимоли мавҷудияти электрон дар он ҷое баробари сифр мебошад, агар амплитуда баробари сифр бошад. Эҳтимолият ҳама вақт ба қиммати максимуми соҳиб мебошад, аммо амплитуда ҳам қиммати мусбат ва манфӣ дорад, бинобар он эҳтимолияти мавҷудияти электрон ба квадрати амплитуда тавсифонида мешавад. Чи хеле, ки медонем мувофиқи назарияи Де – Бройл ҳаргуна зарраи ҳаракат карда бо мавҷи зерин алоқаманд мебошад.

$$\psi(r, t) = a e^{2\pi i(vt - kr)} = \psi_0(r) e^{2\pi i(vt - kr)} \quad (4.7.1)$$

Дар ин ҷо a ва ψ_0 амплитудани мавҷ мебошад. Басомади ин мавҷ v ва адади мавҷи $k = \frac{1}{\lambda}$ бо импулси зарра P ва энергия E ба воситаи формулаҳои $E = h\nu$ ва $p = hk$ алоқаманд мебошад.

Мувофиқи дар боло баён кардаамон эҳтимоли ёфтани зарра дар нуқтаи додашудаи фазо бо квадрати амплитудани мавҷ муайян карда мешавад, аз ҳамин сабаб ин баёнотро дар асоси формулаи (4.7.1) ба таври математикӣ чунин навиштан мумкин аст.

$$\psi_0^2(r) = \psi(r, t) \cdot \psi^*(r, t) = |\psi|^2 \quad (4.7.2)$$

Дар ин ҷо ψ^* функцияи чапнаи ψ ё, ки функцияи комплексӣ мебошад.

Эҳтимоли ёфтани зарра dw дар ҳаҷми $d\tau$ бо формулаи зерин муайян карда мешавад

$$dw = |\psi|^2 d\tau \text{ аз ин, чо } |\psi|^2 = \frac{dw}{d\tau} \quad (3)$$

Яъне квадрати модули функсияи мавҷи эҳтимоли тақсимоли зиччи зарраро дар фазо мефаҳмонад

Ба ҳамин тариқ мавҷи де – Бройл ҳаракати зарраро ба таври оморӣ баён мекунад. Аз ҳамин сабаб мавҷи де – Бройл чун мавҷи эҳтимоли дидан лозим аст. Вай хатти сайри зарраро муайян накарда болки эҳтимоли ёфтани зарраро дар ягон ҷойи додашуда дар фосилаи вақт муайян мекунад.

Аз ҳамин сабаб назарияе, ки ҳолати зарраро дар асоси тасавуроти мавҷии зарра баён мекунад ва ба ҳисобкунии функсияи мавҷи имконият медиҳад (фақат ба ҳисобкунии эҳтимоли ёфтани зарра имконият медиҳад) бояд назарияи омор бошад.

4.8. ТАНОСУБИ НОМУАЙЯНИ

Омӯхтани табиати зарраҳои бунёди дар бисёр таҷрибаҳо нишон дод, ки зарраҳо худро дар баъзе ҳолатҳо чун мавҷ (майлилавиш онҳо аз булурҳо ва содирлавиш ҳодисаҳои дифраксионӣ ва интерфренсионӣ), дар баъзе дигар ҳолатҳо чун зарра (дар вақти аз камераи Вилсон гузаштани α – зарра ҳосилалавиш хатҳои гафси ионизатсионӣ) зарраҳои бунёдиро, ки ба хосияти мавҷи ва корпускулавӣ моликанд (дар оянда зарраҳои микраскопи меномем) то он дараҷае ба худашон хос мебошанд, ки ягон зарраҳои микраскопи ба онҳо монанд нестанд. Аз ҳамин сабаб дар вақтӣ омӯхтани табиати зарраҳои микраскопи ба усулҳои механикаи классики бисёр қонунҳоеро барои микрозарраҳо татбиқ кардан номумкин мебошад.

Дар асоси механикаи классикӣ ҳар як зарра дар фосилаи вақти ихтиёри дар фазо мавҷеи муайян ва импульси муайян дорад. Мавҷеи зарра ва ҳолати он дар фазо дар фосилаи вақти додашуда ба координата X муайян карда мешавад. Импульси зарра P бошад, чи хел тағйир ёфтани ин ҳолати зарраро дар фазо дар фосилаи бисёр хурди оянда мефаҳмонанд. Масалан, агар дар фосилаи вақти t ҳолати зарра бо координата X муайян карда шавад дар фосилаи вақти $t + \Delta t$ координатаи вай бо $x = x + dx$, яъне бо

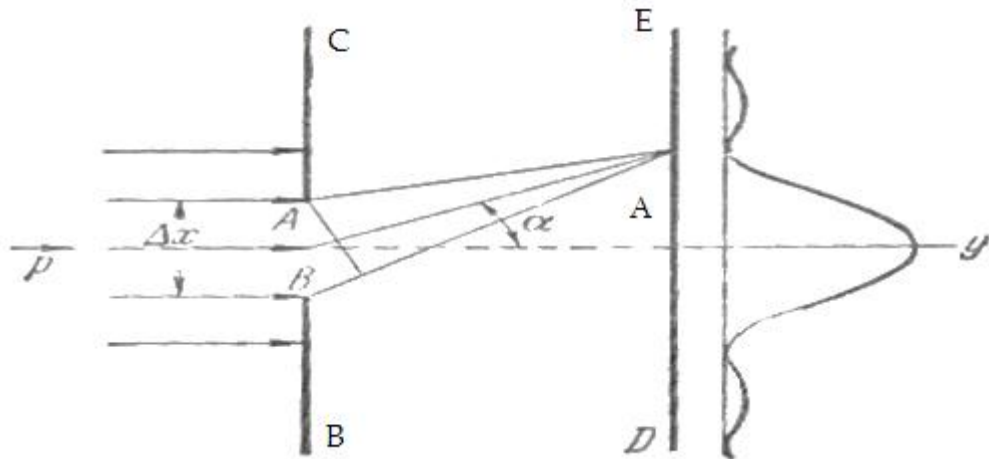
$$x_1 = x + dx = x + \frac{dx}{dt} dt = x + v_x dt = x + \frac{p_x}{m} dt \quad (4.8.1)$$

муайян карда мешавад. Аммо зарраҳои микраскопиро ин тавр муайян кардан мумкин нест. Чунки импульси зарра P бо дарозии мавҷ λ бо формулаи $p = \frac{h}{\lambda}$ алоқаманд мебошад. Аз ин, чо λ – координатаи зарра шуда наметавонад чунки дарозии мавҷ λ координатаи нуқта набуда балки функсияи мавҷ мебошад. Аз ҳамин сабаб дорои хусусияти мавҷи будани зарраҳо имконият намедиҳад, ки ҳаракати зарраҳо бо хатти сайри қиддӣ муайян ва ҳолати онҳо бо координата ва импульсҳо аниқ муайян карда шавад.

Аммо дар як қатор ҳолатҳо ҳаракати зарраҳо хусусияти онҳоро бо қонунҳои механикаи классикӣ дуруст ҳисоб кардан мумкин аст. Масалан,

ҳаракати электронҳоро дар микраскоп, лампаҳои электронӣ ва ҳаракати протонҳо, α – зарраҳоро дар суръатфизоҳо бо қонунҳои Нютон ҳисоб мекунанд. Дар ин ҳолат натиҷаҳои ҳисобкунии ҳосилишуда бо натиҷаҳои таҷрибавӣ бо якдигар назм мувофиқат мекунанд.

Ба ҳамин тариқ зарурияти ёфтани меъёр ба миён меояд, ки вай дар вақти омӯختани зарраҳо дар кадом ҳолат хусусияти мавҷиро ба назар гирифтани лозим аст ва дар кадом ҳолат хусусияти мавҷиро ба назар нагирифтани мумкин аст, нишон дода тавонад. Ба сифати ин гунна меъёр таносуби номуайяниро, ки аз тарафи Гейзенберг муайян карда шуда буд, истифода бурдан мумкин аст. Барои онро фаҳмидан аз мисоли зерин истифода мекунем. Фарз кунем, ки сели электронҳои дорои импульси P бо суръати v бо равиши OA ҳаракат карда ба экрани CD , ки сӯроҳии васегиаш ба a баробар дорад, омада мерасад (расми 4.8.1).



Расми 4.8.1 Муайян кардани ҳолати электронҳо бо ёрии экрани сӯроҳдор.

Электронҳо аз сӯроҳии экрани CD гузашта ба экрани E омада мерасанд ва дар он аз сабаби ба хусусияти мавҷи молик буданашон тасвирҳои дифраксиониро ҳосил мекунанд. Хати нуқтаҳо тақсироти электронҳои аз сӯроҳ гузаштаре нишон медиҳад. Максимуми сифри дифраксия дар вақти φ баробари сифр будан мушоҳида карда мешавад. Минимуми якум бошад дар вақти φ доштани шартҳои зерин ҳосил мешавад.

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{a} \quad (4.8.1)$$

Дар ҳодисаи дифраксия аз як сӯроҳ миқдори асосии интенсивнокии зарраҳо 95% дар максимуми якум (сифри) ҷойгир мешаванд, аз ҳамин сабаб дар оянда максимумҳои дуюм дараҷагиро ба назар нагирифта фақат максимумҳои асосиро мебинем. Акнун фарз кунем, ки электронҳои аз сӯроҳи a дифрактаи CD гузашта зарраи механики бошад. Он гоҳ тасвири дифраксионии дар расм ҳосилишударо нисбат ба зарраи механики шарҳ медиҳем. Азбаски зарраҳои механикӣ бо координата ва импульс тавсифонида мешаванд, мо координата ва импульсҳои онро муайян мекунем. Ҳар як электрони ба экрани ED омада расида аз сӯроҳ мегузарад. Бинобар он мо координатаи y чун координатаи сӯроҳ муайян карда метавонем. Дар вақти ин муайянкунии номуайяние содир карда

мешавад, ки бузургии калонтарини \bar{y} ба андозаи сӯрох $a = \Delta x$ баробар мебошад.

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки мушоҳида тасвири дифраксионӣ имконият медиҳад, координатаи электрони аз сӯрох гузаштаро то саҳеҳии $a = \Delta x$ муайян карда шавад.

Азбаски электронҳо дорои хусусияти мавҷи мебошанд ва ҳодисаи дифраксияро дар экран ба вуҷуд меоваранд, онҳо пас аз сӯрох гузаштан бояд бо ягон эҳтимолият ба ҷои ихтиёрии экран омада расанд. Аз ҳамин сабаб сурати электронҳо пас аз сӯрох гузаштан дигар мешавад ва дар равиши тири OX ташиклдиҳандаи импульси он Δp_x пайдо мешавад, ки ин бузургии барои электронҳои гуногун мебошад. Чи тавре, ки дар боло гуфтем мо дар ин ҷо бо омӯхтани максимуми асоси маҳдуд мешавем. Бинобар он бузургии Δp_x – ро дар ҳудуди зерин маҳдуд аст гуфта метавонем.

$$0 \leq \Delta p_x \leq p \sin \varphi \quad (4.8.2)$$

Аз ин, ҷо маълум мешавад, ки бузургии импульси P – и электронҳои дар дифраксия иштирок кардари аниқ муайян кардан мумкин нест, балки вайро дар ягон фосила бо номуайянии Δp_x муайян кардан мумкин аст.

$$\Delta p_x = p \sin \varphi = p \frac{\lambda}{a} = \frac{h}{a} \quad (4.8.3)$$

Аз ин ҷо

$$\Delta x \cdot \Delta p_x = h \quad (4.8.4)$$

Агар баъзе электронҳои дигар, ки ба максимумҳои асоси наафтаида берун аз он меафтанд, (барои онҳо $\Delta p_x > p \sin \varphi$) ба назар гирем формулаи (4.8.4) – ро ба намуди зерин навиштан мумкин мешавад

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h \quad (4.8.5)$$

Ба намуди умуми нисбат ба дигар координатаҳо формулаи (4.8.5) – ро ба намуди зерин менависем:

$$\Delta p_i \cdot \Delta g_x \geq h \quad (4.8.6)$$

Дар ин, ҷо p_i – импульси умумикардашуда, g_i – координатаҳои умумикардашуда. Нисбат ба вақт ва энергия муодилаи (4.8.6) – ро интавр менависем

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h \quad (4.8.7)$$

Муодилаҳои (4.8.5), (4.8.6) ва (4.8.7) муодилаҳои таносуби номуайяни номида мешавад.

Таносуби номуайяни нишон медиҳад, ки чи қадар координатаҳо саҳеҳ муайян карда шавад, ҳамон қадар номуайяни дар ташиклдиҳандаи миқдори ҳаракат калон мешавад ва баракс. Нисбат ба дифраксия таносуби номуайяни ҳаминро нишон медиҳад; чи қадаре, ки бузургии сӯрох Δx хурд шавад, ҳамон қадар кунҷи φ калон мешавад, яъне максимуми асоси калон мешавад.

Хотиррасон мекунем, ки муодилаҳои (4.8.5), (4.8.6) ва (4.8.7) – ро дар натиҷаи истифодабарии тавсифҳои классики ҳаракат (координатаҳо ва импульс) ба назар гирифтани хусусиятҳои мавҷии электронҳоро, муайян карда шуд. Дар механикаи Нютон координата ва импульсро то саҳеҳи бисёр аниқ калон муайян кардан мумкин аст. Бинобарон муодилаи таносуби номуайяниро ҳамчун миқёси истифодаи механикаи классики барои шарҳ

додани ҳаракат дар ин ё он ҳолат истифода бурдан мумкин аст. Хулоса муодилаҳои таносуби номуайяни ҳудуди истифодаи механикаи классикиро барои микро зарраҳо мефаҳмонад.

Дар ҳолатҳои мухтасар муодилаи (4.8.5) – ро ба намуди зерин истифода мебарем:

$$\Delta p_x = \frac{h}{m\Delta x} \quad (4.8.8)$$

Дар ин ҷо: $\Delta p_x = m\Delta v_x$. Аломати нобаробари аз он сабаб партофта шуд, ки $\Delta x\Delta p_x > h$ дар ҳолатҳои бисёр кам дида мешаванд.

Аз муодилаи (8) дида мешавад, ки аз сабаби бисёр хурд будани бузургии h номуайяни дар сурат, дар ҳамаи вақт намоён мешавад, агар масса m бисёр хурд бошад. Аз ин ҷо маълум мешавад, ки барои макроҷисмҳо номуайяни дар сурат бисёр хурд мебошад, бинобар он хусусияти мавҷи ягон нақшаи намебозад.

Бузургии массаҳои зарраҳои бунёди (масалан электрон $m = 9,1 \cdot 10^{-28}$ гр.) ба қиммати $h = 6,62 \cdot 10^{-28}$ эрг. сон. наздик мебошанд. Бинобар он вобаста аз қиммати номуайяни дар сурат Δv_x калон шудани мумкин аст. Дар ин ҳолат хусусияти мавҷи нақшаи калонро мебозад. Акнун якчанд масалаҳоро дида мебароем:

1. Фарз кунем, ки сақочаи вазнаш ба 1 грамм баробар дорем.

Ҳолати ӯро то саҳеҳии 10^{-4} см муайян кардан мумкин аст.

Номуайяни сурати ҳаракати саққо ёфта шавад.

$$\Delta v_x = \frac{6,6 \cdot 10^{-27}}{10^{-4}} = 6,6 \cdot 10^{-23} \text{ см/сон.}$$

Чи хеле, ки дида мешавад, Δv_x ниҳоят хурд мебошад, бинобар он барои муайян кардани сурати саққо аз механикаи Нютон истифода бурдан мумкин аст.

2. Нишон медиҳем, ки ҳаракати электрони дар атом дар мадори сарбаста ҳаракат кардари бо қонунҳои механикаи классики шарҳ додан мумкин аст ё не? Барои он, ки бовари ҳосил кунем, ки электрони омӯхтаамон ба атом тааллуқ дорад ё не, аввал координатаҳои онро бо саҳеҳии андозаи атом баробар муайян мекунем, яъне фарз кунем, ки $\Delta x = 10^{-8}$ см., он гоҳ

$$\Delta v_x = \frac{6,6 \cdot 10^{-27}}{9 \cdot 10^{-28} \cdot 10^{-8}} = 7,3 \cdot 10^8 \text{ см/сон.}$$

Барои он ки ин номуайяни дар сурат то чи андоза калон аст шарҳ дода тавонем, сурати ҳаракати электронро дар атом дар асоси қонуни механикаи калсикӣ ҳисоб мекунем: фарз кунем, ки электрон дар атрофии ҳаста бо радиуси $r = 0,5 \cdot 10^{-8}$ см ҳаракат мекунад. Дар байни электрон ва ҳаста қувваи кулонӣ $F = e^2/r^2$ таъсир мекунад. Ин қувва ба қувваи

марказиштор $F = \frac{m v^2}{r}$ баробар мебошад.

Яъне; $\frac{m v^2}{r} = \frac{e^2}{r^2}$; $v = \sqrt{\frac{e^2}{mr}}$; $v = \sqrt{\frac{(4,8 \cdot 10^{-10})^2}{9,10^{-28} \cdot 0,5 \cdot 10^{-8}}} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ см/сон}$

Аз ин ҷо дида мешавад, ки бузургии номуайяни сурат аз сурати электрон, ки дар атрофии ҳаста ҳаракат мекунад якчанд маротиба калон мебошад. Бинобар он барои шарҳи ҳаракати атом аз қонунҳои механикаи классики

истифода бурдан мумкин нест. Дар ин ҳолат хусусияти мавҷии электронро ба назар гирифташ шарт мебошад.

3. Агар 2- зарра дорои энергияи 24 МэВ бошад. Ҳолати он бо гафсии давр, ки дар камераи Вилсон гузошта аст муайян карда шавад. $\Delta x = 10^{-2}$ см. Он гоҳ хусусияти мавҷии α – зарраро ба назар гирифташ лозим аст ё не?

$$m_{\alpha} = 6,6 \cdot 10^{-24} \text{ гр. } \Delta \vartheta_x = \frac{6,6 \cdot 10^{-27}}{6,6 \cdot 10^{-24} \cdot 10^{-2}} = 10^{-1} \text{ см/сон.}$$

Барои муқоиса, сурати ҳаракати \bar{y} ро меёбем:

$$E = \frac{mv^2}{2}; \quad \vartheta = \sqrt{\frac{2E}{m}}; \quad 1 \text{ МЭВ} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ эрг.}$$

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}}{6,6 \cdot 10^{-24}}} = 10^9 \text{ см/сон.}$$

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки номуайяни дар сурат, $10^{-8}\%$ – и худ суратро ташиқ медиҳад. Дар таҷриба сурати α – зарраҳоро то саҳеҳии $10^{-2}\%$ муайян мекунам. Аз ҳамин сабаб дар ҳолати дидаамон хусусияти мавҷии α – зарраҳоро ба назар нагирифташ мумкин аст.

4.9. ФУНКСИЯИ МАВҶӢ ВА МУОДИЛАИ ШРЕДИНГЕР

Азбаски зарраҳои микраскопи ба хусусияти мавҷи соҳибанд – ҳолати онҳо ва ҳаракати онҳоро бо муодилаҳои механикаи классики муодилаҳои Нютон муайян кардан мумкин нест.

Де - Бройл якӯминбор ба хусусияти мавҷи молик будани зарраҳоро нишон дод, аммо муодилаи ҳаракати онҳоро нишон дода натавонист. Муодилаи ҳаракати зарраҳои микраскопи с. 1926 Шердингер муайян кардан. Шердингер барои ҳаракати зарраҳоро омӯختан муодилаеро муайян кард, ки вай хусусияти мавҷии зарраҳоро низ ба назар мегирад ва муодилаи ҳаракати мавҷҳои электромагнитиро дар ҳолигӣ метавсифонад ба намуди зерин навишта мешавад.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (4.9.1)$$

Ҳалли муодилаи (4.9.1) – ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$U = A e^{2\pi i(kr-vt)} = A e^{2\pi i(xk_x + yk_y + zk_z - vt)} \quad (4.9.2)$$

Аз ин муодила ду маротиба нисбати координата ва вақт дифференциал гирифта ҳосил мекунем:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -2\pi i v \cdot A e^{2\pi i(kr-vt)}; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 4\pi^2 v^2 \cdot U \quad (4.9.3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = (2\pi i) K_x A e^{2\pi i(kr-vt)}; \\ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = (2\pi i)^2 K_x^2 \cdot U; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = (2\pi i)^2 K_y^2 \cdot U; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = (2\pi i)^2 K_z^2 \cdot U; \quad (4.9.4)$$

Муодилаи (4.9.3) ва (4.9.4) – ро ба (4.9.1) гузошта ҳосил мекунем

$$\frac{v^2}{c^2} = K_x^2 + K_y^2 + K_z^2; \quad (4.9.5)$$

Яъне, муодилаи басомадро вектори мавҷи метавсифонад, муодилаи қонуни дисперсияро барои нур рӯшноӣ ҳосил кардем.

Аз ҳамин сабаб барои ҳосил кардани муодилаи Шердингер аз формулаи қонуни дисперсия барои зарраҳои микраскопи, яъне аз муодилаи зерин истифода мебарем. Ин формуларо ба намуди зерин менависем.

$$\frac{E^2}{c^2} = m_0^2 c^2 + (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2); \quad (4.9.6)$$

ки вобастагии энергия ва импульси зарраи бо сурати релятивӣ ҳаракат кардари нишон медиҳад муайян карда будем.

Муодилае, ки мо ҳозир дида мебароем барои зарраҳои мебошад, ки сураташон аз сурати рӯшноӣ хурд аст. Бинобар он барои ҳосил кардани он аз формулаи механикаи Нютон, ки вобастагии энергияро аз импульс нишон медиҳад истифода мебарем. Барои ҳосил кардани муодилаи Шердингер аз формулаи энергияи кинетики – формулаи вобастагии энергияро аз импульси зарра нишон медиҳад истифода мебарем.

$$E = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2m} (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) \quad (4.9.7)$$

қимматҳои $E = h\nu$; $p_x = \hbar k_x$; $p_y = \hbar k_y$; $p_z = \hbar k_z$ –ро ба (4.9.4) гузошта ҳосил мекунем.

$$v = \frac{\hbar}{2m} (K_x^2 + K_y^2 + K_z^2); \quad (4.9.8)$$

Ин муодилаи дисперсияи мавҷи де – Бройл барои зарраҳои сураташон аз сурати рӯшноӣ хурд буда мебошад.

Барои ёфтани муодилаи Шердингер, аз муодилаи мавҷи ҳамвори де – Бройл

$$\psi = A e^{i2\pi(kr - vt)} = A e^{i2\pi(xk_x + yk_y + zk_z - vt)} \quad (4.9.9)$$

Як маротиба бо вақт ду маротиба бо координата дифференциал гирифта ҳосил мекунем.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial t} &= -2\pi i v \cdot A e^{i2\pi(kr - vt)} = -2\pi i v \cdot \psi; \\ \frac{\partial \psi}{\partial x} &= 2\pi i K_x \cdot A e^{i2\pi(kr - vt)} \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} &= (i2\pi)^2 K_x^2 \cdot A e^{i2\pi(kr - vt)} = (2\pi i)^2 K_x^2 \cdot \psi \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -2\pi i v \cdot \psi; \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = (2\pi i)^2 \cdot K_x^2 \psi \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = (2\pi i)^2 \cdot K_y^2 \psi \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = (2\pi i)^2 \cdot K_z^2 \psi \end{array} \right\} \quad (4.9.10)$$

Аз муодилаҳои ҳосилишуда v, K_x, K_y, K_z – ро ёфта ва қимматҳои онҳоро ба (4.9.2) гузошта ҳосил мекунем.

$$v = -\frac{1}{\psi} \frac{1}{2\pi i} \frac{\partial \psi}{\partial t}; \quad K_x^2 = \left(\frac{1}{2\pi i} \right)^2 \frac{1}{\psi} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}; \quad K_y^2 = \left(\frac{1}{2\pi i} \right)^2 \frac{1}{\psi} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2};$$

$$K_z^2 = \left(\frac{1}{2\pi i}\right)^2 \frac{1}{\psi} \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2};$$

Ин қимматҳоро ба муодилаи (2) мегузорем

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{2\pi i} \frac{1}{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial t} &= \frac{h}{2m} \left(\frac{1}{2\pi i}\right)^2 \frac{1}{\psi} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}\right); \\ -\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial \psi}{\partial t} &= \frac{h^2}{2m} \left(\frac{1}{2\pi i}\right)^2 \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}\right); \\ -\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial \psi}{\partial t} &= -\frac{h}{8\pi^2 m} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}\right); \end{aligned} \right\} \quad (4.9.11)$$

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}\right) = \Delta \psi -$$

Оператори Лаплас мебошад. (4.9.11) – ро ба намуди зерин менависем.

$$-\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{h^2}{8\pi^2 m} \Delta \psi \quad (4.9.12)$$

Ҳалли ин муодила мавҷи ҳамвори монохромати (якранг) (4.9.9) мавҷи де – Бройл мебошад.

Дар ин ҷо мо ҳалли муодила (4.9.12) – ро фақат барои мавҷи монохромати истанда дида мебароем. Ҳалли муодилаи (4.9.12) барои ингуна мавҷҳо ба намуди ҳосили зарби ду функсияи мавҷи, яке вобаста аз координата ва дигаро вобаста аз вақт дода мешавад. Вобастагии функсия аз вақт дар формулаи (4.9.9) ба зарбкунандаи $e^{-i2\pi vt} = e^{-i\frac{2\pi}{h}Et}$ (9) – тавсифонида мешавад. Дар асоси (4.9.13) ҳалли 4.9.12 – ро барои мавҷи монохромати истанда ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$\psi(x, y, z, t) = \psi^0(x, y, z) e^{-i\frac{2\pi}{h}Et} \quad (4.9.14)$$

Агар функсияи мавҷи ҳалли (4.9.14) – ро дошта бошад, он гоҳ тарафи чапи онро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$-h/2\pi i \frac{\partial \psi}{\partial t} = E\psi \quad (4.9.15)$$

(4.9.14) – ро ба (4.9.12) гузошта ва (4.9.15) – ро ба назар гирифта ҳосил мекунем:

$$E\psi = -\frac{h^2}{8\pi^2 m} \cdot \Delta \psi$$

$$E\psi^0(x, y, z) e^{-i\frac{2\pi}{h}Et} = -\frac{h^2}{8\pi^2 m} \Delta \psi^0(x, y, z) e^{-i\frac{2\pi}{h}Et}$$

Ҳар ду тарафро ба $e^{-i\frac{2\pi}{h}Et}$ ихтисор карда ҳосил мекунем

$$E\psi^0(x, y, z) = -\frac{h^2}{8\pi^2 m} \Delta \psi^0(x, y, z)$$

ё ки формулаи $\frac{\partial \psi}{\partial t} = -2\pi i v \cdot \psi$ – ро ба намуди $-\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial \psi}{\partial t} = E\psi$ зерин навишта ва онро ба (4.9.8) гузошта ҳосил мекунем.

$$\Delta \psi^0 + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E\psi = 0 \quad (4.9.16)$$

Муодилаи (6) муодилаи мавҷии зарраи озод мебошад. Энергияи ин гунна зарра танҳо аз энергияи кинетики T иборат мебошад, чунки энергияи потенциали $U = 0$ аст. Бинобар он энергияи пурра E ба энергияи кинетики баробар аст. Акнун фарз кунем, ки зарра дар ягон майдон ҳаракат мекунад,

он гоҳ $U \neq 0$ мешавад, ва энергияи пурраи он ба $E = U + T$ баробар мешавад. Инро ба назар гирифта формулаи (4.9.16) – ро ба намуди зерин менависем.

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - U)\psi = 0 \quad (4.9.17)$$

Муодилаи (4.9.17) муодилаи асоси механикаи квантӣ – муодилаи Шредингер барои зарраҳои дар майдони потенциали буда мебошад. Ин муодилае, ки ҳолати макрозарраҳоро муайян мекунад аз муодилаи Нютон фарқи калон дорад. Агар муодилаи Нютон координата ва сурати макрозарраҳоро чун функцияи вақт муайян кунад, муодилаи Шредингер координата ва сурати макрозарраҳоро муайян накарда, балки муодилаи мавҷи онҳоро чун функция аз координата ва вақт муайян мекунад.

Барои он, ки ҳалли муодилаи Шредингер ҳолати зарраҳои реалиро шарҳ дода тавонад бояд, барои функцияи мавҷи маҳдудиятҳои зерин ҷой дошта бошад.

1. Функцияи мавҷи функцияи якқимматаи координата ва вақт бошад, ҷой доштани акси ин ҳал маъно надорад, чунки агар акси ин ҳал ҷой медошт мо барои ҳар як нуқтаи фазо ду ҷиҳда эҳтимолияти зарраро ҳосил мекардем.
2. Бояд, ки функцияи мавҷӣ каниш дошта бошад. Ин шарт аз талаботи охирик будани эҳтимолияти ёфтани зарра дар нуқтаи додашудаи фазо мебарояд.
3. Функцияи мавҷи бояд, ки бефосила бошад. Функцияи мавҷи ин қиёси хати сайр дар физикаи классикӣ мебошад. Ҳолати системаи кванти бо вақт ва фазо бояд бефосила тағйир ёбад.

Ба ҳамин тариқ аз гуфтаҳоямон маълум мешавад, ки муодилаи Шредингер асоси физикаи микролам, физикаи ҳаракати макрозарраҳо дар атомҳо, молекулаҳо - асоси механикаи мавҷи – механикаи квантӣ мебошад. Вай барои физикаи микродунё ба монанди онест, ки муодилаи Нютон асоси механикаи квантиро ташкил мекунад.

Маълум аст, ки гарчанде механикаи мавҷи хислатҳои микродунёро тасвир кунад, ҳам як қатор хусусиятҳоро доро мебошад. Хусусияти асосии вай характери омори доштан аст. \bar{U} танҳо эҳтимоли ин ё он воқеаи физикиро ҳисоб карда метавонаду ҳалос. Ин хусусияти аз дучандаги табиати макрозарраҳо мебарояд. Хусусияти дуйӯми механикаи квантӣ низ ба хислати микродунё – бо дискрети будани бузургиҳои физики алоқаманд мебошад. Масалан заряд дар микролам ба бузургии қаратнокии заряди электрон тағйир меёбад. Нақшаи калонро дар микролам доимии Планк $h = 6,62 \cdot 10^{-27}$ эрг.сон мебозад. \bar{U} дар микролам бузургии асоси буда ҳамаи бузургиҳои дигари микролавро ба якдигар алоқаманд мекунад.

Хусусияти сейӯми механикаи квантӣ дар он аст, ки вай дар асоси механикаи классики сохта шудааст ва механикаи кванти дар вақти $h \rightarrow 0$ майл кардан ба механикаи классикӣ мегузарад.

Агар функцияи потенциали U аз вақт вобаста набошад, он гоҳ вобастагии ψ – ро аз вақт бо зарбшавандаи $e^{-2\pi i v t} = e^{-i \frac{2\pi}{\lambda} E t}$ тасвир мекунем. Дар ин ҳолат муодилаи (4.9.15) – ро ба назар гирифта муодилаи Шредингерро (4.9.17) – ро ба намуди зерин менависем:

$$\frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - U)\psi = -\Delta\psi; \quad -\frac{h^2}{8\pi^2 m} \Delta\psi + u\psi = E\psi$$

Дар ин ҷо:

$$\psi = \psi_0(x, y, z) e^{-i\frac{2\pi}{h}Et} \quad (4.9.18)$$

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \Delta\psi + U\psi = -\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial\psi}{\partial t} \quad (4.9.19)$$

Муодилаи (4.9.19) муодилаи умуми Шредингер номида мешавад. Дар охир ҳаминро хотиррасон кардан лозим аст, ки барои ёфтани муодилаи Шредингер мо метавонистем ба ҷои функсияи мавҷии зарраи озод $\psi = Ae^{i2\pi(kr-vt)}$ функсияи комплекси ҳамин мавҷро истифода барем:

$$\psi^* = A^* e^{-i2\pi(kr-vt)} \quad (4.9.20)$$

Чи хеле, ки дар боло рафтор кардем аз ин муодила як маротиба бо вақт ва ду маротиба бо координата дифференциал гирифта бузургихои зеринро ҳосил кардан мумкин аст.

$$\frac{\partial\psi^*}{\partial t} = 2\pi i v \psi^*; \quad \frac{\partial^2\psi^*}{\partial x^2} = -4\pi^2 k_x^2 \psi^* \quad \text{ва ғайра ...}$$

Аз ин ҷо қиммати v, K_x^2, K_y^2 ва K_z^2 - ро ёфта ба (4.9.8) гузошта ба ҷои муодилаи (4.9.12) муодилаи зеринро ҳосил мекунем.

$$-\frac{h}{2\pi i} \frac{\partial\psi^*}{\partial t} = -\frac{h^2}{8\pi^2 m} \Delta\psi^* \quad (4.9.21)$$

Агар ин муодиларо вобаста аз вақт нависем он гоҳ намуди дигари муодилаи умуми Шредингер (4.9.19) ҳосил мешавад. Ба кадом намуд навиштани муодилаи Шредингер фарқ надорад, чунки дар вақти муайян кардани маънои физикаи муодилаи Шредингер, худи функсияи ψ маъно надорад, маънои физики \bar{y} ба квадрати муодилаи вай $\psi \cdot \psi^$ муайян карда мешавад.*

4.10. МАЪНОИ ФИЗИКИ ВА ХОСИЯТҲОИ МУОДИЛАИ ШРЕДИНГЕР

Пеш аз маънои физики муодилаи Шредингерро фаҳмонидан, муодилаи мавҷи физикаи классиқиро

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta u \quad (4.10.1)$$

ба муодилаи Шредингер (4.9.19) муқоиса мекунем. Чи хеле, ки медонем муодилаи мавҷии классиқии (4.10.1) ҳалли ҳақиқии зеринро дорад:

$$a \cos[2\pi(kr - vt) + \delta] \quad (4.10.2)$$

Муодилаи Шредингерро ингуна муодилаҳо қаноат кунонида наметавонанд, дар формулаи (4.9.19) ҳангоми $u = 0$ будан, ҳалли муодилаҳои комплекси муодила, намуди зеринро мегирад ва

$$\psi = Ae^{-i2\pi(kr-vt)} \quad (4.10.3)$$

Муодиларо қаноат кунонида метавонад.

Сабаби ин гуна хусусияти хоси муодилаи Шредингер дар он аст, ки вай ҳосилаи тартиби як бо вақт ва тартиби дуҷуми бо координатаро дорад. Ҳосилаи тартиби 1-и бо вақт ва тартиби 2-м бо координата дар муодилаи Шредингер аз он ҷое ҳосил шудаанд, ки мо дар вақти ёфтани \bar{y} аз муодилаи дисперсияи мавҷи де – Бройл барои сурати хурд, ки дорои дараҷаи 1-ми ва

дараҷаи 2 – ми вектрои мавҷи мебошад, истифода бурдем. Ин фақат барои фаҳмидани муодилаи Шредингер аҳмияти муҳим дорад. Ин нишон медиҳад, гарчанде, ки дар баъзе вақтҳо муодилаи Шредингер бо муодилаҳои даврии тағйирёбандаи функсияи мавҷи қаноат кунонида шавад ҳам, вай ягон ҳел мавҷи ҳақиқӣ дар муҳит тақсимишударо наметавсифонад.

Дар дарсҳои гузашта мо дида будем, ки ҳолати электрони озод бо мавҷи ҳамвори де-Бройл тавсифонида мешавад, аммо эҳтимоли мавҷудияти он бошад, яъне маънои физикавии он бо квадрати амплитуда, ки зоҳиран ба квадрати модули функсияи мавҷи, муодилаи (4.9.19) Шредингерро дар вақти $u = 0$ будан қаноат намекунад баробар мебошад, тавсифонида мешавад, яъне

$$\left. \begin{aligned} \psi &= Ae^{i2\pi(kr-vt)} \equiv ae^{i2\pi(kr-vt)} \\ \psi^* &= Ae^{-i2\pi(kr-vt)} \equiv ae^{-i2\pi(kr-vt)} \end{aligned} \right\} \quad (4.10.4)$$

Аз ин ҷо

$$\psi \cdot \psi^* = ae^{i\delta} \cdot e^{i2\pi(kr-vt)} \cdot ae^{-i\delta} \cdot e^{-i2\pi(kr-vt)} = a^2 \quad (4.10.5)$$

Эҳтимоли $d\omega$ ёфтани зарра дар ягон соҳаи хурд набалки бо квадрати амплитудайи функсияи мавҷи балки ба ҳаҷми $d\tau$ ҳам мутаносиб мебошад. Аз ҳамин сабаб $d\omega = \psi\psi^*d\tau = a^2d\tau$; ин функсияи мавҷи электронро дар ҳаҷми $d\tau = dx dy dz$ ё, ки эҳтимоли мавҷудияти электронро дар соҳаи координатаҳои x ва $x + dx$; y , $y + dy$; z , $z + dz$ буда мефаҳмонад. Ингуна маънидодкуни (маънои физики) барои муодилаи Шредингер ҳам ҷой дорад. Аз ин ҷо муодилаи Шредингер маънои физики квадрати модули функсияи комплекси ψ , ки муодилаи Шредингерро қаноат мекунонад эҳтимоли ёфтани зиччи зарраро дар ҳаҷми π дар нуқтаҳои координатаҳои x, y ва z баробар буда мефаҳмонад, худи эҳтимолият ба $\psi \cdot \psi^*, d\tau$ муносиб мебошад. Яъне

$$|\psi|^2 = \psi^* \cdot \psi = e^{-2\pi i \frac{E}{h} t} \psi_0^* \cdot e^{2\pi i E t} \cdot \psi_0 = \psi_0^* \psi_0 = |\psi_0|^2 \quad (4.10.6)$$

ё, ки $d\omega = \psi^* \psi d\tau = |\psi_0|^2 \cdot d\tau$

Аз ин ҷо эҳтимоли ёфтани зиччи электрон дар ягон нуқтаи фазо $|\psi_0|^2 = \frac{d\omega}{d\tau}$ баробар мешавад.

Ҳар як муодилаи дифференциали дар ҳамон вақт ҳалли ягона дорад, агар функсияи мавҷи муодилаи дифференциалиро қаноат мекунондаги шартҳои махсус гузошта бошад. Ин шартҳои махсус одатан ба маънои физики функсияро меомӯхтаги муайян карда мешавад. Ба назар гирифтани табиист, ки эҳтимолияти ёфтани зиччи зарра функсияи бифосилаи координата дар ҳама ҷой охиринок ва якқиммата аст. Аз ҳамин сабаб функсияи ψ ҳам бояд ҳамин шартҳоро қаноат кунонад, яъне вай бояд дар ҳама ҷой бифосила ва якқиммата бошад. Файр аз ин барои он, ки муодилаи дифференциалие, ки дар он ҳосилаи 2 – ми функсияи $\psi(x, y, z)$ бо координата дохил мешавад, истифода бурда тавонем, лозим аст, ки ин ҳосилаҳои дуйӯми функсия мавҷуд бошанд ва ҳосилаи 1 – ми онҳо бифосила ва якқиммата бошанд.

Аз тарафи дигар азбаски $\psi\psi^*d\tau$ эҳтимолияти мавҷудияти электронро дар ягон ҳаҷм нишон медиҳад вай бояд шартҳои меъёрбанди дошта бошад. Яъне интеграл аз тамоми ҳаҷм бояд ба як баробар шавад. Агар мо

зарраро дар ҳаҷми $d\tau$ нею балки дар ягон ҷои фазо ёфтани шавем онгоҳ бояд, ки интеграл аз $(-\infty$ то $+\infty)$ ба як баробар шавад, яъне

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi^* \psi d\tau = 1; \quad (4.10.7)$$

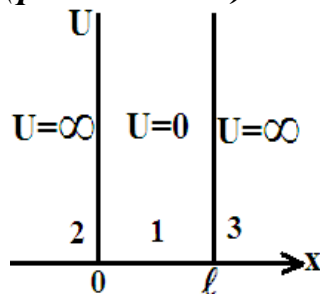
Ин шарти меъёрбанди мебошад. Агар ин шарт иҷро шавад, мавҷудияти электронро дар ягон ҳаҷм ёфта метавонем.

Муодилаи Шредингер ва хусусиятҳои \bar{y} , ки дар ин ҷо нишон додем дар оянда барои омӯхтани бисёр ҳодисаҳо аҳмияти бисёр калон дорад. Ин муодила муодилаи асосии механикаи кванти – муодилаи асосии микроразраҳо мебошад.

4.11. ЗАРРАҲО ДАР ҶОҲИ ПОТЕНСИАЛӢ

Муодилаи Шредингерро барои зарраҳои дар дохили ҷоҳи потенциали мавҷуд буда татбиқ намуда, нишон медиҳем, ки энергияи онҳо бефосила тағйир наёфта, балки бо порсияҳои муайян тағйир меёбанд ва квантонида шудаанд.

Фарз кунем, ки «чуқури» бо монеаҳои беохир баланд ва рост баромадгоҳи потенциали маҳдуд гардидаасту зарра фақат қат – қади тири Ox ҳаракат карда метавонад, (расми 4.11.1).



Расми 4.11.1

Тасавур мекунем, ки васегии ба l баробар аст, он гоҳ он чунин қимматҳои зеринро мегирад.

$$x = 0 \quad x = l$$

қаноаткунондани координатаи X – и зарра озод мебошад ва энергияи потенциали ба сифр баробар аст. Аммо дар ҳудуди хати потенциал, дар соҳаи $(0, l) \cup$ якбора то ∞ зиёд мешавад. Ин гунна чуқурии потенциалиро «ҷоҳи потенциали» меноманд. Зарраҳо дар даруни ҷоҳи потенциали озодона ҳаракат мекунанд, лекин аз ҳудуди он баромадан наметавонад. Энергияи пурраи зарраро бо E ишора карда муодилаи Шредингерро барои зарраи бо тири X ҳаракат карда менависем:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - U) \psi = 0 \quad (4.11.1)$$

Энергияи потенциали мувофиқи шарти масала, бояд дорои қимматҳои зерин бошад:

$$U = \begin{cases} 0 & \text{дар вақти } 0 \leq x \leq l \\ \infty & \text{дар вақти } x = 0 \text{ ва } x = l \end{cases} \quad (4.11.2)$$

Чи хеле, ки аз ин ҷо (4.11.2) дида мешавад, энергияи потенциали дар ҳудудҳои ҷоҳи потенциали ∞ мебошад, бинобар он эҳтимолияти ба беруни девор

баромадани зарра баробари 0 мебошад. Аз ин натиҷаҳо хулоса мекунем, ки

ифодаи $\psi\psi^*$ берун аз ҳудуди девор ва ҳам дар девор бояд баробари сифр шавад. Ин дар ҳама вақт имконпазир аст, агар ҳуди функцияи $\psi(x)$ ҳангоми $x = l$ ва $x = 0$ будан ба сифр майл кунад.

Муодилаи Шредингерро ба намуди зерин навишта

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E \psi = 0 \quad (4.11.3)$$

дар вақти $x = 0$ ва $x = l$ будан, ба сифр майл кардани $\psi(x)$ –ро нишон медиҳем (яъне ҷой доштани шартҳои канории $\psi(0) = 0$ ва $\psi(l) = 0$ –ро нишон медиҳем).

Ҳалли муодилаи (4.11.3) –ро ба намуди зерин менависем:

$$\psi(x) = A e^{ikx} + B e^{-ikx} \quad (4.11.4)$$

Дар ин ҷо:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = 2\pi \frac{mv}{h} = \frac{2\pi}{h} \sqrt{2mE} \quad (4.11.5)$$

A ва B доимиҳои ихтиёри. Акнун чунин ҳолатҳоро дида мебароем.

1. Дар формулаи (4.11.4) агар $x = 0$ бошад, $\psi(0) = 0$ шудани лозим аст. Дар асоси ин:

$$\begin{aligned} \psi(0) &= A e^{ik \cdot 0} + B e^{-ik \cdot 0} = A + B = 0 \\ A &= -B \end{aligned} \quad (4.11.6)$$

Яъне $\psi(0) = 0$ мешавад, агар $A = -B$ бошад.

Дар асоси шарти (4.11.6) муодилаи (4.11.3) –ро чунин ҳал мекунем:

$$\begin{aligned} \psi(x) &= A e^{ikx} + B e^{-ikx}; \quad \psi(x) = A e^{ikx} - B e^{-ikx} \\ \psi(x) &= A(e^{ikx} - e^{-ikx}); \quad \psi(x) = A(\cos kx + i \sin kx - \cos kx + i \sin kx) \\ \psi(x) &= 2Ai \sin kx \end{aligned}$$

дар вақти $l = x$ будан, дар ҳама вақт баробари сифр мешавад, агар шарти зерин ҷой дошта бошад

$$\psi(x) = 2Ai \sin n \frac{\pi}{l} x \quad (4.11.7)$$

$$kl = n\pi \quad (4.11.8)$$

Қиммати k –ро аз (4.11.5) ба (4.11.8) гузошта шарти квантонидани энергияи зарро дар ҷоҳи потенциали нишон медиҳем

$$k^2 l^2 = \frac{4\pi^2}{h^2} \cdot 2mE \cdot l^2 = n^2 \pi^2$$

$$E = n^2 \frac{h^2}{8ml^2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.11.9)$$

Аз ин ҷо чунин хулоса мебарояд, ки шартҳои канори ҳама вақт қаноат кунонида мешавад, агар энергияи зарра ба таври дискрети тағйир ёбад, яъне энергияи зарра дар ҷоҳи потенциали мавҷуд буда квантонида шуда бошад. Бинобар ин шарти (4.11.9) –ро шарти квантонидан меноманд.

Масофаи байни ду сатҳи энергетикиро ба таври зерин навиштан мумкин аст:

$$\Delta E = (n+1)^2 \frac{h^2}{8ml^2} - n^2 \frac{h^2}{8ml^2} = (2n+1) \frac{h^2}{8ml^2} \quad (4.11.10)$$

Чи хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад, масофаи байни сатҳҳои энергетикӣ аз массаи зарра m ва васеии қуттии l вобаста буда бо зиёдшавиши n меафзояд.

Мисолҳои зеринро дида мебароем ва нишон медиҳем, ки квантонидан дар ҳама вақт ба назар намоён мешавад, агар андозаи ҷоҳи потенциали ба

андозаи атом баробар бошад, яъне $l = 10^{-8}$ см. Масофаи сатҳҳои энергетикӣ барои электрони дар ҷоҳи потенциалии дарозии $l = 1$ см дошта ҳисоб мекунем:

$$E_n = n^2 \frac{(6,625 \cdot 10^{-27})^2}{8 \cdot 9,1 \cdot 10^{-28}} = n^2 5,4 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} = n^2 \cdot 3,34 \cdot 10^{-5} \text{ эВ.}$$

Масофаи байни сатҳҳои энергетикӣ ($\Delta n = 1$) ба ҳамин тариқ ба

$$\Delta E_n = 2n \cdot 3,34 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} = 6,68 \cdot 10^{-15} n \cdot \text{эВ}$$

Ин масофа бисёр хурд мебошад, бинобар он тайф ба монанди тайфи яклухт намоён мешавад.

Акнун фарз мекунем, ки андозаи ҷоҳи потенциали $l = 10 \text{ \AA} = 10^{-7}$ см бошад, он гоҳ

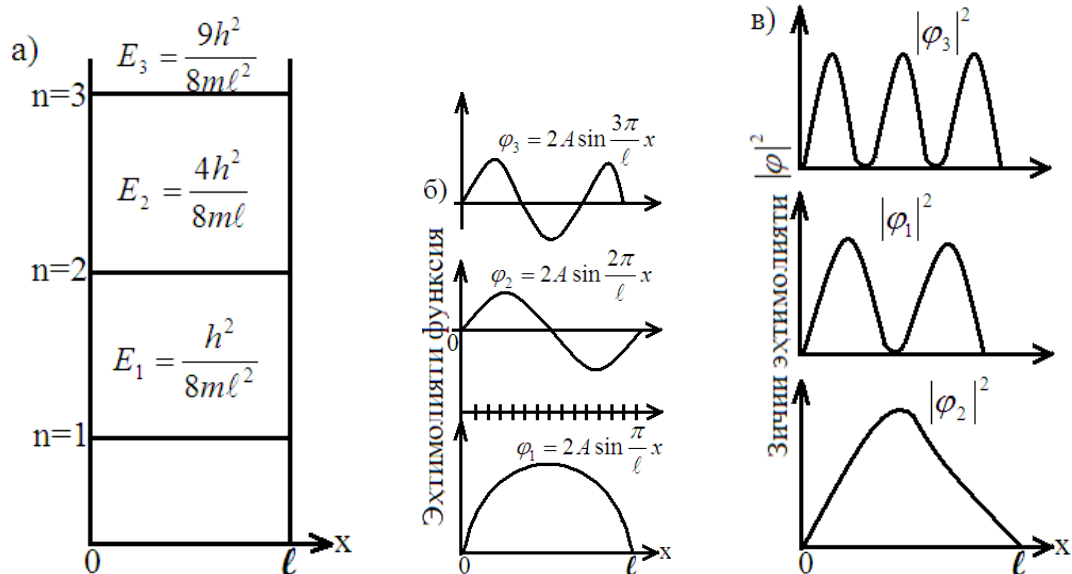
$$E_n = n^2 \frac{(6,625 \cdot 10^{-27})^2}{8 \cdot 9,1 \cdot 10^{-28} \cdot 10^{-14}} = 5,4 \cdot 10^{-13} n^2 \text{ эрг} = 0,34 \cdot n^2 \text{ эВ.}$$

барои $\Delta n = 1$, $\Delta E_n = 2 \cdot n \cdot 0,34 \text{ эВ} = 0,68 n \cdot \text{эВ.}$

Чи хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад, дар вақти андозаи ҷоҳи потенциали ба андозаи атом баробар будан, масофаи сатҳҳои энергетикӣ он ба бузургии намоён баробар мешавад.

Ҳамин тариқ мо нишон додем, ки электрон чи қадаре, ки дар қитъаи дарозии калонтар ҳаракат кунад масофаи байни сатҳҳои энергетикӣ он ҳамон қадар хурдтар мешавад ва квантқунонии энергия ҳамон қадар камтар содир мегардад. Агар электрон чи қадаре, ки дар қитъаи хурд ҳаракат кунад, ҳодисаи баракс дида мешавад.

Дар расми 4.11.2 барои қимматҳои $n = 1, 2$ ва 3 сатҳҳои энергетикӣ бо формулаи (4.11.3) ҳисоб карда шуда ва функцияи мавҷии (4.11.7) – и барои ин энергияҳои дуруст меомадаги бо квадрати моделаи оварда шудааст.



Расми 4.11.2

Чи хеле, ки аз расм дида мешавад, бо калон шавии n масофаи сатҳҳои энергетикӣ калон мешавад. Аз тарафи дигар аз расмҳои 4.11.2^a ва 4.11.2^b маълум аст, ки дар вақти $n = 1$ будан, эҳтимоли ёфтани зарра дар мобайни ҷоҳи потенциали калон мебошад. Дар канорҳои ҷоҳи эҳтимолият баробари сифр аст. Ин акси эҳтимоли ёфтани зарра бо усулҳои классики

мебошад. Дар асоси усулҳои классики ёфтани зарра дар ҳама ҷои қутти эҳтимоли якхела дорад. Дар ҳақиқат агар ҳаракати зарра бо қонунҳои Нютон тавсифонида шавад вай дар қутти бо энергияи кинетики доими ва сурати доим ҳаракат мекунад. Аз ҳамин сабаб вай дар фосилаи вақти муайян дар фосилаҳои якхелаи dx мешавад. Бинобар он мо зарраро бо эҳтимолияти якхела дар ҳама ҷои қутти ёфта метавонем. Расми 4.11.2 нишон медиҳад, ки дар вақти калонишавии энергия максимумҳои функсияи $|\psi_n|^2$ то рафт ба ҳам наздик шудан мегирад. Дар ин ҳолат эҳтимолияти ёфтани зарра бо усули классики наздик мешавад, яъне барои функсияҳои калон принципи мувофиқии мушоҳида ва қаноат карда мешавад.

4.12. ГУЗАШТАНИ ЗАРРАҲО АЗ МОНЕАИ ПОТЕНСИАЛӢ. ЭФФЕКТИ ТУНЕЛӢ.

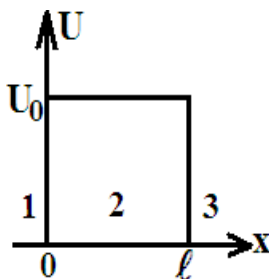
Гузаштани зарраҳо аз монеаи потенциалӣ ба гузаштани рӯшноӣ аз муҳити нишондоди шикасти дигар дошта монанди дорад. Дар вақти рӯшноӣ ба дигар муҳит гузаштан дар он тағйироти дарозии мавҷ, сурати паҳншавӣ, энергия ва гайраҳо мушоҳида карда мешавад. Барои зарраҳои аз монеаҳои потенциали гузашта ҳам ҳодисаи ба ин монанд, тағйирёбии энергия, импульс, басомад, дарозии мавҷ ва ҳоказо ҷой дорад.

Аз тарафи дигар, рӯшноӣ ба ягон муҳит афтад, ва ба рӯшноии аз муҳит гузашта ва инкосишуда тақсим мешавад. Азбаски зарраҳои микраскпӣ ҳам монанди рӯшноӣ дорои хусусияти мавҷи мебошад, дар вақти ба монеаи потенциали афтидан бояд, ки эҳтимоли аз монеа инкосишудан ва аз он гузаштан дошта бошад. Аз муодилаи Шредингер истифода бурда гузаштани зарраҳои микраскопиро аз монеаҳои потенциали нишон медиҳем.

Фарз кунем, ки зарра аз чап ба рост, ба майдони қувваие, ки вай ба се соҳа тақсим карда шудааст, ҳаракат кунад.

Системаи координатиро чунин мегирем, ки равиши \bar{y} бо равиши ҳаракати заррача паралел бошад, он гоҳ ψ - функсияи X мешавад. Барои зарраи ба равиши тӯри X ҳаракат карда муодилаи Шредингерро ба намуди зерин менависем:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - U) \psi = 0 \quad (4.12.1)$$



Расми 4.12.1

Энергияи потенциали барои муҳитҳои I, II, III, ба қимматҳои зерин соҳиб мебошад расми 4.12.1

$$\left. \begin{array}{l} I \text{ барои } x \leq 0; u = 0 \\ II \text{ барои } 0 \leq l \leq 0; u = u_0 \\ III \text{ барои } X \geq l; U = 0 \end{array} \right\} \quad (4.12.2)$$

Муодилаи Шредингерро барои ин ҳолатҳо алоҳида – алоҳида навишта ҳалли онҳо ψ_1, ψ_2 ва ψ_3 – ро муайян мекунем.

Муодилаи Шредингер барои муҳитҳои I, II ва III намудҳои зеринро дорад.

$$\left. \begin{array}{l} \text{барои муҳити I} \\ \text{барои муҳити II} \\ \text{барои муҳити III} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E \psi_1 = 0 \\ \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial x_2^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - U) \psi_2 = 0 \\ \frac{\partial^2 \psi_3}{\partial x_3^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} E \psi_3 = 0 \end{array} \quad (4.12.3)$$

Ҳалли ин муодилаҳоро ба намуди умуми ба таври зерин менависем.

$$\psi_1 = a_1 e^{ik_1 x} + b_1 e^{-ik_1 x} \quad (x < 0) \quad (4.12.4a)$$

$$k_1 = \frac{2\pi}{x_1} = \frac{2\pi}{h} \sqrt{2mE} \quad (4.12.5a)$$

$$\psi_2 = a_2 e^{ik_2 x} + b_2 e^{-ik_2 x} \quad (0 < x < l) \quad (4.12.4b)$$

$$k_2 = \frac{2\pi}{x_2} = \frac{2\pi}{h} \sqrt{2m(E - U)} \quad (4.12.5b)$$

$$\psi_3 = a_3 e^{ik_1 x} + b_3 e^{-ik_1 x} \quad (x > 0) \quad (4.12.4в)$$

Дар ин ҷо a_1, a_2, a_3 , ва b_1, b_2, b_3 , зарифҳое мебошанд, ки онҳо интенсивнокии ва амплитудайи мавҷҳои ба монеа афтанда, ба монеа дохил шуда ва аз он гузаштаре мефаҳмонад. Амплитудайи мавҷи афтанда a – ро барои ҳалли масала ихтиёри гирифтани мумкин аст. Бинобар он фарз кунем, ки $a_1 = 1$ бошад, қимматҳои боқимондаи зарифаҳоро дар оянда муайян мекунанд. ψ_1, ψ_2 , ва ψ_3 – функцияи мавҷии зарраи озод мебошанд.

Барои ба намуди пурра навиштани функцияҳои ψ_1, ψ_2 , ва ψ_3 бояд, ки онҳо ба $e^{-i\frac{2\pi}{h}Et}$ зарб карда шаванд, дар ин ҳолат функция аз вақт ва координат вобаста мешаванд. Масалан барои муҳити I функция намуди зеринро мегирад.

$$\psi_1(x, t) = \psi_1(x) e^{-i\frac{2\pi}{h}Et} = a_1 e^{\frac{2\pi i}{h}(Et - p_1 x)} + b_1 e^{-\frac{2\pi i}{h}(Et + p_1 x)} \quad (4.12.6)$$

Дар ин ҳолат аъзои якум мавҷи бо импулси p_1 бо равиши мусбат ба тире X аз чап ба рост ҳаракат кардари мефаҳмонад дар аъзои дуюми импулси зарра ба муқобили импулс дар аъзои якум равиши дорад, бинобар он мавҷ аз рост ба чап ҳаракат карда мавҷи ба монеаи потенциали афтандаро тавсифонида, мавҷи аз рост ба чап равон шуда мавҷи аз монеаи потенциали аксиударо мефаҳмонад. Дар соҳаи сейӯм, азбаски зарраҳо ба монеаи потенциали аз чап ба рост меафтанд, фақат мавҷи аз монеа гузаштаги аз чап ба рост ҳаракат карда мавҷуд мебошад, бинобар он дар муодилаи (4.12.4a) $b_3 = 0$ мебошад.

Дар соҳаи 2 – м ҳалли функцияи пурра E аз энергияи потенциали U вобаста мебошад. Масалан, агар $E > U$ бошад дар соҳаи 2 – м мавҷи аз ҳудуди тарафи чап монеаи потенциали $X = 0$ гузашта ва аз ҳудуди тарафи рост $X = l$ аксиуда дида мешавад.

Ба ҳаллин тарик дар соҳаи 1 – м ва 2 – м мавҷҳои аз тарафи чап ва рости монеаи потенциали аксиуда мавҷуд мебошад. Ин ба назарияи механикаи классики муқобил мебошад, чунки агар энергияи пурраи зарра аз энергияи потенциали калон бошад, ҳамаи зарраҳо бояд, ки аз монеа гузаранд. Аз ин ҷо назарияи классики аз монеа аксшавии зарраҳоро дар

вақти $E > U$ будан фаҳмонда наметавонад. Аммо таҷрибаҳои дар асоси назарияи механикаи кванти гузаронидашуда нишон медиҳад, ки дар вақти $E > U$ будан ҳамаи зарраҳо аз монеаи потенциали нагузашта балки як қисмиашон аз он акс мешаванд.

Акнун мо ҳолатеро мебинем, ки зарраҳо дар вақти $E < U$ будан аз соҳаи I ба соҳаи II дохи шуда боз аз он бо энергияи аввалашон баромада мераванд.

Ҳалли муодилаҳои (4.12.3) – ро ба намуди зерин менависем:

$$\psi_I = a_1 e^{ik_1 x} + b_1 e^{-ik_1 x} \quad \psi_{II} = a_2 e^{ik_2 x} + b_2 e^{-ik_2 x} \quad \psi_{III} = a_3 e^{ik_1 x} \quad (4.12.7)$$

Бузургии зарби шаффофии монеаи потенциали D – ро муайян мекунем. Зарби шаффофи бо нисбати зарраҳои аз монеа гузашта ба зарраҳои ба монеа афтандаи a_1 муайян карда мешавад. Аз ҳамин сабаб барои муайян кардани D аввал мо заррибаҳои a_1, a_2, a_3 ва b_1, b_2 – ро муайян мекунем. Барои муайян кардани ин заррибаҳо аз шарти бефосилагии функция ва ҳосилаи I – ми \bar{y} дар ҳудудҳои I, II ва III ҳангоми $X = 0$ ва $X = l$ истифода мебарем.

$$\left(\psi_I\right)_{x=0} = \left(\psi_{II}\right)_{x=0}; \quad \left(\frac{d\psi_I}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{d\psi_{II}}{dx}\right)_{x=0} \rightarrow 0 \quad (4.12.8)$$

$$\left(\psi_{II}\right)_{x=l} = \left(\psi_{III}\right)_{x=l}; \quad \left(\frac{d\psi_{II}}{dx}\right)_{x=l} = \left(\frac{d\psi_{III}}{dx}\right)_{x=l} \quad (4.12.9)$$

$$\left(\psi_I\right)_{x=0} = a_1 + b_1; \quad \left(\psi_{II}\right)_{x=0} = a_2 + b_2; \quad \left(\frac{d\psi_I}{dx}\right)_{x=0} = ik_1 a_1 + ik_1 b_1;$$

$$\left(\frac{d\psi_{II}}{dx}\right)_{x=0} = ik_2 a_2 - ik_2 b_2; \quad \left(\psi_{II}\right)_{x=l} = a_2 e^{ik_2 l} + b_2 e^{-ik_2 l};$$

$$\left(\psi_{III}\right)_{x=l} = ia_3 e^{ik_1 l}; \quad \left(\frac{d\psi_{III}}{dx}\right)_{x=l} = ik_1 a_3 e^{ik_1 l};$$

$$\left(\frac{d\psi_{III}}{dx}\right)_{x=l} = ia_3 k_1 e^{ik_1 l}$$

Дар асоси (4.12.8) ва (4.12.9) муодилаи зеринро ҳосил мекунем, азбаски

$$a_1 = 1.$$

$$\left. \begin{aligned} 1 + b_1 &= a_2 + b_2 \\ k_1 - k_1 b_1 &= k_2 a_2 - k_2 b_2 \\ a_2 e^{ik_2 l} + b_2 e^{-ik_2 l} &= a_3 \frac{k_1}{k_2} e^{ik_1 l} \end{aligned} \right\} \quad (4.12.10)$$

Аз ин системаи муодилаҳо a_3 – ро муайян мекунем:

$$a_3 = \frac{4k_1 k_2 e^{ik_1 l}}{(k_1 + k_2)^2 e^{-ik_2 l} - (k_1 - k_2)^2 e^{ik_2 l}} \quad (4.12.11)$$

Азбаски дарозии мавҷ дар ҳудуди I ва III якхела мебошад зарби шаффофи D ба квадрати модули a_3 баробар аст, яъне

$$D = |a_3|^2 = a_3 \cdot a_3^* \quad (4.12.12)$$

Бузургии D – ро дар вақти $E < U$ будан муайян мекунем:

$$k_1 = \frac{2\pi}{h} \sqrt{2m(E - U)}; \quad k_2 = ik; \quad k = \frac{2\pi}{h} \sqrt{2m(U - E)} \quad (4.12.13)$$

Дар асоси ин a_3 – ро ба намуди зерин менависем

$$a_3 = \frac{i4k_1ke^{ik_1l}}{(k_1 + ik)^2e^{kl} - (k_1 - ik)^2e^{-kl}}$$

$$a_3^* = \frac{-i4k_1ke^{-ik_1l}}{(k_1 - ik)^2e^{kl} - (k_1 + ik)^2e^{-kl}}$$

Синуси гиперболи sh и ва косенуси гиперболи ch – ро дохил мекунем.

$$chx = \frac{e^x + e^{-x}}{2}; \quad shx = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$(k_1 + ik)^2e^{kl} - (k_1 - ik)^2e^{-kl} = \left(\underline{k_1^2} + \underline{2ik_1k} - \underline{k^2}\right)e^{kl} - \left(\underline{k_1^2} - \underline{2ik_1k} + \underline{k^2}\right)e^{-kl} = \underline{k_1^2}(e^{kl} - e^{-kl}) - k^2(e^{kl} - e^{-kl}) + 2ik_1k(e^{kl} + e^{-kl}) = k_1^2 2shkl - k^2 2shkl + 2ik_1kchkl = (k_1^2 - k^2) 2shkl + 2ik_1kchkl;$$

Дар асоси ин a_3 ва a_3^* – ро ба намуди зерин менависем.

$$a_3 = \frac{i2k_1ke^{ik_1l}}{(k_1^2 - k^2)shkl + 2ik_1kchkl}; \quad a_3^* = \frac{-i2k_1ke^{-ik_1l}}{(k_1^2 - k^2)shkl - 2ik_1kchkl};$$

$$4k_1^2k^2$$

$$D = a_3 \cdot a_3^* = \frac{4k_1^2k^2}{(k_1^2 - k^2)^2 sh^2kl + 4k^2k_1^2 ch^2kl};$$

$$e^{ik_1l} \cdot e^{-ik_1l} = e^{ik_1l - ik_1l} = e^0 = 1; \quad ch^2x - sh^2x = 1; \quad ch^2x = 1 + sh^2x;$$

$$(k_1^2 - k^2)^2 sh^2kl + 4k^2k_1^2(1 + sh^2kl) = (k_1^4 + k^4)sh^2kl - 2k_1^2k^2kl + 4k^2k_1^2 + 4k^2k_1^2sh^2kl = \underbrace{(k_1^4 + k^4 + 2k_1^2k^2)}_{k_1^2 + k^2} \cdot sh^2kl + 4k^2k_1^2;$$

$$D = \frac{4k_1^2k^2}{(k_1^2 + k^2)^2 sh^2kl + 4k_1^2k^2}; \quad (4.12.14)$$

Дар бисёр ҳолатҳо $sh^2kl = \frac{1}{4}e^{2kl}$, чунки аъзои дигари $\bar{y} = \frac{1}{4}e^{2kl}$ бисёр хурд мебошад. Масалан, агар $U - E = 150$ вольт ва $l = 10^{-8}$ см бошад, он гоҳ:

$$kl = \frac{2\pi}{h} \sqrt{2m(U - E)}l = \frac{6,28}{6,625 \cdot 10^{-27}} \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-28} \cdot 150 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-8}}$$

$$= \frac{6,28}{6,625 \cdot 10^{-27}} \sqrt{43 \cdot 10^{-38} \cdot 10^{-8}} = \frac{6,28 \cdot \overline{6,56} \cdot \overline{10^{-19}} \cdot \overline{10^{-8}}}{\overline{6,625} \cdot \overline{10^{-27}}} \approx$$

$$\approx 6,28;$$

$$e^{2kl} = e^{2 \cdot 6,28} = e^{12,56} = 2,8 \cdot 10^6;$$

$$e^{-2kl} = e^{-12,56} = 3,5 \cdot 10^{-7};$$

Сурат ва махраҷро дар (4.12.14) ба $(k_1^2k^2)$ - тақсим карда ва $sh^2kl \approx \frac{1}{4}e^{2kl}$ – ро ба назар гирифта D – ро ба намуди зерин менависем:

$$D = \frac{4}{\frac{(k_1^2 + k^2)^2}{k_1^2 \cdot k^2} \frac{1}{4}e^{2kl} + 4} = \frac{4}{\left(\frac{k_1}{k} + \frac{k}{k_1}\right)^2 \frac{1}{4}e^{2kl} + 4}$$

Бузургии 4 нисбат ба e^{2kl} бисёр хурд мебошад, k ва k_1 тақрибан баробаранд, бинобар он

$$D \sim e^{-2kl} = e^{-\frac{4\pi}{h} \sqrt{2m(U - E)}l} \quad (4.12.14)$$

$$sh^2kl = shkl \cdot shkl = \left(\frac{e^{kl} - e^{-kl}}{2}\right) \cdot \left(\frac{e^{kl} - e^{-kl}}{2}\right) = \frac{1}{4} (e^{kl} - e^{-kl}) (e^{kl} - e^{-kl}) =$$

$$= \frac{1}{4} \left(e^{kl+kl} - \underbrace{e^{\frac{kl-kl}{1}}}_1 - \underbrace{e^{\frac{-kl+kl}{1}}}_1 + e^{-kl-kl} \right) = \frac{1}{4} e^{2kl} + \frac{1}{4} e^{-2kl} = \frac{1}{2} \dots (a).$$

(4.12.15)

Аз ин чо дида мешавад, ки гарчанде дар асоси механикаи классики дар вақти $E < U$ будан зарра қобилияти аз монеъаи потенциали гузаштан надошта бошад, ҳам дар асоси механикаи кванти зарриби шаффофии монеъа аз сифр фарқ мекунад ва бузургии \bar{y} дар вақти $U_0 - E$ хурд будан ба қиммати намоён соҳиб мешавад. Масалан, барои электронҳо дар вақти $U_0 - E = 1 \text{ эВ}$, $l = 5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ будан $\mathcal{D} = e^{-5,1} = 0,006$ мешавад. Яъне аз 1000 электронҳои ба монеъа афтида 6 – тоашон ба энергияи аввала ба монеъа дохил шуда боз аз он баромада меравад.

$$U_0 - E = 1 \text{ эВ}; \quad m = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ гр.} \quad e^{-\frac{4\pi}{h} \sqrt{2m(U-E)} \cdot l} =$$

$$= e^{-\frac{12,56}{h} \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-28} \cdot 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}} \cdot 5 \cdot 10^{-8}} = e^{-\frac{12,56}{6,625 \cdot 10^{-27}} \cdot 5,35 \cdot 10^{-20} \cdot 5 \cdot 10^{-8}} = e^{-5,1} \approx 0,006.$$

Дар асоси механикаи классики дар вақти $E < U_0$ будан гузаштани зарра аз монеъа ба қонуни нигоҳдории энергия муҳолифат мекунад. Дар асоси механикаи квати бошад ин хел муҳолифат ҷой надорад. Барои бовари ҳосилкардан дар асоси таносуби номуайяни ҳолати зеринро мебинем. Барои он ки зарра аз монеъа гузашт ё не нишон диҳем, мо бояд координатаи X –ро бо хатогии ΔX – и аз васеъгии монеъа l – калон шуда наметавонистаги чен кунем. Дар ин ҳолат хатоги дар импульс P_x бояд, ки $\Delta P_x > \frac{h}{l}$ шавад. Аз тарафи дигар, барои он, ки \mathcal{D} дар формулаи (4.12.14) бисёр хурд нашавад, нишондоди дараҷаи (e^{\dots}) бояд, ки наонқадар калон бошад. Масалан, агар $\frac{l}{h} \sqrt{2m(U_0 - E)} = 1$ бошад $\mathcal{D} = e^{-4\pi}$ мешавад, бинобар он нишондоди e бояд аз 1 хурд шавад, яъне

$$\frac{l}{h} \sqrt{2m(U_0 - E)} < 1 \quad \text{аз ин чо} \quad \sqrt{2m(U_0 - E)} < \frac{h}{l} < \Delta P_x;$$

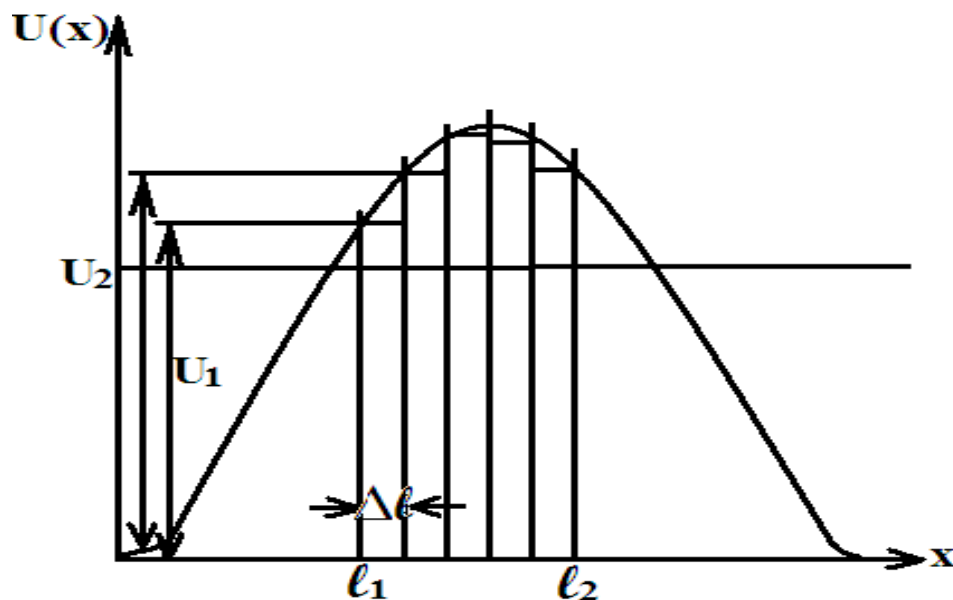
чи хеле, ки дида мешавад дар вақти $\sqrt{2m(U_0 - E)}$ аз ΔP_x хурд шудан $\mathcal{D} \neq 0$ мебошад, бинобар он зарраҳо бо энергияи кинетики $T = U_0 - E$ ва импульси $P_x = \sqrt{2mT} = \sqrt{2m(U_0 - E)}$ аз монеъа гузашта меравад. Аз ин чо маълум мешавад, ки дар вақти $E < U_0$ будан аз монеъа гузаранд ҳам, қонуни нигоҳдошташавиши энергия вайрон намешавад.

Формулаи (4.12.14) зарриби гузаронандаги барои монеъаи потенциалии шакли росткунҷаро дорад. Акнун мо аз ин формула истифода бурда зарриби шаффофи барои монеъаи шакли ихтиёри дошта нишон медиҳем. Барои ин монеъаро тасавур мекунем, ки вай аз суммаи монеъаҳои росткунҷаи элементарии дорои васеъгии Δl буда иборат мебошад (расми 4.12.2). Заррибҳои шаффофи монеъаҳои элементариро ба намуди зерин менависем.

$$\mathcal{D}_1 \approx e^{-\frac{4\pi}{h} \sqrt{2m(U_1 - E)} \Delta l}$$

$$\mathcal{D}_2 \approx e^{-\frac{4\pi}{h} \sqrt{2m(U_2 - E)} \Delta l}$$

$$\mathcal{D}_n \approx e^{-\frac{4\pi}{h} \sqrt{2m(U_n - E)} \Delta l}$$



Расми 4.12.2

Аз ин ҷо зароби гузаронандагии тамоми барер.

$$D = D_1 \cdot D_2 \cdot \dots \cdot D_n \approx e^{-\frac{4\pi}{\hbar} \sqrt{2m(U_1-E)} \Delta l} \cdot e^{-\frac{4\pi}{\hbar} \sqrt{2m(U_2-E)} \Delta l} \cdot \dots \cdot e^{-\frac{4\pi}{\hbar} \sqrt{2m(U_n-E)} \Delta l} = e^{-\frac{4\pi}{\hbar} \sum_{i=1}^n \sqrt{2m(U_i-E)} \Delta l}.$$

Дар вақти $\Delta l \rightarrow 0$ кардан сумма дар дараҷаи l ба интегралӣ худудаи аз l_1 дохилшави зарра ба монета то l_2 баромади зарра аз монета мубаддал мешавад. Он гоҳ зароби шаффофи моноета ба намуди умумӣ менависем.

$$D \approx e^{-\frac{4\pi}{\hbar} \int_{l_1}^{l_2} \sqrt{2m[U(x) - E]} dl} \quad (4.12.16)$$

Ин формула зароби шаффофи моноетаи потенциалӣ ихтиёри мебошад.

Гузаштани зарраҳо аз моноетаи потенциалӣ эффекти туннелӣ меноманд, чунки зарраҳо дар вақти аз моноетаи потенциалӣ гузаштан ба қуллаи моноета набаромада дар ягон масофа мегузаранд, ба монанде, ки аз ягон нақб (тунел) гузашта истода бошад.

Дар вақти $E < U_0$ будан гузаштани зарраҳо аз моноетаи потенциалӣ бо якчанд ҳодисаҳо вобаста мебошад, аз ҷумла: бо ҳодисаҳои фарқи потенциалҳо ва ба берунӣ гузаронандагӣ, эмиссияи хуноқи электронҳо маънидод карда мешаванд. Ин ҳодисаҳо ба таври пурра дар физикаи ҳаста ва механикаи кванти омӯхта мешаванд.

БОБИ 5.

5.1. МОДЕЛИ ПЛАНЕТАРИ АТОМ

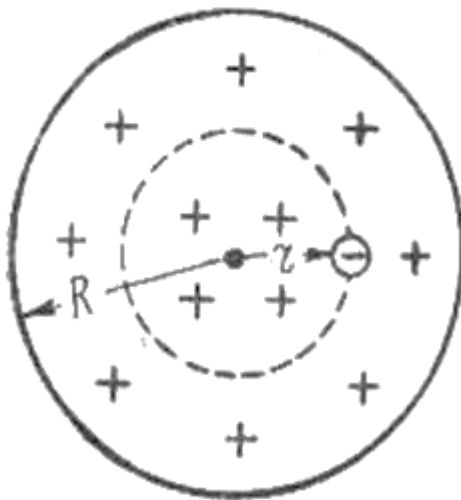
Дар аввалҳои асри XX дар ҳақиқат мавҷудияти атомро ҳама эътироф мекарданд, лекин сохти \bar{y} то ин дам маълум набуд. Дар ин вақт мавҷуд будани электрон кашф карда шуда буд. Протон бошад ҳоло маълум набуд. Маълум буд, ки атомҳо системаи мураккаби андозаи дорои 10^{-28} см буда аз

зарядҳои мусбат ва манфӣ иборатанд. Лекин ин зарядҳо дар атом чи хел ҷойгирифтаанд, атом чӣ хел сохт дорад муайян набуд. Олимон барои дар атом чи хел ҷойгиришавии зарядҳои мусбат ва манфиро фаҳмонидан ду назарияи атомиро пешниҳод карда буданд.

5.2. Ду модели сохти атом.

Модели якӯм аз тарафи Томсон пешниҳод карда шуда буд. Мувофиқи назарияи Томсон атом аз қисми вазнин – мусбат заряднок ва аз зарраҳои сабук электронҳо иборат мебошад. Зарядҳои мусбат дар атом бо зичии доими дар ҳаҷми сферае, ки андозааш 10^{-8} см баробар аст ҷойгир шудаанд. Электронҳо бошанд дар дохили ин сфера гӯё, ки дар абри зарядҳои мусбат гӯтида бошанд ба таври симетрики ҷойгир шудаанд ва онҳо дар ин ҳолат бо қувваи квазичандарӣ нигоҳ дошта мешаванд. Шумораи электронҳо дар сфера он миқдор мебошад, ки онҳо бо зарядҳои манфиашон зарядҳои мусбати дар сфера мавҷуд бударо ҷуброн мекунад. Заряди сфераи атомҳои гуногун – гуногун мебошанд, бинобар он шумораи электронҳо ҳам дар онҳо гуногун мебошанд. Масалан дар атоми соддатарин гидроген зарядҳои мусбати дар сфера ҷой гирифта бо заряди манфии як электрон ҷуброн карда шудаанд. Агар ин электрон аз маркази сфера радиусаи R , дар масофаи r ҷой гирифта бошад (расми 5.2.1), он гоҳ ба вай аз тарафи зарядҳои мусбати e' –и дохилии сфераи радиусаи r , қувваи кашиши кулонии зерин таъсир мекунад.

$$F = \frac{e_1 e^2}{r^2}; \quad (5.2.1)$$



Расми 5.2.1

Заряд e' , ки дар дохили сфераи r ҷой гирифтааст ба $e' = e \frac{r^3}{R^3}$ баробар аст. (исботаш дар фриш к. III сах. 40. тоҷикӣ).

Дар асоси ин

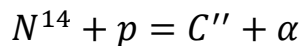
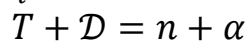
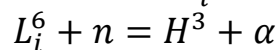
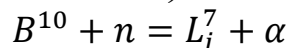
$$F = \frac{e}{r^2} \cdot \frac{er^3}{R^3} = \frac{e^2}{R^3} r = fr \quad (5.2.2)$$

Рабиши ин қувва ба маркази сфера равоӣ карда шудааст. Дар маркази сфера ($r = 0$) электрон дар ҳолати баробарвазни мебошад ($F = 0$). Дар вақти аз ин ҳолат ба ягон тараф майл кардан ба \bar{y} қувваи (5.2.2) квазичандари таъсир мекунад. Дар натиҷа электрон ба лапшии омада аз худаи нур

мебарорад. Басомади нурбарори электрон бо формулаи $\mathcal{V} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{f}{m}}$ муайян карда мешавад. Агар дар атом z – электронҳо мавҷуд бошанд, он гоҳ ҳолати баробарвазни r_0 электронҳо дар ҳамон вақт нигоҳ дошта мешавад, агар қувваи кашиш ба марказ раво кардашудаи электрони ихтиёри бо қувваи баробартаъсири таладиҳии байни ҳамдигариҳои ҳаммаи электронҳо бо ин электрон баробар шавад. Агар ин шарт иҷро нашавад ҳолати баробарвазни вайрон шуда электрон ба лапиши мебарояд.

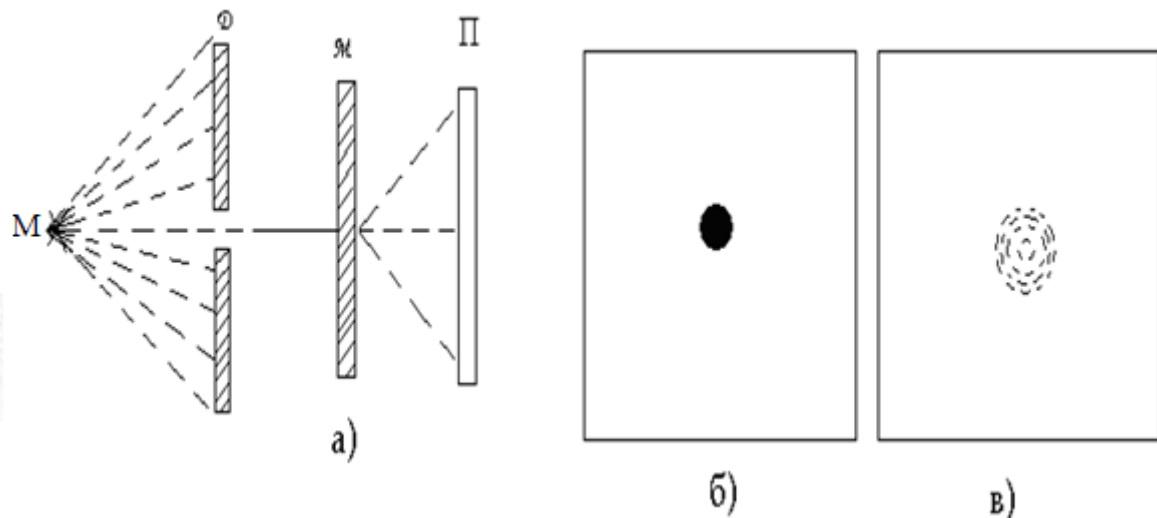
Омӯхтани ҳодисаҳои гузариши зарраҳои заряднок сурати калон дошта, аз модда нишон дод, ки атом бояд дигар сохт дшта бошад. Соли 1903 Ленард аз моддаҳои нафиси шаффоф гузаштани α – зарраҳоро мушоҳида карда ба чунин хулоса омад, ки қисми мусбат зарядноки атом дар масофаи нисбат ба 10^{-8} см бисёр хурд ҷойгир шудаанд. Ин хулосаро Резерфорд дар соли 1908 – 1910 дар таҷрибаҳои худ бо α – зарраҳо исбот кард.

Алфа-зарраҳо ҳаста атоми гелий буда аз тарафи баъзе элементҳои радиофаъоли Ra, Th, U ва дигарҳо афканда мешаванд. Аз тарафи дигар α – зарраҳо маҳсули баъзе реаксияҳои ҳастаии бо таъсири нейтронҳо ё ки дигар зарраҳои заряднок ба амал меоянд, мисол:



Сурат α – зарраҳо бисёр калон мебошад. Масалан α – зарраҳои RaC мебаровадагӣ тақрибан то $2 \cdot 10^9$ см/сек мерасад. Энегияи кинетики онҳо $T = 7 \cdot 10^6$ эв. Зарядашон $q = +2e$, массаашон $M = 6,68 \cdot 10^{-24}$ гр.

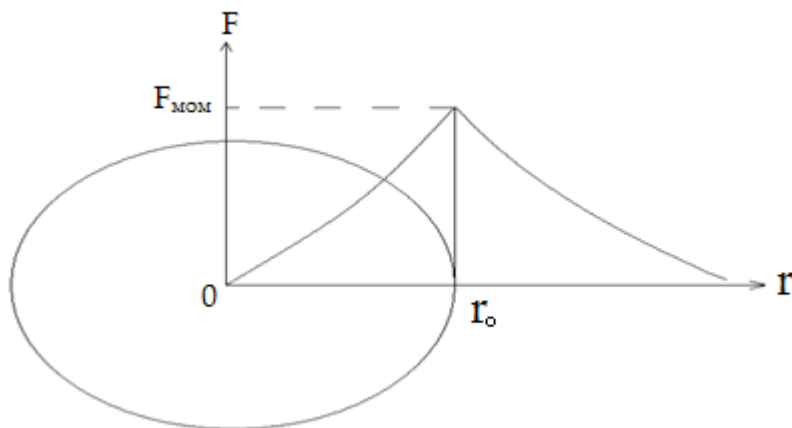
Агар α – зарраҳои аз манбаи N баромадаро аз сӯроҳи Д – гузаронида ба фотолавлҳои П – раво кунем (расми 5.2.2), он гоҳ онҳо дар фотолавлҳо (дар он ҷое, ки мерасад) доғи сиёҳ пайдо мекунанд (расми 5.2.2 – б), агар дар роҳи α – зарра ягон моддаи бисёр тунуки М – ро гузорем, он гоҳ доғи сиёҳи дар расми б дидаамон васеъ мешавад (расми 5.2.2 – в).



Расми 5.2.2

Сабаби ин васеъшавиши майлқунии α – зарраҳо аз равиши аввалаашон мебошад. Ченқунии α – зарраҳои майлшуда дар кунҷҳои гуногун (аз 0° то 180°) нишон дод, ки шумораи α – зарраҳои инъикос шуда бо зиёд шавиши кунҷ тез кам мешавад, лекин то сифр баробар намешавад, ҳатто ҳангоми $\varphi = 180^\circ$.

Имконияти гузаштани α – зарраҳо аз модда ба кунҷҳои гуногун майлқунии онҳоро бо модели Томсон маънидод кардан бисёр душвор мебошад. Агар аз моддаи гузаштани α – зарраҳоро бо модели Томсон маънидод кардани шавем бояд эътироф кунем, ки α – зарраҳо аз дохили зарядҳои мусбат гузашта бошад, лекин ин номумкин аст. Майлқунии α – зарраҳоро Томсон бо қувваи кулонии таъсири байни ҳамдигарии α – зарраҳо бо заряди мусбати сфераи $r = 10^{-8}$ см мефаҳмонад. Мувофиқи ин маънидодқуни α – зарраҳо дар ҳамон вақт ба кунҷи калонтарин аке мешавад агар онҳо бо сфераи $+Ze$ заряд дошта яъне бо атоми ионизатсия шуда таъсир кунанд. Дар дохили сфераи дорои заряди $+Ze$ буда, қувваи таъсир бо зиёдшавиши масофа аз марказ (дар асоси 5.2.2) зиёд шудан мегирад, дар вақти $r = R$ (расми 5.2.1 ва 5.2.2) шудан бо қиммати максимали соҳиб мешавад. Агар $r > R$ шавад қувваи бо қонуни $\frac{2ze^2}{r^2}$ хурд мешавад. Агар майлшавиши α – зарраҳоро нисбат ба равиши аввалаашон барои қувваи максимали ҳисоб кунем, ки бузургии барои атоми $z = 50$, $\vartheta_0 = 2 \cdot 10^9$ см/сон ва $R = 10^{-8}$ см ба $\varphi \sim 0,01^\circ$ баробар мешавад. Азбаски ин бузургии майлшави бисёр хурд мебошад, бинобарон ба кунҷҳои калон майлқуни α – зарраҳоро бо модели Томсон маънидод кардан номумкин мебошад.



Расми 5.2.3

Аз ҳамин сабаб имконияти ба кунҷҳои калон майлқунии α – зарраҳо талаб мекунад, эътироф кунем, ки ба α – ҳиссачаҳо аз тарафи атом қувваи бисёр калон таъсир мекунад. Қувваи Кулони, ки ба α – зарраҳо таъсир мекунад ($\frac{2ze^2}{r^2}$), агар r ниҳоят аз $R \sim 10^{-8}$ см хурд бошад. Ин маънидодқуни дуруст мебошад, лекин барои инро эътироф кардан бояд, ки заряди мусбати атом дар ҳаҷми ниҳоят хурд ҷой гирифта бошад. Дар асоси ин маънидодқуниҳо модели дуйӯми атоми ба амал омад.

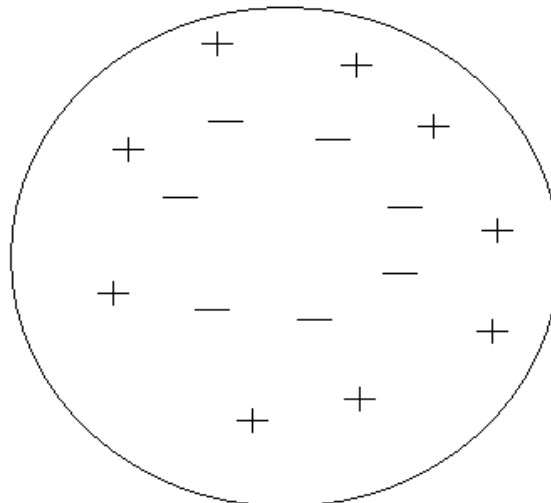
Мувофиқи модели дуйӯм, атом ҳамчун системаи офтоби мебошад. Дар маркази атомҳо ҳастаи вазнини зардаи мусбат ҷой гирифта дар

гирди он электронҳои зариядашон манфӣ чарх мезананд. Андозаи ҳаста назар ба андозаи атом хурд мебошад. Андозаи атом низ хурд аст. Андозаи атом бошад, набалки бо андозаи ҳаста, балки бо масофаи аз ядро то электронҳои дар атрофи он давр зананда муайян карда мешавад. Чунин моделро модели ҳастаи атоми меноманд. Барои дар таҷриба санҷидани модели ҳастаи аз тарафи Резерфорд ва ҳам касби \bar{y} соли 1911 тақсимоти кунҷи α – зарраҳо аз моддаҳои гуногун омӯхта мешавад, ва натиҷаҳои ҳосил карда бо назария муқоиса карда мурд.

5.3. СОХТИ АТОМ

Дар охири асри XIX ва аввалҳои асри XX дар ҳақиқат мавҷудияти атомро ҳама эътироф мекарданд. Дар ин вақт маълум буд, ки атом ҳадди охирини модда – зарраи тақсимнашаванда набуда балки сохти мураккаб дорад (атом дорои заряди дискрети маълум буд ва z), андозаи вай ба 10^{-8} см баробар мебошад. Лекин дар ин вақт зарраҳо дар атом чи хел ҷойгир шудаанд ва атом чи хел сохт дорад маълум набуд. Аз ҳамин сабаб аз тарафи олимони якҷанд моделҳои атоми пешниҳод карда шуда буд.

Моделҳои якуми атоми соли 1902 аз тарафи Томсон пешниҳод карда шуда буд. Мувофиқи модели Томсон атом аз қисми вазнин – мусбат заряднок ва аз зарраҳои сабук электронҳо иборат мебошад. Зарядҳои мусбат дар атом бо зичии якхела дар ҳаҷми сферае, ки андозааш ба $2r \sim 10^{-8}$ см



Расми 5.3.1

баробар аст ҷойгир шудаанд. Электронҳо бошанд дар дохили ин сфера гӯё, ки дар абри зарядҳои мусбат гӯтида бошанд ба таври симметрикӣ ҷойгир шудаанд ва онҳо дар ин ҳолат ба қувваи квазиэластики нигоҳ дошта мешаванд. Шумораи электронҳо дар сфера он миқдор мебошад, ки онҳо ба зарядҳои манфиашон зарядҳои мусбати дар сфера мавҷударо ҷуброн мекунанд – яъне атом дар ҳолати нормалӣ нейтрал мебошад расми 5.3.1

Электронҳои зарядҳои мусбати атом бо якдигар дар асоси Қонуни Кулон таъсир мекунанд. Электрон дар маркази сфера дар ҳолати баробарвазни мебошад (суммаи қувваҳои ба электрон таъсиркунанда баробари сифр аст). Агар вай аз ин ҳолат ба ягон тараф майл кунад ба вай қувваи квазичандирӣ ба ҳолати баробарвазни нигаронидашуда таъсир карда

вайро ба лаппиш меорад. Дар натиҷа электрон аз худ мавҷи электромагнитие мебарорад, ки басомади он ба басомади мавҷи рӯшноӣ наздик аст.

Таҷрибаҳо нишон доданд, ки модели Томсон бисёр натиҷаҳои ба таври таҷрибавӣ ҳосил карда шударо шарҳ дода наметавонад. Масалан вай қонуниятҳои ба таври эмперикӣ ёфташудаи тайфи ё ин ки майлқунии зарраҳои зарядноки бозгард аз атомҳо ва ғайраҳоро фаҳмонда наметавонанд.

Аз ин ҷумла ин модел аз қоғази нафиси метали бисёр нағз гузаштани β – зарраҳоро, ки соли 1903 Ленард гузаронида буд шарҳ дода наметавонист. Натиҷаҳои таҷрибаи Ленард ба он шаҳодат медиҳанд, ки бояд заряди мусбати атом дар ҳаҷми аз 10^{-8} см бисёр хурдтар ҷойгир шуда бошанд.

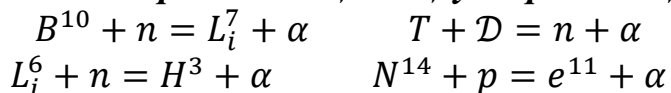
Ғайр аз ин ба имконпазирии мавҷудияти модели Томсон фақат натиҷаҳои таҷриба шаҳодат намедиҳанд. Аз электростатика, дар асоси теоремаи Ирншоу ба мо маълум аст, ки ҳаргуна системаи аз зарядҳои доимиҳои электрики иборат буда фақат дар асоси таъсири қувваи Кулони устувор шуда наметавонанд. Аз ин ҷо маълум мешавад, ки модели устувори атоми аз зарядҳои фақат бо қувваи таъсири электростатикӣ нигоҳ дошташавандаро сохтан мумкин нест. Модел фақат дар ҳама вақт устувор шуда наметавонад, агар зарядҳои атомро ташиқ кунанд чунин ҳаракат кунанд, ки дар натиҷаи он қувваҳои бо ҳам таъсироти механикии зарядҳо ҳосил шаванд ва ин қувваҳо ба қувваҳои таъсироти ҷисмҳои материалии монанд бошанд.

Моделҳои дурусти атом дар таҷрибаҳои Резерфорд бо α – зарраҳо пешниҳод карда шуд.

5.4. ТАҶРИБАИ РЕЗЕРФОРД БО α – ЗАРРАҲО.

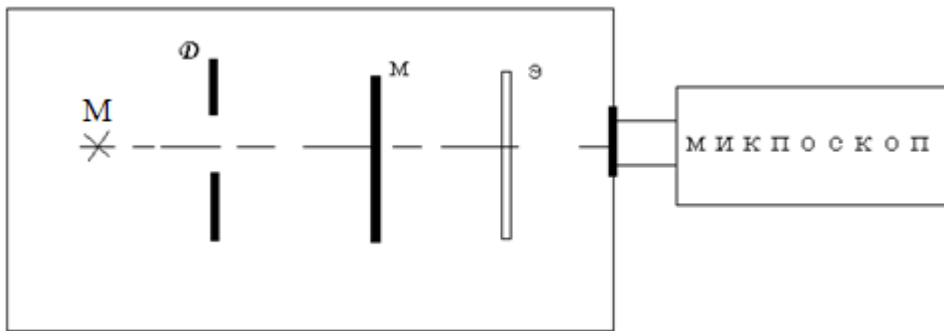
Роли ҳалқунандаро дар ташиқдиҳии тасаввуроти ҳозираи сохти атоми омӯзиши пароканиши зарраҳои заряднок аз модда, ки дар солҳои 1906 – 13 аз тарафи олими англис Э. Резерфорд бо шогирдонаш Гейсел ва Марсден гузаронида шуда буд бозиданд.

Резерфорд таҷрибаҳои худро бо α – зарраҳо гузаронида буд, α – зарраҳо ҳастаи атоми гелий буда заряди ба ду заряди $q = +2e$ мусбати электрон ва массааш ба $m_\alpha = 6,68 \cdot 10^{-24}$ гр $m_\alpha = 8000m_e$ баробар аст. Онҳо аз тарафи баъзе элементҳои радиофаъоли Ra, Th, U ва ғайраҳо хориҷ мешавад. Ғайр аз ин онҳо маҳсули реаксияҳои ҳастаи



ва ҳоказоҳо мебошанд.

Соли 1906 Резерфорд бо α – зарраҳо чунин таҷрибаи гузаронд: Агар α – зарраҳо аз манбаи M баромадаро аз сӯроҳии D гузаронида ба экрани Э – равона кунем, он гоҳ дар экран доғи сиёҳ пайдо мешавад. Агар дар роҳи α – зарраҳо ягон моддаи бисёр тунуки M – ро гузорем он гоҳ доғи сиёҳ васеъ мешавад расми 5.4.1



Расми 5.4.1

Сабаби ин васеъшави майлкунии α – зарраҳоро аз равиши аввалаашон мебошад. Ченкунии α – зарраҳои майлшуда дар кунҷҳои гуногун (аз 0° то 180°) нишон дод, ки шумораи α – зарраҳои пароканиши шуда бо зиёдшавиши кунҷ кам мешаванд, лекин то сифр баробар намешавад.

Имконияти гузаистан α – зарраҳо аз модда ва ба кунҷҳои калон майлкунии онҳоро бо модели Томсон маънидод кардан бисёр душвор мебошад. Чунки агар аз модда гузаистани α – зарраҳоро бо модели Томсон маънидод кардани шавем бояд эътироф кунем, ки α – зарраҳо аз дохили заряди мусбат гузаиста бошад. Лекин ин номумкин мебошад. Аз тарафи дигар ба кунҷҳои калон майлкунии α – зарраҳо низ бо ин модел маънидод кардан бисёр душвор мебошад, чунки заряди мусбати дар тамоми ҳаҷм тақсим шуда дар модели Томсон чунин майдони электрики ба қадри кофи пуриқдидорро, ки α – зарраҳо ба қафо партофта тавонад ба вуҷуд оварда наметавонад.

Барои он, ки заряди мусбати атом α – зарраҳо ба қафо партофта тавонад, энергияи потенциалии теладиҳии кулонӣ бояд ба энергияи кинетики α – зарра баробар шавад, яъне

$$\frac{q_\alpha \cdot Q}{R} = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2} \quad (5.4.1)$$

Дар ин ҷо q – заряди α – зарра, Q – заряди мусбати ҳаста, R – радиуси он.

Ҳангоми $R = 10^{-8}$ см будан аз ин баробари чунин хулоса мебарояд, ки $\frac{q_\alpha \cdot Q}{R}$ дар ҳамон вақт ба энергияи кинетики α – зарра баробар шуда метавонад агар заряди мусбати атом аз заряди электрон сад ҳазор маротиба зиёдтар бошад. Аммо тасавур кардан мумкин нест, ки чунин заряди мусбати калон дар даруни атом ҷойгир аст. Зеро дар он сурат адади электронҳои, ки заряди мусбатро нейтрал мекунанд бояд ҳамон қадар мешуданд, ки массаи чунин миқдори электронҳо аз массаи тамоми атом ҳазорҳо маротиба зиёдтар мешуд.

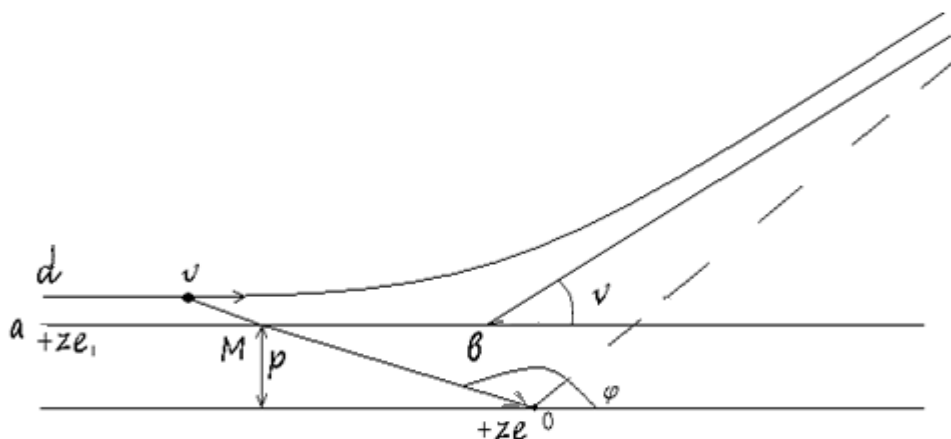
Ҳамаи ин ҳолатҳоро ба назар гирифта соли 1911 Резерфорд натиҷаҳои дар таҷриба мушоҳида кардаашро чунин маънидод карда буд: моддаҳо аз атомҳо иборат мебошанд, ки сохти онҳо (атомҳо) ба сохти системаи офтоби монанд аст. Дар маркази ҳар як атом заряди мусбати дар ҳаҷми бисёр хурд ҷойгир шуда дар атрофии вай электронҳо бо таъсири қувваи электростатики давр мезананд. Аксари α – зарраҳо аз он сабаб аз қозаи нафиси метали бевосита мегузаранд, чунки электронҳо бо α – зарраҳо ба қадри кофи таъсир расонида наметавонад, чунки массаашон нисбат ба массаи α – зарра бисёр хурд мебошад.

Ба ҳамин тариқ модели дурусти атомро аз тарафи Резерфорд пешниҳод карда шуд. Ин моделро одатан модели плонетариӣ атоми меноманд, чунки вай ба системаи офтоб монанд мебошад. Заряди мусбати ҳастаро, ки вай дар маркази атом ҷойгир шудааст, Резерфорд ҳастаи атоми номида буд.

Аз таъсири кулонӣ байни α -зарра ва заряди мусбати атом истифода бурда Резерфорд тақсироти кунҷии α -зарраҳои аз варақи нафисӣ металлӣ гузашта ба кунҷҳои гуногун майл кардари муайян карда буд.

Дар натиҷаи пароканиши α -зарраҳо Резерфорд мушоҳида намудани модели ҳастаи атом бевосита тасдиқ намуд. Резерфорд мушоҳида карда буд, ки α -зарраҳо аз варақаҳои тунуки металлӣ гузашта меравад ва дар айни ҳол аз самти ибтидоии худ майл мекунад. Қувваҳои, ки аз тарафи электронҳо ба α -зарраҳо таъсир мекунад, аз сабаби хеле хурд будани массаи электронҳо равиши ҳаракати онҳоро ба дараҷаи мушоҳидашаванда тағйир дода наметавонанд. Бинобар он майлқунии α -зарраҳо аз тарафи заряди мусбати атом ба вуҷуд оварда мешавад.

Нишон медиҳем, ки пароканиши α -зарраҳо аз андозаи ҳаҷме, ки дар дохили он заряди мусбат ҷойгир аст вобастагии калон дорад. Фақат дар ҳолати хеле хурд будани андозаи заряди мусбати атом қувваҳои теладиханда ба дараҷае калон шуда метавонад, ки майлқунии хатти сайри α -зарраҳо ба кунҷҳои калон тағйир дода тавонанд. Аммо агар заряди мусбати атом дар ҳаҷми калон ҷойгир шуда бошад, он гоҳ ҳар боре, ки α -зарраҳо аз наздикии атом гузарад, вай ба бузургии кунҷи на он қадар калон майл мекунад. Дар ин ҳолат пароканиши α -ҳам хурд мешавад. Фарз кунем, ки α -зарра дар масофаи аз ҳаста дур бо сурати v ба равиши хатти ростии ab ҳаракат мекунад. Масофаи хурдтарини байни хатти ab ва маркази атом O -ро, ки дар он заряди мусбати атом Z ҷойгир аст, бо воситаи P ишора мекунем. Бузургии P масофаи «нишонгири» номида мешавад (расми 5.4.2)



Расми 5.4.2

Энергияи потенциалии α -зарра дар майдони ҳаста бо формулаи $U = \frac{z \cdot Z_1 e^2}{r}$ муайян карда мешавад. Қонуни нигоҳ дошташавии энергия чунин навишта мешавад.

$$\frac{M}{2}(r^2 + \dot{r}^2 \phi^2) + \frac{Z \cdot Z_1 e^2}{r} = E. \quad (5.4.2)$$

Дар ин ҷо E энергияи пурраи зарра. Қонуни нигоҳ доштани импулсро бо формулаи зерин менависем:

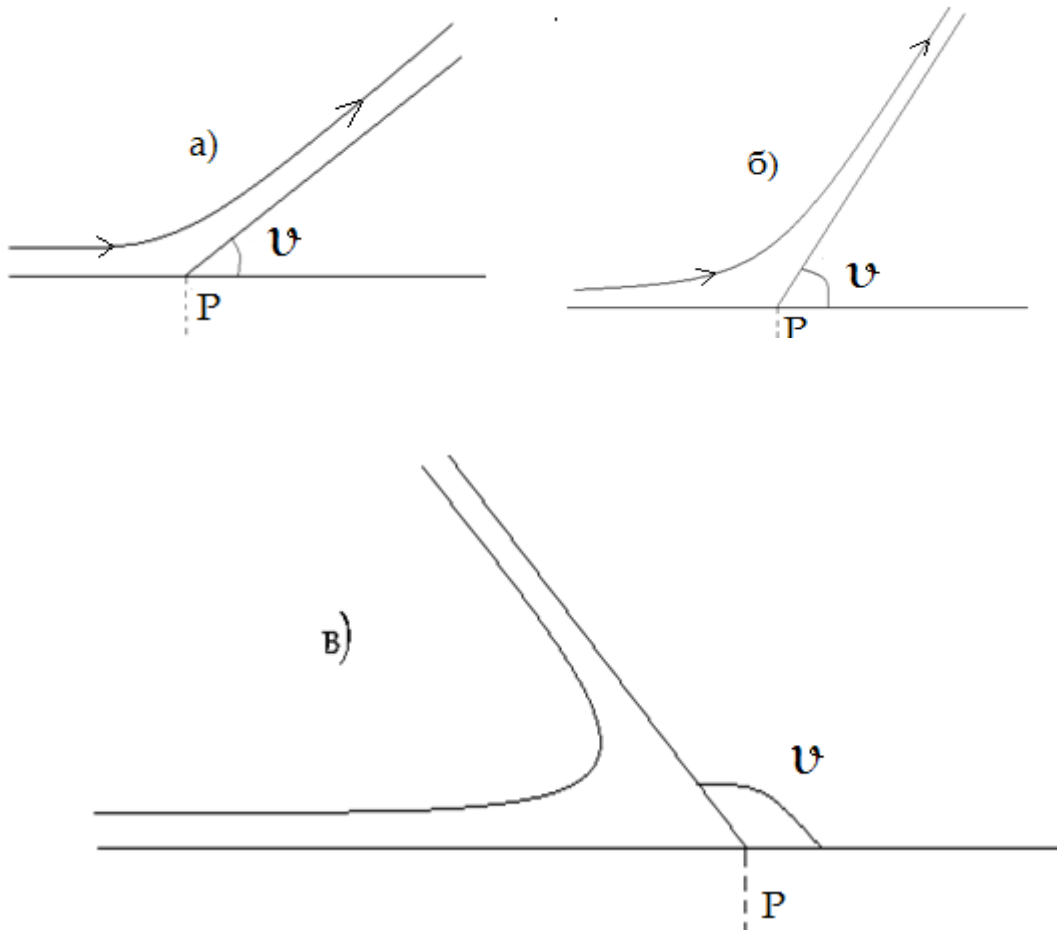
$$Mr^2 \dot{\phi} = M_p v \quad (5.4.3)$$

Аз ин ҳаракати зарраҳо ва кунҷи майлқунии онҳо ва тавсифҳои байни α – зарраю ҳастаро ҳосил кардан мумкин аст.

Ҳисобқуниҳо нишон медиҳад, ки ҳангоми дар байни α – зарра ва заряд мавҷуд будани қувваҳои ба ҳам таъсиркунии кулонӣ, α – зарра аз рӯи гипербола ҳаракат мекунад. Кунҷи ϑ , ки ба бузургии он хатти сайри α – зарра майл мекунад бо баробарии зерин муайян карда мешавад.

$$\operatorname{ctg} \frac{\vartheta}{2} = \frac{Mv^2}{2e^2 Z} P \quad (5.4.4)$$

Дар ин ҷо M – масса α – зарра аст. Аз формулаи (5.4.4) дида мешавад, ки масофаи нишонгирӣ чӣ қадаре, ки хурд бошад, кунҷи майлқуни ϑ – ҳамон қадар калонтар мешавад. Намуди хатҳои сайри α – зарраҳо барои масофаҳои гуногуни нишонгирӣ дар расми 5.4.3 а, б, в нишон дода шуда аст. Дар вақти хурд будани P , кунҷи $\vartheta > \frac{\pi}{2}$ мешавад, яъне α – заррача



Расми 5.4.3

дар натиҷаи ба атом бархӯрдан ба қафо пароканиш мешавад.

Формулаи (5.4.4) – ро бевосита дар таҷриба санҷидан мумкин нест, чунки дар он бузургии P – ро дохил мекунем, ки дар таҷриба чен кардан номумкин мебошад. Бинобарон мо дурустии формулаи (5.4.4) – ро ба таври назарияви бо бузургиҳои дар таҷриба муайян кардашаванда месанҷем.

Фарз кунем, ки аз варакаи тунуки фолгаи метали дастаи паралеллии α – зарраҳо парвоз карда мегузаранд. Нишон медиҳем, ки агар дар воҳиди вақт аз сатҳи варакаи тунук метали n_0 – зарраҳо гузаранд, кадом миқдори онҳо ба кунҷи аз v то $v + dv$ майл мекунад.

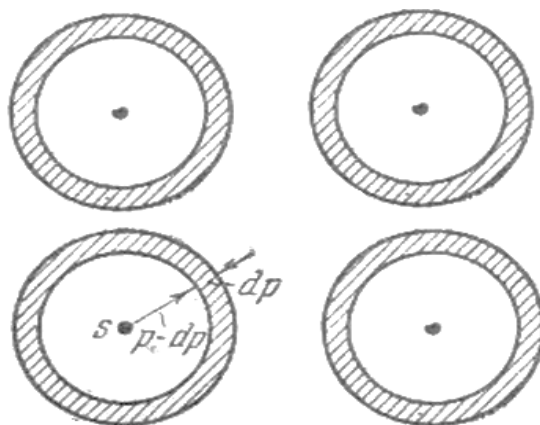
Фарз кунем, ки ба кунҷи v майлгунии α – зарраҳо ба масофаи нишонгирии P ва ба кунҷ $v + dv$ майлгунии ба нишонгирии $p + dp$ мувофиқ меояд. Агар ба воҳиди масоҳати варақа N атом мувофиқ ояд, адади умумии α – зарраҳои, ки дар воҳиди вақт ба ϑ ва $\vartheta + d\vartheta$ майл мекунад ба

$$dn = n_0 N ds \quad (5.4.5)$$

баробар аст, ds – масоҳати ҳалқа мебошад, ки вай ба

$$ds = 2\pi p |dp| \quad (5.4.6)$$

баробар аст (расми 5.4.4).



Расми 5.4.4

(5.4.6)–ро ба (5.4.5) гузошта ҳосил мекунем:

$$dn = 2\pi n_0 N p |dp| \quad (5.4.7)$$

Барои ёфтани ифодаи $p dp$ аз формулаи (5.4.4) истифода бурда баробарии зеринро ҳосил мекунем.

$$p^2 = \left(\frac{2e^2 Z}{Mv^2}\right)^2 \text{ctg}^2 \frac{v}{2} \quad (5.4.8)$$

Аз (5.4.8) дифференциал гирифта $p dp$ -ро меёбем.

$$p dp = -\frac{1}{2} \left(\frac{2e^2 Z}{Mv^2}\right)^2 \frac{\text{ctg} \frac{v}{2}}{\sin^2 \frac{v}{2}} dv \quad (5.4.9)$$

Аломати минус маънои асли надорад. Вай фақат бо калоншавии параметри нишонгири P хурдшавии ϑ – ро нишон медиҳад. Аз ҳамин сабаб дар оянда вайро ба назар нагирифта аз қиммати мутлақи $p dp$ истифода мебарем.

(5.4.9)–ро ба (5.4.7) гузошта ҳосил мекунем.

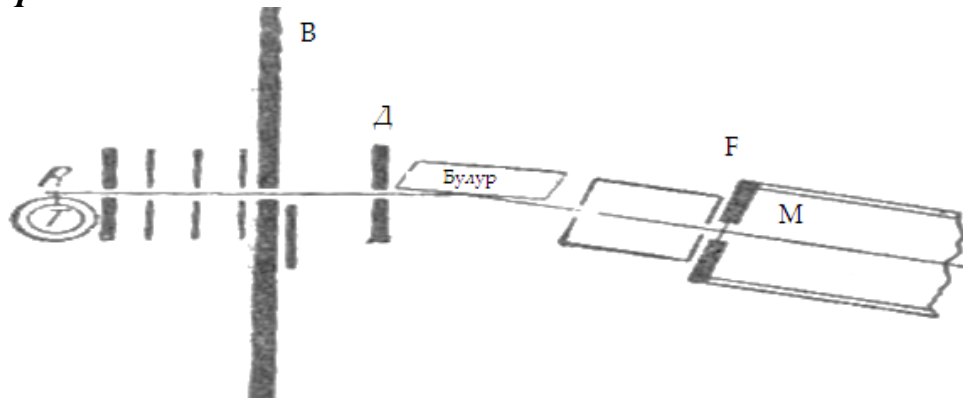
$$dn = \pi n_0 N \left(\frac{2e^2 Z}{Mv^2}\right)^2 \frac{\text{ctg} \frac{v}{2}}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}} dv \quad (5.4.10)$$

$$\text{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}; \quad \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} (1 - \cos \alpha); \quad \text{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\sin \alpha}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}$$

Дар асоси ин:

$$dn = n_0 N \left(\frac{e^2 Z}{Mv^2}\right)^2 \frac{2\pi \sin v dv}{\sin^4 \frac{v}{2}} \quad (5.4.11)$$

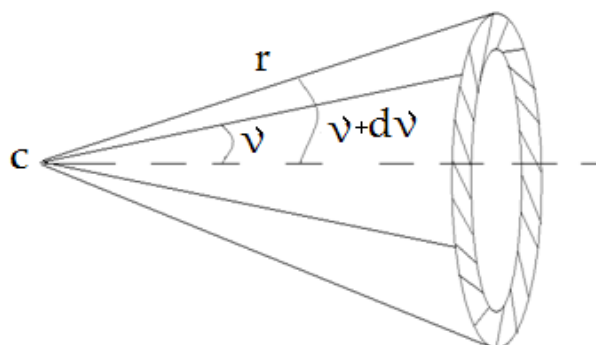
Формулаи (5.4.11) формулаи Резерфорд номида мешавад. Аз формулаи (5.4.11) истифода бурда натиҷаи таҷрибаҳоро бо назария муқоиса кардан мумкин аст. Мушоҳидакунии пароканишии α – заррачаҳо бо раҷаи (расми 5.4.5) гузаронида мешавад.



Расми 5.4.5

Дастаи борики α – заррачаҳо, ки манбаи радиофаъоли R мебароянд аз сӯроҳии В гузашта ба варақаи нафиси метали Д мерасанд. Ҳангоми аз модда гузаштан α – зарраҳо ба тарафҳои гуногун майл мекунад ва ба экрани флюорессенсиякунандаи F (аз сулфиди рух таёр карда шудааст) омада мерасад. Агар α – зарраҳо ба экран омада расанд экран ялаққос мезанад, α – зарраҳо бо чунин энергияи калон ҳаракат мекунад, ки ҳангоми ба экран бархӯрдан ялаққосзаниши ӯро бо чаши мушоҳида кардан мумкин мешавад. Адади ялаққосзаниҳоро бо микроскопи M, ки ба кунҷҳои гуногун тағйирдодан мумкин аст, мушоҳида карда, шумораи α – зарраҳои варақаи нафиси металии Д пароканишишударо чен кардан мумкин аст.

Дар формулаи (5.4.11) dn – адади зарраҳои дар воҳиди вақт дар зер кунҷҳои v ва $v + dv$ майлкардари мефаҳмонад. Ба маънои дигар зарраҳои мебошанд, ки бо конусҳои кунҷи кушодашавиашон ба $2v$ ва $2(v + dv)$ баробар буда паҳн мешаванд. Агар мо қуллаи ин конусҳоро бо C ишора карда аз он сфераи радиусаи r –ро гузаронем, он гоҳ ин конусҳо дар сатҳи сфера тасмаеро мебуранд, ки (сатҳи хатчакардаи он) масоҳаташ ба



Расми 5.4.6

$$2\pi r \sin v \cdot r dv = 2\pi r^2 \sin v dv \quad (5.4.12)$$

баробар аст. Ҳамаи dn зарраҳои бо конусҳои кунҷи кушодашавиашон ба $2v$ ва $2(v + dv)$ баробар паҳншуда ба масоҳати ҳамин тасма омада меафтанд. Аз ин ҷо адади зарраҳои ба воҳиди масоҳати тасма меафтадагӣ dn' ба:

$$dn' = \frac{dn}{2\pi r^2 \sin v dv} \quad (5.4.13)$$

баробар мешавад. (5.4.11)-ро ба (5.4.13) гузошта ҳосил мекунем.

$$dn' = \frac{n_0 N \left(\frac{e^2 z}{Mv^2}\right)^2 2\pi \sin \nu dv}{\sin^4 \frac{\nu}{2} \cdot 2\pi r^2 \sin \nu dv} = \frac{n_0 N}{r^2} \left(\frac{e^2 z}{Mv^2}\right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\nu}{2}} \quad (5.4.14)$$

Азбаски дар ин формула ҳамаи бузургихоро ба таври таҷрибавӣ чен карда ва ба таври назариявӣ ҳисоб кардан мумкин аст, дурустии онро дар таҷриба санҷидан мумкин аст. Мувофиқи назария агар формулаи (5.4.14) дуруст бошад бояд, ки ҳосили зарби $dn' \cdot \sin^4 \frac{\nu}{2}$ бо тағъирёбии кунҷ доими монад. Мушоҳидаҳои натиҷаҳои назариявиро тасдиқ кард. Натиҷаҳои таҷриба дар ҷадвали 5.4.1 оварда шудааст.

Ҷадвали 5.4.1

ν^0	Адади синтлятсияҳо	$dn' \cdot \sin^4 \frac{\nu}{2}$
150	33,1	28,8
120	51,9	29,0
105	69,5	27,8
75	211	29,1
45	1435	30,8
30	7800	35,0
15	132000	38,4

Чи хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад бо тағъирёбии кунҷ ҳосили зарби $dn' \cdot \sin^4 \frac{\nu}{2}$ доими менамояд. Ин шаҳодат медиҳад, ки ба ҳамдигар таъсиркунии байни α -зарра ва зарияди мусбати атом бо қонун Кулон ифода карда шудааст.

Формулаи (5.4.14) низ имконият медиҳад, ки аз рӯи адади α -зарраҳо майл карда $-dn'$, бузургии зарияди мусбати атом муайян карда шавад, зеро ҳамаи дигар бузургихоро, ки ба формулаи (5.4.14) дохил мешавад, барои ченкуни дастрас мебошад. Дар ҳолати нормали атом нейтрал мебошад, дар он адади электронҳои зариядашон манфӣ ба зарияди мусбат баробаранд, яъне $q = Z(e)$. Дар ин ҷо Z адади бутун мебошад. Ченкуниҳои Резерфорд ва ҳамкасбони \bar{y} нишон доданд, ки Z тақрибан ба ними вазни атоми баробар аст. Вазни атоми дар аввалҳои таҷрибаи Менделеев аз номери тартибӣ тақрибан 2 маротиба калон аст. Масалан, карбон C дар ҷои шашӯм меистад, вазни атомиаш 12, алюминий дар 13-м меистад, вазни атомиаш ба 27 баробар аст ва ҳоказоҳо. Ин қонуният барои элементҳои охири ҷадвали Менделеев каме вайрон мешавад, лекин дар ин ҳолат ҳам номери тартибиро тақрибан аз вазни атоми ду маротиба хурд гирифтани мумкин аст. Аз ин ҷо чунин фарзияте пайдо мешавад, ки бузургии Z (адади зарядҳои элемент) ба номери тартибии элементҳо баробар мебошад. Дурустии ин фарзият дертар тамоман тасдиқ шуд.

Аз формулаи (5.4.14) зарияди атомро дониста ба кадом кунҷ майлкунии ϑ , бузургии нишонгири R дуруст омаданаширо ҳисоб кардан мумкин аст. Муайян карда шудааст, ки барои элементҳои вазнини қиммати ϑ ба 150^0 мерасад, R ба 10^{-13} см баробар мешавад. Ин чунин маъно дорад, ки дар вақти ба 10^{-13} см баробар будани масофаи байни марказҳои атом ва зарра қувваи ба

ҳам таъсиркуни бо қонуни кулон итоат мекунад. Аз ин ҷо дар навбати худ чунин хулоса мебарояд, ки заряди мусбати атом андозаи аз 10^{-13} см зиёд набудаги доштааст.

Азбаски андозаи худи атом ба 10^{-28} см баробар аст, пас таҷриба тамоман дуруст будани модели ҳастаии атомро тасдиқ мекунад. Заряди мусбати атом дар ҳаҷме, ки назар ба ҳаҷми атом хеле хурд аст ҷойгир шудааст.

Аз ҳамаи дар боло гуфтаамон чунин хулоса мебарояд, ки дар маркази атом ҳастаи хурдтарини мусбат заряднокбуда ҷойгир шудааст, ки дар он қариб ҳамаи массаи атом ҷам мешавад. Дар гирди ҳаста дар ҳолати нормали Z –электрон ҷарх мезанад.

Дар асоси ин модел атоми гидроген ба сифати атоми соддатарин хизмат мекунад. Вай фақат як электрон дорад. Ҳастаи атоми гидроген нисбат ба ҳамаи ҳастаҳо соддатарин мебошад. Онро протон номида мешавад. Заряди протон ба $+e$, массаи он ба $1836 m_e$ баробар аст. Дар системаи даврии элементҳо пас аз гидроген – гелий меистад. Атоми вай дар ҳолати нормали ду электрон дорад. Ядрои атоми гелий ба заряди $+2e$ молик буда, массааш аз массаи протон чаҳор маротиба калонтар аст.

Ҳаминро қайд кардан мумкин аст, ки модели ҳастаии атом ба талаботи электродинамикаи классики мувофиқат намекунад. Масъала дар он аст, ки бояд электрони дар атрофи ҳаста ҷархзананда ба шитоб соҳиб шавад, бо фосилаи вақт аз худа нур барорад ва пас аз гузаштани ягон вақти бисёр хурд ба ҳаста омада афтад. Чи хеле, ки мо медонем атом системаи устувор мебошад. Бинобар он ҳамин хел хулоса мебарояд, ки барои равандҳои дохили атоми қонунҳои электродинамикаи классики татбиқнашаванда мебошанд.

Фақат пас аз дарозмуддат омӯхтани хосиятҳои атоми, аз он ҷумла омӯхтани сохти тайфи онҳо, муяссар гардид, ки характери қонунҳои протсессҳои дохили атомӣ мувофиқ бударо ёфта шавад.

5.5. ТАЙФИ АТОМҲО. ТАЙФИ АТОМИ ГИДРОГЕН.

Агар ба воситаи микраскоп шиобарори атомҳои элементҳои дар ҳолати гази ё буги бударо омӯзем мушоҳида кардан мумкин аст, ки тайфи шиобарори аз серияҳои танги дарозии мавҷҳои муайян мувофиқ буда, иборат мебошад. Тайфи бисёр атомҳо гайр аз атоми гидроген ниҳоят мураккаб мебошанд ва таҳлили онҳо саҳеҳи ва бо диққати ро талаб мекунад. Бинобар мо дар ин ҷо аввал тайфи атоми гидроген ва қонуниятҳои пайдоиши онро дида мебароем.

Сабаб дар он аст, ки тайфҳои гидроген бисёр содда мебошанд. Дар ҷойгиршавии хатҳои тайфи онҳо қонуниятҳои онҳо бо саҳеҳии хеле зиёд иҷро шуда мушоҳида карда мешаванд. Масалан агар гази гидрогенро омӯхта расми онро дар фотолавлҳа гирем дар фотолавлҳа дар соҳаи дидашавандаи тайф хатҳои H_α , H_β , H_γ , H_δ ва ҳоказоҳо мушоҳида мешаванд.

Дар соли 1885 олими швейтсари Бальмер ин тайфҳоро омӯхта дарозии мавҷи онҳоро бо формулаи эмперикии муайян кард.

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (5.5.1)$$

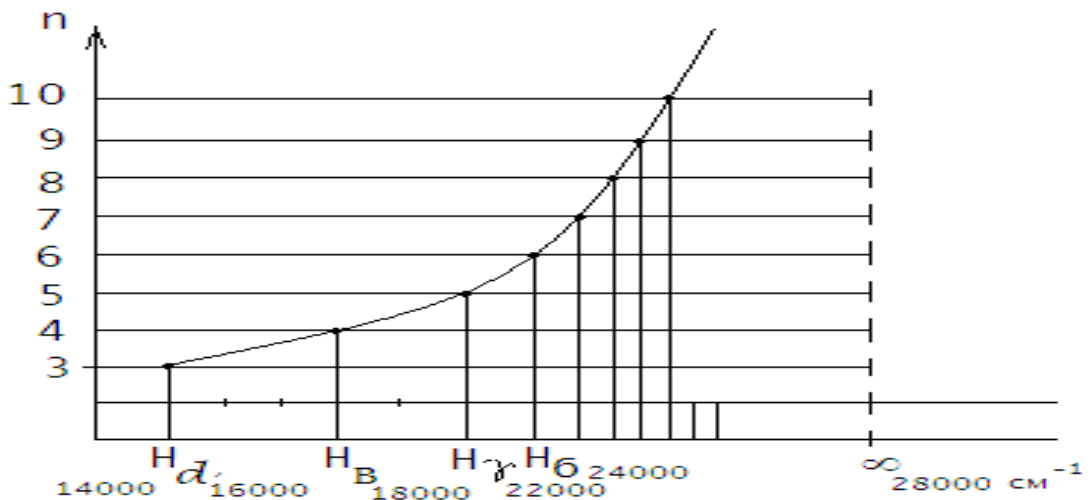
Дар ин ҷо B – бузургии доими аз таҷриба муайян карда мешавад, ба $3645,6A^0$ баробар аст. $n = 3, 4, 5, \dots$ мебошад, яъне қимматҳои пай дар пай ададҳои бутунро қабул мекунад. Формулаи Бальмерро вобаста аз ададҳои мавҷи бо намуди соддатар чунин навишта мешавад.

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{B} \frac{n^2 - 4}{n^2} = \frac{4}{B} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (5.5.2)$$

$$\bar{\nu}_1 = \frac{4}{B} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) = \frac{4}{B} \left(\frac{5}{36} \right); \quad \bar{\nu}_2 = \frac{4}{B} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right) = \frac{4}{B} \left(\frac{3}{16} \right);$$

$$\bar{\nu}_3 = \frac{4}{B} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25} \right) = \frac{4}{B} \left(\frac{21}{100} \right);$$

Дар ин ҷо $\bar{\nu}$ – адади мавҷи-адади мавҷҳои дар як см. ҷойгир шуда мебошанд. Аз ин формулаҳо дида мешавад, ки бо афзудани n хатҳо ба ҳамдигар то рафт зичтар ҷойгир шудан мегиранд ва ин ҷойгиршави дар охир ба ҳудуди $\bar{\nu}_\infty = 27419,4 \text{ см}^{-1}$ майл мекунад. Ин ҳодисаро дар расми 5.5.1 дидан мумкин аст. Дар ин расм дар қисми поёни тире абсциса, дар миқёси ададҳои мавҷи ҷойгиршави хатҳои гидроген ва дар қисми болои тире ордината аз ададҳои бутун n вобастагии графикаи доштани $\bar{\nu}$ тасвир карда шудаанд. Чи хеле, ки аз ин расм дида мешавад, хатти каҷи равони ҳосилшуда бо зиёд шавиши n ва $\bar{\nu}$ дар қиммати B ба хатти рост наздик мешавад.



Расми 5.5.1

Ин мефаҳмонад, ки дар вақти n -бисёр калон шудан хатҳои тайфро аз якдигарашон ҷудо кардан бисёр душвор мешавад. Дар ҷадвали зерин дарозии мавҷҳои тайфи хатҳои дар тайфнигар мушоҳида шуда ва бо формулаи (5.5.2) ҳисоб карда шуда оварда шуда аст. Чи хеле, ки аз ҷадвали 5.5.1 дида мешавад натиҷаи бо формулаи Бальмер ҳисоб карда шуда бо натиҷаҳои дар таҷриба муайян карда шуда бо ҳамдигар мувофиқ меоянд. Яъне ин дурустии формулаи Бальмерро нишон медиҳад.

Ҷадвали

5.5.1

h	Ишораи хатҳо	Ҳисоб бо фор. (5.5.2)	Мушоҳида карда шудааст
1	H_α	6562,8	6562,81

2	$H\beta$	4861,31	4861,33
3	$H\gamma$	4340,51	4340,47
4	$H\delta$	4101,78	4101,74
5	H	3970,11	3970,07
6	H	3889,09	3889,06

Дартар Ридберг доими $\frac{4}{B}$ – ро бо R_H – ишора карда барои атоми гидроген бузургии зеринро ҳосил кард. $R_H = 109677,76$. R_H – доими Ридберг номида мешавад. Дар асоси ин формулаи (5.5.2)-ро ба намуди зерин менависем.

$$\bar{\nu} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (5.5.3)$$

Ин формулаи Бельмер барои атоми гидроген лебошад. Баъд Ридберг дар асоси формулаи (5.5.3) нишон дод, ки чунин формуларо нафақат барои атоми гидроген балки барои дигар элементҳо низ истифода бурдан мумкин аст.

5.6. СЕРИЯИ ЛАЙМАН, ПАШЕН, БРЭККЭТА ВА ПФУНД. ФОРМУЛАИ УМУМИКАРДАШУДАИ БАЛЬМЕР.

Барои атоми гидроген (барои дигар соҳаҳои тайфҳо) як қатор серияҳои дигарро ёфтанд, ки онҳо бо формулаи зерин ёфта машаванд. Дар соҳаи ултрабунафш Лайман серияи зеринро муайян кард:

$$\bar{\nu} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad n = 2, 3, 4 \dots \quad (5.6.1)$$

Дар соҳаи инфрасурх се серия муайян шуд.

$$\text{Серияи Пашен} \quad \bar{\nu} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad n = 4, 5, 6 \dots \quad (5.6.2)$$

$$\text{Серияи Брэкет} \quad \bar{\nu} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad n = 5, 6, 7 \dots \quad (5.6.3)$$

$$\text{Сеияи Пфнд} \quad \bar{\nu} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad n = 6, 7, 8 \dots \quad (5.6.4)$$

ҳамаи ин серияҳои муайяни гидрогенро ба таври умуми ин тавр менависем:

$$\bar{\nu} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (5.6.5)$$

Дар асоси ин формула:

Серияи Лейман: $m = 1; \quad n = 2, 3, \dots$

Бальмер: $m = 2; \quad n = 3, 4, \dots$

Пашен: $m = 3; \quad n = 4, 5, \dots$

Брэкет: $m = 4; \quad n = 5, 6, \dots$

Пфунд: $m = 5; \quad n = 6, 7, \dots$

Формулаи (5.6.6) формулаи умумикардашудаи Бальмер номида мешавад.

5.7. ОМУҶИШИ АТОМИ ГИДРОГЕН ДАР АСОСИ НАЗАРИЯИ БОР. ПОСТУЛАТҲОИ БОР

Соли 1913 Бор атомҳои гидрогенро ба таври назариявӣ, дар асоси модели атоми Резерфорд, омӯхта дурустии формулаи Бальмерро нишон дод. Ин назария гарчанде дар оянда васеъ ва тағйир дода шуда бошад, ҳам

барои тараққиёти физикаи атоми роли муҳиме бозид. Аз ҳамин сабаб мо ўро пурра дида мебароем. Аз нуқтаи назари модели ҳастаи атоми гидроген аз ҳастаи зарядаш ба $+e$ иборат буда, дар гирди он электрони зарядаш $-e$ чарх мезанад. Акнун фарз кунем, ки таъсири байни ҳамдигари электрону ҳаста бо қонунҳои Кулон ва ҳаракати онҳо бо қонунҳои Нютон тавсифонида мешавад. Он гоҳ қувваи ба ҳам таъсиркунии байни ҳаста ва электронро ба таври зерин навиштан мумкин аст.

$$f = -\frac{Ze^2}{r^2} \quad (5.7.1)$$

r – масофаи байни ҳастаю электронро мефаҳмонад. Дар зери таъсири ин қувва электрон дар гирди ҳаста бо мадори намудаи аз эллипси Кеплери (аз он чумла доира) иборат будаг ҳаракат мекунад. Аввал мадори доиравиरो дида мебароем.

Энергияи потенциалии электрон дар майдони Кулонии ҳаста бо:

$$E_p = -\frac{e^2}{r^2} \quad (5.7.2)$$

баробар аст, энергияи кинетики он ба

$$E_n = \frac{mv^2}{2} \quad (5.7.3)$$

баробар мебошад.

Энергияи пурраи атом мувофиқи мханикаи Нютон аз суммаи энергияҳои кинетикию потенциалии иборат аст. Бинобар он вайро ба намуди зерин менависем.

$$E_{\text{пур}} = w_p + w_k \quad \text{ё ин ки} \quad E_{\text{пур}} = -\frac{e^2}{r} + \frac{mv^2}{2} \quad (5.7.4)$$

Аз қонуни дуйӯми Нютон

$$F = ma = -\frac{mv^2}{r} \quad (5.7.5)$$

Дар ин ҷо m – массаи электрон, a – шитоб ва v – сурати ҳаракати электрон. Аломати минус нишон медиҳад, ки шитоб ба марказ равона шуда аст. Шитоби марказшитоби $\frac{v^2}{r^2} = a$ – ро дар мадор ба электрон қувваи кулонӣ медиҳад. Бинобар ин аз (5.7.1) ва (5)

$$\frac{e^2}{r} = \frac{mv^2}{r} \quad (5.7.6).$$

Аз ин ҷо

$$mv^2 = \frac{e^2}{r} \quad (5.7.7)$$

Аз ин вобастаги истифода бурда энергияи пурраро ба намуди зерин менависем:

$$E_{\text{пура}} = -\frac{e^2}{r} + \frac{e^2}{2r} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{r} \quad (5.7.8)$$

$$E_{\text{пура}} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{r}.$$

Чи хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад дар вақти $r = \infty$ будан $E = 0$ мешавад. Бинобар он фақат атоми электронаи кандабаровардашуда сатҳи энергетикӣ энергияи сифри дорад. Аломати минус нишон медиҳад, ки дар вақти электрон ба ҳаста наздик шудан энергияи атом кам мешавад.

Дар асоси электродинамикаи классики атом бояд аз ҳудаи басомади бифосила ба квадрати шитоб мутаносиб буда барорад. Агар ин ҳолат ҷой

медошт, он гоҳ энергияи пурраи атом бояд, ки бифосила тағйир меёфт ва аз худ тайфи бифосила мебаровард. Дар ҳақиқат ин тавр нест.

Барои маънидодкунии аз хатҳои тайфи алоҳида иборат будани тайфи атоми водород Бор постулатҳои зеринро пешниҳод кард.

1. Атом ва системаи атомҳо метавонад мӯддати дароз дар ҳолати муқимӣ мавҷуд бошанд ва новобаста ба ҳаракати электронҳо дар атрафҳои ҳаста аз худ на шио бароранд ва на шиоро фуру баранд. Дар ин ҳолатҳои муқимӣ онҳо дорои энергияҳои $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, \dots, E_n$ мебошанд.
2. Аз ҳама мадорҳои электронӣ онҳое вучуд дошта метавонанд, ки фосилаи миқдори ҳаракат ба ададҳои қаратноки $\frac{h}{2\pi}$ – ҳо баробар бошанд, яъне бояд, ки

$$mvr = n\hbar \quad (5.7.9)$$

бошад $h = \frac{h}{2\pi}$.

Дар ин ҷо n – ададҳои бутун. Мадорҳои ба ин шарт итоат мекардагиро мадорҳои муқими меноманд.

3. Постулати сейӯми Бор тасдиқ мекунад, ки дар вақти аз як ҳолати муқимӣ ба ҳолати дигари муқимӣ гузаштан атом аз худ басомади муайяно мебарорад ё ки фуру мебарад.

Шиобарориши атом дар вақти аз як ҳолати муқимӣ ба ҳолати муқимиши дигар гузаштан бо формулаи зерин мӯян карда мешавад.

$$h\nu = E_m - E_n \quad (5.7.10)$$

E_n – энергияи охираи атом, E_m – энргяи аввал аз атом. Агар $E_m > E_n$ – бошад энергия фуру бурда мешавад, агар $E_m < E_n$ – бошад атом аз худ энергияро мебарорад. Аз ин ҷо маълум мешавад, ки атом аз худ дар вақти электрон ба мадори муқими энергияаш хурд гузаштан шио мебарорад. Аз формулаҳои (5.7.7) ва (5.7.9) суръат v – ро хориҷ карда радиуси ин мадорҳои муқимиро муайян мекунем.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Аз (5.7.7)} \quad \vartheta^2 = \frac{e^2}{mr} \\ \text{Аз (5.7.9)} \quad m^2 v^2 r^2 = n^2 \hbar^2 \end{array} \right\} \frac{e^2}{mr} = \frac{n^2 \hbar^2}{4\pi^2 m^2 r^2};$$

$$r = \frac{n^2 \hbar^2}{4\pi^2 e^2 m} \quad (5.7.11)$$

Барои радиуси хурдтарини $n = 1$ мебошад. Қимматҳои h, m, e – ро ба (5.7.11) гузошта бузургии орбитали хурдтаринро меёбем.

$$r_0 = \frac{(6,62 \cdot 10^{-27})^2}{4 \cdot (3,14)^2 \cdot (4,8 \cdot 10^{-10})^2 9,1 \cdot 10^{-28}} = 0,529 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 0,529 \text{ \AA}$$

$r_0 = 0,529 \text{ \AA}$; r_0 – радиуси якуми Бор номида мешавад
Дар асоси ин радиуси дигари мадорҳои имконпазирро ба намуди зерин ёфтан мумкин аст.

$$r_n = n^2 r_0 \quad (5.7.12)$$

Қиммати r – ро аз (5.7.11) ба (5.7.8) гузошта энергияи пурраи атомро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$E_{\text{пура}} = -\frac{e^2}{2r} = -\frac{e^2 4\pi^2 e^2 m}{2n^2 \hbar^2} = -\frac{2\pi^2 m e^4}{n^2 \hbar^2}; \quad E_{\text{пура}} = -\frac{2\pi^2 m e^4}{n^2 \hbar^2} \quad (5.7.13)$$

Дар асоси постулати 3-ми Бор басомади шиобарори электрон дар вақти аз мадори n_n ба мадори n_m – гузаштан бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$v = \frac{E_m - E_n}{h} \quad (5.7.14)$$

Дар асоси (5.7.13) муодилаи (5.7.14)-ро ба намуди зерин менависем.

$$v = \frac{1}{h} \left[\frac{2\pi^2 e^4 m}{n_n^2 h^2} - \left(\frac{2\pi^2 e^4 m}{n_m^2 h^2} \right) \right] = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3} \left(\frac{1}{n_m^2} - \frac{1}{n_n^2} \right)$$

$$v = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3} \left(\frac{1}{n_m^2} - \frac{1}{n_n^2} \right) \quad (5.7.15)$$

Ин аст исботи формулаи Бальмер дар асоси назарияи Бор. Формулаи (5.7.15)-ро ба намуди дигар навиштан мумкин аст.

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{v}{c}; \quad \tilde{\nu} = \frac{2\pi^2 e^4 m}{ch^3} \left(\frac{1}{n_m^2} - \frac{1}{n_n^2} \right) \quad (5.7.16)$$

$$\frac{2\pi^2 e^4 m}{ch^3} = R \quad \tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{n_m^2} - \frac{1}{n_n^2} \right) \quad (5.7.17)$$

Агар қимматҳои π, e, m , ва h – ро ба формула гузорем барои R қиммати тақрибан ба доими Ридберг баробар (109740 см^{-1}) – ро меёбем. Ба ҳамин тариқ мо дар назария формулаи Бальмерро ёфта боз як бори дигар дурустии онро исбот кардем.

5.8. ТЕРМАҲОИ ТАЙФИ ПРИНСИПИ ДИГАРГУНСОЗӢ.

Дар натиҷаи муқоиса кардани серияҳои Лайман, Бальмер, Брэккет, Пашен ва Пфунд дидан мумкин аст, ки аъзои доимии як серия аъзои тағйирёбандаи серияи дигар мебошад. Мисол, аъзои доимии серияи Пашен-аъзои якуми тағйирёбандаи серияи Бальмер ва аъзои дуйӯми тағйирёбандаи серияи Лейман мебошад: ё ин ки аъзои доимии серияи Бальмер яке аз аъзоҳои тағйирёбандаи серияи Лайман мебошад ва гайра. Ин ҳолатро дар формулаи $\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{n_m^2} - \frac{1}{n_n^2} \right)$, ки дар асоси он ададҳои мавҷии ҳаргуна серияҳои тайфро чун фарқи ду аъзои намуди R/m^2 барои ду қиммати бутуни m тасвир кардан мумкин аст. Принципи дигаргунсози ба ҳамин маънидодкуни асос карда шудааст.

$$\tilde{\nu} = \frac{R}{m^2} - \frac{R}{n^2} \quad (5.8.1)$$

Ишора мекунем

$$T(m) = \frac{R}{m^2}; \quad T(n) = \frac{R}{n^2} \quad (5.8.2)$$

Он гоҳ (5.8.1) намуди зеринро мегирад.

$$\tilde{\nu} = T(m) - T(n) \quad (5.8.3)$$

ададҳои $T(m)$ ва $T(n)$ – термҳои тайфи ё ин ки термҳо номида мешавад. Барои атоми гидроген ҳамаи системаи термҳо бо як формулаи умумии муайян карда мешавад.

$$T(n) = \frac{R}{n^2} \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (5.8.4)$$

Аз ин, чо маълум мешавад, ки системаи термҳои тайфи атоми додашударо доништа ададҳои мавҷии ҳаргуна хатҳои тайфро чун фарқи ду аъзои ин система муайян кардан мумкин аст.

Принципи дигаргунсозиро ба тарзи зерин ифода мекунем. Агар ададҳои мавҷии ду хатти тайфи як серия маълум бошад, он гоҳ ба фарқи онҳо яке аз ададҳои мавҷии хатти тайфи серияи дигари ҳамон атомро ёфтан мумкин аст. Мисол, фарз мекунем, ки ададҳои мавҷии ду хатти тайфи серияи Лайман дода шуда бошад, яъне:

$$\tilde{\nu}_1 = T_1 - T_2; \quad \tilde{\nu}_2 = T_1 - T_3$$

Он гоҳ фарқи $\tilde{\nu}_1$ ва $\tilde{\nu}_2$:

$\tilde{\nu}_2 - \tilde{\nu}_1 = T_1 - T_3 - T_1 + T_2 = T_2 - T_3$ —ро медиҳад, ки вай хатти якӯми тайфи серияи Бальмер мебошад. Яке аз хусусиятҳои принципи дигаргунсозӣ дар ҳамин мебошад.

Принципи дигаргунсозӣ ба таври таҷрибавӣ муайян карда шуда буд, маънои чуқури ин принсип баъди пайдоиши постулатҳои Бор маълум шуд.

Якӯмин маротиба Бор ба таври пурра равшан нишон дод, ки принципи дигаргунсозӣ тасвири равшани ба худ хоси қонунҳои квантии ҳаракатҳои дохилии атомиро идора кунанда мебошад. Ҷ фарзияти Планк-рӯшноӣ энергияро бо порсияҳои $h\nu$ ё мебарорад ва ё фуру мебарад, пурра ва равшантар маънидод карда, дар принципи дигаргунсозӣ дастури зеринро дод:

Атомҳо метавнад фақат дар ҳолатҳои муайян, ки энергияшон қатори дискретиро ташкил медиҳанд мавҷуд бошанд. Аз ин, чо мебарояд, ки бо ҳар терми тайфи ҳолати энергетикӣ муқимии муайян дуруст меояд. Ин маънидодкунӣ ба постулатҳои Бор дуруст меояд.

Барои инро равшантар дидан постулати сейӯми Борро дар асоси принципи дигаргунсозӣ вобаста аз ададҳои мавҷи менависем.

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{c}{\nu}; \quad \tilde{\nu} = \frac{\nu}{c}; \quad \nu = \tilde{\nu}c \quad (5.8.5)$$

$$hc\tilde{\nu} = E_n - E_m \quad (5.8.6)$$

Аз ин чо
$$\tilde{\nu} = \frac{E_n}{hc} - \frac{E_m}{hc} \quad (5.8.7)$$

Дар ин, чо агар
$$T(n) = -\frac{E_n}{hc} \quad (5.8.8)$$

Формулаи принципи дигаргунсозиро медиҳад.

$$\tilde{\nu} = T(m) - T(n)$$

Аломати минус дар (5.8.8) нишон медиҳад, ки энергияи электрони дар атрофии ҳаста дар зерин таъсири майдони кулони давр мезадагӣ манфи мебошад.

Дар ин асос (5.8.8) энергияи атомҳоро бо воситаи доими Ридберг ба таври зерин менависем.

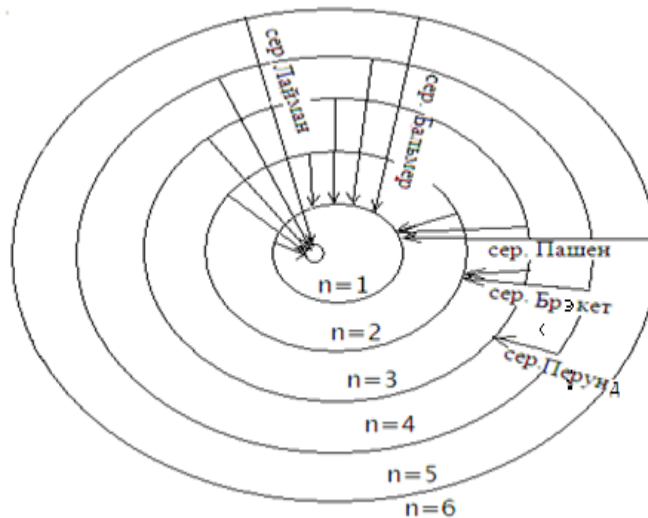
$$T(n) = \frac{R}{n^2} = -\frac{E_n}{hc}$$

$$E_n = -\frac{Rhc}{n^2} \quad (5.8.9)$$

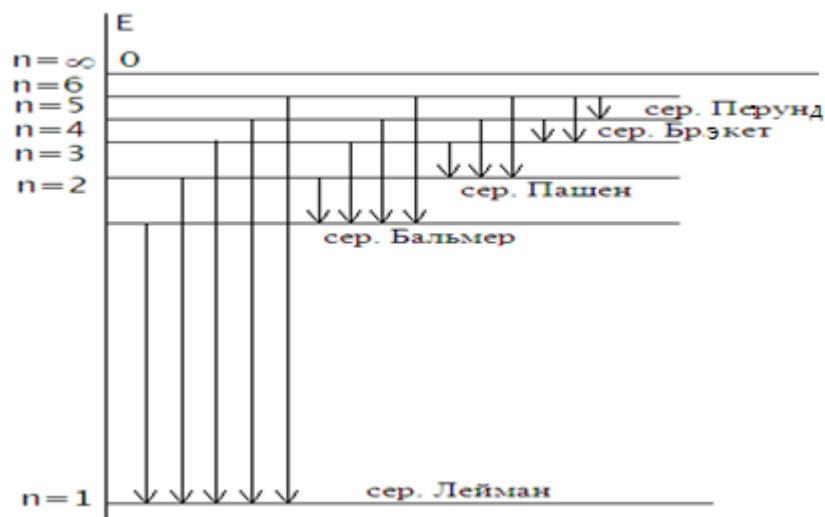
Аз ин чо маълум мешавад, ки энергияи электрон дар атом қимматҳои ихтиёриро нагирифта балки вай метавонад танҳо қимматҳои муайяно дошта бошад. Дар асоси (5.8.8) доимиҳои R, c ва h —ро доништа энергияи атомро муайян кардан мумкин аст.

5.9. РЕЧАИ САТҲҲОИ ЭНЕРГИИ АТОМИ ГИДРОГЕН.

Дар асоси модели одди атоми гидроген, ҳаста дар маркази атом ҷойгир шудааст. Электрон бошад дар атрофи ҳаста ба яке аз мадорҳои доирави бо формулаи $r_n = r_0 n^2$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) тавсифонида мешудагӣ ҳаракат мекунад (расми 5.9.1). То ҳолате, ки электрон ба мадори худ ҳаракат мекунад, энергия бароварда намешавад, вақте, ки электрон аз мадори берунӣ ба дигар мадор мегузарад энергия ба намуди рӯшноӣ хориҷ мешавад. Энергияи электронро дар ин мадорҳои имконпазир бо формулаи $E = -\frac{2\pi^2 e^4 m}{n^2 h^2}$ ё ки $E = -\frac{hcR}{n^2}$ -барои қиматҳои гуногуни n ҳисоб карда речаи сатҳҳои энергетикӣ ба ин мадорҳо дуруст меодагиро месозем (расми 5.9.2).



Расми 5.9.1



Расми 5.9.2

Қиммати якуми энергия E_1 ба $n = 1$ дуруст меояд. Ин энергия бо қиммати мутлақӣ аз дигар энергияҳо калон буда бо сатҳи аз ҳама пасти тарин дуруст меояд. Сатҳи энергияе, ки дар он $n = 1$ аст ва электрон

дорои қиммати E_1 мебошад, ҳолати асосии энергетика номида мешавад. Дигар сатҳҳои энергетика дар ҳолати ангезиш мебошад.

Электрони дар сатҳҳои ангезиш буда муддати дароз шуда наметавонад. Вай тез ба яке аз сатҳҳои пасти гузафта аз худ энергияро ба намуди рӯшноӣ мебарорад. Ингуна гузариш то муддате давом мекунад, агар дар ҳолати асосӣ мавҷуд набошад. Ин гузаришҳо дар расми 5.9.2 нишон дода шудааст. Чи хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад серияҳои тайфи дар натиҷаи гузаришҳои электрон аз сатҳҳои энергетика боло ба яке аз ҳолатҳои энергетика поёни гузафта ҳосил мешавад. Масалан серияи Бальмер дар натиҷаи гузаришҳо ба сатҳи энергетика $n = 2$ аз дигар сатҳҳои гузафтани электрон ҳосил мешавад, серияҳои Лайман бошад дар натиҷаи ба сатҳи асосии энергетика гузафтани электрон аз ҳамаи дигар сатҳҳои энергетика ҳосил мешавад, ва ҳамаи онҳо. Электрон фақат дар ҳолати асосӣ муддати дароз мавҷуд мебошад. Вай дар ин ҳолат то муддате, ки аз берун энергия қабул накунад ба дигар сатҳҳои энергетика намегузарад.

5.10. ТАҶРИБАИ ФРАНК ВА ГЕРЦ

Франк ва герц дурустии постулатҳои Борро бевосита дар таҷриба санҷидаанд. Мақсади онҳо муайян кардани энергия дар ҳолатҳои муқимӣ гуногун ва бо порсияҳои муайян энергияро фуру бурдан ва баровардани атомро нишон додан мебошад.

Назарияи таҷриба чунин аст. Атомҳо ва молекулаҳои газҳои тунук бо электронҳои сурати на онқадар калон дошта бомбарон карда мешавад. Дар ин ҳолат агар электронҳо бо атомҳои газ ба таври чандирӣ зарба хӯранд бузургии сурати онҳо тағйир наёфта фақат равиши онҳо тағйир меёбад, ва агар таъсир гайри чандирӣ ба амал ояд, он гоҳ электронҳо як қисми энергияи худро ба атомҳои газ медиҳанд. Дар натиҷа тақсимоти сураташон тағйир меёбад.

Сарфи энергияи электронҳоро ҳисоб карда, энергияи қабул кардаи атомро муайян кардан мумкин аст.

Шарти иҷрошавии бархурии чандирӣ ва гайри чандирӣ чунин аст.

1. Дар вақти v – электронҳо аз ягон сурати $v_{\text{бухр}}$ – бухронӣ хурд будан таъсир ба таври чандирӣ ба амал меояд, дар ин ҷо электрон энергияро ба атом на дода равишаи дигар карда мегузарад, $v < v_{\text{бухр}}$.
2. Агар $v = v_{\text{бухр}}$ шавад, он гоҳ атом порсияи муайяни энергияро аз электрон қабул карда аз як ҳолат ба ҳолати дигар мегузарад. Дар ин ҷо бархури ба таври гайри чандирӣ иҷро мешавад.

Пеш аз он ки ба таври саҳеҳ таҷрибаро омӯхта шартҳои зеринро дида мебароем. Ин шартҳо чунинанд:

1. Манбаи электронҳо бояд, электронҳои на онқадар сурати калон доштаи бисёрро диҳад ва ин электронҳо бо v тақсимоти аввалии муайян дошта бошанд.
2. Ин электронҳоро бо потенциали муайяни ихтиёри аз дигар манбаи шитобонидан мумкин бошад.
3. Электронҳои шитобонида бо атомҳо ва молекулаҳои гази омӯхташаванда бояд бо ҳамдигар дар ҷои муайяни асбоб бар хӯрад.

Барои ҳосил кардани сели электронҳои сурати аввалаи муайян дошта катоди гармкардашударо истифода мекунем, ки электронҳои аз он баромада бо потенциали V –ишобонида шударо аз формулаи зерин муайян кардан мумкин аст:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{eV}{300}, \quad v^2 = 2 \frac{e}{m} \frac{V}{300} \quad (5.10.1)$$

Аз ин ҷо азгар

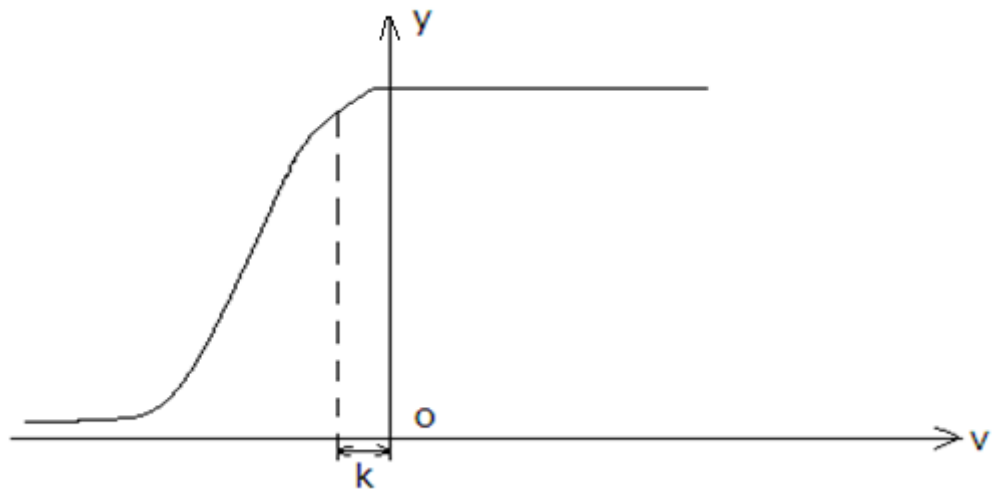
$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^7 \text{ CGSM} \cdot 2^{-1} = 5,27 \cdot 10^{17} \text{ CGSE} \cdot 2^{-1} \quad (5.10.2)$$

бошад, он гоҳ

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} \frac{V}{300}} = 5,93 \cdot 10^7 \sqrt{V} \text{ CM/COH}, \quad (5.10.3)$$

мешавад.

Агар вобастагии ҷараёно аз потенциали ишобонида шаванда санҷем вобастагии вольт-ампери зерин (расми 5.10.1) ҳосил мешавад, ки чунин хислатҳои вай диққат ҷалбкунанда дорад.



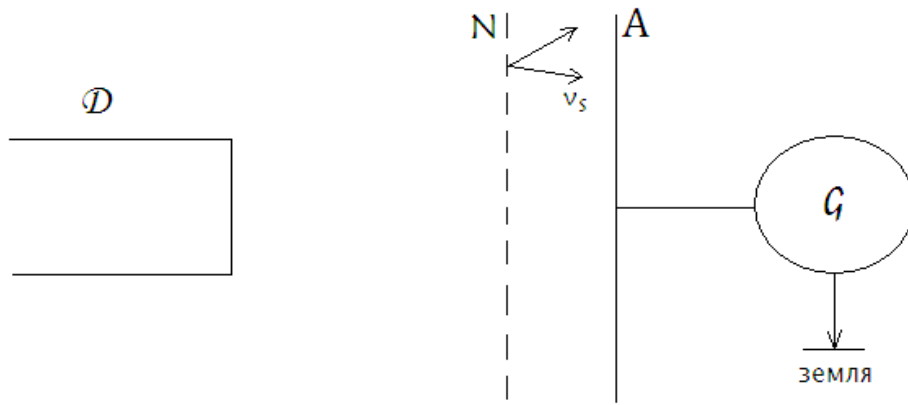
Расми 5.10.1

1. Дар вақти потенциал ягон қиммати муайяно гирифтаи қувваи ҷараёни аз шиддат новобаста шуда меконад, ҷараёни серишуда ҳосил мешавад. Ин нишон медиҳад, ки ҳамаи электронҳои аз катод баромада ба анод омада расиданд. Аз ҳамин сабаб оянда зиёд кардани шиддат сабаби зиёдшавиши ҷараён намешавад.
2. Дар вақти потенциали ишобдиҳанда баробари сифр шудан то ягон миқдори муайяни потенциали сусткунандаи K ҷараён доими меконад ва дар вақти потенциали сустшавандаро дар оянда зиёд кардан ҷараён ба сифр майл мекунанд.

Ин ҳодисаро чунин фаҳмонида мешавад. Катод ва Анод аз элементҳои гуногун сохта шудаанд. Бинобарон дар вақти мавҷуд набудани потенциали ишобкунанда ҷараён баробари сифр намешавад, чунки дар байни анод ва катод фарқи потенциалҳои васли мавҷуд аст.

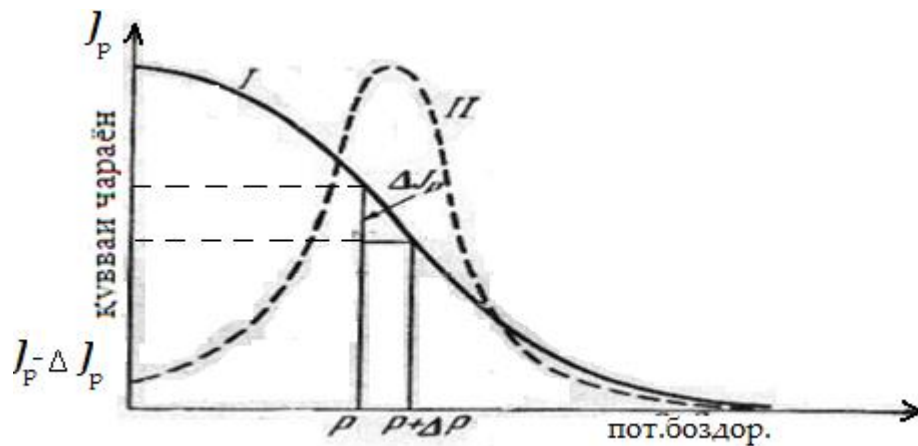
Барои таҷрибаро маънидод кардан мо бояд бархурро, дар байни электрону атоми газҳо, ба таври чандири ё гайри чандири ба амал омада мушоҳида кунем. Барои инро доништан тақсими сурати электронҳоро баъди бархурӣ вобаста аз потенциали муайян сусткунанда дидан лозим аст. Бинобар он дар ин ҷо аввал тақсимишавиши сурати электронҳоро баъди

бархури байни ҳамдигарии электронҳо бо атоми газҳои омӯхташаванда меомӯзем.



Расми 5.10.2

Фарз кунем, ки ба катоди гарм кардашудаи D потенциали шитобдиҳандаи V гузошта шуда аст (расми 5.10.2). Электронҳои шитоббониди ба тарафи лавҳаи A , ки дар пеши он тӯри N гузошта шуда аст равона карда мешаванд. Тӯри N бо потенциали $+V_1$ заряднок карда шуда аст. Аз ҳамин сабаб электронҳои ба тарафи лавҳаи A раван шуда дар байни N ва A ба потенциали сусткунанда дучор мешаванд. Он электронҳое, ки энергияи кинетикиашон барои бартараф кардани потенциали сусткунанда кифоягӣ мекунад ба A омада мерасанд ва дар натиҷа гальванометр ҷараёнро нишон медиҳад. Агар потенциали сусткунандаро бо P ишора кунем, потенциали сусткунанда на бо сурати пурра V балки бо ташкилкунандаи нормалии eV_s – тавсифонида мешавад, он гоҳ шарт ба A омада расидани электронҳо бо формулаи зерин муайян карда мешавад. $\frac{1}{2}mv_s^2 \geq \frac{1}{300}eV$. Оҳиста-оҳиста P –ро зиёд карда ва ҷараёнро дар гальванометр чен карда, ҷараёнро аз шиддати сусткунанда ёфтан мумкин аст. Ин вобастагӣ дар расми 5.10.3 нишон дода шуда аст. Аз ин вобастагии вольт-ампери истифода бурда тақсими электронҳоро аз рӯи сурат нишон медиҳем. Мисол тақсими электронҳо дар порчаи P ва $P + \Delta P$ чунин муайян карда мешавад. Агар потенциали сусткунанда P бошад он гоҳ ҷараён J_P ба электронҳои энергияшон



Расми 5.10.3 Тавсифи вольтампери бо усули потенциали боздоранда гирифта шудааст.

баробарӣ P дошта ё аз P калон мутаносиб аст ва агар потенциали сустикунанда $p + \Delta P$ бошад чараён $J_p - \Delta J_p$ ба электронҳои энергияшон $p + \Delta P$ соҳиб буда мутаносиб аст. Аз ин ҷо бузургии $\frac{\Delta J_p}{J_p}$, Δp ин ченаки электронҳои дар ҳудуди энергияи P ва $p + \Delta P$ дуруст меодадагӣ мешавад. Акнун агар миқдори электронҳои энергияшон дар байни ҳудуди P ва $p + \Delta P$ дуруст меодадагиро бо $f(p)dp$ ишора кунем ($f(p)$ – функцияи бо энергия тақсимшавии электронҳо), он гоҳ

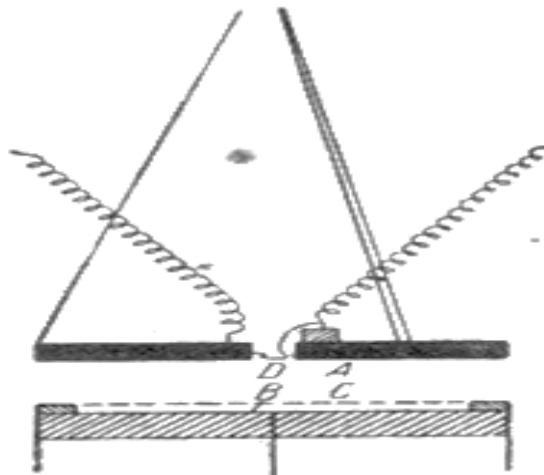
$$f(p) = \frac{dJ}{dp}$$

мешавад.

Чи хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад dJ ва dp – ро доништа функцияи тақсимоти электронҳоро ёфтан мумкин аст. Барои ёфтани ин бузургиҳо вобастаги вольт-амперии I -ро ба таври графика дифференсиронидан лозим аст (хатти пунктирии II) ҳамин тавр тақсимоти электронҳоро дар тамоми қитъа ёфтан мумкин аст.

5.11. БАРХУРИИ ЧАНДИРӢ

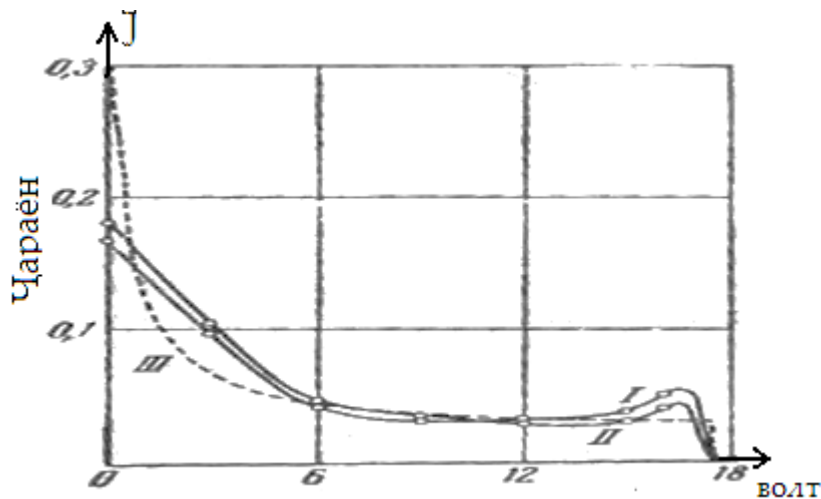
Франкӣ ва Герц пеш аз ҳама нишон доданд, ки агар энергияи электрон аз ягон энергияи бухронӣ хурд бошад таъсири байни ҳамдигарии электронҳо ва атомҳо ба таври чандирӣ мегузарад, яъне электронҳо баъди бархурӣ фақат равишашонро тағйир медиҳад, энергияшон тағйир намеёбад. Барои исботи ин хулоса онҳо якчанд таҷрибаҳоро гузаронидан, ки яке аз онҳоро мебинем.



Расми 5.11.1

Дастгоҳ барои гузаронидани таҷриба иборат аст: курси металлӣ A , ки дар мобайни он сими тафсоии D гузошта шудааст, мобайни курси A сӯроҳ дорад ва аз курси дуйӯми B , ки дар он тӯри C гузаронида шудааст, расми 5.11.1. Курси 1-м ба риштае овехта шудааст, ки бо воситаи он фишори байни A ва B –ро тағйир додан мумкин аст. Дар курси 2-м дар фазои байни курси B ва тӯри C потенциали сустикунанда ба вуҷуд овардан мумкин аст, ки бо воситаи он тақсимоти электронҳо чен карда мешавад. Барои иҷрои таҷриба фишори байни A ва B чунин интихоб мекунем, ки бархури ба таври

чандири ба амал ояд. Дар байни ин курсҳо гази гелиро то фишори 1,3 мм, сутуни симоби пур карда ва электронҳоро то потенциали 18 волт иштобонида бархурии электронҳоро бо атомҳои гелий мушоҳида карданд (расми 5.11.2). Хатти қачи 1-м дар масофаи курсҳо 4мм ва хатти қачи 2-м дар масофаи 18мм будан ҳосил карда шудааст. Чи хеле, ки аз расм дида мешавад гарчанде хатҳои қачи ҳосилшуда барои масофаҳои гуногун дуруст ояд ҳам, лекин онҳо якхела ҷойгир шудаанд. Ин нишон медиҳад, ки гарчанде дар ҳолати 2-м масофаи курсҳо $AB=18\text{мм}$ бархурии электронҳо бисёр бошад ҳам бархури ба таври чандири ба амал меояд.

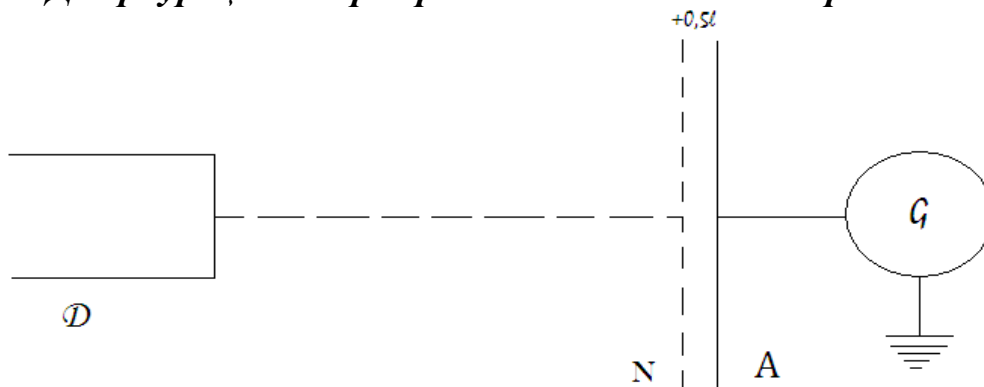


Расми 5.11.2

Хатти нуқтадори III ба таври назариявӣ ҳисоб карда шудааст. Ин бори дигар ба таври чандири ба амал омадани бархуриро нишон медиҳад. Барои ҳисоб кардани ин хат равиши электронҳои аз тӯр баромада бо атомҳои гелий бархурд мекардагиро дар ҳудуди нимосфера ҳархела ҳисобиданд.

5.12. БАРХУРИИ ҒАЙРИ ЧАНДИРӢ. ПОТЕНСИАЛИ БӢХРОНӢ.

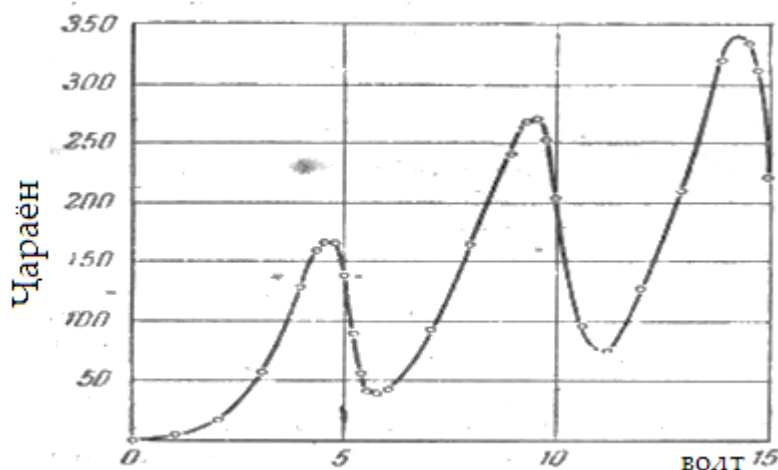
Барои исботи мавҷудияти бархури гайричандири аз дастгоҳи зерин истифода мебарем (расми 5.12.1). Электронҳо бо потенциали манфии ба катод гузошташуда иштобонида мешавад ва онҳо ба атомҳои газ дар байни катод D бархуриҳои бисёр карда ба аноди A омада мерасанд.



Расми 5.12.1

Чараёни ҳосилшударо гальванометр чен мекунад. Тӯри N ба потенциали бисёр хурд (+0, 5в) заряднок карда шудааст. Вазифаи он нигоҳ доштани электронҳои дар фазои байни D, N энергияшонро сарф карда, мебошад. Таҷриба дар буғи симоб дар фишори 1 мм сут симоби гузаронида мешавад. Вобастагии чараёнро дар гальванометр аз потенциали иштовкунанда чен карда бархуриҳои гайричандирии электронҳоро бо атомҳои симоб нишон медиҳад. Барои ин чунин ҳолатро дида мебароем:

Дар ҳолати аввал дар вақти потенциали тезкунандаро зиёд кардан чараён ҳам то як миқдори муайян зиёд шуда баъд возеҳан кам мешавад (расми 5.12.2).



Расми 5.12.2

Ин дар вақти потенциали иштовбдиҳанда ба 4,1 вольт баробар будан ба амал меояд. Дар оянда зиёд кардани потенциал то 9 в, боз максимуми дигар ҳосил мешавад. Ҳамин тавр максимумҳои гуногун дар потенциалҳои 4,1; 9; 13,9 вольт ҳосил мешавад, ки фарқи онҳо ба 4,9 баробар аст. Ин сабаби мавҷуд будани потенциалҳои васли мебошад.

Ҳосилшавии максимум ва минимумҳоро чунин шарҳ додан мумкин аст: Дар ҳолати аввал бо зиёд шудани потенциал то 4,9 в электронҳо ба атомҳои газ бархуриҳои чандири мегузаронанд ва чараён дар гальванометр зиёд мешавад. Вақте, ки шидати иштовкунанда ба 4,9 в расид электронҳо як миқдор энергияшонро ба атомҳои газ медиҳанд бархури дар ин ҳолат гайри чандирий мегузаранд. Ин электронҳо ба аноди A расида наметавонанд. Онҳоро тӯри N ба худ нигоҳ медорад аз ҳамин сабаб чараён якбора кам мешавад.

Агар энергияи электронҳо ба қадри имкон аз 4,9 в калон бошад он гоҳ онҳо гарчанде як қисми энергияшонро сарф кунанд ҳам потенциали сусткунандаи тӯри N-ро бартараф карда ба аноди A омада мерасанд. Дар ин ҳолат ҳаминро хотиррасон кардан мумкин аст, ки энергияи электронҳои як маротиба бархурди гайричандирий карда ба кадом бузургии, ки баробар набошад ба аноди A бо энергияи якхела омада мерасанд. Барои инро равшантар нишон додан фарз мекунем, ки потенциали катод баробари сифр, потенциали анод A ба $+V_p$ баробар ва потенциали бӯҳрони V_A аз тӯри N гирифта шуда бошад. Акнун фарз кунем, ки электрон бо нуқтаи потенциали V_x расидан бархурии гайричандири иҷро мекунад. Дар ин ҳолат вай то ба ҷои потенциалаш V_x расидан дорои энергияи eV_A мешавад, ва дар бархурии

гайричандири энергияи eV_A –ро гум мекунад. Аз ҳамин сабаб баъди бархури электрон дорои энергияи $e(V_p - V_A)$ мешавад. Фарқи потенциал дар роҳи боқимонда аз нуқтаи потенциали V_x то аноди A ба $V_p - V_x$ баробар мебошад. Бинобар он электрон дар ин роҳ боз ба энергияи $e(V_p - V_x)$ соҳиб мешавад ва дар охир ба аноди A бо энергияи зерин омада мерасад:

$$e(v_x - v_A) + e(V_p - V_x) = e(V_p - V_A)$$

Чи хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад энергия аз ҷои бархури гайричандири якҷум вобаста намебошад. Бинобар он агар потенциали шитобкунанда V_p ба қадри кофи калон бошад, яъне $V_p - V_A > 4,9$ в, электронҳо дар роҳи боқимонда метавонанд боз як ё ду бархури гайричандири иҷро кунанд. Аз ҳамин сабаб дар оянда зиёдкуши потенциал сабаби пайдоиши дигар максимумҳои аз якдигар бо энергияҳои 4,9эв фарқ мекардаги мешаванд.

Потенциали тезкунандаи 4,9эв потенциали бӯхронии якҷум ё ки потенциали резонанси номида мешаванд. Ҳамин тавр потенциалҳои бӯхрониро барои атомҳои дигар: калий, натрий ва гайраҳо муайян карданд, ки онҳо барои калий 1,63 в барои натрий, 2,12 в ва барои гелий ба 21 в баробар мебошад.

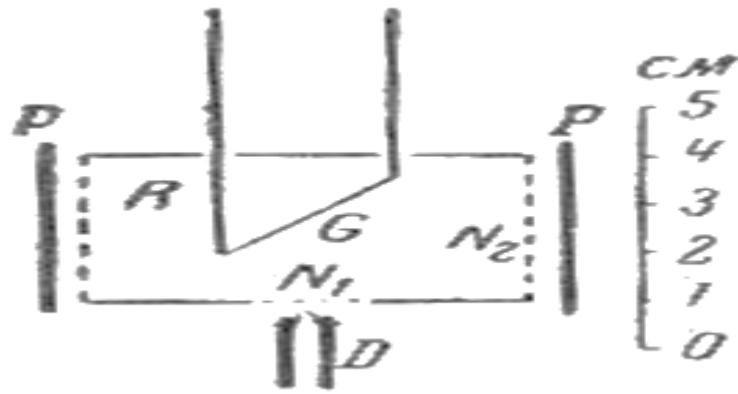
Аз ин ҷо хулоса мебарояд, ки атомҳо ба худ миқдори ихтиёрии энергияро фуру набурда балки ҳар як атомҳои хос порсияҳои муайяни энергияро ба худ қабул карда метавонанд. Ин аст исботи постулати Бор.

5.13. МУАЙЯН КАРДАНИ ПОТЕНЦИАЛҲОИ ИОНИЗАТСИОНИИ АТОМҲО

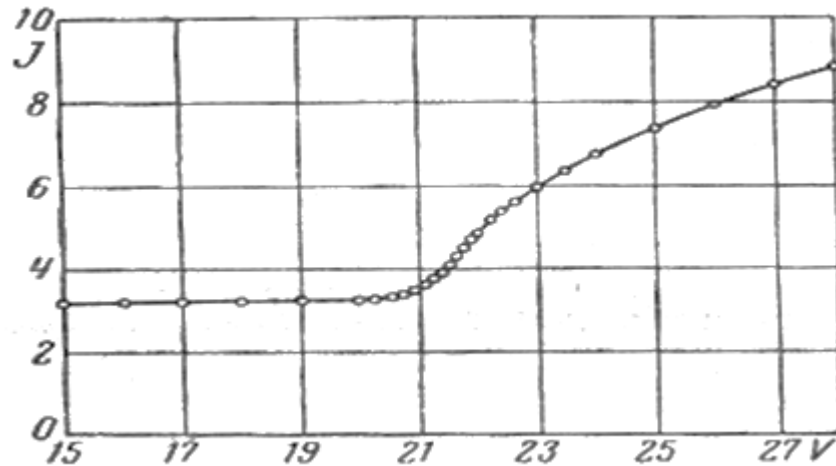
Дар усулҳои дидаамон мо фарқи энергияҳои мадорҳои муқими гуногунро муайян кардем. Мисол, мо нишон додем, ки фарқи энергияҳои мадорҳои муқими газӣ симоб ба 4,9 в баробар аст.

$$E_2 - E_1 = 4,9\text{эв.} \quad (5.13.1)$$

Аммо бо ин усулҳои дидаамон қиммати худи сатҳои энергетикӣ E_1, E_2, E_3, \dots –ро муайян карда наметавонем. Барои муайян кардани энергияи сатҳои энергетикӣ ва муайян кардани потенциали ионизатсионӣ, яъне муайян кардани энергияе, ки барои электронро аз атом канда баровардан сарф мешавад. Барои ин аз усули дигари Герц истифода мебарем. Таҷриба чунин аст: Агар тӯри N_2 –ро бо силиндри P пайваस्त карда дар байни N_2 ва сими тафсонӣ G , ки дар фазои R -и бо газ пур карда шуда гузошта шудааст (расми 5.13.1) фарқи потенциал пайвасткунем, он гоҳ гальванометр ҷараёни термоэлектрониро нишон медиҳад. Агар ҷараёни сими тафсонро зиёд кунем, он гоҳ ҷараёни термоэлектрони то ягон қиммати муайян зиёд шуда баъд доими менамояд. Ин дар атрофии сими тафсон пайдо шудани заряди фазогиро мефаҳмонад, ки вай сабаби дар оянда доими мондани потенциал мешавад.



Расми 5.13.1



Расми 5.13.2

Дар оянда агар электронҳои аз катод Д баромадаро бо фарқи потенциали дар байни Д ва N_1 гузошта шуда ва ба фазои R дохил кунем, он гоҳ ин электронҳо ба газ дар R мавҷуд бударо ионизатсия мекунад. Баъд ионҳои мусбат дар натиҷа ионизатсия ҳосил шуда дар роҳи худ як қисми заряди фазогиро ионизатсия мекунад.

Баъд дар қадом потенциали шитобкунанда бо зиёдашави сар қардани қараёнро мушоҳида карда, потенциалӣ ионизатсиониро муайян кардан мумкин аст. Дар расми 5.13.2 потенциали ионизатсионии газҳои неон овардашудааст. Ҷи хеле, ки аз расм дида мешавад потенциали ионизатсионии неон ба 21 в баробар аст. Бо ҳамин роҳ потенциали ионизатсионии бисёр элементҳо муайян карда шудааст. Масалан:

$$H = 13,54\text{В}; \quad He = 24,45\text{В}; \quad Li = 5,37\text{В}; \quad Mg = 7,61\text{ в}$$

ва ғайра.

Таҷриба нишон дод, ки аз ҳамаи элементҳо потенциали ионизатсионӣ гурӯҳи 8-м қадвали Менделеев Ne, Ar, Kr, Xe ва ғайра бо қимати калон соҳиб мебошанд. Баракси ин элементҳо потенциалҳои ионизатсионӣ металлҳои ишқори (Li, Na, K, Rb, Cs) аз ҳама хурданд.

Бо ин таҷриба набалки потенциалҳои электрони қабати охирин (электрони валентӣ) балки потенциали ионизатсионӣ дигар қабатҳоро ҳам муайян кардан мумкин аст.

5.14. ШИОБАРОРИИ АТОМҲОИ ДАР АНГЕЗИШБУДА.

Атом пас аз портсияи муайяни энергияро аз электрон гирифта аз як ҳолати муқимӣ ба ҳолати муқимӣ дигар гузарад ва ягон муддат дар ҳолати ангезиш мемонад. Вай ин энергияи қабулкардаашро баъди гузаштани вақти муайян аз худ ба намуди рӯшноӣ мебарорад ё ба атоми дигар медиҳад, ба ҳолати аввалааш бар мегардад.

Дар асоси ин, мо метавонем атомҳои дар ангезиш бударо дар таҷриба омӯхта постулатҳои Борро санҷем. Мисол, атоми симобро мебинем. Чӣ хеле, ки медонем потенциали 1-уми бӯҳрони он ба 4,9 эВ баробар аст, яъне

$$E_2 - E_1 = 4,9 \text{ эВ} \quad (5.14.1)$$

Дар асоси постулати 3-ми Бор ин энергияро атом ҳангоми ба ҳолати нормали омадан бояд, ки ба намуди як кванти рӯшноӣ якранг барорад.

$$E_2 - E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (5.14.2)$$
$$\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} = \frac{6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{4,9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}} = 2500 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 2500 \text{ \AA}$$

Агар назарияи Бор дуруст бошад, бояд, ки буғи симоби бо электронҳои энергияшон ба 4,9 эВ баробар бомбаборон карда шуда аз худашон дар соҳаи ултрабунафш ҳамин як хатти $\lambda = 2500 \text{ \AA}$ –ро диҳад. Дар ҳақиқат дар таҷриба мушоҳидаи буғи симоб нишон дод, ки дар соҳаи ултрабунафш мавҷудияти тайфи дарозии мавҷаш ба 2500 \AA –ро медиҳад.

Акнун ин хат дар ҳақиқат дар вақти аз ҳолати ангезидаи якӯм ба ҳолати нормали гузаштан ҳосил мешавад, ё не месанҷем. Барои ин буғи тунуки симобро бо рӯшноӣ $\lambda = 2500 \text{ \AA}$ равшан мекунем. Дар ин ҳолат атом бояд монанди пештара энергияи 4,9 эВ-ро қабул карда ба ҳолати ангезиши якӯм гузарад ва дар вақти ба ҳолати муқимӣ гузаштан ҳамин басомадро аз худ барорад. Таҷриба дурустии инро ҳам тасдиқ кард. Хатҳои бо ин роҳ ҳосил шуда хатҳои тайфи резонанси номида мешаванд. Дарозии мавҷи онҳо айнан ба дарозии мавҷи шиоӣ фурубурдашуда баробар аст.

5.15. МАДОРҲОИ ЭЛИПСӢ.

Дар назарияи Бор мо танҳо ба мадорҳои доиравии электрон шинос шудем, аммо дар ҳолати умумӣ яъне дар мавриди мавҷуд будани қувваҳои Кулонии байни ҳаста ва электрон мадорҳои электрони на танҳо аз шакли доира иборатанд, балки аз элипсҳо иборат буданишон мумкин аст. Бинобар он назарияи Бор барои ингуна мадорҳо боз ҳам маънои пурратар ҳосил мекунад. Ин масъалаи умумӣ аз тарафи Зоммерфельд ҳал карда шуда аст.

Мувофиқи ин назария агар системаи механики аз i дараҷаи озод иборат бошад ва ҳолати он бо g_i – координатаҳои умумикардашуда ва $p_i = \frac{\partial E_i}{\partial g_i}$ – импульсҳои умумикардашуда муайян карда шавад, дар ин ҷо E_k – энергияи кинетики система ва g_i – бо вақт ҳосилаи координата, он гоҳ танҳо ҳолатҳои шартӣ интегралӣ

$$\oint P_i dg_i = n_i h \quad (5.15.1)$$

Дар ин ҷо $p_i = \frac{\partial E_i}{\partial g_i}$ (1) - ро қаноаткунанда ҳолатҳои муқимӣ шуда метавонанд. n_i - адади квантӣ буда қимматҳои $1, 2, 3, \dots$, - ро мегирад. Аломати \oint - интегронӣ ба ҳамаи соҳаи тағйирёбии g_i - паҳн мешавад.

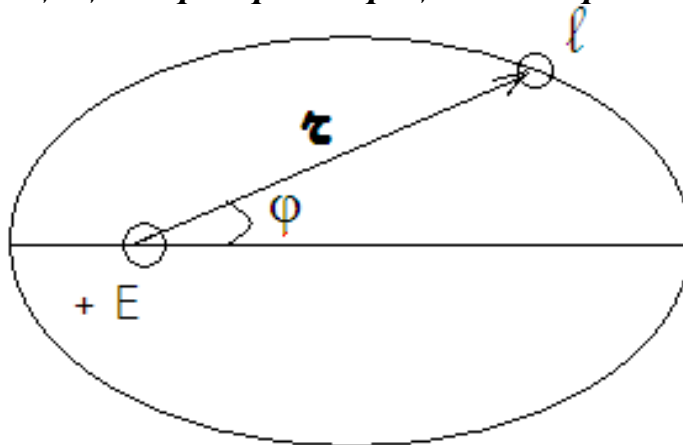
Формулаи (1)-ро барои мадорҳои доиравӣ татбиқ намуда постулати 2-ми Бор, формулаи $mvr = n\hbar$ -ро ҳосил кардан мумкин аст. Дар вақти электрон аз $r_{\text{ӯ}}$ доира ҳаракат кардан фақат як дараҷаи озод φ дорад ки он аз $\varphi = 0$ то $\varphi = 2\pi$ тағйир меёбад. Аз ҳамин сабаб координатаи умумикардашуда dg_i танҳо аз φ вобаста аст. Импулси умумикардашуда бошад дар ин ҳолат доимӣ мемонад. Бинобар он формулаи (5.15.1)-ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$nh = \int_0^{2\pi} p d\varphi = p \int_0^{2\pi} d\varphi = 2\pi p \quad (5.15.2)$$

Аз ин ҷо $p = n\hbar$ $\hbar = h/2\pi$

Чи хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад формулаи $mvr = n\hbar$ ҳосил карда шуд.

Агар мадор шакли эллипс дошта бошад (расми 5.15.1), он гоҳ ҳаста дар яке аз фокусҳои он мехобад. Мувофиқи қонуни дуйӯми кеплер радиус вектор дар фосилаи вақтҳои баробар масофаҳои якхеларо мекашад.



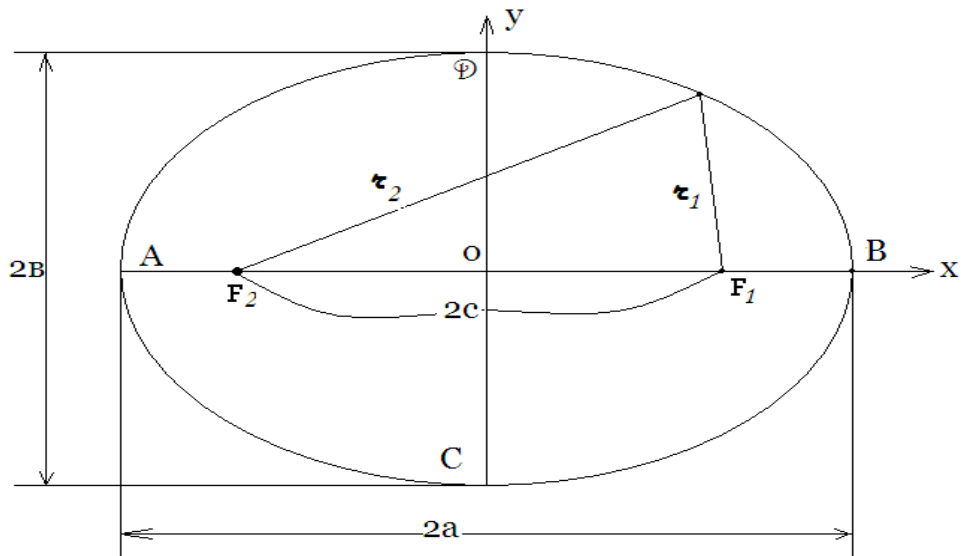
Расми 5.15.1

Дар ин ҳолат система аз ду дараҷаи озод иборат аст, ки онҳо r ва φ - мебошад, бинобар он мадорҳои муқимӣ бояд шартҳои зеринро қаноат кунанд.

$$\left. \begin{aligned} \oint_0^{2\pi} p_\varphi d\varphi &= n_\varphi h \\ \oint_{r_{\min}}^{r_{\max}} p_r dr &= n_r h \end{aligned} \right\} \quad (5.15.3)$$

Дар ин ҷо n_φ ва n_r - ададҳои кванти азимутали ва радиалӣ мебошанд. Бинобар он интегралӣ 1-ӯм дар формулаи (5.15.3) аз сабаби доимӣ будани фосилаи миқдори ҳаракат $p_\varphi = p$ чуноне, ки барои мадорҳои доирашакл ҷой дорад бо ифодаи зерин муайян карда мешавад.

$$p_\varphi = n_\varphi \hbar \quad (5.15.4)$$



Расми 5.15.2

$AB = 2a$ нимтири калон, $CD = 2b$ – нимтири хурд F_1 ва F_2 фокусҳо, онҳо нуқтаҳои мебошанд, ки аз марказ дар масофаи $c = \sqrt{a^2 - b^2}$ хобидаанд.

$\varepsilon = \frac{c}{a}$, дар ин ҷо $\varepsilon < 1$. Эксцентриситети эллипс Расми 5.15.2.

Аз ин ҷо дида мешавад, ки фосилаи миқдори ҳаракати электрон бо ададҳои квантҳои \hbar – ҳо баробар аст.

Ҳисобкуниҳои бо интегронидани интегралҳои 2-ум ба хулосаи зерин меорад:

$$\frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} = \frac{n_r + n_\varphi}{n_\varphi} \quad (5.15.5)$$

ε – эксцентриситети эллипс номида мешавад.

Ба ҳамин тариқ шартҳои квантии Зоммерфельд ба чунин натиҷа меорад он мадорҳои эллипсӣ, ки барояшон шартҳои (5.15.4) ва (5.15.5) иҷро мешаванд, муқимӣ мебошанд.

Суммаи ададҳои квантии радиалию азимуталӣ, яъне $n_r + n_\varphi$ адади квантии асосӣ номида мешавад. Адади квантии асосиро бо n ишора намуда, ифодаи зеринро ҳосил мекунем.

$$n_r + n_\varphi = n \quad (5.15.6)$$

Дар ин маврид (5.15.5) намуди зеринро мегирад

$$1 - \varepsilon^2 = n_\varphi^2 / n^2 \quad (5.15.7)$$

Энергияи пурраи электрони ба мадорҳои эллиптикӣ ҳаракат мекардагӣ танҳо аз нимтири калони эллипс вобастаги дорад:

$$E_{\text{полн}} = -\frac{ze^2}{2a} \quad (5.15.8)$$

Нимтири калони эллипс бошад ба воситаи фосилаи миқдори ҳаракати азимуталӣ ва эксцентриситети эллипс навишта мешавад.

$$a = p_\varphi^2 / me^2 z (1 - \varepsilon^2) \quad (5.15.9)$$

Қимматҳои p_φ ва $(1 - \varepsilon^2)$ – ро гузошта ҳосил мекунем.

$$a = \frac{n_\varphi^2 \frac{\hbar^2}{4\pi^2}}{me^2 z \frac{n_\varphi^2}{n^2}} = \frac{n^2 \hbar^2}{4\pi^2 me^2 z} = n^2 \frac{r_0}{z}; \quad a = n^2 \frac{r_0}{z} \quad (5.15.10)$$

Нимтири хурди эллипс бо нимтири калон вобастагии зерин дорад.

$$b = a\sqrt{1 - \varepsilon^2} \quad (15.15.1)$$

Қимматҳои a ва $(1 - \varepsilon^2)$ —ро ба (11) гузошта ҳосил мекунем.

$$b = n^2 \frac{r_0}{z} \cdot \frac{n_\varphi}{n} = n \cdot n_\varphi \frac{r_0}{z} \quad (5.15.12)$$

дар ин ҷо

$$r_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} = 0,529 \cdot 10^{-8} \text{ см}$$

радиуси якуми Бори аст.

Аз ин баробариҳо дида мешавад, ки нимтири калони эллипс аз адади квантии асоси вобаста буда нимтири хурди эллипс аз n_φ адади квантии азимутали ва инчунин адади квантии асоси n вобаста мебошад.

Қиммати a —ро аз (5.15.10) ба (5.15.8) гузошта барои энергияи пурра баробарии зеринро меёбем.

$$E_{\text{пурра}} = -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{n^2 h^2} \quad (5.15.13)$$

Аз ин ҷо дида мешавад, ки энергияи пурра дар вақти электрон аз рӯи мадорҳои эллипсшакл ҳаракат кардан бо E —и дар вақти электрон аз рӯи мадорҳои муқимши доирашакл муайян карда шаванда якхела мебошад. Фарқ фақат дар он аст, ки дар ин ҷо ба ҷои адади квантии одди n адади квантии касоси истодааст. Ба гайр аз ин агар дар ин ҷо ба ҳар як қиммати имконпазири E на якто балки якчанд мадорҳои гуногуни имконпазир дуруст ояд дар (5.15.13) ба ҳар як қиммати E фақат мадорҳои доирашакл дуруст меояд. Барои ин маънидодкуниро равишантар нишон додан ба кадом қимматҳо соҳиб шуда тавонистани n_φ ва n_r —ро мебинем.

Агар $n_\varphi = n$ бошад формулаи (5.15.12) ба формулаи (5.15.10) мубаддал мешавад ва мадори электрон доиравӣ мешавад. Агар $n_\varphi \neq 0$ бошад мадор ба хатти ростӣ ба ҳаста мегузаистагӣ мубаддал мешавад. Дар ин ҳолат электрон бояд, ки бо хатти рост ҳаракат кунад, аммо ин номумкин мебошад. Бинобар он қиммати аз ҳама хурдтарини n_φ —ро як ва калонтаринашро n мегиранд, яъне

$$\left. \begin{array}{l} n_\varphi = 1, 2, 3, \dots, n \\ n_r = (n-1), (n-2), \dots, 0 \end{array} \right\} \quad (5.15.14)$$

Аз ин баробариҳо (5.15.14) маълум мешавад, ки ба ҳар як қиммати n ҳамон миқдор n — мадорҳои гуногун мувофиқ меояд.

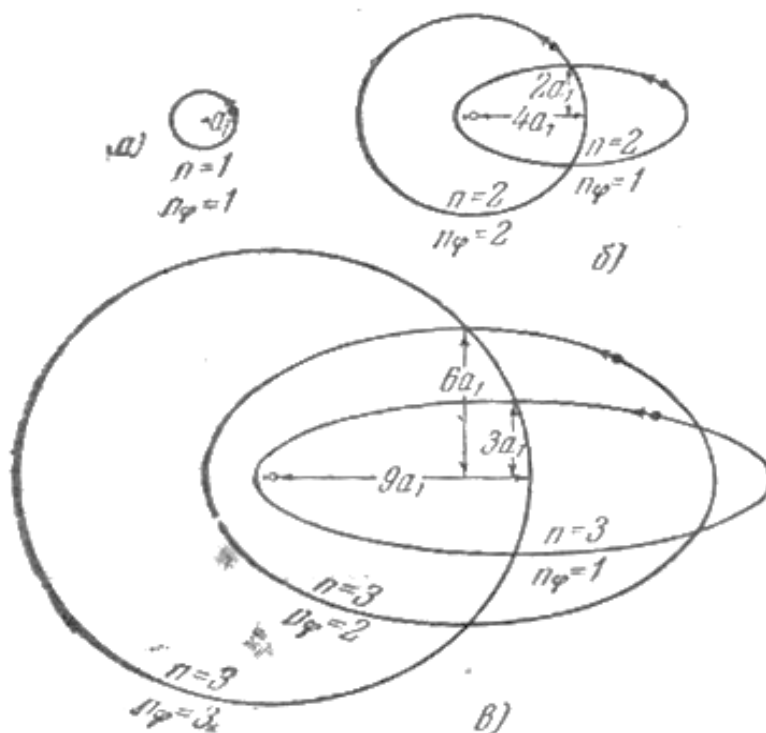
Масалан :

$$a = n^2 \frac{r_0}{z} \quad b = n \cdot n_\varphi \frac{r_0}{z}$$

а) $n = 1$; $a = \frac{r_0}{z}$; $n_\varphi = 1$, $b = \frac{r_0}{z}$; $a = b$ доира

б) $n = 2$; $a = 4 \frac{r_0}{z}$ $\left\{ \begin{array}{l} n_\varphi = 1; b_1 = 2 \frac{r_0}{z} - \text{ эллипс } a \neq b \\ n_\varphi = 2; b_2 = 4 \frac{r_0}{z} - \text{ доира } a = b \end{array} \right.$

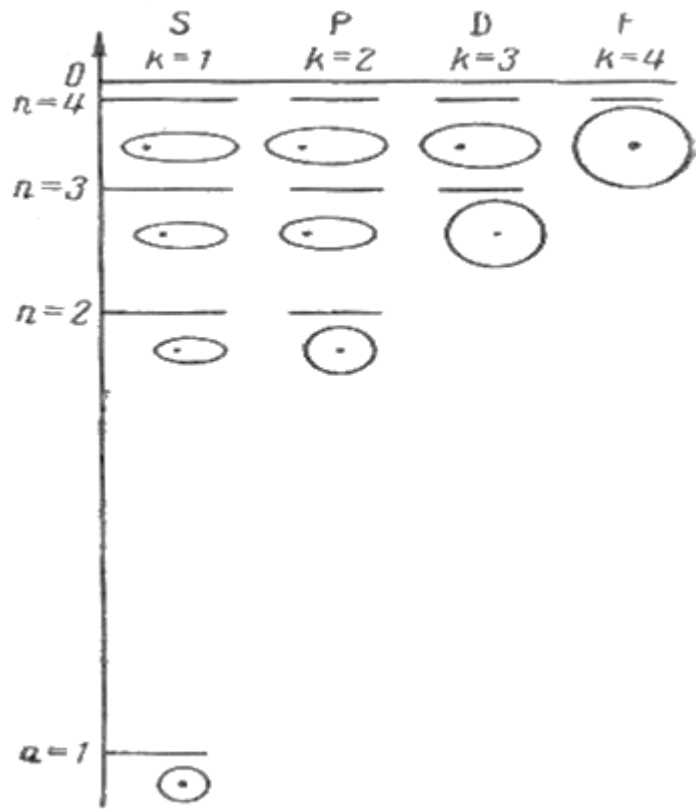
в) $n = 3$ $a = 9 \frac{r_0}{z}$; $\left\{ \begin{array}{l} n_\varphi = 1; b_1 = 3 \frac{r_0}{z} - \text{ эллипс } a \neq b \\ n_\varphi = 2; b_2 = 6 \frac{r_0}{z} - \text{ эллипс } a \neq b \\ n_\varphi = 3; b_3 = 9 \frac{r_0}{z} - \text{ доира } a = b \end{array} \right.$



Расми 5.15.3 Мадорҳои электрон аз назарияи Бор

Чи хеле, ки аз ин расмҳо 5.15.3 дида мешавад дар вақти $n = 1$ будан $n_\varphi = 1$ – мадори имконпазири электрон ҳаракат мекардагӣ якто, дар вақти $n = 2$ будан, $n_\varphi = 1, 2$ – мадори имконпазир дуто, дар вақти $n = 3$ будан $n_\varphi = 1, 2, 3$ мадори имконпазири электрон ҳаракат мекардагӣ се то ва гайра мешавад.

Акнун сатҳҳои энергетикӣ ба ин мадорҳо дуруст меомадагиро месозем. Қиммати энергияи сатҳҳои энергетикӣ бо формулаи (5.15.13) ҳисоб карда мешавад. Пеш аз сохтани сатҳҳои энергетикӣ ишораҳои зеринро иҷро мекунем. Ҳолате, ки (сатҳи энергетикӣ, ки) ба қиммати $n_\varphi = 1$ – и адади кванти азимуталӣ дуруст меояд бо S , ҳолате, ки $n_\varphi = 2$ дуруст меояд бо P , ҳолате, ки ба $n_\varphi = 3$ дуруст меояд бо D , ҳолате, ки ба $n_\varphi = 4$ дуруст меояд бо F ва ҳоказоҳо ишора мекунем. Масалан ҳолати ба $n = 1$ ва $n_\varphi = 1$ дуруст меомадагӣ бо S , ҳолати ба $n = 3$ ва $n_\varphi = 3$, дуруст меомадагӣ бо $3D$ ва ҳоказоҳо ишора карда мешавад. Расми 5.15.4



Расми 5.15.4

Мадорҳои имконпазир ва сатҳои энергетикӣ бо формулаи (5.15.13) ҳисоб карда шуда дар расми 5.15.4 оварда шудааст. Чи хеле, ки аз расмҳои 5.15.3 ва 5.15.4 дида мешавад, барои адади квантии асосии додашудаи n мадорҳои гуногуни миқдорашон ба n баробар дуруст меояд. Аз тарафи дигар ба ҳамаи ин мадорҳо энергияи пурраи якхелаи E ҳолатҳои якхелаи энергетикӣ дар расми 5.15.4 ва нимтири калони якхелаи эллипс дуруст меояд. Аз ҳамин сабаб тайфи аз тарафи атомҳо дар ин ҳолат мебаровардагӣ бояд, ки бо тайфи дар асоси назарияи Бор аз тарафи мадорҳои доирави мебаровардаги якхела бошад.

Ҳолатҳои, ки онҳо дорои энергияи якхела мебошанду, лекин ба мадорҳои гуногун ба фосилаи миқдори ҳаракати гуногун молик буда мувофиқ меоянд, ҳолатҳои мубаддалшуда номида мешаванд. Дар ин вақт ҳаракати электронҳо бо мадори эллипси дар фазо беҳаракат ба амал меояд, чунки даври тағйирёбии координат r ва φ ба якдигар мувофиқ меояд. ҳангоми электронҳо, бо эллипсҳои гуногун ба адади квантии молик будаги ҳаракат кардан, то он даме, ки қувваи беруни таъсир накунад, онҳо дар мадорҳои имконпазир бо энергияи якхела ҳаракат мекунанд. Дар мавриди мавҷудияти қувваи беруни масалан майдони берунаи электрики мадорҳои эллипси, ки дорои энергияи якхелаю шаклҳои гуногун доранд, дар натиҷаи ҳолатҳои мубаддалшуда бардошта мешаванд ва тайф ба тарзи муайян дигаргунтар мешавад. Дар мавриди мавҷудияти қувваҳои таъсиркунандаи дохили атоми ҳам ҳамин ҳолат ҷой дорад. Дар атомҳо, ки дар гирди ҳастаи онҳо зиёда аз як электрон давр мезананд, чунин қувва мавҷуд аст, бинобар он онҳо ҳолатҳои мубаддалшуда надоранд.

Ба ҳамин тариқ постулатҳои Борро дар асоси назарияи Зоммерфельд саҳеҳтар омӯхта аз рӯи кадом мадорҳои имконпазир ҳаракат кардани

электронҳо ва бо ин мадорҳо чи хел энергия мувофиқ омаданаширо нишон додем.

Таҳлили Зоммерфельд дар бораи ҳаракати электрон бо мадорҳои имконпазир барои системаҳои як электрона нишон дод, ки ҳолатҳои мубаддалишуда дар вақти мавҷуд будани шартҳои зерин вучуд дорад:

1. Майдони ҳаракати электрон майдони кулонӣ бошад, яъне қувваи кашиши электрон аз тарафи ҳаста бо қонуни $\sim \frac{1}{r^2}$ тағйир ёбад.

2. Бояд, ки массаи электрон доими бошад, яъне тағйирёбии масса бо сурат ба назар гирифта нашавад.

Зоммерфельд тағйирёбии массаро аз сурат $m = m(v)$ ба назар гирифта механикаи ҳаракати электронҳоро дар майдони кулонии ҳастаи ҳал кард.

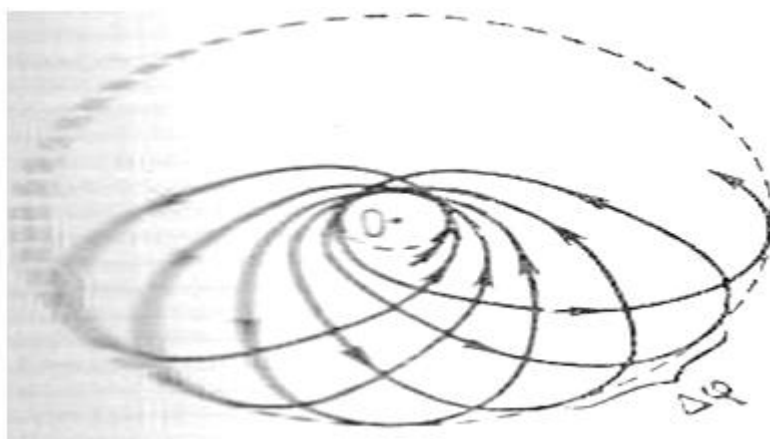
Ҳисобкунӣҳои \bar{y} нишон доданд, ки дар ин ҳолат даври тағйирёбии радиус r — аз r_{\min} то r_{\max} баъд боз r_{\min} ва азимути φ аз сифр то 2π якхела намебошанд. Аз ҳамин сабаб хатти сайр ҳаракати электрон беҳаракат намонда балки эллипси прецессиякунандаро тасавур мекунад (расми 5.15.5). Дар ин ҳолат муодилаи хатти сайр ҳаракати электрон бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$\frac{1}{r} = \frac{1 + \varepsilon \cos \tau\varphi}{a(1 - \varepsilon^2)} \quad (5.15.15)$$

Ин муодила аз муодилаи эллипс бо он фарқ мекунад, ки дар он φ бо $\tau\varphi$ иваз карда шудааст. τ бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$\tau^2 = 1 - \frac{z^2 e^4}{c^2 p^2} \quad (5.15.16)$$

Дар вақти φ то 2π тағйир ёфтани r қиммати аввалаширо намегирад. r — қиммати аввалаширо дар ҳамон вақт мегирад агар $\tau\varphi$ ба 2π тағйир ёбад, яъне φ ба $2\pi/\tau$ меафзояд.



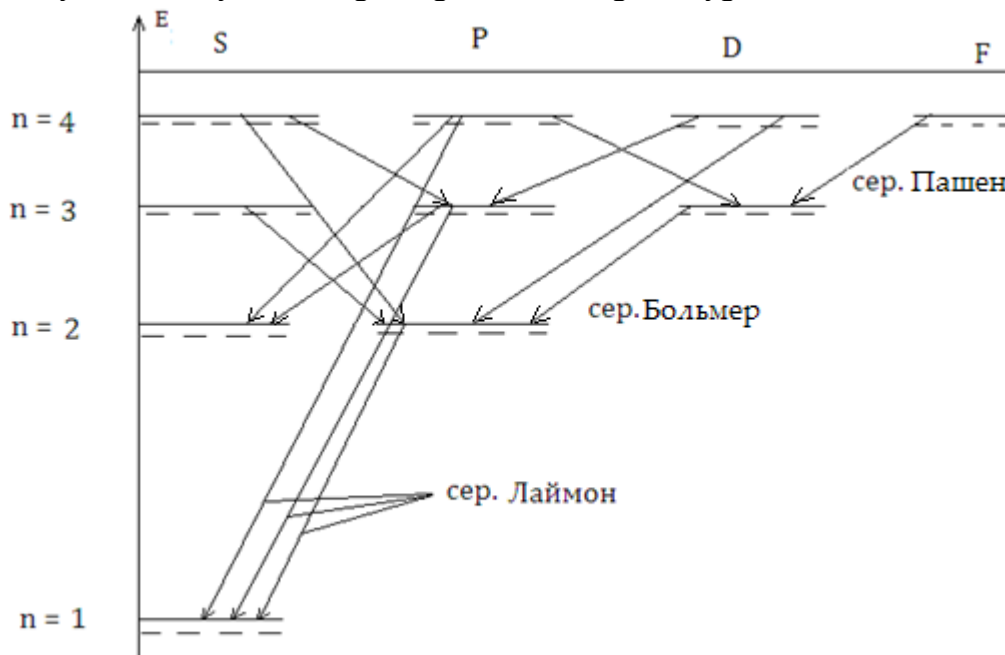
Расми 5.15.5

Агар ислоҳи релятивиро ба назар гирем энергияи сатҳи энергетикаи на бо формулаи (5.15.13) балки бо формулаҳои зерин муайян карда мешавад.

$$E_{n_1 n_\varphi} = -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \left[1 - \frac{z^2 \alpha^2}{n^2} \left(\frac{n}{n_\varphi} - \frac{3}{4} \right) \right] \quad (5.15.17)$$

Дар ин ҷо $\alpha = \frac{2\pi e^2}{ch} = 7,3 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{173}$ — доими таркиби тунук номида мешавад.

Аз (5.15.17) дида мешавад, ки энергияи ҳолатҳои энергетика ҳам аз адади квантии асосии n ва ҳам аз ададҳои квантии азимутали n_ϕ вобаста мебошад. Дар ин, ҷо ҳолатҳои мубаддалишуда мавҷуд намебошанд. Рӯзи сатҳҳои энергетика дар асоси назарияи Зоммерфельд дар расми 5.15.5 оварда шудаанд. Чи хеле, ки аз ин расм дида мешавад. Ҳолатҳои гуногун дорои энергияи гуногун мебошанд. Ба хатҳои нуқтагӣ сатҳҳои энергетика дар расми 5.15.4 нишон дода шуда тасвир карда шудааст. Аз сабаби ба қимматҳои гуногун соҳиб будани сатҳҳои энергетика яъне мавҷуд набудани ҳолатҳои мубаддалишуда тайфи серияҳо тайфии мураккаб мешаванд.



Расми 5.15.6

Масалан хатти 1-ми серияи Бальмер $\left[\nu_1 = R_n \left(\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{3^2} \right) \right]$, бояд ки дар натиҷаи гузаришҳо аз се хатти се квантаги ва ду хатти ду квантаги ҳосил шавад ва миқдори онҳо аз шаш хатти аз якдигарашон кам фарқ мекардагӣ иборат бошанд. Санҷишҳои амалӣ дар ҳақиқат мураккабии хатҳои маҳини тайфиро нишон доданд, лекин миқдори хатҳо ба шаш баробар набуданд. Мураккабии хатҳои маҳини тайф барои дигар серияҳо ва ин чунин барои атомҳои гидрогенмонанд мушоҳида карда шуд, лекин дар ҳама ҳолатҳо миқдори хатҳо кам буданд. Таҳлили тайфҳо нишон дод, ки дар серияҳои тайфи он хатҳо мушоҳида карда мешаванд, ки агар барои онҳо шартҳои зерин

$$\Delta n_\phi = \pm 1 \quad (5.15.18)$$

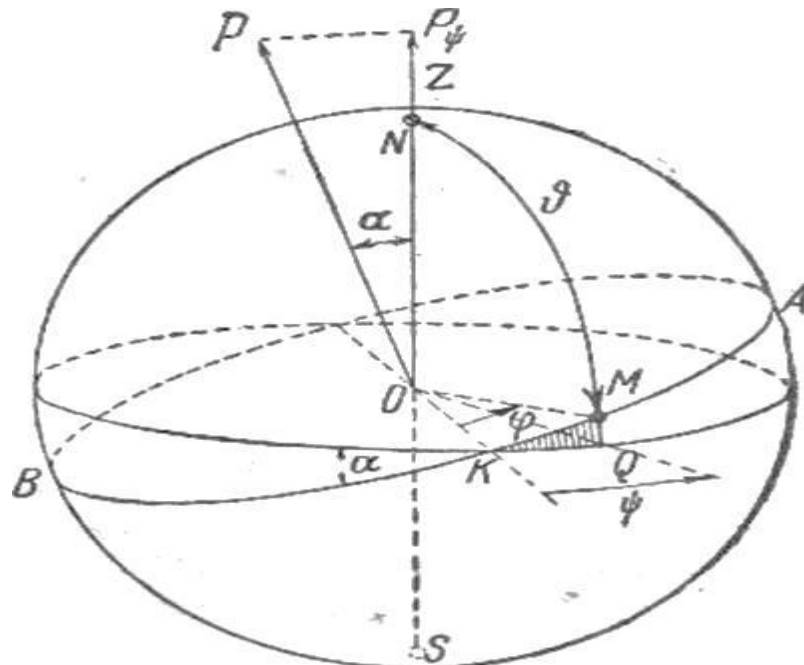
ҷой дошта бошад.

Омузиши тайфҳо нишон дод, ки барои дигар атомҳо ҳам фақат он тайфҳо мушоҳида карда мешаванд, ки агар тағйирёбии адади кванти азимутали ба шартҳои (5.15.18) итоат кунад, хатҳои ба ин шарт итоат намекардагӣ мавҷуд нестанд. Аз ин ҷо ба ҳамин хулоса меоям, ки дар атомҳо гузаришҳои барояшон шартҳои $\Delta n_\phi \neq \pm 1$ ҷой дошта ба амал намеоянд.

Қоидаи (5.15.18) қоидаи интихоб барои адади квантии азимутали номида мешавад.

Боби 6. 6.1. КВАНТОНИДАНИ ФАЗОГӢ.

Дар зери таъсири майдони кулонии ҳаста, электрон аз r -и мадори ҳамвори эллипси ҳаракат мекунад. Аммо агар ба электрони ба мадори ҳамвор ҳаракат карда истода бо майдони беруна таъсир кунем (магнити ё электрики) мадор ошӯб меҳӯрад ва шакли ҳамвори худро гум мекунад. Дар ин ҳолат ҳаракати электрон бо се координатаҳои умумикардашуда ва се ададҳои кванти тавсифонида мешавад. Фарз кунем, ки майдони беруна бисёр хурд бошад, ва мадори электрон шакли эллипси Кеплери худро дошта бошад, лекин нисбат ба ҳамвори экватор, яъне ба равиши майдони магнители беруна дар зери ягон кунҷи α хобида бошад расми 6.1.



Расми 6.1. 1

Он гоҳ ҳолати электрони А бо мадори СД ҳаракат карда бо координатаҳои сферикии r (масофа аз ҳаста то электрон) бо баландии ϑ (кунҷи байни радиус вектори аз ҳаста то электрон гузаронидашуда ба тири Z) ва бо азимутии ψ (кунҷи байни ягон хатти дар ҳамвори экватор аз ҳаста гузаронидашуда ва порексияи радиус вектор r бо ин ҳамвори) муайян карда мешавад. Азбаски ҳолати электрон бо r, ϑ ва ψ тавсифонида мешавад, шарти мавҷуд будани мадорҳои имконпазир, шарти квантонидан намуди зеринро мегирад.

$$\left. \begin{aligned} \oint p_r dr &= n_r h \\ \oint p_\vartheta d\vartheta &= n_\vartheta h \\ \oint p_\psi d\psi &= n_\psi h \end{aligned} \right\} \quad (6.1. 1)$$

Импулси умумикардашуда p_r, p_ϑ, p_ψ – ро аз энергияи кинетикии электрон барои координатаҳои қутби чунин навиштан мумкин аст:

$$E_k = T = \frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\vartheta}^2 + r^2 \sin^2 \vartheta \dot{\psi}^2) \quad (6.1.2)$$

Энергияи кинетики барои системаи декарти $T = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)$ агар ба ин формула қимматҳои

$$x = r \sin \vartheta \cos \psi; \quad y = r \sin \vartheta \sin \psi; \quad z = r \cos \vartheta -$$

ро гузорем формулаи (6.1.2) ҳосил мешавад ва ҳосила сурати умумикардашударо истифода бурда, ҳосил мекунем.

$$\left. \begin{aligned} p_r &= \frac{\partial E_k}{\partial \dot{r}} = m\dot{r}, & p_\vartheta &= \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\vartheta}} = mr^2 \dot{\vartheta} \\ p_\psi &= \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\psi}} = mr^2 \sin^2 \vartheta \dot{\psi} \end{aligned} \right\} \quad (6.1.3)$$

Дар асоси ин (6.1.1)-ро ба намуди зерин менависем:

$$\left. \begin{aligned} \oint m\dot{r} dr &= n_r h \\ \oint mr^2 \dot{\vartheta} d\vartheta &= n_\vartheta h \\ \oint mr^2 \sin^2 \vartheta \dot{\psi} d\psi &= n_\psi h \end{aligned} \right\} \quad (6.1.4)$$

Дар (6.1.1) ва (6.1.4) p_ψ – импулси умумикардашуда аст, ки ба азимутӣ дар ҳамвори экватори ҳисобкардашудаи ψ мувофиқ меояд, аз тарафи дигар p_ψ проексияи бо равиши майдони магнити беруна бо тири Z мувофиқ меомадагӣ гирифташуда фосилаи миқдори ҳаракати p_φ мебошад.

$$p_\psi = p_\varphi \cos \alpha \quad (6.1.5)$$

Азбаски фосилаи миқдори ҳаракати p_φ доими мебошад соя дар равиши майдони магнити беруна гирифта шудаи он p_ψ - ҳам доимӣ мебошад, бинобар он баробарии охирин шартҳои квантии (6.1.5) ва (6.1.4) –ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$\oint mr^2 \sin^2 \vartheta \dot{\psi} d\psi = \oint p_\psi d\psi = n_\psi h$$

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки проексияи фосилаи миқдори ҳаракат бо равиши майдон квантонида шудааст. Ин нишон медиҳад, ки майлқунии мадор СД ихтиёри набуда балки дискрети мебошад.

Одатан ба ҷои адади квантии n_ψ , адади квантии магнити m -ро истифода мебаранд, ки он ададан ба m баробар буда ба қимматҳои мусбат ва манфӣ соҳиб шуда метавонад, m – адади квантии магнити номида мешавад.

$$p_\varphi = n_\psi \hbar = m \hbar$$

Аз (6.1.5)

$$\cos \alpha = \frac{p_\psi}{p_\varphi} = \frac{m \hbar}{n_\varphi \hbar} = \frac{m}{n_\varphi}; \quad \cos \alpha = \frac{m}{n_\varphi} \quad (6.1.5)$$

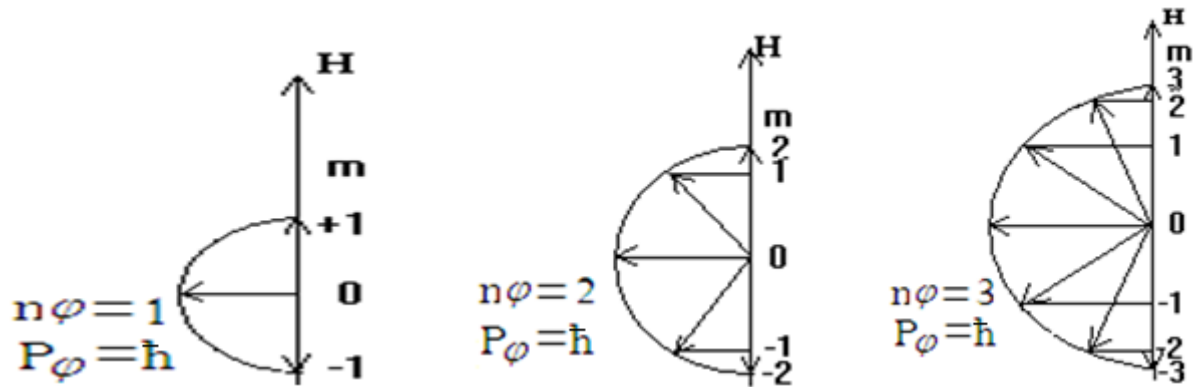
Азбаски $\cos \alpha$ дар ҳудуди $-1 \leq \cos \alpha \leq +1$ тағйир меёбад адади кванти магнити m барои қимматҳои додашудаи n_φ дар ҳудуди

$$-1 \leq \frac{m}{n_\varphi} \leq +1; \quad -n_\varphi \leq m \leq n_\varphi \quad (6.1.7)$$

тағйир меёбад. Аз ин ҷо m ба қимматҳои $2n_\varphi + 1$ соҳиб шуда метавонад, яъне

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm n_\varphi \quad (6.1.8)$$

Дар асоси ин фосила миқдори ҳаракат p_φ нисбат ба равиши майдони берунаи магнити бо $2n_\varphi + 1$ тарзҳо ҷойгир шуда метавонад. Масалан агар $n_\varphi = 1$ бошад, p_φ – нисбат ба майдони магнити беруна бо се тарзи гуногун, агар $n_\varphi = 2$ бошад p_φ – нисбат ба майдон 5- тарзи гуногун ва ҳоказо ҷойгир шуда метавонад. Инро дар расми зерин дидан мумкин аст (расми 6.1.2).



Расми 6.1.2

Ба ҳамин тариқ ду адади кванти n_ϑ – экваториали ва n_ψ широтний ҳосил шуданд, ки онҳо бо адади кванти азимутали чунин вобастагии зерин доранд:

$$n_\varphi = n_\vartheta + n_\psi \quad (6.1.7)$$

Дар асоси ин энергияи пурра намуди зеринро мегирад.

$$E = -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{n^2 h^2};$$

$$E = -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{n^2 h^2} = -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{h^2 (n_r + n_\varphi)^2} = -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4}{(n_r + n_\nu + n_\psi)^2}$$

Ба ҳамин тариқ энергия дар вақти ба назар гирифтани майлқунии фазогии мадор ҳам аз суммаи ададҳои кванти вобаста мебошад. Яъне аз ин ҷо маълум мешавад, ки набалки электронҳои бо эллипсҳои тири калони якхела дошта ҳаракат мекардаги балки электронҳои бо эллипсҳои дар фазо ба тарзҳои гуногун майл кардагӣ, дар вақти майдони беруна баробари сифр будан ҳам энергияи якхела доранд.

Аз хулосаи баровардаамон маълум мешавад, ки омӯзиши мадорҳои эллиптики ва квантонидани фазоги зиёдати мебошанд. Дар ҳақиқат бошад ин тавр нест. Дар вақти мавҷуд будани майдони магнити беруна ҳолатҳои мубаддалшудаи адади квантии n_φ ё ки m бардошта мешавад мадорҳо ба тарзҳои гуногун майл карда ба энергияҳои гуногун соҳиб мешавад. Дар асоси ин дар оянда эффекти оддии Зеeman бароварда мешавад. Аз тарафи дигар дар атомҳои мураккаб, ки якчанд электрон дорад, ошӯбдиҳии электрони беруна аз тарафи дигар электронҳо ба он оварда мерасонад, ки дар формула энергия дар махраҷ ба гайр аз адади асосии кванти ба $n_r + n_\varphi$ баробар буда боз адади кванти азимутали пайдо мешавад. Аз ҳамин сабаб сатҳҳои энергияи атомҳои як электрона, ки бо адади кванти асосии якхелаю адади квантии азимуталии гуногун тавсифонида мешавад ва бо якдигар мувофиқ меоянд, дар атомҳои мураккаб ҷудо мешаванд. Ин дар оянда

имконият медиҳад, ки хусусияти тайфҳои атомҳои мураккаби як электрони валентӣ дошта (Li, Na, K , ва ғ. к.) маънидод карда шавад.

6.2. МАЪНОИ ФИЗИКИ АДАДҲОИ КВАНТИ

Адади квантии асоси n дар вақти ба тавсия даровардани постулатҳои Бор муайян карда шуда буд.

Он мадорҳои мумкин вучуд дошта бошад, агар фосилаи миқдории ҳаракати онҳо ба ададҳои квантӣ $\frac{h}{2\pi}$ баробар бошанд.

$$mvr = \frac{h}{2\pi} n \quad (6.2.1)$$

Дар натиҷаи чуқуртар омӯхтани назарияи Бор радиуси имконпазири мадори Бор бо

$$r = n^2 \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \quad (6.2.2)$$

муайян карда мешавад. Мадорҳои эллиптикии электронро ба назар гирифта фаҳмиши радиусро бо нимтириҳои калон ва хурди эллипс васеъ кардем ва адади квантии азимутали n_φ —ро ёфтем.

$$\left. \begin{aligned} a &= n^2 r_0 / z && \text{нимтири калон} \\ b &= n \cdot n_\varphi r_0 / z && \text{нимтири хурд} \end{aligned} \right\} \quad (6.2.3)$$

Ба ҳамин тариқ маънои физики n чунин аст.

n : | n — адади квантии асоси буда вай андозаи мадор, радиус, нимтири калонро муайян мекунад.

n_φ : | n_φ — адади квантии азимутали буда андозаи мадори электронро хусусан нимтири хурди эллипсо муайян мекунад.

Адади квантии дигар n_r — адади квантии радиали мебошад. Ин дар худ маънои махсус надорад, чунки суммаи вай бо адади квантии азимутали адади квантии асосиро медиҳад.

$$\begin{cases} n = n_r + n_\varphi \\ n_r = n - n_\varphi \end{cases} \quad (6.2.4)$$

Ду адади квантии дигар магнети ва экваториалӣ бо ҳамдигар бо $n_\varphi = n_\vartheta + n_\psi$ проексияи вобаста меборишад.

m : | Чи хеле, ки дар боло қайд кардем адади квантии магнети $n_\psi = m$ пурраи фосилаи миқдори ҳаракатро бо тири Z мефаҳмонад:

$$p_\psi = m\hbar$$

m дар ҳудуди $-n_\varphi$ то $+n_\varphi$ тағйир меёбад.

n_ϑ : | Адади квантии экваториалӣ мавқеъи электронро дар мадор мефаҳмонад.

Ба ҳамин тариқ мо 5-адади квантии $n, n_\varphi, n_r, m, n_\vartheta$, — дорем, ки онҳо бо якдигар вобастагии зерин доранд.

$$n = n_r + n_\vartheta + n_\psi \quad n = n_r + n_\varphi$$

$$n_\varphi = n_\vartheta + n_\psi$$

худуди тағйирёбии онҳо

$$n = 1, 2, 3, \dots, \infty \quad (6.2.5)$$

$$\begin{aligned} n_\varphi &= 1, 2, 3, \dots, n \\ n_r &= (n-1), (n-2), \dots, 0 \\ m &= n_\varphi, n_\varphi - 1, \dots, 0, -n_\varphi \end{aligned}$$

Ба ҳамин тариқ мо мадорҳои эллиптики ва квантонидани фазогиро омӯхта боз як бори дигар ба дурусти назарияи Бор боварӣ ҳосил кардем.

6.3. МОМЕНТИ МАГНИТИИ АТОМ

Мувофиқи электродинамикаи классикӣ электрони дар мадори доиравӣ ё эллипси ҳаракат карда ба контури ҷараёндор, ки дар атрофи майдони магнитиро ба вуҷуд меорад, монанд мебошад. Аз ҳамин сабаб вай дар вақти ҳаракаташ майдони магнитиро ба вуҷуд меорад, ки фосилаи ӯро ҳисоб мекунем.

Ҷараёни аз тарафи электрони бо мадори ҳамвори сатҳи A дошта ҳаракат карда ба вуҷуд меоварад баробар аст:

$$i = \frac{e}{cT} \quad (6.3.1)$$

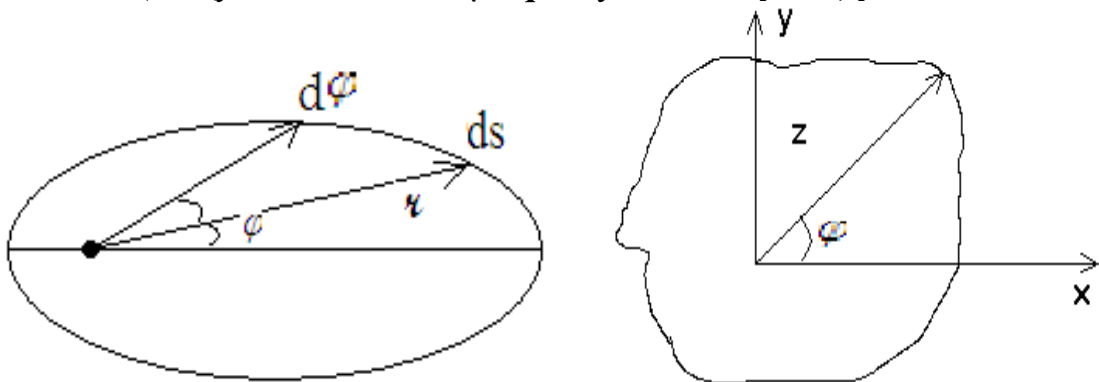
T – даври гардиши электрон дар мадор, i – ҷараён дар системаи CGSE, e – заряд дар системаи CGSE. Моменти магнитии контури ҷараёндор ба

$$\mu = iA \quad (6.3.2)$$

баробар аст. Дар асоси ин моменти магнитии атом, ки аз тарафи электрони дар мадор ҳаракат карда ба вуҷуд оварда мешавад бо формулаи зерин дода мешавад:

$$\mu_m = \frac{e}{cT} A \quad (6.3.3)$$

Барои муайян кардани μ_m – фарз мекунем, ки электрон дар мадори эллиптики ҳаракат карда бошад. Сатҳи мадори электрон ва импулси ӯро дар системаи координатаҳои қутбӣ навишта μ – ро муайян мекунем, расми 6.3.1



Расми 6.3.1

$$A = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} r^2 d\varphi \quad (6.3.4)$$

Моменти миқдори ҳаракати электрон p_φ бузургии доимӣ мебошад, вайро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$p_\varphi = mr^2 \frac{d\varphi}{dt} \quad (6.3.5)$$

$$E_k = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2); \quad x = r \cdot \cos \varphi$$

$$E_k = \frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2); \quad y = r \cdot \sin \varphi$$

$$p_r = \frac{\partial E_k}{\partial \dot{r}} = mr; \quad p_\varphi = \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} = mr^2 \dot{\varphi} = mr^2 \frac{d\varphi}{dt}$$

Аз (6.3.4) ва (6.3.5) r^2 – ро хориҷ карда ҳосил мекунем.

$$A = \frac{1}{2} \int_0^T \frac{p_\varphi}{m} dt = \frac{1}{2} \frac{p_\varphi}{m} T \quad (6.3.6)$$

(6.3.6)-ро ба (6.3.3) гузошта моменти магнитии атомро ба намуди зерин муайян мекунем.

$$\mu_m = \frac{e}{cT} \cdot \frac{1}{2} \frac{p_\varphi}{m} T = \frac{e}{2mc} p_\varphi \quad (6.3.7)$$

Аз тарафи дигар

$$p_\varphi = n_\varphi \frac{h}{2\pi}; \quad \mu_m = n_\varphi \frac{eh}{4\pi mc} \quad (8)$$

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки моменти магнитии электрони дар мадорҳои муқими ҳаракат мекунад ё ки моменти магнитии атом ба ададҳои кваттнокии $\frac{eh}{4\pi mc}$ баробар аст. Бузургии $\frac{eh}{4\pi mc}$ – магнитноки Бор номида мешавад. Қимматҳои $c, h, 4\pi, m$ ва e – ро гузошта ҳосил мекунем.

$$\mu_0 = \frac{eh}{4\pi mc} = 0,918 \cdot 10^{-20} \frac{\text{эрг}}{\text{эфстед}} \quad \text{аз тарафи дигар} \quad \mu_m = n_\varphi \mu_0$$

Азбаски моменти магнитии электрони бо мадор ҳаракат карда моменти магнитии атом бо моменти механики паралел мебошад, шарти квантонидани фазогӣ $\left(\cos \alpha = \frac{m}{n_\varphi} \right)$ бояд, ки барои моменти магнитии атом ҳам ҷой дошта бошад. Таҷриба дар ҳақиқат нишон дод, ки μ_m ба равиши майдони магнитии беруна фақат дар зери кунҷҳои муайяни α , ки қимматҳои онҳо шарти (6.3.5)-ро қаноат мекунонад, ҷойгир мешавад.

6.4. ТАҶРИБАИ ШТЕРН ВА ГЕРЛАХ

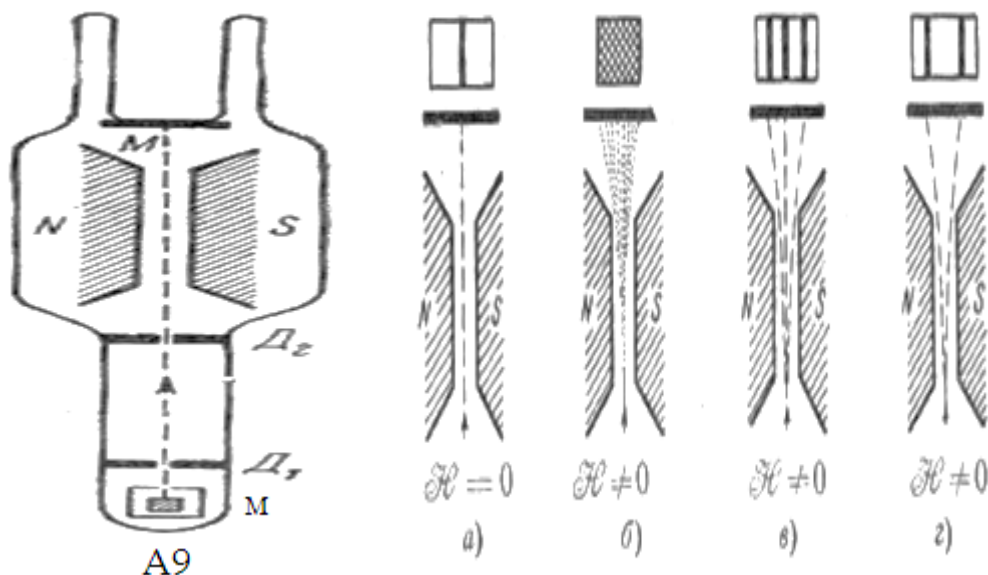
Мавҷуд будани моменти магнити атомҳо ва квантонидани фазогӣ дар таҷрибаи Штерн ва Герлах бо майлқунии дастаи атомҳо дар зери таъсири майдони магнити гайри яқчинса тасдиқӣ худро ёфт. Назарияи таҷриба чунин аст: Дастаи шиоҳои атомӣ аз майдони магнитии гайри яқчинса гузашта, ба бузургии майл мекунад, ки вай аз бузургии моменти магнитии атомҳо μ_m ва кунҷи дар байни μ_m ва равиши шиддатнокии H ҳосилишавандаи α $[\cos \alpha = \cos \alpha (\mu_m H)]$ вобаста мебошад. Бузургии майлқунии атомҳо дар майдони магнити бо формулаи зерин тавсифонида мешавад.

$$f_m = \mu_m \frac{\partial H}{\partial s} \cos(\mu_m H) \quad (6.4.1)$$

Дар ин ҷо f_m – қуввае, ки аз тарафи майдони магнити ба атом таъсир мекунад, $\frac{\partial H}{\partial s}$ – градиенти майдони магнити – бузургии яқчинсагии хатҳои қуввагии майдонро метавсифонад. Дар (6.4.1) агар $\cos(\mu_m H)$ ба яқчанд

қиммат соҳиб шуда тавонад, он гоҳ сели атомҳо баъди аз майдон гузаштан бояд ба компонентаҳои мувофиқ тақсим шавад. Инро дар таҷрибаи зерин мебинем.

Буги атомҳои нуқра аз сӯроҳиҳои D_1 ва D_2 гузашта ба балони вакуумии баланд дохил мешаванд (расми 6.4.1). Ин атомҳо дар байни магнитҳои N ва S гузашта ба лавҳаи M омада мерасад. Агар майдони магнети баробари сифр бошад, он гоҳ атомҳои ба M омада мерасанд як хатти борики ба чапм дида мешудагиро ҳосил мекунад (расми 6.4.1а).



Расми 6.4.1

Агар майдони магнитиро пайваст кунем, он гоҳ ба атомҳои аз байни магнитҳои N ва S мегузаштаги қувваи f_m таъсир мекунад. Дар зерин таъсири ин қувва атомҳо ба тарафҳои нисбат ба равиши аввалаишон перпендикуляр майл мекунад. Дар асоси механикаи классики бояд, ки ҳамвориҳои мадори электронҳо нисбат ба равиши майдони магнети дар ҳудуди кунҷи $\cos \alpha$ ($-1, 0, +1$), бо равишҳои ихтиёри майл мекард. Бинобар он агар ин ҳолат ҷой мегирад бояд, ки атомҳо аз майдони магнети гузашта васеъ мешуданд ва ҳолати (6.4.1б)-расмро ба вуҷуд меоварданд.

Дар асоси назарияи квантонидани фазоги ҳамвориҳои мадорҳои атомҳои нуқра дар вақти $n_\phi = 1$ будан нисбат ба равиши майдони магнети бояд, ки ба се хат майл кунанд, барои онки m дар вақти $n_\phi = 1$ ба се қиммат соҳиб мешавад яъне $m = 0, \pm 1$. Яъне бояд, ки атомҳои майлшуда моменти магнитиишонро ба равиши майдони магнети раво буда $\cos \alpha = +1$ ба як тараф, атомҳои майлашон ба муқобили равиши майдон раво шуда $\cos \alpha = -1$ ба дигар тараф ва атомҳои моменти магнитиишон ба равиши майдон перпендикуляр буда майл накарда ба лавҳа омада расанд ва ҳолати в-ро ҳосил кунанд. Дар ин ҳолат бояд, ки як хатти дар вақти $H = 0$ будан ҳосил шуда ба се тақсим шавад. Аммо таҷриба нишон дод, ки атомҳо аз майдони магнети гузашта дар лавҳа се хатро ҳосил накарда балки ду хатро (расми 6.4.1г) ҳосил мекунад. Сабаби инро баътар мефаҳмонем. Аммо ду хат ҳақиқи ҳосилшуда шартӣ ба таври дискретӣ майлашави сели атомҳо дурусти назарияи квантонидани фазогиро тасдиқ мекунад.

Бузургии майлқунии атомҳоро чен карда бузургии $\frac{\partial H}{\partial S}$, геометрияи асбоб доништа сурати ҳаракати атомҳоро муайян кардан мумкин аст. Масалан моменти магнити дар таҷриба муайян кардашудаи атоми нуқра ба магнетони Бор баробар мебошад. Ҳамин тариқ магнит моменти ии дигар атомҳоро низ муайян кардан мумкин аст.

6.5. СЕРИЯ ВА ТЕРМҲОИ ТАЙФИИ МЕТАЛҲОИ ИШҚОРӢ

Дар вақти омӯхтани термҳои тайфи атоми гидроген мо нишон дода будем, ки ададҳои мавҷи ҳаргуна серияҳоро бо фарқи термҳои муайян кардан мумкин аст.

$$\bar{\nu} = T(m) - T(n); \quad T(m) = \frac{R}{m^2}; \quad T(n) = \frac{R}{n^2};$$

Ба ҳамин асос карда Ридберг терми тайфиро барои элементҳои металҳои ишқорӣ ба намуди зерин навишт.

$$T(n) = \frac{R}{(n+\alpha)^2} \quad (6.5.1)$$

R – доими Ридберг, σ – бузургии аз 1 хурд буда дар ҳар серияи термҳои қиммати муайян дорад. Дар ин формула ҳангоми $n \rightarrow \infty$; $T(n) \rightarrow \frac{R}{n^2}$ майл мекунад, яъне ҳамаи термҳои дар вақти афзоиши адади бутун n бештар ва бештар «гидрогенмонанд» мешаванд.

Ридберг нишон дод, ки дар металҳои ишқорӣ се навъи серияҳои гуногун мавҷуданд: Якӯм серияи асосӣ, дуйӯм серияи иловагии якӯм (дифузи) ва 3-м серияи иловагии дуйӯм. Терми тағйирёбанда барои ҳар кадоми ин серияҳо бо формулаи (6.5.1) муайян карда мешавад, лекин ислоҳи дохил карда σ барои ҳар як серияҳо ишораҳои ба худ хос дорад: Масалан α барои серияҳои асосӣ бо P , барои серияи иловагии 2-м (дифузи) бо S ва барои серияи иловагии 2-м бо D ишора карда мешавад. Дар асоси ин серияҳои тайфи элементҳои металҳои ишқорӣ ба намуди зерин навишта мешаванд.

$$\left. \begin{array}{l} \tilde{\nu} = A - \frac{R}{(n+P)^2} \quad (n = 2, 3, 4, \dots) \text{ серияи асоси} \\ \tilde{\nu} = B - \frac{R}{(n+S)^2} \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \text{ серияи иловагии 2-м} \\ \tilde{\nu} = B - \frac{R}{(n+D)^2} \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \text{ серияи иловагии 1-м} \end{array} \right\} (6.5.2)$$

A ва B ҳудуди серияи асосӣ ва иловагии 1-м ва 2-м мебошад, ки онҳо масалан барои атоми литий ба: $A = \frac{R}{(2+S)^2}$ ва $B = \frac{R}{(2+P)^2}$ баробар мебошанд. Термҳои тағйирёбандаро ба намуди зерин ишора карда $\frac{R}{(n+x)^2} = nx$ формулаи (6.5.2)-ро ба намуди зерин менависем.

$$\begin{aligned} \tilde{\nu} &= 2S + nP - \text{серияи асоси} \\ \tilde{\nu} &= 2P + nS - \text{серияи иловагии дуюм} \\ \tilde{\nu} &= 2P + nD - \text{серияи иловагии якум} \end{aligned}$$

Дартар барои металҳои ишқорӣ дар соҳаи инфрасурх Бергман серияи дигарро ёфт, ки меъёри $\bar{\nu}$ ба

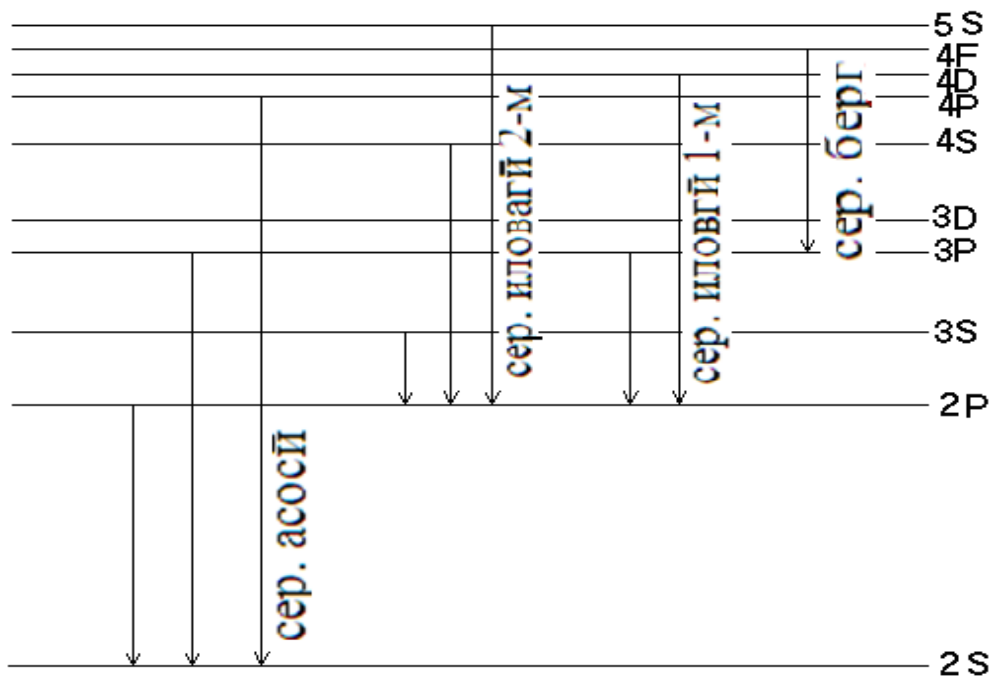
$$C = \frac{R}{(3+d)^2} \quad \text{баробар мебошад.}$$

Адади мавҷиро барои серияи Бергман ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$\tilde{\nu} = 3D - nF, \quad n = 4, 5, 6, \dots \quad \text{серияи Бергман}$$

Дар ин серияҳои ҳосилшуда сатҳи $2S$ аз ҳама чуқуртар буда (расми 6.5.1), ба он аз ҷиҳати энергетика сатҳи $2P$ наздик аст, бинобар ин атом аз ҳолати нормали $2S$ ба осони ба он мегузарад. Баъд аз сатҳи $2P$ бозгашт ба сатҳи $2S$ гузаштани атом шиобарори бо сарҳади серияи асоси $\tilde{\nu} = 2S - 2P$ мувофиқ меояд. Ба ҳамин тариқ шарҳ дода мешавад, ки ин хат барои тамоми тайф хеле хос буда, вай назар ба хатҳои дигар осонтар ангезонида мешавад. Барои ангезиши хатҳои пасояндаи тайф ба атом барои он, ки вай ба сатҳҳои энергетика нисбатан балантар гузарад, энергияи калонро додан лозим меояд.

Барои шарҳ додани пайдоиши серияҳои тайфҳои металҳои ишқорӣ чунин қоидаи гузариш қабул карда шудааст. Дар атомҳо на ҳамаи гузаришҳои имконпазири байни сатҳҳои энергетика, балки фақат баъзе аз онҳо имконпазиранд. Масалан термҳои S фақат бо термҳои P , термҳои P фақат бо термҳои S ва D , термҳои D фақат бо термҳои P ва F ва ҳоказоҳо гузашта метавонанд.



Расми 6.5.1

Речи ҳолатҳои энергетика металҳои ишқорӣ атоми литий.

Дар асоси қоидаи гузариши интихобкунии атом ба сатҳи нормалии $2S$ фақат аз сатҳҳои nP гузашта метавонанд. Дар айни ҳол қоидаи басомадҳои хатҳои

$$\tilde{\nu} = 2S + nP \quad n = 2, 3, 4, \dots$$

яъне хатҳои серияи асоси мебароянд. Қиммати терми $2S$ дар ин ҳолат меёри серияи асосиро медиҳад. Ба сатҳи $2P$ атом ҳам аз сатҳҳои nD ва ҳам аз сатҳҳои балантари nS гузашта метавонанд.

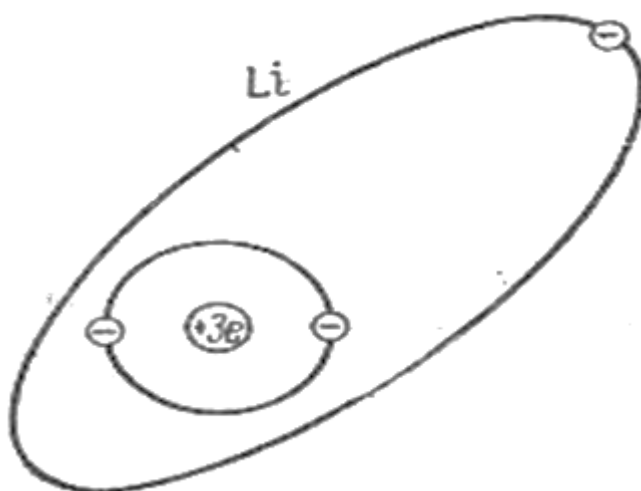
$$\tilde{\nu} = 2P - nD \quad n = 3, 4, \dots$$

$$\tilde{\nu} = 2P - nS \quad n = 3, 4, \dots$$

Хатҳои ду серияи иловагиро мебароранд. Сатҳи $2P$ худуди умумии онҳоро медиҳад.

6.6. СПЕКТРИ МЕТАЛЛҲОИ ИШҚОРӢ.

Атомҳои металлҳои ишқорӣ Li, Na, K, Rb, Cs аз ҳастаи зариядаш $+Ze$, гурӯҳи $Z - 1$ электронҳои ба ҳаста наздик тавсифонида шуда ва як электрони берун аз ин гурӯҳ даврзананда иборат мебошанд. Ҳаста ва $Z - 1$ электронҳо системаи мустаҳками гидрогенмонанди зарияди умумиаш ба $+e$ баробарро ташкил мекунад. Инро дар расми 6.6.1 дидан мумкин аст. Чи хеле, ки аз ин расм дида мешавад, ҳаста аз ду электрони ба ҳаста наздик тавсифонида атоми литий бақияи атомиро ташкил мекунад, электрони қабати охириин бошад ба монанди электрони атоми гидроген дар атрофии бақияи атоми давр мезанад.



Расми 6.6.1

Дар дарси гузашта нишон дода будем, ки терм ва серияҳои атомҳои металлҳои ишқорӣ ба терм ва серияҳои атомҳои гидроген монанд мебошад. Ин ба он шаҳодат медиҳад, ки серияҳои тайфи дар металлҳои ишқорӣ ҳангоми аз як ҳолат ба ҳолати дигар гузаштани электрони валентӣ вобаста мебошад. Аз ҳамин сабаб дар ҳолати аввал атоми як электрони валенти доштаре чун системаи якэлектрона дида ҳолатҳои бақияи атомиро барои ҳолатҳои гуногуни электрони валентӣ бе тағйир мешуморем.

Агар майдони бақияи атоми симетри бошад, электрон бо мадори доирави ё эллиптики ҳамвор ҳаракат мекунад ва ҳолатҳои система ба ду шарти кванти Вильсон-Зоммерфельд муайян карда мешавад.

$$\oint p_{\varphi} d\varphi = n_{\varphi} h; \quad \oint p_r dr = n_r h; \quad (6.6.1)$$

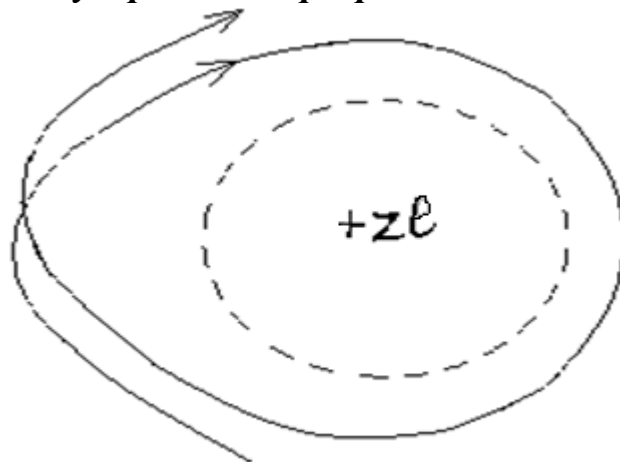
Дар ин ҳолат гуногуни намуди ҳолатҳои муқими бо ададҳои квантии n_{φ} ва n_r тавсифонида мешавад. Барои мадорҳои аз бақияи ҳастаи дур ҷойгиршуда, яъне дар соҳаи n аз як калон майдони бақияи ҳастаги ба майдони кулони монанданд. Аз ҳамин сабаб майдони аз тарафи бақияи атоми ба вуҷуд оварда ба майдони аз тарафи протони гидроген ба вуҷуд овардашаванда қариб якхела мебошад. Бинобар он дар металҳои ишқорӣ

мадорҳои ба n аз як калон мувофиқ меомадагӣ гидрогенмонанд мешаванд ва энергияи пурраи онҳо бо формулаи

$$E = -\frac{2\pi^2 m e^4 Z}{n^2 h^2} \quad (6.6.2)$$

муайян карда мешавад. Дар ин ҳолатҳои мубаддалшуда бо адади квантии азимутали n_ϕ муайян карда мешавад. Барои мадорҳои аз бақияи ҳастаи на он қадар дур ва наздик ҷойгиршуда майдони қувваги симметрики намешавад ва характери ҳаракат ҳам аз болои фарқ мекунад. Сабабҳои инро мебинем:

1. Электрони валентии ба бақияи атоми наздик ҳаракат карда бо майдони кулониаш $\frac{e}{r^2}$ бақияи атомиро поляризатсия мекунад. Электрони валентии аз бақияи атоми на он қадар дур ҳаракат карда сфераҳои электрони манфӣ заряднокро, ки дар атрофи ҳаста бо мадорҳои симметрики радиусашон ρ ҷойгир шуданд, аз худ тела дода, ҳастаи мусбат заряднокро ба худ мекашад (расми 6.6.2). Дар натиҷа ҳаста нисбат ба маркази c ба тарафи электрони валенти гечии мекунад. Аз ҳамин сабаб майдони ҳастаи атоми аз заряди нуқтавӣ ба майдони диполь мубаддал мешавад. Фосилаи диполи ин гуна атом ба $J = \alpha \frac{e}{r^2}$ баробар мебошад. Дар назар доштан лозим аст, ки равиши фосилаи диполи дар тамоми вақт бо равиши ҳаракати электрон якхела мебошад, бинобар он поляризатсия фақат қувваи кулони ба электрони валенти таъсир мекардагиро тағйир медиҳаду, аммо ҳолатҳои мубаддалшударо намебардорад.



Расми 6.6.2.

Дар ин ҳолат энергияи потенциалии электрон $U(r)$ – аз энергияи потенциалии $\frac{e^2}{r}$ – и аз тарафи майдони кулони заряди бақияи атоми ба вуҷуд овардашаванда ва энергияи потенциалии

$-\frac{Je}{r^2} = -\frac{\alpha e^2}{r^4}$ – и майдони диполи бақияи атоми иборат мешавад, яъне

$$U(r) = -\frac{e^2}{r} - \frac{\alpha e^2}{r^4} \quad (6.6.3)$$

Аз ҳамин сабаб майдони қуввагӣ, ки дар зери таъсири он электрони валентии металҳои ишқори ҳаракат мекунад пурра кулони намешаванд. Бинобар он вобастагии энергия аз ададҳои квантии n ва n_ϕ дигаргун мешавад ва ин сабаби гечии сатҳҳои энергетикӣ металҳои ишқорӣ нисбат ба сатҳҳои энергетикӣ атоми гидроген мешавад.

Ғайри симетри шудани майдон (баргаиштан аз майдони кулонӣ) дар дохилишавани баъзе қисмҳои мадорҳои электрони ба дохили бақияи атоми мебошанд (расми 6.6.3). Ин ҳолат асосан барои мадорҳои ба қимматҳои хурди n ва n_ϕ дуруст меоянд, яъне ин ҳолат барои мадорҳои сахт фишурдашуда нағз мушоҳида карда мешавад. Агар n калон n_ϕ хурд бошад ҳам ошӯбхуриҳои мадорҳо мушоҳида карда мешавад, чунки перигелий ба бақияи атоми бисёр наздик меояд.



Расми 6.6.3.

Дар баъзе ҳолатҳо якхел мадорҳои бо ададиҳои квантии якхела тавсифонида шуда сахт ошӯб хӯрда дигар мадорҳояшон кам ошӯб меҳӯранд. Масалан дар мадорҳои $3S, 3P, 3D$, мадори $3S$ ки эллипси фишурдашуда мебошад нисбат ба $3D$ сахт ошӯб меҳӯрад. Вобаста ба ин энергияҳои ба он мувофиқ меомадагӣ ҳам аз якдигар калон фарқ мекунад.

Ба ҳамин тариқ сабабҳои овардашуда ба натиҷае меорад, ки дар асоси он сатҳҳои энергетикӣ металҳои ишқори нисбат ба сатҳҳои энергетикӣ атоми гидроген ба тарзи гуногун ҷойгир мешаванд. Энергияи сатҳҳои энергетикӣ металҳои ишқори бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

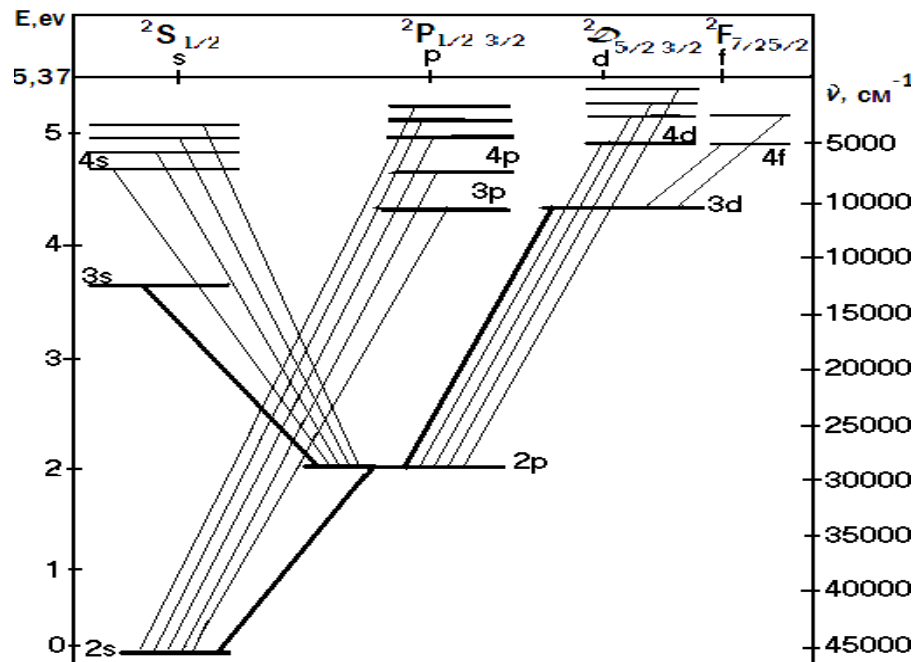
$$E = -\frac{2\pi^2me^4}{h^2} \cdot \frac{1}{(n+\alpha)^2} = -\frac{2\pi^2me^4}{n^{*2}(h^2)}; \quad (6.6.4)$$

Дар ин ҷо, n^* – адади квантии эффефективи номида мешавад. α – ислоҳи манфиатест, ки аз адади квантии азимутали n_ϕ – вобаста мебошад. Мадори электрон ба бақияи атоми чи қадаре, ки наздиктар шавад α – ҳамон қадар калонтар мешавад ва адади квантии ҳақиқӣ n аз n^* хеле фарқ мекунад.

Аз параграфи гузашта дар мадорҳои $4S, 4P, 4D, 4F$ мадори $4S$ ба бақияи ҳастаи аз ҳама наздик мебошад, бинобар он адади квантии асоси n дар мадори $4S$ нисбат ба дигар мадорҳо аз n^* фарқи калон дорад.

Аз ин ҷо маълум мешавад, ки E' аз E вобаста аз $n^* < n$ бисёр хурд шудани ҳам мумкин аст ($E' < E$). Ҳамаи ин ҳолатҳоро ба назар гирифта речаи сатҳҳои энергетикӣ металҳои ишқориро муайян кардан мумкин аст. Ҳолатҳои муқимии металҳои ишқорӣ, фақат бо ҳаракати электрони беруни муайян карда мешавад. Мадорҳои ин электронҳои беруна бо nS, nP, nD, nF – адади квантии асоси шиора карда мешавад. Термҳои ба ин ҳолатҳо мувофиқ омада бо nS, nP, nD, nF ва ҳоказоҳо шиора карда мешавад. Ба ҳар адади квантии асоси n, n_ϕ ҳолатҳои гуногун мувофиқ меояд.

Масалан ба адади квантии асоси $n = 1$ фақат $1S$ терм, барои $n = 2; 2S$ ва $2P$, барои $n = 3; 3S, 3P, 3D$ ва ҳоказоҳо мувофиқ меояд. Қоидаҳои гузариш аз як сатҳ ба сатҳи дигар бо шартҳои зерин $\Delta n_\phi = \pm 1$ иҷро мешавад. Яъне гузаришҳои термҳои nS бо nP , термҳои nP бо nS ва nD ва ғайра имконпазиранд, ҳамаи дигар дигаргунсозихо манъ аст. Рӯи сатҳҳои энергетикӣ дар асоси қоидаи боло сохта шуда барои атоми литий дар расми 6.6.4 оварда шудааст. Дар ин, ҷо нишондодҳои ҳосилшавии серияҳои асоси иловагии 1- м, 2- м ва серияи Бергманро нишон медиҳад. Рӯи сатҳҳои энергетикӣ атоми литий нигаред ба расми 6.6.4



Расми 6.6.4

Аломати 2 дар болои тарафи чапи термҳои $2S_{1/2}, 2P_{1/2, 3/2}$ ва ҳоказоҳо характери дучанда доштани термҳои металлҳои ишқориро мефаҳмонад. Ғайр аз ин барои атоми литий қиммати n аз 2 сар мешавад барои Na аз 3 ва ҳоказо сар мешавад. Сабаби аз 2 ва 3 саршавии қимати n , дучандагии термҳо ва мавҷудияти қимматҳои $1/2$ дар тарафи рости терми $S, 1/2$ ва $3/2$ дар терми P ва ҳоказо дар дарсҳои оянда фаҳмонида мешавад. $2P_{1/2, 3/2}$

6.7. СПИНИ ЭЛЕКТРОН

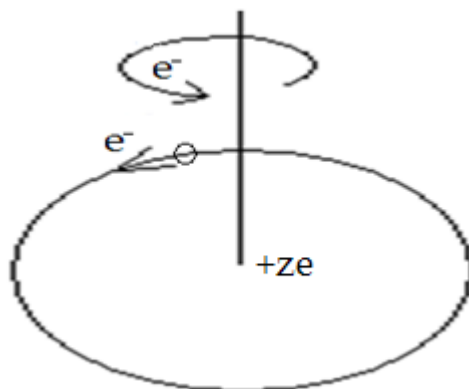
Ғарчанде таҷрибаи Штерн ва Герлах дурустии назарияи квантонидани фазогиро тасдиқ карда бошад ҳам дар баъзе ҳолатҳо дар байни таҷриба ва назария номувофиқии мушоҳида карда мешавад.

Дар асоси праграфи гузашта барои атомҳое, ки бо адади квантии азимуталии $n_\phi -$ тавсифонида мешаванд $2n_\phi + 1$ майлқуни ҷой дорад ва онҳо бояд, ки ба $2n_\phi + 1$ ҷузъ тақсим шаванд. Чи хеле, ки дар Штерн ва Герлах дидем дар вақти атомҳои нуқра аз майдони магнити гузаштан

хатти мобайни ба $\cos \alpha = 0$ мувофиқ меомадагӣ мушоҳида карда нашуд. Агар бошад бояд, ки дар экран се хатро мушоҳида мекардем. Дар ҳақиқат бошад мо дар экран ду хатро дидем. Аз тарафи дигар ба таври саҳеҳ мушоҳида кардани тайф хатҳои тайфии металҳои ишқорӣ бо асбобҳои қобилияти калонкуниашон калон нишон дод, ки ҳар як хати тайфи дучанда мебошанд.

Ҳали ин душвориҳо (номувофиқоҳо) аз тарафи Юленбек ва Гаудсмит бартараф карда шуд. Онҳо фарзияте пешниҳод карданд, ки мувофиқи он ҳар як электрон ба моментҳои механики ва магнители ба худ хос доро бошад. Дар ҳақиқат санҷиши фарзияти онҳо нишон дод, ки ҳар як электрон, гайр аз зарияди e ва массаи m ба моменти механики доими миқдори ҳаракат P_s , ки адади ба $P_s = \frac{1}{2} \hbar$ баробар аст ва моменти магнители доими μ , ки ададан ба як магнетони Бор μ_0 баробар аст, молик мебошад.

Ба моменти механики ва магнители доро будани электрон чунин фаҳмонида мешавад: ҳамаи электронҳо гайр аз мадорҳои имконпазир давр заданишон боз дар атрофи тири худ, давр мезананд расми 6.7.1. Аз ҳамин сабаб онҳо ба моменти магнители ва моменти хусусии худ доро мебошанд. Моменти хусусии механики электрон P_s «спин» номида мешавад, спин калимаи англиси буда маънояш даврзани аст.



Расми 6.7.1

Моменти механики хусусии электрон ба $P_s = \hbar |S|$, $S = \pm \frac{1}{2}$

S – адади спини номида мешавад.

Моменти магнители электрон ба $\mu_s = \mu_0 |\sigma|$; $\sigma = \pm 1$ яъне $\mu_s = \pm \mu_0$ Азбаски ба тарзҳои гуногун ҷойгиришавии мадорҳои электрони атомҳо дар майдони гайриҷинсаи беруна (яъне ба моментҳои тақсимшавии хатҳо дар майдони гайриҷинсаи беруна) аз адади квантии азимутали n_ϕ вобаста мебошад ва вай ба $2n_\phi + 1$ баробар аст, бояд тақсимшавии хатҳо дар майдони магнители аз сабаби мавҷудияти моменти магнители μ_0 ва спин S дар электрон ба $2S + 1$ баробар шавад, чунки моменти миқдори ҳаракати хусусии ба адади квантии спин S муайян карда мешавад. Азбаски атомҳо дар таҷрибаи Штерн ва Герлах фақат бо ду ҷузъ тақсим мешаванд, моро водор мекунад, ки дар $2S + 1$ адади квантии спини $S = \frac{1}{2}$ мешавад. Дар асоси ин атом аз сабаби дорои моменти хусусии буданиаш дар майдони беруна ӣ

ба равиши майдон $\left(S = +1/2\right)$ ё баракси равиши майдон $\left(S = -1/2\right)$

майл карда метавонад. Аз ҳамин сабаб дар лавҳаи таҷрибаи Штерн ва Герлах хатти мобайни дида намуфта танҳо ду хатти канорӣ дида мешавад. Дар асоси механикаи мавҷи моменти миқдори ҳаракати мадори атом дар ҳолати муқаррари асоси баробари сифр мебошад аз ҳамин сабаб ба ҷузъҳои тақсимшавии хатҳо на аз ҳисоби P_ϕ балки аз ҳисоби мавҷудияти моменти миқдори ҳаракати хусуси P_s ва моменти магнитии хусуси μ_0 ба вуҷуд оварда мешавад.

Акнун мо медонем, ки электрони дар мадор ҳаракат мекардагӣ гайр аз моменти магнити мадори μ_m боз моменти магнитии спини μ_s ҳам дорад. Ин фосилаҳо бояд, ки дар вақти дар мадор дар атрофии ҳаста даврзани электрон ба якдигар таъсир кунанд ва сабаби ба қисмҳои тақсимшавии хатҳои тайф шаванд масалан сабаби дучандагии хатҳо дар металлҳои ишқорӣ. Инро дар оянда мебинем.

6.8. ЭФФЕКТИ ГИДРОМАГНИТӢ.

Нисбати фосилаи магнити атом ба моменти механики миқдори ҳаракат эффекти гидромагнитӣ номида мешавад.

$$q = \frac{\mu_m}{P_\phi} \quad (6.8.1)$$

чи хеле, ки мо медонем

$$\mu_m = n_\phi \frac{eh}{4\pi mc}; \quad P_\phi = n_\phi \frac{h}{2\pi}; \quad q = \frac{e}{2mc}. \quad (6.8.2)$$

Барои моменти магнитии спини ва моменти механики спини бошад нисбати гидромагнити ба

$$q_s = \frac{\mu_s}{P_s}; \quad \mu_s = \frac{eh}{4\pi mc}; \quad P_s = \frac{1}{2} \hbar$$

$$q = \frac{e}{mc}; \quad q_s = \frac{e}{mc}. \quad (6.8.3)$$

Агар (6.8.3)-ро бо (6.8.2) муқоиса кунем нисбати гидромагнитии моментҳои миқдори ҳаракати дар натиҷаи дар мадор даврзани ҳосил кардаи электрон аз нисбати гидромагнитии моментҳои миқдори ҳаракати хусусии электрон ду маротиба хурд мебошад, яъне

$$\frac{q_s}{q} = \frac{e}{mc} \cdot \frac{2mc}{e} = 2. \quad (6.8.4)$$

Ин фарқкунӣ дар оянда ба мо имконият медиҳад, ки майдони магнитии аз тарафи моментҳои хусуси электронҳо, яъне майдоне, ки электрон ҳангоми дар тири худ давр задан ба вуҷуд меоварад аз майдони магнитики дар натиҷаи дар мадор давр задан ҳосил мекунад фарқ карда шавад.

БОБИ 7. 7.1. АТОМ ДАР МАЙДОНИ МАГНИТИ БЕРУНА. ТЕОРЕМАИ ЛАРМОР. КВАНТОНИДАНИ ФАЗОГИИ АДАДҲОИ l, s, j

Электрон дар мадори худ давр зада, қараёни доиравиро пайдо мекунад. Аз қоидаи электродинамика ин қараёни доиравӣ бояд дорои моменти магнитии муайян бошад, яъне, худро дар майдони магнити ҳамчун дуқутба (дипол – системае иборат аз ду манбаъ (зарияди нуқтагӣ) – и майдон ҳамчун гуногун аломате, ки аз якдигар дар масофае воқеъанд) идора кунад. Аз тарафи дигар, азбаски он бо шитоб ҳаракат мекунад, бояд дорои хусусияти тадвирак бошад (тадвирак – волчок- электрон нисбат ба нуқтаи тақиягоҳ чархзанандае, ки меҳвари гардиши он нисбати самти қувваи вазнинӣ сатҳи конусӣ мекашад).

Акнун, тасавур мекунем, ки атом дорои электрони мадорӣ дар майдони магнити қой карда шудааст. Азбаски аз рӯи гуфтаҳо, атом дорои моменти магнитии муайян мебошад, он бояд худро дар майдони магнитӣ ҳамчун магнит идора кунад, яъне бояд моменти магнитии худро ба намуди паралелӣ ё гайрипаралелӣ нисбат ба майдон барқарор кунад. Азбаски атом дар як вақт дуқутба аст ба ин муқобилат нишон медиҳад. Аз ин мебарояд, ки дар атрофи H майдони магнитӣ атом ҳаракати приссесиониرو дар назди равиши H иҷро мекунад (яъне моменти механикӣ P_m дар зери таъсири майдони магнити ҳаракати приссесиониро иҷро мекунад).

Агар мадори электронро дар системаи координати беҳаракат бинем, он ҳамвори худро гурӯҳ карда, умуман хеле мураккаб мешавад. Ин мушкилот осон мешавад, агар системаи координатаи ҳаракаткунанда дохил кунем, ки бо якҷоягии мадор ҳаракати приссесиониро иҷро кунад. Дар ин ҳел системаи координат мадор шакли худро нигоҳ медорад ва танҳо сурати кунҷии приссесиониро бояд муайян кунем расми 7.1.1.

Ду системаи координатаро дохил мекунем:

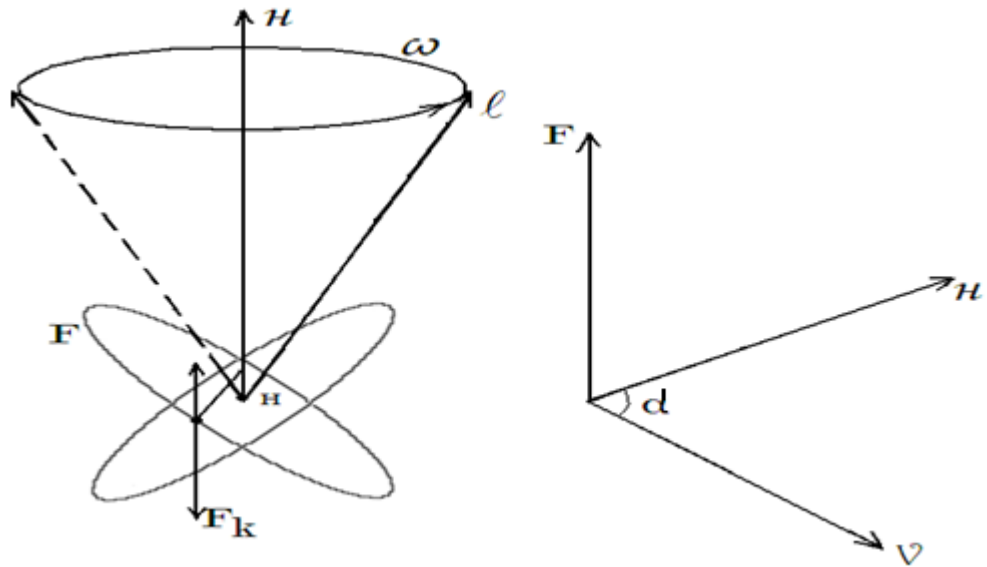
1) Якеи онро бо равиши майдони магнитии H мебандем. Ин системаро «беҳаракат» меномем; 2) Системаи дуюм ҳаракаткунанда бо мадори электрон мустақкам робита дорад, ва нисбат ба системаи «беҳаракат» приссесия мекунад: тири приссесия бо равиши майдон мувофиқ меояд.

Фарз кунем, ки сурати кунҷи приссесия ω_1 сурати электрон, ки дар мадор ҳаракат мекунад, системаи координатаи беҳаракат v , дар системаи ҳаракаткунанда v' .

Дар системаи координатаи ҳаракаткунанда ба электрон қувваи иловагӣ таъсир мекунад:

Қувваи инерсия – марказгурез

$$F_{m.r.} = \omega_n \cdot m; \quad \omega_n = \frac{v_{np}^2}{r}; \quad v_{np} = \omega \cdot r; \quad (7.1.)$$



Расми 7.1.1

$F_{M.r} = \frac{mv_{np}^2}{r} = \frac{m\omega^2 r^2}{r} = m\omega^2 r$; $F_{M.r.} = m\omega^2 r$; r – масофаи электрон аз тири присесия.

Ҳангоми электрон дар мадори доиравӣ ҳаракат кардан v – суръати хатти ба суръати кунчи иваз мешавад, $v = \omega r$.

Дар системаи даврзананда ба электрон қувваи Кориолис таъсир мекунад:

$$F_k = 2m[v'\omega] \quad (7.1.1)$$

Фарз кунем, ки суръати хатти ба электрони ҳаракати присесиони иҷро мекунад, дода мешавад, хурд аст нисбат ба суръати мадории электрон ҳангоми набудани присесия, яъне $\omega r \ll v$ мо метавонем қувваи инерсионӣ марказгурезро нисбати қувваи Кориолис ба эътибор нагирем. Ғайр аз ин, дар ҳуди он наздикшавӣ, дар баробарии қувваи Кориолис сурати v' ба v иваз кардан мумкин аст, $v = v'$ нисбати системаи координатаи беҳаракат чунин навишта шавад:

$$\vec{F}_k = 2m[\vec{\omega}\vec{v}] \quad (7.1.2)$$

Аммо мо медонем, ки ба электрони дар майдони магнити бо сурати v ҳаракаткунанда, чунин қувва таъсир мекунад:

$$\vec{F}_A = -\frac{\epsilon}{c}[\vec{v}\vec{H}] \quad (7.1.3)$$

Аломати манфи (-) нишон медиҳад, ки зарияди электрон манфӣ аст.

Барои он, ки мадор ченак ва шакли худро нигоҳ дорад, он бояд ададан ба ҳам баробар бошад. $F_k = -F_A$; Дар ин маврид формулаи (7.1.2) ва (7.1.3) чунин мешавад:

$$2m[\omega v] \sin[\vec{\omega}\vec{v}] = \frac{\epsilon}{c} v H \sin[\vec{v}\vec{H}], \quad (7.1.4)$$

Азбаски тири присесия ба равиши майдон паралел раван аст, он гоҳ

$$\sin[\vec{\omega}\vec{v}] = \sin[\vec{v}\vec{H}] \quad (7.1.5)$$

Ин формуларо чунин навиштан мумкин аст:

$$2m\omega v = \frac{\epsilon}{c} v H; \text{ пас } \omega_L = \frac{\epsilon}{2mc} H \quad (7.1.6)$$

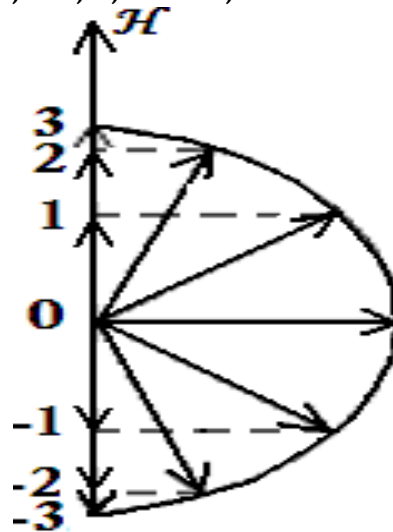
Аз ин ҷо маълум мешавад, ки электрон дар майдони камқувати магнити мадореро дорад монанди набудани майдон, аммо нисбати системаи

координата, бо басомади кунчи ω_L дар майдони магнитӣ ҳаракати присесиониро иҷро мекунад.

Теоремаи Лармор – таъсири майдони магнити H ба мадори электрон ба чунин ҳолате меоварад, ки ба ин мадор присесия бо суръати ω_L бахшида мешавад.

1. Вектори моменти миқдори ҳаракати l метавонад, мавқеи худро нисбат ба майдони магнити H муайян кунад. Дар асоси механикаи мавҷи равиши вектори \vec{l} чунин аст, ки қиммати проексияи он ба равиши майдони магнитӣ ҳамавақт бояд ба адади бутун баробар шавад. Проексияи \vec{l} ба равиши майдони магнитӣ бо m_l ишора карда мешавад, адади квантии магнитӣ номида мешавад. Қимматҳои имконпазири m_l чунинанд расми 7.1.2:

$$m_l = l, l - 1, l - 2, \dots, 0, \dots - l;$$



Расми 7.1.2

ҳамин тавр, m_l қиммати имконпазири $2l + 1$ дорад. Кунчи θ байни \vec{l} ва \vec{H} аз баробарии зерин муайян карда мешавад:

$$\cos \theta = \frac{m_l}{l} \quad (7.1.8)$$

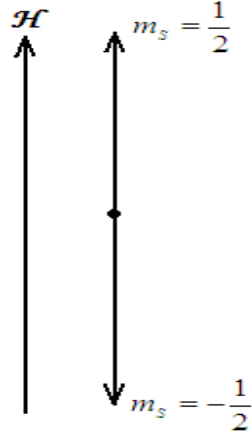
Дар зери таъсири H вектори \vec{l} дар атрофи вектори H зери кунчи θ давр зада пресесияро иҷро мекунад.

2. Вектори моменти спини электрон S нисбати майдони магнити H ду равиши имконпазир дорад. Спин нисбати равиши майдони магнитӣ метавонад паралел ё гайрипаралел бошад. Проексияи вектори S ба равиши майдони магнитӣ бо адади квантии спин m_s тавсифонида мешавад расми 7.1.3. Чунин қимматҳо қабул мекунад:

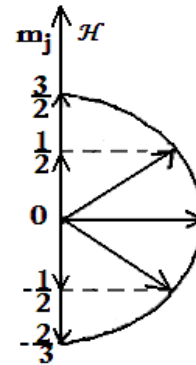
$$m_s = +\frac{1}{2}, \quad m_s = -\frac{1}{2}.$$

3. Раиши моменти пурраи миқдори ҳаракат ҳамчун l, s дар майдони магнити H квантонида аст. Азбаски як электронро дида баромадем j ба адади кванти $\frac{1}{2}$ қаратнок мувофиқ аст. Бинобар он проексияи j, m_j чунин қимматҳоро мегирад, баробари $\frac{1}{2}$; $j = l + s$; проексияи j ба равиши майдони магнити чунин қиммат мегирад; расми 7.1.4

$$m_j = 2j + 1; \quad m_j = j, (j - 1), \dots - (j - 1), \dots - j$$



Расми 7.1.3



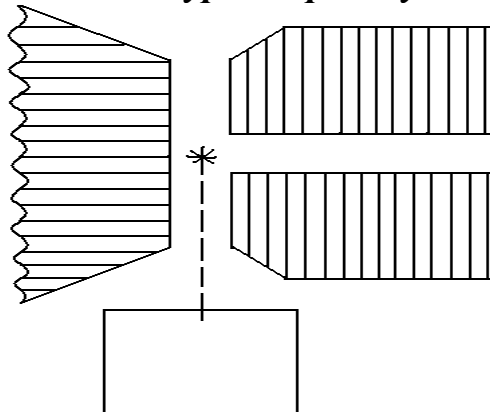
Расми 7.1.4

7.2. ЭФФЕКТИ ЗЕЕМАН.

Ақидаи таҷрибаи Зеeman дар он аст, ки тақсимиавии савияи энергияви атомҳо малакулаҳоро дар майдони магнитӣ нишон диҳад.

Дар соли 1862 Фарадей ҳаракат кард, ки таъсири майдони магнитиро дар хатҳои тайф муайян кунад. Ҷ шуълаи натриро дар майдони магнитии пуркуват ҷойгир кард, танҳо шуълаи натриро мушоҳида намуд. Вай ягон тағйирёбиро дар хатҳои тайф ошкор накард.

Танҳо баъди 34 сол (1896) Зеeman бо ёрии майдони пуркувати магнитӣ ва асбобҳои маҳини тайфӣ ошкор намуд, ки бо ёрии манбаи рӯшноӣ дар байни қутбҳои электромагнители ҷойгир шуда, тақсимиавии хатҳои тайф санҷида муайян шуд. Реҷаи таҷриба чунин аст: манбаи рӯшноӣ, мисол шуълаи натрий ё камони симобро дар байни қутбҳои электромагнители N ва S ҷойгир кард. Афканиши нури рӯшноиро бо ёрии тайфбини қобилияти тафриқии баланд, тадқиқот гузаронидаанд. Нур ба равиши майдони магнители паралел ё гайрипаралел мушоҳида мешуд. Барои он ки аниқ мушоҳида шавад, яке аз қутбҳои магнители сӯроҳ карда шуда аст (расми 7.2.1).

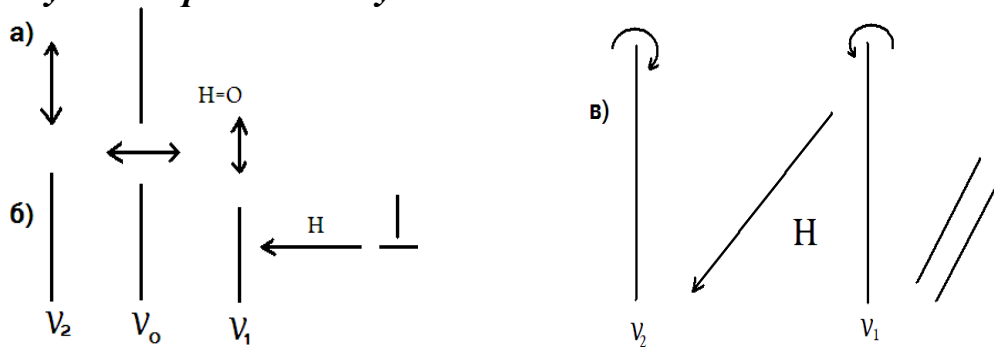


Расми 7.2.1

Ҳангоми майдони магнители баробари сифр ($H = 0$) будан дар тайфбин танҳо як хат мушоҳида шуд, расми 7.2.2а. Баъди пайваст кардани майдони магнитӣ $H \neq 0$ ин хат ба якчанд хатҳо тақсим шуд. Хислати тақсимиавии хатҳо аз равиши майдони магнитӣ вобаста аст.

Ҳангоми хориҷиавии нур ба равиши майдони магнитӣ перпендикуляр будан, дар (расми 7.2.2б) эффекти нормали Зеeman се ҷузъ мушоҳида шуд. Ҳолати яке аз ин ҷузъҳо ба равиши хатти аввала мувофиқ меояд, аммо

дутои дигар дар масофаҳои якхела аз ҳарду тарафи хатти маркази дур ҷойгиранд. Ба воситаи таҳлилқунак, мисол призмаи Никол, нишон додан мумкин аст, ки ҷузъҳои беруна дар таҳти кунчи рост нисбати ҷузъи геҷишнашуда поляризиатсия шуда мебошанд.



Расми 7.2.2 (а, б, в)

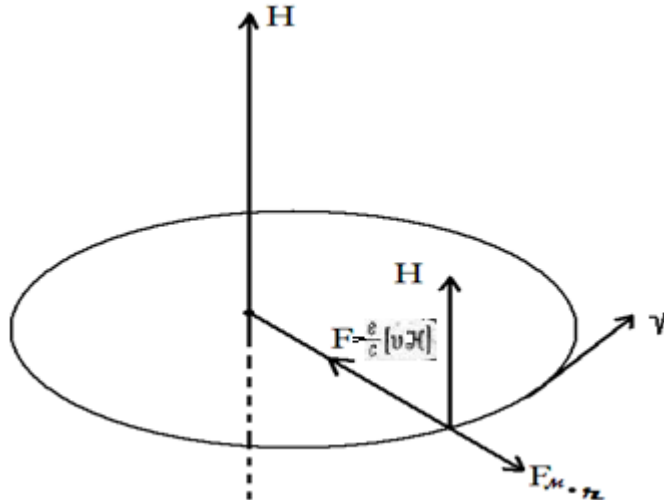
Ҳангоми мушоҳида дар майдони магнитии қадди, хатти (марказӣ) геҷишнашуда ошкор нашуд: танҳо ду ҷузъи беруна мавҷуд аст, ки дар ҳамон ҷой меистанд, монанди эффеќти кӯндаланг. Ин ду ҷузъ аз рӯи доира поляризиатсия шуда равишашон муқобили якдигаранд, (расми 7.2.2в).

Эффеќти нормали Зееман дар асоси назарияи электронии Лоренс фаҳмонида мешавад.

Электронро дида мебароем, ки дар мадори доиравӣ ҳаракат мекунад. Бигзор, ин атоми ҳидроген бошад, дорои зарияди $+e$, дар атрофи ҳаста як электрон давр мезанад, Ба электрон ду қувва таъсир мекунанд; қувваи Кулонӣ $\frac{e^2}{r^2}$ ва қувваи инерсияи марказгурез, яъне:

$$F_{\text{м.г}} = F_{\text{к}}; \quad \frac{e^2}{r^2} = m r \omega_0^2 \quad (7.2.1)$$

Дар инҷо ω_0 – басомади чархзании электрон ҳангоми набудани майдони магнитӣ ($H=0$). Ваќти пайваст кардани майдон ба электрон ба ғайр аз қувваи Кулонӣ боз қувваи Лоренс $F = \frac{e}{c} [\vec{v} \vec{H}]$ таъсир мекунад. Ин қувва ба радиус раван аст, расми 7.2.3. Ба ҳар ҳол зоҳир шудани таъсири майдони магнитӣ на дар бораи зиёд ё камшавии радиуси мадор, балки дар бораи тағйирёбии суръати кунчи даврзании электрон бетағйирёбии радиуси мадор. Ҳангоми пайваст кардани майдони магнитӣ он якбора ба бузургии максималӣ намерасад, аммо дар фосилаи ваќти муайян барқарор мешавад.



Расми 7.2.3

Ин фосила нисбат ба даври чархзани электрон хеле калон аст, ки хамаи ин просесро тасавур кардан мумкин аст. Монанди просеси адиабати дар термодинамика ҳамчун беохир аст. Бинобар он; 1) дар ҳар як фосила бояд баробари байни суммаи қувваи Кулонӣ ва қувваи Лоренс риоя карда шавад, 2) қувваи инерсияи марказгурез низ бояд ин шартро иҷро кунад.

Бояд, ба назар дошт, ки ҳангоми зиёд кардани майдони магнитӣ, майдони электрики гирдпеч пайдо мешавад, бо тири симетрӣ, ба равиши майдони магнитӣ мувофиқ меояд. Махсусан ин майдони электрики гирдпеч ба электрон таъсир карда онро мешинобад ё шиноби онро суст мекунад. Қувваи Лоренс басомади даврзаниро тағйир дода наметавонад, барои он ки вай ба суръат перпендикуляр раван аст ва инчунин, ягон қор иҷро намекунад.

Баробарвазнӣ байни қувваҳо, ба электрон таъсир мекунад, ва қувваи инерсияи марказгурез, чи тавре, ки гуфта шуд, бояд дар ҳар фосилаи вақт чой дошта бошад, аз он ҷумла, албатта, дар ҳолати барқароршавӣ вақт ки майдони магнити ба бузургии муқимии H мерасад.

Агар майдони магнити ба қиммати максималии худ расад, бояд шарти зерин иҷро шавад:

$$\frac{e}{r^2} + \frac{e}{c}(vH) = mr\omega^2 \quad (7.2.2)$$

ω – сурати кунҷии электрон ҳангоми $H = 0$; $v = \omega r$; ва

$$\sin(vH) = \text{const}; \quad \frac{e}{r^2} + \frac{e}{c}r\omega H = mr\omega^2 \quad (7.2.3)$$

Формулаи (7.2.1)-ро ба (7.2.2) гузошта ҳосил мекунем:

$$mr\omega_0^2 + \frac{e}{c}r\omega H = mr\omega^2; \quad (7.2.4)$$

$$\omega^2 - \frac{e}{mc}H\omega - \omega_0^2 = 0 \quad (7.2.5)$$

$$\omega^2 - 2\sigma\omega - \omega_0^2 = 0 \quad (7.2.6)$$

$$\omega = \sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + \omega_0^2} \quad (7.2.7)$$

$$\text{дар инҷо } 2\sigma = \frac{e}{mc}H; \quad (7.2.8)$$

Басомади пресесиони Лармор $\sigma \ll \omega_0$, Мисол, барои майдони магнити хеле нуқувват $H = 5 \cdot 10^5$ эрстед, он гоҳ

$$\sigma = \frac{e}{2mc}H; \quad \sigma = 0,5 \cdot 1,76 \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot 10^5 = 4,4 \cdot 10^{12} \text{ сония мешавад.}$$

Дар ин ҳолат басомади даврзании электрон дар соҳаи дидашавандаи тайф баробар аст; 10^5 сон^{-1} ҳамин тавр, $\left(\frac{\sigma}{\omega_0}\right)^2 \sim 10^{-6}$. Бинобар он $\sigma \ll \omega_0$ мумкин ба назар нагирем, он вақт формулаи (7.2.7)-ро чунин навиштан мумкин аст:

$$\omega = \sigma \pm \omega_0 \quad \omega_1 = \omega_0 + \sigma; \quad \omega_2 = \omega_0 - \sigma \quad (7.2.9)$$

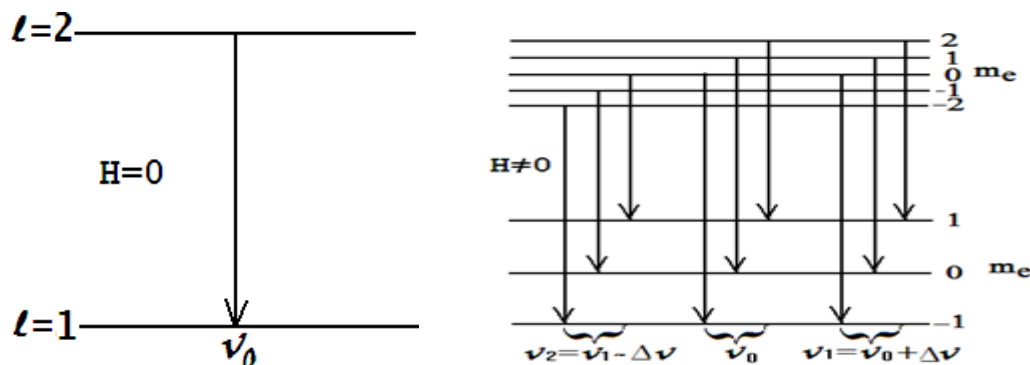
Ҳамин тавр, басомади электрон, муқобили ақрабаки соат чарх мезанад (агар аз охири вектори майдон нигоҳ кунем) дар майдони магнитӣ ба σ зиёд мешавад, аммо басомади электрон, ки ба тарафи баракс ҳаракат мекунад, ба ин бузурги кам мешавад. Агар аз басомади кунҷи ба басомади хаттӣ гузарем, он гоҳ ҳосил мекунем:

$$\omega = 2\pi v; \quad \omega_0 = 2\pi v_0$$

$$\text{он гоҳ (7.2.4)-ро менависем; } v = v_0 \pm \frac{\sigma}{2\pi} \quad (7.2.10)$$

Дар ин чо бузургии $\pm \frac{\sigma}{2\pi} = \Delta\nu$ ё $\Delta\nu = \frac{e}{4\pi mc} H$ — тағйирёбии басомади даврзании электрон. Ин фарқият ба масофаи байни хатти миёна ва канорӣ баробар аст.

Ҳангоми аз ҳолати $l = 1$ ба ҳолати $l = 2$ гузариш иҷро шудан хатҳои тайф дар вақти $H \neq 0$ ва $H = 0$ мушоҳида мешавад, расми 7.2.4



Расми 7.2.4

Ингуна тақсимиавии хатҳои тайфро теоремаи Лармор мефаҳмонад — эффекти нормали Зеeman номида мешавад. Эффекти нормали Зеemanро истифода бурда, формулаҳои (7.2.9) ва (7.2.10)-ро ба назар гирифта тақсимиавии хатҳоро доништа, заряди хоси электронро муайян кардан мумкин аст: $\frac{e}{m} = 1,7 \cdot 10^7$ эрстед $\cdot 2^{-1}$. Ин қимат ба қиммати муайянкардаи заряди хос $\frac{e}{m}$ дар майдони электрикӣ мувофиқ мебошад. Бинобар он ин дуруст будани назарияи Лоренсро тасдиқ мекунад.

Азбаски m_l қимматҳои имконпазирро дорад; $2l + 1$; он гоҳ ҳангоми $l = 1$, дар вақти $H \neq 0$; $m_l = 0; \pm 1$, яъне се қимат мегирад. $l = 2$ дар вақти $H \neq 0$; $m_l = 0; \pm 1; \pm 2$, яъне панҷ қимат мегирад.

7.3. ЭФФЕКТИ АНОМАЛИИ ЗЕЕМАН.

Чи тавре, ки мо гуфта гузаистем, дар эффекти нормали Зеeman чунин ҳолатҳо мушоҳида мешавад:

- 1) Ҳангоми перпендикуляр мушоҳидаи объект дар майдони магнитӣ се хат.
- 2) Дар вақти паралел мушоҳида кардан дар майдони магнити ду хат мушоҳида мешавад;
- 3) Ҳамаи чузъҳо поляризаторсия шудаанд;
- 4) Бузургии лагҷиши хатҳо дар эффекти нормалӣ бо формулаи Лоренс муайян карда мешавад:

$$\Delta\nu = \nu_L = \frac{e}{4\pi mc} H, \text{ см}^{-1} \quad (7.3.1)$$

Таҷриба нишон медиҳад, ки ингуна тақсимиавиро танҳо хатҳо медиҳанд, ки таркиби маҳин надоранд (сингулентҳо - ягона меноманд). Барои хатҳои дучанда тақсимиавии мураккабтар (сегона, чоргона ва гайра) махсусан барои атомҳои ҳидроген монанд ($H, He^{++}, Li^{++}, Be^{++}$) ва гайра), ва инчунин атомҳои негралӣ гурӯҳи якӯми системаи даври дар майдони магнити кам қувват, ки эффекти аномалии Зеemanро медиҳад.

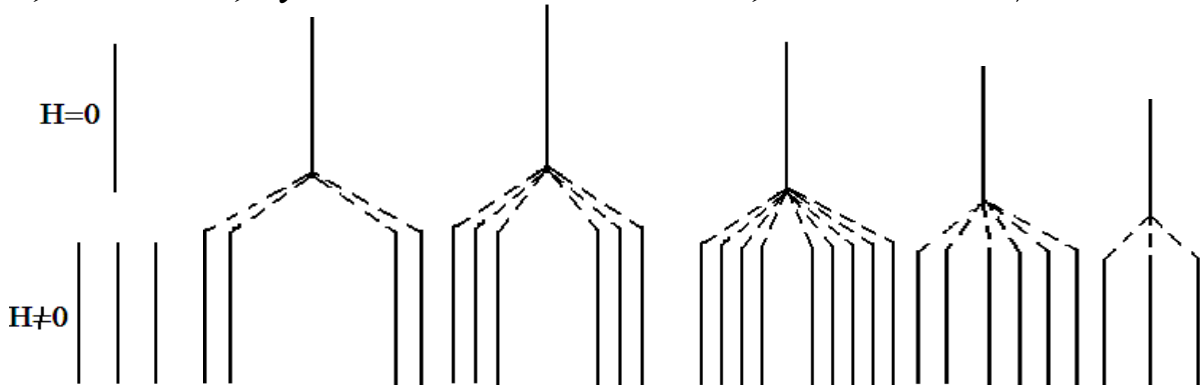
Барои эффекти аномалии Зеeman:

1) Адади умумии қузъҳо хеле зиёд ва илова бар ин қуфтанд;

2) Бузургии тақсимшави ба тақсимшавии V_L нормали Лоренс мурофиқат намекунад.

Барои мисол се хати эффекти Зеemanро дида мебароем расми 7.3.1:

а) ягона б) дучандаи асосии Na в) сечандаи возеҳӣ



Расми 7.3.1

Бузургии лагҷиши дар эффекти аномалии ҳамавақт касри ратсионалӣ лагҷиши Лоренсии нормалиро ташкил мекунад.

Ин қонунро ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$V_{ан} = \frac{q}{r} V_L; \quad q \text{ ва } r \text{ ададҳои бутун.}$$

Дар ин асоси бузургии лагҷиши дучандаи $N_{ан}$ –ро чунин навиштан мумкин аст:

$$2S_{\frac{1}{2}} \rightarrow 2P_{\frac{1}{2}}; \quad \pm \frac{2}{3} V_L; \quad \pm \frac{4}{3} V_L$$

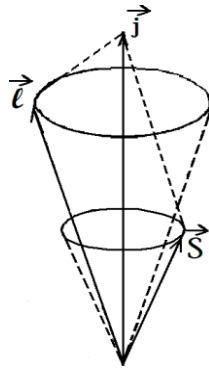
$$2S_{\frac{1}{2}} \rightarrow 2P_{\frac{3}{2}}; \quad \pm \frac{1}{2} V_L; \quad \pm \frac{2}{3} V_L; \quad \pm \frac{5}{3} V_L$$

Чи тавре, ки дида мешавад, дар ҳамаи ҳолатҳо касри махраҷ як хел, махсусан 3 мебошад. Барои тақсимшави серияи асосии сегона (сегонаи Zn) низ махраҷ ҳамавақт 2 аст. Модели вектори сабаби пайдошави эффекти аномалии Зеeman ва ҳамаи хусусиятҳои хоси онро мефаҳмонад. Бинобарон қиммати адади он ба $e\hbar$ баробар набуда, аммо бо $\sqrt{l(l+1)}\hbar$ муайян мекунад, он гоҳ ҳамчун проексияи равиши майдон баробари $m_l\hbar$, дар ин ҷо

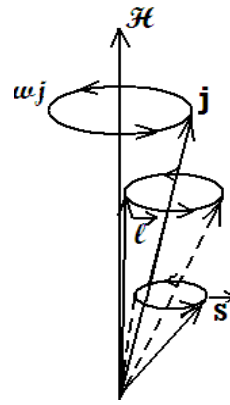
$$m_l = +l, \quad \dots, 0, \dots -l;$$

Ба ин монанд, моменти миқдор ҳаракати сипин дар механикаи вектори чунин муайян карда, мешавад: $\sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2} + 1)}\hbar$, ва проексияи он ба равиши майдон баробари $\pm 1/2 \hbar$. Аз ин мебарояд, ки импульси \vec{l} ва \vec{S} ҳеҷ гоҳ паралел ё

ғайрипаралел ҷойгир намешаванд, аммо кунҷи байни онҳо аз сифр ва аз π фарқ мекунад. Бинобар он усули нимкласикиро истифода бурдан мумкин аст, \vec{l} ва \vec{S} бо усули паралелограм ҳам мешаванд. Дар натиҷа вектори пурраи моменти миқдори ҳаракат j –ро ҳосил мекунем расми 7.3.2.



Расми 7.3.2



Расми 7.3.3

Аммо азбаски \vec{l} ва \vec{S} бо майдони магнити ба ҳам алоқаманд мебошанд. Он гоҳ онҳо нисбат ба j ҳаракати пресесиониро иҷро мекунанд, монанди гирокоскопи механики, ки бо риштаи чандири ба ҳам алоқаманданд буда, нисбати равиши худ, таъғирнопазир моменти пурраи миқдори ҳаракат пресесия мекунанд. Барои он ки ҳамаи ин музокираҳои классикиро истифода бурда шавад, дар механикаи квантӣ чунин ислоҳот дохил мешавад;

1. а) Кунҷи байни l ва S ихтиёр шуда наметавонад. Аммо бо талаботи квантонидани фазогӣ маҳдуд мешавад. Вектори l (ададан баробар аст $\sqrt{l(l+1)}\hbar$) метавонад нисбат ба j ҷойгир шавад, танҳо дар таҳти кунҷи, ки проексияи l ба равиши j ба $m_l \hbar$ баробар бошад.

б) Вектори S дар таҳти чунин кунҷе меҳобад, ки проексияи он ба равиши майдон баробари $m_s \hbar$ шавад, дар ин ҷо $m_s = \pm \frac{1}{2}$.

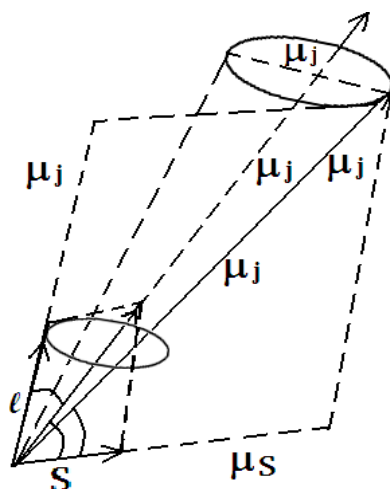
2. Моменти умумии импулс j ададан ба $j\hbar$ баробар набуда балки ба $\sqrt{j(j+1)}\hbar$ баробар аст, дар ин ҷо $j = l + S$ мебошад.

Агар ингуна атомро дар майдони магнити ҷойгир кунем, он гоҳ ҳодиса метавонад гуногун гузарад вобаста аз он ки майдон пурқувват ё камқувват бошад. Дар ин маврид фаҳмиши майдони «пурқувват» ва «камқувват» чунин муайян карда мешавад: агар тақсимавии Зееманро майдон ба вуҷуд оварда бошад, ва он аз нисбати тақсимавии мултиполиии табиӣ хурд бошад, ин майдонро камқувват меноманд. Адади бузургии майдони камқувват дар ҳолатҳои гуногун бисёр гуногун мешавад. Мисол, барои хатти ҳидроген бо сабаби борики тақсимавии мултиполиии онҳо, майдони 8000 эрстед алақай пурқувват ҳисобида мешавад, барои литии майдон пурқувват номида мешавад, агар на кам аз 50000 эрстед бошад. Дар майдони камқувват, таъсири векторҳои l ва S байни ҳамдигар ниҳоят калон нисбати таъсир онҳо бо майдони беруна бинобар он мувофиқи мақсад l ва S –ро алоҳида дида баромадан қулай аст, аммо бояд чамъи вектор j дида бароем (яъне j –ро омӯзем). Дар майдони магнити беруна қиммати адади фосилаи импулс $j^2 = j(j+1)\hbar^2$, ҳамчун доими ҳаракат менамояд, аммо вектори j доими ҳаракат намешавад, барои он ки равиши он нигоҳ дошта намешавад. Дар асл, вектори пурраи j бо моменти магнити спин ва моменти пурра ки мувофиқат мекунанд алоқаманд аст. Бинобар ин атом дар майдони магнити беруна худро ҳамчун тадвирок (волчок – ҷисми нисбат ба нуқтаи тақиягоҳ чархзанандае, ки меҳвари гардиши он нисбати самти қувваи вазнинӣ сатҳи

конуси мекашад), гидроскоп ва магнит идора мекунад. Майдони беруна ҳаракати атомро барқарор кардан дорад – магнит аз равиши худ. Аммо хусусияти гидроскопии атом ба ин муқобилат мерасонад. Лекин, аз тарафи дигар, қиммати адади $|j|$, ва проексияи он ба равиши майдон ва кунҷи байни j низ ба ин равиш нигоҳ дошта мешавад, пас ҳаракати ягонаи атом присесия мебошад. Бо назардошти нисбатан камқуввати майдони H беруна бо муқоисаи майдони дохила, ки l ва S – ро алоқаманд мекунад, басомади кунҷии пресесияи j нисбат ба равиши H бисёр хурд аз басомади кунҷи пресесияи дохилии l ва S нисбати j (расми 7.3.3).

Агар атомро дар майдони магнитии беруна гузорем он энергияи иловагӣ қабул мекунад, ки баробари $(\mu_j H)$ мебошад. Дар ин ҷо μ_j – фосолаи магнитии атом. Ин энергияи иловагиро ҳамчун ошӯб шуморида, дар натиҷа тағйирёбии савияи энергия ба қиммати миёна $(\mu_j H)$ баробар мешавад, ки бояд ҳисоб кунем. Азбаски на майдон H , кунҷи байни μ_j ва H тағйир намеёбад, он гоҳ бояд қиммати миёнаи μ_j – ро барои ҳолати гайри ошӯб ҳисоб кунем. Яъне фарз кунем, ки майдони беруна вуҷуд надорад $H = 0$. Барои μ_j – ро ҳисоб кардан модели вектории атомро месозем (расми 7.3.4). Ҷамъи векторҳои \vec{l} ва \vec{S} j – ро медиҳад. Барои содда кардани расм векторҳои $\mu_l > \mu_s$ – ро бо равиши l ва S месозем. Аммо равиши вектори μ_j бо равиши вектори j ба ҳамдигар мутобиқ намеояд. Сабаби ин дар он аст, ки нисбати $\frac{|\mu_e|}{|P_e|}$ ва $\frac{|\mu_s|}{|P_s|}$ якхела не, аммо таносуби дуум думаротиба аз якҷум калон аст.

$$\left. \begin{aligned} \frac{|\mu_e|}{|P_e|} &= \frac{e}{2\mu c}; \quad \frac{|\mu_s|}{|P_s|} = 2 \frac{e}{2\mu c} \\ \frac{\mu_e}{P_e} &\neq \frac{\mu_s}{P_s} \end{aligned} \right\} (7.3.3)$$



Расми 7.3.4

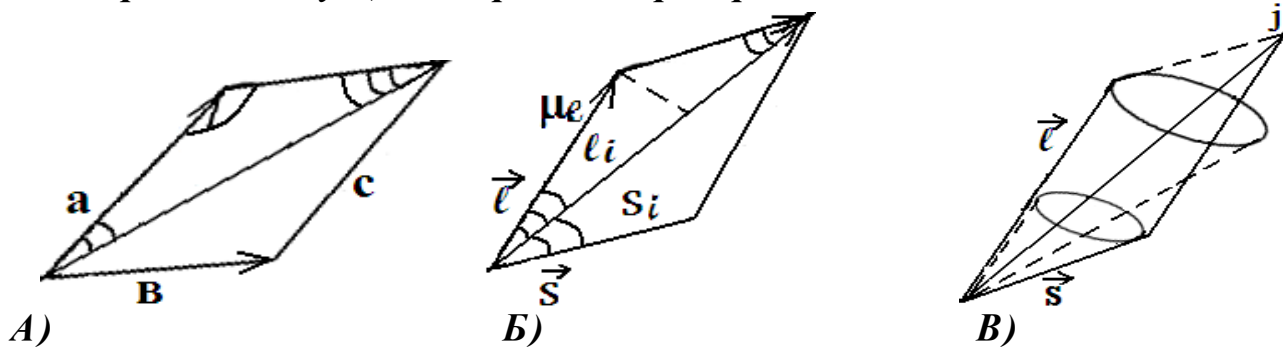
Азбаски мо қиммати миёнаи μ_j – ро дар вақти набудани майдон $H = 0$ ҳисоб мекунем, дар ин шарт равиши вектори пурраи моменти импульс j доими

мебошад. Он гоҳ присесияи l ва S нисбати равишҳояшон аз оқиби худ вектори j –ро мекашад (мебарад), ки бояд нисбати он равиш присесия кунад (аниқтар ба равиши худ). Вектори μ_j –ро ба ду ташиқкунанда ҷудо мекунем: μ_{II} –паралел ва μ_{\perp} –перпендикуляр ба j . Ин ташиқкунандаҳоро бо μ_{II} ва μ_{\perp} ишора мекунем. Қиммати миёнаи $\overline{\mu_j}$ ба ҷамъи қиммати миёнаи $\overline{\mu_{II}}$ ва $\overline{\mu_{\perp}}$ баробар аст. Аммо дар асоси нигоҳдориҳои кунҷи байни μ_j ва j қиммати миёнаи $\overline{\mu_{II}}$ нигоҳ дошта мешавад ва баробари μ_{II} , ва қиммати миёнаи $\overline{\mu_{\perp}}$ дар моменти вақти калон бо муқоисакунӣ даври присесия тезӣ дохилӣ, сифр аст, яъне дар натиҷаи присесияи μ_j барои ҳар қиммати μ_{\perp} дар муддати ин моменти вақт муқобили он аз рӯи аломат пайдо мешавад. Ҳаминтавр, аз расми 7.3.4, μ_{II} –ро меёбем: $\mu_{II} = \mu_{\ell} \cos(\widehat{e_j}) + \mu_s \cos(\widehat{S_j}) = \frac{e}{2mc} \hbar l^* \cos(\widehat{l_j}) + \frac{e}{2mc} \hbar 2s^* \cos(\widehat{S_j}) = \frac{e}{2mc} \hbar \{l^* \cos(\widehat{l_j}) + 2s^* \cos(\widehat{S_j})\}$ (2)

$$|\vec{l}| = \sqrt{l(l+1)}\hbar = l^*\hbar; \quad |\vec{S}| = \sqrt{s(s+1)}\hbar = S^*\hbar; \quad \mu_l = |\vec{l}| \frac{e}{2mc};$$

$$l^* = \sqrt{l(l+1)}; \quad \mu_s = |\vec{S}| 2 \frac{e}{2mc}; \quad S^* = \sqrt{s(s+1)}; \quad j^* = \sqrt{j(j+1)}.$$

Аз теоремаи косинусҳо истифода мебарем расми 7.3.5а:



$$\left. \begin{aligned} 1. \quad c^2 &= a^2 + b^2 + 2ab \cos(\widehat{ab}); \quad \cos(\widehat{ab}) = \frac{c^2 - a^2 - b^2}{2ab} \\ 2. \quad b^2 &= a^2 + c^2 - 2ac \cos(\widehat{ac}); \quad \cos(\widehat{ac}) = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \\ 3. \quad a^2 &= b^2 + c^2 + 2bc \cos(\widehat{bc}); \quad \cos(\widehat{bc}) = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \end{aligned} \right\} \quad (7.3.5a)$$

(7.3.5a) – ро ба назар гирифта аз расми (7.3.5a) ҳосил мекунем:

$$S^{*2} = l^{*2} + j^{*2} - 2l^*j^* \cos(\widehat{l_j}); \quad \cos(\widehat{l_j}) = \frac{-S^{*2} + l^{*2} + j^{*2}}{2l^*j^*};$$

$$l^{*2} = S^{*2} + j^{*2} - 2S^*j^* \cos(\widehat{S_j}); \quad \cos(\widehat{S_j}) = \frac{S^{*2} + j^{*2} + l^{*2}}{2S^*j^*};$$

$$j^{*2} = l^{*2} + S^{*2} - 2l^*S^* \cos(\widehat{l_s}); \quad \cos(\widehat{l_s}) = \frac{l^{*2} + S^{*2} + j^{*2}}{2l^*S^*};$$

Қиммати $\cos(\widehat{l_j})$ ва $\cos(\widehat{S_j})$ – ро ба формулаи (7.3.4) гузошта ҳосил мекунем;

$$\mu_{II} = \frac{e}{2mc} \hbar \left\{ l^* \frac{j^{*2} + l^{*2} - s^{*2}}{2l^* j^*} + 2s^* \frac{j^{*2} + s^{*2} - l^{*2}}{2s^* j^*} \right\} = \frac{e}{2mc} \hbar \left\{ \frac{j^{*2} + l^{*2} - s^{*2} + 2j^{*2} + 2s^{*2} - 2l^{*2}}{2j^*} \right\} =$$

$$\frac{e}{2mc} \hbar \left\{ \frac{3j^{*2} + s^{*2} - l^{*2}}{2j^*} \right\} = \frac{e}{2mc} \hbar j^* \left\{ \frac{3j^{*2} + s^{*2} - l^{*2}}{2j^{*2}} \right\} \quad (7.3.5)$$

$$\frac{3j^{*2} + s^{*2} - l^{*2}}{2j^{*2}} = \left\{ 1 + \frac{j^{*2} + s^{*2} - l^{*2}}{2j^{*2}} \right\} = \left\{ 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \right\} = q$$

Дар ин ҷо q – зарбишавандаи Ланде номида мешавад.

Ин бузурги дар эффекти аномалии Зеeman нақшаи ҳалқунандаро мебозад.

Формулаи (7.3.5)-ро дар чунин намуд менависем:

$$\mu_{II} = \frac{e}{2mc} \hbar q j^* \quad \text{азбаски} \quad j^* = \sqrt{j(j+1)}$$

пас:

$$\bar{\mu}_j = \mu_{II} = \mu_0 q j^* = q \sqrt{j(j+1)} \mu_0 \quad (7.3.6)$$

дар ин ҷо μ_0 – магнетори Бор. $\mu_0 = \frac{eh}{4\pi mc}$;

Зарбишавандаи Ланде пешаки барои ҳамаи ҳолатҳои атомҳои якэлектрона ҳисоб кардан мумкин аст (s ҳамавақт ба $\frac{1}{2}$ баробар аст).

$$\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}; \quad l = 0, 1, 2, 3, 4 \dots n-1$$

Барои ин қимматҳои тағйирёбии l ва j –ро дида мебароем ҷадвали 7.3.1.

Ҷадвали 7.3.1

Ҳолатҳо		$j=l+s$			
		1/2	3/2	5/2	7/2
2S	0	2	—	—	—
2P	1	2/3	4/3	—	—
2D	2	—	4/5	6/5	—
2F	3	—	—	6/7	8/7

Акнун, тағйирёбии савияи энергиявиро дар зери таъсири майдони магнитии беруна ҳисоб мекунем:

$$\Delta E = -(\mu_j H) = \mu_{II} H \cos(jH) = q \frac{eh}{4\pi mc} H j^* \cos(j\hat{H}) = q \mu_0 H j^* \cos(j\hat{H}) \quad (7.3.6)$$

Ин тағйирёбии савияи энергия дорои қиммати квантонидан мебошад, барои он ки $j^* \cos(j\hat{H}) = m_j$ қиммати квантонидани $2j+1$ –ро қабул мекунад.

$$m_j = j, (j-1), \dots - (j-1), \dots - j$$

Формулаи (7.3.6)-ро чунин менависем:

$$\Delta E = q m_j \frac{eh}{4\pi mc} H = q m_j \mu_0 H \quad (7.3.7)$$

Баробарии (7.3.7)-ро ба эътибор гирифта, мо дидем, ки дар майдони магнитӣ, ҳар як савияи энергия ба $2j+1$ ҷудо шуда ба ҳам зич ҷойгиранд. Ҳамин тавр, савияҳои

$$2S_{\frac{1}{2}} - \text{ба ду зери савия ҷудо мешавад; } 2j+1 = 2 \cdot \frac{1}{2} + 1 = 2;$$

$$2P_{\frac{1}{2}} - \text{ба ду зери савия ҷудо мешавад;}$$

$$2P_{\frac{3}{2}} - \text{ба чор зери савия ҷудо мешавад; } 2 \cdot \frac{3}{2} + 1 = 4;$$

Акнун басоманди афканиширо дар майдони магнитӣ ҳисоб мекунем. Аз шартҳои басомадҳо маълум, ки:

$$h(\nu + \Delta\nu) = (E_1 + \Delta E_1) - (E_2 + \Delta E_2) \quad (7.3.8)$$

Инро ба назар гирифта, ҳосил мекунем, ки $E_1 - E_2 = h\nu$, дар ин ҷо ν – басомад ҳангоми набудани майдон. Он гоҳ формулаи (7.3.8) – ро ба намуди дигар менависем:

$$\begin{aligned} h\nu + h\Delta\nu &= E_1 + \Delta E_1 - E_2 + \Delta E_2; \\ h\Delta\nu &= \Delta E_1 - \Delta E_2 + E_1 - E_2 - h\nu; \end{aligned}$$

$$h\Delta\nu = \Delta E_1 - \Delta E_2 = (m_1 q_1 - m_2 q_2) \mu_0 H = (m_1 q_1 - m_2 q_2) \frac{eh}{4\pi mc} H \quad (7.3.9)$$

ду тарафи баробарии (7.3.9) – ро ба h тақсим карда, ҳосил мекунем:

$$\Delta\nu = (m_1 q_1 - m_2 q_2) \frac{e}{4\pi mc} H = (m_1 q_1 - m_2 q_2) V_L$$

онгоҳ:

$$\Delta\nu = (m_1 q_1 - m_2 q_2) V_L \quad (7.3.10)$$

Ин формулаи ҷудошавии хатҳо дар эффементи аномалии Зеeman мебошад. Барои ҳисоб кардани ҷудошавӣ баробарии (7.3.10) ба назар гирифтани шарт, ки на ҳар ду зери савия метавонанд, дигаргун шаванд. Эҳтимолияти гузариши дар асоси қоидаи интихоб барои адади квантӣ $\Delta m = 0; \pm 1$ маҳдуд аст. Барои мисол ҷудошавии серияи асосии дучандаи натри (D – хат) – ро ҳисоб мекунем.

$$2P_{\frac{1}{2}} - 2S_{\frac{1}{2}}; \quad \lambda = 5895,93 \text{Å}; \quad 1 \text{Å} = 10^{-8} \text{см}$$

$$2P_{\frac{3}{2}} - 2S_{\frac{1}{2}}; \quad \lambda = 5889,963 \text{Å};$$

Барои савияи

$$3^2 P_{\frac{1}{2}}; \quad l = 0; \quad s = \frac{1}{2}; \quad j = l + s = \frac{1}{2};$$

$$\begin{aligned} q &= \left\{ 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)} \right\} = \left\{ 1 + \frac{\frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1) + \frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1) - 0}{2 \cdot \frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1)} \right\} = \\ &= 1 + \frac{\frac{3}{4} + \frac{3}{4}}{\frac{3}{2}} = 1 + \frac{\frac{6}{4}}{\frac{3}{2}} = 1 + \frac{6}{4} \cdot \frac{2}{3} = 1 + \frac{6}{6} = 2; \end{aligned}$$

m_j барои $3^2 S_{\frac{1}{2}}$ ҳолат чунин қиматро мегирад $\pm \frac{1}{2}$; $m_q = 1$.

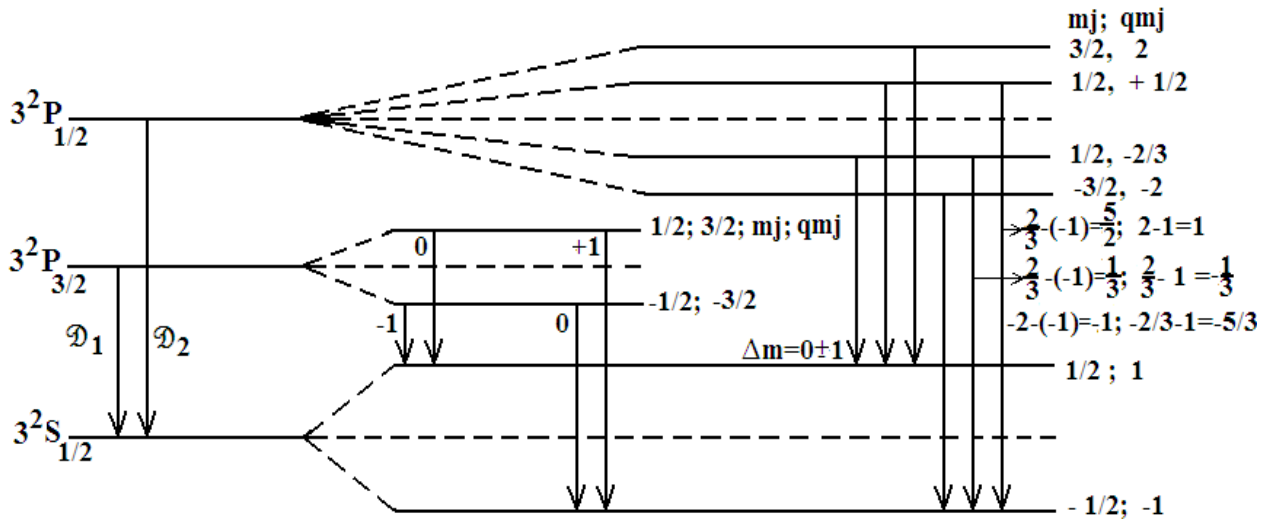
Дар ҷадвали 7.3.2 барои дигар ҳолатҳои энергиявӣ қимматҳои q, m_j, qm_j – ро ҳисоб карда шудааст.

Ҷадвал 7.3.2

Ҳолатҳо	ℓ	s	j	q	m_j	qm_j
$3^2 S_{\frac{1}{2}}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{2}; -\frac{1}{2}$	1; -1
$3^2 P_{\frac{1}{2}}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}; -\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}; -\frac{1}{3}$ $2; \frac{2}{3}$

$3^2 P_{\frac{3}{2}}$	I	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{1}{2}; -\frac{1}{2}$ $-\frac{1}{2}; -\frac{1}{2}$	$-\frac{2}{3}; -2$
-----------------------	-----	---------------	---------------	---------------	-------------------------------------------------------------	--------------------

Акнун ҷудошавии ҳолатҳои энергиявиро дида мебароем, расми 7.3.6



Расми 7.3.6

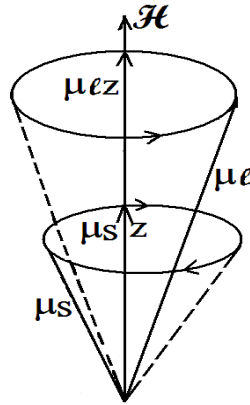
Ҳамин тавр мо нишон додем, ки дар эффекти аномалии Зеeman ҷудошавии хатҳо дар майдони магнитии камқувват аз се зиёд ва ҷуфт мебошанд.

7.4. ЭФФЕКТИ ПАШЕН ВА БАК.

Соли 1912 Пашен ва Бак ҳодисаи муҳим ва шавқоварро кушоданд. Маълум шуд, ки дар майдони пурқувваттарини магнитӣ эффекти аномалии Зеeman боз ба нормалӣ бар мегардад; Расми мураккаби ҷудошавии бо сечандаи оддии Лоренсӣ табдил меёбад. Ин ҳодисаро табдилёбии оптикӣ – магнитӣ ё эффекти Пашен ва Бак номида мешавад. Ин ҳодисаро модели вектори бо осони чунин мефаҳмонад.

Дар ин ҳолат майдони пурқувваттарин гуфта чунин майдонро меноманд, ки ҷудошавии ба вуҷуд оварда шуда хеле зиёд аст аз ҷудошавии мултполии табиӣ. Мисол, агар мо ин гунна майдони магнитӣ дошта бошем, ҳангоми ба он ҷойгир кардани атом, нишон додан мумкин, ки бузургии ҷудошавӣ мултполий калон аст, нисбат ба ҷудошавии табиӣ. Бо осони дидан мумкин, ки бузургии ҷудошавиро ҳамчун ченаки энергия таъсир ҳисобидан мумкин аст. Бинобар ин дар майдони пурқувват энергияи таъсири l ва s бо майдон хеле зиёд аст, нисбати энергияи таъсир байни онҳо. Дар ин маврид, дар бораи вектори j сухан гуфтан маъно надорад, барои он, ки ҳар яки вектори l ва s нисбати якдигар худро новобаста идора мекунад. Бинобар он моменти агнити мадорӣ μ_l ва моменти магнити спин μ_s бо майдони магнитии

беруна алоҳида таъсир мекунад, ва μ_l, μ_s дар атрофи H алоҳида присесия мекунад, нигаред ба расми 7.4.1.



Расми 7.4.1

Ҳамаи инро ба эътибор гирифта, энергияи ошӯбхурӣ ҳолати муқими бо савияи E аз ҷамъи энергияи таъсири байни моменти магнити мадорӣ μ_l бо H ва моменти магнити спин μ_s бо H иборат мешавад.

$$\Delta E = -[(\overline{\mu_l H}) + (\overline{\mu_s H})]$$

Дар ин ҷо $(\mu_l H)$ – энергияи таъсири моменти магнити мадорӣ бо майдони H . $(\mu_s H)$ – энергияи таъсири моменти магнити спин бо майдони магнити H . Барои муайян кардани $(\mu_l H)$ ва $(\mu_s H)$ аввал бузургии $\overline{\mu_l}$ ва $\overline{\mu_s}$ – ро меёбем. Барои он, ки \overline{l} ва \overline{s} дар атрофи H ҳаракати протсесионино иҷро мекунад, қиммати миёнаи $\overline{\mu_l}$ ва $\overline{\mu_s}$ – ро меёбем. Дар натиҷаи ин протсесия маълум шуд, ки қиммати миёнаи $\overline{\mu_l}$ ба қиммати миёнаи проексияи $\overline{\mu_l}$ ба равиши майдон баробар аст, чун ки қиммати миёнаи ташиқил кунандаи нормали дар фосилаи вақт хеле калон ба муқоисакунӣ бо даври протсесия, баробари сифр аст. (проексияи μ_s ва μ_l ба тири Z).

Басомади кунҷии протсесияи S ду маротиба калон нисбати басомади кунҷии протсесияи l . Моменти магнити спин μ_s баробар:

$$\mu_s = +\mu_{sz} = -2m_s \frac{eh}{4\pi mc} = -2m_s \mu_0; \quad \mu_l = m_l \mu_0 \quad (7.4.2)$$

пас:

$$\left. \begin{aligned} -(\overline{\mu_l H}) &= -(\mu_l H) = m_l \mu_0 H; \\ -(\mu_s H) &= -(\mu_s H) = 2m_s \mu_0 H; \end{aligned} \right\} (7.4.3)$$

ҳамин тавр мо меёбем:

$$\Delta E = (m_l + 2m_s) \mu_0 H \quad (7.4.4)$$

Адади квантии магнитӣ m_l метавонад қимматҳои бутун қабул кунад, $2l + 1$;

$$m_l = l, l - 1, \dots, 0, \dots, -(l - 1), \dots, -l; \quad (7.4.5)$$

Адади квантии магнити спин m_s ду қиммати имконпазир дорад:

$$m_s = +\frac{1}{2} \quad m_s = -\frac{1}{2};$$

Фарқи энергия ду савияро чунин навиштан мумкин:

$$(E_1 + \Delta E_1) - (E_2 + \Delta E_2) = h(\nu + \Delta \nu)$$

Аз ин ҷо: $h\Delta \nu + h\nu = E_1 + \Delta E_1 - E_2 - \Delta E_2$; азбаски $h\nu = E_1 - E_2$

Он гоҳ: $h\Delta \nu = \Delta E_1 - \Delta E_2 = (\Delta m_l + 2\Delta m_s) \mu_0 H$

$$h\Delta v = (\Delta m_l + 2\Delta m_s) \frac{eh}{4\pi mc} H$$

$$\Delta v = (\Delta m_l + 2\Delta m_s) \cdot \frac{e}{4\pi c} \cdot H$$

$$\Delta v = (\Delta m_l + 2\Delta m_s) V_L \quad (7.4.6)$$

Қоидаи интихоб барои m_l ва m_s талаб мекунад, ки

$$\Delta m_l = 0; \pm 1$$

$$\Delta m_s = 0$$

Бинобар он формулаи (7.4.6) дар охир чунин навишта мешавад:

$$\Delta v = 0; \pm \Delta V_L$$

Яъне, сечанда оддии Лоренс мебошад. Ҳамин тавр дар майдони магнитии пурқувват эффекти нормали Зееманро ҳосил мекунем.

7.5. ЭФФЕКТИ ШТАРК

Чудошавии хатҳои тайф бо таъсири майдони электрики беруна соли 1913 аз тарафи Штарк кушода шуд, ва номи эффекти Штаркро гирифт. Мушоҳидаи ҳодисаи Штарк мушкили муҳими таҷрибавиро дорад, чунки буги нурафшон ки ноқилияти электрики хеле калон дорад, дар он майдони электрики шадидияти E калон ҳосил кардан мумкин мебошад. То пайдоиши назарияи кванти эффекти Штарк нофаҳмо монда буд. Назарияи классики электронӣ ба чунин хулоса мебиёрад, ки хатҳои тайф набояд дар майдони электрики беруна ҷудошавиро ҳис кунанд, бояд танҳо лағзҳои хеле камқувватро диҳанд, мутаносуб ба квадрати шадидияти майдони электривии E^2 бошад.

Аз нуқтаи назари назарияи Бор, мадори электрон ба таъсири майдони электрики беруна ошубро ҳис мекунад, яъне аз ҳисоби майдони электривӣ энергияи иловагӣ мегирад.

Барои инро нишон додан атоми ҳидрогенро дида мебароем: Атоми ҳидроген дар майдони электривӣ беруна ҷойгир аст.

Равиши майдон ба тири OZ . Таъсири энергияи майдони электривӣ бо электрони дар мадор ҳаракаткунанда баробарӣ:

$$\overline{\Delta W} = eE\overline{Z} \quad (7.5.1)$$

дар ин ҷо: Z – масофа аз маркази системаи электрики A то ҳастаро метавсифонад:

$$Z = \frac{3}{2} a\varepsilon \cos \varphi \quad (7.5.2)$$

a – нимтири калони эллипс;

ε – эксцентриситети эллипс;

φ – кунҷи байни нимтири калон ва равиши E .

Мадори электрон, ки формулаи (7.5.2)-ро қаноат мекунонад, баъди барқароршавии майдони электривӣ, дар зери таъсири он ошӯбхӯрда энергияи пурраи атомро тағир медиҳад.

Мадори ошӯбхӯрда ба чунин хусусиятҳо соҳиб мебошад:

Дар аввал нимтири калони эллипс тағйир наёфта доими мемонад, танҳо маркази вазнини мадор A (расми 7.5.1), дар ҳамворию перпендикуляр ба шиддатнокии майдон E бо басомади

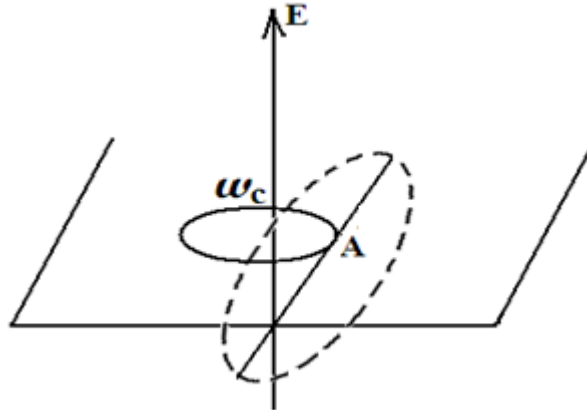
$$\omega_E = \frac{3Ee}{2nh} a \quad (7.5.3)$$

Лапиши гармоники эллипсо ичро мекунад.

Ин ошӯбхурӣ ба чунин хусусият соҳиб аст, ки дар наздикиаи якӯм нимтири калони мадори эллипс тағйир намеёбад, ва танҳо маркази вазнини мадор A (расми 7.5.1), дар ҳамвориш лапиши эллипси гармоникиро ичро мекунад.

Дар асоси назарияи Бор, агар энергияи ошӯб танҳо аз рӯи доира тағйир ёбад, он гоҳ $\overline{\Delta w}$ – ро чунин навиштан мумкин аст:

$$\overline{\Delta w} = k w_L h \quad (7.5.4)$$



Расми 7.5.1

Дар ин ҷо k – ададӣ квантӣ, шарти зеринро қаноат мекунад: $|k| < n$. Формулаҳои (7.5.1), (7.5.2) ва (7.5.3) – ро ба назар гирифта (7.5.4) ро ба намуди зерин менависем:

$$\overline{\Delta w} = kh \frac{3Ee}{2nh} a = \frac{3}{2} eE \frac{a}{n} k = Ee \cdot \frac{3}{2} a \varepsilon \cos \varphi \quad (7.5.5)$$

Аз мавзӯи «мадорӣ эллипсӣ» маълум аст, ки нимтири калон баробари:

$$a = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 e^2 m Z}$$

Он гоҳ энергияро чунин навиштан метавонем:

$$\overline{\Delta w} = \frac{3}{2} eE \frac{k}{n} \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2 Z} = \frac{3}{8} \frac{h^2}{\pi^2 m Z e^2} E n k = \frac{3}{8} \frac{h^2}{\pi^2 m Z e^2} E n h \quad (7.5.6)$$

Дар ин ҷо Ze – заряди ҳаста, m – массаи электрон. Аз формулаи (7.5.6) дида мешавад, ки Δw бо E^2 мутаносуб набуда (чи тавре, ки назарияи электрони классикӣ нишон медиҳад), аммо мутаносуб ба E мебошад. Формулаи (7.5.6) – ро ба назар гирифта тағйирёбии басомадро дар майдони электрикӣ менависем:

$$\Delta \nu = \frac{1}{h} (\Delta w_1 - \Delta w_2) = \frac{3}{8h} \frac{h^2}{\pi^2 m Z e^2} \ddot{e} \Delta \nu = \frac{3}{8} \frac{h}{\pi^2 m Z e^2} (n_1 k_1 - n_2 k_2) \quad (7.5.7)$$

Аз (7.5.7) дида мешавад, ки ҷудошавии хатҳои тайф танҳо аз ададҳои асосии квантӣ (n_1 ва n_2) вобаста аст, чи қадаре, ки қиммати адади асосии кванти калон бошад, ҳамон қадар бузургии ҷузъи ҷудошавӣ ва масофаи байни онҳо калон аст.

7.6. ТАЙФИ АТОМИ ҲЕЛИЙ (ҶУФТ (ПАРА) ВА ОРТОҲЕЛИЙ).

(ортоҳелий – ҳолати атоми ҳелий, ки дар , он спини ҳарду электронаш паралеланд).

Атоми ҳелий аз ҳаста бо заряди $+2e$ ва ду электрони «баробарҳуқуқ» ки дар назди он ҳаракат мекунад. Ҳолати квантии атом, дорои якчанд электронҳои оптикӣ, ҳолати ҳамаи маҷмӯи онҳоро муайян мекунад. Гуногун шакли ин ҳолатҳоро бо ёрии вектори модели атом дида мебароянд. Дар асоси ин модел ҳолатҳои атом танҳо бо адади квантии асосии n_i ба мадори l_i ҳамаи электронҳои оптики муайян карда мешавад, ва ин чунин квантдиҳии фазогиро, яъне дискрети мутақобил самтгирӣ векторҳои мадори фосилаи миқдори ҳаракати $l_i\hbar$ ва моменти миқдори ҳаракати спин $s_i\hbar$ самтгирӣ векторҳои s_i ва l_i аз рӯи чунин қоидаи эмперикӣ муайян карда мешавад:

а) спини электронҳои оптики нисбати якдигар паралел ва гайрипаралел самт мегиранд, бинобар он ҷамъи моменти спини онҳо $\sum_{i=1}^N S_i\hbar$ дар воҳиди \hbar бутун мешавад (аз сифрсар карда) агар адади электрон N чуфт бошад, ва ним бутуни $\frac{1}{2}$ ҳангоми адади электронҳо N тоқ будан пас:

$$\sum_{i=1}^N s_i = S \quad (7.6.1)$$

Бузургии $[S]$, адади квантии спини атом номида мешавад, чунин ишора мекунад Sa .

б) моменти мадорӣ миқдори ҳаракати электронҳои оптикӣ $l_i\hbar$ нисбати якдигар самт мегиранд, бинобар он ҷамъи моменти мадори $\sum_{i=1}^N l_i\hbar$ система дар воҳиди \hbar – бутун, яъне

$$\sum_{i=1}^N l_i = L \quad (7.6.2)$$

Бузургии $[L]$, адади кванти мадори атом номида мешавад, бо La ишора мекунад.

в) Ҳосили ҷамъи моменти мадори $J\hbar$ нисбат ба ҷамъи моменти спин $s\hbar$ самтнок машавад, ҳамин тавр фосилаи пурраи миқдори ҳаракати атом $(s + L)\hbar$ дар воҳиди \hbar қиммати бутун барои чуфти N ва нимбутун барои тоқи N мешавад, яъне

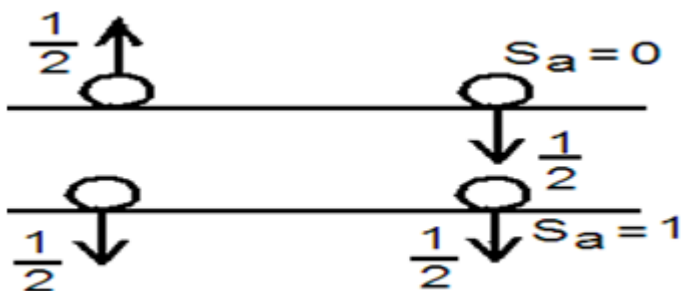
$$L + S = J \quad (7.6.3)$$

Бузургии J , адади квантии дохилии атом меноманд, бо J_a ишора мекунад. $J_a = Sa + La$;

Қиммати ададҳои кванти S_a , La , J_a бо пуррагӣ самтнокӣ тарафайни моментҳои электронҳои оптики атомро метавсифонанд.

Барои ҳелий $N = 2$, адади кванти спини атом метавонад, танҳо ду қиммат гирад: $S_a = 0$ ҳангоми гайри параллели, метавонад танҳо як қиммат гирад, $J_a = La$ ва $S_a = 1$ ҳангоми паралел самт гирифтани спини электронҳо, расми 7.6.1. Дар ҳолати

$J_a = (La + 1), La, (La - 1)$ Яъне се қиммат мегирад.



Расми 7.6.1

Ҳамин тавр барои атоми ҳелий энергия аз ҳафт ададҳои кванти вобаста аст:

$$E = E(n_1, l_1, n_2, l_2, S_a, L_a, J_a) \quad (7.6.4)$$

Гуногун шакли ҳолатҳои имконпазир, ба гуногуншакли ҳафт ададҳои кванти мувофиқ меояд ин мураккаб аст. Бинобарин малъум шуд, ки танҳо аз ду электрони атоми ҳелий яктояш дар ҳолати ангехта аст, электрони дигар гайри ангехта дар ҳолати энергияи хурдтарин бо $n_1 = 1$ мемонад, бинобар ин, $l_1 = 0$. Мо бо дидани ҳолати имконпазири атоми ҳелий бо ангехти танҳо яке аз электронҳо маҳдуд мешавем. Азбаски, ҳангоми $n_1 = 1 = \text{const}$ ва $l_1 = 0 = \text{const}$ он гоҳ баробарии (7.6.2) $L_a = l_2$, ишора мекунем, $n_2 = n$; $l_2 = l = L_a$ формулаи (7.6.4) – ро ба дигар намуди навиштан мумкин аст.

$$E = E(n, L_a, S_a, J_a) \quad (7.6.5)$$

Метавонад, танҳо ду қиммат дошта бошад $S_a = 0; 1$. Инро алоҳида мебинем. Ҳангоми муайян кардани J дар ҳолати, якҷум моменти спин дохил намешавад, барои он ки $S_a = 0$; Ба ин ҳолат сингулет мувофиқ меояд, (сингулет – хати тайфи ягонае, ки дар натиҷаи аз як савияи таҷзиянашудаи системаи квантӣ ба ҳамин гунна савияи дигари ҳамон система гузаштани электрон пайдо мешавад). Дар ҳолати дуҷум $S_a = 1$, вобаста аз қиммати J ва L савияи сегона (триплет – сегона се хати тайфи ба ҳам наздик ҷойгир шуда) ҳосил мешавад.

Қиммати J – ро муайян кардан мумкин ҷадвали 7.5.1.

$$J = L + S, L + S - 1, \dots, |L - S|;$$

Ҳолати якҷум $S_a = 0$;

Ҷадвали 7.6.1

Электрони якҷум	Электрони дуҷум	S_a	ℓ	L_a	J_a	Ишора
<i>1S</i>	<i>1S</i>	$S_a = 0$	$\ell = 0$	$L_a = 0$	$J_a + L_a + S_a = 0$	1S_0
<i>1S</i>	<i>2P</i>	$S_a = 0$	$\ell = 1$	$L_a = 1$	$J_a + L_a + S_a = 1$	1P_1
<i>1S</i>	<i>3D</i>	$S_a = 0$	$\ell = 2$	$L_a = 2$	$J_a + L_a + S_a = 2$	1D_2
<i>1S</i>	<i>4F</i>	$S_a = 0$	$\ell = 3$	$L_a = 3$	$J_a + L_a + S_a = 3$	1F_3

Ҳолати дуҷум $S_a = 1$;

Ҷадвали 7.6.2

Электрони якҷум	Электрони дуҷум	S_a	ℓ	L_a	J_a	Ишора
<i>1S</i>	<i>1S</i>	$S_a = 1$	$\ell = 0$	$L_a = 0$	$J_a = 1$,	3S_1
<i>1S</i>	<i>2P</i>	$S_a = 1$	$\ell = 1$	$L_a = 1$	$J_a = 2, 1, 0$	$^3P_2, ^3P_1, ^3P_0$
<i>1S</i>	<i>3D</i>	$S_a = 1$	$\ell = 2$	$L_a = 2$	$J_a = 3, 2, 1$	$^3D_3, ^3D_2, ^3D_1$
<i>1S</i>	<i>4F</i>	$S_a = 1$	$\ell = 3$	$L_a = 3$	$J_a = 4, 3, 2$	$^3F_4, ^3F_3, ^3F_2$

Дар асоси ин натиҷаҳо қимматҳои имконпазири L_a ва J_a барои $1 \leq n \leq 4$ ҳолатҳои ортоҳелий ва параҳелий (ҷуфти ҳелий) – ро дида мебароем.

Ҷадвали 7.6.3

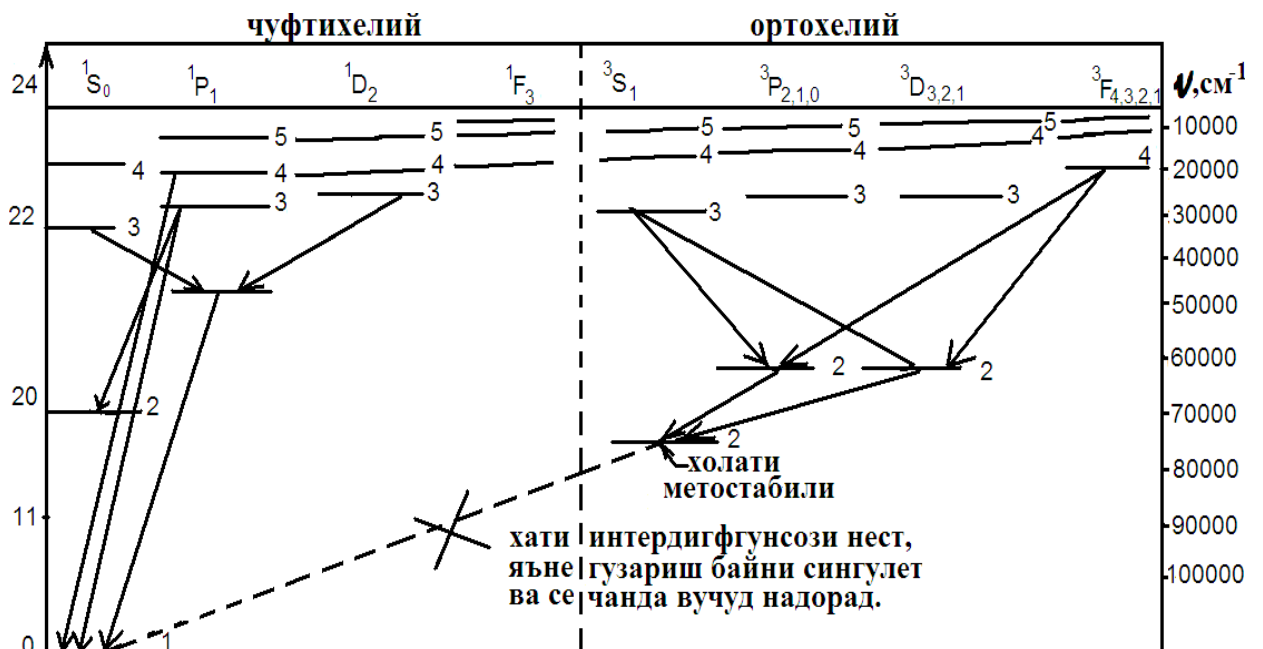
Элек	Элек	$S_a = 0$ (пар)	$S_a = 1$ (ортоҳелий)

n	трон и якум	трон и дюом	L _a	ҳелий)		J _a	ишора	
				J _a	ишора			
1	1S	1S	0	0	1 ¹ S ₀	1	1 ² S ₁	
2	1S	2S	0	0	2 ¹ S ₀	1, 2, 0	2 ³ S ₁ 2 ³ P ₂ , 2 ³ P ₀	
	IS	2P	1	1	2 ¹ P ₁			2 ³ P ₁ ,
3	1S	3S	0	0	3 ¹ S ₀	1, 2, 0	3 ³ S ₁ 3 ³ P ₂ , 3 ³ P ₀	
	IS	3P	1	1	3 ¹ P ₁			3 ³ P ₁ ,
	IS	3D	2	2	3 ¹ D ₁			3 ³ D ₂ ,
4	1S	4S	0	0	4 ¹ S ₀	1, 2, 0	4 ³ S ₁ 4 ³ P ₂ , 4 ³ P ₁ , 4 ³ P ₀ 4 ³ D ₃ , 4 ³ D ₂ , 4 ³ D ₁ 4 ³ F ₄ , 4 ³ F ₂ , 4 ³ F ₀	
	IS	4P	1	1	4 ¹ P ₁			
	IS	4D	2	2	4 ¹ D ₂			
	IS	4F	3	3	4 ¹ F ₃			

Мисол 2p₁ (n = 2; L_a = 1; J_a = 1)

Чи тавре ки аз ҷадвали 7.6.1 дида мешавад тайфи атоми ҳелий ба ду гурӯҳи сингулет ягона ва сечанда ҷудо мешавад. Тайф – сингулетро параҳелий номида мешавад, ва тайфи мураккабро – ортоҳелий меноманд.

Дар расми 7.6.1 диаграммаи савияҳои энерги барои атоми ҳелий дар асоси натиҷаҳои ҷадвали 7.6.1 оварда шудааст.



Расми 7.6.1

Дар асоси диаграммаи 1 (расми 7.6.1) чунин хусусиятҳои шавқовар зоҳир шуд:

Серияи хатҳои тайф мушоҳида шуд, ба гузариши байни савияҳои сингулет ва гузариши байни савияҳои сечанда мувофиқ аст. Аммо хатти гузариши байни ҳолатҳои сечанда ва сингулет (гузариши интердигаргунсози

) нест. Тайф чунин менамуд худе, ки як қисми атомҳои ҳелий ҳамавақт танҳо дар ҳолати сингулети ва қисми дигариаш дар ҳолати сечанда воқеъ бошанд. Ду фаҳмиши вуҷуд дошт, ки дар табиат ду намуди атоми ҳелий мавҷуд бошад, якеи он тайфи хатҳои ягонро чуфти ҳелий медиҳад; қисми дигар - тайф аз сечанда (артоҳелий) - ро медиҳад. Хатти интердигаргунсози нест, ки бар асоси мавҷудияти қоидаҳои интиҳоб фаҳмонда мешавад.

$$\Delta L = \pm 1; \Delta S = 0; \Delta J = 0; \pm 1;$$

Диққатро ба як хусусияти ҳолати 2^1S_0 2^3S_1 атоми ҳелий медиҳем. Гарчанде, ки ҳолатҳои хурдтарини энергия 2^1S_0 мавҷуд бошад ҳам, аммо гузариши дар он аз ҳолатҳои болои нишондодашуда, дар асоси қоидаи интиҳоби адади кванти мадории l манъ аст. Бинобар он атоми ҳелий, дар яке аз ин ҳолатҳо мавҷуд буда наметавонад энергияи ангеширо бо роҳи афканиши тез «партояд» инчунин ба дигар ҳолат ангехта метавонанд дар дақиқаи охири нисбатан ба вақти зиёд (то 10^{-12} сон) умр бинад. Энергияи ангехта дар ҳолати метостабили атоми ҳелий хело зиёд (дар 2^1S_0 ҳолат он баробари 20,55 эВ; дар 2^3S_1 - ҳолат 19,77 эВ) мувофиқ аст.

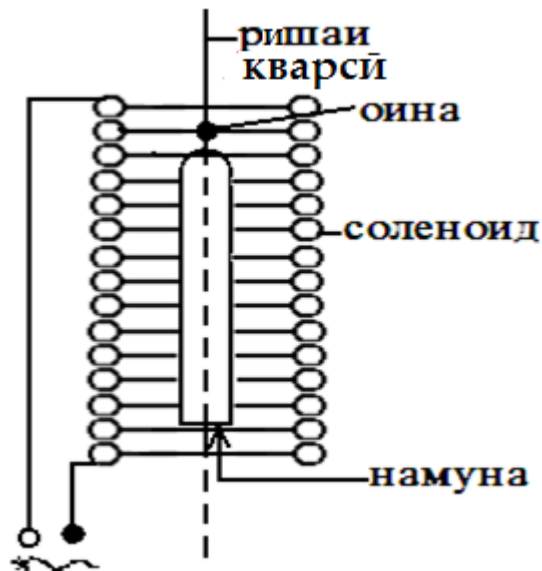
Атом аз ҳолати метостабили ба ҳолати нормалӣ бо ду роҳ мегузарад:

- 1) Ҳангоми бархурд бо дигар атомҳо ё молекулаҳо энергияи ангехтаи метостабили атом афканиши мешавад;
- 2) Ҳангоми фурубари энергия, атом ба ҳолати энергияи калон мегузарад, ва гузариши ба ҳолати асоси бо афканиши энергия гуселонида мешавад.

7.7. ТАҶРИБАИ ЭЙНШТЕЙН ВА ДЕ – ГАЗ

Ин таҷриба ба тадқиқоти ҳодисаи магнети механикӣ дахл дорад ва мавҷудияти спини электронро мефаҳмонад. Дастгоҳ аз чунин қисмҳо иборат аст:

Ғалтаки сими – соленоид, ба дохили он ба Тираи риштаи борики кварсӣ, намуна овезон карда шудааст. (цилиндрикӣ $d = 0,03$ см, $l = 10$ см). Ба сифати намуна моддаи ферромагнитӣ (ҳангоми ба бузургии калони магнитнокшави соҳиб мешавад) ё парамагнитӣ шиддатноки майдони магнети иловагӣ H' ба равиши майдони беруна раво аст, ки шиддатноки аввала H_0 , яъне $H' + H_0$ ба майдони магнети беруна гузошта мешавад расми 7.7.1.



Расми 7.7.1

Агар ба галтак кувваи ҷараёни имконпазирро пайваस्त кунем, ки намуна магнитнок шавад, он гоҳ магнетики асосии он ба равиши майдон самтнок мешавад. Ҳангоми тағир додани равиши майдон миля ҳалҷунин боз магнитнок мешавад, дар баробари ин магнетики асосии он бояд ба 180° тоб хӯрад расми 7.7.1. Аммо магнетики асосӣ таъбират шуда метавонад (аз рӯи тобхури электрон) ва ингуна гардиши ба тағирёби равиши фосилаи механики таъдиратҳо алоқаманд аст. Моменти пурраи механикӣ миқдори ҳаракат доими менамояд, банобар ин барои ҷуброн кардани тағйирёбии миқдори ҳаракати ҳамаи магнетикҳои тамоми мил бояд ба тарафи муқобил тоб хӯрда, илова бар ин ришта низ тоб меҳӯрад. Гузариши таъдират бо ёрии нури рӯшноӣ аз оина иникос шуда ба қайд гирифта мешавад. Азбаски эффект хеле камқувват мебошад, он гоҳ барои тақвияти он принципи резонанси истифода мебаранд; яъне аз дохили галтак ҷараёни тағирёбанда мегузарад, басомади он бояд ба басомади хусусии тобхури лапшии слиндир мувофиқ бошад.

Аз таҷриба нисбати фосилаи асосии магнетики магнетикҳои намуна ва фосилаи механики онро бевосита муайян кардан мумкин аст. Маълум шуд, ки

$$m = q \frac{e}{2mc} p; \quad (7.7.2)$$

аммо зарбшавандаи $q = 2$ яъне, аз бузургии моменти магнитӣ маълум шуд, ки он баробар ба моменти магнети хусуси электрон ва бо спини он алоқаманд мебошад:

$$M = 2 \frac{e}{2mc} \cdot \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi} = \frac{eh}{4\pi mc} = M_0 - \text{Магнетики Бор азбас, ки } p_s = \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi};$$

Агар $q = 1$, он гоҳ соҳиб мешавем ба:

$$M = \frac{e}{2mc} \cdot l \cdot \frac{h}{2\pi} = l \frac{eh}{4\pi mc} = lM_0, \quad (7.7.3)$$

Яъне ҳосил мекунем моменти магнитиро ки бо моменти механики мадори электрон дар атом алоқаманд аст.

Соли 1917 Иофе ва Копица дар борои магнитнокшавии боқимондаи моддаҳои парамагнетикҳо таҷрибаи тадқиқоти гузарониданд. Бозмагнитнокшавӣ боқимонда ҳангоми гарм кардан нест мешаванд. Бинобар ин бетартибона тақсимшавӣ моменти магнетики молекулаҳо ба

вучуд омад. Дар асоси қонуни нигоҳдошташавиши моменти механикӣ, мил баъдина ба равиши аввалаи муқобили моменти механики молекулаҳо самтнок шуда ба тобхурӣ сар мекунад.

7.8. ТАҶРИБАИ БАРНЕТА

Ў таҷрибаи бараксро гузаронд: мил намуна ба тез тобхури оварда шуд, ва бо сабаби хосияти гироскопи магнетикҳои асосӣ охирон ба дараҷае дар фазо самтнок мешавад, ки мил боз магнитнок мешавад. Ҳангоми ба дигар тараф тоб хӯрдан боз магнитнок мешавад. Ин таҷриба ҳаминхел натиҷа дод – яъне нисбати моменти магнитӣ ва механикӣ бо бузургии $q = 2$ алоқаманд карда шуд.

Бинобар ин магнетикӣ асосии қири электронҳо набуда, балки худи электронҳо – тадвирак ҳамчун магнетик мебошад.

7.9. ХУСУСИЯТИ МАГНИТИИ АТОМҲО

– Агар моменти пурраи атом $j = 0$ бошад, моменти магнитии он низ баробари сифр мешавад атом диамагнит аст. Агар $j \neq 0$, он гоҳ атом дорои моменти магнитӣ – он парамагнетик мебошад.

Ҳангоми атоми моддаро дар майдони магнити беруна ҷойгир кардан: 1) диполи он самтнок мешавад, аммо 2) ин самтнокшавӣ ҳаракати гармии атомҳоро чандон вайрон мекунад. Бинобар ин агар мо хусусияти магнитии ҷисмҳои макроскопиро дида бароем, он гоҳ маълум мешавад, ки онҳо байни таъсири ин ду омил 1) 2) бузургиҳои оморӣ мебошанд.

Баъди дохил кардани X барои пазирондагӣ парамагнитӣ, ба як мол мода дахл дошта, ҳисобкуни Ланцевӣ чунин баробари ро мегирад:

$$X = \frac{C}{T}; \quad (7.9.1)$$

Дар ин ҷо T – температураи мутлақ, C – доими Кюри, ки аз (нишондоди Ланцевӣ) баробар аст:

$$C = \frac{1}{3} \frac{\mu^2 N^2}{R}; \quad (7.9.2)$$

дар ин ҷо R – доими гази унверсалӣ; $R = 8,3 \cdot 10^7 \frac{\text{эрг}}{\text{град} \cdot \text{мол}}$;

N – доими Авогадро; $6,02 \cdot 10^{23} \text{ мол}^{-1}$

μ – моменти магнитӣ асоси диполӣ

$$[\mu] = \text{эрг} \cdot \text{гаус}^{-1} \cdot \text{мол}^{-1}; \quad [R] = \text{эрг} \cdot \text{град}^{-1} \cdot \text{мол}^{-1}; \quad \left[\frac{\mu^2 N^2}{R} \right] = \\ = \text{эрг} \cdot \text{гаус}^{-1} \cdot \text{град} \cdot \text{мол}^{-1}$$

Зарбшавандаи $\frac{1}{3}$ қиммати миёна дар ҳамаи самтнокӣ имконпазири диполҳо дар фазо, гайр аз ин самтгири мунтазамро нишон медиҳад.

Дар механикаи кванти инро қабул кардан мумкин не барои он ки аз ҷиҳати квантдиҳи фазогӣ вектори пурраи моменти миқдори ҳаракат дар фазо метавонад танҳо чунин равишҳоро қабул кунад, ки проексияи он дар майдони магнитии беруна қимматҳои дискретиро мегирад:

$m = j, (j - 1), \dots - j$; дар ин ҷо m – адади пурраи momenti магнитии миқдори ҳаракат. Ҳангоми ин қимматҳои дискретиро миёна кардан ба ҷои $\frac{1}{3}$ бузургии $\frac{j+1}{3j}$ – ро ҳосил мекунем. Бинобар ин доими Кюри $C = \frac{\mu^2 N^2}{3R} \cdot \frac{j+1}{j}$ мешавад.

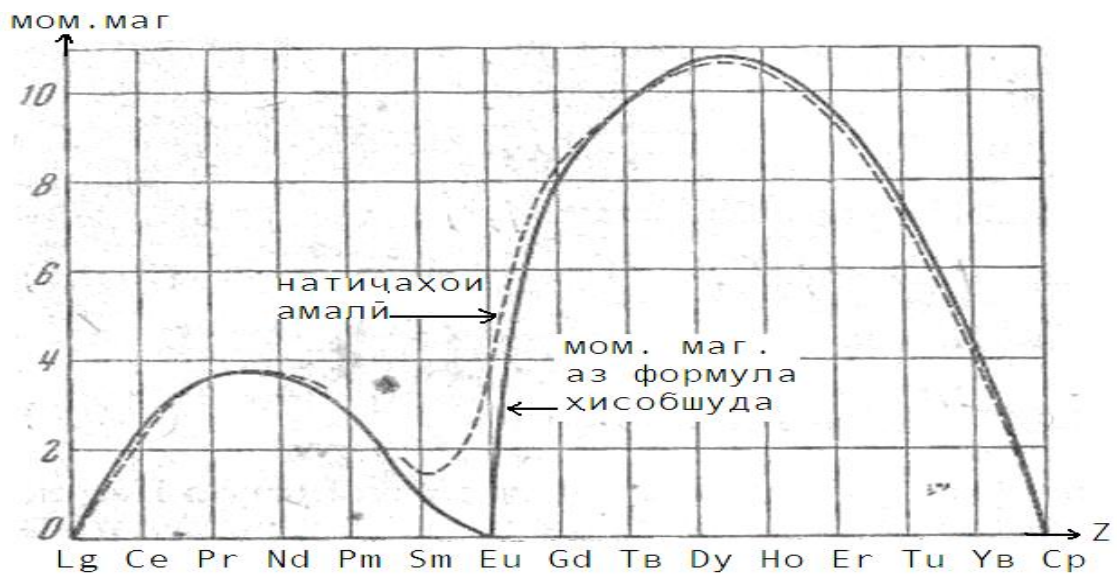
Дар амалия доими Кюри «С»-ро барои элементҳои гуногун бо momenti пурраи миқдори ҳаракат муқоиса кардан мумкин аст. Лунг ба ин монанд ченкуниҳоро барои атомҳои се маротиба ионизатсия шудаи камёфти зеризамини гузаронд, ки дар онҳо хосияти тайфбини ва магнители ба ҳолати дохили $4f$ дахл дорад, аммо атомҳои се маротиба ионизатсияшуда, қири берунашон сарбаста ($5s, 5p$, ва $6s$ пур шуда, ва ба ҳолати $5d$ – як электрон, қири дохили $4f$ пур мешавад) мебошад.

$$2,83\sqrt{c} = g\sqrt{j(j+1)} \quad (7.9.3)$$

Дар ин ҷо зарбшавандаи Ланде, бо j, l, s ифода карда мешавад. Азбаски:

$$2,83 = \frac{\sqrt{3R}}{NM_0} = \frac{\sqrt{3R}}{M_B}; \quad M_B = 5585 \text{ эрг. гаус. мол}^{-1}. \quad (7.9.4)$$

Дар расми 7.9.1 momenti магнитиро барои якчанд элементҳо бо формула ҳисоб карда (хати яклухт) ба натиҷаҳои амалӣ (ха тиреги) муқоиса гузарониданд, ки ибтидо ҳамдигар бо сеҳеҳи калон мувофиқ мебошад



Расми 7.9.1 Парамагнитизми элементҳои камёфти зеризаминии системаи даврии

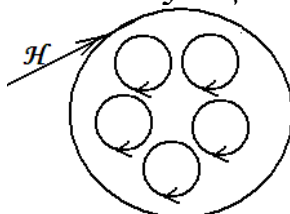
7.10. МАГНЕТИЗМ. ПАЗИРАНДАГИ ДИА ВА ПАРА – МАГНЕТИЗМ.

Ҳангоми моддаро дар майдони магнитии беруна ҷойгир кардан ин мода то бузургии муайян магнитнок шуда ба майдони магнители беруна таъсир мекунанд. Ингуна моддаҳоро магнетикҳо номида мешавад. Ҷамъи вектори

шиддатнокии майдони аввала H_0 ва майдони магнити иловагӣ H'_0 – ро вектори индуксияи магнити номида мешавад :

$$B = H_0 + H' \quad (7.10.1)$$

[B] дар системаи СИЖМ бо бузургии гаусс чен мекунад; $\left[\text{см}^{-\frac{1}{2}} \cdot \Gamma^{\frac{1}{2}} \cdot \text{сон}^{-1} \right]$ магнетикҳои якҷинса, ки бо пурраги фазоро пур мекунад дида мебароем, ки дорои майдони магнити мебошанд, он гоҳ майдони магнити иловагӣ H' мумкин ба равиши майдони беруна H_0 ё муқобили он раво бошад. Ҳодисаи якҷум ($H' \uparrow H_0$) модда парамагнетикҳо, ҳодисаи дуҷум ($H' \downarrow H_0$) диамагнетикҳо. Бояд қайд кард, ки барои ҳамаи диамагнетикҳо ва аксарияти парамагнетикҳо ($H' \ll H_0$) . Гурӯҳи феромагнетикҳо ҷудо мешаванд, ки барояшон ($H' > H_0$) . Аз сабаби он, ки пара ва диамагнетикҳо дар майдони магнити беруна худро гуногун идора мекунад. Бинобар ин Ампер фаразиятеро пешниҳод кард, ки дар молекулаҳои моддаҳои парамагнетикҳо ҷараёни доими молекулавӣ мавҷуд бошад, ки майдони магнити молекулавиро пайдо мекунад. Ҳангоми набудани майдони беруна, дар асоси ҳаракати гармо атому молекулаҳо, моменти магнити молекулаҳо нисбати якдигар бетартибона ҷойгиранд, бинобар ин қиммати миёнаи майдони магнитие, ки онҳо ба амал меоранд, баробари сифр аст. Агар парамагнетикро ба майдони магнити самтгиркунии беруна ҷойгир кунем, моменти магнити молекулаҳо самтнок шуда, майдони иловагӣ H' ҳосил мешавад, ки бо майдони аввала H_0 ҷамъ мешавад. Ҳамин тавр, магнитнокиаи иловагӣ парамагнетикҳо ба самтнокшаваи фосилаи магнити молекулаҳо мебиёрад расми 7.10.1.

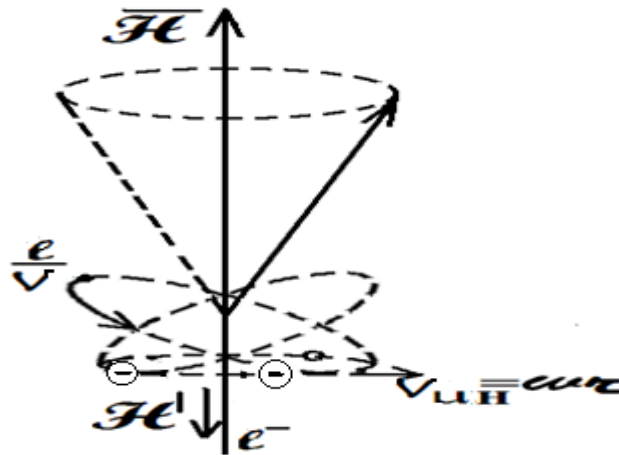


Расм 7.10.1

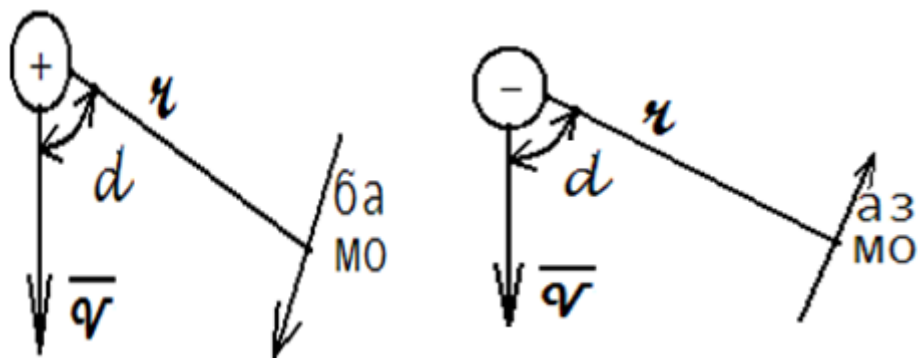
Дар молекулаҳои моддаҳои диамагнетикҳо ҷараёни доими нест, яъне моменти магнити молекулаи моддаҳои диамагнетикҳо баробари сифр аст. Ё ки як қадар ҷараёни доиравӣ мавҷуд ҳаст, моменти онҳо ҳамдигаро ҷуброн мекунад: Ҳангоми мавҷуд будани майдони магнити беруна дар молекулаҳои диамагнетикҳо ҷараёни доиравино индуксия мекунад, молекулаҳо дорои моменти магнити мешаванд. Майдони магнити ҷараёни молекулавӣ ба муқобили майдони беруна раво аст, дар натиҷа $B_{\text{диам}} = \overline{H_0} - \overline{H'}$; аз ин сабаб шиддатнокии майдон дар муҳити диамагнетикҳо кам мешавад. Пайдоиши индуксияҳои ҷараёни молекулаҳо ҳангоми ҷарҳзани ҳамвори қири электрон дар вақти атом (молекула) ро ба майдони магнити беруна ҷойгир кардан ба намуди реча фаҳмонида мешавад. Дар натиҷаи тадвир, электрон дар атрофи тири тадвир ҷарҳзани доирави иловагиро иҷро мекунад, пас индуксияҳои ҷараёни майдони магнити берунро ҳосил мекунам, расми 7.10.2а.

Раиши майдони магнитӣ, ки заряди ҳаракаткунанда пайдо мекунад, чи тавре, ки маълум аст, перпендикуляр ба ҳамворие мувофиқ меояд, ки вектори суръати зарра \vec{v} ва радиус вектори r – ро дорад. Барои зарраи

заряди мусбат (+) равиши \vec{H} аз қоидаи пармача муайян мекунад. Агар ҳаракати пешравандаи пармача ба равиши суръати v мувофиқ ояд, он гоҳ равиши ҷархзани сарча он равиши H – ро медиҳад. Барои (-) равиши H муқобил аст. Ҳамин тавр, шиддатнокии майдони магнити дар нуқтае, ки дар масофаи r аз заряди ҳаракаткунанда меистад, муайян мекунанд. Расми 7.10.2 б, в ва формулаи (7.10.2)



А)



Б)

В)

Расми 7.10.2 б, в

$$H = \frac{e}{c} \frac{[\vec{v} \cdot \vec{r}]}{r^2}; \quad [\vec{H}] = \frac{ev}{cr^2} \sin(\vec{v}r) \quad (7.10.2)$$

Ҳамин тавр ҷараёни индуксияшуда, дар диамагнетикҳо (онҳо дар молекулаҳо низ пайдо мешаванд, ки дар аввал ҷараёни доиравӣ мавҷуд буд) чунин равишро доранд, ки майдони магнити онҳо ба равиши майдони магнити муқобил раван аст.

Дар ҳодисаи диамагнетикҳо – ин ягона иловаги ба H_0 , бинобар ин $\vec{B}_q = \vec{H}_0 - \vec{H}'_{\text{дам}}$ барои парамагнетикҳо : $\vec{B}_{\text{пар}} = \vec{H}_0 + \vec{H}'_{\text{п}} - \vec{H}'_{\text{дам}}$. Аммо ташкилқунандаи диамагнетикҳо : $H''_{\text{пар}} \ll H'_{\text{пар}}$, бинобар ин дар парамагнетикҳо онро ба ҳисоб намегиранд.

Барои тавсифонидани дараҷаи магнитноқавӣ мода вектори магнитноқавӣ дохил мекунанд, дар воҳиди ҳаҷми моменти магнити баробар аст:

$P = \frac{\sum \bar{p}_i}{\Delta V}$ (дар ин ҷо $\sum \bar{p}_i$ – ҷамъи геометри моменти магнитии молекулаҳо, дар ҳаҷми ΔV мавҷуд буда).

Вектори магнитнокшавӣ P барои диа ва парамагнетикҳо ба шиддатнок майдони \bar{H}_0 майдони магнитнокшави беруна мутаносиб ҳисобидан мумкин аст, яъне

$$P = \chi H_0 \quad (7.10.3)$$

Барои магнетик додашуда χ - зарби магнетнокшави ё пазирандаги магнити номида мешавад. Барои парамагнетикҳо вектори магнитнокшавӣ \bar{P} ба равиши \bar{H}_0 раво аст (яъне, $\bar{B} = \bar{H}_0 + \bar{H}'$), бинобар ин χ қиммат мусбат (+) дорад. Барои диамагнетикҳо \bar{P} ва \bar{H}_0 бо тарафҳои муқобил раво аст, $\bar{B} = (\bar{H}_0 - \bar{H}')$, χ манфӣ (-) мебошад. Ҳамин тавр дар асоси тасавурот дар бораи атом (молекула), ҳамчун пармача ба воситаи мадвиратсион ҳангоми мавҷуд будани майдони магнитии беруна \bar{H}_0 идоракунии моддаҳои пара ва диамагнетикҳо фаҳмонидан мумкин аст.

Боз бузургии пазирандаги магнити муҳит дохил мекунад: $\mu = 1 + 4\pi\chi$.

(алоқаманди \bar{B}_1 ва \bar{H}_0 ифода мекунад):

$\bar{B} = (1 + 4\pi\chi)\bar{H}_0$, қиммати пазирандагӣ магнити барои моддаҳои гуногун ($\mu - 1$) ва $(1 - \mu)$. Барои парамагнетикҳо $\mu > 1$, диамагнетикҳо $\mu < 1$, дар ҳолигӣ $\mu = 1$; Қиматҳои бузургиҳои пара ва диамагнетикҳоро барои якчанд элементҳо муаян карда, ки натиҷаҳои чунин аст.

барои парамагнетикҳо,	диамагнетикҳо
$(\mu - 1)$	$(1 - \mu)$
Азот $0,013 \cdot 10^{-6}$	ҳидроген $0,063 \cdot 10^6$
Оксиген $1,9 \cdot 10^{-6}$	мис $8,8 \cdot 10^{-6}$
Алюмени $28 \cdot 10^{-6}$	намаки санг $12,6 \cdot 10^{-6}$
Тиллои сафед (платина) $360 \cdot 10^{-6}$	висмут $176 \cdot 10^{-6}$

Боби 8. МОДЕЛИ ВЕКТОРИИ АТОМ

8.1. МОМЕНТИ МАДОРӢ

Дар модели вектории атом адади квантии n_ϕ ба адади квантии мадори l иваз мешавад, ва моменти миқдори ҳаракати мадори электрон чунин ифода карда мешавад:

$$P_L = l\hbar; \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Вектори P_L , ба қад – қади тири даврзани раво шудааст. Агар моменти ягонаи миқдори ҳаракат $\frac{h}{2\pi}$ интиҳоб шавад, он гоҳ дарозиҳои он вектор ба l баробар мешавад. Бояд қайд кард, бо вуҷуди он ки дар асоси механикаи мавҷӣ бузургии мутлақии моменти миқдори ҳаракати мадори электрон чунин қимматро дорад:

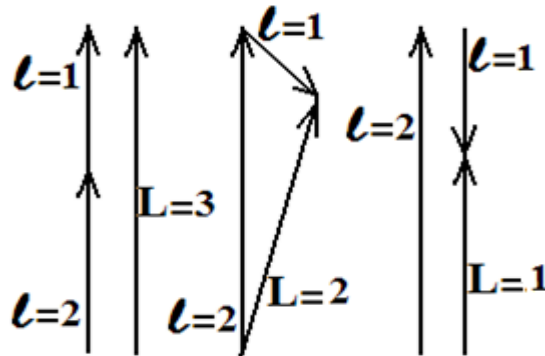
$$\sqrt{l(l+1)}\hbar, \quad l = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$$

Дар ин ҷо n – адади асосии квантӣ.

Гарчанде, ҳангоми дида баромадани модели вектории атом аз ҳама хубтар истифодабарии I , дар ҳамаи ҳисобкуниҳо, ки бояд иҷро кард, бузургии l бо

қиммати дурустаи (аниқаш) $\sqrt{l(l+1)}$ иваз карда мешавад. Ҳангоми дида баромадани атомҳои мураккаб, ҳар як электрони мадори берунаи атом бо моменти миқдори ҳаракат ва адади асоси кванти навишта мешавад. Моменти мадори пурраи атом бо ҳарфи L ифода меёбад ва суммаи моментиҳои электронҳои алоҳидаро дар бар мегирад. Аммо ин вектори суммавӣ L бо шартҳои кванти маҳдуд мешавад ва танҳо ба адади бутун баробар мешавад. Мисол, дар ҳолате, ки атом аз ду электрон иборат аст, барои онҳо $l=2$ ва $l=1$, суммаи он ба се қиммати ихтиёри баробар мешавад: 3, 2 ва 1, расми 8.1.1.

Усули ҷамъшавии ин векторҳо дар расми 8.1.1 оварда шудааст.



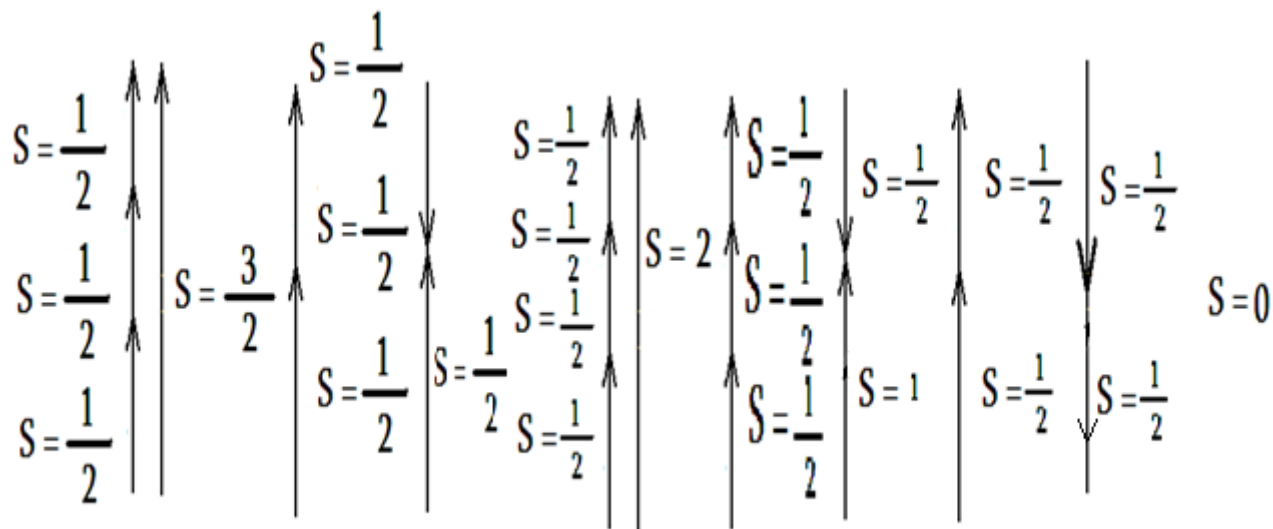
Расми 8.1.1

8.2. МОМЕНТИ ХУСУСИИ МИҚДОРИ ҲАРАКАТ. СПИНИ ЭЛЕКТРОН

Моменти миқдори ҳаракати электрон P_s ки дар натиҷаи даврзании он ҳосил мекунад. Бо бузургии зерин навишта мешавад:

$$P_s = S\hbar; \text{ дар ин ҷо } S = \frac{1}{2}$$

Дар раҷҷаи вектори моменти хусусии миқдори ҳаракати электрон, ё ки спини он, ба намуди дарози вектор тасвир карда мешавад, ки баробарӣ $\frac{1}{2}$, дар воҳиди $\frac{\hbar}{2\pi}$. Боз ивазкардан лозим мешавад, бузургии S , дар асоси механикаи мавҷӣ, баробарӣ $\sqrt{s(s+1)}$, пас на $\frac{1}{2}$, аммо $\sqrt{\frac{3}{4}}$ истифода бурда мешавад. Ҳангоми аз нуқтаи назари векторӣ дида баромадани атом адади квантии спин S истифода бурда мешавад, дар ҳисобкуниҳо қимматеро истифода мебаранд, ки механикаи мавҷи медиҳад. Суммаи вектории моменти миқдори ҳаракати якчанда электронҳо ба чунин маҳдудият итоат мекунад: барои адади электронҳои тоқ S бояд тоқ боша ва карати ба $\frac{1}{2}$, барои адади ҷуфти электронҳо S бояд ба адади бутун баробар шавад. Пас маълум мешавад, ки векторҳои спин, бояд ҳамавақт паралел ё гайрипаралел бошанд, нигаред ба расми 8.1.1.а. Дар расми 8.1.1.б ҷамъи векторҳо барои атомҳои се электрона ва расми 8.1.1.б барои атомҳои чор электрона нишон дода шудааст.



а)

б)

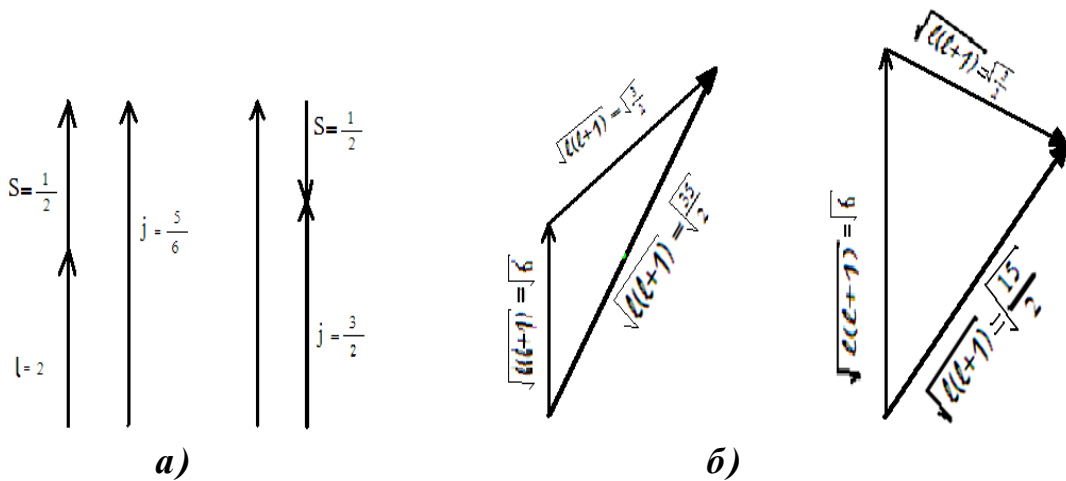
Расми 8.1.2 чамъшавиши векторҳо.

Агар атом аз се электрон иборат бошад, S метавонад, баробар шавад

$\frac{1}{2}$ ё $\frac{3}{2}$, ҳангоми чор электрон S чунин қиммат мегирад 0, 1, 2.

8.3. ВЕКТОРИ ПУРРАИ МОМЕНТИ МИҚДОРИ ҲАРАКАТ.

Дар бисёр ҳолатҳо, мисол барои элементҳои металлҳои шиқорӣ, тағирёби дар қишири электрони гузариши як электрон яъне электрони валентӣ ба пайдошавиши тайфи атомҳо мебиёрад. Моменти пурраи миқдори ҳаракати як электрон ба суммаи моменти мадорӣ ва спини электронҳо баробар аст. Моменти пурра аз баробарии $j\hbar$ муайян карда мешавад, дар ин ҷо j — адади квантии моменти пурра. Вектор j , моменти пурраро меиҳад, аз баробарии $j = l + S$ (8.3.1) муайян карда мешавад, гайр аз ин суммаи векторҳо ҳамавақт бояд ба адади тоқ карати бошад ба $\frac{1}{2}$. Яъне S ҳамавақт баробари $\frac{1}{2}$, он гоҳ j метавонад танҳо ду қиммат дошта бошад, барои бузургии додашуда l , яъне $l + \frac{1}{2}$ ё $l - \frac{1}{2}$. Дар ҳолати $l = 0$ танҳо як қиммат мегирад, ки баробарии $\frac{1}{2}$. Ҳамин тавр, барои $l = 2$ ва $S = \frac{1}{2}$ (расми 8.3.1а) j метавонад ба $\frac{5}{2}$ ва $\frac{3}{2}$ баробар шавад. Бояд қайд кард, ки аз назарияи механикаи мавҷи бузурги вектори j бояд баробар шавад ба $\sqrt{j(j+1)}$. Ҳангоми чамъ кардани векторҳои l ва S қиммати мутлақи он баробар мешавад $\sqrt{l(l+1)}$ ва $\sqrt{s(s+1)}$ расми 8.3.1б.



Расми 8.3.1 а,б

Расми 8.3.1 ҷамъшавии векторҳои l, s ва j .

8.4. ВЕКТОРИ МОМЕНТИ ПУРРАИ МИҚДОРИ ҲАРАКАТИ АТОМҲОИ БИСЁРЭЛЕКТРОНА.

Агар тағйирёби дар ҳолатҳои атом, гузариши ду ё зиёда адади электронҳо ба вуҷуд оварданд, он гоҳ қиммати momenti пурраи ин электронҳо, бо J ифода меёбад, аз таъсири байни электронҳо ё алоқамандии байни momenti мадорӣ ва спин вобаста мебошад. Таҷриба нишон дод, ки аз ҷама зиёд навъи алоқа ки вомахӯрад, намуди алоқани Рассел – саундерӣ мебошад, ин алоқа, алоқани байни momenti мадорӣ ва спинро меомӯзад. Дар ин намуди алоқа ҳаммаи векторҳои momenti мадори электронҳо вектори натиҷавиро ташкил мекунанд, \vec{L} ва векторҳои спинҳо новобаста аз ин вектори натиҷави S – ро ташкил мекунанд.

$$\vec{L} = \sum \vec{l}_i, \vec{S} = \sum \vec{s}_i \quad (8.4.1)$$

Моменти пурраи миқдори ҳаракати атом аз баробари зерин муайян карда мешавад:

$$J = L + S \quad (8.4.2)$$

Бинобар ба momenti пурраи атомҳои бисёрэлектрона P_L, P_S ва P_J ин таърифи муайян мешаванд:

$$P_L = \sqrt{L(L+1)}\hbar, P_S = \sqrt{S(S+1)}\hbar, P_J = \sqrt{J(J+1)}\hbar \quad (8.4.3)$$

Адади кванти L – қимматеро қабул мекунанд, аз якдигар бо як фарқ мекунанд. L – метавонад қимматҳои минималӣ ва максималиро гирад, ки дар ҳудуди $\sum l_i$ меҳобад. Мисол, агар се электрон чунин қимматҳо дошта бошанд: $l_1 = 1, l_2 = 1, l_3 = 2$ он гоҳ қиммати максималии L баробари $|\sum_i l_i| = 1 + 1 + 2 = 4$, ва қиммати минималии L : $1 + 1 - 2 = 0$. Пас L чунин қимматҳоро мегирад $L = 4, 3, 2, 1, 0$. Адади квантии S низ чунин қимматҳоро мегирад, ки аз якдигар бо як фарқ мекунанд, пас дар назди $\sum S_i$ меҳобанд, қиммати максимали ва минималиро қабул мекунанд. Суммаи вектори J чунин қимматҳоро мегирад

$$J = L + S, L + S - 1, \dots, |L - S| \quad (8.4.4)$$

Аз ин ҷо дида мешавад, ки $L > S$, J қиммати $2S + 1$ мегирад. $2S + 1$ қиммат ба самтгирӣ momenti мадорӣ ва momenti спинӣ P_L ва P_S мувофиқ меояд.

Ба самтноки P_L ва P_S қимматҳои гуногуни энергияи таъсири байни онҳо мувофиқ меояд. Бинобар он ҳар яки ҳолатҳои энергиявӣ мувофиқат мекунад ба L ва S ба $2S + 1$ ҳолат. Ҳамин тавр, бисёри ҳолатҳои ба қиммати S мувофиқ омада ба қиммати $2S + 1$ монанд, ки хосияти мултиполи термҳоро метавсифонад. Мисол агар $S = 1$ бошад, он гоҳ $2S + 1 = 3$ мешавад, яъне ин терми сечанда, агар $S = 2$ шавад, он гоҳ $2S + 1 = 5$, пас мо терми панҷтоги ҳосил мекунем ва ғайра.

8.5. ХОСИЯТИ ДУЧАНДАИ ТАЙФИ МЕТАЛҲОИ ИШҚОРӢ. ТАЙФИ НАТРИӢ

Омӯхтани хатти тайфи металҳои ишқори нишон дод, ки дар металҳои ишқори таркиби маҳин мушоҳида мешавад. Барои инро фаҳмонидан тайфи натри (Na) –ро дида мебароем. Ҳангоми тадқиқоти ин хатҳои тайф бо асбобҳои тафриқаашон баланд, ошкор карда шуд, ки аксарияти хатҳо дучанда мебошанд, яъне аз ду хат, ки ниҳоят ба ҳам наздик ҷойгиранд. Монанди D –хат натриро аз ду хатти ба ҳам наздик ҷойгиришуда иборат аст, ки дарози мавҷи онҳо $5889,96A^0$ ва $5895,93A^0$, яъне онҳо аз якдигар тахминан ба $6A^0$ фарқ мекунад. Хатти серияи асосӣ ҳангоми гузаштан аз P ҳолат ба ҳолати асосии S пайдо мешавад. Азбаски қиммати хурдтарини адади асосии кванти барои натри баробар $n = 3$, он гоҳ ҳолати асосӣ рамзи $3S$. Азбаски $l = 0$, он гоҳ фосилаи пурра j барои ин ҳолат баробар $j = l + S = 0 + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$. Барои P ҳолат $l = 1$ ва $S = +\frac{1}{2}$, бинобар он фосилаи пурра j баробар мешавад:

$$j = l + S = 1 + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}, \quad j = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}.$$

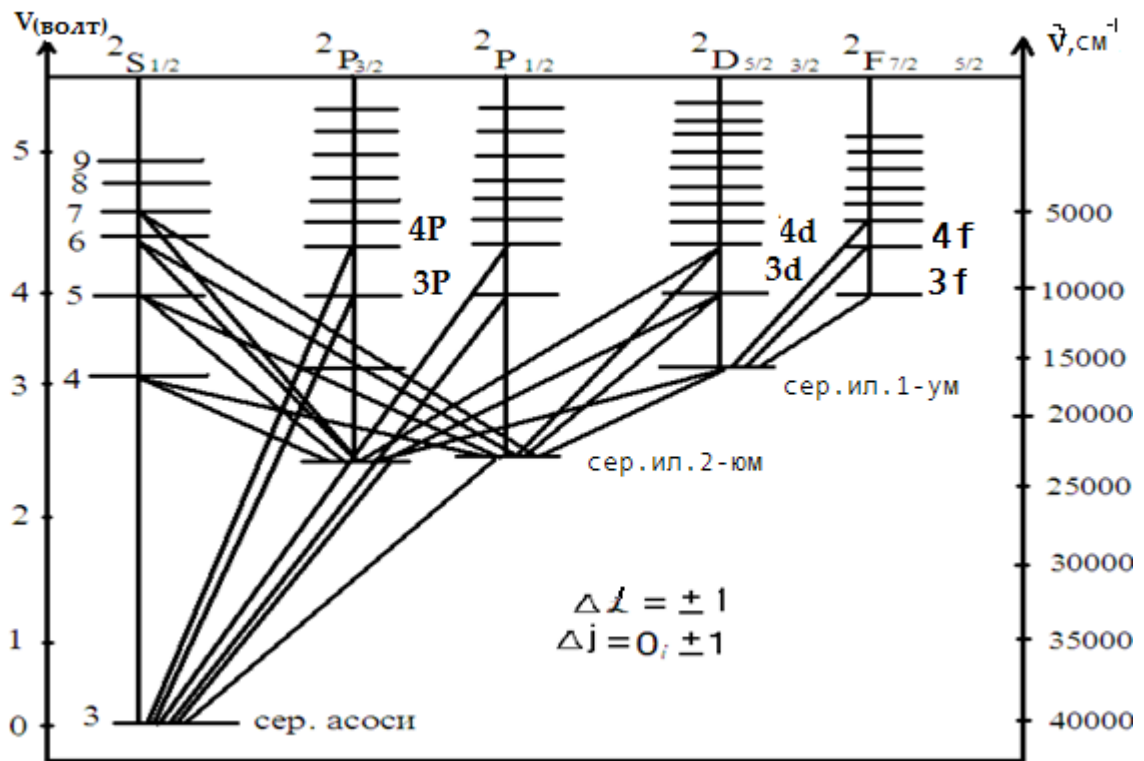
Азбаски ду қиммати j мавҷудаст, он гоҳ ҳолати P дучанда буда чунин ишора мешавад $2P_{\frac{1}{2}}, 2P_{\frac{3}{2}}$. Монанди ин, барои D –термҳо $l = 2$, $s = +\frac{1}{2}$, $j = \frac{3}{2}$ ва $\frac{5}{2}$, ҳамин тариқ D –термҳо ин чунин дучанда мебошанд: ${}^2D_{\frac{3}{2}}, {}^2D_{\frac{5}{2}}$; F – терм ҳам дучанда аст, барои он: $l = 3$, $s = \pm\frac{1}{2}$, $j = \frac{5}{2}$ ва $\frac{7}{2}$ ишора мешавад: ${}^2F_{\frac{5}{2}}$ ва ${}^2F_{\frac{7}{2}}$.

S – ҳолат ҳамавақт ҳолати ячанд, азбаски ҳамаи ҳолатҳои дигар атом дучанда мебошанд, он гоҳ S ҳолатро шартан ${}^2S_{\frac{1}{2}}$ ишора мекунем.

Савияи $3^2S_{\frac{1}{2}}$ савияи энергияи хурдтарин баҳисоб меравад, ва қиммати ададии он ба $41449,0\text{см}^{-1}$ баробар аст. Ин ба $5,12\text{эВ}$ эквивалент аст, ба энергияе баробар аст, ки барои электронро аз савияи 3^2P ҳолат ба ҳолати асосии $3^2S_{\frac{1}{2}}$ ҳосил мешавад. Ин хатҳо дучанда мебошанд, барои он ки онҳоро гузариш аз савияи $2P_{\frac{1}{2}, \frac{3}{2}}$ ба савияи $2S_{\frac{1}{2}}$ ба вуҷуд меоваранд.

Хатти зарди натри ҳангоми гуногун гузаришҳо пайдо мешавад:

$$\begin{aligned} n^2S_{\frac{1}{2}} &\rightarrow 3^2P_{\frac{1}{2}}, & \lambda &= 5895,93A^0 \quad (\text{хатти } D_1) \\ n^2S_{\frac{1}{2}} &\rightarrow 3^2P_{\frac{3}{2}}, & \lambda &= 5889,96A^0 \quad (\text{хатти } D) \end{aligned}$$



Расми 8.5.1

Расми 8.5.1. Реҷаи савияи энергиявӣ натри Na.

Адади мавҷии хатҳои дилхоҳӣ серияи асосӣ чунин муайян карда мешавад:

$$\bar{\nu} = n^2 S_{\frac{1}{2}} - 3^2 P_{\frac{1}{2}} \quad (n = 4, 5, 6, \dots)$$

$$\bar{\nu} = n^2 S_{\frac{1}{2}} - 3^2 P_{\frac{3}{2}} \quad (n = 4, 5, 6, \dots)$$

Хати возеҳии серияи 2-юми иловагӣ ҳангоми гузариш аз савияҳои баландтари $2^2 S_{\frac{1}{2}}$ ба савияи $3^2 S_{\frac{1}{2}}$ ба вуҷуд меояд ва адади мавҷи онҳо аз чунин баробариҳо муайян карда мешавад.

$$\bar{\nu} = 3^2 P_{\frac{1}{2}} - n^2 S_{\frac{1}{2}} \quad (n = 4, 5, 6, \dots)$$

$$\bar{\nu} = 3^2 P_{\frac{3}{2}} - n^2 S_{\frac{1}{2}} \quad (n = 4, 5, 6, \dots)$$

Гузаришҳо аз $2^2 D$ савия ба $3^2 P$ савия серияи дифузионӣ иловаги якумра $3^2 P_i - n^2 D_i$ ҳосил мекунад, ва гузаришҳо аз савияи $2F$ ба савияи $3^2 D$ серияи асоси пайдо мешавад.

Мумкин гузаришҳо байни ҳолатҳои S ва P, P ва D, D ва F низ ҷой дошта бошад. Гузаришҳо, ки мумкин ҷой дошта бошанд, аз рӯи чунин қоидаи интихоб барои векторҳои l ва j муайян карда мешавад: $\Delta l = \pm 1$, $\Delta j = 0$ ё ± 1 ; $\Delta l = l_2 - l_1$, $\Delta j = j_2 - j_1$.

Ҳамин тавр хосияти дучандаи савияҳои энергиявӣ на танҳо ба Na балки ба дигар металҳои ишқорӣ монанд мебошад, инчунин барои атомҳои як маротиба иониш шуда элементҳои ишқорӣ зери заминӣ, мисол Be^+ , Mg^+ , Ca^+ ва ғайра мушоҳида мешавад.

8.6. ТАСНИФИ ТАЙФИ МЕТАЛҲОИ ИШҚОРӢ.

Барои фаҳмонидани таснифи тайфи металҳои ишқорӣ атомеро дида мебароем, ки аз ду электрони валентӣ иборат мебошад. Атом ба ду электрони валентӣ – ин чунин атоме, ки гайр аз электрони валентӣ, электронҳои боқимонда қиши сарбастаро ташкил мекунад ва моменти натиҷавӣ баробари сифр аст. Ба ин атомҳо дохил мешаванд He; I; Li; II; Be; III ... Элементро дида мебароем, ки дорои ду электрони валентӣ аст. Фарз кунем, ки электрон дар 1S ҳолат ҷойгир аст, дигар электронҳо ба дигар мадори имконпазир ҳаракат мекунанд, барои он қиммати адади асосии кванти $n = 2$. Дар ин ҳолат барои электрони якӯм $l_1 = 0$, бинобар он қиммати P_L танҳо аз қиммати имконпазири $l_2 = L$ муайян карда мешавад. Моменти натиҷавии спин $P_S = P_{S_1} + P_{S_2}$ чунин қимматҳо мегирад: $S = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$ ва $S = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$. Ҳолати $S = 0$ ва $S = 1$ –ро ба таври алоҳида дида мебароем. Ҳангоми муайян кардани J дар ҳолати якӯм, моменти спин дохил намешавад, барои он ки $S = 0$. Барои ин ҳолатҳо терми ягона ва сегона мувофиқ меояд.

Дар ҳолати дуҷум $S = 1$, вобаста аз қиммати J ва L термҳои гуногун ҳосил мекунем, яъне сегона. Қиммати J аз формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$J = L + S, L + S - 1, \dots, |L - S| \quad (8.6.1)$$

Барои ҳолати якӯм ҳангоми $S = 0$, $J^* = 2S + 1 = 1$, J^* – тақсимиавии хатҳои тайфро нишон медиҳад қадвали 8.6.1.

Қадвали 8.6.1

Электрони якӯм	Электрони дуҷум	$S = 0$	ℓ	L	J	Ишора
1S	1S	$S = 0$	$\ell = 0$	$L = 0$	$J = L + S = 0$	1S_0
1S	2P	$S = 0$	$\ell = 1$	$L = 1$	$J = L + S = 1$	1P_1
1S	3D	$S = 0$	$\ell = 2$	$L = 2$	$J = L + S = 2$	1D_2
1S	4F	$S = 0$	$\ell = 3$	$L = 3$	$J = L + S = 3$	1F_3

Азбаски J қиммати $J = 2S + 1$ мегирад, ҳангоми $S = 1$, J – ҳамавақт қиммат мегирад $J = L + S, L + S - 1, \dots, L - S$ қадвали 8.6.2.

Қадвали 8.6.2

Электрони якӯм	Электрони дуҷум	$S = 1$	ℓ	L	$J = L + S, L + S - 1, L - S$	Ишора
1S	1S	$S = 1$	$\ell = 0$	$L = 0$	$J = L + S - 1$	3S_1
1S	2P	$S = 1$	$\ell = 1$	$L = 1$	$J = \frac{L+S}{2}, \frac{L+S-1}{1}, \frac{L-S}{0}$	$^3P_2, ^3P_1, ^3P_0$
1S	3D	$S = 1$	$\ell = 2$	$L = 2$	$J = \frac{L+S}{3}, \frac{L+S-1}{2}, \frac{L-S}{1}$	$^3D_3, ^3D_2, ^3D_1$
1S	4F	$S = 1$	$\ell = 3$	$L = 3$	$J = \frac{L+S}{4}, \frac{L+S-1}{3}, \frac{L-S}{2}$	$^3F_4, ^3F_3, ^3F_2$

Ҳамин тавр ҳосил мекунем қадвали 8.6.3.

Қадвал 8.6.3

Эл. 1	Эл. 2	L	$S=0$		$S=1$	
			ишора	J	J	ишора

<i>IS</i>	<i>IS</i>	<i>0</i>	<i>¹S₀</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>³S₁</i>
<i>IS</i>	<i>2P</i>	<i>1</i>	<i>¹P₁</i>	<i>1</i>	<i>0, 1, 2</i>	<i>³P₀, ³P₁, ³P₂</i>
<i>IS</i>	<i>3d</i>	<i>2</i>	<i>¹D₂</i>	<i>2</i>	<i>1, 2, 3</i>	<i>³D₁, ³D₂, ³D₃</i>
<i>IS</i>	<i>4f</i>	<i>3</i>	<i>¹F₃</i>	<i>3</i>	<i>2, 3, 4</i>	<i>³F₂, ³F₃, ³F₄</i>

Ҳамин тавр мо нишон додем, ки атоми дуэлектрона дорои ду гурӯҳ термҳои гуногун, яке аз он яктои дигараш се тои (сечанда) иборат аст. Дар ҷадвал аломати тарафи чапи *S, P, d, f* мултиполи термро мефаҳмонад, нишондоди тарафи рост *J* –ро муайян мекунад. Натиҷаҳо нишон медиҳад, ки термҳои ягона ва сечанда нисбат ба ҳамдигар дур ҷойгиранд. Савияи *S = 1* нисбати савияи *S = 0* хеле чуқур ҷойгир аст.

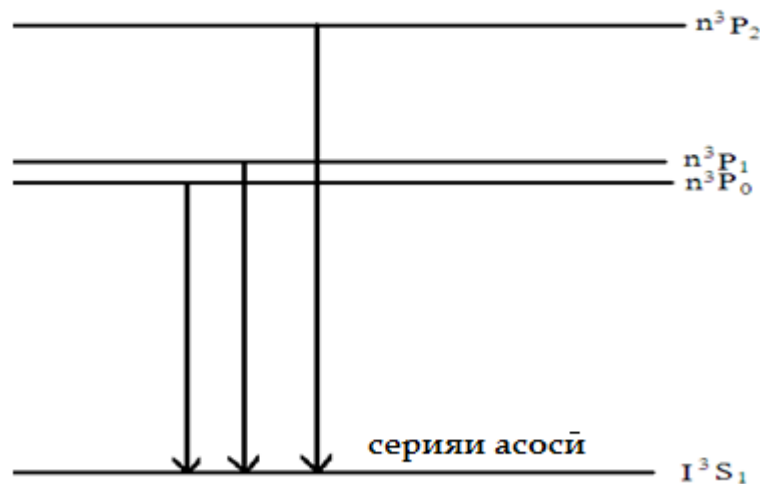
Дар мавриде, ки як электрон ҳамавақт дар ҳолати $l_1 = 0$ ҷойгир аст, бинобар он ҳолати муқими атом аз ҳолатҳои гуногуни ҳаракати электрони дуюм фарқ мекунад. Афканишот низ ҳангоми гузариши электрони дуюм аз як ҳолат ба ҳолати дигар ҳосил мешавад. Гузариши ҳосил мешавад, вақте, ки қоидаи интиҳоб иҷро мешавад:

$$\Delta l = \pm 1, \Delta j = 0, \pm 1, \Delta s = 0. \quad (8.6.2)$$

Мисол: Гузариши байни чунин термҳо мушоҳида мешавад:

S(*L* = 0) ва *P*(*L* = 1), термҳои *P*(*L* = 1), ва *S, P, D*(*L* = 2).

Бинобар он дар термҳо низ серияи асоси ва иловагиро мушоҳида кардан мумкин аст. Серияи сегона аз се хат иборат аст расми 8.6.1.

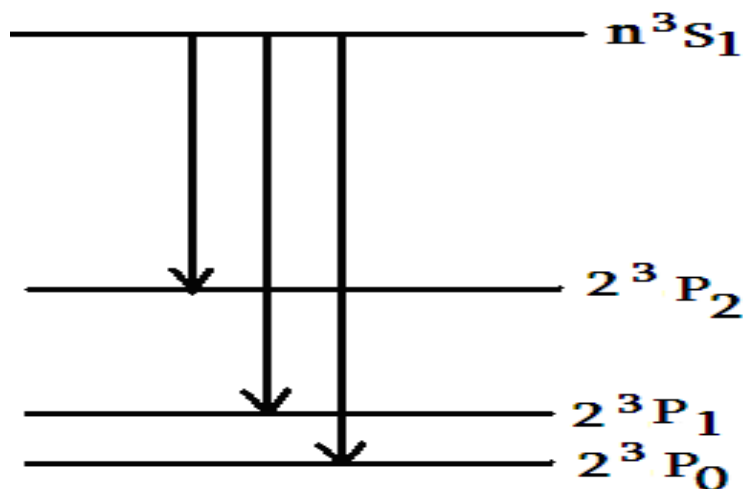


Расми 8.6.1

$$\bar{\nu} = 1^3S_1 - n^3P_0, \quad \bar{\nu} = 1^3S_1 - n^3P_1, \quad \bar{\nu} = 1^3S_1 - n^3P_2$$

Дар ин ҷо хатти сегона серияи асосиро ҳосил мекунад.

Хатти иловагии 2-юм аз қатори се хат пайдо мешавад расми 8.6.2.



Расми 8.6.2. Серияи иловагии 2-юм

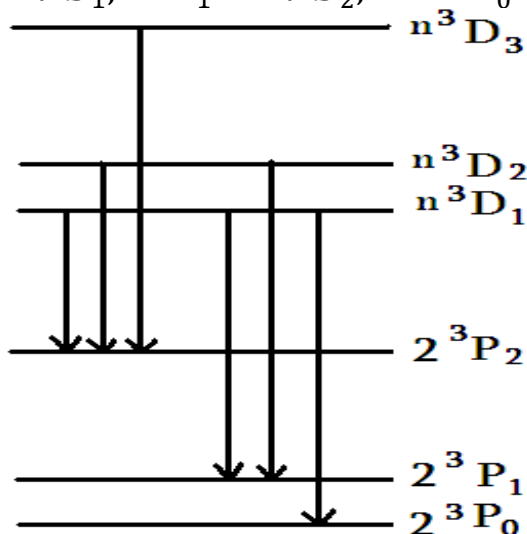
$$\bar{\nu} = 2^3P_0 - n^3S_1, \quad \bar{\nu} = 2^3P_1 - n^3S_1, \quad \bar{\nu} = 2^3P_2 - n^3S_1$$

Дар расми 8.6.2 пайдошавии серияи сегонаи иловагии 2-юм нишон дода шудааст.

Хатҳои тайфи иловагии якӯм дар натиҷаи гузариши байни савияҳои n^3D_j ба 2^3P_j ҳосил мешавад. Дар ин ҷо барои ҳар як қиммати n нӯҳ хат мушоҳида мешавад, аммо аз рӯи қоидаи интиҳоб чунин хатҳо мушоҳида мешаванд расми 8.6.3;

$$2^3P_2 - n^3D_1, \quad 2^3P_2 - n^3D_2, \quad 2^3P_2 - n^3D_3$$

$$2^3P_1 - n^3D_1, \quad 2^3P_1 - n^3D_2, \quad 2^3P_0 - n^3D_1$$



Расми 8.6.3. Серияи иловагии якӯм.

Ҳамин тавр, тайфи серияҳо нишон медиҳад, ки танҳо хатти серияи асосӣ ва иловагии дуҷум ба хатти сечанда монанд мебошанд, серияи боқимонда иловагии якӯм ба сечанда монанд нест, барои он ки хатҳои серия аз 6 иборат нест.

Ҳамин тавр ингуна серияҳоро барои элементҳои дар боло номбар шуда ҳосил кардан мумкин аст.

8.7. ПРИНЦИПИ ПОУЛӢ

Ҳолати ҳар як электронро дар атом бо маҷмӯи ададҳои квантии

n, l, m_l, m_j ё n, l, j, m_j тавсифонида мешавад. Фарз кунем, ки атом дар ҳолати нормали мавҷуд аст. Ҳолати нормали атом гуфта ҳолати муқимино меноманд, ки ба имконияти энергияви хурдтарин соҳиб аст. Агар дар системаи атомҳо танҳо як электрон бошад (атоми ҳидроген ионҳои ҳидрогенмонанд), он гоҳ бе гон мамоният гуфтан мумкин аст, ки ҳолати нормали он яке аз ҳолатҳои мебошад, ки бо чунин қиммати ададҳои кванти тавсонида мешавад.

$$n = 1, l = 0, j = \frac{1}{2}, m_j = \pm \frac{1}{2}$$

Агар дар атом якчанд электронҳо ҷойгир бошанд, он гоҳ барои муайян кардани ҳолати нормали он бояд пешаки чунин масъаларо ҳал кунем, ҳамаи электронҳои дар атом буда дар як ҳолати муқими, ё ки дар ҳолати нормалии муқимӣ гуногун ҷой гиранд.

Пас, ҳамин тавр бошад, электронҳо дар атом бояд ба ҳолати нормали ҷой гиранд, умуман гуфтан мумкин, ки дар ҳолатҳои муқими якхела ҷойгир нестанд. Дар кадом ҳолатҳои муқимӣ бояд ба таври нормалӣ электронҳо ҷойгиранд?

Паули қоидаи мухтасарро қори кард, ки имконият медиҳад, дар кадом ҳолати нормали муқимӣ электрон ҷойгир аст, муайян кунем. Ин қоида номи принципи Паулиро гирифт. Принципи Паули яке аз принципҳои асоси муҳимтарини механикаи квантӣ аст. Принципи Паули аз ҳамин иборат аст, ки: дар атом дар ҳолати муқимӣ метавонад на аз як зиёд электрон ҷойгирад.

Азбаски ҳар ҳолати муқимӣ бо қиммати чор ададҳои квантӣ n, l, m_l, m_j ё n, l, j, m_j тавсифонида мешавад, он гоҳ дар асоси принципи Паули, мо бояд гӯем, ки дар атом аз ду зиёд электронҳо дар ҳолате, ки бо қиммати чор адади кванти тавсифонида мешавад, ҷойгир шуда, наметавонанд.

Пас, чанд электрон дар кадом ҳолатҳо метавонад ҷойгирад? Муайян мекунем, чанд электронҳо метавонад дар ҳолате, ки адади асосии квантӣ $n = 1$ ҷой гиранд. Яъне, ҳолатҳои гуногун баробари $2n^2$, он гоҳ ҳангоми n , баробари як будан, адади чунин ҳолатҳо баробари 2 аст. Ин чунин ҳолатҳо мебошад:

n	l	j	m_j
1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
1	0	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$

Ҳардуи ҳолат танҳо аз қиммати адади квантӣ чоруми m_j фарқ мекунад. Азбаски энергия аз бузургии адади квантии магнитӣ вобаста нест, он гоҳ электронҳои ба ҳар ду ҳолат ҷойгир буда, энергияи якхеларо доранд, пас ин гуна ҳолатҳо дар атом пеш аз ҳама амалӣ мешавад.

Дар асоси принципи Паули ҳангоми $n = 1$ танҳо метавонад як электрон ҷой гирад. Агар дар атом аз ду зиёд электронҳо бошанд, он гоҳ метавонанд, дар ҳолатҳои энергиявӣ баланд бо адади асосии квантии $n = 2, 3, 4, \dots$ ҷойгир шаванд.

Акнун дар асоси Принципи Паулї адади электронҳоро дар атом муайян мекунем, ки бо ададҳои кванти якхела як, ду, се n, l, m_l, m_s метавсифонанд:

а) Ҳангоми якхела будани n, l, m_l, m_s – гуногун. Дар ҳақиқат $m_s = \pm \frac{1}{2}$. Пас дар атом таноҳо ду электронро бо қимматҳои якхелаи адади квантӣ n, l, m_l тавсифонидан мумкин аст.

б) n ва l якхела. Бароми l – додашуда; m_l метавонад $2l + 1$ қиммат гирад, ва гайра аз ин барои ҳар як се ададҳои квантии n, l, m_l , адади кванти m_s ду қиммат мегирад. Пас ин тавр бошад, ҳамаги дар атом мумкин $2(2l + 1)$ электронҳо ба ададҳои квантии якхела n, l ҷойгиранд. Барои $l = 0$ (s – ҳолат) мумкин ду электрон. Барои $l = 1$ (p – ҳолат) – 6 электронҳо. Барои $l = 2$, 10 электронҳо (дар d – ҳолат) ва гайра...

в) адади квантии якхелаи n . Барои n – додашуда; l метавонад $(n - 1)$ қиммат гирад: $0, 1, 2, \dots (n - 1)$, ҳангоми муайян кардани n ва l дар атом метавонад $2(2l + 1)$ электронҳо ҷойгиранд. Пас ин тавр бошад, адади максималии электронҳо бо адади асосии квантӣ якхела ба ҳамми онҳо баробар аст:

$$N_n = \sum_{l=0}^{n-1} 2(2l + 1) = 2(1 + 3 + 5 + 7 + \dots + 2n - 1) = 2 + 6 + 10 + 14 + \dots + 2(2n - 1) = 2n^2$$

Ин адади максималии электронҳо, дар атом бо ададҳои асосии квантӣ якхела алоқаманд мебошанд.

Барои $n = 1$; 2 – электрон; $n = 2$ 6 – электрон; $n = 3$; 10 – электронҳо ва гайра.

8.8. ҚИШР (ҚАБАТ)-И ЭЛЕКТРОНҲО.

Электронҳое, ки дорои адади асосии квантии якхелаанд, қишр ё қабатро ташкил мекунанд. Электронҳои l – лашон якхела зери гурӯҳро ташкил мекунанд.

Қишрҳо вобаста аз қиммати n чунин номгузори шудаанд:

Адади асосии квантӣ n : 1 2 3 4 5

Қишр (қабат): K L M N O

Миқдори электронҳоро дар ҳар як қишр вобаста аз қиммати адади кванти асоси муайян мекунанд:

Дар S – зери гурӯҳ мумкин ҷой гирад $2(2l + 1) = 2$ – электрон, $l = 0$

Дар P – зери гурӯҳ мумкин ҷой гирад $2(2l + 1) = 6$ – электрон, $l = 1$

Дар d – зери гурӯҳ мумкин ҷой гирад $2(2l + 1) = 10$ – электрон, $l = 2$

Дар f – зери гурӯҳ мумкин ҷой гирад $2(2l + 1) = 14$ – электрон, $l = 3$

Адади калонтарини дар атом барои қиммати додашудаи n, l дар ҷадвал оварда шудааст, ҷадвали 8.8.1.

Ҷадвали 8.8.1

Даври систем а	n	қишр	$l =$	1	2	3	4	Адади умумии электронҳо
			Зери гурӯҳ:	S	P	d	f	

				<i>дар қириш</i>
<i>1</i>	<i>1</i>	<i>K</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
<i>2</i> } <i>3</i> }	<i>2</i>	<i>L</i>	<i>2 + 6</i>	<i>8</i>
<i>4</i> } <i>5</i> }	<i>3</i>	<i>M</i>	<i>2 + 6 + 10</i>	<i>18</i>
<i>6</i> } <i>7</i> }	<i>4</i>	<i>N</i>	<i>2 + 6 + 10 + 14</i>	<i>32</i>
	<i>5</i>	<i>O</i>	<i>2 + 6 + 10 + 14 + 18</i>	<i>50</i>

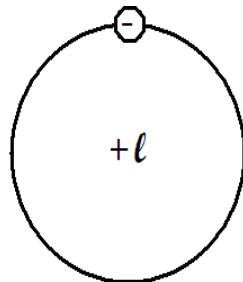
Ҳамин тавр аз принци Паули бар меояд, ки пуришави қишрҳои электрони атомҳо чунин мегузарад:

1. Ба атом ҳамроҳ (пайваст) шавии электрон дар ҳолати хурдтарини имконпазири адади кванти алоқаманд мекунад.
2. Электронҳо оҳиста – оҳиста бо адади асосии кванти якхела то қиммати максимали $2n^2$ қишрҳоро пур мекунад.
3. Баъди пуришавии қишр таркиби устувор пайдомешавад.
4. Электрони оянда қишри навро пур мекунад.

Фарқи байни тартиби идеали пуришавии қишрҳои электронӣ, вақто, ки адади электронҳо дар қишр (дар қабатҳо бо n якхела) бояд 2, 8, 18, 32 бошанд. Дар қадвали реалии элементҳо бошад адади электронҳоро дар сатр, 2, 8, 8, 18, 18, 32 мебинем.

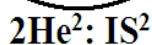
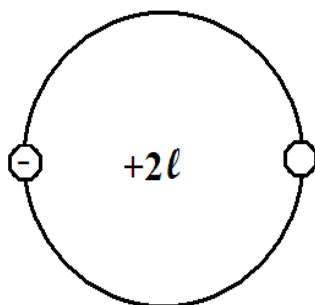
Ҳангоми ҳисоби адади электронҳо дар зерӣ гурӯҳ мо аз он нуқтаи назар мебинем, ки ҳар як электрон дар майдони маркази U ҷойгир аст, байни электронҳо таъсир вуҷуд надорад. Дар асл ин расми идеали иҷронашаванда, ки ин сабаби такроршавии зерӣ гурӯҳ 8 ва 18 электронҳо мебошад. Барои инро нишон додан, тартиби пуришавии қишр ва зерӣ гурӯҳро дида мебароем.

1. Фарз кунем, ки ҳаста бо заряди $+e$ –ро дорем. Ҳангоми ба он наздик шудани электрон, азбаски ҳамаи ҳолатҳо холианд, он гоҳ вай ҳолате, ки ба адади кванти хурдтарини $n = 1; l = 0; 1S$ ҳолат мувофиқ меояд ҷой мегирад, элементи ҳидроген пайдо мешавад.

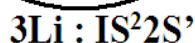
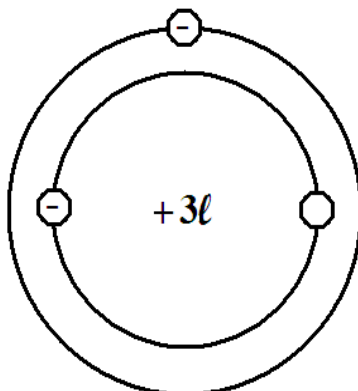


$H: 1S^1$ $H^1: 1S^1$

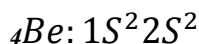
2. Барои ҳастаи заряди $+2e$ электрони дуюм ин чунин ба ҳолати $1S$ ҷой мегирад, барои он дар асоси Принципи Паули барои ҳолати $1S$ ду электрон ҷой гирифтани мумкин. Атоми гелиро ҳосил мекунем – гази асил.



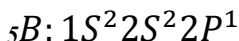
3. Электрони сеюм барои ҳастаи $+3e$ элементи Лити. Азбаски қабати $1S$ пур аст, ба ҳолати наздики имконпазири энергиявӣ $2S$ меафтад, ($n = 2, l = 0$).



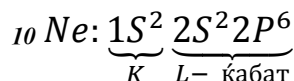
4. Дар $2S$ ҳолати электрони чорум ҷой мегирад, атоми берили ҳосил мешавад.



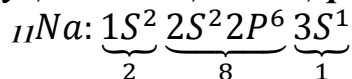
5. Электрони панҷум бор ба ҳолате алоқаманд аст, ки қиммати $l = 1$ ($2p$ -ҳолат), азбаски ҳолати $l = 0$ ($2S$ -ҳолати) алоқаманд аст, ба ҳолати $2p$ ҷойгир мешавад.



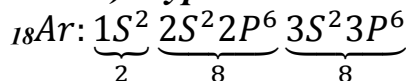
6. Пас то электрони даҳум (неон) пуришавии шаши ҷой холи $2p$ -ҳолат сар мешавад. Сохти атоми неонро чунин навиштан мумкин аст: $2P(n = 2, l = 1)$.



7. Электрони ёздаҳум натри Na ба ҳолати $3S$ алоқаманд аст. ($n = 3, l = 0$).. Инро усули тайфсанчи ва химиявӣ тасдиқ мекунад. Натри монанди элементи Лити ба гурӯҳи металлҳои ишқори дохил мешавад.

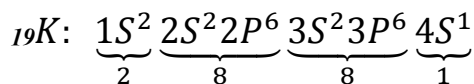


8. Давомаши то аргон ($Z = 18$) пуришавии $3S$ ва $3P$ мегузарад.

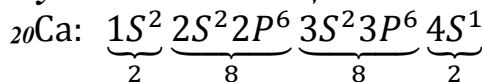


9. Нуздаҳум электрон аз рӯи речаи идеалӣ бояд дар ҳолати $3d$ афтад. Ин ба натиҷаҳои тайфсанчи муқобил аст: (ҳолати $3d$ кали ба энергияи калон ҷавобгӯ аст, нисбати ҳолати $4S$, яъне электрон дар ҳолати гайри ангезиши бояд дар ҳолати $4S$ алоқаманд бошад, аз рӯи натиҷаҳои химиявӣ:

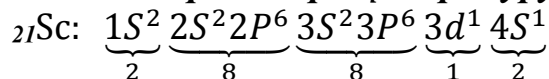
кали, ҳамчун метали ишқорӣ монанди натри ва литӣ бояд дорои электрони валенти дар ҳолати $4S$ бошад.



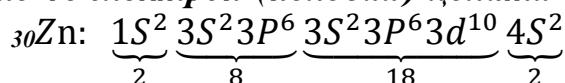
10. Электрони бистум калси низ ба ҳолати $4S$ алоқаманд аст.



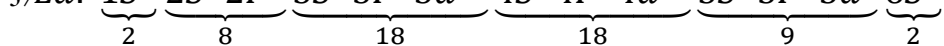
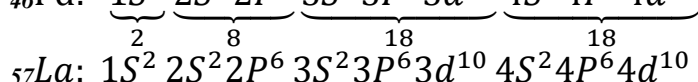
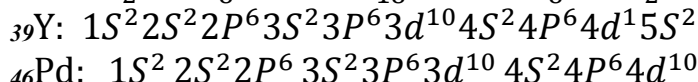
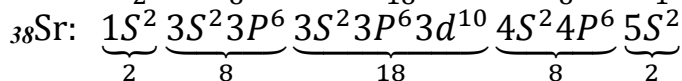
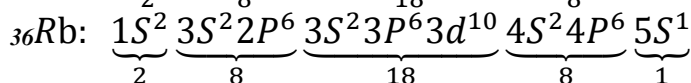
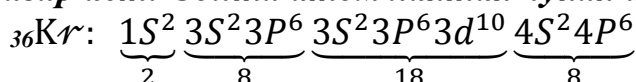
11. Элементи скандии ($Z = 21$) нуриави аз ҳолати $3d$ сар мешавад. То Z_n ($Z = 30$) нуриави даҳэлектрони ҳолати $3d$. Баъд то кринтон K_r ($Z = 36$) нуриавии шаш электрони дар $4p$ зери гурӯҳ ба охир мерасад.



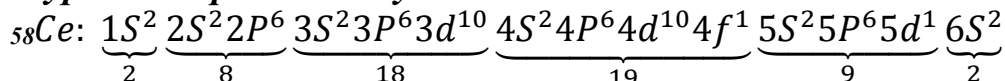
12. Сиюҳафтум электрони рубидии боз алоқа мекунад на ба $4d$ зери гурӯҳ, аммо ба ҳолати $5S$ (монанди ҳолати $4S$ барои кали). Электрони дуюм дар $5S$ қишр (стронси) $5S$ зери гурӯҳро пур мекунад. Ва аз сиюнӯҳ электрон (иттрии) то 46 электрон (полодии) ҳолати $4d$ пур мешавад.



13. Риоя накардани тартиби нуриавии қабатҳо дар элементҳои камёфти зери замини $Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu$ мушоҳида мешавад. ($Z = 58$ то 71) $57 - \bar{u}m$ электрони лантан дар ҳолати $5d$ ҷойгир аст. Сохти атом лантан чунин аст.



14. Нуриави барои ксеон чунин мешавад.



Ҳамин тавр нуриави зеригурӯҳи $6S, 5S, 5P$, ва $4f$ зеригурӯҳ, хеле чуқур ҷойгир аст, ягон электрон надоранд. Аз сери ($Z = 58$) то мотепия ($Z = 71$) зеригурӯҳи $4f$ пур мешавад. Зеригурӯҳҳои беруни доими мемонанд, барои ҳамаи элементҳои камёфти зери заминӣ аз ҷиҳати хосияти химиявӣ ба ҳам наздик будани ҳамаи элементҳо аз $Z = 58$ то $71 - ro$ муайян мекунад.

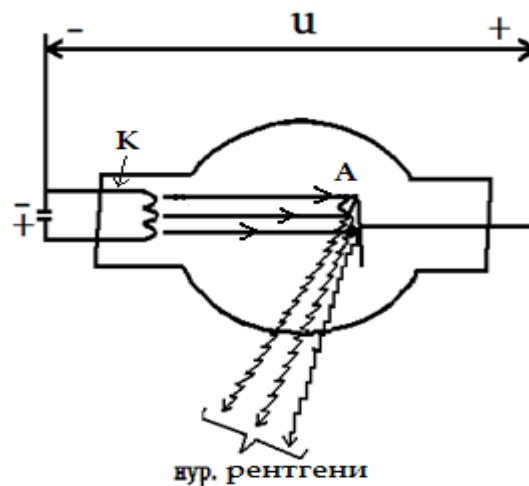
Монанди гурӯҳи элементҳои камёфти зери заминӣ сар карда аз ${}_{90}Th, {}_{91}Pa, {}_{92}U$, ба инҳо пайваста электронҳои трансурани ${}_{93}Np, {}_{94}Pu, {}_{95}Am, {}_{96}Cm, {}_{97}Bk, {}_{98}Cf, {}_{99}Fm, {}_{100}Es, {}_{101}Md$, ки зери гурӯҳи дохилии $5f$ пур мешавад.

8.9. НУРҲОИ РЕНТГЕНӢ.

Нури рентгени аз мавҷҳои электромагнитӣ иборат буда дарозии мавҷашон дар ҳудуди 10^{-7} то 10^{-9} см меҳабад. Якумин бор онҳоро соли 1895 Рентген мушоҳида кард аз дурахши лавҳаи Флюоресенти. Аз тарафи мавҷи дароз нурҳои ультрабунафш (бо усули оптики меангезонанд аз тарафи мавҷи кӯтоҳ гамма нурҳо меҳабад, ҳангоми коҳиши моддаҳои радиофаъл (дарози мавҷашон, ба $10^{-6} - 10^{-5}$ ва $< 10^{-10}$ см мувофиқат мекунад) ҳосил мешавад.

Барои ҳосил кардани нурҳои рентгенӣ лулаи рентгенӣ истифода мебаранд. Дар балонӣ шишаги, ки аз дохили он ҳаво то 10^{-7} мм. сут. сим. гирифта шудааст, ду электрон пайваस्त аст К (катод) ва А (анод).

Катод (К) манбаи электронҳо, ки дар зери таъсири фарқи потенциали гузошта шуда анодро бомбарон мекунад, ки дар натиҷа нури рентгени меафканад. Катод аз сими волфрамӣ сохта шуда бо ҷараён тафсонида мешавад ва дар асоси эмиссияи электрони гармо электронҳо хориҷ мешаванд расми 8.9.1.



Расми 8.9.1

Энергияи электронҳо, ки анодро бомбарон мекунанд, бо шиддати баланди U ба танзим дароварда мешавад, электронҳои шитобида аз К ба А ҳаракат мекунанд. Энергияи электронҳои бомбаронкунанда дар дастгоҳҳои ҳозиразамон 100000 эВ мерасад, ҳол он ки барои корҳои махсус энергияи онҳоро аз 10^6 ва 10^8 эВ ба воситаи бетатронҳо ва синхротронҳо зиёд кардан мумкин аст. Аз ин энергия танҳо 1 – 2%, ки ба ангезиши электронҳо барои ҳосил кардани нури рентгенӣ сарф мешавад.

Қисми боқимондаи энергия барои гарм кардани анод сарф мешавад, ки баъдан бояд интенсивноктар хунук шавад.

Хусусияти характернокии нури рентгенӣ қобилияти гузариши он мебошад: онҳо аз дохили ҷисм мегузаранд, барои нури рӯшноӣ дидашаванда ($\lambda \sim 10^{-4}$ см) ношафофанд.

Барои нури рентгени, ки λ қобилияти гузариши калон дорад нури нарми рентгени меноманд. Агар қобилияти гузариши хурд бошад, нури рентгени маҳин меноманд.

Барои ошкор кардан ва тадқиқоти нурҳои рентгенӣ қобилияти ионизатсиякардани ҳаво ва пайдоиши флюоресенсияи баъзе ҷисмҳои

истифода мебаранд. Нурҳои рентгени инчунин ба фотосафҳача низ таъсир мекунад.

Дарозии мавҷи нурҳои рентгенӣ аз шиддати калони лула U вобаста аст. Агар ҳисоб кунем, ки сарфи энергияи электронҳо дар бархури чандирӣ бо малекулаҳои боқимонда ҳавои дар лула буда тартиби сифр бошад, он гоҳ энергияи шитобиши электронҳо ба пурраги ба кванти афканиши рентгени табдил меёбад, яъне

$$h\nu_{\max} = e \frac{U}{300} \quad (8.9.1)$$

(зарбшавандаи 300 шиддатро аз вольт ба системаи СГСЕ мегузаронад). Яъне аз фор (8.9.1) басомади максимали нури рентгениро меёбем:

$$\nu_{\max} = \frac{c}{\lambda_{\min}}; \quad \lambda_{\min} = \frac{h \cdot c \cdot 300}{e \cdot U} = \frac{6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 300}{4,8 \cdot 10^{-10} \cdot U} \text{ см} = \frac{12430}{U} \text{ \AA} \quad (8.9.2)$$

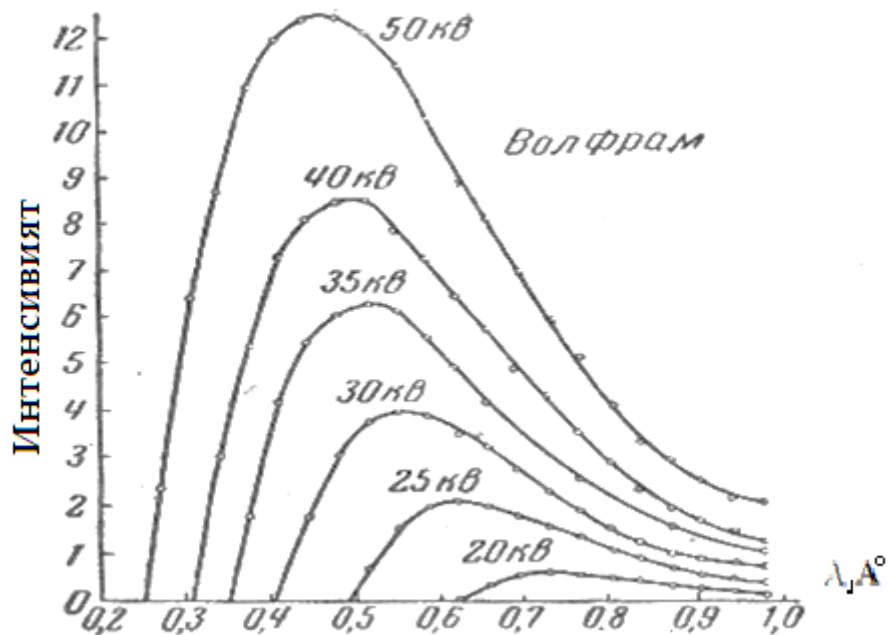
$$1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см.}$$

Аз ин формула мебарояд, ки ҳангоми $U \cong 100000$ в будан хурдтарин дарозии мавҷи каниши рентгенӣ лула $\cong 0,1 \text{ \AA}$ мешавад. Вобаста аз энергияи бомбаборонкардаи электронҳо ду намуди тайфи нури рентгениро ҳосил кардан мумкин аст.

8.10. ТАЙФИ БЕФОСИЛА ВА ТАВСИФИ НУРҲОИ РЕНТГЕНӢ

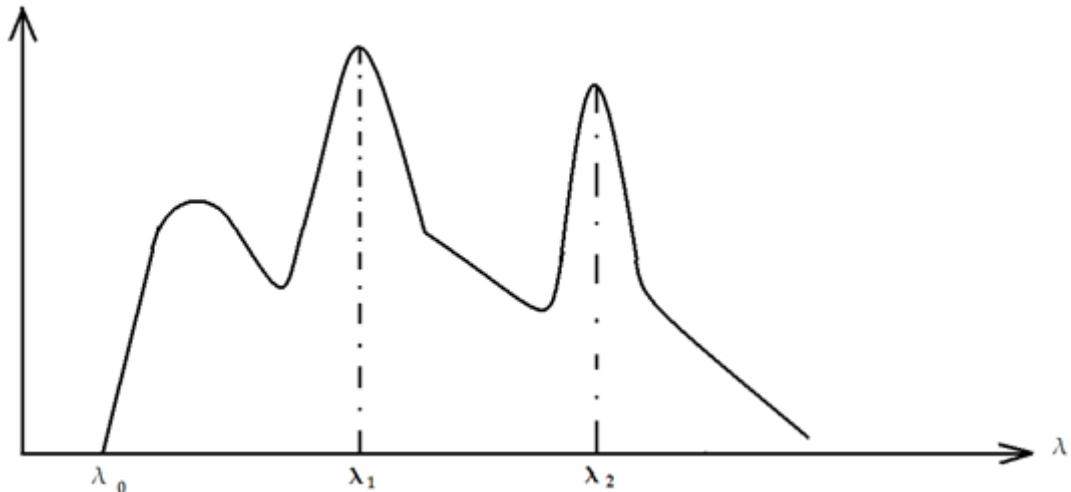
1. Ҳангоми боздошти электронҳо дар майдони электрики атомҳои анод, энергияи ин электронҳо новобаста ба энергияи афканиши рентгенӣ табдил меёбад, ё ин ки барои атом кандабаровардани электронҳо сарф мешавад.

Агар энергияи электронҳои озмоиши кардаи боздоштӣ дар атомҳои анод, аз бузургии муайяни характерноки мода зиёд нашавад, он гоҳ дар дастаи нурҳои рентгени дарозии мавҷ дар баъзе фосилаҳо ошкор кардан мумкин аст, яъне ҳангоми нурро ба тайф табдил додан, як қитъаи тайфи бефосила (монанди тайфи бефосилаи нури сафед пайдо мешавад, ки онро афканишоти рентгенӣ «сафеда» меноманд). Вобаста аз шиддати лула интензивияти нури рентгени «сафеда» барои дарозии мавҷҳои гуногун ба намуди хатти қач нишон дода шуда аст, ки дорои максимум аст. Ба тири ордината интензивияти афканишот дар воҳиди шартӣ гузошта шуда аст. Афтиши интензивияти афканишот ба тарафи дарозии мавҷи кӯтоҳ возеҳан мегузарад ба сифр мерасад, дар якҷанд қиммати муайян дарозии мавҷ, ки аз формулаи дар боло оварда шуда, яъне λ_{\min} муайян мешавад. Тақсимшавии энергия дар тайфи бефосила аз маводи антикатод вобаста нест, аммо тағир меёбад, бо тағир ёфтани шиддати U ки ба лула пайваست аст нигаред ба расми 8.10.1.



Расми 8.10.. Вобастагии интенсивият аз дарозии мавҷ.

2. Агар энергияи электронҳо аз бузургӣ муайяни бухрони калон ё баробар шавад $E_e \geq E_{\text{бухр}}$, он гоҳ дар фони тайфи бефосила хатҳои алоҳидаи тайфи интенсивияшон калон мушоҳида мешавад, аз моддаи додашуда вобаста аст, ки нури рентгени меафканад. Пас ин афканишот маводи анодро метавсифонад монанди тайфи оптики ки газ хориҷ мекунад, аз моддаи додашуда вобаста аст, яъне нури рентгени хатти ки онро тайфи тавсифи номида мешавад (расми 8.10.2).

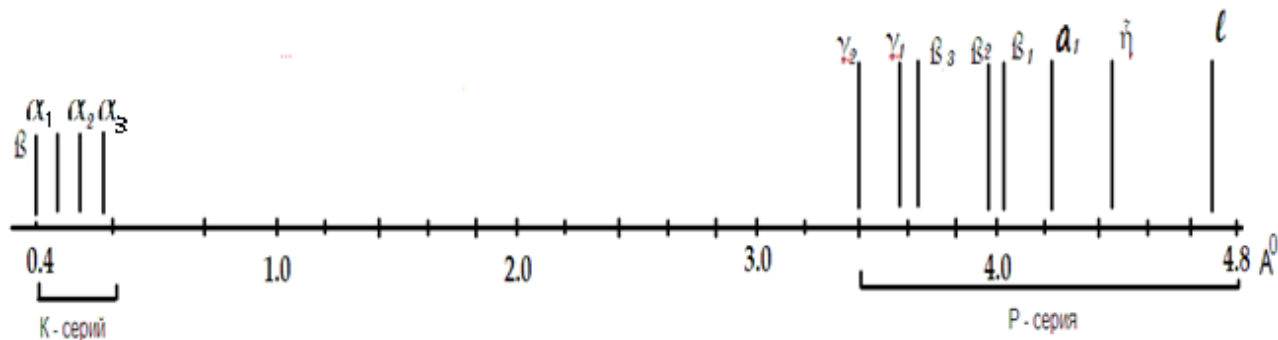


Расми 8.10.2 Тайфи тавсифии нури рентгенӣ.

Дар тайфи тавсифи ду максимум λ_1 ва λ_2 (расми 8.10.2) мушоҳида мешавад. Ин максимумҳо аз маводи анод вобаста аст, бинобар он ин нурҳоро он моддае меафканад, ки бо электронҳои энергияи калон бомбаборон мешаванд. Хактери тайфи бефосила тамоман аз моддаи анод вобаста нест, ва танҳо аз энергияи кинетики электронҳои бомбаборон кунанда вобаста аст.

3. Хатҳои тайфи тавсифи афканишот серияро пайдо мекунад, ки дар қисмҳои гуногуни тайфи рентгени ҷойгиранд. Ин серияҳоро бо K, L, M, N ишора мекунанд. Серии K аз ҳама мавҷи кӯтоҳ ба зиёдшудани дарозии

мавҷ λ серияҳои дигар L, M, N меоянд ва гайра... Ҳамин тавр, хатҳои тайфи ҳосилшуда барои нуқра ба гурӯҳҳо ҷудо шуда ду серияи гурӯҳи кӯтоҳ мавҷро ки ҳамчун K – серия маълум аст, ҳосил мешаванд, ва монанди ин гурӯҳи дарозмавҷ, ҳамчун L – серия маълум аст (расми 8.10.3). Дарози мавҷи он ба $\sim 0,5A^0$ ва $\sim 4A^0$ мувофиқ аст.



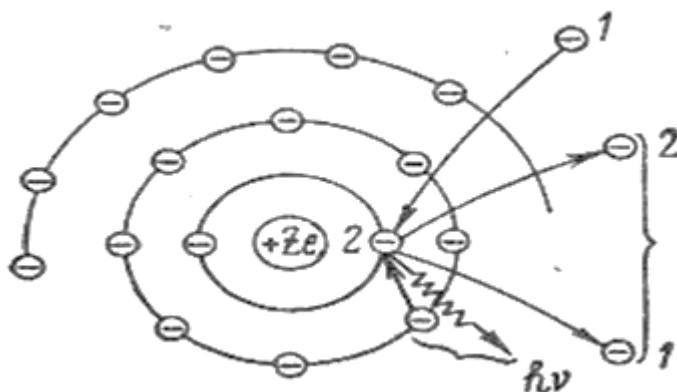
Расми 8.10.3

Барои элементҳои вазнинтар ($Z > 66$) ду серияи дигар M ва N пайдо карданд.

4. Раванди пайдошавии нури рентгени ба таври назариявӣ чунин фаҳмонида мешавад: Электрони якумин, ба анод меафтад, агар энергияи он хеле калон бошад, метавонад энергияи худро ба яке аз электронҳои қишири дохилии атом диҳад ва онро аз атом зада барорад. Баъд яке аз электронҳои қишири дуртари ин атоми поляризуется шуда ба ҷои холишуда меояд, ки ҳолати энергиявии он хеле паст аст. Фарқи энергияи ҳолати аввала ва охираи $E_1 - E_2$ электрони гузаранда, дар ин вақт ба намуди фотон меафканад. $h\nu = E_1 - E_2$, ки яке аз хатҳои тавсифии афканишоти рентгени мебошад.

Ҳамин тавр, табдилёбии энергияи электрони якумин ба афканишоти тавсифи дар ду этап мегузарад:

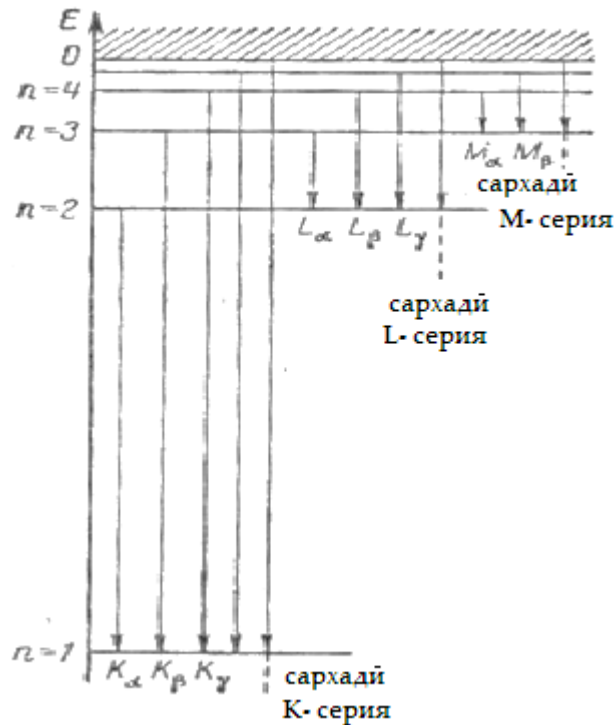
Якӯм, «ангезиши» атоми анод, бо роҳи иониши яке аз электронҳои дохилии қишири он, яъне табдилёдиҳи энергияи кинетики электрони якумин ба энергияи дохилии атоми ангезонидашуда. Этапи дуюм: аз нав тақсимшавии электронҳои атоми ангезонида аз ҳолатҳо бо хоричшавии фотон, яъне табдилёбии энергияи ангезиши ба энергияи фотон (расми 8.10.4) мегузарад.



Расми 8.10.4.

5. Энергияи хурдтаринро дар атом электронҳои қишири як квантӣ соҳиб аст. Баъд аз хорич шудани яке аз электронҳои ин қишр ба ҷои холишуда электронҳои қишири дукванта, секванта ва гайра мегузаранд. Дар ин маврид хатҳои серияи K –ро ҳосил мешавад. Ҳамин тавр серияҳои тайфи

$K: K_{\alpha_1} K_{\beta_1} \cdot K_{\gamma}$ пайдо мешавад. Сарҳади K – серия $h\nu_{\text{сарх}}$ ба гузариши электрони озод мувофиқ меояд. Дар расми 8.10.5 раҷҷаи гузариши электронҳо ва пайдошавии тайфи серияҳои K, L, M, N ва гайраҳо оварда шудааст.



Расми 8.10.5.

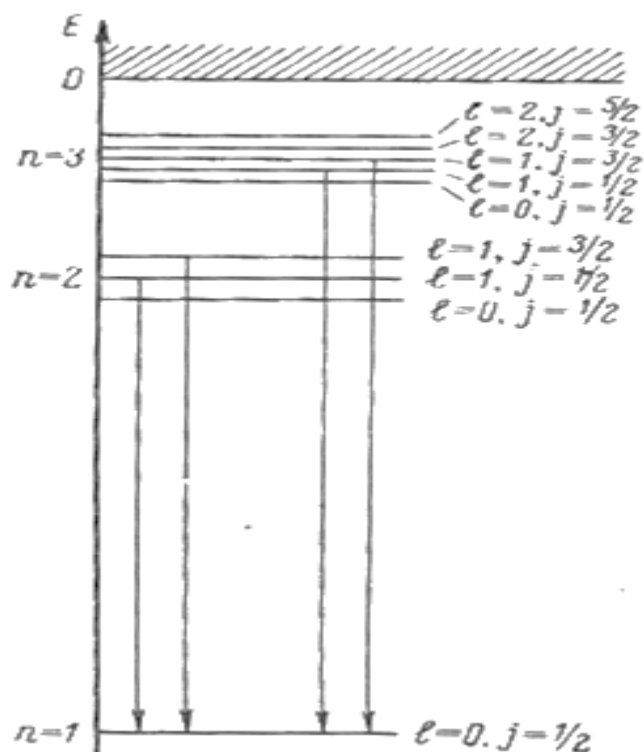
Вобаста ба ин қиши электрони якквантаи атом гузариш бо K – серия гуселонида мешавад, ё ки K – қабат, қиши дукванта L – серия, қиши секванта M – серия ва гайра...

Ҳамин тавр серияи N ва O – ро ҳосил кардан мумкин аст.

8.11. ТАРКИБИ МАҲИНИ НУРҲОИ РЕНТГЕНӢ.

Тадқиқоти муфассали хатҳои тавсифии тайфи рентгенӣ мавҷудияти таркиби маҳини онҳоро ошкор кард. Инак, мисол маълум шуд, ки хатти K – серияи дучанда аст; дигар хатҳо ба таркиби мураккабтар соҳибанд. Назарияи кванти атом ин вазиятро чунин мефаҳмонад. Як кванта ё K – ҳолат ($n = 1$) ҳолати аз ҳама одди мебошад, барои он, ки адади квантии дохили ё мадорӣ метавонад чунин қиммат гирад $l = 0$ ва $j = \frac{1}{2}$. Аммо ҳолатҳои дуквантии энергияви гуногун ё L – ҳолат ($n = 2$) мумкин аст се бошад, махсусан: як ҳолат бо қиммати $l = 0$ ҳангоми $j = \frac{1}{2}$ ва ду ҳолат бо қиммати $l = 1$, барои $j = \frac{1}{2}$ ё $\frac{3}{2}$. Ҳамин тавр савияи секванта ба панҷ савияҳои энергияви гуногун мувофиқ мешавад;

$$l = 0, j = \frac{1}{2}, l = 1, j = \frac{1}{2}, j = \frac{3}{2}, l = 2, j = \frac{3}{2}, j = \frac{5}{2}.$$



Расми 8.11.1

Ҳолати чорквантаи N ба ҳафт савияи гуногун тақсим мешавад.

Дар расми 8.11.1 реҷаи савияи электронҳо дар K, L, M қишр оварда шуда аст, бо нишондодҳо дар асоси қоидаи интиҳоб гузаришҳо нишон дода шуда аст.

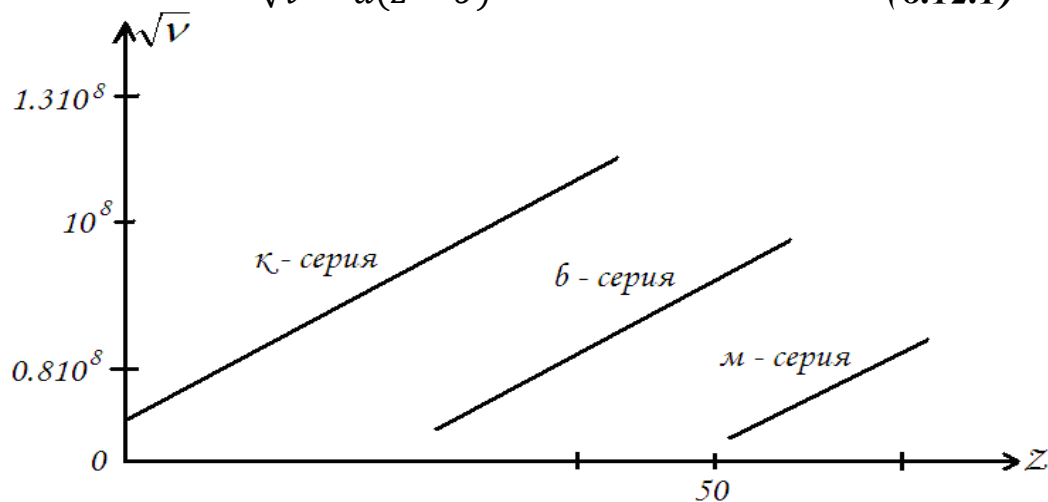
$$\Delta l = \pm 1; \Delta j = 0; \pm 1$$

8.12. ҚОНУНИ МОЗЕЛ.

Соли 1913 Мозел, тайфи рентгени элементҳоро тадқиқот гузаронида нишон дод, ки:

Реҷаи квадратӣ басомади хатҳои тайф аз номери атоми элементҳое, ки онро хориҷ мекунад хатти вобастаанд расми 8.12.1. Ин вобастагиро бо муодилаи зерин ифода намудан мумкин аст:

$$\sqrt{\nu} = a(z - \sigma) \quad (8.12.1)$$



Расми 8.12.1.

Дар ин ҷо z – номери атоми элементҳо, a ва σ зарби доимӣ. Диаграммаи Мозел барои хатҳои тайфи K, L ва M серия вобастагии хатти \sqrt{v} (тири ординат) аз номери тартиби элементҳо (тири абсисса) расми 8.12.1 дорад. Дар формулаи (8.12.1) бузургии a ва σ барои K – серия, $\sigma = 1$, формулаи (8.12.1) – ро ба намуди зерин навиштан мумкин аст.

$$v = \frac{3}{4}R(z - 1)^2 \quad (8.12.2)$$

Азбаски $\frac{3}{4}$ – ро ба намуди дигар навиштан мумкин аст, яъне $\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$, он гоҳ формулаи (8.12.2) ба намуди зерин ифода менамоем:

$$v = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) \quad (8.12.3) \quad \bar{v} = R(z - 1)^2\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$$

Барои L – серия формулаи (8.12.3) – ро чунин менависем:

$$\bar{v} = R(z - 6)^2\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)$$

(8.12.4)

Чи тавре, ки аз формулаҳои (8.12.3) ва (8.12.4) дида мешавад, формулаи Мозел бо формулаи Бармер барои атомҳои гидрогенмонанд мувофиқат мекунад.

Натиҷаҳои Мозел гирифта шуда, тасдиқ мекунад, ки заряди ҳаста ҳангоми гузариш аз элемент ба элемент ба як зиёд мешаванд. Ҳамаи элементҳо дар ҷадвали Менделев бо тартиби зиёдишавии заряди ҳаста ҷойгир аст.

Бо ёрии қонуни Мозел барқарор карда шуд:

а) Байни ҳидроген ва уран бояд 92 атомҳои гуногун бо номери атоми гуногун ҷойгиранд.

б) Баъзе нофаҳмиҳо дар бораи дуруст ҷойгиришавии элементҳои $Co - Ni; Ar - K, Tl - J$, дар бораи нодуруст фаҳмонидани қиммати вазни атоми онҳо бартараф карда шуд.

в) Дуруст ҷойгиришавии элементҳои камёфти зери заминӣ – лантаноидҳо ($Z = 58 - 71$): $58\text{Ce} - 71\text{Lu}$ тасдиқ шуд.

г) Муодилаи қонуни Мозелро ба намуди термҳои T_n ифода намуда, алоқа бо доими Ридберг: $T_n = \frac{R}{n^2}(Z - \sigma)^2$ яъне

$$\sqrt{\frac{T_n}{R}} = \frac{1}{n}(Z - \delta); \quad T_n \sim \frac{R}{n^2} \quad \text{ҳосил кардан мумкин аст.}$$

Қонуни Мозел қонунияти ҷойивазшавии тайфи рентгениро ба тарафи кутохмавҷ бо зиёдишавии номери атоми Z ифода мекунад.

Ҳамаи ин як бори дигар дуруст пуришавии ҷадвали Менделеевро тасдиқ мекунад.

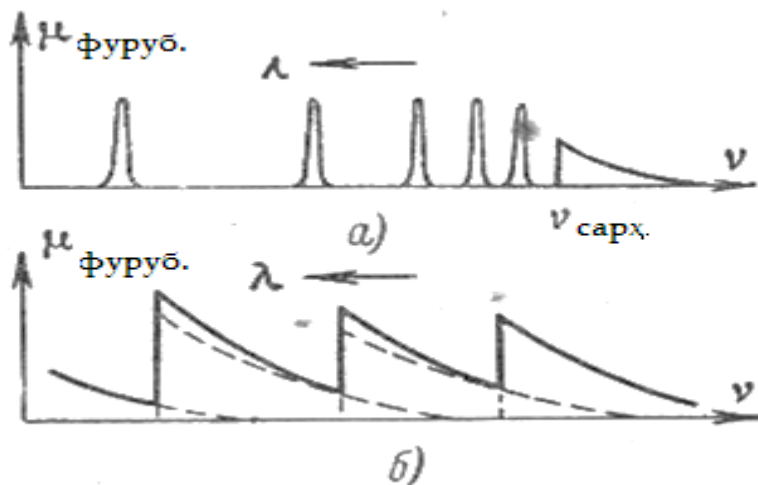
8.13. ТАЙФИ ФУРҶУБАРИ НУРҶОИ РЕНТГЕНӢ.

Яке аз хосиятҳои асосии нури рентгенӣ, ки аз нури оптики фарқ мекунад, онҳо дорои тайфи фуруҷбари гуногун мебошанд.

Тайфи фуруҷбари нури оптики ба худ хос, \bar{y} ба хатти фуруҷбурди серияи асосии элементии додашудаи ин элемент асл дорад.

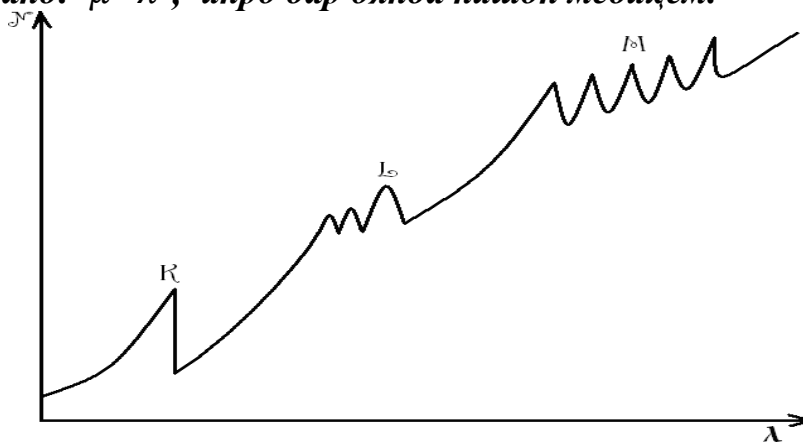
Агар дарозии мавҷи хатти тайф ба мода афтанда аз хатти сарҳади хурд бошад, $\lambda < \lambda_{\text{сар}}$ тайфи бефосилаи хатти оптики фурубурда мушоҳида мешавад, расми 8.13.1.

Аз ин расми 8.13.1 дида мешавад, ки тайфи оптики фурубурд дорои якқатор максимумҳои борик (хатти фуруқбурд) дар соҳаи дарозмавҷ, бо дарозии мавҷи хатти серияи асоси мувофиқ меояд, танҳо барои дарозии мавҷи λ хурд аз $\lambda_{\text{сар}}$ ($\lambda < \lambda_{\text{сар}}$), сарҳади серияи асосии фурубурд барои ҳамаи дарозии мавҷ қой дорад, мувофиқ меояд (тайфи бефосилаи фурубурда, расми 8.13.1).



Расми 8.13.1

Тайфҳои фурубурди рентгени ба тайфҳои хориҷшави рентгени монанд нестанд. Дар расми 8.13.2 бо тире ординат зарби фурубурди нури рентгенӣ, ба тире абсиса даорзии мавҷ гузошта шудааст. Аз ин расм дида мешавад, ки хатти қач дорои якҷанд тасмаи фурубурд мебошад. Ин тасмаҳоро бо ҳарфҳои K, L, M, N ишора мекунанд. Тасмаи K – адади, тасмаҳои дигар таркибашон мураккаб мебошад. Хатти фурубурди нурҳои рентгени дар соҳаи фурубурди тайфҳои оптики ҳангоми $\lambda < \lambda_{\text{сар}}$ сарҳади, ба ҳам монанданд. Зарбӣ фурубурди нурҳои рентгени μ аз λ чунин вобастаги доранд: $\mu \sim \lambda^3$, инро дар оянда нишон медиҳем.



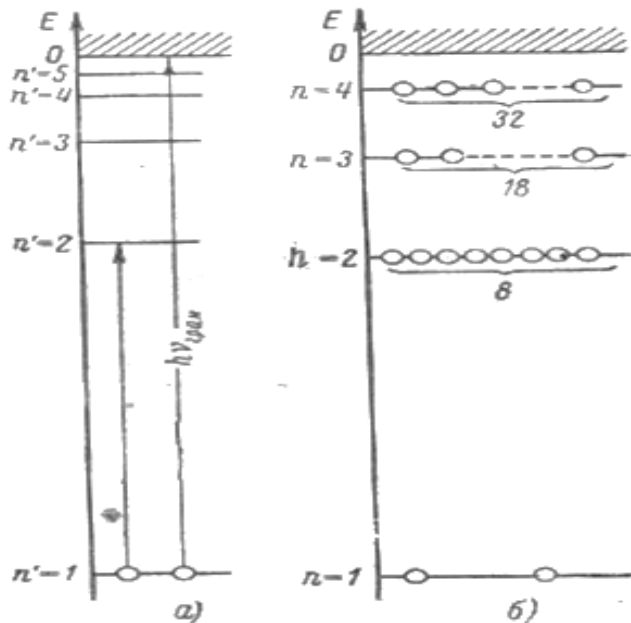
Расми 8.13.2

Нури фурубурди рентгенро сифатан фаҳмидан осон аст, агар диаграммаи савияҳои энергиявиро ва нуришавии электронҳо барои

электронҳои валентӣ расми 8.13.3а ва электронҳои қишири дохили атом расми 8.13.3б – ро муқоиса кунем. Агар электрони валентӣ дар ҳолати гайриангехта бо қиммати квантӣ $n' = 1$ дорои энергияи $E_{n'=1} < 0$ бошад, ва он ба ҳолати балантарини энергия гузарад, дар ҳолати дода шуда $n' = 2$ мувофиқ меояд, ҳолати дискретӣ энергия ҳангоми $E < 0$ энергияи дискретии фотон, ки атом метавонад фуру барад, баробар мешавад.

$$h\nu_i = E_i - E_f \quad (8.13.1)$$

ин тайфи хатти фурубурдро мефаҳмонад.



Расми 8.13.3 а,б.

Ҳангоми $E > 0$ электронҳо аз атом баромада мераванд, ва метавонанд дорои энергияи кинетики дилхоҳ шаванд. Ин дар он ҳолат мешавад, вақто ки электрон энергия фурубарад $h\nu > -E_1 = h\nu_{\text{сарх}}$ шавад. Дар ин маврид, электрон аз атом зада мебарояд, атом иониш мешавад. Дар савияи энергияи электронҳои қишири дохилии атом, низ савияи дискрети зиёдтар баланд ҳобида мавҷуд аст, мисол нисбати К – савия, савияҳои L, M – баланд меҳобанд ва гайра. Аммо ҳамаи ҳолатҳои квантӣ бо электронҳо нур мебошанд, бинобар ин дар асоси принципи Паули гузариш дар онҳо манъ аст. Ба ин муносиб электронҳои, мисли К – қишр наметавонанд, фотонҳои дорои энергияи $h\nu_{K,L} = E_2 - E_1$, $h\nu_{K,M} = E_3 - E_1$ ва гайраро фуру бурданд. Электронҳои ин қишр танҳо фотонҳои дорои энергияи $h\nu > -E_1 = h\nu_{\text{сарх}}$ фуру мебаранд, дар ин маврид ин гуна фотонҳо атомро фотоиониш мекунанд. Яке аз К – электронҳо аз ҳудуди атом бароварда мешавад. Монанди ин, фотонҳои рентгенӣ фурубурди энергия электронҳои L, ва M қишр ва хоричшавии фотонҳои рентгени мушоҳида мешавад.

Нурҳои рентгени дарозии мавҷашон хурд $h\nu > E_1$ метавонанд фотоиониши ҳамаи электронҳои қишири атоми модди додашударо ба вуҷуд оваранд. Аммо маълум шуд, ки эҳтимолияти фотоиониши атом бо фотон чиқадар калон бошад ҳамон қадар энергияи фотони $h\nu$ ба энергияи $h\nu_{\text{сар}}$ наздик будан, энергияи минималӣ, барои қанда баровардани ин ё он электрони

дохили атом аз савияи энергияви мебошад. Бинобар он дар соҳаи $\lambda < \lambda_{\text{сар},K}$, яъне ҳангоми $h\nu > -E_1$, дар фурубурди фотон нақши асосиро электрон K – қабати атомҳои мода мебозад. Ҳангоми гузариш ба соҳаи дарозмавҷ, вақто ки энергияи фотон $h\nu$ хурд мебошад, нисбати энергияи робитаи K – электронҳо ($h\nu > -E_1$) будан фотон наметавонад K – қишро иониш кунад, ва зариви фурубурд $\mu_{\text{фур}}$ ба таври ҷаҳиш тағйир ёфта кам мешавад. Бинобар он дар соҳаи $\lambda < \lambda_{\text{сар}}$, қишри K , яъне ($h\nu > -E_1$) электрон бо эҳтимолияти калон аз K – қишр канда мешавад. Ҳангоми $h\nu$ аз энергияи бандиши K – электронҳо хурд будан $h\nu > -E_1$ фотонҳо наметавонанд, электронҳои K – қишро иониш кунанд. Дар ин маврид, μ ба намуди ҷаҳишмонанд, тағйир меёбад.

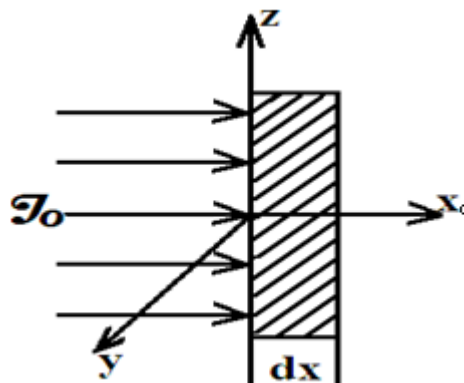
Дар оянда афзоиши μ дар ҳудуди $\lambda_{\text{сар},K} < \lambda < \lambda_{\text{сар},L}$ бо афзудани эҳтимолияти фурубурди фотон дар қишри L мегузарад. Ба таври ҷаҳишмонанд, камшавии μ дар ин маврид ($h\nu > -E_2$), бо кам шудани $h\nu > -E_2$ вобаста аст. Ҳамин тавр, камшавии μ – ро барои дигар қишрҳо низ ёфтан мумкин аст. Азбаски қишрҳои L, M ва гайра дорои таркиби маҳин мебошанд, μ барои ин қишрҳо панҷ афтиши ба ҳам наздикро дорад. Танҳо афтиши (расми 8.13.2), фурубурд дар сарҳади K – қишр таркиби маҳин надорад.

Мисол, барои савияи $L: n = 2; l = 0; j = \frac{1}{2}; l = 1; j = \frac{3}{2}; \frac{1}{2}$; яъне савияи L аз се афтиши ба ҳам наздик (расми 8.13.2) иборат аст.

8.14. ТАЪСИРИ МУТАҚОБИЛИ АФКАНИШОТИ РЕНТГЕНӢ ДАР МОДДАҲО.

Агар дастаи нурҳои рентгени равоншуда аз байни мода гузарад, он гоҳ интензивияти онҳо ба қад – қади равиши аввала бо ду роҳ кам мешаванд:

1. Фотони афканишоти рентгенӣ дар просеси фурубурди ҳақиқи дар натиҷаи фотоэффакт аз байн меравад, дар ин маврид энергияи онҳо ва иониши атом сарф мешавад. Пас аз атом электрон канда шуда бо энергияи кинетикӣ ҳаракат мекунад, ки ин энергияи фурубурди фотони афканишоти рентгениро муайян мекунад. Баъди ин энергияи боқимондаи ангеҳтаи атом дар натиҷаи як қатор гузаришҳои гуногуни аз атом афканиш мешаванд. Агар мисол аз атом K – электрон зада бароварда шавад, он гоҳ энергияи ангеҳтаи боқимонда ба намуди фотони K_{α_1} (гузариш аз $K \rightarrow L_{III}$) афканиш мешавад. Баъди ин атом дар ҳолати L_{III} меистад ва мумкин, ки фотон L_{α_1} афканад (ҳангоми гузариши $L_{III} \rightarrow M_V$) ва гайра. Баргаишти атом аз K – қишр ба қишри нормалӣ бо роҳи дигар ҳам мумкин гузарад. мисол, агар дар просеси фотоэффакт аз атом L_1 – электрон канда шавад, он гоҳ мумкин гузариши $L_1 \rightarrow L_{III}$ ҷой дошта бошад, ва партофтани M_V – электрон гуселонида шавад ин эффе́кт оже номида мешавад.



Расми 8.14.1.

2. Фурӯбурди нури рентгени дар мода тамоман аз хосияти оптики ин мода вобастагӣ надорад. Мисол шишаи сурб, барои нури намоён шафоф аст, амалан нури рентгенро пурра фурӯ мебарад ингуна қоғази алюмин барои нури намоён ношафоф нури рентгенро суст фурӯ мебарад. Пас қонуни фурӯбурди нури рентгенӣ чи гунна аст? Дастаи параллели нурҳои рентгени, ки аз мобайни қабати мода мегузаранд, дида мебароем (расми 8.14.1). Суст шудани интенсивияти J нури рентгенӣ ба равиши тире X_0 раван аст. Дар сатҳи мода $x = 0$, $J = J_0$. Тағйирёбии интенсивияти dJ нури рентгенро дар роҳи хурди dx муайян мекунем. Суст шудани нисби интенсивият $\frac{dJ}{J}$ мешавад, ки ба зафси қабати мода dx мутаносиб мебошад.

$$\frac{dJ}{J_0} = -\mu dx \quad (8.14.1)$$

Дар ин ҷо зароби мутаносибии μ – зароби хатти сустшавӣ номида мешавад, аз моддаи фурӯбурд ва дарозии мавҷи афканишоти рентгенӣ вобаста аст. Ченаки доими хатти сустшавӣ $[\mu] = \text{см}^{-1}$ (яъне нишондод бояд бузургии беченак бошад). Маънои физикии он фаҳмо мешавад, агар ифодаи (8.14.1) ба намуди зерин навишта шавад:

$$\mu = -\frac{dJ/dx}{J} \quad (8.14.2)$$

Пас, зароби хатти сустшавӣ тағйирёбии нисбӣ интенсивиятро дар воҳиди роҳ нишон медиҳад. Ифодаи (8.14.1) – ро барои зафси d моддаи фурӯбурд интеграл гирифта, сустшавии нури рентгенро дар қабати охири зафси d ҳосил мекунем:

$$\int_{J_0}^J \frac{dJ}{J_0} = -\mu \int_0^d dx; \quad \ln J - \ln J_0 = -\mu d; \quad \frac{J}{J_0} = e^{-\mu d}; \quad J = J_0 e^{-\mu d} \quad (8.14.3)$$

Ба воситаи камераи иониш афканишоти рентгенро пеш аз лавҳаи фурӯбурди зафсиаш d ва баъди гузариши он бузургиҳои J_0 ва J' – ро чен кардан мумкин аст. Бузургиҳои J_0, J ва d – ро доништа зароби хатти сустшавӣ μ – ро муайян мекунанд аст ва баракс. Зароби хатти μ – ро доништа аз чен куни моддаи фурӯбурд зафси d интенсивияти нисбати нури рентгенро баъди гузариш аз моддаи фурӯбурд муайян мекунем.

Ғайр аз μ боз «зароби массаӣ» фурӯбурд дохил мекунанд, ки аз чунин фаҳмишот муайян карда мешавад. Сустшавӣ чунин нури рентгенро муайян мекунем, ки арзи 1см^2 – ро дорад, аз воҳиди массаи модда мегузарад. Агар

ρ – зичии модда бошад, он гоҳ ба дарозии роҳи dx массаи модда $dm = \rho dx$ мешавад. Тағйирёбии нисбии интенсивияти нур $\frac{dJ}{J_0}$ дар роҳи dx , нур массаи dm – ро мегузарад, бо массаи ин модда мутаносиб мешавад:

$$\frac{dJ}{J_0} = -\mu_m dm = -\mu_m \rho dx \quad (8.14.4)$$

Зариби мутаносиби μ_m – ро зариби массавии фурубурд номида мешавад, ва чунин навиштан мумкин:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}; \quad \text{яъне} \quad [\mu_m] = \text{см}^2 \text{г}^{-1}; \quad (8.14.5)$$

Қонуни сустшави нури рентгениро ба намуди зерин навишта меёбем:

$$J = J_0 - \frac{\mu}{\rho d} \cdot \rho d = J_0 e^{-\mu_m \rho d} \quad (8.14.6)$$

Бояд қайд кард, ки ҳосили зарби ρd – ин массаи модда дар сутун бо арзи 1см^2 ва баланди d мебошад. Агар $\rho d = 1$ гӯем, он гоҳ $J = J_0 e^{-\mu_m}$, яъне сустшавии нури рентгенро дар қабати 1гр модда ба ҳар як см^2 метавсифонад.

Дар ҳисобкуниҳои назариявӣ зариби атоми фурубурд истифода мебаранд, барои онро ёфтан, сустшавӣ дастаи рентгенро муайян мекунем, ки ба як атоми модда рост меояд. Фарз кунем, ки нури арзаш 1см^2 , массаи dm моддаро мегузарад, дар роҳи худ dn атомҳоро пешвоз мегирад. Массаи як атом баробари $\frac{A}{N}$, дар ин ҷо A – вазни атомӣ, ададан ба массаи як грамм – атом баробар аст. N – адади авогардро, адади атомҳо дар грамм – атом баробар аст:

$N = 6,023 \cdot 10^{23} \text{мол}^{-1}$, аз ин ҷо:

$$dn = \frac{dm}{A/N} = \rho \cdot \frac{dx}{A/N}, \quad (8.14.7)$$

Сустшавӣ нисбӣ дастаи рентгенӣ баъди роҳи dx ба адади атомҳо dn ки аз қабати dx мегузаранд, мутаносиб мебошад.

$$\frac{dJ}{J_0} = -\mu_a dn = -\rho \frac{N}{A} \mu_a dx; \quad (8.14.8)$$

Дар ин ҷо μ_a – зариби атоми фурубурд. Ченаки он $[\mu_a] = \text{см}^2$, dn – адади атомҳо дар см^2 қабати мода мебошад. Бовари кардан мумкин нест, ки зариби атоми бо зариби хатти сустшави чунин алоқаманд мебошад:

$$\mu_a = \frac{A}{\rho \cdot N} \mu = \frac{A}{N} \mu_m \quad (8.14.9)$$

Аз нуқтаи назари физика зариби фурубурди атоми сустшави нисбӣ дастаи нури арзфи 1см^2 , ба як атом рост меояд. Ченаки зариби атоми сустшавӣ (см^2) имконият медиҳад, ин зарибро ҳамчун арзи самараноки атом фаҳмонад. Азбаски сустшавӣ дастаи рентгени ҳамчун натиҷаи ҳақиқии фурубурд мегузарад, ҳаминтавр ҳангоми пароканиши, зариби сустшавӣ (μ, μ_m, μ_a) аз ҷамъи ду зарибҳо: зариби ҳақиқии фурубурд τ ва зариби пароканиши σ иборат мебошад.

$$\mu = \tau + \sigma; \quad \mu_m = \tau_m + \sigma_m; \quad \mu_a = \tau_a + \sigma_a; \quad (8.14.10)$$

Агар фурубурди нурҳои рентгениро дар молекулаҳо дида бароем, он гоҳ маълум мешавад, ки зариби фурубурди молекулавӣ аз зариби атоми

элементҳо, ки дар таркиби молекулаҳо дохил мешаванд, ба таври одди ҷамъ мешавад. Яъне фуруӯбурди нурҳои рентгени покиза хосияти атомӣ буда аз табиати пайдошавии нури рентгени ҳангоми гузариши электронҳо дар қишри дохили электронҳои атом вобаста мебошанд. Бинобар ин барои ҳисоби зарби молекулавӣ, донишманди зарби атомӣ фуруӯбурди электронҳо кифоя мебошад.

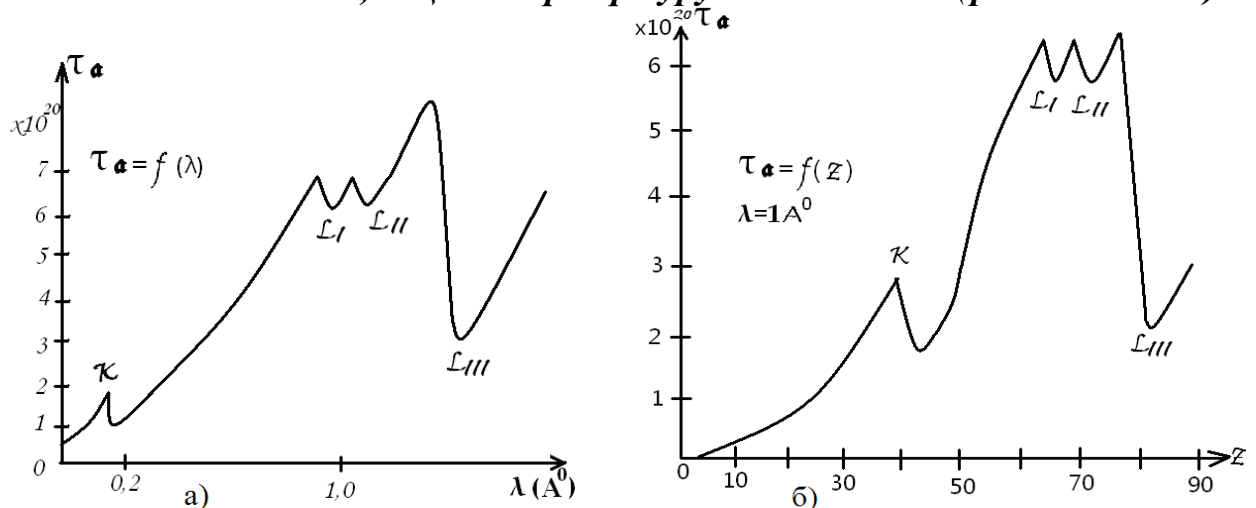
Вобастагии зарби ҳақиқи фуруӯбурди τ_a атомҳо аз дарозии мавҷи афканишоти рентгени λ ва аз номери атомии элемент Z — моддаи фуруӯбурд, ба воситаи формулаи эмперики ифода мешавад:

$$\tau_a = cZ^4\lambda^3 \quad (8.14.11)$$

Дар ин ҷо c — доимӣ, Z — номери атомӣ, λ — дарозии мавҷ.

а) Аз формула дида мешавад, ки фуруӯбурди нурҳои рентгени дарозии мавҷашон муайян бисёр нурқувват вобаста аст, аз номери атоми моддаи фуруӯбаранда (мутаносиб ба Z^4) расми 8.14.2б.

б) Фуруӯбурди нурҳои рентгени ин чунин бо тезии зиёд мешавад, бо зиёдшавии дарозии мавҷ, пас бо камшавии λ , қобилияти гузариши нурҳои рентгени зиёд мешавад, онҳо бисёртар дурушт мешаванд (расми 8.14.2а).



Расми 8.14.2 а,б

Барои дарозии мавҷи муайян (ҳолати яқум расми 8.14.2а ва заряди муайяни ҳаста расми 8.14.2б) фуруӯбурд ба ҷаҳишҳои возеҳи гирифтӣ мешавад. Вобаста ба он, ки ба дарозии мавҷи муайян нури рентгени ангехташаванда, элементҳои фуруӯбурд афканишоти тавсифи хусусӣ ба намуди афканишоти флорессенти хориҷқарданро сар мешавад. Аз ҳарду тарафи сарҳади фуруӯбурд аз ҷояш ба ҷаҳиш тағйир меёбад мо метавонем ду қиммати зарби фуруӯбурд τ_a —ро ҳосил кунем, ки бо назардошти он ки зарби « τ_a »-ро, ки дорои қимматҳои гуногун ба ин ё он тарафҳои дарозии мавҷи бӯҳронӣ мувофиқат мекунад, муайян кунем.

8.15. ПАРОКАНИШИ НУРИ РЕНТГЕНӢ.

Назарияи классикӣ, пароканиширо чунин мефаҳмонад: ҳамчун натиҷаи лапшиши маҷбурии электрон дар зери таъсири майдони электрикӣ мавҷи

рентгени афтанда, ки **Ч. Ч. Томсон** тарақи дода буд. Электрон дар зери таъсири майдорни электрикӣ мавҷҳои электромагнити иштиоби тағйирёбанда мегирад, ва худаи афканиширо сар мекунад. Ин афканиши дубораи пароканиши нури рентгенӣ мебошад. Пас басомади лапиши маҷбури электрон ба басомади лапиши мавҷи афшонда мувофиқ меояд, он гоҳ маълум мешавад, ки басомади пароканиши афканишот бо басомади нури аввала мувофиқ хоҳад кард. Ҳамин тавр бошад, аз фаҳмишоти классики маълум мешавад, ки дарозии мавҷи пароканиши ба нури аввала мувофиқ мекунад. Дар қисми оптика тайф, ки $\lambda \sim 10^{-5}$ см пароканиши мутаносиби чап ба дарозии чоруми дарозии мавҷ (қонуни Релея) аст. Барои нурҳои рентгенӣ λ ин тартиб $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ см, ки ба ченаки атом баробар аст, бинобар ин пароканиши ба дигар қонунҳо иттиоат мекунад, ва аз дарозии мавҷ вобаста нест. Барои зарби пароканиши атом аз тарафи Томсон чунин формула бароварда шуд:

$$\sigma_a = \frac{8\pi}{3} \cdot \frac{Ze^4}{m^2c^4} \quad (8.15.1)$$

Дар ин ҷо e ва m – зарияд ва массаи электрон, c – суръати рӯшноӣ. Z – номери атоми элемент.

$$\frac{\sigma_a}{Z} = \frac{8\pi}{3} \frac{e^4}{m^2c^4} \quad (8.15.2)$$

Арзи самараноки барои як электрон. Мо арзи самараноки барои як электронро барои пароканиши нури рентгенӣ ҳосил кардем, азбаски $[\sigma_a] = \text{см}^2$. Ба формулаи (8.15.2) қиммати ин бузургорохоро гузошта ҳосил мекунем:

$$\frac{\sigma_a}{Z} = \frac{8\pi}{3} \cdot \frac{(4,8 \cdot 10^{-10})^4 \cdot (1,76 \cdot 10^7)^2}{(2,997 \cdot 10^{10})^4} = 6,57 \cdot 10^{-25} \text{ см}^2;$$

Радиуси арзи самараноки: $r_0 = 4,6 \cdot 10^{-13}$ см², ки ба радиуси классики электрон мувофиқ мебошад.

8.16. ФЛОРЕССЕНСИЯИ РЕНТГЕНӢ.

Агар атом дар савияи q бо нури рентгени ангезонида шавад, пас гузариши ба савияи энергия иҷро мешавад, дар натиҷаи ин процес энергияи зиёдати аз атом хориҷ мешавад.

Фотони q – серия, ё фотоэлектронҳои дуҷумин. Ҳамин тавр фотонҳои ҳосил шуда нури рентгени флуоресцентиро пайдо мекунанд, тайфи дуҷумин номида мешавад. Таркиби тайфи нури флуорессенти ба тайфи хатти тавсифи элементҳо монанд, дар зери таъсири бархури электронҳои дастаи катод ба анод, ҳосил мешаванд. Фарқият дар он, ки нури рентгени тавсифи якҷум гайр аз тайфи хатти боз тайфи бифосила дорад, аммо нури дуҷумини флуорессенсия танҳо аз тайфи хатти тавсифи иборат аст.

Агар афканишоти рентгенӣ берун дар фосилаи, дар воҳиди ҳаҷми мода n_q атомҳо дар савияи q ангезонида шавад, он гоҳ ҳангоми барқароршавии мувозинати адади атомҳо дар воҳиди вақт, хориҷ кардани хатти

q – серияи тайфи дуоумин n_{qf} -ро медиҳад, боқимонда $n_{ql} = n_q - n_{qf}$ атомҳо фотоэлектронҳои дуоуминро хориҷ мекунад.

Нисбати адади атомҳои, ки тайфи дуоумини хориҷ кардан аз серияи q ба адади атомҳои ангезтан нури аввала дар q – серия, боз деҳи флуоресцентӣ ё зарби баромади флуоресцентӣ номида мешавад ва ω_q –ишора мешавад:

$$\omega_q = \frac{n_{qf}}{n_q} \quad (8.16.1)$$

Аз ин формула мебарояд, ки мумкин бевосита муайян кардан боздеҳи флуоресцентиро ҳангоми тадқиқоти гаҳҳо дар камераи Вильсон бо нури рентгени ангезонида шудааст. Дар айни ҳол:

1) Адади n_q ҳамаи изҳои электронҳои энергияш барои қанда баровардан аз савияи q атомҳои газ мувофиқ бошад, ҳисоб мекунем.

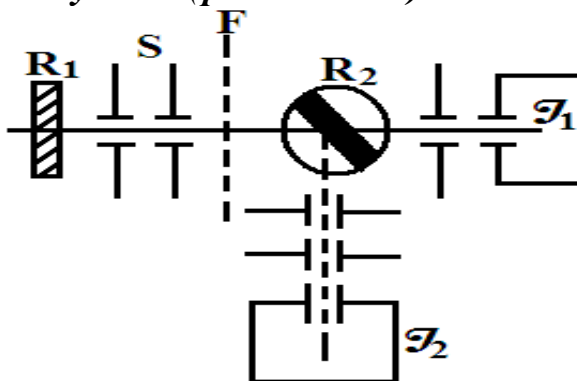
2) Ҳисоб карда мешавад, адади n_{ql} изҳои барои хурдтарин энергиявии электронҳои дуоумин, аз ин атомҳо парвозкарда баромаданд.

3) Фарқи $n_q - n_{ql}$ –ро гирифта n_{qf} –ро муайян мекунанд, яъне шумораи атомҳои, ки фотон хориҷ кардан, тайфи дуоуминро медиҳад.

Ба таври амалӣ муайян кардани боздеҳи флуоресцентии атомҳои қисмҳои сахт, бо роҳи чен кардани нисбати интенсивноки тайфи дуоумин ба интенсивноки ангезониши он нури якумин аст.

Реҷаи дастгоҳ чуни насть:

Ба сифати дастаи якранги нури рентгенӣ истифода бурдан, K –серияи тайфи афканишоти дуоумин R_1 . Баъди аз сурохи S ва полоиши F гузаштан дастаи нур ба дигар лавҳаи R_2 меафтад, ба сифати нурафкани тайфи флуоресценси хизмат мекунад. Агар R_2 –ро гирем, он гоҳ интенсивноки рости дастаи нур бо ёрии камераи иони J_1 чен кардан мумкин аст. Нур афканиши R_2 –ро ба роҳи нур барқарор кунем камераро дар ҳолати J_2 ҷойгир мекунем, ва интенсивнокии K –серияи нури флуоресцентии нурафканиши R_2 –ро чен мекунанд (расми 8.16.1).



Расми 8.16.1

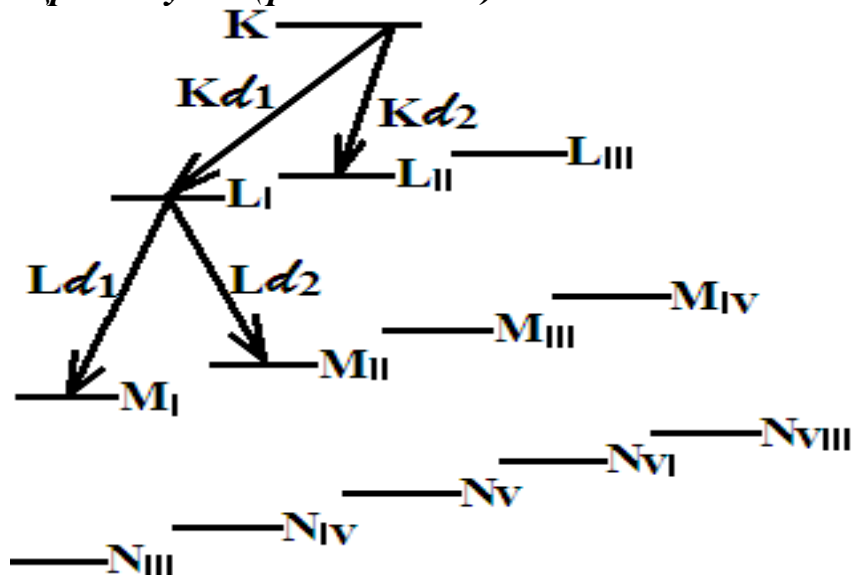
8.17. ФОТОЭЛЕКТРОНҲОИ ДУОУМИН Ё ОЖЕ- ЭЛЕКТРОНҲО.

Оже электронҳоро аз тарафи Оже дар камераи Вилсон ба намуди электронҳои сустҳаракат зоҳир карда шуд, энергияи онҳо аз энергияи фотоэлектронҳо фарқ дорад. Қонуниятҳои Оже-эффект чуни аст.

1) Фотозлектронҳо ва гуселонидани Оже -электронҳо дар як нуқта пайдо мешавад;

2) Энергияи Оже -электронҳо дар фарқият аз фотозлектронҳо аз энергияи ангезиши атомҳо вобаста нест.

3) Равиши Оже – электронҳо аз равиши партофтани фотозлектронҳо вобаста нест. Ба сифати мисол як ҳодисаи пайдошавиши Оже – электронро дида мебароем. Фотони рентгени дорои энергияи калони кифоякунанда энергияро ба атом медиҳад, ва аз атом фотозлектрон аз савияи K –савия ба L_{III} савия иҷро мекунад (расми 8.17.1).

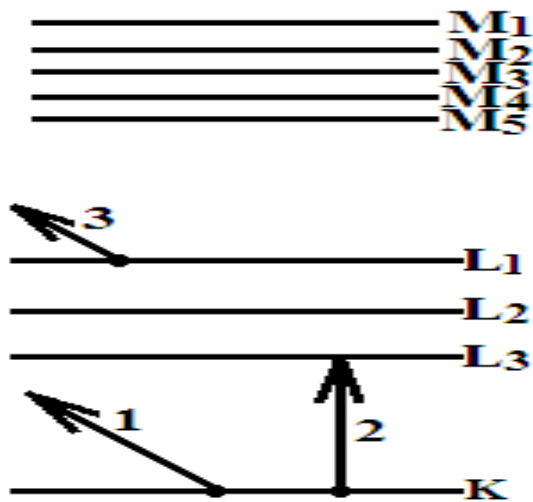


Расми 8.17.1

Дар ин вақт мумкин фотон аз хатти K_{α_1} хориҷ шавад, расми 8.17.1 аммо дар ҳолати Оже – эффект атом боз як электрони дуҷуминро аз савияи L_I мепартояд. Мисол, баъди ин маълум шуд, ки атоми дар ҳолати думаротиба иониш: яктоги электрон дар савияи L_I ва L_{II} нест. Ин гузариширо чунин навиштан мумкин аст:

$$K \rightarrow L_I L_{III}. \quad (8.17.1)$$

Дар оянда камшавиши энергияи атом бо роҳи гузариши электрон аз савияи поёни атом ба савияе, ки ду ҷои холи мавҷуд аст, иҷро мешавад. Дар ин маврид атом ё фотон хориҷ мекунад, ё ки як ё ду электрони берунаро мепартояд, ки ба эффекти дуҷумин дохил мешавад, эффекти Оже. Ин гунна электронҳоро Оже ошкор кард, ҳангоми нурбарориши газҳои вазнин дар камераи Вилсон расми 8.17.2.



Расми 8.17.2.

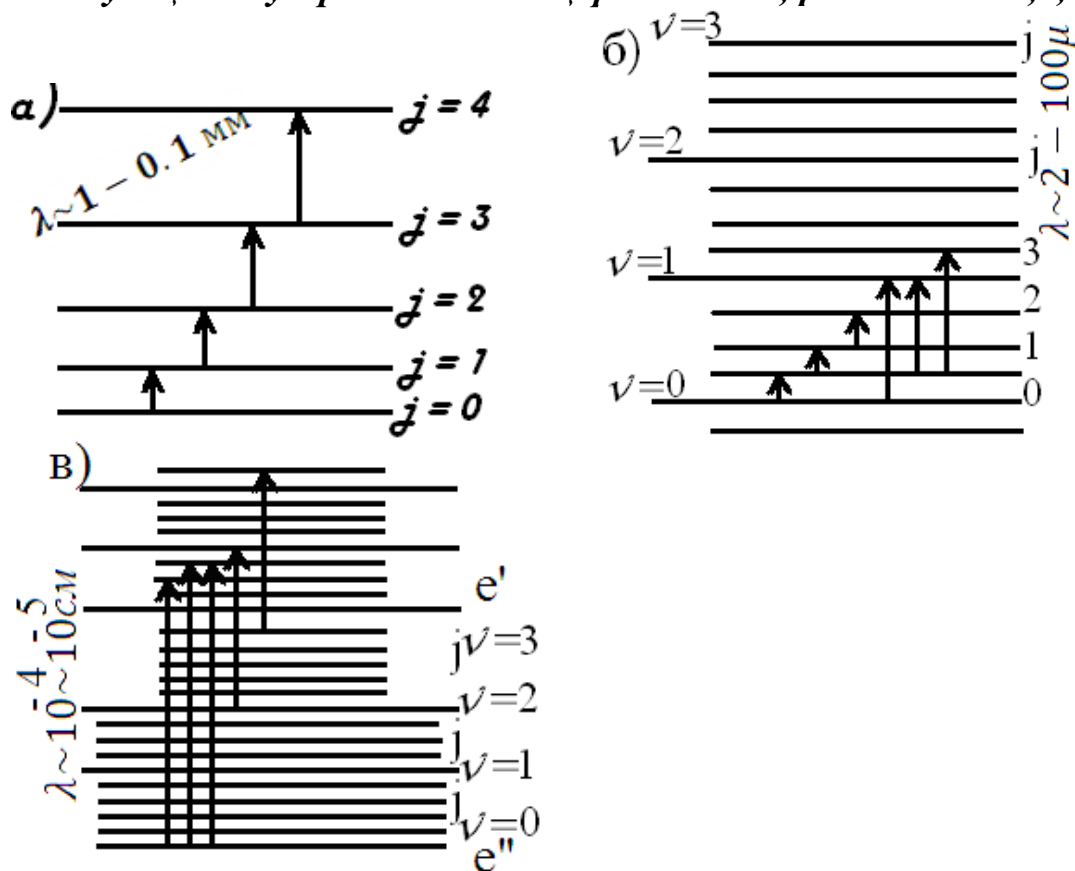
8.19. СОХТ ВА ТАЙФҶОИ МАЛЕКУЛАҶО

Фарқи байни тайфи атомҳо-хатти, тайфи молекулаҳо тасмамонанд. Ғайр аз ин аксарияти хатҳо ва ҳислати махсуси онҳо гурӯҳ-гурӯҳ шуда ба тасма табдил ёфтанд аз ин хусусият тайфи молекулаҳо аз атомҳо фарқ мекунанд. Ин шумораи калони хатҳоро мефаҳмонанд, ки фарқ аз атомҳо имкони танҳо гузариши энергияи электронҳо мебошад. Дар молекулаҳо се намуди гузариши энергия мавҷуд аст- электрони, лапшиш ва чархзанӣ. Ин намудҳои ҳаракат дар молекулаҳо дар наздиқави якум ба ҳам новобаста дидан мумкин аст, барои он ки ҳаракати ҳастаҳои вазнин бисёр оҳиста ($n \cdot 10^3$ маротиба) нисбати электронҳо суст мегузаранд. Аз тарафи дигар, дар вақти тағйирёбии ҳолати электронҳо, ҳаста ягон қадар ҳолати худро тағйир намедихад. Бинобар ин фарқи энергияи термҳои лапшиш ва чархзанӣ, дар намуди умуми хурд аз гузариши электронҳо байни ҳолатҳои ягон фарқ мекунад. Дар асоси назарияи Бор фарқи наонқадар энергияи калони мувофиқ меояд ва фарқи хурди басомад (ва дарозиҳои мавҷ). Барои ҳамин гурӯҳ – гурӯҳи хатҳо ба тайфи тасмаи молекулаҳо хеле зич мебошад.

$$T_n = \frac{E_n}{nc}; [T_n] = \text{см}^{-1}; T_n = \frac{R}{n^2}; h\nu = E_n - E_m. \quad (8.18.1)$$

Агар мо молекуларо дошта бошем, ки дар ҳолати ғайри ангезиши бошад. Он гоҳ гузариши дар байни қишрҳои электронӣ нест, чархзани молекулаҳо низ нест. Онҳо танҳо дорои якқадар энергияи лапшиш мебошанд. Мисол, ҳангоми зиёдашави температура молекулаҳо ба ҳолати чархзани ангезиши мегузаранд, ки ба дарозиҳои мавҷи $\sim 1 - 0,1$ мм мувофиқ аст (яъне соҳаи мавҷи инфрасурх ва мавҷи радио). Ҳамин тавр, ҳангоми оҳиста – оҳиста ангезиши молекулаҳо онҳо дар навбати аввал тайфи хатти чархзани хорич мекунанд расми 8.18.1а. Дар вақти зиёдашави энергияи гармо гузариши лапшиши низ ангезонида мешавад ($\lambda \sim 2 - 100 \mu$), дар ин маврид тайфи лапшиши тоза мушоҳида намешавад, аммо тайфи лапшиш чархзанӣ 8.18.1б- дар соҳаи басомади инфрасурх мехобад мушоҳида мешавад. Барои ангезонидани савияҳои электронӣ энергияи калон лозим аст, инчунин тайфи электронҳо аз системаи тасма 8.18.1в иборат аст, барои он ки дар назди ҳар як савияи электрон маҷмуаи савияҳои лапшиши ва чархзанӣ мавҷуд аст. Акнун дар навбати аввал танҳо тайфи одди молекулаи дуатомаро дида мебароем, ки

мумкин музокираи он бо ёри тасавуроти оддӣ фаҳмонида шавад. ,барои молекулаҳои ду атома танҳо як имконияти ҳаракати лапшии мавҷуд аст – лапшии ду ҳастаи молекула нисбати якдигар. Барои молекулаҳои бисёратома тайф хело мураккаб мебошад. Акнун реҷаи савияи энергияи молекулаҳо ва гузариши байни онҳоро мебинем; расми 8.18.1 а,б,в.



Расми 8.18. а,б,в.

Пеш аз он ки бо пурраги тайфи молекуларо дида бароем, масъалаи табиати алоқаи молекулаҳоро ба таври васеъ меомузем. Молекулаҳо ҳангоми ба ҳампайвастиҳои атомҳои элементҳои дилхоҳ пайдо мешаванд (ба гайр аз газҳои асил). Атомҳо дар молекула ба қувваи мутақобил таъсиркунӣ алоқаманд мебошанд, барои бартараф кардан ва ҷудо кардани атомҳо бояд миқдори муайяни энергия сар кард. Ин қувваи таъсири мутақобил алоқаи валенти мебошад. Фарқ аз дигар қувваи дилхоҳ дар физикаи классики дида мешавад, ва қувваи валенти ба чунин хосиятҳо соҳиб мешавад.

Ин хосият алоқаманд аст, ба қуввае, ки байни атомҳои дар молекула буда таъсир мекунад, бо адади бутун волентноки тафсифонидан мумкин аст. Ҳидроген-якволента, бинобар он молекулаи он метавонад танҳо аз ду атом (атоми сеюм дар молекулаи ҳидроген пайваст шуда наметавонад) иборат бошад.

Сершави қувваи валенти ба адади бутуни он асос шудааст. Ҳамаи инро механикаи квантӣ метавонад фаҳмонад. Агар мо атоми нейтралро дошта бошем, он гоҳ онҳо ба ҳамдигар таъсири мутақобил надоранд, то он ҳолате, ки масофаи байни онҳо бисёр калон нисбати диаметри онҳо набошад. Агар атомҳо тасодуфан ба ҳам наздик шаванд, он гоҳ қувваи таъсири мутақобил тез меафзояд ва дар шароити муайян атомҳо метавонанд пайваст шуда молекулаҳоро пайдо кунанд. Пайдоиши

ин қувваҳо электрикӣ буда, аммо ба таври классики фаҳмонида мешавад, мисол таъсири покизаи мутақобилии зарраҳои зарядноки бо қувваи $f = \frac{e_1 e_2}{r^2}$, тасавурот дар бораи алоқии қувваи валентӣ намедихад, ки дорои адади бутун ва сершавӣ мебошад. Зарядҳои электрики ҳамдигарро мекашанд, новобаста аз он ки чанд қадар заряд пештара ба онҳо таъсири мутақобила мерасонад. Маълум аст, ки малекула алақай микросистемаро ифода мекунад, ба қонунҳои механики кванти итоат мекунад.

8.19. НАВЪҲОИ АЛОҚА.

Қобилияти атомҳо, ки молекулаҳоро инкишоф медиҳанд, ба пайвастишави атомҳои дигар дохил мешаванд, ки хосияти электронҳои дар атом бударо мефаҳмонад. Ғайр аз ин дар механизми алоқаманди атомҳо электронҳо, ки дар атомҳо бисёртар суфт алоқаманданд нақшаи калонтаринро бояд иҷро кунанд. Барои тағйир додани ҳолати онҳо энергияи кам лозим аст. Ба ингуна электронҳо дохил мешавад, электронҳои қабати берунаи валенти атомҳо.

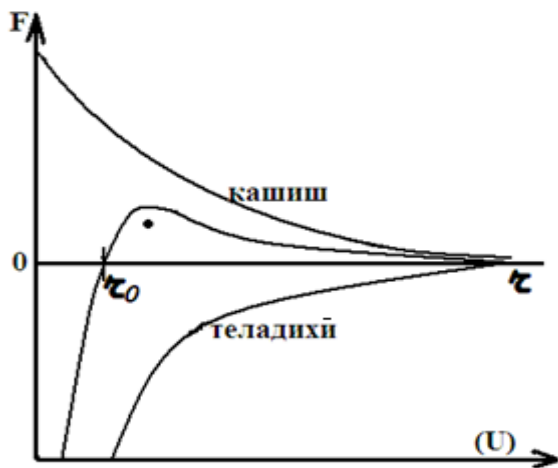
Табиати қувваи байни атомҳои дар молекула мавҷуд буда таъсир мекунад, бо фаҳмиши электростатикӣ алоқаманд мебошад.

Пайвастишавӣ дар алоқии химиявӣ ба қашии электростатики зарраҳои гуногунном асос аст- пайвастишави ионӣ номида мешавад. Дар ин гунна пайвастишавиҳои электронҳои валентӣ дар атомҳо таъсир мекунанд, аз як атом ба атом дигар мегузаранд. Атомҳо дар ин маврид ба ионҳо табдил меёбад: (-) ион-атом, ба худ электронро пайваст мекунад, ва (+) ион-атом, электронро аз худ медиҳад. Ин ионҳои беғунаи гуногун ном дар асоси қонуни Кулон $f = \frac{e_1 e_2}{r^2}$ ҳамдигарро мекашанд. Ингуна молекулаҳо мисол, Na^+Cl^- мебошад. Дар инхел молекулаҳо, монанди $\text{H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2, \text{Cl}_2$ ва ғайра... алоқии иониро навишта иловаги даравардан мумкин нест. Ягон асос нест, ки як атоми (+) заряд, ба дигар атоми (-) заряд гузарад. Табиати қувва, ки алоқии ғайри иониро пайдо мекунанд, алоқии гомеокутбӣ номида мешавад.

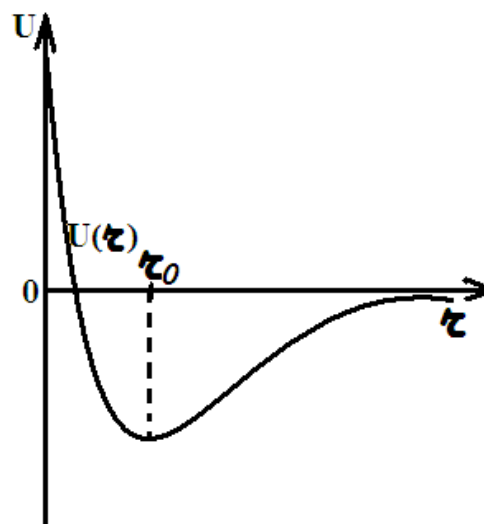
Сарфи назар аз ин фарқият дар табиати алоқии байни ионӣ ва гомеокутбӣ ва намуди онҳо, алоқии химиявӣ байни атомҳои дар молекулаи дуатома мавҷуддуда аломатҳои умуми дорад.

Фарз кунем, ки дуатомро дорем, ки дар масофае наздик мешаванд, ки қувваи қашии байни онҳо меафзояд. Ҳангоми дар оянда камшудани масофаи байни атомҳо қувваи таъсири теладиҳи сар мешавад. Ин алоқаманд аст, ба қишрҳои электронҳо, ки атомҳоро ба ҳам алоқаманд, мекунад ва наметавонанд ба ҳамдигар чуқур гузаранд.

Қувваи теладиҳи пайдо мешавад, ки дар асоси механикаи квантӣ фаҳмонидан мумкин аст. Ҳангоми якбора таъсир кардани қувваи қашии ва теладиҳӣ дар андак масофа ин қувваҳо баробар мешаванд расми 8.19.1. Дар ин масофа энергияи потенциалӣ системаи дуатома ба қиммати минимали баробар мешавад. Агар масофаи байни атомҳоро кам кунем, он гоҳ қувваи теладиҳи меафзояд, дар ин ҳолат энергияи потенциалӣ бемаҳдудият зиёд мешавад. Агар масофа зиёд шавад, он гоҳ энергияи потенциалӣ меафзояд то сифр ва барои атомҳои озод, ки байни ҳам таъсир намекунанд энергияи потенциалӣ онҳо баробари сифр мешавад (расми 8.19.2).



Расми 8.19.1



Расми 8.19.2.

Графики вобастагии энергияи потенциали $U(r)$ оварда шудааст. Ҳолати минимали хатти қач нуқтаи дар r_0 ба мувозинати масофаи байни атомҳо мувофиқ меояд – инро дарозии алоқа номида мешавад.

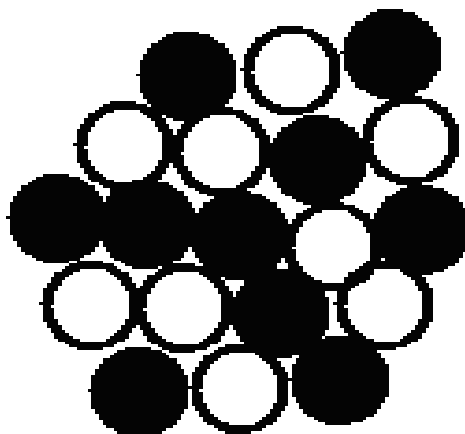
Энергияи потенциали манфӣ, яъне барои алоқаи атомҳоро дар молекула қандан бояд кори мувофиқро иҷро кард, барои атомҳоро ба беохири овардан мебошад. Ин аст энергияи бандиши (таҷзия) D .

8.20. АЛОҚАИ ИОНӢ (АЛОҚАИ ДИПОЛӢ).

Мисоли алоқаи ионӣ молекулаҳои намак мебошад. Алоқаи иониро дар мисоли $NaCl$ дида мебароем. Хусусияти пайвастишави ионӣ дар он аст, ки ҳангоми зиёд шудани масофаи байни ҳастаи молекула он ба ду атоми нейтрал тақсим намуда, яъне ба ду ион (Na^+) ва (Cl^-), ҷудо мешавад. Асосан алоқаи ионӣ барои пайвастишави металҳо бо металлоидҳо хос мебошад. Ин ба он алоқаманд аст, ки металҳо дорои бузургии хурди потенциали иониш мебошанд, яъне барои электронро аз атом ҷудо кардан миқдори хеле кам энергия бахшида мешавад. Металлоидҳо аз тарафи худашон монанди камони электронҳо нисбатан метавсифонанд, яъне ҳангоми яқояшави электрон ба атоми нейтрал металлоид миқдори муайяни энергия ҷудо мешавад. Мисол речаи навиштани пайдоиши молекулаҳои намаки $NaCl$ чунин мегузарад: атоми Na ба атоми Cl электронашро медиҳад, пас иони (Na^+) ва (Cl^-) пайдо мешавад, ки заряди онҳо муқобили якдигаранд.

Дар асоси таъсири мутақобили электростатикӣ, ин ионҳо ҳамдигарро мекашанд, то он даме, ки қувваи таладиҳи пайдо нашавад, дар оянда ба наздикишави ионҳо муқобилат мерасонад. Дар ин масофа, ки ионҳои Na ва Cl дар молекулаи $NaCl$ воқеъ мебошанд, қувваи кашиш ва таладиҳи байни ҳам баробаранд. Акнун протсеси пайдоиши молекулаҳои $NaCl$ аз нуқтаи назар энергияи муфасалтар дида мебароем. Аввал диққат медиҳем, ки энергияи панҷараи иони булури чи гунна аст, ки натри хлор намуди кубро дорад, дар гиреҳҳои он ба намуди параллели ионҳои (Na^+) ва (Cl^-) ҷойгир мебошанд расми 8.20.1. Энергияи булур ба қоре баробар аст, ки барои

аз панҷараи булури ҳамаи ионҳоро ба ионҳои азоди (Na^+) ва (Cl^-) табдил додан бояд сарф шавад. Дар ин маврид кор ба чунин просесҳо алоқаманд аст:



Расми 8.20.1

1) Атоми Na ба ҳолати газмонанд гузаронидан; дар ин маврид барои $S_{\text{Na}} - p_0$ (Na сахт) ба буг гардонидан энергия сарф мешавад. Барои ин гурӯҳи якҷуми булури сахти Na Cl Na сахт ва $\frac{1}{2}$ моли Cl_2 гр. атоми Cl газмонандро дида мебароем.

2) Хлори Cl_2 газмонанд мавҷуд аст, бояд молекулаи онро канда ба атом табдил диҳем, барои таҷзияи молекулаи хлорро ба атомҳои гузаронидан энергия сарф мешавад, ки ба энергияи бандиши $\text{Cl} - \text{Cl}$; D_{Cl_2} баробар аст.

3) Табдил додани Na Cl ба атомҳои озоди Na ва Cl бояд кор сарф шавд, ки ба потенциали иониши $\text{Na} - J_{\text{Na}}$ баробар аст. Барои электрони кандашударо ба атоми Cl ҳамроҳ кардан энергия ҷудо мешавад, монанди электрони ϵ_{Cl} .

4) Бояд ионҳои озоди (Na^+) (Cl^-) маҷбуран ба ҳам пайваस्त шаванд, иони булури сахт пайдо мешавад, ки бо ҷудошави энергия гуселонида мешавад: U_{NaCl} аз тарафи дигар, новобаста аз пайвастишавӣ натри сахт мумкин ба хлорӣ газмонанд гузарад, ки инчунин булури Na Cl -ро медиҳад. Ин просес бо ҷудошави энергия мегузарад пайдошави гармои Q_{NaCl} аст. Аммо дар асоси қонуни бақои энергия, фарқи энергияи ҳолати аввала ва охири система аз роҳе, ки просес аз як ҳолат ба дигар мегузарад, вобаста нест. Бинобар ин навиштан мумкин аст:

$$Q_{\text{NaCl}} = -S_{\text{Na}} - \frac{1}{2}D_{\text{Cl}_2} - J_{\text{Na}} + \epsilon_{\text{Cl}} + U_{\text{NaCl}} \quad (8.20.1)$$

Аз ин таносуб энергияи панҷараи ионӣ U_{NaCl} муайян карда мешавад, Q ва S аз ченкуниҳои рости калорисанҷӣ муайян мешавад. Бинобар он J - аз натиҷаҳои тайфбинӣ; ϵ - аз таҷриба муайян мешавад.

Аммо бузургии энергияи панҷараро ба таври назариявӣ муайян кардан мумкин мешавад. Чи тавре, ки дар боло гуфта гузаштем қувваҳое, ки мавҷудияти булури иониро муайян мекунанд қувваҳои электростатики кашиш ва теладиҳи аст, ки дар натиҷаи гузариши мутақобил электронҳои қишири ионҳо пайдо мешаванд. Ҳар як иони Na Cl дорои шаши ҳамсоия наздик мебошад - ионҳо, муқобилзаряднок ва дар масофаи r ҷойгиранд. r аз иони интихобишуда; онгоҳ 8 иони дигар бо ҳамин хел

аломат дар масофаи $r\sqrt{2}$ – мавҷуданд. Бинобар он энергияи электрон статикаи таъсири мутақобили ион бо ионҳо ихотақунанда ба чунин намуд, нишон додан мумкин аст:

$$U' = -\frac{6e^2}{r} + \frac{8e^2}{r\sqrt{2}} - \frac{8e^2}{r\sqrt{3}} + \dots = -\frac{e^2}{r} \left(6 - \frac{8}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}} - \dots \right) = -\frac{Ae^2}{r}, \quad (8.20.2)$$

Дар ин ҷо A – доими моделунга, ки ҳангоми чамъкардани тамоми ҷуфти ионҳо, барои $NaCl$ баробари 1,748 мебошад, ки он аз фаҳмиши геометрии муайян карда мешавад. Энергияи электростатикаи теладиҳӣ, ки дар масофаи хурд қиммати калон дорад, ва бо зиёдшудани масофа тез хурдтар мешавад, ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$U'' = -\frac{B}{r^n}, \quad (8.20.3)$$

Дар ин ҷо B ва n доими, гайр аз ин $n > 1$. Бояд қайд кард, ки табиати қувваи теладиҳӣ мумкин фаҳмо шавад дар асоси Принципи паули (барои он ки ин қувваҳо табиати квантӣ доранд, гайр аз мавҷуд будани таъсири мутақобили рости электростатикӣ). Бояд қайд кард, ки ҳангоми мутақобил гузариши қишири электрони ионҳо дар майдони ҳар яки ҳаста электронҳои иловаги пасиҳам меафтанд. Гайр аз ин, дар ихотаи атом ҳаста метавонад электрони валенти афтад, аммо энергия мувофиқат намекунад дар ин ҳолат энергия мувофиқи Принципи Паули амал мекунад. Дар ин маврид электрони валентӣ метавонад ба ин ихота афтад, танҳо бо сарфи кори муайян, бинобар онро тела медиҳад. Пас энергияи пурраи панҷара чунин намудро мегирад:

$$U'' = -\frac{Ae^2}{r} + \frac{B}{r^n} \quad (8.20.4)$$

Ҳисоб мекунем, ки энергияи пурра аз энергияи потенциалӣ иборат аст, барои он, ки энергияи кинетики ҳаракати гарми $RT \ll U$. R – доими гази универсалӣ $R = 8,31 \cdot 10^7 \frac{\text{эрг}}{\text{град} \cdot \text{мол}}$. Формулаи (8.20.4) – ро ба назар мегирем, ки дар ҳолати мувозинати U – минимум, гайр аз ин $r = r_0$, шарти минимали U – ро меёбем, ҳосилаи зеринро ба сифр баробар карда ҳосил мекунем:

$$\left(\frac{du}{dr} \right)_{r=r_0} = \frac{Ae^2}{r_0^2} - \frac{nB}{r_0^{n+1}} = 0; \quad (8.20.5)$$

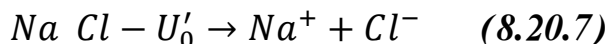
дар ин ҷо $B = \frac{Ae^2}{n} \cdot r_0^{n-1}$

Ифодаи зеринро барои U , ҳосил мекунем: $U_{r=r_0} = -\frac{Ae^2}{r_0} \left(1 - \frac{1}{n} \right)$.

Доими n – ро барои ҳамаи панҷараи булур аниқ муайян мекунем, ки аз 6 то 10 қиммат қабул мекунад. Ҳамин тавр энергияи панҷара U – ро назариявӣ ҳисоб кард, ба натиҷаҳои амалӣ (таҷрибавӣ) муқоиса кардан мумкин аст. Дар ҳолати ионҳои озоди молекулаи энергиявӣ (молекулаи $NaCl$) танҳо ду иони ҳамсоия гуногунном мавҷуд аст; аз баски $A = 1$ (доими Моделунга), бинобар ин:

$$U'_0 = -\frac{e^2}{r_0'} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \quad (8.20.6)$$

Дар ин ҷо масофаи байни атомҳо $r_0' \neq r_0$ (масофа дар панҷараи булур). Энергия U_0' – энергияи таҷзияи молекулаҳо дар ионҳои озод (бузургии манфӣ), яъне барои Na Cl :



U_0' – ро бо усули тайфиносии муайян мекунам, бо ин натиҷаи ҳисоби U_0' – ро муқоиса кунем, натиҷаҳои хеле хуби мувофиқ омада ҳосил мекунем.

Ба ин назария асос карда, пайдоиши молекулаҳои иониро чунин пешниҳод кардан мумкин аст: Монандии калони (катори) галогенро бо электрон чунин фаҳмонида мешавад, ки ба он якҷояшавии як электрон ба қири атоми гази асли ба он ҳамсоя меоварад:

Таркиби он : $17\text{Cl}^{35}(1S^2; 2S^2 2P^6 3S^2 3P^5) \rightarrow \text{Cl}^-(\dots, 3S^2 3P^6)$, монанди ин аргон 18Ar^{36} (барои ин элементҳо қишрҳо пур аст: $K - 2$ электрон, $L - 8$ электронҳо; $M - 18$ электронҳо). Потенциали иониши гази асли баланд аст.

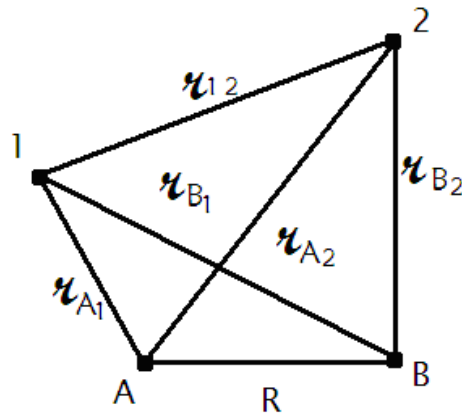
Дар навбати худ, ҷудошудани як электрон аз атоми метали ишқорӣ, низ ба пайдоиши мақоми (шакли) устувори гази асли мебиёрад: $11\text{Na}^{23} \rightarrow \text{Na}^+$ бо ҷойгирави электронҳо: $(1S^2 2S^2 2P^6)$, монанди ин 10Ne^{20} . Ин ду системаи устувори ионҳо, молекуларо ба навъи алоқаи ионии ташкил мекунам.

8.21. АЛОҚАИ ГОМЕОҚУТБӢ.

Мисоли ин намуди пайвастишавӣ молекулаҳо бо ду ҳастаи якхела $\text{H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2$ алоқаманд мебошанд. Молекулаи оддӣ бо навъи алоқаи гайришонӣ молекулаи ҳидроген H_2 мебошад, ки аз ду протоҳо ва ду электронҳо иборат аст. Ин ду электронҳо дар ҳолатҳои гуногуни атом $1S$ мавҷуданд, барои ташкилҳои навъи алоқаи гомеоқутбӣ додашуда баробар иштирок мекунам. Азбаски ба мо ягон асос нест, ки ҳарду электронро ба яке аз ду атоми ҳидроген буда монем, ки дар молекула тамоман баробар бошанд, он гоҳ мо метавонем ионҳо ҳосил кунем, пас дар ин маврид навъи алоқаи ионӣ аз байн меравад. Дар асли кор дар молекулаҳои гомеоқутбӣ, таъсири мутақобили байни ҳастаҳо ва электронҳо пайдоиши электростатики доранд. Аммо алоқаи асоси гомеоқутбӣ мавҷудияти қувваи «мубодила» ва ба ин мувофиқ энергияи мубодила мебошад. Азбаски электронҳо тамоман як хеланд, он гоҳ ҳангоми дутои аз онҳо ҷояшонро иваз кардан, ҳолати система тағйир намеёбад. Қувваи таъсири мутақобил байни ду электронҳо чи қадар калон бошад, ҳамон қадар мутақобил ба дарун гузаштани абри заряди онҳо иҷро мешавад, яъне ин «ивазишавӣ» ҳамонқадар тезтар мегузарад.

Фарз кунем, ки ду атоми ҳидрогенро дорем : A ва B протонҳо дар масофаи R ҷойгиранд (расми 8.21.1) 1 ва 2 электронҳо, байни ҳамаи зарраҳои заряднок дар молекулаи H_2 қувваи кулони кашии ва теладиҳӣ таъсир мекунад. Ба ин қувва энергияи потенциали умуми мувофиқ меояд.

$$U = U_1 + U_2 + U' + U'' \quad (8.21.1)$$



Расми 8.21.1

Дар ин ҷо U_1 ва U_2 — энергияи электрони якӯм ва дуҷум дар майдони ҳаста, f A ва B мувофиқ $U_1 = -\frac{e^2}{r_{A1}}$ ва $U_2 = -\frac{e^2}{r_{B2}}$; $U' = \frac{e^2}{r_{12}} + \frac{e^2}{R}$; U — энергияи потенциали таъсири мутақобили атомҳои ҳидроген:

$$U = -\frac{e^2}{r_{A1}} - \frac{e^2}{r_{B2}} + \frac{e^2}{r_{12}} + \frac{e^2}{R} \quad (8.21.2)$$

Дар ҷое, ки аломат (+) энергияи теладиҳи ба электронҳо ва ҳаста дохил мешавад. Масофаи байни ҳастаҳо аз сабаби массаашон калон будан доими меҳисобем ва баробари R аст.

Бо назардошти таъсири мутақобили электронӣ якӯм бо ҳастаи B ва электрони дуҷум бо ҳастаи A , боз ду аъзои энергияи потенциали ҳамаи системаҳо баробар мешаванд ба:

$$U = e^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{A1}} - \frac{1}{r_{B2}} - \frac{1}{r_{A2}} - \frac{1}{r_{B1}} \right) \quad (8.21.3)$$

Энергияи пурраи атоми ҳидроген:

$$H = e^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{A1}} - \frac{1}{r_{B2}} - \frac{1}{r_{A2}} - \frac{1}{r_{B1}} \right) + \frac{p_1^2 + p_2^2}{2m} \quad (8.21.4)$$

Дар ин ҷо p_1 ва p_2 — импульси электронҳо. Аввал масъаларо наздикшави сифри дида мебароем. Азбаски дар механикаи квантӣ ҳар як ҳолати системаҳо бо функцияи хусуси навишта аз муодилаи Шредингер муайян карда мешавад, он гоҳ ифодаи энергияи гирифтаре ба муодилаи Шредингер гузошта, ду муодила, ки ба ду қиммати функцияи хусусии система мувофиқ омадаро ҳосил мекунем, ки аз ду атоми ҳидроген иборат аст:

$\psi_1 = \varphi(r_{A1}) \cdot \varphi(r_{B2})$ — як электрон ба протони A дохил мешавад, дуҷум электрон ба протони B дохил мешавад.

$\psi_2 = \varphi(r_{A2}) \cdot \varphi(r_{B1})$ — як электрон ба протон B дохил мешавад, дуҷум электрон ба протони A дохил мешавад.

Ин муодилаҳо чунинанд (барои наздикшави сифри аз тарафи рост танҳо $2U_0$ дорем.

$$\left. \begin{aligned} H\psi_1 &= \left\{ 2U_0 + e^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{A2}} - \frac{1}{r_{B1}} \right) \right\} \psi_1 \\ H\psi_2 &= \left\{ 2U_0 + e^2 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{A1}} - \frac{1}{r_{B2}} \right) \right\} \psi_2 \end{aligned} \right\} \quad (8.21.5)$$

Дар ин ҷо U_0 – энергияи ҳолати асосии атоми ҳидроген, барои муодилаи Шредингер (дар ҳолати атоми ҳидроген алоҳида будан):

$$\left. \begin{aligned} H_0 \varphi(r_{A1}) &= U_0 \varphi(r_{A1}) \\ \left(-\frac{e^2}{r_{A1}} - \frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \Delta_1 \right) \varphi(r_{A1}) &= U_0 \varphi(r_{A1}) \end{aligned} \right\} (8.21.6)$$

Баҷои квадрати импульси p_1^2 оператори он гузошта шудааст: $-\frac{\hbar^2}{4\pi^2} \Delta_1$, (дар ин ҷо Δ_1 – оператори Лаплас). Оператор $P_x = \frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial x}$; Дар ин ҷо муодила (барои як атом бо ҳастаи A ва электрони якҷум) $\varphi(r_{A1})$ функцияи хусуси ҳолати асоси ҳидроген, ки бе назардошти спин, танҳо аз радиус – вектори электрон вобаста мебошад. Функцияи хусуси системаи ду атомҳо, ки алоҳида сохта шудааст, вақто ки атомҳо ба ҳамдигар алоқаманд нестанд, дида мебароянд.

Азбаски мо ду функцияро дорем ψ_1 ва ψ_2 ду ҳолатро менависад, ки қимати ягона энергия U_0 -ро ҷавоб медиҳад, ҳолати ивазшави «ошӯбхурда» барои ду ҳолат. ки аз ҳамдигар танҳо бо мубодила фарқ мекунад аз ҷойивазкунӣ электронҳо вобаста мебошад. Дар наздикиҳои сифри мо атоми Ҳидрогенро таъсир накунад мутақобил дида мебароем, бинобарон энергияи молекулаҳо (дар системаи ду атома) дар наздикиҳои сифри ба ҷамъи энергияи таъсирнакунад мутақобили атомҳо баробар: $2U_0 = U^{(0)}$

Ҳалли муодилаи Шредингер дар ҳолате, ки агар функцияи ψ_1 ва ψ_2 ба якҷоя ягонаи ин қиммати энергияи системаҳо $U^{(0)}$ мувофиқ бошад, ба чунин намуд навиштан мумкин.

$$\psi(1,2) = c_1 \psi_1 + c_2 \psi_2 = c_1 \varphi_{A1} \cdot \varphi_{B2} + c_2 \varphi_{A1} \cdot \varphi_{B1} \quad (8.21.7)$$

Дар инҷо C_1 ва C_2 -доими ихтиёрӣ. Онҳоро аз чунин шартӣ масъалаи физики муайян мекунад; квадрати функцияи $\psi(1,2)$ эҳтимолияти якбора ёфтани электрони якҷум ва дуҷум дар маллекулаи метавсифонад, дар мавриди ҷойивазкунӣ электронҳои фарқнакунад на бояд қимати худро дигар кунад, яъне: $\psi^2(1,2) = \psi^2(2,1)$. Ин инкомпозит аст танҳо дар мавриди $c_1 = \pm c_2$, пас $\psi(1,2)$ метавонад ду қиммат гирад:

$$\psi_+(1,2) = c \cdot (\psi_1 + \psi_2) \quad \text{ва} \quad \psi_-(1,2) = c'(\psi_1 - \psi_2)$$

дар ин ҷо доимиҳои c ва c' -ро аз шартӣ меёрибанди муайян мекунад. Бузурги $\psi^2(1,2)$ эҳтимолияти ёфтани электрон якҷум ва дуҷумро дар нуқтаи додашуда ифода мекунад. Интеграл аз ин функция дар ҳамаҷои фазо ки маллекула ишғол мекунад, баробари 1-ҳамчун эҳтимолияти эътиборноки ҳодисаро мефаҳмонад. Аз шартӣ

$$\int \psi_+^2 dx_1 dy_1 dz_1 dx_2 dy_2 dz_2 = 1, \quad \int \psi_-^2 dx_1 dy_1 dz_1 dx_2 dy_2 dz_2 = 1$$

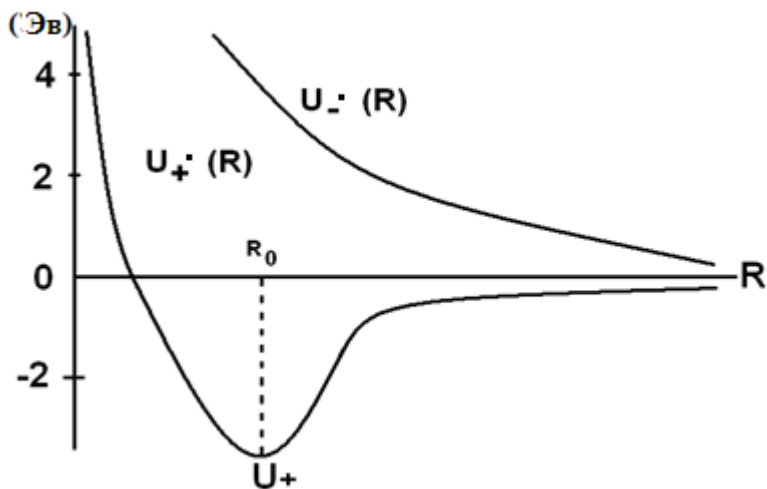
дар ин ҷо x, y, z ва x_2, y_2, z_2 координатаи электронҳои якҷум ва дуҷум, акнун қимати c ва c' -ро меёбем:

$$C = \frac{1}{\sqrt{2+2s}}, \quad C' = \frac{1}{\sqrt{2-2s}}, \quad (8.21.8)$$

дар ин ҷо s – шумора, баробари 0,56 дар масофаи мувозинатӣ, ки минимуми энергияро ҷавоб медиҳад.

Функция $\psi_2(1,2)$ функцияи симетри, ҳангоми ҷойивазкунии электронҳо қимати худро нигоҳ медорад: $\psi_+(1,2) = \psi_+(2,1)$. функцияи $\psi_-(1,2)$ – гайрисиметрӣ, азбас ки ҳангоми ҷойивазкунии электронҳо он аломати худро иваз мекунад; $\psi_-(1,2) = -\psi_-(2,1)$

Агар барои ҳалли масъала энергияи потенциали таъсири мутақобилро дохил кунем $U' = \frac{e^2}{r_{12}} + \frac{e^2}{R}$ он гоҳ қиммати энергия ба ду функция ҷавоб медиҳад ψ_+ ва ψ_- алақай якхела намешаванд. Дар ифодаи U_1 ва U_2 бузургихоё дохилмешаванд, ки онро метавсифонад:



Расми 8.21.2

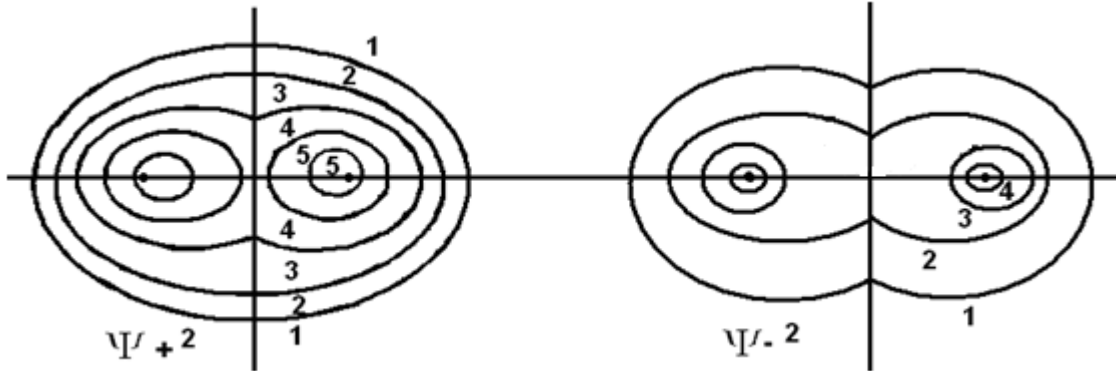
1) Таъсири мутақобили статикӣ электрон ва ҳаста; 2) энергияи электронҳо бо мубодилаи (иваз кардани) ҷои онҳо вобаста аст; 3) зарби аз нав пушонидани ду электронҳо дар молекула, намуди вобастаги U_+ ва U_- аз масофаи байни ҳаста, ки атомҳои ҳидрогенро алоқаманд мекунад, R нишон медиҳад; 4) дар мавриди функцияи симетри будан ψ_+ ба энергияи потенциали U_+ мувофиқ будан мо кашиши ду атоми ҳидрогенро ҳосил мекунем, яъне пайдошавиши молекулаҳо. Ҳолати мувозинати молекулаҳо ҳангоми $R = R_0$ (расми 8.21.2) мушоҳида мешавад, вақтоки U_+ қиммати минималиро қабул мекунад; 5) Ҳолати ψ_- (бо мувофиқ омадани U_-) ба пайдошавиши молекулаҳо намебиёрад, барои он ки атомҳо ҳамдигаро теламедиҳанд, ва энергияи U_- маълум мешавад, ки аз энергияи атомҳои ҷудо буда калон аст, пас U_- мусбат мебошад. Ҳисоб бо усули навишташуда (Гайтилер ва Лондон 1927 сол) барои, $R_0 = 0,86A^0$ медиҳад ва барои қиммати энергияи бандиш, ба фарқи $(U_+(R_0) - 2U_0)$ баробар аст, дар ин ҷо U_0 – энергияи атомҳои алоҳида ҷудошуда бузурги $72,35 \frac{\text{ккал}}{\text{моль}}$ -ро натиҷаҳои таҷриба медиҳад: $R_0 = 0,74A^0$ ва энергияи $108,84 \frac{\text{ккал}}{\text{моль}}$ мешавад.

Электронҳо дар молекулаи ҳидроген чигуна тақсим мешаванд? Барои ёфтани он бояд эҳтимолияти ёфтани электронро дар қисми ҳаҷми додашудаи молекулаи ҳидроген ҳисоб кунем, яъне зичии абри электронро, ки бо квадрати функцияи мавҷи муайян карда мешавад: $\psi_{\pm}^2(1,2) = \psi_{\pm}^2(2,1)$, ба ин ифода барои ψ_+ ва ψ_- ҳосил мекунем:

$$\psi_+^2 = c^2(\psi_1^2 + \psi_2^2 + 2\psi_1\psi_2) \text{ — кашиш, } \left. \vphantom{\psi_+^2} \right\} (8.21.9)$$

$$\psi_-^2 = c'^2(\psi_1^2 + \psi_2^2 - 2\psi_1\psi_2) \text{ — теладихи}$$

Яъне ҳангоми таъсири мутақобили ду атоми ҳидроген зичии электронҳо ба бузурии $2\psi_1\psi_2$ меафзойд ё кам мешавад, ки вобаста аз ҳолат ҷамъи $\psi_1^2 + \psi_2^2$ ҳамроҳ ё тарҳ мешавад. Ғайр аз ин дар вақти пайдоиши бандиши (функсияи ψ_+) зичии абри электронҳо меафзойд, ҳангоми теладихӣ (ψ_1) кам мешавад. Ба намуди графики тақсимиавии зичии электронҳо дар молекулаи ҳидроген H_2 дар ҳолати бандиши (барои ψ_+) нишон дода шудааст, хатте, ки ба қиммати баробари ψ^2 мувофиқ аст, зичии зиётар бо адади калон ишора шудааст (яъне эҳтимолияти калони ёфтани электрон)-ро мефаҳионад. Байни ҳастаҳо (дар мавриди бандиши, яъне ψ_+) зичии калон, яъне дар ин ҷо ба болои абри электронҳои ҳарду атом гузоштани ҳамдигар назорат карда мешавад. (расми 8.21.3).



Расми 8.21.3

8.22. САВИЯҲОИ ҶАРҲЗАНИ ВА ЛАППИШИ МОЛЕКУЛАҲО, ГУЗАРИШИ БАЙНИ ОНҲО.

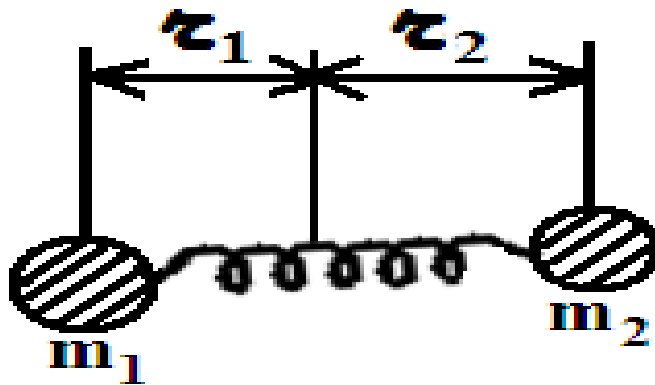
Энергияи потенциалӣ молекулаҳои ду атома иборат аст аз энергияи электрони молекулаҳо, бинобарон ҳангоми аз ҳолати мувозинати ҷой ивазкунӣ ҳаста қувваи бандиши химиявӣ ҳаракат мекунад, ки ҳастаро дар ҳолати аввала баргардонад. Ин қувваи бармегардонидагӣ ҳангоми тағйирёбии энергияи пурраи (потенциалӣ + кинетикӣ) электронҳо дар мавриди ҷой ивазкуни ҳаста пайдо мешавад. Дар вақти мувозинати масофаи байни атомҳо ($r = r_0$) мо минимуми энергияи потенциалро ҳосил мекунем. Агар мо лаппиши хурди молекулаи дуатомаро дошта бошем, онро ҳамчун лаппиши гармоникӣ осцилатор дидан мумкин аст, энергияи потенциали он ба намуди квадрати бузурги ҷойивазкунӣ вобастааст:

$$U = \frac{kx^2}{2} \quad (8.22.1)$$

дар ин ҷо k — доими чандирӣ. ($F = -kx$; кори қувваи чандирӣ барои зиёд кардани энергияи потенциалӣ $U = \frac{kx^2}{2}$ сарф мешавад).

Возеҳан молекуларо ба намуди ду зарраи вазнин бо массаи m_1 ва m_2 тасавур кардан мумкин, ки фонири чандири пайванд мебошанд, ки зарби чандири (r_1 ва r_2 масофаи байни атоми яқӯм ва дуҷум нисбати маркази вазнини молекулаҳо). Бо зиёдиавии масофаи байни атомҳо ба ҳар яки он қувваи баргардонандаи чандири таъсир мекунад (расми 8.22.1):

$$F = -k(r - r_0) = -\frac{du(r-r_0)}{dr}, \quad (8.22.2)$$



Расми 8.22.1

Азбаски $F = mr$, он гоҳ барои ду атом ҳосил мекунем:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{r}_1 &= -k(r - r_0) & \ddot{r}_1 &= -\frac{k}{m_1}(r - r_0); \\ m_2 \ddot{r}_2 &= -k(r - r_0) & \ddot{r}_2 &= -\frac{k}{m_2}(r - r_0); \end{aligned} \right\} \quad (8.22.3)$$

$r = r_0$ ба минимуми энергияи потенциалӣ мувофиқ аст.

Аммо $r_1 + r_2 = r$ ва гайра аз он $m_1 r_1 = m_2 r_2$, азбаски лапшии нисбати маркази вазнини мегузарад, молекула дар ҷояш меистад. Аз муодилаи (8.22.3) муодилаи ҳаракати остилографи (мавҷнавис) гармоникиро ҳосил мекунем:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{d^2(r-r_0)}{dt^2} = -k \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) (r - r_0), \quad (8.22.4)$$

Ба ҷои ҷамъи $(\ddot{r}_1 + \ddot{r}_2)$ бузургии ҷойивазкуни r нисбати дарози бандиши молекулаҳоро мегирем. Басомади лапшии ин мавҷнавис:

$$V = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Дар ин ҷо

$$m = \frac{1}{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad \text{массамолекулаи овардашуда.}$$

(8.22.5)

Ба макросистемаҳо назарияи классикӣ истифода мебаранд, мавҷнависи гармоникӣ метавонад энергияи пурраи дилхоҳро дошта бошад.

$$E = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}; \quad (8.22.6)$$

Қиммати имконпазирӣ энергияи пурраи мавҷнависи гармоникӣ маълум шуд, ки дар механикаи квантӣ, квантонида мебошанд:

$$E_v = \left(v + \frac{1}{2} \right) h\nu, \quad (8.22.7)$$

Дар ин ҷо $v = 0, 1, 2, \dots$ адади кванти лапшанда, ба савияи энергияи лапшандаи гуногун мувофиқ меояд. Фарқи энергияи ду савияи ҳамсоя ҳамавақт баробари $h\nu$ мебошад. Назария нишон медиҳад, ки афканишоти (ва фурубурд) рӯшноиро мавҷнависи гармоникӣ танҳо ҳангоми гузариши байни ду савияи ҳамсоя мегузарад адади кванти як фарқ мекунад. Пас дар тайфи мавҷнависи гармоникӣ бояд танҳо ба як хат бо басомади ν бошад. Басомади афканишоти мавҷнавис аз массаи овардашудаи m ва аз зарби чандири k вобаста аст, ки:

1) Чи қадаре, ки массаи овардашуда молекулаҳо кам бошад, ҳамон қадар басомад ν зиёд аст, массаи овардашуда барои чуфти атомҳои дилхоҳ бо осони ҳисоб карда мешавад. Агар $M_H = 1,65 \cdot 10^{-24}$ гр массаи атоми ҳидроген бошад, он гоҳ барои дигар атомҳо онро бояд ба вазни атоми зарб занем, яъне

$$m = \frac{m_1+m_2}{M_H} M_H;$$

Дар ин ҷо m_1 ва m_2 дар вазни атоми ифода ёфтааст;

2) Зариби чандири k чи қадар баланд бошад, ҳамонқадар ν калон аст, m тартиби бузургии ν – ро дорниста, ки k – ро баҳододан мумкин аст. Басомади лапшии дар соҳаи $(10^2 - 10^3)$ см⁻¹ меҳобад, ё аз адади мавҷӣ ба басомад [см⁻¹] гузошта, басомади тартиби $3 \cdot 10^{12} - 3 \cdot 10^{14}$ сон⁻¹ – ро ҳосил мекунем (адади мавҷӣ ба суръати рӯшноии зарб мешавад $3 \cdot 10^{10}$ см сон⁻¹).

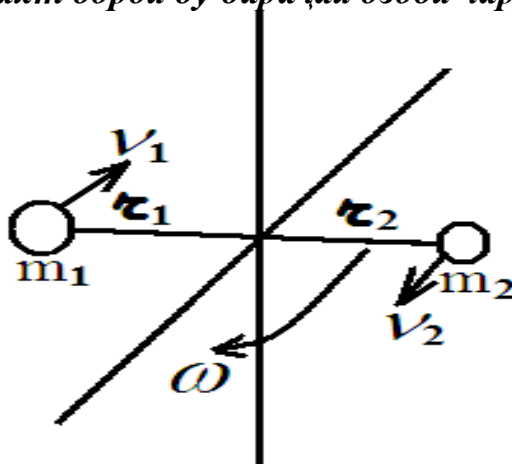
Аз ин ифода барои $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ ҳосил мекунем:

$$k = 4\pi^2 \nu^2 m \cong 10^5 \text{ дина} \cdot \text{см}^{-1}.$$

Ҳисоби k барои баъзе молекула нишон медиҳад, ки зариби қувваи чандири мустақамии алоқаи химиявиро метавсифонад.

8.23. ЧАРХЗАНИИ МОЛЕКУЛАИ ДУ АТОМА.

Фарз кунем, ки атомҳо дар молекулаи дуатома дар масофаи $r_0 - \text{const}$ ҷойгир аст (яъне лапшии нест). Ҳамин тавр молекулаи ду атома ба намуди системаи сахт, қобилияти дар гирди тири худ чархзаниро дорад, ки аз мобайни маркази ванини мегузарад. Чархзани дар гирди тир, аз маркази ҳаста мегузарад ягон тағйирёби энергияро ба вуҷуд намебиёрад, барои он ки дар ин маврид моменти инерсия баробари сифр аст, (расми 8.23.1) чархзани дар назди ду тири баробарқиммат, перпендикуляр ба тири молекулаҳо, ба тағйирёбии энергияи система меоварад, барои он ротатори [ротатор – системаи механики иборат аз нуқтаҳои материалии нисбат ба нуқтаи беҳаракати фазо (ё системаи нуқтаҳои беҳаракат – меҳвар) – маркази ротори чархзананда] сахт дорои ду дараҷаи озоди чархзананда мебошад.



Расми 8.23.1

Энергияи кинетики барои ду атоми сахт ба ҳам пайваст бо моменти m_1 ва m_2 :

$$E = E_k = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}, \quad (8.23.1)$$

Энергияи потенциали ротор баробари сифр аст. Дар ин ҷо v суръати хаттии ҳаракати атомҳо чунин ифода мешавад:

$v_1 = r_1 \omega$ ва $v_2 = r_2 \omega$ инҳоро ба E мегузорем:

$$E = \frac{\omega^2}{2} (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2) = \frac{J \omega^2}{2}; \quad \text{пас } E = \frac{J \omega^2}{2} \quad (8.23.2)$$

Аммо $m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 = J$ — моменти инерсияи молекулаи сахтпайваст нисбати тири чархзанӣ. Азбаски r_1 ва $r_2 = \text{const}$, он гоҳ:

$$m_1 r_1 = m_2 r_2; \quad \text{ва } r_1 + r_2 = r_0. \quad (8.23.3)$$

Бинобар он:

$$J = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} r_0^2 = m r_0^2, \quad J = m r_0^2; \quad (8.23.4)$$

Дар ин ҷо m — массаи молекулаи овардашуда. [Тартиби бузурги моменти инерсияи молекулаҳо: $J = m r_0^2 = 10^{-24} \cdot 10^{-16} = 10^{-40}$ гр. см²]. Дар асоси механикаи квантӣ молекулаи чархзананда метавонад, танҳо дар ҳолати энергиявӣ қатъи муайян ҷой гирад.

Ғайр аз ин:

$$\left. \begin{aligned} E_j &= \frac{h^2}{8\pi^2 J} \cdot j(j+1); \\ E_j &= E = \frac{J \omega^2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (8.23.5)$$

Дар ин ҷо $j = 0, 1, 2, \dots$ адади квантии чархзанӣ ба басомади ротор мувофиқ меояд, ин чунин квантонида аст:

$$\omega_j = \frac{h}{2\pi J} \sqrt{j(j+1)}; \quad (8.23.6)$$

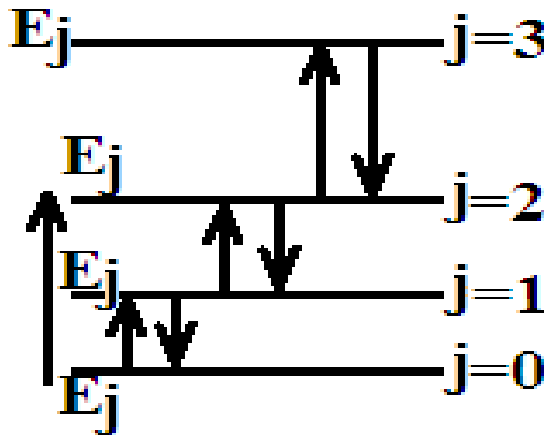
Аз ин ифода маълум аст, ки моменти миқдори ҳаракати ротор:

$$p = mvr = mvr^2 = J\omega; \quad p_j = J\omega = \frac{h}{2\pi} \sqrt{j(j+1)}, \quad (8.23.7)$$

Ҳаминтавр моменти миқдори ҳаракати электрон дар атом чунин аст:

$$p_l = \frac{h}{2\pi} \sqrt{l(l+1)}. \quad (8.23.8)$$

Аз ифода барои E_j мебарояд, ки савияи энергияи ротор дар масофаҳои якхела нисбати як дигар ҷойгир нестанд, аммо дар масофаҳои, ки бо зиёдашавии адади квантии чархзананда j ин масофа зиёдашаванда аст. (ба расм нигаред). Савияи энергиявӣ ротор ва гузариши иҷозатишудаи байни онҳо ба намуди реча (расми 8.23.2) нишон дода шуда аст. Ҳангоми гузариши фотон энергияи басомади афканда (фурубурда) ба басомади хусуси ротор мувофиқ намеояд ва баробари:



Расми 8.23.3

$$\nu = \frac{E'_j - E''_j}{h} = \frac{h}{8\pi^2 I} \{j'(j' + 1) - j''(j'' + 1)\}; \quad (8.23.8)$$

Тайфи лапиш - чархзанӣ дар соҳаи афканишоти инфросурх (фурӯбарӣ) мушоҳида мешавад. Мавҷи инфрасурхи фурӯбурд ва хориҷқуни дар молекулаҳо чи тавр мегузарад? ($\lambda \sim 2,5 \div 100 \mu$); [$1 \mu = 10^{-6} \text{ м} = 10^{-4} \text{ см}$]; басомади мавҷ

$$\nu \sim 10^{-4} \div 10^{-2} \text{ см}^{-1}; \quad \nu = c\nu_{\text{бас}} = 3 \cdot 10^{10} (10^{-4} \div 10^{-2}) = 3 \cdot (10^6 \div 10^8) \text{ см}^{-1}.$$

Яъне кадом гузаришҳо байни савияи энергиявӣ лапишу чархзанӣ молекулаҳои дуатома мумкин аст.

Дар мавриди остилатори гармоникӣ (остилаторе, ки энергияи потенциалиаш ба квадрати майли он аз мавқеъи мувозинат муносиб аст) пешна нишон дода гузаштем, ки афканишот (фурӯбурд) мумкин аст, танҳо ҳангоми гузариш байни савияҳои энергиявӣ ҳамсоя, пас адади кванти лапиш метавонад, танҳо ба як адад тағйир ёбад: $\nu \rightarrow \nu \pm 1$; j (+ҳангоми фурӯбурд; - ҳангоми афканишот) расми 8.23.4.

Басомади афканишот (фурӯбурд) дар ҳолатҳои гузариши имконпазир ҳамавақт ба басомади хусуси остилографи гармоникӣ $\nu_{\text{лап}}$ баробар аст:

$$\nu = \frac{E_{\nu+1} - E_{\nu}}{h} = \frac{E_{\nu} - E_{\nu-1}}{h} = \frac{1}{h} \left\{ \left(\nu + \frac{3}{2} \right) - \left(\nu + \frac{1}{2} \right) \right\} h \nu_{\text{лап}} = \nu_{\text{лап}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad (8.23.9)$$



Расми 8.23.4

Ин гунна басомадро танҳо молекулае, қобилияти хориҷ қарданро дорад – осилатори гармоникӣ, ки дорои зарраи заряднок буда мелаппад.

Чи қадаре, ки амплитудайи лаппиши ин зарра калон бошад, ҳамон қадар тағирёбии моменти диполи осилатор ҳагоми лаппидан калон аст яъне, амплитудайи афканиши мавҷи электромагнити ҳамон қадар калон мешавад. Мисоли ингуна молекулаҳо: H_2, O_2, N_2 ва ғайра, симетрикӣ аз моменти диполи маҳрум мешавад. Бинобар ин онҳо тайфи лаппиши афканишот (фурӯбурд) – ро надоранд.

Дар ҳақиқат молекула бо худ осилатори ғайри гармоникиро дорад, барои онки амплитудайи лаппиши он калон нисбати он амплитудае, ки мо дида баромадем. Чи қадаре, ки ин амплитуда калон бошад, ҳамон қадар он осилатори ғайригармоникӣ мешавад. Барои ингуна осилатор қоидаи интихоби қатъи нест. Ва афканиши (фурӯбурд) –и рӯшноӣ мумкин аст ҳангоми ҳар як гузоришҳо бо тағирёбии адади кванти лаппиши 1,2,3 ва ғайра, гузарад. Бо маврид аст, ки дар қатори басомади асосӣ молекула басомадҳои $2\nu, 3\nu, \dots$, –ро меафканад фурӯ мебарад, яъне тайфи реалии молекулаҳо аз маҷмӯъи бутуни басомадҳо иборат мебошад.

Афканиши ва фурӯбурди рӯшноӣ ҳангоми ҷарҳзани молекула назарияи кванти механикӣ ҳамчун натиҷаи гузариши байни савияҳои энергиявӣ ҷарҳзани гуногун дида мебарояд. Дар ин ҳолат гузариши оптикӣ имконпазир аст, танҳо ҳангоми тағирёбии адади кванти ҷарҳзани j ба ± 1 . Басомадҳо, нисбати осилатори гармоникӣ бо он фарқ дорад, ки гузаришҳои ба савияҳо мувофиқ буда ба қимати гуногуни j ҷавоб медиҳад, ва якхела нестанд, мисол:

$$\begin{aligned} \nu_{j,j+1} &= \frac{1}{h}(E_{j+1} - E_j) = \frac{1}{h} \left\{ \frac{h^2}{8\pi^2 J} (j+1)(j+2) - \frac{h^2}{8\pi^2 J} j(j+1) \right\} = \\ &= \frac{h}{8\pi^2 J} (2j+2) \end{aligned} \quad (8.23.10)$$

$$\nu_{j+1,j+2} = \frac{1}{h}(E_{j+2} - E_{j+1}) = \frac{h}{8\pi^2 J} (2j+4) \quad \text{ва ғайра (8.23.11.)}$$

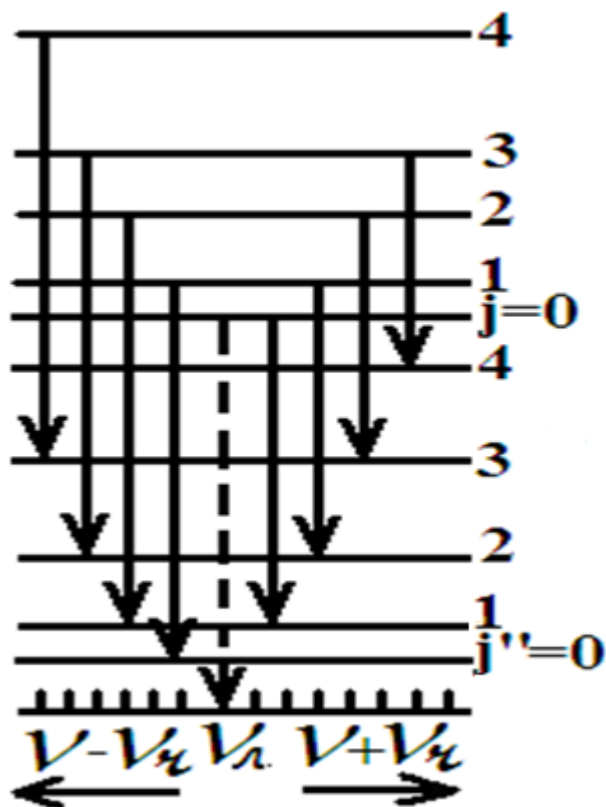
Ҳамчунин ба ин монанд ҳолати афканиши лаппиши молекулаҳо ки моменти диполи надорад, яъне молекулаҳои симетрикӣ ҳангоми ҷарҳзани нур фурӯ ва хориҷ намекунанд.

Азбаски молекула якбора ҳаракати ҷарҳзани ва лаппиширо иҷро мекунад, онгоҳ дар қатори тайфи ҷарҳзани, ки бо басомади $\nu_{\text{ҷарҳ}}$ тавсифонида мешавад, ротатори лаппанда (ё осилатори ҷарҳзананда) ба чунин басомади лаппанда соҳиб мешавад, $\nu + \nu_{\text{ҷарҳ}}$ ва $\nu - \nu_{\text{ҷарҳ}}$, пас тайфи лаппиши – ҷарҳзани аз ду ғиреҳ иборат буда, дар ҳарду тараф басомади ҳаракати лаппанда давом мекунад. Ғайр аз ин савияи энергиявӣ молекулаҳо, ки як бора лаппишу ҷарҳзаниро иҷро мекунанд, аз қимати энергия муайян мекунанд:

$$E_{\nu,j} = \left(\nu + \frac{1}{2} \right) h\nu + \frac{h^2}{8\pi^2 J} j(j+1) \quad (8.23.12)$$

Ба ҳар як савияи лаппиши адади бо кванти лаппиши ν як қатори адади бутуни савияи ҷарҳзани бо қимматҳои гуногуни j мувофиқ меояд. Ҳангоми гузариши аз маҷмӯъи зери савияи j'' ҷарҳзани як савияи ν'' лаппиши дар вақти ҷарҳзани зери савияи j' савияи ν' лаппиши дигар (ҳамсоя) дар ҳар ду ғиреҳ пайдо мешаванд: $\nu + \nu_{\text{ҷ}}$; $\nu - \nu_{\text{ҷ}}$.

Дар расми 8.23.5 речаи пайдоиши ин ду ғиреҳ оварда шудааст.



Расми 8.23.5

8.24. ҚИШРИ ЭЛЕКТРОНҲО ВА ГУЗАРИШ ДАР МОЛЕКУЛАҲО

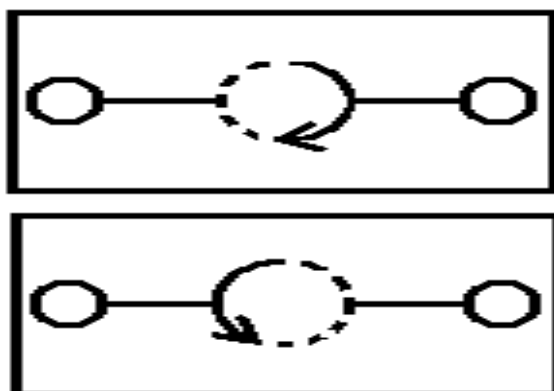
Табиати ҳолати электронҳо дар молекула чи гуна аст? Дар атом мо доштем: 1) электронҳои алоҳида, ки дорои ададҳои кванти асосӣ, мадорӣ, магнитӣ ва спин, 2) умуман ҳолати қишри электронро дар атом – бо ҳамми ададҳои кванти мадори ва спин муайян мекунанд. Фарқи қишри электрони атоми алоҳида, қишри электрони молекулаи ду атома курашакл набуда, аммо дорои тирӣ симетрикӣ мебошад, яъне симетрики нисбати тире, ки аз дохили ҳар ду ҳаста мегузарад. Бинобар ин барои молекула дида мебароем. Проексияи моменти мадорӣ ба тирӣ молекула Λ – ро адади кванти меноманд, аз r_{\perp} ин молекулаҳоро ба синфҳо тақсим мекунанд. Монанди он, ки чи гуна дар атом ҳолатҳо бо адади квантии

$$l = 0, 1, 2, \dots \quad s = P, D, F, \dots$$

ба ҳарфи латини ишора мекунанд, ҳолати молекула бо адади кванти $\Lambda = 0, 1, 2, \dots$ бо ҳарфи греки ишора мекунанд. $\Sigma, \Pi, \Delta, \Phi, \dots$ моменти мадори молекула, ки ба дарози хатти алоқа баробари сифр (яъне проексияи фосила ба тир $\Lambda = 0$), дар Σ – ҳолат мебошад.

Ғайр аз мадор, ҳар як ҳолати электрони молекулаҳо бо ҳамми спини ҳамаи электронҳо дар атом (монанди атом) тавсифонида мешавад. Монанди он, ки атом дорои мултипол аст – ададе, ки ба ҷудошави савия дар майдони беруна мувофиқ аст баробари $2s + 1$. Молекулаи ҳидроген дорои ҳолати асосии $^1\Sigma$ (нишона аз тарафи чап боло маънои мултиполиро

дорад), яъне спини ду электронҳо дар молекулаи H_2 алоқа пайдо мекунад, гайри паралел мебошад, ва бинобар ин $s = 0, 2s + 1 = 1$, ва адади Λ низ баробари сифр мебошад. Ҳар як ҳамвори дилхоҳ, ки аз қадди тири молекула мегузарад, ҳамвориш симетрикӣ он ба ҳисоб меравад. Ҳангоми аз ин ҳамворӣ иникос шудан, энергияи молекула тағъир намеёбад; аммо ҳангоми иникос аз ҳамворӣ, ки аз байни тири симметрия мегузарад, ҳолати электронҳо тағъир медиҳад, яъне аломати моменти миқдори ҳаракат нисбати ин тир мавҷуд аст, пас равиши чархзани электрон дар мадор тағъир меёбад, яъне ду ҳолат бо аломати гуногуни проексияи моменти мадорӣ ба тири молекулаҳо мавҷуд ҳаст, ба қиммати як хелаи энергия мувофиқ меояд расми 8.24.1.

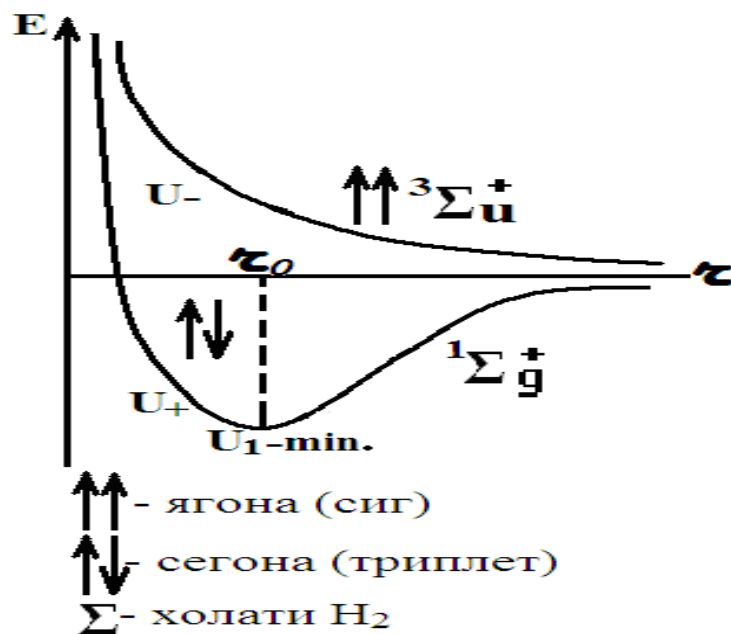


Расми 8.24.1

Барои савияи электронҳо ки қиммати Λ аз сифр фарқ мекунад ду маротиба ошуб шуда мебошанд. Агар қири электрони молекулаҳо дар ҳолати Σ бошанд, (яъне $\Lambda = 0$) ошуб гирифта мешавад. Аммо, Σ^- ҳолатро фарқ кардан мумкин, функцияи мавҷи ҳангоми аз ҳамвори иникос шудан, аломатро нигоҳ медорад, аз байни тири молекула

мегузарад, ва Σ^- ҳолати функцияи ки дар вақти иникос аломатро иваз мекунад, ба Σ^+ ва Σ^- мувофиқ меояд. Ҳолати молекулаи H_2 $1\Sigma^+$ мебошад. Ченкуни аломати координатаи ҳамаи электронҳоро гузаронидан мумкин аст, бинобарон мо иникосро дар маркази симетри молекулаҳо дорем. Дар ин маврид функцияи мавҷӣ, ҳолати қири электронҳоро метавсифонад, аломатро иваз ё нигоҳ доштан мумкин аст. Ба ин мувофиқ функцияи мавҷи савияи энергияро чуфт ё тоқ меноманд, бо q ва u ишора мекунад. Молекулаи H_2 дар ҳолати асосӣ $\Lambda = 0$; $s = 0$ дорад ва функцияи мавҷи дар ҳамаи амалиётҳо симетри буда аломати худро нигоҳ медоранд, яъне $1\Sigma^+$.

Энергияи қири электрони молекулаҳо аз қиммати адади квантии мадорӣ Λ муайян мекунад, ва аз масофаи байни ҳастаҳо вобаста аст. Вобаста аз он ки функцияи мавҷи симетри ё гайри симетри, ки ҳолати системаро менависад, вай мумкин дар ҳолати устуворӣ ё гайриустувори бошад.



Расми 8.24.7

Дар ҳолати якӯм мувозинати масофаи байни ҳастаҳо l_0 бо энергияи минимали u_{+min} мувофиқ меояд, ва ин ҳолат навишта мешавад $1\Sigma_g$. Дуюм ҳолати хатти қачи вобастагӣ энергия аз масофаи байни атомҳо минимум надорад – ин ҳолат бо паралел будани спини электронҳо $3\Sigma_g$ мувофиқ аст расми 8.24.7. Афканиш ва нур фурубари дар молекулаҳо ҳангоми гузариши онҳо аз як ҳолат ба ҳолати дигар мегузарад. Азбаски энергияи ҳолатҳои гуногуни электронҳо бо бузургии калон фарқ мекунад ($\sim n \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$), он гоҳ тасмаи электронҳо дар соҳаи дидашаванда ва ултрабунафш меафтад. Дар асоси назарияи механикаи кванти, қоидаи умуми, ки имконпазири гузариши оптикиро муайян мекунад: 1) адади кванти Λ танҳо ба ± 1 тағйир меёбад, ё тағир намеёбад, барои он ки $\Delta\Lambda = 0, \pm 1$. 2) Гузариш танҳо дар байни ҳолатҳои симетри ва ғайри симетри мумкин аст, яъне $\Sigma^+ \leftrightarrow \Sigma^+$; $\Sigma^- \leftrightarrow \Sigma^-$ ва номумкин $\Sigma^+ \leftrightarrow \Sigma^-$. 3) агар ҳастаҳои якхеларо дошта бошем, он гоҳ гузариши имконпазир байни савияҳои ҷуфт ва тақ иҷро мешавад, гузариш мумкин нест $g \leftrightarrow g$; $u \leftrightarrow u$. Ҳамаи ин қоидаи интихоб ҳақиқӣ ҳисобида мешавад, дар молекуларо бо квант энергия ангезонем, басомади он дар соҳаи дидашаванда ё ултрабунафш мехобад. Дар мавриди зиёдтар таъсирнок ангезонидани (тахлияи электронҳо, бархури бо электронҳо ва молекулаҳо) ин қоида вайрон мешавад.

Агар мо гузариши молекуларо дар савияи электрони энергияи хело баланд дошта бошем, он гоҳ дар ин маврид тағирёби намуди хатти қачи потенциали $U(r)$ пайдо мешавад. Пас метавонад чунин ҳолат ҷой дошта бошад: 1) зиёдшави (камшави) энергияи таҷзия D (ба намуди кор пайдо мешавад, ки барои алоқаи молекулаҳоро қандан сарф мешавад). 2) Ҳолати ангезиши мумкин ноустувор бошад, 3) кам шави (зиёдшавӣ) дар масофаи мунтазами r_0 мегузарад. Азбаски ҳар як ҳолати электрон ба хатти қачи $U(r)$ потенциали худ ҷавоб медиҳад, савияи электрони худ, ба маҷмуаи лапшиш (бо доими чандири k алоқаманд) ва савияи чархзанӣ (бо r_0 ва моменти инерсияи J алоқаманд) ҷавобгар аст, он гоҳ энергияи пурраи молекулаҳо дар ҳолати додашуда аз ҷамъи энергияи электрон, лапшиш ва чархзанӣ иборат аст:

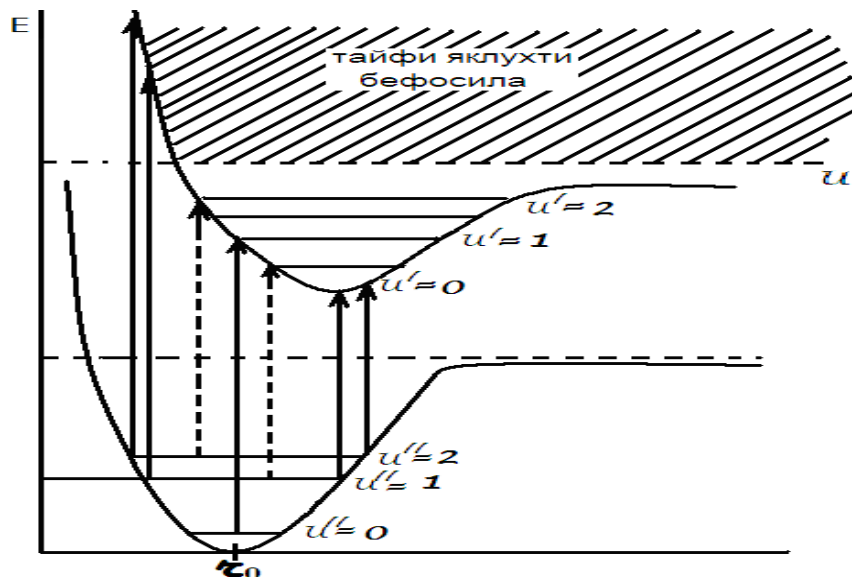
$$E = E_{эл} + E_{лап} + E_{чарх} \quad (8.24.1)$$

Ин чунин ба басомади афканишот фурубурд мувофиқ аст, аз се чамъшаванда иборат буданаширо дидан мумкин аст:

$$\mathcal{V} = \mathcal{V}_{эл} + \mathcal{V}_{лап} + \mathcal{V}_{чарх} \quad (8.24.2)$$

Барои дида баромадани тайфи электронӣ молекулаҳо бояд ба чунин савол ҷавоб диҳем? Фарз кунем, ки молекула дар ҳолати асоси электрони U мавҷуд аст? баъзе ҳолати лапшии ν'' , квант энергияи $h\nu$ қабул мекунад. Пурсида мешавад, молекула ба кадом ҳолат мегузарад, ҳангоми фурубурдани квант энергияи $h\nu$, дар ин маврид аз ҷои худ дурр ё таҷзия мешавад.

Ё, ки ба таври дигар гӯем, аз кадом нуқтаи хатти қачи потенциалӣ ҳолати ангезонида молекула мегузарад, дар асоси хатти қачи муайяни потенциали ҳолат асосӣ ва савияи лапшии ν'' ? Франк ва Кандан принципҳои зеринро ба шакли муайян дароварда асоснок карданд: гузариши электронҳо, тағйирёби ҳолатҳои қишири электронҳо, ниҳоят тез мегузарад нисбати лапшии ҳаста, ки гузариши электрон на суръати ҳаракати ҳаста, на ҳолати онро тағйир дода наметавонад. Ба ин принцип асоснок карда ба саволи дар боло додашуда ҷавоб гардонидан мумкин аст (ба расми 8.24.8 нигаред). Фарз кунем, ки молекула дар ҳолати асосӣ электрони гайриангезиши дар савияи лапшии $\nu'' = 1$ ҷой дорад, яъне молекула бо басомади $\nu''_{лап}$ мелапад, ба энергияи лапшии $\frac{3}{2}h\nu''_{лап}$ соҳиб мебошад, азбаски $(\nu + \frac{1}{2})h\nu_{лап}$.



Расми 8.24.8. Гузариши электрони – лапшии дар асоси принципи Франк – кондона.

Ҳангоми молекула дар вақти зиёд лапшидан ба майлқуни калонтар мебиёяд – дар нуқтаи буриши хатти қачи потенциалӣ бо савияи

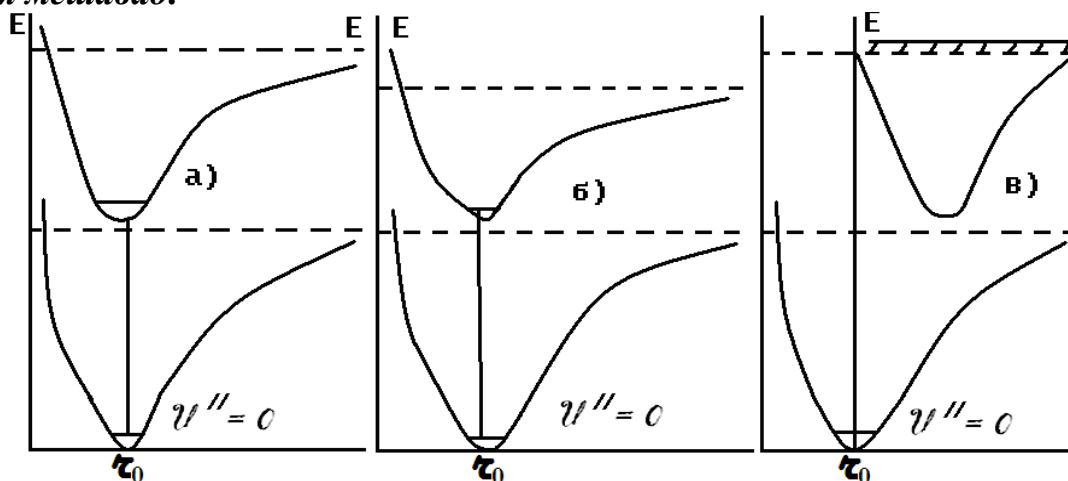
$$E''_{лап.1} = \frac{3}{2}h\nu''_{лап} \text{ соҳиб мешавад,}$$

барои он ки дар ин нуқтаҳо суръати ҳаракат хурдтарин (дар онҳо ҳаракати лапшинок равиши худро баракс тағйир медиҳад). Бинобар ин, эҳтимолияти ёфтани ҳамаи молекулаҳо дар ин нуқтаҳо мусбат аст. Ҳангоми ангезидани қишири электронҳо бо кванти $h\nu$ молекула дар ҳолати

электронӣ мегузарад, бо хатти қачи дар боло буда тавсонида мешавад (расми 8.24.8). Барои он кич и гуна ҳаракати лапшии молекула дар ҳолати болои (расми 8.24.8) муайян кунем, бояд дар асоси принципи Франк – Кондон тахмин кунем, ки суръат ва ҳолати ҳаста тағир намеёбад, яъне гузаронидан аз нуқтаи эҳтимолияти калонтари ҳолати молекулаҳо ба хатти қачи поени амудӣ (шокулӣ) рост то нуқтаи буриш бо хатти қачи боло мувофиқаст. Он ҳолати ҳаста, ки ба нуқта буриш мувофиқ аст, ва дар боло иҷро шавӣ ҳолати ангезиш бо эҳтимолияти калонтарин иҷро мешавад. Гузаришҳои мувофиқ буда дар тайф тасмаи интензивноки калонтаринро тасвир мекунад. Эҳтимолияти хурдтарин ё умуман иҷронашаванда гузариш аз нуқтаҳои, ки молекулаҳо вақти камро мегузаронанд (дар расм намуди рах – рах нишон дода шуда аст).

Бинобар ин принципи Франк ва Кондонро ба назар гирифта дар асоси омӯхтани таркиби тайфи лапши намуд ва ҳамаи бузургҳои хатти қачи потенциали молекулаҳоро дар ҳолати муқимӣ ва ангезиш муайян мекунад.

Ҳолатеро дида мебароем, ки гузариши поёнтарини ҳолати молекула $\psi'' = 0$ бошад. Азбаски дар ин маврид молекула вақти зиёдро дар нуқтаи $r = r_0$ мегузаронад, ба минимуми хатти қачи потенциали мувофиқат мекунад (вақто, ки энергияи лапши хурдтарин, яъне $\psi'' = 0$), он гоҳ хатти амудӣ бояд аз нуқтае гузаронем, ки ба $r = r_0$ мувофиқ бошад. Фарз кунем, ки се ҳолати махсустарини нисбати хатти қачи потенциали ҳолати болои ва поёниро дорем (расми 8.24.9). а) Нуқтаҳои минимум паси ҳамҷой гиранд – ин ҳодисаҳо хеле кам вомехӯранд. б) минимуми хатти қачи боло ба тарафи калон аз масофаи байни атомҳо бо муқоиса бо минимуми поени лагжонида мебошад; дар ин ҳолати ангезиш алоқаи қишири электронҳо ковок (наرم) мешавад, ҳодиса бо саръаттар мегузарад; в) минимуми хатти қачи боло бисёртар зӯр ба тарафи рост ҷойгир аст. Гузариш аз савияи $\psi'' = 0$ дар ҳолати боло ба энергияи мусбати потенциалӣ меоварад, ва молекулаҳо таҷзия мешавад.



Расми 8.24.9

Таҷзия дар ин ҳодиса ба мавҷудияти тайфи бефосила ҷавобгӯ аст, наздик шудан ба номуттасияи ва алоқаманди бо гайри квантонидани ҳаракати атомҳои озод (ё ионҳо), ки молекула канда шуда аст меоварад.

Дар тайф ҷои якҷояшави тасмаро дар тайфи бефосила доништа энергияи таҷзияи молекуларо муайян кардан мумкин аст. Ҳамин тавр тайфи бефосила бо сабаби таҷзияи молекула пайдо мешавад. Маълум шуд, ки

таҷзияи молекулаҳо бо гуселонидани тайфи бефосилаи он дар ҳодисаи гузариши молекулаҳо дар хатти қачи теладихӣ ҷой дорад, ва минимум надорад. Чунин аст, мисол, тайфи бефосилаи ҳидроген дар соҳаи ултрабунафш (ҷароғи ҳидрогенӣ мисол шуда метавонад). Ин ҳодиса чунин фаҳмонида мешавад расми 8.24.10:

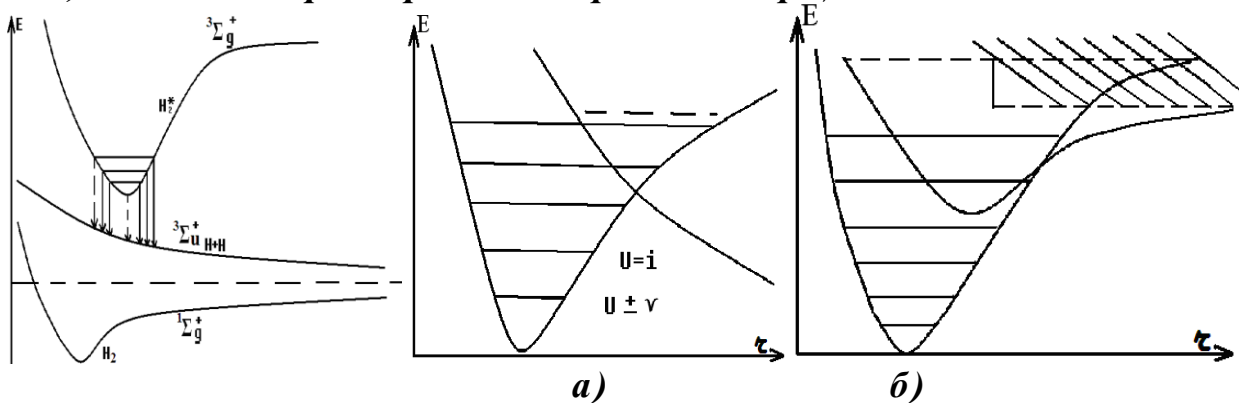


Расми 8.24.10

Дар расми 8.24.10 хатти қачи асосии потенциали ($H^2 - 3\Sigma_q^+$) ва ду ҳолати ангезиши электронҳо ($H^*_2 - 3\Sigma_q^+$ ва $3\Sigma_u^+$ яъне ҳолати ҷуфт ва тоқ) оварда шуда аст. Яъне мисол, бархури бо электронҳо (заряди электрикӣ) H_2 аз ҳолати асоси $1\Sigma_q^+$ ба ҳолати устувори сегона $3\Sigma_q^+$ мегузаронад, ки молекула метавонад ба ҳолати теладихӣ гузарад $3\Sigma_u^+$ бо афканиши тайфи бефосила. $1\Sigma_q^+$ бо $\uparrow\downarrow$ сегона ҳолати ангезиши H^2 , $3\Sigma_q^+$ - ба $\uparrow\uparrow$ сегонаи ҳолати ангезиши гузаронад.

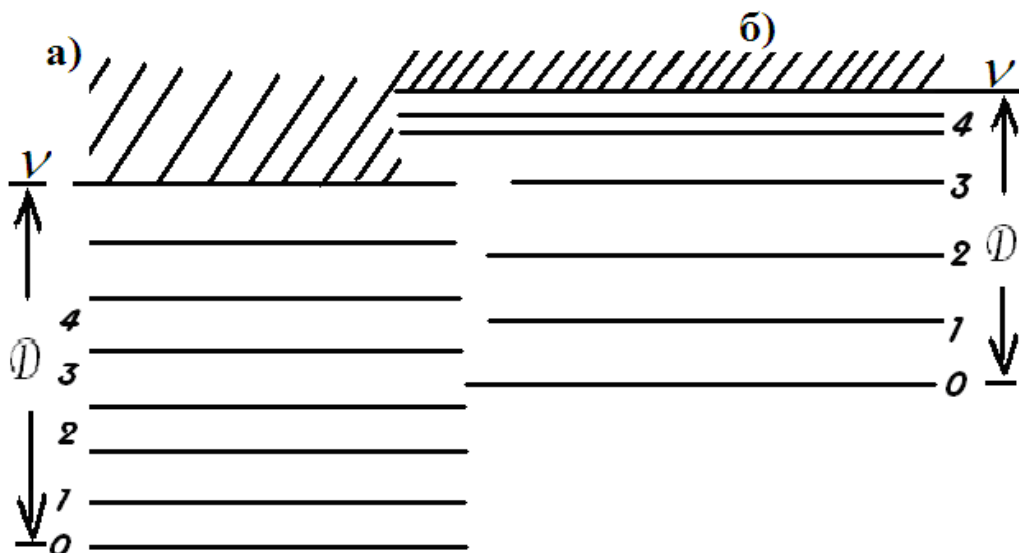
Пеш аз таҷзия- фарз кунем, ки дар молекулаҳои якхела ҳолатҳои гуногуни атомҳо буридани хати қачи потенциалиро ҷавоб медиҳад РАСМИ 8.4.11 а,б:

а) яке аз хати қач, хати қачи теладихӣ, б) яке бо энергияи хурди таҷзия, нисбати дигараш ин ҳодисаро пеш аз таҷзия меноманд. Речай савия дар ин ҳодиса чуни наст: яке аз ҳолатҳои дискрети ба чунин қимати энергия соҳиб аст, монанди тайфи бе фосилаи энергияви дигар ҳолат мебошад.



Расми 8.24.11 а,б

Гузариши имконпазир аз як ҳолат ба ҳолати дигар ва, инчунин таҷзия –гузариши аз савияи дискрети як ҳолат ба муҳити (дар тайфи бефосилаи энергия) бефосилаи дигар. Чи қадар таъсири мутақобили ду ҳолат калон бошад, ҳамон қадар эҳтимолияти ингуна гузариш калон аст.



Расми 8.24.12

Дар расми 8.24.12 савияҳои энергияви нишон дода шудааст. Балансии T таҷзияро нишон медиҳад. Соҳаи ҳамчаҳо ба соҳаи тайфи бефосила дахл дорад. Гузариши дар савияҳо ба фурубурд ва афканиши энергия вобаста аст.

Ҳамин тавр дар натиҷаи пештаҷзия (мавҷудияти ин гуна гузариши) вақти мавҷудияти молекулаҳо дар ҳолати устувори дода шуда кам мешавад. Дар асоси нисбати номуаяниҳо ($\Delta x \cdot \Delta p = h$ – барои координата ва импульс; ё ҳамчун ҳосилаи $\Delta v \cdot \Delta t = 1$ навиштан мумкин, қимати $v = \frac{c}{\lambda}$ – ро гузошта меёбем: $\Delta E \cdot \Delta T = h$) Ҳангоми камшави вақти зисти Δt молекулаҳо фосилаи импактазири қимати энергияи микросистемаҳо ΔE зиёд мешавад, бинобар ин дар ҳодисаи пештаҷзия савияи энергӣ навозеҳ шуд ба навозеҳи тасмаи тайф табдил меёбанд, воқеаи пештаҷзия дар ҳодисаи молекулаҳои мураккаб мушоҳида мешавад.

8.25. Принципи комбинатсияи (Дигаргунсозии) пароканиши нур

Ҳодисаи комбинатсияи пароканиши нур соли 1928 аз тарафи Ландсберг ва Мандельштам ҳангоми омӯзиши тайфи нур дар булури кварс пароканиши шуда муайян шуд. Яқбора новобаста аз инҳо физики Ҳиндустон Раман, тайфи пароканиширо дар бензоли моеъ омӯхта ин ҳодисаҳоро муайян намуд.

Дар булур мумкин ду намуди лапшии пайдо шавад: акустикӣ ва оптикӣ ки ба даври тағирёби масофаи байни атомҳо мебиёрад. Лапшии акустикӣ дорои басомади $\nu \sim 10^3 \div 10^4 \text{сон}^{-1}$ басомади лапшии оптикӣ хеле калон аз акустикӣ ва $\sim 10^{13} \div 10^{14} \text{сон}^{-1}$ – ро ташиқил мекунад. Дар вақти аз булур нур пароканиши шудан охиринаш бояд модулатсия кунад афканиши пароканиширо натавонанд лапшии акустики балки яке аз лапшии оптикӣ ба пайдошави тайфи хати нури пароканиши меоварад, ки басомади он аз басомади нури афтанда ниҳояд фарқ мекунад.

Фарз кунем, ки молекула иду атома дода шуда аст. Қобилияти заряди электрики молекулаҳо дар зери таъсири майдони беруна ҷойивазкардан бо бузургии a – поляризатори шави онҳо тавсифонида мешавад, новобаста ба ченаки абри электрони молекулаҳо алоқаманд аст. $[a] = [\text{см}^3]$, яъне ҳаҷм.

Поляризация цойивазкардани абри электрони молекулахоро дар зери таъсири майдони электрикӣ муайян мекунад.

Ҳангоми лапшиши атомҳо дар молекула дар назди ҳолати баробарвазнии қишири электронҳои молекула поляризацияи онро тағир медиҳад, аз баски $a = a(r)$, яъне аз масофаи байни атомҳо вобаста аст, $a(r)$ –ро дар назди масофаи муқараршудаи мувозинати $r = r_0$ ба қатор паҳн мекунем:

$$a(r) = a(r_0) + \left(\frac{da}{dr}\right)_{r=r_0} (r - r_0) + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2a}{dr^2}\right)_{r=r_0} (r - r_0)^2 + \dots + \frac{1}{3} \left(\frac{d^3a}{dr^3}\right)_{r=r_0} (r - r_0)^3 + \dots \quad (8.25.1)$$

Фарз кунем, молекула лапшиши гармоникиро бо басомади $V_{\text{лап}}$ иҷро мекунад, он гоҳ $r = r_0 + x_0 \cos 2\pi V_{\text{лап}} t$, дар инҷо x_0 -амплитудаи лапшии, он гоҳ $a(r)$ баробар мешавад ба $a(r) = a(r_0)$

$$\begin{aligned} a(r) &= a(r_0) + \left(\frac{da}{dr}\right)_{r=r_0} x_0 \cos^2 \pi v_{\text{лап}} t + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2a}{dr^2}\right)_{r=r_0} x_0^2 \cos^2 2\pi v_{\text{лап}} \cdot t + \dots = \\ &= \left| \text{азбаски } \cos^2 2\alpha vt = \frac{1}{2} (1 + \cos 2\alpha vt) \right| = a(r_0) + \frac{1}{4} \left(\frac{d^2a}{dr^2}\right)_{r=r_0} x_0^2 + \\ &+ \left(\frac{da}{dr}\right)_{r=r_0} x_0 \cos 2\alpha v_{\text{лап}} \cdot t + \frac{1}{4} \left(\frac{d^2a}{dr^2}\right)_{r=r_0} x_0^2 \cos 4\pi v_{\text{лап}} \cdot t + \dots \quad (8.25.2) \end{aligned}$$

Азбаски $\cos^2 \alpha = \frac{1}{2} (1 + \cos 2\alpha)$ [аъзои 2 –юм ва 4 ўм аз паҳншави аъзо сеюм баробар мешавад:

$$\frac{1}{4} \left(\frac{d^2a}{dr^2}\right)_{r=r_0} x_0^2 (1 + \cos 4\pi vt) = \frac{1}{2} \left(\frac{d^2a}{dr^2}\right)_{r=r_0} x_0^2 \cos^2 2\pi vt; \quad (8.25.3)$$

азбаски $(1 + \cos \alpha) = 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}$] бо молекула мавҷи рӯшноӣ меафтад: $E = E_0 \cos 2\pi vt$. Он дар молекула индуксия шуда моменти диполӣ пайдо мекунад.

$$p = aE = aE_0 \cos 2\pi vt, \quad (8.25.4)$$

дар ин ҷо a –поляризацияи молекула мебошад.

Дар натиҷаи индуксиякунонии моменти диполи ва пароканиши рӯшноӣ пайдо мешавад. Ба ифодаи $a(r)$ истифода бурда, моменти диполи p ва шиддатноки майдони электрикӣро ба назар гирифта a –ро муайян мекунем:

$$a = \frac{p}{E_0 \cos 2\pi vt} \quad (8.25.5)$$

Дар асоси ин ифода ҳосил мекунем:

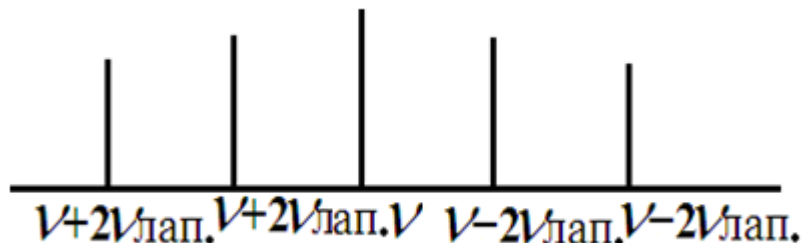
$$\begin{aligned} p &= \left\{ a(r_0) + \frac{1}{4} \left(\frac{d^2a}{dr^2}\right)_{r=r_0} x_0^2 \right\} E_0 \cos 2\pi vt + \left(\frac{da}{dr}\right)_{r=r_0} x_0 E_0 \cos 2\pi v_{\text{лап}} t \cdot \\ &\cdot \cos 2\pi vt + \dots = \left\{ a(r_0) + \frac{1}{4} \left(\frac{d^2a}{dr^2}\right)_{r=r_0} x_0^2 \right\} E_0 \cos 2\pi vt + \frac{1}{2} \left(\frac{da}{dr}\right)_{r=r_0} x_0 E_0 \cos 2\pi (v + \\ &+ v_{\text{лап}}) t + \frac{1}{2} \left(\frac{da}{dr}\right)_{r=r_0} x_0 E_0 \cos 2\pi (v - v_{\text{лап}}) t + \dots \end{aligned}$$

$$[\text{азбаски } \cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)].$$

Яъне дар баробари ин басомади лапшии v хатти гайри лагчиш (пароканиши классики Релевӣ), дар тайфи пароканиши рӯшноӣ бояд чунин басомадҳо мушоҳида шавад расми 8.25.1:

$$v + v_{\text{лап}}, \quad v - v_{\text{лап}}, \quad v + 2v_{\text{лап}}, \quad v - 2v_{\text{лап}} \quad \text{ва гайра.}$$

Ин хатти комбинатсионӣ, барои он ки дар он комбинатсияи лапшии мавҷи рӯшноӣ бо комбинатсияи дохили молекула ифода мешавад.



Расми 8.25.1

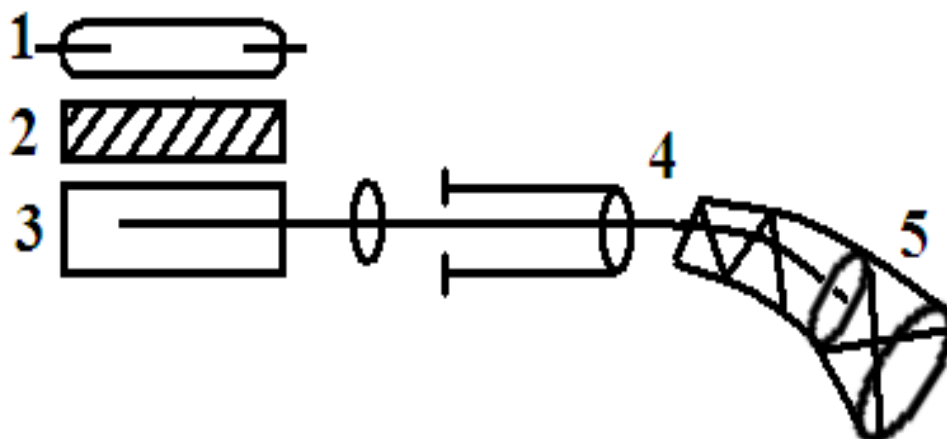
Речаи тайфи комбинатсияи пароканиши мода, аз ду атоми молекула иборат аст, дар расм нишон дода шудааст.

Гайр аз ин монанди пароканиши классикӣ Релеви когерентӣ аст, яъне қонуниятҳои ифода кардани фазои афтанда ва мавҷи пароканиши рӯшноӣ ва қитъаҳои алоҳидаи ҳаҷми пароканишкунанда мавҷуд аст, пароканиши комбинатсионӣ гайри погерентӣ мебошад. Ин ба он алоқаманд аст, ки дар ҳодисаи пароканиши комбинатсионӣ тақсимишавӣ фаза тамоман тасодуфӣ мебошад, барои он ки ҳар як молекула новобаста аз якдигар мелаппад.

Речаи дастгоҳ барои ҳосил кардани тайфи пароканиши комбинатсионӣ дар расми 8.25.2 оварда шудааст.

Чароги симоби; 2) полоиши рӯшноӣ; 3) зарф барои тадқиқоти мода; 4) асбоби тайфнигар; 5) расмлабҳа.

Камонаки симоб дар чароғ дар соҳаи дидашавандаи тайф якчанд хатҳои интенсифноки пуркуватро меафканад, пароканиши онҳоро ба воситаи тайфнигар тадқиқот мегузаронанд. Дар расми 8.25.4 аз ҳарду тараф



Расми 8.23.3

хатҳои ангезиш - басомади пароканиши релевӣ ва инчунин тайфи пароканиши комбинатсионӣ ҷой дорад.

Гайр аз лапшии ифодаи худро ҳангоми чархзанӣ молекула, дар қатори басомади v хатти гайри лагчиш дар тайф хатҳои мушоҳида мешавад, дорои басомади $v + 2v_{\text{чарх}}$ ва $v - 2v_{\text{чарх}}$ мебошанд. Ин басомадҳо аз басомади

афтанда ба думаротиба (ду баробари басомади чархзананда) фарқ мекунад.

Бинобар ин пароканиши комбинатсионӣ имконият медиҳад, дар соҳаи тайфи дидашаванда кор карда, лапшии дохили молекулавиро инчунин чархзани онро тадқиқот гузаронем. Бинобар ин кушодашави пароканиши комбинатсионӣ дар авали асри 20 дар соҳаи оптика ғоидаи ниҳоят зиёд меоварад.

Боби 9

9.1. РАДИОФАЪОЛИЯТ.

Ҳодисаи радиофаъолият, ё худ ба худ коҳишхурии ҳаста, соли 1896 аз тарафи физики франсуз Беккерел кушода шуд. Вай ошкор кард, ки уран ва пайвастагиҳои он аз худ нур ё зарра хориҷ мекунад, ки аз мағзи ҷисмҳои ношаффоф мегузаранд ва қобилияти фотосафҳачаро равшан кардан доранд. Беккерель нишон дод, ки интенсияи афканишот танҳо ба консентратсияи (ғаноиши) уран мутаносиб буда аз шароити беруна (температура, фишор) ва аз он, ки уран дар ягон пайвастагиҳои химиявӣ мавҷуд аст ё нест вобаста нест.

Физикони англис Э. Резерфорд ва Ф. Содди исбот карданд, ки дар ҳамаи равандҳои радиофаъолият ба ҳам табдилёбии атому ҳастаи дар элементҳои химиявӣ мегузарад. Омӯхтани хосияти афканишоти ин равандҳо дар майдони магнитӣ ва электрикӣ гуселонида мешавад, ва нишон дод, ки ба алфа зарра (ҳастаи хелий), бета зарра (электронҳо) ва гамма нурҳо (афканишоти электромагнити дарозии мавҷи хурдтарин) тақсим мешавад.

Атому ҳаста, ки алфа, бета, гамма – нурҳо ё дигар зарраҳо хориҷ мекунад, радиофаъолияти ҳаста номида мешавад. Дар табиат 272 атому ҳастаи устувор мавҷуд ҳаст. Ҳамаи дигар ҳастаи радиофаъолро радиоизотопҳо меноманд.

Радиофаъолият ҳолати атому ҳастаро муайян мекунад. Барои ҳолати ҳастаи додашудаи эҳтимолияти коҳиши он дар воҳиди вақт бузургии доимӣ мебошад.

Алфа – коҳиш. Энергияи бандиши ҳаста устувори онро ба коҳиши қисмҳои алоҳида метавсифонад. Агар энергияи бандиши ҳаста аз энергияи бандиши маҳсули коҳиши он хурд бошад, он гоҳ ин мефаҳмонад, ки ҳаста метавонад худ ба худ коҳиш хурад. Дар алфа коҳиш, алфа зарра тамоми энергияро мебарад ва танҳо 2% он ба ҳастаи дуюмин дода мешавад. Дар алфа коҳиш адади массавӣ ба 4 бузурги тағйир меёбад, ва номери атомӣ ба ду воҳид.

Саршави энергияи алфа зарра 4 – 10 МэВ – ро ташиқ мекунад. Азбаски алфа зарра дорои масса ва заряди калон аст, бинобар он дарозии дави озоди он дар ҳаво хурд аст. Ҳамин тавр, мисол, дарозии дави озоди алфа зарра дар ҳаво, ки ҳастаи уран хориҷ мекунад, ба 2,7 см, аз ради хориҷшуда ба 3,3 см баробар аст.

Бетта – коҳиш. Ин просеси табдилёбии атоми ҳаста ба ҳастаи дигар бо тағйирёбии адади тартибӣ бетағйирёбии адади массавӣ мебошад. Се намуди

бета – коҳиш фарқ мекунад: электронҳо позитронҳо ва рабоиши электронӣ мадори атоми ҳаста. Навъи коҳиши охирон ҳамчун K – рабоиш қабул шудааст, барои он ки дар ин маврид эҳтимолияти калонӣ фурубари электрон ба K – қишири дар ҳаста наздик буда ба вучуд меояд. Фурубурди электронҳо дар L ва M – қишир инчунин мумкин, аммо эҳтимолияти хурдро дорад. Даври нимкоҳиши ҳастаи бета-фаъол дар миқёси хело васеъ таъғир меёбад.

Адади ҳастаи бета – фаъол, ки дар замони ҳозира маълум аст, наздик ба якуним ҳазор мерасад, аммо танҳо 20 тои он изотонҳои бета фаъоли табиӣ мебошанд. Ҳама боқимондаи онҳо бо роҳи сунъи ҳосил карда мешавад. Бефосила тақсимишавӣ аз рӯи энергияи кинетикӣ ҳангоми коҳиш ки электронҳо хориҷ мешавад, чунин фаҳмонида мешавад, ки бо якҷояги электрон антинейтрини низ хориҷ мешавад. Агар антинейтрини намебуд, он гоҳ электрон қатъиян импульси муайяно медошт, ки ба импульси ҳастаи боқимонда баробар аст. Возеҳан кандашавии тайф дар қиммати энергияи кинетики мушоҳида мешавад, ки ба энергияи бета – коҳиш баробар аст. Дар ин маврид энергияи кинетики ҳаста ва антинейтрини баробари сифр ва электрон ҳамаи энергияи дар реаксия ҷудо шударо ба худ мебарад. Ҳангоми коҳиши электронӣ ҳастаи боқимонда адади тартиби ба як воҳид зиёд мешавад, аз интидои нигоҳ доштани адади массавӣ мебошад. Ин маънои онро дорад, ки дар ҳастаи боқимонда адади протонҳо ба як меафзояд ва адади нейтронҳо, баринъикос якто кам мешавад: $N = A - (Z + 1)$.

Бетта – коҳиши позитронҳо. Дар коҳиши позитронҳо адади пурраи нуклонҳо нигоҳ дошта мешавад, аммо ҳастаи охирон дорои як нейтрон зиёд, нисбати ҳастаи интидои. Ҳамин тавр, протони дохили ҳаста ба бо хориҷшавии нейтрон позитрон ва нейтроно мегузарад.

Рабоиши электронҳо. Ба рабоиши электронҳо дохил мешавад, раванди фурубарии атом яке аз электронҳои мадори худи он. Азбаски эҳтимолияти калонтарини рабоиши электрн аз мадоре, ки бо ҳаста наздик ҷойгир аст, яъне эҳтимолияти калонтарин фурубурди электрони K – қишир. Бинобар он ин равандро K – рабоиш меноманд.

Эҳтимолияти хурдтарин рабоиши электронҳо дар L , M – қишир мегузарад. Баъди рабоиши электрон аз K – қишир якчанд гузариши электронҳо аз мадор ба мадор иҷро шуда бо хориҷшавии кванти рентгенӣ мегузарад, ки ҳолати атоми нав пайдо мешавад.

Гамма – коҳиш. Ҳастаи устувор дар ҳолати энергияи хурдтарин ҷойгир аст, ин ҳолатро асосӣ меноманд. Аммо бо роҳи нурбориши атому ҳаста бо зарраҳои гуногун ё протонҳои энергия баланд ба онҳо энергияи муайян додан мумкин ва ин чунин ба ҳолати энергия баланд гузаронидан мумкин аст. Дар муддати якчанд фосилаи вақт аз ҳолати ангезиш ба ҳолати асоси гузаштани атому ҳаста метавонад зарра ё агар энергияи ангезиш хело баланд бошад, афканишоти электромагнитии энергияи баланди гамма – квант хориҷ кунад.

Азабаки ҳастаи ангезиш буда дар ҳолати энергиявӣ дискретӣ мавҷуд аст, он гоҳ гамма – афканишот тайфи хаттиро медиҳад.

Акнун навъҳои таъсир, ки дар табиат мавҷуданд, дида мебароем, аз ҷумла таъсири зараро ва гамма – квантҳо, ки моддаҳои радиофаъл хориҷ мекунанд.

9.1. ЗАРРА ВА ТАЪСИР

ЧОР НАМУДИ ТАЪСИР, МИҚИЁС ВА ЭНЕРГИЯ ДАР ФИЗИКАИ ҲАСТА

Дар табиат чор намуди таъсир мавҷуд аст:

- ҳастаи таъсири пурқувват
- электро магнитӣ.
- Таъсири камқувват
- Гравитасионӣ.

Агар интенсивияти таъсири ҳастаро баробари як қабул кунем, он гоҳ ислоҳоти боқимондаи таъсирҳо чунин мешавад.

- Электрмагниту $\sim 10^{-4}$
- Камқувват $\sim 10^{-24}$
- Гравитасионӣ $\sim 10^{-40}$

Мавҳуми таъсири интенсивиятро дар ин ҷо ҳамчун таъсири энергиявӣ ду зарра дар масофаҳои як хелаи байни онҳо фаҳмидан мумкин аст.

Таъсири пурқувват ва камқувват бо зиёд шудани масофаи байни зарраҳо ба таври экспонентӣ хурд мешаванд.

Таъсири электромагнитӣ ва гравитасионӣ дуртаъсир буда ба $\frac{1}{r}$ мутаносибанд. Ҳамаи чор намуди таъсир дар ҷаҳони моро иҳотакунанда роли асосиро мебозанд. Таъсири ҳастаи аз ҳама пурқувваттарин, аммо аз ҳама кӯтоҳ таъсир аст ($r \sim 10^{-13}$ см).

Онҳо мавҷудияти атому ҳастаро таъмин мекунанд. Дар масофаи тартибан 10^{-8} см қувваҳои ҳаста тамоман хурд ба эътибор гирифта намешаванд. Дар ин ҷо сахми асосиро аз рӯи бузургии қувваҳои электромагнитӣ мебозанд, ки мавҷудияти атому молекулаҳоро таъмин мекунанд. Дар ҷисмҳои макроскопи зарраҳои мусбат ва манфӣ ҳамдигарро ҷуброн мекунанд, аз ин ҳисоб таъсири электромагниту байни ҷисмҳои безаряд (нейтрал) вучуд надорад, агар онҳо ба ҳам нарасанд.

Бинобар он дар объектҳои калони макроскопӣ сахми асосиро қувваҳои интенсивияташон аз ҳама камтар – гравитасионӣ мебозад. Барои таъсири камқувват доираи ҳодисаҳо вучуд надорад, дар қучоғ, ки онҳо бартари дошта бошанд. Аммо ин таъсир ба он нисбате вучуд дорад, ки ба воситаи он бисёр зарраҳои ноустувор ва ҳастаҳои радиофаъл коҳиш мешаванд. Агар таъсири камқувват намебуд, он гоҳ адади зарраҳои устувор ва атому ҳаста хело зиёд мешуданд, нисбати ҳозира. Аз сабаби он, ки шумораи зарраҳои дар табиат мавҷуда хеле зиёданд, барои онҳоро тафсонидан ба синфҳо ҷудо карда мешавад.

9.2. СИНФБАНДИИ ЗАРРАҲОИ БУНЁДИ.

Вобаста ба бузургии хосиятҳои зарраҳои бунёди онҳоро ба синфҳо ҷудо кардан мумкин аст, ба ҷадвал нигаред:

Номи зарра	ишора	M (масса)	α (заряд)	τ вақти зист
фотон	-	0	0	∞
нейтрино	γ	0	0	∞
электрон	e^-	1	-	∞
позитрон	e^+	1	+	∞
Анти нейтрино	$\bar{\nu}$	0	0	∞
μ^\pm — лизон	μ^\pm	207	\pm	$2,2 \cdot 10^{-6}$ сон
π^\pm — мезон	π^\pm	273	± 1	$2,8 \cdot 10^{-8}$ сон
π^0 — мезон	π^0	264	0	10^{-16} сон
протон	p	1836	+1	∞
нейтрон	n	1838,6	0	10^3 сон
антинейтрон	\bar{n}	1838,6	0	10^3 сон
антипротон	\bar{p}	1836	-	∞
K^\pm — мезон	K^\pm	966	± 1	$1,1 \cdot 10^{-8}$ сон
α^0 — мезон	α^0	966	0	10^{-10} сон
α_L^0 — мезон	α_L^0	966	0	10^{-7} сон
Гиперонҳо:	$\lambda_0, \bar{\lambda}_0$	2181	0	$2,8 \cdot 10^{-10}$ сон
	Σ^\pm	2340	± 1	10^{-10} сон
	Σ^\pm	2327	± 1	10^{-10} сон
	Σ^0	2331	0	$< 10^{-10}$ сон
Гиперонҳои каскадӣ	Σ	2600	-1	$2 \cdot 10^{-10}$ сон
	Σ^0	2600	0	$2,5 \cdot 10^{-10}$ сон

K – мезонҳо ва гиперонҳо зарраҳои «ачиб» меноманд, бо бузургҳои махсуси физики мавсифонида мешавад, ки «ачиб» номида мешавад. Агар таъсири камқувват намешуд, он гоҳ ҳамаи зарраҳо устувор буданд.

Дар физика ҳаста чен кардани ченакҳо ба воситаи бомбаборон кардани ҳаста бо дастаи электронҳо ва нейтронҳо муайян мекунанд. Ченаки тавсифи барои ҳаста 10^{-13} см = 1 ферми. Воҳиди энергия миллион электрон вольт қабул шудааст. $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-6}$ эрг. Мисол, энергияи бандиши алфа – зарра ба 28 МэВ баробар аст, энергияи бандиши дейтрон – 2,26 МэВ мисол ҳангоми муқоиса кардан, энергияи бандиши дар атоми ҳидроген 13,6 МэВ мебошад.

Дар физикаи ҳаста саволе ба миён меояд, барои фаҳмонидани ҳодисаҳои ҳастаи кадом механикаро истифода бурдан қулай аст? Механикаи классики Ӯ квантӣ. Хосияти кванти пурқувваттар ошкор мешавад, нисбати массаи зарра ва масофаи байни онҳо. Меъёри нисбати номуайяни Гейзенбарг хизмат мекунад.

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} \quad (9.2.1)$$

Агар импульси миёна баробари сифр бошад, он гоҳ $\Delta p = p$ формулаи (9.2.1) – ро ба квадрат бардошта ҳосил мекунем:

$$p^2 x^2 \geq \hbar^2, \quad \hbar^2 = \frac{h^2}{4\pi^2} \quad (9.2.2)$$

Азбаски $E = \frac{p^2}{2m}$, пас $8\pi^2 E \cdot M \geq \hbar^2$ шарти истифода бурдани механикаи классикӣ ба эътибор нагирифтани доими планк (\hbar) мебошад, яъне мавҷудияти нобаробарӣ

$$8\pi^2 E \cdot M \chi^2 \geq \hbar^2, \quad \hbar \approx 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сонб} \quad M \approx 10^{-24} \text{ гр.}$$

(барои протон ё нейтрон) ва $E = 1 \text{ МэВ}$ ҳосил мекунем, ки механикаи классикӣ истифодашаванда аст, агар

$$\chi \gg \sqrt{\frac{\hbar^2}{8\pi^2 E M}} \approx 3 \cdot 10^{-13} \text{ см} \quad (9.2.3)$$

Азбаски масофаи дохили ҳаста дорои тартиби $\sim 10^{-13} \text{ см}$, он гоҳ равшан аст, ки ҳаста объекти квантӣ мебошад, танҳо барои навиштани хусусияти коллективӣ ҳастаҳои вазнин, ки нисбат ба бисёр калон будани масофа ва масса, дар баъзе ҳолатҳо масофаи квази классикиро истифода бурдан мумкин аст (монанди мадори Бор). Пас маълум мешавад, ки барои фаҳмонидани ҳосият ва равандҳои ҳаста механикаи квантӣ истифодашаванда мебошад.

9.3. ГУЗАРИШИ ЗАРРА АЗ МОДА.

Гузориши зарраҳои вазнин ва сабук аз мода.

Гузориши зарра аз мода – бо сарфи энергияи ва ҳимояи суръатфизо ва гайра алоқаманд аст. Ба ин гузоришҳо алоқаманд аст.

- Қобилияти гузориши зарра

- Қобилияти иониши зарра ва ин чунин ҳамаи таъсири мутақобили боқимонда бо модда.

Раванди ин ҳодисаҳо ро бо чунин омилҳо муайян мекунам:

а) масса, б) заряд, в) энергияи зарра,

а) зичии мода, б) номери атомӣ, в) энергияи бандиши электронҳо (потенциали миёнаи иониши) мода.

Бояд қайд кард, ки дар ин ҷо на ҳамаи ҳосиятҳои зарра ва мода номбар шудааст. Мо гузориши чунин зарраҳоро аз мода қисм қисм дида мебароем: Зарраҳои зарядноки вазнин, 2) электронҳо, 3) гамма - зарраҳо (зарраҳои сабуки нейтрал). Ҳамаи ин ҳолатҳо сифатан гуногунанд. Ба гурӯҳи зарраҳои вазнин он зарраҳое, дохил мешаванд, ки массаашон чандин маротиба аз массаи электронҳо калон аст. Ба инҳо дохил мешавад: протонҳо, алфа – зарраҳо, ва ин чунин мезонҳои заряднок.

Манбаи асоси сарфи энергия, таъсири калон ба электронҳо мебошад. Ин сарфи энергияро ионизатсионӣ меноманд (бояд қайд кард, ки истилоҳи «сарфи иониш» ба худ ҳамроҳ мекунад на танҳо иониши атомҳо ин чунин ангезиши онҳо).

Зарраҳои вазнини парвоз мекунам, энергияшонро сарф карда атомҳоро иониш мекунам, аз роҳи худ кам майл мекунам, барои он ки массаи зарра ниҳоят калон аз массаи электронҳо. Бинобар он дар ин ҷо ду бузургӣ дохил мешавад, ки равандро метавсифонад. Сарф дар воҳиди роҳ $\frac{dE}{dx}$ ва давиш R .

Дар баъзе фарзиятҳои боақлона ин бузургихоро бея гон мушкили ҳисоб кардан мумкин агар ингуна фарзиятро истифода мебарем:

Якӯм, мо ҳолатҳои гайри квантиро мебинем, ки дар ин ҷо бо пурраги дуруст аст, барои он, ки масса аз масофаи тавсифонидашуда бисёр калон мебошад.

Дуюм мо ҳисоб мекунем, ки суръати электронҳо дар муҳит бо муқоисаи суръати зарра (электрон ҳангоми парвози зарра лагҷонда мешавад). Импулсе, ки ба электрон дода мешавад, ҳисоб мекунем.

$$\vec{p} = \int F dt, \quad \vec{p} = \vec{p}_{\parallel} + \vec{p}_{\perp} \quad (9.3.1)$$

дар ин ҳолат

$$p_{\parallel} = \int \dot{\Gamma}_{\parallel} v e = 0, \quad (9.3.2)$$

аз ҳисоби фарзияти дуюм, азбаски ҳангоми парвози зарра p_{\parallel} ба пеш равон ва ҳангоми ба қафо паридан p_{\perp} аст. Импулси кундаланг ба як тараф равон аст, ҳамин тавр ҷамъ мешавад;

$$p = p_{\perp} = \int \dot{\Gamma}_{\perp} dx \frac{dt}{dx} = \frac{1}{v} \int F_{\perp} dx; \quad F_{\perp} = e \varepsilon_{\perp} \quad (9.3.3)$$

Азбаски он, ки суръати зарра ҳангоми парвоз кам тағйир меёбад:

$$p_{\perp} = \frac{e}{v} \int \varepsilon_{\perp} dx \quad (9.3.4)$$

Теоремаи Гаусро истифода мебарем, ба сифати сатҳи цилиндр, ки радиусаи баробари параметри нишона b — ро интихоб мекунем, пас ҳосил мекунем

$$\int \varepsilon_{\perp} d\sigma = 4\pi z e^2 \quad \text{азбаски} \quad d\sigma = b d\varphi dx, \quad \text{он гоҳ} \quad (9.3.5)$$

$$\int \varepsilon_{\perp} d\sigma = b \int \varepsilon_{\perp} d\varphi dx = 2\pi b \int \varepsilon_{\perp} dx \quad \text{инак} \quad \int \varepsilon_{\perp} dx = \frac{2ze^2}{b} \quad (9.3.6)$$

Инро ба формулаи (9.3.4) гузошта меёбем:

$$p = p_{\perp} = \frac{2ze^2 c}{vb} = |p| \quad (9.3.7)$$

Он гоҳ энергияе, ки ба электрон дода мешавад, баробар аст:

$$\frac{p^2}{2m} = \frac{4z^2 e^4 c^2}{2mv^2 b^2} = \frac{2z^2 e^4 c^2}{mv^2 b^2} \quad (9.3.8)$$

Аз ин ҷо тағйирёбии энергияи зарра дар воҳиди роҳ баробар аст ба: $-\frac{\partial E}{\partial x} =$

$$\int_{b_{\min}}^{b_{\max}} \frac{p^2}{2m} n 2\pi b db; \quad (9.3.9)$$

Дар ин ҷо n — адади электронҳо дар воҳиди ҳаҷми мода. Бачои $\frac{p^2}{2m}$ аз формулаи (9.3.8) қимматашро гузошта интегронида ҳосил мекунем:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{mv^2} \ln \left(\frac{b_{\max}}{b_{\min}} \right) \frac{\text{эрг}}{\text{см}} \quad (9.3.10)$$

Агар яке аз ҳудудҳои интегралро беохир интихоб кунем, он гоҳ натиҷаи физики бемаънои беохир ҳосил мешавад (зарра якбора боздошта мешавад). Сабаб: тахминан соддакардан нодуруст аст агар масофа калон ва хело хурд бошад.

Қиммати имконпазири b_{\max} ва b_{\min} — ро меёбем.

1. b_{\max} дар масофаи калон энергияе, ки ба электрон дода мешавад, аз энергияи бандиши электрон дар атом хурд аст, агар $\frac{b_{\max}}{v} \gg \frac{1}{\omega}$, (ω —

басомади хусуси лапшиши электрон), он гоҳ энергия сарф намешавад, барои он ки электронҳо метавонанд дар вақташ аз қафои зарра парвоз кунанд.

Ҳамин тариқ, барои b_{\max} чунин таносубро ҳосил мекунем:

$$b_{\max} = \frac{v}{\omega} \text{ дар ҳолати релятивисти ин таносуб мегузарад ба:}$$

$$b_{\max} = \frac{v}{\omega\sqrt{1-\beta^2}}, \quad \text{дар ин ҷо} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

2. Ҳангоми параметри нишонаи электрон камбудан агар он ором бошад, дар вақти даккахурдан чи қадаре набошад энергияи калон дода мешавад. Бинобар он дар ин ҷо фарзияти дуҷум вайрон мешавад, яъне электрон алақай дар вақти бархурдан начунбида наметавонад. Мо бояд ба чунин қиммати b маҳдуд шавем, ки электрон суръати $2v$ – ро гирад, барои он, ки дар системаи ороми зарраҳо, электронҳо ба беохири парида ба зарраҳои вазнин бармехӯранд, ҳамчун тӯбе, ки аз девор чаҳида мегузарад, пас суръати он ба $2v$ тағйир меёбад, импульсе, ки ба электрон медиҳанд баробар мешаванд :

$$p = 2mv = \frac{2ze^2}{bv}, \text{ он гоҳ; } b'_{\min} = \frac{ze^2}{mv^2}; \quad (9.3.11)$$

(ҳангоми b хурд будан электронро бечунбиш ҳисобидан мумкин нест).

Боз як шароити дигаре ҳаст, ки соҳаи истифодабарии дидабаромадани масофаи нишонавино ҳангоми хурд будан маҳдуд мекунад, бо фарзияти яқум алоқаманд аст.

Ҳангоми гайри квантӣ бар назар гирифтани нисбати номуайяниҳо инро танҳо бо чунин шарт истифода мекунем: $pb \gg h$ аз ин ҷо қиммати дуҷуми ҳудуди b''_{\min} – ро ҳосил мекунем:

$$b''_{\min} = \frac{h}{p} = \lambda, \text{ дар ин ҷо } \lambda = \frac{h}{2\pi p} \quad (9.3.12)$$

Азбаски бузургии ҳақиқии $b_{\min} = \max(b'_{\min}; b''_{\min})$ дар ҳолати релятивисти

$$b''_{\min} = \frac{h\sqrt{1-\beta^2}}{mv} \quad (9.3.13)$$

Қайд мекунем, ки дар ҳақиқат муайяни b'_{\min} , b''_{\min} аниқии калонро талаб намекунад, нисбати тартиби бузургӣ, барои он ки ин бузургӣҳо дар формулаи сарфи энергия дар зери логарифм дохил мешавад, ва вобастагии логарифмӣ хело кам қувват мебошад. Акнун b'_{\min} – ро бо b''_{\min} муқоиса мекунем:

$$\frac{b'_{\min}}{b''_{\min}} = \frac{e^2}{hc} \cdot \frac{1}{v} \cdot Z = \frac{1}{137} \cdot \frac{1}{v/c} \cdot Z = \frac{u}{v} Z. \quad (9.3.14)$$

Азбаски доими таркиби маҳин баробарӣ $\frac{1}{137} = \frac{e^2}{hc} = \frac{u}{c}$ дар ин ҷо u – суръати электрон дар мадори яқуми Бор, атоми гидроген, яъне $v \gg u$, он гоҳ равшан аст, ки ислоҳоти квантӣ пештар таъсир мерасонад, нисбат ба эффекте, ки аз ҳисоби ҷойивазкунии электронҳо вобастааст. Дар охир ҳосил мекунем :

$$-\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{mv^2} \ln \frac{mv^2}{h\bar{\omega}\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (9.3.15)$$

Дар ин ҷо $h\bar{\omega} = J \cong 13,5z^2\text{эВ}$ потенциалӣ миёнаи иониш. Ин формула барои сарфи иониши зарраҳои заряднок ба мода – формулаи Бор аст. Ин формула

ба таври аниқ дар зери логарифм дар намуди дигар меистад, (барои зарраҳои вазнин ва сабуки гуногун).

Барои электронҳо бояд майлқунии онро ҳангоми пароканиши ба назар гирем ё ки ин просесро эффекти ивазшавӣ меноманд.

Массаи зарраҳои вазнин, ки ба формулаи Бор дохил мешаванд, дар таносуби байни E ва v номуайян мебошанд.

v –ро бо E ва M ифода намуда ҳосил мекунем:

$$-\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{4\pi z^2 e^4 n}{E \cdot M} \cdot MA \quad (9.3.16)$$

пас маълум мешавад, ки иониши хос ба массаи зарра мутаносуб аст.

$$A = \ln \frac{mv^2}{\hbar\omega^2(1 - \beta^2)}$$

Нисбати қобилияти иониши зарраҳо қонуни оддӣ, аммо мураккаб таъсир мекунад. Ба ҳисоби миёна ҳангоми зарра 33эВ энергия сарф кардан як чуфт ионҳоро ҳосил мекунад, нисбат ба зарраҳои вазнин чи қадаре, ки қобилияти иониши (изи гафс) он зиёд бошад, ҳамон қадар дави он кӯтоҳ аст. Барои дав ифодаеро меёбем:

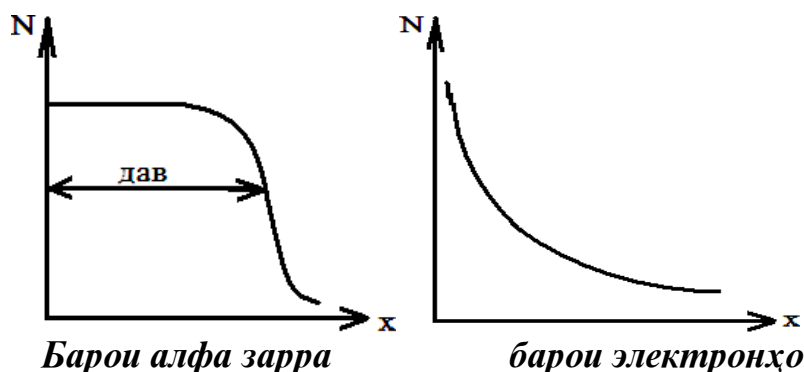
$$dx = \frac{-m}{2\pi^2 z^2 e^4 n M A} E dE, \quad R = \int_0^R dx = -x \int_{E_0}^0 E dE = \frac{ME_0^2}{4\pi z^2 e^4 M A}. \quad (9.3.17)$$

Ҳамин тавр чи қадаре, ки иониши зиёд бошад, ҳамонқадар суръат хурд (дар охир дав гафс мешавад). Ҳангоми аниқ ҳисоб кардан ҳосил мекунем, ки $R \sim E_0^{3/2}$, дар энергияи хурд $R \sim \frac{1}{M}$ хатти қачи дар амалия аниқ чен карда мешавад. Дави зарраҳои вазнин ниҳоят кам. Мисол дави алфа зарра бо энергияи 5 МэВ дар қисми инсон ба 45 микрон баробар аст.

9.4. ГУЗАРИШИ ЗАРРАҲОИ ЗАРИЯДНОКИ САБУК АЗ МОДДА.

Формулаи дав (R) барои электронҳо низ истифода мебаранд, аммо дар ин ҳолат он дав не балки роҳ – ро медиҳад.

Агар вобастагии адади алфа зарраҳо ва электронҳоро (N) аз гафсии мода (x) дида бароем он чунин хатти қачро медиҳад.



Расми 9.4.1

Дар ин вобастагиҳо N – адади зарраҳо, ки аз гафсии x модаи фурубаранда мегузаранд. x – гафсии модаи фурубаранда.

Роҳи ҳамаи электронҳо як хела аммо дав гуногун ба ҳисоби миёна аз роҳ кам аст, барои он ки роҳ монанди хатти шикаста мебошад.

Махсусан қайд кардан зарур аст, ки дар ин ҷо фарқияти аз гамма афканишот сарҳади болои дав мавҷуд аст, ки ба роҳ баробар аст. Хулоса. Барои электронҳо давро аз роҳ фарқ кардан лозим аст. Ҳангоми пароканиши электронҳо бо ҳаста ислоҳоти кванти кам аст, аммо ҳангоми бархурдан электрон муҳим ба фанни самаранокии ивазшавии ошкор мегардад. Дар ҷаҳони кванти байни ду электрон ягон фарқият нест, аммо ҳангоми бархурдан дар зери логарифм аст. Аз формулаи (1) мо мебинем, ки сарфи энергия ҳамчун функсия аз v аст, ва аз масса вобаста нест. Дав аз масса вобастаги пурқувват дорад. Дар ҳолати гайри реалитивӣ энергияшон баробар, дави зарраҳои вазнин хело кӯтоҳ аст. Ин дар ҳолатҳои ултрареалитивӣ, он гоҳ $E \gg mc^2 \quad v \rightarrow c \quad E_{\text{кин}} = \frac{Mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - Mc^2$ аз ин ҷо

$$\frac{1}{1-\beta^2} = \left(\frac{M^2 c^4}{E_{\text{кин}}^2} \right)^{-1},$$

$$\left(-\frac{dE}{dx} \right)_{\text{ултрареалитивӣ}} = \frac{4\pi n z^2 e^4}{mc^2} \left\{ \ln \frac{mc^2}{J} + 2 \ln \frac{E}{mc^2} \right\} \quad (9.4.1)$$

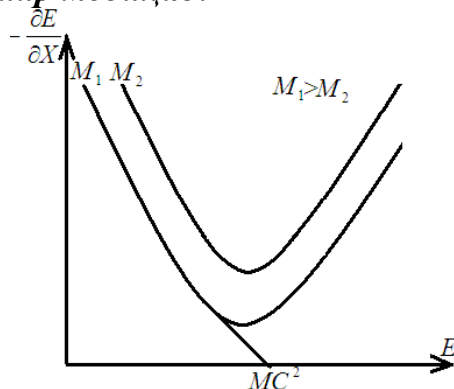
Дар ин ҷо $J = h\bar{\omega} = 13,5Z \text{ эВ}$.

Массаи зарра дар зери логарифм мебошад. Бинобар он зарраҳои гуногун аз рӯи массашон кам таъсир мекунад (дави мезони релативиро аз дави протони реалитивӣ фарқ кардан мушкиласт).

Баҳо додан ба нисбати сарфи энергияи протон ($z = 1$) ва электрон бо энергияи E ба $10Mc^2$ баробар аст (суръати тоби шаҳри Дубна). Барои электрон зарбшавандаи $\frac{M^2}{m^2}$ ҳамроҳ мешавад, он гоҳ:

$$\frac{\left(-\frac{\partial E}{\partial x} \right)_p}{\left(-\frac{\partial E}{\partial x} \right)_e} = \frac{\ln \frac{mc^2}{J} + 2 \ln \frac{E}{mc^2}}{\ln \frac{mc^2}{J} + 2 \ln \frac{E}{Mc^2} + 2 \ln \frac{M}{m}} \cong 0,5 \quad (9.4.2)$$

Мо дидем, ки фарқи массаҳо ба 200 маротиба, қобилияти ионишро ҳамаги ду маротиба тағйир медиҳад.



Расми 9.4.1

Дар расми 9.4.1 вобастагии сарфи энергия аз навъи модда бо зарбшавандаи n муайян карда мешавад. (n – адади электронҳо дар воҳиди ҳаҷм).

Равшан аст, ки n мутаносиб ба зичии модда ρ . Бинобар он ҳарду тарафи формулаи (9.4.1) – ро ба n тақсим карда меёбем, ки $\left(-\frac{dE}{dx} \right)$ аз навъи мода вобаста нест. Ин дар таҷриба тасдиқ шудааст, дар мавриде, ки сарфи иониши асоси бошад. Бузургии $x\rho$ ченаки г/см^2 – ро дорад.

Дар ин воҳидҳо гафси давро чен мекунанд. Маълум мешавад, ки ҳимояи беҳтарин сурб мебошад, барои он ки ρ калон аст.

9.5. НАМУДҲОИ САРФИ ЭНЕРГИЯ.

Сарфи иониш ягона нест. Ном овар мекунем аз ҳисоби кадом равандҳо зарра энергияашро дар мода сарф мекунад.

1. Сарфи иониш.
2. Таъсири кулонӣ бо ҳаста,
3. Таъсири ҳаста бо ҳаста,
4. Сарфи радиатсионӣ (афканишоти боздоштӣ суръатишоти зарраҳо).
5. Сарфи черенковӣ

Саҳми намудҳои гуногуни сарфи энергия!

1. Сарфи ионишро дар мавзӯҳои гузашта номбар карда будем.
2. Барои таъсири кулонӣ бо ҳаста чунин формулаи зерин амал мекунад:

$$-\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{4\pi z^2 e^4 n}{mv^2} \ln \frac{mv^2}{\hbar \bar{\omega} \sqrt{1-\beta^2}}, \quad \hbar \bar{\omega} = \bar{J} = 13,5z \text{ эВ} - \hbar \quad (9.5.1)$$

потенциали миёнаи иониш. Аммо энергияи дар як бархури ба атомҳои мода медиҳад, дигар аст. Қувваи таъсиркунанда (инчунин импулс, ки медиҳад) z маротиба зиёд (z заряди ҳаста, зарра), аммо массаи ҳаста $\frac{\Delta M}{m}$ маротиба аз массаи электрон калон аст. Бинобар он нисбати энергияи

дар як бархурӣ ба ҳаста ва электрон медиҳад баробари: $\frac{z^2 p^2}{2AM} / \frac{p^2}{2m} = \frac{zM}{AM}$

Ғайр аз ин бояд ба назар дошт, ки ҳаста дар мода z маротиба кам нисбати электронҳо. Аз ин ҷо нисбати сарфи энергияи барои ҳастаи кулонӣ ба иониш баробар аст:

$$\frac{\left(-\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{ион}}}{\left(-\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{настакулон}}} = \frac{m}{2M} \approx \frac{1}{4000} \quad (9.5.2)$$

3. Таъсири ҳаста танҳо барои π -мезанҳо ва нуклонҳо вуҷуд дорад, на барои электронҳо. Қувваи ҳаста кӯтоҳтаъсир бинобар он саҳми онҳо кам аст. Танҳо дар энергияи фавқубаланди майдони кулонӣ комгор нашуда зарраро тела медиҳад ва он то масофаи 10^{-13} см аз ҳаста парвоз карда меравад, дар он ҷо таъсири интенсивӣ ҳастаи ишқор мешавад. Бинобар он сарфи ҳаста зарур танҳо барои нуклонҳои энергияшон фавқубаланд (нурҳои кайҳонӣ).
4. Сарфи радиатсионӣ (афканишоти боздоштӣ). Интенсивноки афканишоти боздоштӣ J баробар аст:

$$J = \frac{2}{3} \frac{z^2 e^2}{c^2} \left| \dot{\vec{V}} \right|^2 \quad (9.5.3)$$

Дар ҳолати гайрикванти ва гайри релятивистӣ, аз баски $\dot{V} = \frac{\dot{\Gamma}}{M}$ сарфи радиатсионии танҳо барои электронҳо, на зарраҳои вазнин амал мекунад. Ҳисоби квантии релятивистӣ тахминан ба чунин натиҷа мебиёрад.

$$\left(-\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{рад}} = \frac{E}{l_{\text{рад}}} \quad (9.5.4)$$

Дар ин ҷо $l_{\text{рад}}$ — доими мода, ба $\frac{1}{z\rho}$ мутаносиб аст ва дарозии радиатсионӣ номида мешавад (онро ба таври назарияви ҳисоб кардан мумкин аст). $l_{\text{рад}} = 3,3$ метр барои ҳаво ва 0,5 см барои сурб, ошкоро ки

$$E = E_0 e^{-x/l_{\text{рад}}} \quad (9.5.5)$$

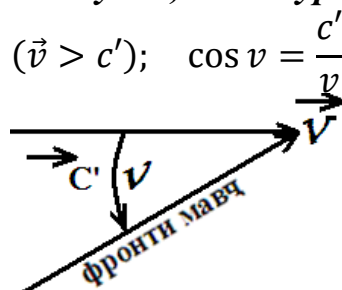
Ба таври асаби, ки сарфи радиатсионӣ на афтида, ба таври хатти бо зиёд шудани энергия меафзояд.

$$\frac{\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{рад}}}{\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{\text{иониш}}} = \frac{ZE(\text{МэВ})}{800}; \quad (9.5.6)$$

дар ин ҷо энергияи $E > \frac{800}{Z}$ сарфи радиоатсионӣ зиёдшаванда аст.

Бузургии калони сарфи радиоатсионӣ барои электронҳои энергия баланд, истифода мебаранд дар суръатфизои электронӣ (мисол, дар синхротрон) барои ҳосил кардани дастаи гамма – нурҳо низ истифода мебаранд.

5 сарфи черенковӣ – дар муҳит, суръати рӯшноӣ $c' = \frac{c}{n}$, бинобар он зарра метавонад бо суръате ҳаракат кунад, ки аз суръати рӯшноӣ зиёд бошад



Расми 9.5.1

Афканишоти черенковӣ – дар ҳудуди кунҷи косинус кунҷи ν монанди мавҷи пароход паҳн мешавад расми 9.5.1. Сарфи черенковӣ (дар ҳолате, ки он мавҷуд аст) тартиботе дорад, монанди радиатсионӣ.

Хулоса дар бораи гузариши зарраи заряднок.

1. Барои электронҳои энергияи хурд, сарфи ионизатсионӣ зиёдшаванда, барои энергияи калон сарфи радиатсионӣ.
2. Барои зарраҳои вазнин асоснок сарфи иониш.
3. Зарраҳои заряднок аз мода мегузаранд, роҳи муайяни охирикоро доранд.
4. Зарраҳои вазнин дави муайяно доранд.

9.6. ГУЗАРИШИ ГАММА АФКАНИШОТ АЗ МОДДА.

Гузариши гамма афканишот аз мода аз гузариши зарраҳои заряднок сифатан фарқ мекунад. Барои гамма – афканишот фаҳмиши дав вуҷуд надорад. Интенсивноки даста дар ин ҳолат ба таври экспонентӣ бо афзудани масофа меафтад, аммо дар ягон гафси мода фурубаранда ба сифр майл намекунад.

Дарозии мавҷ λ ($\chi\lambda = \frac{\lambda}{2\pi}$) барои гамма – кванти энергия 1МэВ баробар:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{E} = \frac{10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{1,6 \cdot 10^{-6}} \text{ см} \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ см}. \quad (1\text{МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ эрг}). \quad (9.5.1)$$

Ҳамин тавр дарозии мавҷ дар соҳае, ки ба мо лозим аст, хеле кам аз масофаи байни атомҳо. Бинобар он дар ин ҷо ҳодисаи табиӣ квантӣ корпускулавӣ ошкор мешавад.

Барои омӯхтани назарияи ин масъалаҳо илми махсус машғул аст, яъне электродинамикаи квантӣ. Ҳолатҳои асоси электродинамикаи квантиро қайд мекунем:

1. Фаҳмиши мавҷмонанд.
2. Пайдо шавии ҳодисаи корпускулавӣ.

Рӯшноиро ба намуди дастаи зарра – фотонҳо тасавур мекунем, қатъи зарраи релятивисти бо массаи оромӣ ба сифр баробар аст. Шарти мавҷудияти зарра бо массаи сифри оромӣ бо роҳи чунин гузариши ҳудудӣ нишон додан мумкин аст:

Дар охири массаи: энергия E ва импульс K баробаранд ба:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad K = \frac{mv}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad E = \frac{kc^2}{v} \quad (9.6.2)$$

ҳангоми $v \rightarrow c$ $E = kc$, $E = \hbar\omega$, $k = \frac{\hbar}{\lambda}$

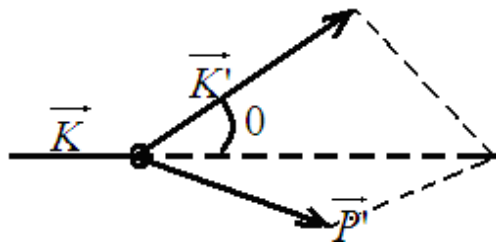
Ҳангоми гамма нур аз мода гузаштан аз ҳисоби се просес энергия сарф мекунад:

1. Фурӯбарии фотозлектрикӣ.
2. Эффементи Комитон.
3. Пайдоиши ҷуфти электрону позитрон.

Дар эффементи якӯм атом гамма квантро фурӯ бурда электронро хориҷ мекунад. Дар эффементи Комитон гамма квантро электрон фурӯ мебарад, аммо электрон онро боз хориҷ мекунад бо камшавии энергия ки дар зери кунҷ мегузарад. Эффементи сеюм, квант дар майдони кулони ҳаста фурӯрафта, дар натиҷа дар ин майдон ду зарра электрон ва позитрон пайдо мешавад.

Акнун ин эффементҳоро мухтасар дида мебароем.

Эффементи Комитон – гамма квант бо импульси K ба электрони ором буда меафтад. Дар натиҷаи бархурии квант ва электрон он импульси мувофиқро мегирад \vec{K}' ва \vec{P} .



Расми 9.6.1

Қонуни бақои импульс ва энергияро менависем (расми 9.6.1).

$$\vec{K} = \vec{K}' + \vec{P} \quad (1) \quad ck + mc^2 = ck' + c\left(\sqrt{P'^2 + m^2c^2}\right) \quad (9.6.2)$$

Аз таносуби якӯм мебарояд, ки (формулаи 9.6.2-ро ба с тақсим карда ҳосил мекунем);

$$p'^2 = k^2 + k'^2 - 2kk' \cos \theta, \quad \text{азбаски} \quad \lambda = \frac{h}{k}, \quad \lambda\lambda = \frac{h}{k'} \quad (9.6.3)$$

Аз формулаи (9.6.2):

$$p'^2 + m^2c^2 = (k - k' + mc)^2, \quad (9.6.4)$$

p'^2 –ро хориҷ карда ҳосил мекунем:

$$kk'(1-\cos\theta) = mc(k - k') \quad (9.6.5)$$

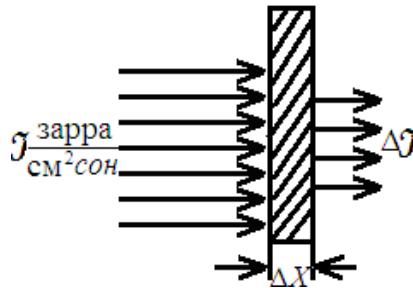
инро бо kk' тақсим мекунем. Дар охир ҳосил мешавад:

$$\lambda - \lambda' = \Lambda(1 - \cos\theta), \quad \Lambda = \frac{h}{mc} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ см} \quad (9.6.6)$$

Бузургии Λ дарозии мавҷи камптон номида мешавад.

Фаҳмиши буриши арзӣ - раванди бархури фотон бо электрон дар соҳаи кванти ё классикӣ ҳамчун арзи кундаланг меноманд. Арзи пурраро чунин фаҳмидан мумкин: Зарраи пароканишкунанда нишона мебошад. Ҳангоми ба нишона афтидани зарра он аз роҳи худ майл мекунад (ё фуру меравад). Масоҳати нишонро арзи кундаланг меноманд. Онро бо саҳеҳии аниқ чунин муайян мекунанд: Фарз кунем, ки дастаи зарраҳои пароканиши $J = Nv$ ба моддаи фурубаранда меафтад. Дар ин ҷо N - адади зарраҳои афтанда дар воҳиди ҳаҷм, v - суръати парвози зарра (барои эффекти Комтон $v = c$), n - адади зарраҳои пароканишкунанда (нишона) дар воҳиди ҳаҷм, Δx - гафсии нишона, ки ниҳоят тунук интиҳоб карда шудааст барои он ки пароканиши бисёркарата ба эътибор гирифта нашавад.

Гамма квант аз гафсии Δx модда гузафта ба бузургии ΔJ суфт мешавад, расми 9.5.1 яъне :



Расми 9.6.1

$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -Jn\sigma; \quad (9.6.7)$$

Бузургии σ - аз $J, n, \Delta x$ вобаста нест, бинобар он як рудоди пароканиширо метавсифонад.

σ - арзи пурраи кундаланги пароканиши номида мешавад, вай адади зарраҳои ба пароканиши дучоришударо муайян мекунад.

$\frac{\Delta J}{\Delta x} = \sigma$ - сустиавии дастаи аввала дар воҳиди дарози пароканишкунандаи воҳиди зиччи мебошад. Азбаски зарраҳои пароканиши шуда дар таҳти кунҷҳои гуногун мебароянд. Бинобарон адади зарраҳо, ки дар таҳти кунҷи қисмони парвоз мекунад, ба арзи дифференциалӣ пароканиши $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мутаносибанд, ҳангоми нисбат ба кунҷ интегронидан арзи пурра σ - ро медиҳад.

Агар гафсии моддаи фурубаранда хело тунук бошад он гоҳ

$$\frac{\partial J}{\partial x} = -nJ\sigma \quad \text{пас} \quad J = J_0 e^{-n\sigma x} \quad (9.6.8)$$

бузургии $\tau = n\sigma$ - зариби хатти фурубарии меноманд.

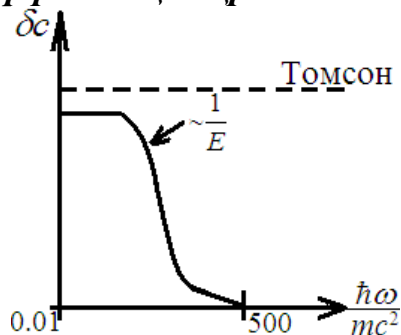
$$[\sigma] = [\text{см}^2], \quad [\tau] = [\text{см}^{-1}], \quad \tau x = \frac{\tau}{\rho}; \quad \rho x = \mu \varepsilon$$

дар ин ҷо $\varepsilon \leq \rho x$ ва $\mu = \frac{\tau}{\rho}$ зариби массавӣ фурубарии. Арз дар физикаи ҳаста бо барн - ҳо чен мекунад.

1барн = 10^{-24} см² ин чунин миллибарн ва микробарн истифода мебаранд.
 1барн = 10^{-3} миллибарн = 10^{-6} микробарн

Вобастагии арзи пурраи эффекти Комптон аз энергия чунин аст, (ба расми 9.5.2 нигаред).

Дар энергияи хурд масъалан доими ва рост Томсонӣ, дар энергияи калон ба таври монотонӣ кам мешавад (меафтад) $\sim \frac{1}{E}$. Хусусияти ба худ хоси эффекти Комптон дар он аст, ки барои он σ_c аз Z вобаста нест ва $\tau = n_{ат} \cdot Z \cdot \sigma_c$ пас зароби массавии фурубурд, $\mu = \frac{\tau}{\rho}$ аз навъи модда вобаста нест ва ин ба дигар равандҳо иҷро шаванда мебошад.



Расми 9.6.2

Эффекти фотозлектрикӣ - Электрон дар модда озод нест, алоқаманд мебошад. Бинобар он раванди кандани электрон ҳангоми фурубарии фотон бе хориҷшавии гамма кванти пароканишишуда мумкин аст. Ин равандро фотозэффект меноманд. Азбаски электрони озод фотонро фурубурда наметавонад, он гоҳ асосан фотозэффект дар энергияҳое, иҷро мешавад, ки ба энергияи бандишии электрон дар атом буда баробар бошад ва сахми асосиро (тартиби 80% ҳангоми $\hbar\omega > J$) фотозэффект дар қишри k мебозад. Аз ин сабаб электронҳои фотозэффектро ҳамчун гайри релятивисти дидан мумкин аст. Қонуни бақои импульс ва энергия дар фотозэффект чунин навишта мешавад:

$$\vec{k} = \vec{p} + \Phi_{\text{њаста}} \quad (9.6.9)$$

Импульсе, ки ба ҳаста дода мешавад кам не, аммо энергияе, ки ба ҳаста дода мешавад хело хурд, аз сабаби калон будани массаи ҳаста:

$$E_{\text{кин}} = \frac{p^2}{2m} = \hbar\omega - J \quad (9.6.10)$$

Ҳамин тавр фотозэффект ин ҳодисаи кванти мебошад, арзи фотозэффект $\sigma_{\phi} \sim Z^5$, арзи пароканишии Комптон дар атом $\sigma_c \sim Z$. Вобастагии σ аз энергия чунин аст: барои энергияи хурд дар раванди фотозэффект қишрҳои атом L ва K иштирок мекунанд. Бинобарон, хосиятҳои фотозэффект чунинанд:

а) арз бисёр калон дар энергияи хурд, аммо ҳангоми зиёдишудани энергия бо тези хурд шуда ба назар нойаён мешавад.

б) Зароби массави фурубурд аз Z ба қувват вобаста аст.

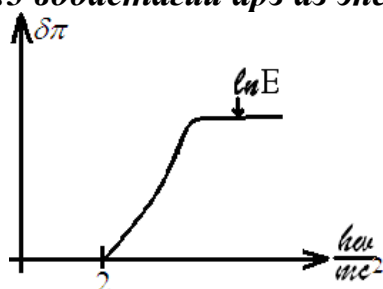
Ҷуфти электрону позитрон - эффект чунин аст: атом фотонро фуру мебарад, ҷуфти зарраҳо электрон ва позитронро хориҷ мекунад. Позитрон – заррае, ки массааш ба массаи электрон баробар буда, аммо зардаш мусбат. Аз назарияи Дирак маълум мешавад, ки барои энергияи калон гузариш дар ҳолатҳо бояд ба массаи манфӣ ҷой дошта бошад.

Фарзияти Дирак суроҳ: дар вакуум ҳамаи ҳолатҳо бо энергияи манфӣ пуришуда мебошад. Аз тарафи дигар дар асоси принципи Паули (дар як ҳолат назид аз як зарра бо спини нимбутун ҷойгир аст) гузариш ба ҳолати энергияи манфӣ манъ аст.

Аммо чунин ҳолате шудан мумкин ки раванди гузариши электрон аз ҳолати энергияи манфӣ ба ҳолати энергияи мусбат иҷро мешавад.

Дар ин маврид электроно пайдо мешавад, ки дорои энергияи мусбат ва суроҳ дар фони ҳолатҳои пуришуда бо энергияи манфӣ соҳиб аст. Суроҳ дорои массаи мусбат ва заряд мебошад, заряди он муқобили заряди электрон аст. Суроҳ – позитрон мебошад ва худӣ раванд пайдоиши ҷуфти электроно позитрон аст.

Акнун рафтори арзи пайдошави ҷуфтро дида мебароем (ки айнан, бояд зина (остона) дошта бошад, ҳангоми $E < 2mc^2$ зарра пайдо намешавад) $\sigma_{\pi} \sim Z^2$, барои он, ки зариби массави фурубурда аз Z вобаста аст. Раванди пайдоиши ҷуфт асоси ҳисобида мешавад дар энергияи калони гамма афканишот. Дар расми 9.6.3 вобастагии арз аз энергия нишон дода шудааст.

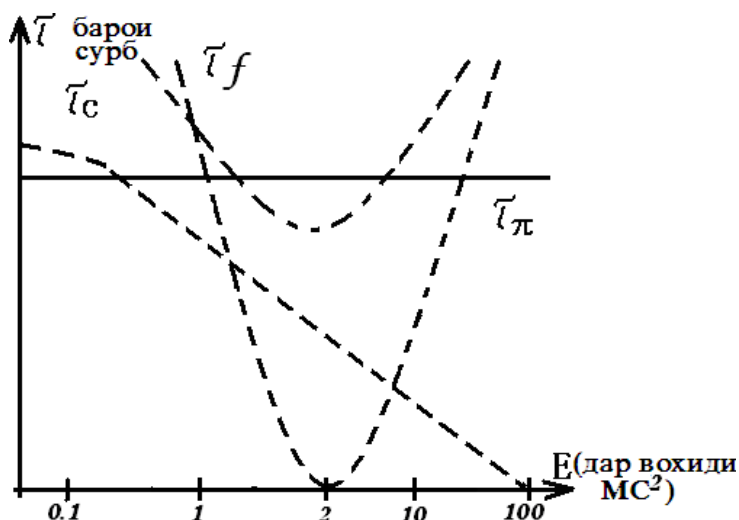


Расми 9.6.3.

9.7. ЗАРИБИ ПУРРАИ ФУРУБАРИШИ ГАММА – АФКАНИШОТ.

Ариз пурра σ ва зариби пурраи фурубарии τ ба суммаи саҳми ҳамаи равандҳо баробар аст (расми 9.7.1).

$$\sigma = \sigma_c + \sigma_f + \sigma_{\pi}, \quad \tau = \tau_c + \tau_f + \tau_{\pi}$$



Расми 9.7.1

Зариби пурраи фурубарии дорои минимум дар энергияи $\sim 5mc^2$ барои сурб аст. Аз зариби пурраи фурубарии (онро бо осони чен кардан мумкин аст) энергияи пурраи гамма – квантро муайян кардан мумкин аст. Дар зариби калони фурубурд, як қиммати τ ба ду қиммати энергия мувофиқ меояд.

9.7.1 РАВАНДИ АННИҲИЛАТСИЯИ ҶУФТИ ЭЛЕКТРОНУ ПОЗИТРОН

Дар асоси назарияи Дирак позитрон – ин суроҳ дар фони пуришудаи электронҳои энергияшон манфӣ ҷойгир мебошад. Чунин раванд мумкин вақто, ки ба ин суроҳ электрон бо энергияи мусбат «меафтад» баъд аз чунин мавҷудият электрону позитрон худро гумм мекунад. Ин равандро анниҳилатсия номида мешавад. Ҳангоми анниҳилатсияи ҷуфт ду гамма квант ҳосил мешавад, (бо назардошти қонуни бақои импульс).

Хулосаи асосӣ гузариши гамма – нурҳо аз мода:

1) . барои зарраҳои заряднок сарфи энергияи иониш $-\frac{\partial E}{\partial x} \sim \frac{z^2 n^2}{v^2} = \frac{z^2 zN}{v^2}$,

дар ин ҷо Z – заряди зарра, Z – номери атомӣ модда, n – адади электронҳо дар 1см^3 модда.

2). Зарраҳои вазнин аз рӯи хатти рости масир ҳаракат мекунанд, $\sqrt{\theta^2} \sim Z \sqrt{\frac{R}{E}}$ дар ин ҷо $\bar{\theta}$ кунҷи миёнаи пароканиш.

3). Барои зарраҳои сабук ҳангоми зиёдишудани энергия, сарфи радиатсионӣ зиёдшаванда мебошад.

4). Қобилияти иониши зарра: 33эВ сарфи энергия дар ҳаво ки як ҷуфт ионҳоро пайдо мекунад. Ҳамин тариқ, иониши пурраро дониста, энергияи зарраро муайян кардан мумкин аст.

5). Аз зарби фурӯбурди гамма афканиши энергияи гамма квантро муайян мекунанд.

9.8. УСУЛҲОИ ҚАЙДГИРИИ ЗАРРАҲОИ ҲАСТА.

Масъалаҳои асосии қайдгирии зарраҳо дар физикаи ҳаста на танҳо аҳмияти техники балки асоси физикаи ҳаста мебошад. Мо бояд аз нишондоди асбобҳои макроскопи дар бораи ин ё он раванди квантии микраскопи натиҷа ахбори умуми гирем.

Ҳамаи усулҳои қайдгирии ба иониш асос ёфта шудааст, ки ҳангоми гузариши зарраи заряднок ё гамма – квант аз модда ба вучуд меояд.

Бузургихое, ки новобаста ба қайдгирифта мешаванд номбар кардан мумкин, аст:

1. Ҷои микраскопи ва вақти парвози – зарра.
2. Импулси зарраҳо Аз ин бузургихо якбора масса ва суръати
3. Энергияи зарраҳо муайян карда мешавад.
4. Заряди зарраҳо

Дар дастгоҳҳои навъи махсус бузургихои номбаршударо чен карда имконият пайдо мешавад, ки як қатори дигар бузургихои физикиро ҳосил кунем, мисол:

5. Вақти зисти зарра;
6. Мувофиқ омадан (аниқ ва дермонӣ) ва номувофиқ омадани байни равандҳои гуногун;
7. Моменти магнитӣ ва квадруполӣ;

8. Эффеќти поляризаќионӣ;

9. Арзи равандҳои гуногун ва ғайраҳо;

Талабот ба асбобҳои ба қайдгиранда – ҳосиятҳои ин асбобҳоро муайян мекунад.

1. Самаранокӣ – нисбати адади зарраҳои ба қайдгирифта ба адади зарраҳои, ки ба асбоби қайдгиранда меафтад бо фоизҳо;

2. Ваќти минимали, ки бояд асбоб зарро ба қайд гирад. Ваќте ки қайдгирак барои ба қайдгирифтани як зарра банд аст, аз он якчанд зарраҳо парвоз карда мегузаранд, қайдгирак ҳис намекунад;

Ваќте, ки дар давоми он ин зарраҳо ба қайд гирифта намешаванд, «ваќти хомӯшӣ» қайдгирак номида мешавад.

3. Қобилияти тафриқа аз энергия

4. Тафриқа аз масса ва заряд

5. Омилҳои иқтисодӣ (арзиш кори ва ғйра).

9.9. НАВЪҲОИ ҚАЙДГИРАКҲО

Дар физикаи ҳаста якчанд намудҳои қайдгиракҳо мавҷуданд:

1. Тахлияи газӣ : а) камераи иониш, б) қайдгиракҳои тахлияи газӣ Гейгер –Мголер

2. Қайдгираки синтилатсионӣ

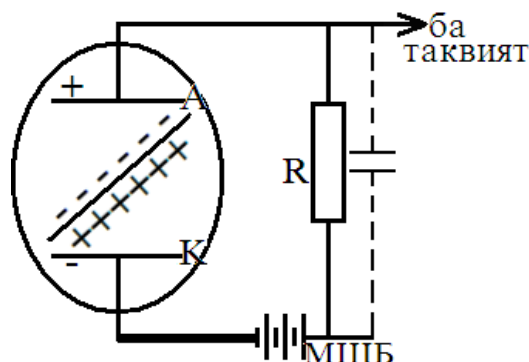
3. Қайдгираки Черенковӣ

4. Қайдгиракҳои иззӣ камераҳо: а) камераи Вилсон, б) камераи губочагӣ,

5. Фотосаҳва (фотозмулсия).

Тарзи кори ин қайдгиракҳоро алоҳида дида мебароем:

Қайдгираки тахлияи газӣ – камераи иониш аз диски доиравӣ иборат буда дар дохили он ду электрод анод (А) ва катод (К) васл карда шудааст расми 9.9.1.



МШБ – манбаи шиддати баланд

Расми 9.8.1 камераи иониш

Дастаи зарраҳои заряднок ба камера афтида ионҳоро пайдо мекунад. Импулси ҷараён ҳосил мешавад. Ба қайд гирифтани импулс ин зарра мебошад. Фарз кунем, ки ба камера алфа зарра дорои энергияи 5 МэВ парвоз карда меафтад. Ҳангоми бо атомҳои газии камера таъсири мутақобили кардан онҳо ионишшуда ионҳои зарядшон мусбату манфӣ ҳосил мешавад. Яъне алфа-зарра бо энергияи 5 Мэв ба камера афтида чанд чуфт ионҳо ҳосил мекунад? Барои дар ҳаво як чуфти ион пайдо кардан 33эВ энергия сарф

мешавад; Аз ин ҷо алфа зарра, ки дорои энергияи 5 МэВ мебошад n – адади ионҳоро пайдо мекунад:

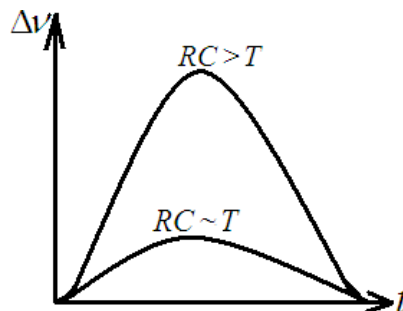
$$n = \frac{E}{\varepsilon} = \frac{5 \cdot 10^6}{33} = 1,6 \cdot 10^5 \text{ ҷуфти ионҳо}$$

Ҷуфти ионҳо.

Ин ионҳо дорои заряди $3 \cdot 10^{-14}$ калон мебошад. Фарз кунем, ки гунҷоиши камера $c = 10^{-11}$ фарада, он гоҳ $3 \cdot 10^{-3} \text{ В} = \frac{q}{C}$.

Вақти ҷамъшавии зарра дар электродҳо $RC > T$, дар ин ҷо $T = 10^{-6} - 10^{-5}$ сон.

Ҳангоми хурд будани RC дар раванди ҷамъшавии заряд импульсҳо макида мешаванд. Аксар вақт дар камера ионҳои зарядашон манфи ба ионҳои зарядашон мусбат ба ҳам вохӯрда ҳамдигарро рекомбинатсия мекунад, расми 9.9.2.



Расми 9.9.2 вобастагии суръати ҷамъшавии зарраҳо аз вақт.

Барои он ки дар камера ин раванд иҷро нашавад, бояд шиддати калон дода шавад, аммо дар камера шиддатро ниҳоят зиёд кардан мумкин нест, барои он ки ионизатсия дубора сар шуда камера аз қор мебарояд, барои чен кардани энергия нодаркор мешавад. Барои бартараф кардани рекомбинатсия бояд ба ҷои ионҳои мусбат заряднок танҳо электронҳо бошанду халос, барои он ки электронҳо нисбат ба ионҳо ҳаракатмандашон калон аст. Барои ин гази камера бояд аз дигар омехтаҳо нағз тоза карда шавад, ки ионҳои манфӣ (карбон буги об ва гайра) пайдо нашавад.

Агар ҳамаи дав дар камера ҷой гирад, он гоҳ бузургии импульсро чен карда энергияи зарраро муайян кардан мумкин аст. Бинобар он дар камераи иониш осон чен мекунад, мисол энергияи алфа зарраи гайри релятивистиро (дави кӯтоҳ дорад), аммо энергияи электрон ва зарраи релятивистиро чен кардан мумкин аст. Камбудии он; амплитудайи импульсҳо тартиби якчанд милливалт хело хурд, қариб дар савияи галогула баробаранд.

Ҳангоми зиёд кардани шиддат дар камераи иониш энергия, ки то ин қиммат, ионҳо шитобонида мешавад, меафзояд. Иониши дуҷум қайд мешавад, ки ба афзоиши импульс Δv меоварад.

Асбобе, ки барои қайдгирии иониш дубора истифода мебаранд, қайдгираки тахлияи гази номида мешавад. Бо хусусият ва таркибашон аз камераи иониш фарқ мекунад. Қайдгирак аз лулаи шишагӣ, иборатбуда дохили он ба қабати тунуки метал пӯшононида шудааст, ки вазифаи катодро иҷро мекунад ва риштаи борикӣ металлӣ аз тӯри лула гузаронида шудааст, вазифаи анодро иҷро мекунад (расми 9.9.3).

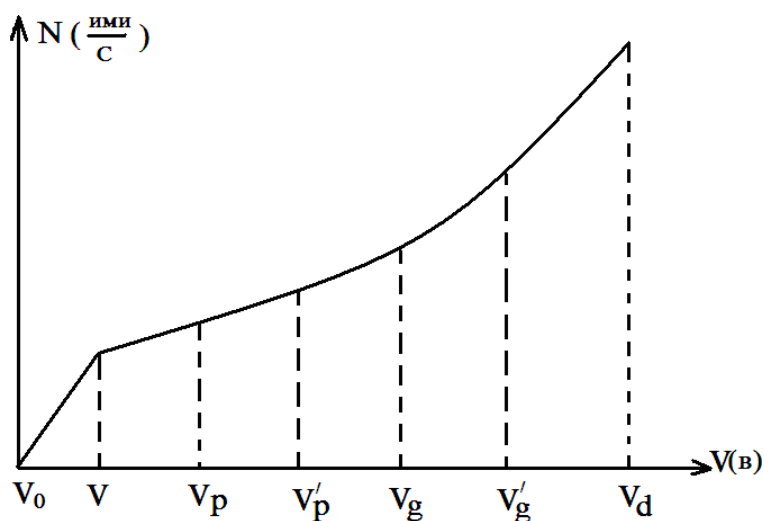


Расми 9.9.3.

Агар ба тири у бузургии импулс Δu (адади зарраҳои ба қайд гирифтаҳо) ба тири бузургии шиддатро гузорем, он гоҳ чунин соҳаҳоро пайдо мекунем:

1. Тартиби камераи иониш;
2. Соҳаи қайдгираки мутаносубӣ;
3. Соҳаи маҳдудияти мутаносубӣ;
4. Соҳаи Гейгер;
5. Соҳаи тахлияи бифосила;

Ин равандҳо дар расми 9.8.4 оварда шудааст.



Расми 9.9.4

Соҳаҳои дар расм нишондодаро чунин мефаҳмонем:

1. Дар саршави (V бисёр хурд аст) аз $V_0 - V$ импулс тез меафзояд бо зиёдшавии шиддат аз ҳисоби он бисёр кам ва камтар ионҳо рекаминатсия мешавад. Ин соҳаи камераи иониш;
2. Давоми $V - V_p$ ҳамаи электронҳо ба анод мерасанд, иониши дубора нест. Ин соҳаи саршави номида мешавад;
3. Соҳаи $V_p - V'_p$ мутаносубӣ. Ҳар электроне, ки дар иониши якҷум ҳосил шуда буд, дар давоми роҳи худ A электронҳои навро пайдо мекунад (метавонад то 10^7 расад), аз адади электронҳои якҷумин вобаста нест. Қайдгираке, ки дар ин тартибот кор мекунад, қайдгираки мутаносуби меноманд. Бо ин қайдгиракҳо ионизатсияи пурраи якуминро чен карда мешавад, ки ба энергияи зарраи афтаанда баробар мебошад.
4. Соҳаи маҳдудияти мутаносубӣ V'_p эффеҶтҳои нав сар мешавад, ба монанди фотоэффеҶт, ки аз деворҳои қайдгирак электронҳоро канда мебарорад. Ин раванд аз ҳисоби афканишоти ултрабунафши атомҳои ангезонидашуда, ки дар натиҷаи иониши зарбати

(ионише, ки дар натиҷаи бархури атомҳову молекулаҳо ба ҳамдигар ва бо электронҳо рӯй медиҳад), ва рекомбинатсия сар мешавад. Зариби иониши зарбати A аз иониши аввала калон, A хурд мешавад бинобар он энергияи зарра ба ΔV мутаносуб намешавад.

5. Соҳаи Гейгер ($V_q - V'_q$). Тахлия характери тармаро мегирад. Дар ин ҷо саҳми калон градиенти шиддат дар наздики сим (анод) мебозад. Қайдгираре, ки дар ин соҳа кор мекунад, қайдгирари Гейгер меноманд. Дар ин соҳа амплишудаи импулс хело калон мебошад (10-100 вольт).
6. $V'_p - V_d$ соҳаи бифосила. Дар ин соҳа қайдгирарҳо аз кор меконанд. Қайдгирар ҳаргуна импулсҳои бегонаро ба қайд мегирад. Барои он ки вақти хомӯши қайдгирарро ихтисор кунем тармаи тахлияро бо тези хомӯш кардан лозим аст.

Барои хомӯш кардани тахлия 2 усул истифода мебарем:

а) усули радиотехникӣ – агар $RC > \tau$ бошад дар ин ҷо τ - вақти гузариши импулс дар система, он гоҳ тахлия тамом мешавад. Барои он ки дар гунҷоши шиддат барқарор намешавад ва шиддат барои нигоҳдоштани тарма гувоҳи намекунад.

б) қайдгирари худхомӯшишаванда бо истифодабарии гази бисёратомӣ. Он гамма- нурҳои маҳинро фуру мебарад аз иониши дубораи гамма нурҳоро пешгири мекунад. Вақто, ки ионҳо хело зичанд ба анод наздик меоянд. Дар ин ҳолат эмиссияи дубора пайдо намешавад, аммо аз ҳисоби ин энергия атому молекулаҳои гази бисёратома ангезиши ва пароканда мешаванд. Дар қайдгирарҳои Гейгер – Мюлер вақти хомӯши хело калон аст $t = 10^{-3} \div 10^{-5}$ сон. Ин қайдгирар хусусияти (хосияти) зарраро намефаҳмонад. Вай асосан зарраҳои вазнинро ба қайд мегирад, бинобар ин девори он бояд тунук бошад, нисбати дарозии дави зарра. Ин қайдгирар инчунин гамма – квантҳо ва электронҳоро низ ба қайд мегирад. Барои ба қайдгирифтани гамма – нурҳо муҳим аст ҳудуди гафси болои ва поёни қайдгирар риоя карда шавад. Дар ҳолати ниҳоят тунук будани девори қайдгирар гамма квант безэффекти дубора парвоз карда аз он мегузарад, Ҳангоми бисёр гафс будани девор электроно, ки гамма – квант канда мебарорад дар он нигоҳ дошта мешавад, импулс намедиҳад.

Самаранокии қайдгирар ($\varepsilon = 100\%$ барои зарраҳои заряднок барои гамма – квантҳо $\sim 1\%$).

Бартарӣ: импулси амплитудааш калон, таъсиргузарониши хоси таъсири (зарраи муайянро ба қайд мегирад) маҳдудшуда мебошад.

Камбуди: дар қайдгирари Гейгер – Мюлер тафрикаи энергиявӣ вучуд надорад. Қайдгирарҳои мутаносуби ноустувор, вақти тафриқа хело ганда ($\sim 10^{-3}$ то 10^{-5} сон аз ҳама хубтар $\sim 10^{-7}$ сон). Дар солҳои даҳсолаи охир қайдгирарҳои тахлиявӣ газӣ дар физикаи ҳаста роли асосиро намебозанд, ҷои худро ба қайдгирарҳои ҳозирамон иваз карданд.

Усули фотоземулсияи гафсқабат. Азбаски зарра ионизатсия мекунад, он гоҳ аз $AgBr$ гузашта ба ин пайвастагӣ таъсир карда зоҳир гардонида, дар лавҳа изи зарра пайдо мешавад. Аз изи зарра як қатор тавсифи зарраҳоро муайян кардан мумкин аст: аз рӯи дав – энергия аз зичии зарра суръат (\dot{m} масса) ва гайра. Ғайр аз ин фотоземулсия, ба алфазарра таъсир мекунад ба

электрон таъсир намекунад ва баракс. Фотозмулсия фон ва гамма – нурро ба қайд намегирад.

Бартари: маълумоти муфассал. Камбудӣ. Ҳангоми коркард вақти зиёдро мегирад. Меҳнатталабу душвораст.

Камераҳои иззӣ: Ба сифати қисми кори моддаеро истифода мебаранд, ки дар ҳолати ноустувори агрегати меистад. Дар камераи Вилсон (сабаби мушоҳидаи пайи зарраҳои заряднок) буги беш аз ҳад хунуқишуда, дар камераи губобӣ моеъи тафсон истифода мебаранд.

Дар буги аз ҳад хунуқишуда аз ҳисоби флукуатсияи (Флукуатсия – майли тасодуфии бузургии физикии мушоҳидашаванда аз қиммати миёнааш) тасодуфӣ губобчаи ченак хурд ба вучуд меояд. Дар губобча кашиши сатҳи таъсир мекунад, ки фишори дохили губобчаро зиёд мекунад ва ҳаракат мекунад ки онро бухор кунад. Ба таври дигар худро ҳамчун зарраи губоби ифода мекунад. Барои онҳо ҳангоми бисёр хурд будани ченаки губобча фишори буг дар тағи губобча хурд аз фишори ҳамвори сатҳи он (расми 9.9.5).



Расми 9.9.5

p^x – фишори буг дар тағи губобча, p – фишори буг дар сатҳи ҳамвори губобча, r – ченаки губобча.

Биобарон ҳангоми фавқуссерӣ кам ва камераро аз чангу дигар марказҳои бегонаи тарокуми губобча тоза кардан, губобча дар он ҷое пайдо мешавад, ки ионҳо бошанд, яъне дар иззи зарра.

Агар дар камера васеъшавии адиабатӣ тартиби 1.25 гузаронем, он гоҳ дар атрофии иззи зарра туман (хирагӣ) пайдо мешавад. Изз дидашаванда мешавад. Раванд дар камера чунин аст:

1. То васеъшавӣ дар он ионҳо ва чакраҳои тасодуфӣ пайдо мешавад. Ҳамаи онҳо бо майдони электрики махсуси тозакунанда мақиш мешаванд. Пеш аз васеъшавии майдони тозакунанда гирифта мешавад.
2. Васеъшавӣ. Ба дави заррае, ки аз камера мегузарад, баъди гирифтани майдони тозакунанда, туман (хирагӣ) пайдо мешавад.
3. Равшанкунӣ ва расмгирӣ (ба тарзи одди стереокӯпӣ) мегузарад.
4. Баргаштан ба ҳолати аввалии муқарарӣ.

Камераи худкоркун мисол, ҳангоми гузариши зарра аз қайдгираки тахлиии газӣ, ки аз поени он гузошта шудааст, ба қайд мегирем.

Пайваст кардани майдони магнитӣ имконият медиҳад, ки аломати заряд, ва нисбати заряд ба тассаро муайян кунем. Дар камераи губобӣ иззро губоби буг дар масъаи тафсон (ҳидроген, пропан, кссон) пайдо мешавад.

Қайдгиракӣ синтиллатсионӣ ва черенковӣ – Дар ин ҷо фикри асоси ва оддиро истифода мебаранд. Ҳангоми ба синки сулфур афтидани алфа-зарраҳо дурахши хурд медиҳад. Дертар ин усул ҳамчун хурд самаранок монанд шуд, аммо ҳозир боз аз нав таваллуд шуд, вобаста ба дохилкардани ду ислоҳот:

- 1) Булури Z_nS – ношафоф ба булӯри шафофи $NaJ; KJ$ ва гайра иваз шуд, ки эффедро аз сатҳ ба ҳаҷм табдил дода самараноки қайдгириро баланд бардошт.*
- 2) Барои ба қайдгирифта ба ҷои ҷаҳим фотофузунсоз истифода бурдан, зарби тақвият 10^6 то 10^7 . Дигаргун кардан булур бо фотофузунсоз (ффс) худро ҳамчун қайдгирак пешниҳод менамояд.*

Тарзи кори он чунин аст – зарра ба булур афтида дар он боздори мешаванд. Гамма – квантҳо хориҷ мешавад. Ин квантҳо ба ффс мераванд. Дар даромади ффс онҳо фотоэлектронҳоро дар фотокатодҳо пайдо мекунад, ин вазифаро девори пеши ффс иҷро мекунад.

Дастаи электронҳо то $10^6 - 10^7$ маротиба тақвия дода мешавад, ба осони электронҳоро тақлид мекунад. Хосияти беҳтарини қайдгиракҳои люминисентӣ тақвияи хатти мебошад. Бинобар он бо ин қайдгиракҳо энергияи электронҳо ва зарраҳои вазнини релятивистиро чен кардан мумкин аст. Агар булур тунук бошад, он гоҳ вай энергия E –ро чен накарда балки $\frac{\partial E}{\partial x}$, яъне суръатро чен мекунад.

Бартарии ин қайдгиракҳо самаранокии калони қайдгиракӣ (~100% ин чунин барои гамма – нурҳо) вақти хомӯшии хурд $\sim 10^{-9}$ сон, имконияти ченкардани энергия мавҷуд аст.

Камбудии ин қайдгиракҳо тафрикаи энергетикашон баъд мебошад. Дар қайдгиракҳои люминисенти дар баъзе ҳолатҳо булури моеъ истифода мебаранд, ки дорои тафрикаи ҳаҷми калон мебошад (булури калон кардан мумкин аст) 100% қайдгириро бо воситаи ффс.

Қайдгиракҳои черенковӣ – моддаеро истифода мебаранд, ки нурафшонӣ черенковиро диҳад, бо ёрии ффс ба қайд гирифта мешавад. Энергияи зарра бо кунҷи косинус муайян мекунад. (бо аниқии 1МэВ дар энергияи протон 300МэВ). Қайдгиракҳои черенковӣ асосан барои ба қайдгири зарраҳои релятивистӣ мебошад.

9.10. СУРЪАТФИЗОИ ЗАРРАҲОИ ЗАРИЯДНОК.

Зарраҳои энергияшон калон: - зарраҳои суръаташон то суръати рӯшноӣ наздик суръатишоб дар тадқиқотҳои физики ва техники ба таври васеъ истифода бурда мешавад. Дар шароитҳои ҳозира дар тадқиқотҳои физики аз ҳама муҳимтаринашон истифодаи протонҳои шитобонидашуда (ва дигар зарраҳо) барои омӯхтани хусусиятҳои ҳаста ва ба ҳам табдилёбии зарраҳои бунёди мебошад. Барои иҷрои ҳамин мақсад суръатфизоҳои пуриқтидор сохта шуда истодаанд, ки ба воситаи онҳо сели зарраҳои калон

суръат ҳосил мекунад. Асоси назариявӣ ва техники суръатфизоҳо қисми алоҳидаи физикаро ташкил мекунад ва бо физикаи атом вобаста намебошанд, лекин аз сабаби он, ки раванди шитобонидани зарраҳо дар суръатфизоҳо ба ҳаракати онҳо дар майдони электрикӣ ва магнитӣ асос карда шудааст бо тарзи кори суръатфизоҳо шинос мешавем.

Тарзи соддатарини ҳосилкунии зарраҳои калонсуръат – ин суръатишитобӣ онҳо дар майдони электрики баланд мебошад. Лекин барои бо ин таъсир ҳосилкардани зарраҳои калонсуръат асбобҳои мураккаб қиммат ва истифодаашон душвор лозим мебошад. Ғайр аз ин энергияи зарраҳои ба ин тарз шитобдиҳии на онқадар калонанд. Аз ҳамин сабаб барои шитобони зарраҳо ва ҳосилкунии суръатҳои калони онҳо роҳи дигар лозим буд.

Роҳи дигари ҳосилкунии зарраҳои калонэнергия ва калонсуръат ин бисёркарата шитобонидани зарраҳо бо фарқи потенциалӣ на онқадар калон мебошад.

Якчанд усулҳои бисёркаратаи шитобонидани зарраҳо мавҷуд мебошад: ки вобаста ба истифодаи онҳо суръатфизоҳоро ба ду гурӯҳи калон ҷудо кардан мумкин аст. Гурӯҳи 1-м суръатфизоҳои хатти мебошанд, ки ба он суръатфизоҳои электростатикӣ Ван – Де – Граф; суръатфизои хатти резонансӣ ва суръатфизоҳои волноводи дохил мешаванд.

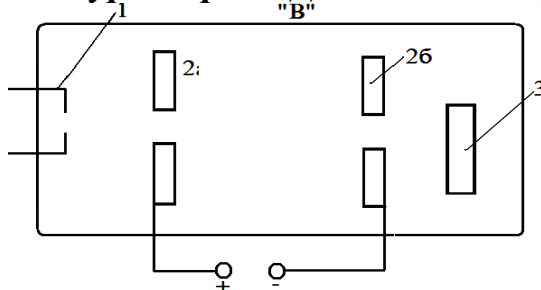
Ба гурӯҳи 2-м суръатфизоҳои синхротрон, фозотрон, синхрофазотрон ба бетатрон мебошад, ки тарзи кори онҳоро дида мебароем.

9.11. СУРЪАТФИЗОИ ХАТТӢ.

1. Суръатфизои электростатики Ван – Де – Граф.

Дар суръатфизоҳои электростатикӣ шитобонидани зарраҳои заряддор дар натиҷаи ба ду электроди канори гузаштани фарқи потенциал иҷро карда мешавад. Ба намуди умуми раҷаи чунин суръатфизоҳоро чунин тасвир кардан мумкин аст.

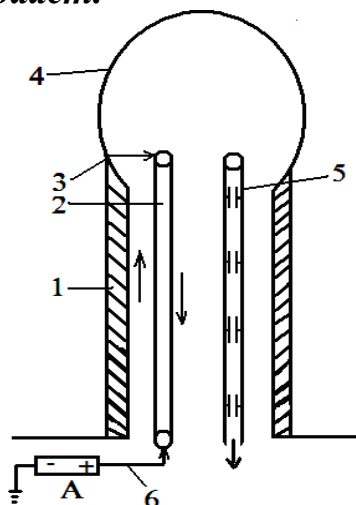
Чӣ хеле, ки аз ин расми 9.11.1 дида мешавад дар ҳолати умуми суръатфизоҳои электростатики аз лулаи вакумие иборат мебошанд, ки дар дохили онҳо манбаи ионҳои тахлияи гази 1, электродҳои 2а ва 2б нишонани 3 гузошта шудаанд. Шиддати баланди ба электродҳои канори гузошта мешудагӣ дар ин суръатфизоҳо аз ягон генератор дода мешавад.



Расми 9.11.1

Энергияи дар натиҷаи шитобонидани қабул мекардагии зарраҳо бо формулаи $w = ev$ муайян карда мешавад.

Яке аз навъҳои асосии суръатфизоҳҳои электростатикӣ – генератори Ван – Де – Граф мебошад, ки вай аз курраи дарунхолии 4, лентои диэлектрики беҳири 2, шонаҳои симини 3 ва 6, лулаи вакумӣ бисёр хонагии 5, иборат мебошад. Курраи дарунхолиро барои аз замин изолятсия кардан ба тақягоҳи 1 гузошта шудааст.



Расми 9.11.2

Шиддати баланд дар генератори Ван – Де – Граф чунин ҳосил карда мешавад. Тасмаи диэлектрики шоҳигин ё қогазин, ки аз ягон генератори А заряднок мешаванд ва дар дохили курраи 4 медихад. Заряд аз генератор ба тасма ва аз тасма ба кура бо воситаи шона симини 3 ва 6 дода мешавад, ки агар заряди кура ба ҳаво нагузарад. Шиддати максимали дар кура бо ҳамин роҳ ҳосил мекардагӣ бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$E_{np} = \frac{Q}{R^2} \text{ ва } U_m = \frac{Q}{R} \quad (9.11.1)$$

Дар ин ҷо Q – заряди кура ва R радиуси он. Аз ин ҷо $U_m = E_{np} \cdot R$

Дар вақти генератор дар шароити нормалӣ дар берун қор кардан қиммати E_{np} то 30000 В/см ($E_{np} = 30$ кВ/см) мерасад. Он гоҳ барои курраи диаметраш 1 м қиммати максималии U_m ба 1,5 МэВ мерасад.

$$U_m = E_{np} \cdot R = 30000 \text{ В/см} \cdot \left(R \frac{D}{2}\right) = 3000000 \text{ В/м} \cdot \frac{D}{2} = 1,5 \text{ МэВ}.$$

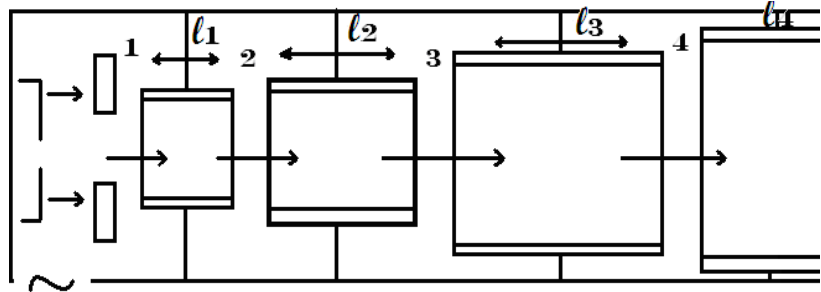
Одатан лулаи вакумӣ бисёр хонагӣ 5, ки вазифааш шитобонидани зарраҳо мебошад ба тасмаи диэлектрикӣ ба таври паралел гузошта мешавад. Зарраҳои зариядор, ки дар дохили ин лула ҳаракат мекунанд бо потенциали кура шитобонида мешаванд. Дар натиҷа онҳо ба энергияи ev соҳиб мешаванд. v – фарқи потенциалӣ байни электродҳои лулаи вакуми мебошад, ки вай аз кура гузошта мешавад.

Бо воситаи генератори Ван – де – Граф α – зарраҳоро то 8 Мэв шитобонидан мумкин аст.

Камбудии суръатфизои электростатики Ван – де – Граф дар он аст, ки онҳо бисёр калон мураккаб ва истифодаашон душвор мебошад. Аз ҳамин сабаб соли 1925 усули хатти резонансӣ шитобдиҳии зарраҳо пешниҳод карда шуд.

9.12. СУРЪАТФИЗОИ ХАТТИ РЕЗОНАНСӢ

Барои ингуна суръатфизоҳҳо зарраҳо бо фарқи потенциалӣ байни электродҳои бисёри дар як ҳамворӣ хобида шитобида мешаванд. Сохти ингуна суръатфизоҳҳо дар расми 9.12.1 нишон дода шудааст. Чӣ хеле, ки аз расм дида мешавад як қатор электродҳои цилиндрикӣ дарунҳолӣ ба генератори тағъирёбандаи басомад баланд ва баландшиддат пайваस्त карда шудаанд, ки дар он электродҳои ҷуфт ба як қутб ва электродҳои тоқ ба қутби дигар пайвастанд.



Расми 9.12.1

Дар вақти пайваستкардани генератор дар байни электродҳо майдони электрикӣ ҳосил мешавад, ки вай зарраҳои дар таркиши (зазор) афтидаро меширобонад. Дастаи ионҳо ба таркиши 1 – м бо энергияи аввалаи $e v_0$ мерасанд ва онҳо дар ин ҷо бо фарқи потенциалӣ ин таркиши шитобонида мешаванд. Дар натиҷа энергияи онҳо ба бузургии $e v$ зиёд мешавад, яъне энергияшон ба $e(v_0 + v)$ баробар мешавад. Баъд ионҳо ба электроди 1 – м дохил шуда масофаи l_1 (дарозии электроди 1–м $-l_1$)-ро бо инерсия тай мекунад. Агар дар муддати вақти масофаи l_1 –ро тай мекардагӣ аломати майдон дар электродҳо иваз шавад, он гоҳ ионҳо дар таркиши 2 боз ба шитоб соҳиб мешаванд ва энергияшон ба $e(v_0 + 2v)$ баробар мешавад, ва ҳоказо. Ба ҳамин тариқ барои онки дар басомади додашудаи генератор f ионҳо дар байни электродҳо ҳама вақт бо шитоб соҳиб шавад, дарозии электродҳо l_i –ро чунин гирифтани лозим аст, ки шартҳои синхронӣ иҷро шавад, яъне дар фосилаи дохилишавии ионҳо ба таркиши оянда аломати майдон дар байни электродҳо дигар шавад.

Шарти синхронӣ барои зарраҳои гайррелативӣ муайян мекунем. Фарз кунем, ки иони зарядаш e , массааш m_i ва энергияи аввалааш $e v_0$ дошта бошем: ва басомади генератор f , шиддати U бошад, он гоҳ дарозии l_i электродҳоро муайян мекунем.

Суръати зарраҳо баъди шитобдиҳи дар таркиши 1–м бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$v = \sqrt{2e(U_0 + U)/m} \quad ; \quad \frac{mv^2}{2} = e(U_0 + U) \quad (9.12.1)$$

Масофаи l_1 –ро онҳо дар муддати вақти t_1 тай мекунад:

$$t_1 = l_1 \sqrt{\frac{m}{2e(u_0 + u)}}; \quad l_1 = v \cdot t; \quad t = l_1/v, \quad (9.12.2)$$

Барои дуруст кор кардани суръатфизо лозим аст, ки дар муддати вақти t_1 майдон дар таркиши 2-м аломаташро дигар кунад. Ин дар ҳамон вақт иҷро мешавад, агар $t_1 = \frac{T}{2}$, дар ин ҷо $T = 1/f$ даври лапшиши генератор мебошад.

Ба ҳамин тариқ l_1 – дарозии электроди 1-м бояд ба

$$l_1 = \frac{1}{2f} \sqrt{\frac{2e(u_0+u)}{m}} \quad (9.12.3)$$

баробар шавад. Ба монанди ҳамин дарозии электроди 2-м ба

$$l_2 = 1/2 + \sqrt{\frac{2e(u_0+2u)}{m}} \quad (9.12.4)$$

ва дарозии электроди n – ӯм ба

$$l_n = \frac{1}{2f} \sqrt{\frac{2e(u_0+nu)}{m}} = \frac{1}{2f} \sqrt{\frac{2enu}{m}} \quad (9.12.5)$$

баробар мешавад.

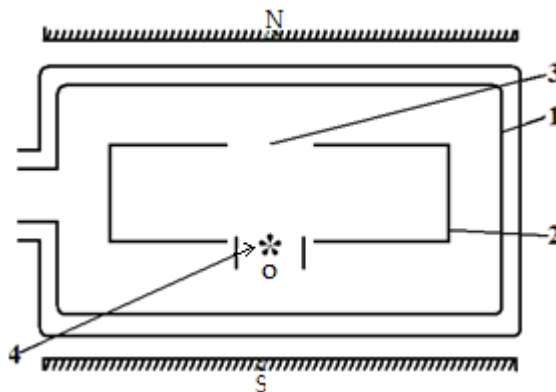
Ба воситаи чунин суръатфизо ҳамагуна зарраҳо ҳам зарраҳои сабук-электронҳо ва ҳам зарраҳои вазнин-протонҳоро тезонидан мумкин аст. Протонҳоро то 68 МэВ; электронҳоро то 0,7 БэВ (1БэВ = 10^9 эВ) шинобонидан мумкин аст.

Ин суръатфизоҳо ба чунин камбудихо соҳибанд:

1. Бо калонишавии энергия зарраҳо дарозии электродҳо ва чунин дарозии суръатфизоҳо калон мешавад.
2. Зарурияти якхела мувофиқ нигоҳ доштани басомади ва шиддати майдон, манбаи дигари душвори дар вақти шинобонидани зарраҳо бо ингуна суръатфизоҳо мебошад.

9.13. СУРЪАТФИЗОИ СИКЛӢ (СИКЛОТРОН)

Дар сиклотрон зарраҳои шинобонда ростхатта ҳаракат накарда балки қачхатта ҳаракат мекунад. Қачкунии траекторияи онҳо бо тағйир майдони магнитӣ берунаи доимӣ ба вучуд оварда мешавад. Раҷҷаи сиклотрон дар расми 9.13.1 нишон дода шудааст. Дар фазои байни қутбҳои магнитӣ N ва S камераи вакуумии 1 гузошта мешавад. Дар дохили камера ду электрод-дуантҳо 2 гузошта шуда аст. Дар дуантҳо фарқи потенциалӣ $U = U_0 \sin \omega t$ гузошта шудааст, ки вай дар байни дуантҳо 3 майдони тағйирёбандаи электрикӣ $E = E_0 \sin \omega t$ –ро ба вучуд меоварад. Дар фазои байни дуантҳо манбаи ионҳо 4 гузошта шудааст. Равиши майдони магнитӣ H ба майдони электрикӣ E перпендикуляр равон карда шудааст.



Расми 9.13.1

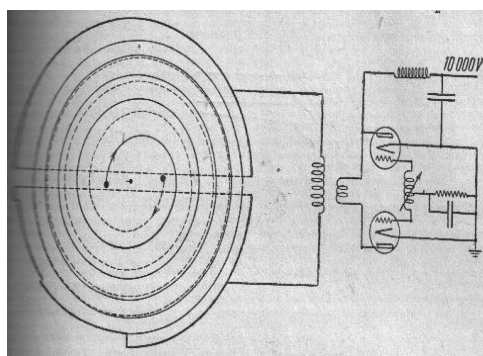
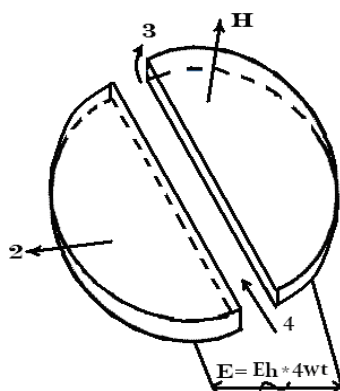
Фарз кунем, ки дар нуқтаи 0 иони мусбат пайдо шуд. Дар фосилаи вақте, ки равиши майдони электрикӣ аз дуанти 1 ба дуанти 2 равона аст ионии ба дуанти 2 бо ягон энергияи дохили мешавад. Аз сабаби он ки дар дохили дуант майдони электрикӣ мавҷуд нест энергияи вай дар дохили дуант тағъир намеёбад, лекин дар дохили дуант майдони магнитии равишаи $H \perp v$ мавҷуд мебошад аз ҳамин сабаб ион дар дохили дуант 2 бо доира ҳаракат мекунад, ки радиуси қачқии вай ба

$$r = \frac{mcv}{eH}; \quad \frac{e}{c}H = \frac{mv}{r}; \quad (9.13.1)$$

Ва даври гардишаи $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi mc}{eH}$

$$\text{Басомади чархзаниаиш бошад} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{eH}{mc} \quad (9.13.2)$$

Аз формулаҳои оварда шуда дида мешавад, ки бо қалоншавии суръат радиуси чархзани ионҳо қалон мешаванду, лекин басомади чархзани доимӣ мемонад, то он даме, ки зарра гайри релятивӣ бошад. Расми 9.13.2



Расми 9.13.2

Ионҳои дар дохили дуанти 2 ҳаракат карда пас аз ягон муддати вақт ба тарқиши байни дуантҳо меоянд. Барои он, ки ин ионҳо боз ба шитоб соҳиб шаванд, лозим аст, ки равиши майдон нисбат ба пештарааш акс шавад. Азбаски басомади гардиши ионҳо дар майдони магнители аз суръат вобаста нест, ионҳои ба тарқиш расида дар ҳамон вақт ба шитоб соҳиб мешаванд, агар басомади тағъирёбии майдони электрикӣ бо басомади чархзани ион баробар бошад. Дар вақти иҷро шудани ҳамин шарт ионҳои ба тарқиш расида боз ба шитоб соҳиб мешаванд, ва дар дуанти 1 бо суръати қалонтар дохил мешаванд. Акнун дар дохили дуанти 1 ионҳо бо доираи радиусаи қалонтар ҳаракат мекунад. Ҳамин тариқ раванди бисёр такрор мешавад ва энергияи ионҳо то рафт қалон мешавад. Энергияи кинетики ионҳо аз радиуси ва майдони магнители чунин вобастагӣ дорад:

$$E_k = \frac{m_0 v^2}{2} = \frac{e^2 R^2 H^2}{2m_0 c^2} \quad (9.13.3)$$

Агар $R = 1\text{м}$; $H = 18 \cdot 10^3$ эрстед, ионҳои азот ба чунин энергия соҳиб мешаванд.

$$E = \frac{23 \cdot 10^{-20} \cdot 18^2 \cdot 10^6 \cdot 10^4}{2 \cdot 14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-24} \cdot 9 \cdot 10^{20} \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}} = 11,5\text{МэВ}. \quad (9.13.4)$$

Оянда қалонкунии майдони магнитӣ душвор мебошад, чунки сершавии магнители оҳан ба вуҷуд меояд. Ғайр аз ин душвори техникӣ, душвори дигари физики-намоёнишавии масса аз суръат v мавҷуд аст, ки вай ҳудуди шитобонидани зарраҳоро дар сиклотрон муайян мекунад.

Мо фарз карда будем, ки дар вақти шитобонидани зарраҳо дар циклотрон масса доими $m = m_0 = \text{const}$ мебошад. Дар ҳақиқат бошад массаи зарраи ҳаракат кардаистода бо суръат чунин вобастагӣ дорад.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Аз ҳамин сабаб басомади чархзании ион бо формулаи зерин муайян карда мешавад.

$$\omega = \frac{eH}{m_0 c} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (9.13.5)$$

Аз ин формула ду хулоса баровардан мумкин аст:

1. Вақте, ки энергияи зарра калон мешавад ва вобаста ба он нисбати v^2/c^2 на он қадар хурд бошад. Даври гардиши зарраҳо аз сабаби

зиёдшавии масса ба калоншави сар мекунад. Дар натиҷа басомади генератор ба басомади чархзании зарра якхела намешавад. Дар натиҷа ион аз майдони резонанси берун мебарояд, майдон ионро ба суस्तкунӣ сар мекунад ва энергияи он ба хурдшавӣ сар мекунад. Ана ҳамин вақти калоншавии v^2/c^2 ҳудуди шитобонидани зарра дар циклотрон мебошад.

2. Барои ягон энергияи муайян суръати зарраҳои вазнин аз суръати зарраҳои сабук хурдтар мебошад. Аз ҳамин сабаб дар циклотрон беҳтараши зарраҳои вазнинро шитобонидан лозим аст, инро дида мебароем.

Барои ҳосил кардани тартиби резонанс дар циклотрон лозим аст, ки:

$$\omega = \frac{eH}{mc} = \text{const.}$$

Басомадро дар ҳамин вақт доими шуморидан мумкин аст, агар вобастагии масса аз суръатро ба назар нагирем яъне

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx m_0$$

гӯем дар вақти $v^2 \ll c^2$. Дар вақти ҷой доштани ин шарт энергияи кинетики бо формулаи $w = \frac{m_0 v^2}{2}$ муайян карда мешавад. Аз ҳамин сабаб

шарти $v^2 \ll c^2$ —ро чунин навиштан мумкин аст: $\frac{v^2}{c^2} = \frac{2w}{m_0 c^2} \ll 1$

Яъне вобастагии масса аз суръатро дар ҳамон вақт ба назар нагирифтани мумкин аст, агар энергияи кинетики зарра аз энергияи оромиаи бисёр хурд бошад. Маълум аст, ки дар вақти ба энергияи якхела шитобидани зарраҳои гуногун вобастагии масса аз суръат тезтар барои зарраҳои сабук, (массаи оромиашон хурд) намоён мешавад. Масалан:

Энергияи оромии электрон $m_{0e} c^2 = 0,5 \text{ Мэв}$

Энергияи оромии протон $m_{0p} c^2 = 900 \text{ Мэв}$

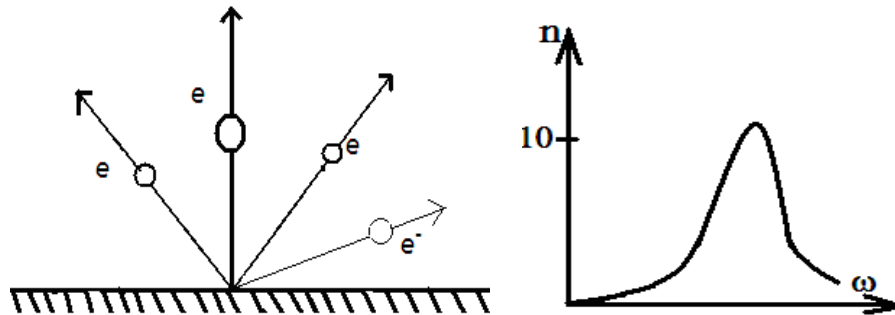
Аз ҳамин сабаб дар вақти $w = 1 \text{ МэВ}$ будан суръати протон бисёр хурд мебошад $w \ll m_{\text{ор}}c^2$, яъне $v \ll c$ аз ин ҷо вобастагии масса аз суръатро ба назар нагирифттан мумкин аст. Барои электрон бошад $w > E_{0э}$, бинобар он массаи электрон аз массаи аввалаи бисёр фарқ мекунад, ва басомади чархзаниаш дар сиклотрон доимӣ намемонад.

Бинобар он дар сиклотрон асосан зарраҳои вазнин: протон ва гайраҳоро мешинобонанд.

9.14. ФОТОФУЗУНСОЗҲО (ФФС)

Фотофузунсози электрикӣ - асбоби электровакуумие мебошад, ки дар он фотоҷараён дар натиҷаи бо рӯшноии равшанкардани катод ҳосил карда мешавад, дар натиҷаи эмиссияи электронӣ дуйӯмин зиёд мешавад. Эмиссияи электрони дуйӯмин ин ҳодисаи аз сатҳи қисм кандани электронҳои дуйӯмин бо бомбаборонкардани сели электронҳои якӯмин мебошад.

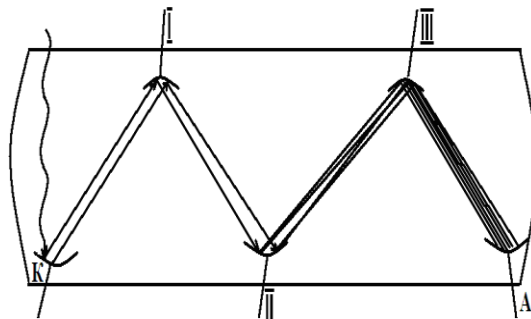
Таҷриба нишон медиҳад, ки миқдори электронҳо аз сатҳи қисм дар натиҷаи эмиссияи дуйӯмини электрони мебаромадагӣ аз миқдори электронҳои калон энергияи аввалаи ба қисм меафтадагӣ якчанд маротиба зиёд мебошанд расми 9.14.1.



Расми 9.14.1

Дар расми 9.14.2 вобастагии миқдори электронҳои дар натиҷаи сатҳи сейзиро бо як электрон бомбаборон кардан ҳосил мекардагӣ аз энергияи \bar{u} нишон дода шудааст.

Чӣ хеле, ки аз ин ҷо дида мешавад дар ягон қиммати муайяни энергияи электрони моддаро (сейзиро) бомбаборон мекардагӣ даҳто электрон дуруст меояд.



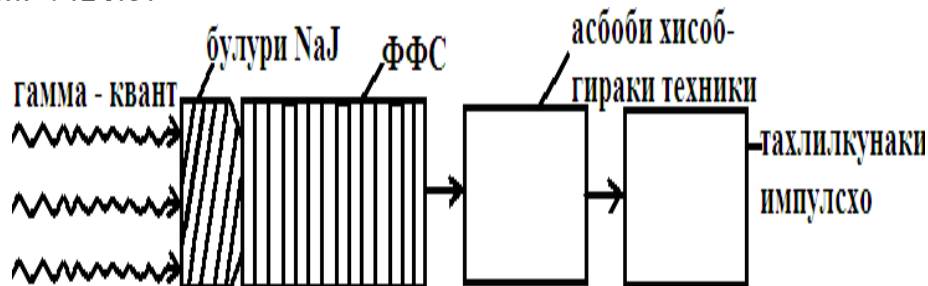
Расм 9.14.2

Тарзи кори ФФС чуни насту:

Ба катод дастаи нури рӯшноии меафтад. Баъд дастаи фотоэлектронҳо ба эмитри I меафтад. Ҷараён n – маротиба зиёд шуда ба эмитри 5 меафтад, баъд ҷараёни боз n маротиба зиёд шуда ба эмитри охиринок меафтад ва

ҳоказоҳо. Дар охир аз эмитри охирон мо чараёни n маротиба калоншударо қабул мекунем, ки вай ба анод дода мешавад.

Барои иҷро шудани шартҳои болои дигаргунсозии майдони электрикӣ чунон гирифта мешавад, ки якҷум электронҳо аз як эмитр ба дигарашон афтанд, дуюм энергияи онҳо барои кандани электронҳо аз дигар эмитрҳо кифоягӣ кунад, расми 9.14.3.



Расми 9.14.3.

Фотофузунсозҳо дар физикаи ҳаста барои ба қайдгирии зарраҳои заряднок истифода бурда мешаванд.

9.15. РЕАКТОРҲОИ ҲАСТАӢ ВА ҲИФЗИ ОНҲО.

Суръатфизо ҳамчун манбаи афканишоти иониш. Тадқиқот дар бораи дозасанҷи ва ҳимояи физика баъди ба қор даровардани синхрониклотрони 5 метр соли 1949 сар шуд, проблемаҳои актуалӣ гузаронида шудаанд.

Яке аз натиҷаҳои авали тадқиқоти дар синхрониклотрони диаметраш 5 метри, асосан тақсимишавии зичии дастаи нейтронҳо бо энергияи зиёда аз 20 МэВ буд, ки нишона ба чузҳои камераи вакуми суръатфизои протонҳо, дейтронҳо ва алфа-зарраҳои энергияшон 480, 280 ва 560 МэВ мувофиқро қабул мекунад. Натиҷаҳои гирифташуда имконияти баҳододани ҳимояи лозимиро таъмин мекунад, толори чудогона барои гузаронидани таҷрибаҳо аз толори навқардани синхрониклотрони протонҳо энергияи 660 МэВ, чудо аст. Ин дастгоҳ дар нимаи дуоми декабри соли 1953 бо чараёни тахминан 0,2 мк А бо фувафақият бок ор дароварда шуд. Якбора баъди ба қор даровардани савияи афканишоти ионишро дар толори суръатфизо, дар хонаи таҷрибагузаронӣ ва хонаи таҷрибагузаронандагон чен карда шуд, ки он хатоеро надишт.

Дар ченкуниҳо камераи ионизатсионӣ, ки чараёнро дар холиги (ковокӣ) фазои ҳаво чен мекунад, истифода буданд, гайр аз ин камераи импульсии ионизатсионӣ барои ба қайд гирифтани пораҳои тақсимишудани висмут, зарраҳои энергияи баланд ва лавҳаҳои карбон, ки пайдоиши зарраҳои энергия баланди фаолиятнокро ба қайд мегирад истифода бурданд.

Сохтани қайдгиракҳои нейтронҳо, ки ба ҳиссиёти баланд соҳиб аст, имконият дод тақсимишавии флюенсаи нейтронҳоро берун аз ҳудуди бинои суръатфизо тадқиқот гузаронанд. Ин натиҷаҳо барои зиёд кардани чараёни дохили дастаи зарраҳои суръатфизо буд, ки ба сохтани ҳимояи иловагӣ аз тахтасангҳои бетонӣ зафсиашон 6 метр ба замини атрофии бинои синхрофазотрон истифода бурданд.

Ченкунии савияи афканишот дар назди синхрофазотрон ва атрофии он нишон дод, ки пешгирии ҳимояи иловагӣ зарур аст.

Бо мақсади омӯхтани қонуниятҳои тақсимишавии нейтронҳо дар масофаҳои калон аз суръатфизо таҳлили натиҷаҳои ҷеншуда дар масофаи то 1500 м аз синхрониклотрон ва то 700 м аз синхрофизатрон гузаронида шуд.

Ин ҷенкуниҳо имконият дод, ки пешгирии ҷимояи радиатсиониро барои коргарони касби институт ва аҳолии шаҳр муайян ва таъмин кунанд. Ҷенкунии майдони афканишот дар наздикии бинои сиклотрони лабораторияи реаксияи ҳастаи (ЛРХ) ва дигар сиклотронҳои ОИЯИ нишон дод, ки дозае, ки коргарони касбии институт қабул мекунанд хело кам аст.

Бо мақсади аниқ ва дуруст фаҳмонидан назорати дозасанҷӣ, тадқиқоти интенсификатори таркиби афканишот ва тақсимишавии энергияи флюенси нейтронҳо, ҳамчун ҷузъи асосии майдони афканишоти беруна аз ҷимояи суръатфизо ҳангоми кор хеле зарур буд.

Натиҷаҳои гирифташуда имконият доданд, ки қонуниятҳои ба шакли муайян даровардани майдони афканишоти ионизатсиониро аз ҷумла, нейтронҳоро берун аз ҷимояи суръатфизои зарраҳои заряднок барқарор кунем.

9.16. РЕАКТОРИ НЕЙТРОНҲОИ САРЕЪИ ИМПУЛСӢ

Тадқиқоти ҳолати радиатсионӣ дар хонаҳои технология ва толори таҷрибагузаронии реакторҳо, инчунин дар ҳудуди онҳо нишондоди пешгирии ҷимоя бояд ҷидди бошад. Бо мақсади тафтишии комилан мувофиқ будани нишондоди ҷораҳои амалӣ назорати дозасанҷӣ, дозаи афканишоти ионизатсионӣ тақсимишавии нейтронҳо аз энергия дар дастаи ИБР-30, дар сатҳи замин барои баровардани даста аз ИБР-20 омӯхта шуд. Бо ин мақсад, ки нисбати дозаи гамма афканишот аз дозаи нейтронҳо дар ҷойҳои гуногун омӯхта шавад. Барои ҷора дидани беҳатарӣ дар ҳолатҳои садама бо дастгоҳи гармобар таркиби радионуклидҳои гармобар аз натри чен карда шуд.

Дар асоси натиҷаҳои гирифта ҳолати радиатсионӣ аз дастгоҳи кори физикавии ҳастаи ОИЯИ ва баҳододани савияи хатар аз садамаи гипотонӣ дар реактор барқарор карда шуд, ки эҳтимолияти зарар аз ин манбаҳо нисбати зарар дидани дигар манбаҳои радиатсионии манбаи хурд аст.

Толори назорат ва идора кардани реакторҳои ҳастаи. Дар ин толор тамоми қолҳои васл кардани реактор мушоҳида ва назаррас мебошад.



Дар расми нақшоҳо системаи назорати, идора ва васл кардани реакторҳо оварда шудааст.

Тарзи кор, порашавии изотопи уран, ки ба реаксияи занҷири мебиёрад, ки ба ҷудошавии миқдори калони энергия вобаста аст. Инчунин ҷузъҳои асосии реактор, маводи сузишвори низ оварда шудааст.

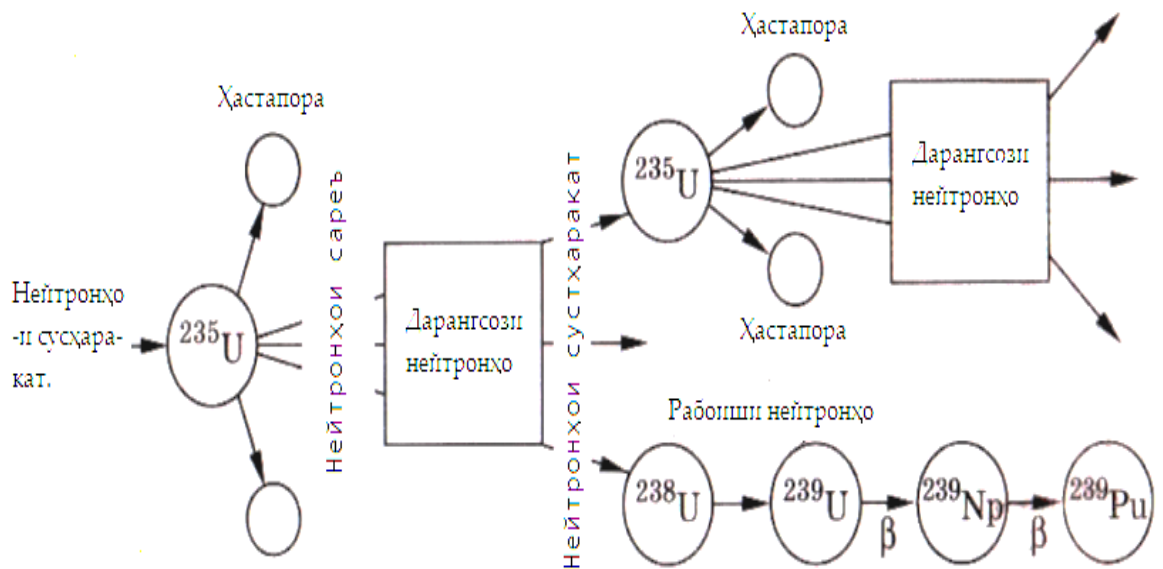
Реакторҳои ҳастаи (ё атоми) дастгоҳеро меноманд, ки тақсимишавии реаксияи ҳастаи ҳосил карда мешавад.

Ҳастаи уран (махсусан изотопи ${}_{92}^{235}\text{U}$) ба роиши нейтронҳо сустҳаракат самараноктар мебошад

Эҳтимолияти роиши нейтронҳои сустҳаракат бо минбаъда тақсимишавии ҳаста сад маротиба калон нисбати нейтронҳои сараъ.

Дар реакторҳои ҳастаи, ки бо урани табиӣ кор мекунанд, дарангсози нейтронҳоро барои баланд бардоштани зарби афзункунии нейтронҳо истифода мебаранд.

Речи равандҳо дар реактори ҳастаи:



Элементҳои асосии реактори ҳастаи:

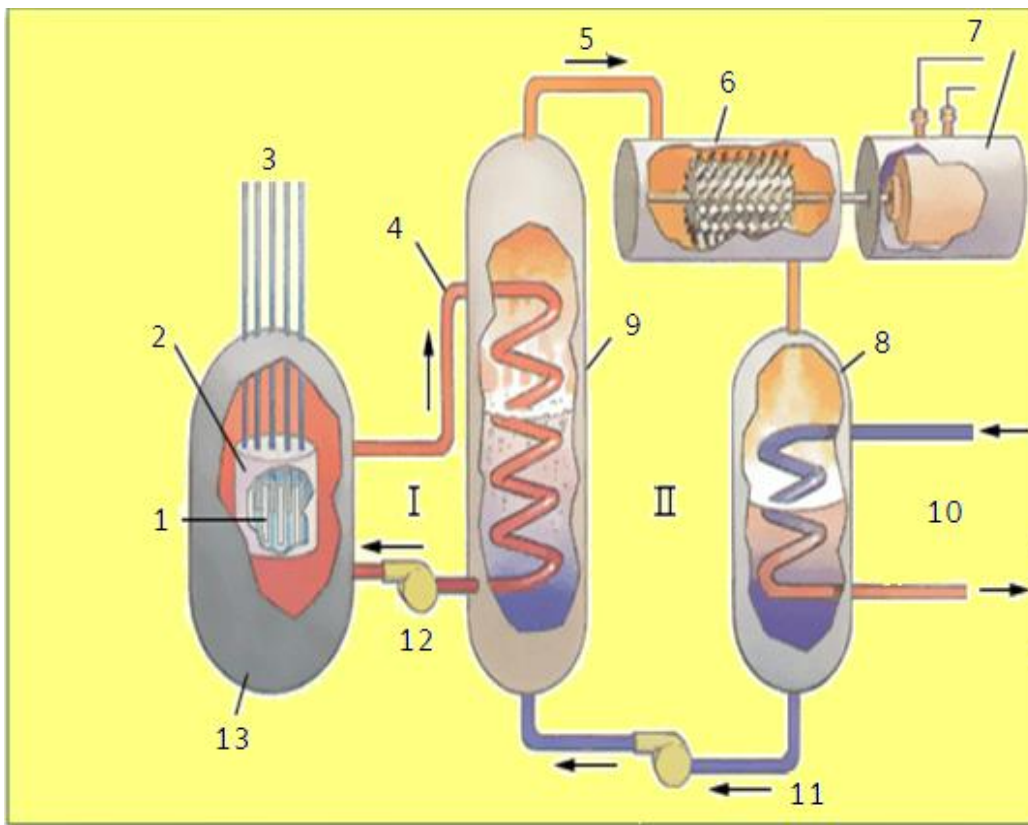
- 1) Сӯзишвории ҳастаи ^{235}U , ^{239}Pu , ^{238}U ва Ғайра.
- 2) Дарангсози нейтронҳо (оби вазнин ё оддӣ, графит ва Ғайра);
- 3) Гармибар барои баровардани энергия, ҳангоми коркарди реактор ҳосил мешавад (об, нарма моеъ ва Ғайра);
- 4) Дастгоҳ барои васли суръати реаксияе, ки дар реактор дохил мешавад (миллаи реактори фазагӣ, ки дорои моддаи кадмий ва бор, ки нейтронҳоро нағз фуру мебарад);

Беруни реактор қабати ҳимоягӣ иҷтоташуда, гамма афканишот ва нейтронҳоро нигоҳ медорад.

Қабати ҳимоя аз бетон бо якҷоягии оканишсози оҳан тайёр карда мешавад.

Нишондодҳои речаи реактор:

- 1) Миллаи барои ғанигардони омехтаи изотопи уран.
- 2) Дарансози нейтронҳо.
- 3) Миллаи васкунанда.
- 4) Гормобар.
- 5) Буғ.
- 6) Турбин.
- 7) Генератор.
- 8) Конденсатор.
- 9) Чуфт генератор.
- 10) Оби хунуккунанда.
- 11) Помпа.
- 12) Помпа.
- 13) Ҳимоя аз радиатсия.



Массаи бӯхронӣ

Массаи бӯхронӣ- массаи хурдтарини моддаи тақсимишуда, ки реаксияи занҷирии ҳастаи мегузарад.

- Дар ченаки хурд таровиши нейтронҳо аз дохили сатҳи зинаҳои фаъоли реактор зиёд аст (ҳаҷм, ки милла бо уран ҷойгир аст).

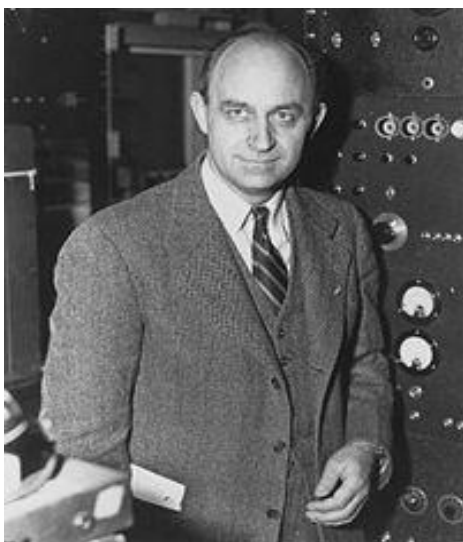
- Бо зиёдшавиши ченаки система адади ҳастаҳо, ки дар тақсимишави иштирок доранд меафзояд, бо афзудани ҳаҷм, аммо адади нейтронҳо, ки дар натиҷаи таровиши сарф мешаванд, вобаста аз масоҳати сатҳ мутаносиб меафзояд.

Афзоиши система бо қимати зароби ҷамъшави $k=1$ соҳиб шудан мумкин аст. Система дорои ченаки бӯхронӣ мешавад, агар адади нейтронҳо, ки дар натиҷаи роиши ва таровиши сарфшуда, бо адади нейтронҳо дар протсеси тақсимишави ҳосил мешавад баробар аст.

Ченаки бӯхронӣ (массаи бӯхронӣ) муайян мешавад.

- 1) Навъи сӯзишвории ҳастаи;
- 2) Дар ангсози нейтронҳо;
- 3) Асоси конструксионии реактор;

Аввалин реакторҳои ҳастаӣ, занҷири реаксияи ҳастаи уранро дастаи олимони бо роҳбариши Энрико Ферми дар декабри соли 1942 дар ИМА кашф намудаанд.



9.17. ТАДҚИҚОТ ДАР СОҲАИ ҲИМОЯИ ФИЗИКИ.

Лоиҳаи кор барои сохтани суръатфизои насли нав, гузаронидани тадқиқотҳои гузариш ба зарраҳои энергияи баланд, аз ҷумла нейтронҳои шароитҳои таъмини ҳимоя ва пешгирии хатар радиатсиониро талаб мекард. Таҷрибаҳои якҷум дар девори ҳимоягии синхросиклотрон гузарониданд, барои ин якҷанд сурохиҳои дарозии 2 метри таёр карда шуд. Дар натиҷаи бақайдгирии нейтронҳои маълум шуд, ки интенсивияти нейтронҳои ба намуди экспоненти суст мешаванд. Сустшавии дастаи нейтронҳои бо энергияи зиёда аз 20 МэВ ба дарозии сустшавии $61 \pm 1,5$ см дар бетони зичии $(2,35 \text{ г/см}^3)$ мегузарад.

Вобастагии флюенс (нисбати адади зарраҳои дар ин ё он фосилаи вақт сатҳи додашуда перпендикуляранд, гузашта бар масоҳати ҳамин сатҳ) нейтронҳои энергияи хурдтарин аз гафсии ҳимоя дар аввал аз экспонентӣ возеҳан фарқ мекунад, пас аз гузариши гафсии наздик ба 50 см ба нейтронҳои энергия баланд, мувозинат мешаванд.

Сикли калони таҷриба иҷро карда шуд, бо мақсади барқарор кардани таъсири таркиби бетон ба дарозии сустшавии нейтронҳои ва омилҳои гунишавии нисбати флюенси нейтронҳои омӯхта шуд. Дар ин ҳолат миқдоран мувофиқат кардани об ва бор-ро дар бетон муайян кардан буд.

Натиҷаҳои ҳавасовар барои ҳимояи оҳану об гирифта шуд. Дар натиҷаи қайдгириҳои якуминбор вобастагии дарозии сустшавӣ аз энергияи максималии нейтронҳои то якҷанд садҳо МэВ ва аз массаи миёнаи атоми маводи ҳимоя барқарор карда шуд. Бо мақсади ҷамбаст кардани натиҷаҳои таҷрибавӣ ва фаҳмиши чуқури онҳо ва гузаронидани имтидод ба шароит аз таҷриба фарқ мекунад, муодилаи гузариши зарраи энергия баланд, дар ҳимоя ҳал карда шуд. Бо истифодаи баъзе фарзиятҳо ҳалли муодиларо ёфтанд, ки намудаи монанди тақсимшавии энергиявии флюенси нейтронҳои дар ҳимоя аст. Дар ин тадқиқотҳо якуминбор диққат дода шуд ба гунишавии калони нейтронҳои энергияшон наздик ба 24 кэВ дар ҳимояи оҳан, ки ба сустшавии дарозии роҳи тайкарди нейтронҳои ниҳояд зиёд, нисбати нейтронҳои энергияи баланд,

овард. Ин ҳодиса дар соли 2001 дар таҷрибае, ки ба суръатфизои пурқуввати 1S1S гузаронида шуд, тасдиқи худро ёфт.

Тадқиқоти таҷрибавӣ гузариши афканишот аз синхрофазотрон, вобастагии камқуввати дарозии сустшавии нейтронҳоро аз энергияи максималии тайф нишон дод. Натиҷаҳои тадқиқоти дар лоиҳаи суръатфизои пурқуввати протонҳо ва балоиҳагирии ҷимояи комплекси суръатфизо дар Протвино истифода бурда шуд.

Протвино- яке аз шахрҳои вилояти Москва, ки суръатфизои протонҳои энергиябаланд, сохта ба қор дароварда шудааст.

Тадқиқоти радиофаъолҳои ангезонида (шуда).

Назорати шахси нурбарии кормандани касбӣ, ба истифодабари ва гузаронидани таҷриба дар суръатфизоҳо ва реакторҳо нишон дод, ки то 80% дозаи нурбории ба гамма афканишоти радиофаъоли ангезонида (шуда), асос қарда шудааст.

Ҳаракати таҷрибагузарониҳо барои зиёд кардани тавоноии дастаи зарраҳои шитобида савияи ангезонида (шуда) радиофаъол ангезонида (шуда) қиммати савияви буд. Ин ба зарурате овард, ки роҳи паст фурувардани фаъолишавии маводҳо ва ловозимотҳоро кофта ёбанд. Бо мақсади муайян кардани маводҳое, ки камфаъолшуданд, ҳангоми нурбории бо зарраҳои энергияшон баланд фаъолишави наздики 50 элемент ва пайвастагиҳоро омӯхта шуд. Фаъолияти зиёдро маводҳои конструксионӣ дар асоси алюмин ва мис; дорои фаъолишавии хурди маводҳои сохтумонӣ мрамор, бетони оддӣ (дар таркибаш марган) доштанд, фаъолишавии оби хунуккунанда ва ҳаво пешгири ҷимояи махсусро талаб мекард. Дастаи зарраҳои зарядноки вазнин, ки то энергияи баланд, аз якчанд киловатт зиёдаст шитобонида мешуд бо қайдгиракҳои махсуси самаранокишон баланд, ба қайд гирифта шудаанд.

9.18. УСҶЛ ВА ВОСИТАҲОИ БАҚАЙДГИРӢ.

Ягона дастгоҳи физики ҳастаи ва пайдокунии майдони афканишоти ионизатсионӣ ба зарурияти коркард ва барпокардани комилан мувофиқ будаи воситаҳои радиометрӣ ва дозиметрӣ овард. Пеш аз ҳама радиометрҳо ва дозиметрҳои нейтронҳо аз ҳарорати то садҳо МэВ, имконият медиҳад флюенс ва дозаро аз қиммати галогула (фон) ва зиёдро ба қайд гирем. Ба сифати қайдгиракҳои нейтронҳо асбобҳои синтиллатсионӣ, тахлияи газӣ ва ионизатсионӣ хизмат мекарданд, ки дар намнокии калони афканишот, қобилияти қори хуб доштанд. Дастгоҳи физикаи ҳастаи масоҳати калонро дошт, зарур ва тез ҳис кардани тағйирёбии савияи афканишот, назорати муниму коргарони касбӣ ба зарурияти овард, ки системаи назорати автоматики дар ҳолатҳои радиатсиониро қор қарда бароянд. Ингуна системаҳо тайёр қарда ба қор дароварда шуд, дар ҳамаи дастгоҳҳои физикаи ҳастаи амал мекунад.

Дар савияи ихтироғии зелчинским М. дозасанҷи рекомбинатсионӣ омехтаи афканишоти ионизатсионӣ сохта шуд, ки имконият медиҳад,

дозаи фурубурди эквивалентӣ ва омили сифатан гузариши афканишотро чен кунанд.

Барои назорати ганоиши иоди радиофаъл дар хонаҳои технологии реактор дастгоҳе коркарда шуд, ки имконият медиҳад, ганоиширо дар савияи 10 Бк М^{-3} ба қайд гиранд.

Коркарди усулҳо ва воситаҳои назорати шахсӣ дозаи афканишотро аз дастгоҳи физикаи ҳастаи марказҳо ва институтҳо дар асоси фотоэмулсияи ҳастаи ва қайдгираки термолюминисенти ба қайд гирифта мешаванд. Мувофиқи нишондоди воситаҳои назорати фурубарии, эквиваленти ва дозаи самараноки дар майдони афканишоти физикаи ҳастаи дастгоҳҳои махсус ва манбаҳои радионуклидҳо омӯхта шуд.

Вобастагии энергия аз ҳиссиёти баъзе дозасанҷи нейтронҳо омӯхта шуд, ки натиҷаи он пешниҳоди дар бораи функцияи ҳиссиёти қайдгиракҳои нейтронҳои суствҳаракат ва ҳарорати дар суствкунакҳо ва муайян кардани хатогии ченишудаи тавоноии дозаи беруни аз ҳудуди ҳимояи дастгоҳи физикаи ҳастаи мебошад.

Бо мақсади муайян кардани эътиборнокии (дурустӣ) воситаҳои ченкардани тавсифи майдони афканишот бояд иҷро карда шавад:

- муқоисаи усулҳои гуногун ва асбобҳои дозасанҷи дар майдони афканишоти суръатфизои протонҳои шитобидашуда.

- Муқоисаи байналхалқӣ доир ба воситаҳои чен кардани тайфи нейтронҳо ва дозаи афканишот дар дастаи ИБР-30.

- Муқоисаи натиҷаҳои ченишудаи тавсифи майдони радиоатсионӣ ва нишондоди қайдгиракҳои гуногун дар «нарм»-и тақиягоҳи майдони фазатрон ва дар ду тақиягоҳи майдонҳо дар асоси Cf^{252} дар суствкунаки полуэтиленӣ иҷро карда шавад.

Натиҷаҳои ин тадқиқотҳо нишон доданд, ки ба тартиб овардани аниқ ба қайдгирии тавсифи майдони афканишот радиатсионӣ дар баъзе мавридҳо иҷро мешавад. Аммо воситаи назорати шахсии дозасанҷӣ, ки ба қайдгиракҳои термолюминисентӣ асос ёфта аст, дар савияи хубтарини байналхалқӣ ҷой дорад.

Баъди бунёдишудани суръатфизо ва реакторҳо ҳулосаи кори панҷсолаи назорати дозасанҷӣ коргарони касбӣ, дар синхросиклотрон кор мекунанд, гузаронида шуд. Ин ҳулоса бо натиҷаҳои мушоҳидаи диспансери кормандони институтути гигиена ва касалиҳои касбӣ муқоиса шуданд. Муқоисаҳои нишон доданд, ки аксарияти нишондодҳои, ки ба гурӯҳи назорати яъне одамоне, ки бо афканишот кор намекунанд, хело хуб аст. Ин шохиди он аст, ки умед аз таъсири зарраи энергия баланд, ягон зарбаи ба худ хос надорад, асос ҳам нест. Ғайр аз ин, ба натиҷаҳо метавонад таъсир расонад, интихоби диққатноки одамон ва коргарони касбӣ аз тарафи хизматросонии тибби, чи тавре, ки ҳангоми ба кор қабул кардан интихоб мекунанд, ба нурбарии алоқа надорад. Ин ҳулоса дар ҷамъияти кормандон, ки дар синхрофазатрон кор мекунанд тасдиқи худро ёфт.

Натиҷаҳои тадқиқоти ҳаматарафа дар бораи ҳолатҳои радиатсионӣ ва натиҷаҳои назорати шахсии дозасанҷӣ дар давоми зиёда аз 40 сол нишон дод, ки манбаҳои афканишоти ионизатсионӣ институтҳои ҳастаи ҳамаги 4%-и

дозаи табиӣ суммави самараноки дар дозасанҷи ва физикаи Ҳимояро ташиқил мекунад.

Боби 10.

10.1 ДОЗАСАНҶИ ВА ҲИФЗИ РАДИАТСИОНӢ

Баъди каишти радиоактивият (радиофаъолият) ва пайдо кардани масолеҳи ганоишкардаи радиоактивӣ қайд карда шуд, ки нурҳои ҳастаӣ дорои энергияи хеле калон буда, ба организми инсон зарари калон мерасонад.

Таъсири ҳалокатоваре, ки афканишоти дар организм фурурафта ба вучуд меоварад, аз натиҷаҳои тадқиқотҳои таҷрибавӣ маълум шудааст.

Масъалаҳои беҳатарӣ ва муқарар намудани меъёрҳои ҷоиши ҳудуди радиатсионӣ дар якҷанд конференсияҳои илми байналхалқӣ муҳокима ва аниқ карда шудааст. Ин меёр беҳатарӣ ва саломати инсонро таъмин мекунад, агар интензивияти нурҳои ҳастаии истифодашаванда аз дозаҳои ҷоишӣ нисбатан хурд бошад. Шахсоне ки ҳангоми кор бо таъсири нурҳои ҳастаӣ гирифтаганд, бояд аз курси дозасанҷӣ гузаранд ва дар ин бобат дониши кофӣ дошта бошанд.

Махсусан, хатари калони ба афканишот вобастадошта пас аз коркарду корбасти бомбаи атомӣ фаҳмо ва равшан гардид.

Аксарияти коргарон дар аввал аз беҳатарӣ ва ҷораҳои эҳтиётӣ аз таъсири нурҳои ҳастаӣ тамоман беҳабар буданд. Барои муҳофизати коргарон гурӯҳҳои махсус ташиқил шуда буданд, ки онро «физикони санитарӣ» ё коргарони беҳатарии радиологӣ меномиданд. Ин гурӯҳҳо гарви салоҳият ва муҳофизату саломати коргарон буда, қаноатбахш кор мубурданд. Ҳатто дар шароити ҳарбӣ, ки миқдори зиёди ашёи радиактив истифода мешуд, дар натиҷаи вайрон кардани қоидаи беҳатарӣ аз ҷониби коргарони бо ихтисос чандин ҳолатҳои вазнин ҳам ҷой дошт.

Муқарар шуда буд, ки ҳангоми роия намудани ҷораҳои эҳтиётӣ корҳои зиёдро бо миқдори дилхоҳи ашёи радиактив гузаронидан мумкин аст.

Дарачаи таъсири радиатсионии изотопҳои дар организми инсон мавҷуданд, аз дозаҳои нури, ки дар бофтаҳо фуру меравад, нурбориши бофтаҳо, узвҳои гуногун, интиҳоб кардан ва ҷамъшавии изотопҳо дар узви бадани инсон муайян карда мешавад.

Ин раванд, бо суръат ба организм бо ёрии маҳсулоти ҳурока монанди об, ҳаво, бо роҳи нафас ба медаву рӯда дохил шудани моддаҳои радиактив ва дарачаи азхудкунӣ, нигоҳдошташавии изотопҳо дар организм вобаста мебошад.

Бинобар он масъалаи таъмини беҳатарии радиатсионии инсон ҳангоми истифодабарии моддаҳои радиактив дар маркази диққат меистад, зеро нури ионзои аз берун ба организми инсон таъсир расонанда ё ба дохили организм бо роҳи нафас, об, ҳурока гузаранда ҳаффи калон дорад. Аз ин нуқтаи назар барои таъмини беҳатарии коркунони касбӣ, ки бо нурҳои ҳастаӣ сару кор доранд, ҷораҳои махсус пешбинӣ карда шудааст: либосҳои махсус-сарпӯшак, хилъати сафед, пойафзоли резинӣ, хонаҷаҳои махсус, ки дар он моддаҳои радиактив нигоҳ дошта мешаванд ва гайраҳо. Инсон моддаҳои радиактивро аз гайрирадиактив бо воситаи органҳои ҳиссиёт ба

монанди биной, шунавоӣ, лаззат фарқ намекунад. Афканишот диданашаванда, бӯй ва овоз надорад, ҳангоми паҳншавӣ ҳиссиёту лаззат пайдо намекунад.

Бинобар он моддаҳои радиактивро аз гайрирадиактив танҳо бо ёри асбобҳои махсус фарқ кардан мумкин аст.

Дар айни замон дар бисёр соҳаҳои фаъолияти инсон, хоҷагии халқ, илму техника ва тиб моддаҳои радиактив ва нурҳои ионзо торафт васеъ истифода мешаванд. Доираи шахсоне, ки бо нурҳои ионзо кор мекунад, рӯз то рӯз меафзояд. Дар чунин шароит масъалаи ҳифз аз нурҳои ионзо аҳмияти хеле муҳим пайдо мекунад.

Тӯли чанд даҳсола радиологҳо ва физикҳо ба масъалаҳои дозасанҷӣ ва ҳимоя аз нурҳои радиактивӣ машғуланд. Вобаста ба инкишофи физикаи атом ва ҳаста масъалаҳои дозасанҷӣ ва ҳифз, ки дар аввал маҳдуд буданд, ба соҳаи басо васеъи тадқиқоти бо бисёр самтҳои илму техника алоқаманд табдил ёфтаанд.

Вазифаи асосии дозасанҷӣ муосири нурҳои ионзо муайян кардани энергияе мебошад, ки нури фурурафта дар воҳиди массаи мода додааст. Маҳз аз ҳамин мавқеъ ҳисобу китобҳои муфассал анҷом дода мешаванд. Тавре маълум аст, воҳиди махсуси дозаи фурурафта рад, грей мебошад, ки ададан ба 100 эрг/г баробар аст. (1грей=100рад=1ҷоул/кг).

Воҳиди дозаи нурбориш бошад, рентген аст, ки дар оянда маънидод хоҳем кард. Ҳифзи инсон аз таъсири зараровари нурҳои ионзо, аз сели афканишот, нурбориши берунӣ ва аз гузариши моддаҳои радиактив ба дохили организм (нурбориши дарунӣ) мебошад. Дар ин маврид ҳифз аз маҷмуи чорабиниҳои зерин таъмин карда мешавад:

а) муқарар кардани дараҷаи ҳудуди ҷоиши дозаи нурбориши берунӣ ва дохилӣ.

б) ба тариқи ворид кардани воситаҳои иловагӣ, ҳифзи фардӣ ва мувофиқи меъёр таъмин кардани вақти корӣ, ба вучуд овардани чунин шароити кор, ки дар он шахси бо нурҳои ионзо кор кунанда аз ҳудуди дозаи ҷоиши зиёд нурборон намешавад.

в) гузаронидани назорати дозасанҷӣ, яъне назорати риояи шароитҳои муайянишудаи корӣ.

д) ташик кардани муоинаи тибби.

Дар вақти кор бо нурҳои ионзо муқарар кардани дозаи ҷоизӣ зарур аст. Ҳангоми баҳо додани таъсири нурҳои ионзо ва дозаи нурбориш ба организм, ин таъсиротро ба чунин гурӯҳҳо ҷудо кардан мумкин аст: дозаи ҷоиши яккарата, дозаи хатарнок ва дозаи марговар. Ин мафҳумҳо чунин шахр дода мешаванд:

Дозаи ҷоиши яккарата - дозаи калони имконпазири нурбориш мебошад, ки дар зерин таъсири он тағироти дар организм ба вучуд оянда, баргаитпазир аст.

Дозаи хатарнок - ҳамон дозаи нурбориш аст, ки тағири дар организм ба амал омада қисман бебозгаит мебошад.

Дозаи марговар – дозаи нурборишест, ки дар зерин таъсири он организм 100% ба марг дучор мешавад.

Дозаи ҳудудии сели бета–зарраҳо дар 6 соати корӣ ба 20 (бета зарра/см².с.) баробар аст. Барои навъҳои дигари нурҳо (алфа–зарра, гамма-квант) он қимматҳои боз ҳам хурдтар дорад. Ғаноиши ҷоизи моддаҳои радиактив, хусусан дар об ва ҳаво бояд ба ҳудуди ҷоизӣ баробар ё кам бошад.

Инкишоф додани техникаи ҳифз, дар айни замон, аҳмияти муҳим пайдо мекунад, зеро рӯз то рӯз доираи кор бо истифодаи энергияи атомӣ бо мақсадҳои осоишта васеъ мешаванд ва доираи шахсоне, ки бо нурҳои ионзо низ кор мекунанд афзун мегардад.

Комёбиҳои хоҷагии қишлоқ, саноат, тиб, тараққиёти илму техника ва дигар соҳаҳои хоҷагии халқ ва умуман ҳаёти инсон бе истифодаи энергияи атомӣ гайри имкон мебошад.

Ба авҷ тараққи ёфтани доираи истизоҳи барқӣ-атомӣ, дастгоҳҳои пурқудрати физикаи ҳастаӣ, суръатфизои зарраҳои зарияднок, реакторҳо, яке аз сабабҳои пайдоиши манбаъҳои тавоноии нурҳои ионзо гардид. Аз ин нуқтаи назар, ҳар як донишҷӯӣ ё коргар, ки бо моддаҳои радиактив ва дар шароити таъсири нури ионзо кор мекунад, барои муайян кардани доза, тавоноии доза ва ислоҳоти он бояд хусусияти нурҳои ҳастаиро нағз донанд ва фаҳмиши кофӣ дошта бошад, то ки ба қоидаҳои бехатарии радиатсионӣ дуруст баҳо дода тавонад.

Тасавуроти дуруст доштан ба таъсири биологӣ нури ионзо, қоидаи бехдошти шахсӣ, қоидаи кор бо моддаҳои радиактивии кушода ва нӯшида, ба ҳама саволҳои махсусе, ки дар истехсолот ва дар ҳаёти ҳаррӯза дар тадқиқотҳои илмӣ инсон дучор мешавад, бояд донист.

10.2. ДОЗА, ТАВОНОИ ДОЗА ВА ВОҲИДИ ОН

Барои сифатан баҳо додани таъсири нурҳои ҳастаӣ ба мода бояд бузургии мавҷуд бошад, ки дараҷаи нурборон кардани моддаро тавсиф намояд. Ингуна бузургӣ воҳиди доза мебошад. Аз нуқтаи назари радиатсионӣ интихоби ингуна воҳид душвор аст, механизми таъсири мутақобилии зарра бо мода аз энергия ва навъи он вобастагии калон дорад. Таъсири нурҳои ионзо ба моддаҳо гуногун аст. Барои баҳо додани энергияи фурубурдаи онҳо мафҳуми дозаи фурубурдаро қабул кардаанд. Дозаи фурубурд (D) энергияи нури ионзо, ки ба воҳиди массаи моддаи нурборонкарда фуру меравад.

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

Дар ин ҷо ΔE энергияи афканишот, ки дар моддаи массааш Δm фуру меравад.

Воҳиди дозаи фурубурди нурҳои гуногун (алфа-, гамма-, бета ва гайра нурҳо) рад мебошад:

$$1\text{рад} = \frac{0,01\text{ьюул}}{\text{кг}} = \frac{100\text{эрг}}{\text{г}} \quad (10.2.1)$$

Яъне дозаи фурубурди 100 эрг энергияе, ки ба як грамм моддаи нурборон кардашуда сарф мешавад.

Дозаи нурборон карда (Днк), ин ченаки афканишотест, ки ба қобилияти иониши ҳаво бо нури рентгенӣ ё гамма-квант асос шудааст.

$$D = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad (10.2.2)$$

Дар ин чо ΔQ – миқдори заряд, ки дар натиҷаи иониш ва вобаста ба афканишоти эмиссияи корпускулавӣ дар ҳавои массааш Δm -пайдо мешавд.

Бузургии ин навъи дозаи нурборонкарда (ё ки дозаи экспозитсионӣ) миқдори афканишотеро, ки аз модда мегузарад ифода мекунад. Барои нури рентгенӣ ё гамма-квант воҳиди дозаи нурборонкарда рентген мебошад. Як рентген (R) ба дозаи нури рентгенӣ ё гамма-квант мувофиқ меояд, ки дар 0,001293 грамм ҳаво (яъне дар 1см^2 ҳавои хушк, ҳарорати 0°C , фишори атмосферӣ 760 мм.сут. сим.) ионҳое пайдо мекунанд, ки заряди як воҳиди электростатикии электрикӣ ҳар як аломатро доранд.

Дар системаи воҳиди байналхалқӣ СИ воҳиди дозаи нурбориш як кулон дар кг (Кл/кг). Таносуби рентген ба системаи байналхалқӣ чунин аст:

$1r = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$. Ба таври қиддӣ гӯем, воҳиди рентген ва Кл/кг –ро танҳо барои квантҳое, ки энергияшон аз 3 МэВ хурд мебошанд, истифода бурда мумкин аст. Воқеан онро дар соҳаи энергияи баланд ҳам истифода мебаранд.

Дар шароити мувозинати электронӣ, ки дар назар дошта шудааст баробариш иониш дар як ҳаҷми одди ҳаво аз ҳисоби электронҳои сонавӣ, ки ин ҳаҷмро бурида мегузаранд ва аз ҳисоби электронҳои сонавӣ, ки дар ҳаҷми оддиш дода шуда пайдо шудаанд, баъди ба охир расидани рӯдоди таъсири мутақобили гамма-квантҳо бо ҳаво ҳисобидан мумкин, ки

$$1r = 2,082 \cdot 10^9 \cdot 34 \cdot 1,61 \cdot 10^{-12} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3 \cdot \text{ҲАВО}} = 0,114 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3 \cdot \text{ҲАВО}}, \quad (10.2.3)$$

(34эВ, электрон-вольт, ин энергия барои пайдо кардани як ҷуфти ионҳо дар фазо сарф мешавад. $1\text{эВ} = 1,61 \cdot 10^{-12} \text{эрг}$)

$$1r = 1,61 \cdot 10^{12} \cdot 34 \cdot 1,61 \cdot 10^{-12} = 87,7 \frac{\text{эрг}}{\text{ҲАВО}}, \quad (10.2.4)$$

Бузургии $0,114 \text{ эрг/см}^3 \cdot \text{ҲАВО}$ ва $87,7 \text{ эрг/гҲАВО}$ эквиваленти энергетикӣ рентген номида мешавад.

Ин миқдоран таносуби байни дозаи фурубарӣ ва дозаи нурбориш мебошад. Дозаи фурубариро новобаста бо усули калориметрӣ чен карда мешавад. Дозаи хурдро бо ин усул чен кардан хеле мушкул аст. Аз ҷама осонтар дозаи нурбориширо бо камераи иониш, ки бо ҳаво пур карда шудааст ва бо рентген дарачабандӣ шудааст, чен карда мешавад. Бинобар он дар бисёр ҳолатҳо дар асоси чен кардани нурбориш дозаи фурубариро бо радҳо ҳисоб карда мешавад. Дар асоси чен кардани дозаи нурбориш, барои ингуна ҳисобро гузарондан, бояд таносуби байни дозаи фурубурд дар дозаи нурбориширо доништан зарур аст.

Барои нурҳои рентгенӣ ва гамма-квантҳо дар шароити мувозинатиш электронӣ, дозаи фурубурд ба дозаи нурбориш байни ҳам мутаносибанд ва чунин ифода карда мешаванд:

$$D_{\text{модда}} = f \cdot D_{\text{ҲАВО}} \quad (10.2.5)$$

Дар ин чо $D_{\text{модда}}$ – дозаи фурубурд дар моддаи додашуда;

$D_{\text{ҲАВО}}$ – дозаи нурбориш дар ҳаво;

f –зариби мутаносибӣ.

Агар муҳити нурбориш ҳаво бошад ва барои пайдо кардани як ҷуфти ионҳо ба ҳисоби миёна 34 эВ энергия сарф шавад, он гоҳ дозаи фурубурд ба дозаи

нурборонкунӣ як рентген ба $1,61 \cdot 10^{12} \cdot 34 \cdot 1,61 \cdot 10^{-12}$ эрг/г баробар мешавад. Он гоҳ

$$f = \frac{1,61 \cdot 10^{12} \cdot 34 \cdot 1,61 \cdot 10^{-12}}{100} = 0,877 \frac{\text{рад}}{\text{р}}; \quad (10.2.6)$$

Қиммати f – ро ба формулаи зерин гузошта дозаро барои ҳаво ҳосил мекунем.

$$f = D_{\text{модда}}/D_{\text{ҳаво}} (\text{рад/р}); \quad D_{\text{ҳаво}} = 0,877 D_{\text{ик}} \text{рад} \quad (10.2.7)$$

Ҳамин тавр, дозаи нурборонкунӣ бо рентген дар шароити мувозинати электронҳо барои ҳаво чен карда шударо дониста, аз формулаи (10.2.7) дозаи фурубурдро барои ҳаво бо радҳо муайян кардан мумкин аст.

Барои бофтаҳои биологӣ ё дигар моддаҳои, ки аз ҳаво фарқ мекунанд, таносуби байни дозаи фурубурд ва дозаи нурбориш намуди зеринро мегирад:

$$D_{\text{модда}} = D_{\text{ҳаво}} = \frac{(\mu_{\text{ер}})_{\text{модда}}}{(\mu_{\text{ер}})_{\text{ҳаво}}} = 0,877 D_{\text{НК}} \frac{(\mu_{\text{ер}})_{\text{модда}}}{(\mu_{\text{ер}})_{\text{ҳаво}}} = f \cdot D_{\text{НК}}, \quad (10.2.8)$$

Дар ин ҷо $\mu_{e(\text{ҳаво})}$, $\mu_{e(\text{модда})}$ зароби ҳақиқи хатти фурубарии рентгенӣ ё гамма нурҳо дар ҳаво ва мода буда ҳиссаи энергияи гамма-квантро мефаҳмонад, ки ҳангоми таъсири мутақобили бо атоми ҳаво ё мода дар роҳи тайкардаи 1см фуру меравад. $\rho_{\text{модда}}$ ва $\rho_{\text{ҳаво}}$ зичии мода ва ҳаво.

Нисбати дозаи фурубурдро ба вақт, тавоноии доза меноманд.

$$P = \frac{D}{t}; \quad \frac{\text{доза}}{\text{вақт}}. \quad (10.2.9)$$

Вақт бо сония, дақиқа ва соат чен карда мешавад. Агар вақт бо рӯз, моҳ ва солҳо чен карда шавад, он гоҳ тавоноии дозаи рӯзона, моҳона ва солона ҳисоб карда мешавад. Ҳамин тавр бояд ду бузургии тавоноии дозаро фарқ кард, ки онҳо ба воҳидҳои тавоноии дозаи фурубурд ва тавоноии дозаи нурборонкунӣ дохил мешаванд.

Тавоноии дозаи иони муқаррарӣ-нисбати дозаи дифференциалӣ ба вақт аст.

$$P = dD/dt \quad \text{ё} \quad P_{\text{муқаррари}} = \frac{dD_M}{dt}. \quad (10.2.10)$$

Воҳиди тавоноии дозаи ионӣ рентген дар сония R/C мебошад. $\frac{1\text{р}}{\text{с}} = 2,58 \cdot \frac{10^4 \text{А}}{\text{кг}}$.

Вобастагии байни тавоноии дозаи ионӣ ва ҷараёни иониш чунин аст. 1р/с дар $1,293 \text{ мг}$ ҳаво ҷараёни $3,33 \cdot 10^{-10}$ амперро ҳосил мекунад. 1р/дак дар $1,293 \text{ мг}$ ҳаво ҷараёни $5,6 \cdot 10^{-12} \text{ А}$ –ро ҳосил мекунад ё ки 1р/с дар 1 г ҳаво ҷараёни $2,58 \cdot 10^{-7} \text{ А}$ –ро ва дар 1р/дак дар 1 г ҳаво ҷараёни $4,3 \cdot 10^{-9} \text{ А}$ –ро ҳосил мекунад.

Аз ҳама оддӣ ва аниқ дозаи нурборонкунӣ сели интегралӣ мебошад, эҳтимолияти адади зарра, ки аз воҳиди масоҳати мода бурида мегузарад. Аксаран воҳиди зарра/ см^3 –ро истифода мебаранд. Дар ин воҳид бояд навъи зарра ва энергияи он зикр ёбад. Дозаи 10^{15} нейтрон/ см^2 бо энергияи 1МэВ ва ё дозаи 10^{15} нейтрон/ см^2 бо энергияи 1кэВ фарқ мекунад. Истифодаи воҳиди сели интегралӣ қулай нест, зеро натиҷаи таъсири нурбориш бо навъ ва энергия фарқ кунандаро муқоиса кардан мушкул аст.

Эквиваленти физики рентген (ЭФР)- барои баҳо додани таъсири иониши нурҳои корпускулавӣ мафҳуми эквиваленти физикӣ рентген дохил

карда шудааст. ЭФР-дозаи ҳар як нури ионзо, ки энергияи дар як грамм модда фурубурдашуда ба сарфи энергияи иониш баробар буда, дар як грамм ҳаво дозаи $1r$ нури рентгенӣ ё гамма-квантро ҳосил мекунад. Барои бофтаи биологии намнок, дозаи нарми рентгенӣ ё гамма-квантҳои $1r$ ба ҳисоб гирифта шудааст, ЭФР=95 эрг аст.

$$1\text{эфр} = 95 \text{ эрг/г} = 5,3 \cdot 10^7 \text{ МэВ/грамм}$$

Аз вақте ки воҳиди рад қабул карда шудааст, ЭФР-ро умуман истифода намебаранд. Як ЭФР ба дозаи нурбориши алфа-, бета-зарраҳо ё нейтронҳо мувофиқ меояд. Ва ҳамин хел ионишро ҳосил мекунад, ки ба дозаи як рентгени гамма-квант ба вуҷуд оварда рост меояд. Дозаи як ЭФР ба пайдоиши $2,08 \cdot 10^3$ чуфти ионҳо дар 1см^3 ҳаво дар шароити муқаррарӣ мувофиқ аст. Азбаски барои пайдоиши як чуфт ионҳо дар ҳаво ба ҳисоби миёна 34эВ энергия сарф мешавад, он гоҳ аз нуқтаи назари энергетикӣ як ЭФР дар 1см^3 ҳаво ба энергияи $6,86 \cdot 10^{10}\text{эВ} = 0,11\text{эрг}$ мувофиқ аст. Пас маълум мешавад, ки дар $1g$ ҳаво барои дозаи 1 ЭФР ҳосил кардан, 87,7 эрг энергия сарф мешавад. Фурубарии энергия дар бофтаҳои инсон ниҳоят баланд буда ба 93 эрг/g рост меояд. Ин ба 100 эрг наздик аст. Аз нуқтаи назар ҳисоби дозасанҷии таҷрибавӣ бузургии 1 ЭФР ва 1рад ба ҳам баробар аст. Яке аз масъалаҳои мушкил, ин ёфтани алоқаи байни воҳиди дозаи фурубурд ва сели интегралӣ зарраҳо мебошад. Ин алоқа аз навъи афканишот ва энергияи онҳо вобаста аст. Барои нурҳои рентгенӣ ва гамма-квантҳо, ки энергияшон аз 70 кэВ то 2 МэВ аст, бо саҳеҳии 15% аз таносуби оддӣ ёфта мешавад.

$$1r = 2 \cdot 10^9 \frac{\text{фотон}}{E(\text{МэВ})\text{см}^2}; \quad (10.2.11)$$

Эквиваленти биологии рентген (ЭБР). Муқаррар шудааст, ки навъҳои гуногуни афканишоти энергияшон якхела аст, дар як шароит дар бофтаҳои биологӣ нурборонишуда ва дар бофтаҳои зинда фурурафта таъсири гуногуни биологиро ба вуҷуд меоранд. Барои баҳо додани чунин таъсири воҳиди эквиваленти биологии рентген (ЭБР) дохил шудааст ва мафҳуми босамари биологии нисбӣ (ББН) бо зарби η ифода шудааст. ЭБР-миқдори энергияи ҳаргуна навъи афканишоти дар воҳиди мода бофтаи биологӣ фурурафта, таъсири биологиро пайдо мекунад, ки ба дозаи 1 рентген таъсири рентгенӣ ё гамма-квант эквивалент мебошад.

Босамари биологии нисбии (ББН) навъҳои гуногун афканишот ва энергия – ин бузургӣ, новобаста аз таносуби байни босамари навъи афканишоти додашуда ва босамари биологии нури рентгенӣ, ки дар лӯлаи рентгенӣ шиддати то 250 кВ пайваस्त мешавад (алоқаи байни реаксияи биологии додашуда ва он дозае, ки барои онро пайдо кардан талаб мекунад) барқарор мекунад. Ин бузургӣ барои муайян кардани доза бо ЭБР зарур аст. Азбаски барои инсон ва ҳайвон таъсири нури рентгенӣ то 25 кВ бо аниқии калон маълум аст, нисбати дигар навъҳои афканишот босамари биологӣ барои нури рентгенӣ аз ибтидо гирифта мешавад.

Бигзор дозаи як рентгени нури рентгенӣ дар грамм бофтаи биологӣ 95 эрг энергия фурубурда шавад, он гоҳ

$$1\text{ЭБР} = 95/\eta; \quad \text{эрг/г. боф. биол.} \quad (10.2.12)$$

Дар ин ҷо η -зарби нисбии босамари биологӣ.

Босамари биологӣ аз тақсимои энергияи дар фазо дар қад-қадӣ дави зарраи ионзо чудо мешавад вобастааст, ки онро зичии хаттии иониш (иониши хос) меноманд. Ин вобастагиро барои муайян кардани зарби η истифода мебаранд. Иониши хоси миёна, ки онро нури рентгенӣ пайдо мекунад, ҳангоми ангезонидан бо шиддати 250 кВ дар қабати об ё бофтаи биологӣ гафсиаш 1 мк, 100 чуфти ионро ташкил медиҳад, яъне $34 \cdot 100 = 3400$ эВ/мк дар об ё бофтаи биологӣ (дар асоси натиҷаҳои солҳои охир барои муқоисаи таъсири биологӣ афканишот дар организми инсон ҳамчун намуна нури рентгенӣ ва гамма квант мебошад), ки бузургии хаттии сарфи энергияшон барои об ба 3000 эВ/мк баробар аст. Ин ба тавоноии дозаи тақрибии 10 рад/дак –ро ташкил мекунад. Дар ин ҳолат η барои нури рентгенӣ баробари як қабул шудааст. Бетта – нурҳо чун гамма-квантҳо низ ҳамин хел зарби босамари биологӣ дорад. Бинобар ин барои бета-нурҳо $\eta=1$ қабул шудааст.

Барои дигар навъи афканишот зарби босамари биологӣ ба таври математикӣ аз афканишоти иониши хос пайдо шуда ҳисоб карда мешавад.

Дар қадвали 10.2.1 зарби босамари биологӣ барои навъҳои гуногуни афканишот оварда шудааст.

Қадвали 10.2.1

Навъи афканишот	□
Бетта – зарраҳо ва гамма - квант	1
Алфа – зарраҳо ва протонҳо	10
Нейтронҳои ҳароратӣ	5
Нейтронҳои сареъ	10
Ҳастаҳои вазини қафорафта	20

Вақтҳои охир ЭБР нисбати «рад» муайян карда мешавад.

$$1\text{ЭБР} = \frac{100}{\eta}; \frac{\text{эрг}}{\text{г.боф.биологи}} \quad (10.2.13)$$

Ҳамин тавр

$$D(\text{ЭБР}) = D(\text{рад}) \eta, \quad (10.2.14)$$

Дар ҷадвали 10.2.2 вобастагии воҳидҳои гуногуни доза оварда шудааст.

Таносуби байни воҳидҳои гуногуни дозаи афканишот

Ҷадвали 10.2.2

ном	мухтаса р	рад	рентген	Эрг/г	ҷ/г	Кал/г	эВ/г	Кл/г	Грей
Рад	<i>рад</i>	1	1,14	100	10^{-5}	$2,39 \cdot 10^{-6}$	$6,25 \cdot 10^{13}$	$2,97 \cdot 10^{-7}$	10^{-2}
Рентген	<i>р</i>	0,877	1	87,7	$8,77 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{13}$	$2,58 \cdot 10^{-7}$	$0,88 \cdot 10^{-2}$
Эрг/грамм	<i>Эр г/г</i>	10^{-2}	$1,14 \cdot 10^{-2}$	1	10^{-7}	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$6,25 \cdot 10^{11}$	$2,94 \cdot 10^{-9}$	10^{-4}
Ҷоул/грамм	<i>Ҷ/г</i>	10^5	$1,14 \cdot 10^5$	10^7	1	0,239	$6,25 \cdot 10^{18}$	$2,94 \cdot 10^{-2}$	10^3
Калория/грамм	<i>Кал/г</i>	$4,18 \cdot 10^5$	$4,76 \cdot 10^5$	$4,18 \cdot 10^7$	4,18	1	$2,61 \cdot 10^{19}$	0,123	$1,18 \cdot 10^3$
Электрон вольт/грамм	<i>эВ/г</i>	$1,6 \cdot 10^4$	$1,82 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$3,82 \cdot 10^{-20}$	1	$4,7 \cdot 10^{-21}$	$1,6 \cdot 10^{16}$
Кулонграмм	<i>Кл/г</i>	$3,4 \cdot 10^6$	$3,88 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^8$	34	8,1	$2,1 \cdot 10^{20}$	1	$34 \cdot 10^4$
Грей	<i>Гр</i>	10^2	114	10^4	10^{-3}	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$6,25 \cdot 10^{15}$	$2,94 \cdot 10^{-5}$	1

Тавре ки маълум аст, таъсири биологӣи нурҳои ҳастаӣ на танҳо аз дозаи нурбориш, балки аз навъи онҳо низ вобаста аст. Бинобар он барои дозаи нурбориш организм воҳиди навъи ЭБР истифода мебаранд. Бузургии дозаи биологӣ $D(b)$ (ЭБР) бо дозаи физикӣ (ЭФР) $D(\phi)$ бо ифодаи зерин алоқаманд мебошад.

$$D_b = D_\phi; \text{ЭБР ё ки } D_b = D_\phi \cdot \eta \quad (10.2.15)$$

Бояд қайд кард, ки муайян кардани ЭБР ва бузургии ЭФР дар физика аниқ ҷой надорад. Бисёр вақт ҳангоми қабули дозаи аз ҳудуди ҷои зӣёд, инсон ба дозаи миқдорғирӣ дучор мешавад.

Миқдорғирӣ-фарз мекунем, ки ҷисми коргарон ҳангоми иҷрои ягон муомилот дар як рӯз 15 маротиба иҷро шавад, он гоҳ миқдорғирии рӯзона 0,15р мешавад ва дар ҳафтаи корӣ $0,15 \cdot 6 = 0,9$ рентген мешавад. Миқдорғирӣ аз ҷамъшавии доза дар организм вобаста аст.

Энергияи яхелаи фурубурд (дозаи фурубурд) вобаста аз навъи гуногуни афканишот сабабгори эффекти гуногуни биологӣ мешавад. Барои баҳодиҳии таъсири яке аз ҷузъи омехтаи афканишот мафҳуми эквиваленти биологӣи доза дохил карда шудааст, ки ҳамчун эквиваленти биологӣи рентген чен карда мешавад. Барои баъзе афканишот зарби ББН тақрибан баробари 10, яъне дозаи эквивалентии биологӣ 10 маротиба калон, нисбат ба дозаи фурубурди мувофиқ омада мебошад. Ҳардуи ин бузурғиҳо бо радҳо чен мешаванд.

Дар расми (10.2.1) тағйирёбии зарби ББН барои баъзе реаксияҳои махсуси биологӣ оварда шудааст.

Аз расм аён аст, ки зарби ББН аз як хурд шуда метавонад. Қиммати зичии хаттии иониш дар 100 ҷуфти ионҳо/мк ба зичии хаттии энергиявӣ (3.эВ) мувофиқ меояд; чунончӣ, барои об, тақрибан ба 3,5 кэВ/мк баробар аст.

Расм 10.2.1

Адади ҷуфти ионҳо дар роҳи 1 мкм

Расми 1. Вобастагии ББН барои баъзе реаксияҳои биологӣ аз зичии хаттии-иониш (адади ҷуфти ионҳо дар 1мк роҳи тайкарда); рентген

1-нигоҳ доштани афзоиш, (варам дар мушҳо, афзоишҳо гандум);

2-аз нав сохтани изохроматизҳо

3-ба тарзи дигар ташиқил додани хроматизҳо.

4-нигоҳ доштани митозҳо.

5-бефаълкунӣ (вируси микробҳои хурдтарини касалиҳои сирояткунанда), резаи тамоку.

Дар ҷадвали 10.2.3 қиммати ББН вобаста аз қиммати зичии миёнаи иониш (адади ҷуфти ионҳо дар 1мк об) ва зичии хаттӣ-энергиявӣ (сарфи энергия дар 1мк) оварда шудааст.

Ҷадвали 10.23

10.3. ДОЗАИ ФУРЌБУРДИ ОРГАНИЗМҲОИ ЗИНДА.

Барои тафсонидани афканишоти ионизатсионӣ фаҳмиши дозаи нурбориш дохил шудааст. Се намуди дозаи нурбориш аз ҳам фарқ мекунад; фурубурд, эквивалентӣ ва экспозитсионӣ.

Намуди, дараҷа ва чуқур таъсир кардан ба бофта, организми зинда бо зарбаи нур, ки ба объектҳои биологӣ тараққи меёбад, ҳангоми ба онҳо таъсир кардани афканишоти ионизатсионӣ, дар навбати аввал аз бузургии энергияи фурубурд ё дозаи фурубурд вобаста аст.

Аз сабаби васеъ будани доираи навъҳои афканишоти ионизатсионӣ ва истифодабарии онҳо маълум мешавад, ки миқёси таъсири афканишоти ионизатсионӣ бо мода ба осони ҳали худро намеёбад, аз сабаби мураккаб ва просесҳои зиёде, ки дар онҳо мегузарад. Яке аз просесҳои асоси тағироти физикӣ ва химиявӣ ҳангоми нурбориши мода, ки ба эффекти муайяни радиатсионӣ меоварад фурубурди энергияи афканишоти ионизатсионӣ дар мода мебошад, ки фаҳмиши дозаи фурубурд пайдо шуд. Дозаи фурубурд нишон медиҳад, ки кадом миқдори энергияи афканишот дар воҳиди массаи модаи дилхоҳ, ки нурбориш мешавад, фуру меравад. Ин дозаи нисбати энергияи фурубурди афканишоти ионизатсионӣ ба массаи мода мебошад.

Ба сифати бузургии дозаи фурубурд дар системаи СИ ГРЭй (Гр) қабул шудааст. 1Гр- чунин дозаест, ки ба массаи 1кг мода, 1 ҷоул энергияи афканишоти ионизатсионӣ дода мешавад.

Бузургии гайрисистемавӣ дозаи фурубурд, Рад аст. $1\text{Гр} = 100\text{рад}$; $1\text{рад} = 10^{-2}\text{Гр}$; $1\text{Гр} = 1\text{љоул/кг}$

Дозаи афканишот.- Бузургии, ки дар физика ва радиобиология барои баҳододани таъсири афканишоти ионизатсионӣ ба модаҳои гуногун ва органҳои зинда истифода мебаранд.

Доза ба якчанд гурӯҳ тақсим мешавад: дозаи экспозитсионӣ, фурубурд, эквивалентӣ, самаранокӣ, гурӯҳ тавоноии доза ва гайра.

Ҳар яки онро алоҳида маънидод мекунем:

Дозаи экспозитсионӣ- Таъсири асоси таъсири афканишоти ионизатсионӣ бо мода (муҳит) – эффекти ионизатсионӣ мебошад. Даври аввали тараққиёти дозасанҷии радиатсионӣ аксар вақт бо афканишоти рентгенӣ, ки ба ҳаво паҳн мешуд сару кор доштанд. Бинобар он ба сифати ченаку миқдор пешгирии аз майдони афканишот дараҷаи ионизатсияшавии ҳавои хушкро бо лулаи рентгени ё дигар маводҳо истифода мебаранд. Сифатан ба пешгирии асос ёфтааст, бузургии ионизатсионӣ ҳавои хушк дар фишорӣ нормали атмосферӣ, ки бо осонӣ чен мешавад, дозаи экспозитсионӣ мебошад. Дозаи экспозитсионӣ қобилияти ионизатсионии нури рентгени ба гаммаро муайян мекунад. Ин дозаи энергияи афканишот буда табдилёбӣ ба энергияи кинетики зарраи заряднокро дар воҳиди массаи ҳавои атмосферӣ ифода мекунад. Дозаи экспозитсионӣ – нисбати заряди суммави ҳамаи ионҳои зарядашон якхела буда ба ҳаҷми элементарии ҳаво ва массаи ҳаво дар ин ҳаҷм ифода мекунад. Дар системаи СИ воҳиди ченаки дозаи экспозитсионӣ кулон бо килограмм (Кл/кг), воҳиди гайрисистемавӣ – рентген (Р).

$$\begin{aligned} \text{Дэкп} &= \text{кл/кг} \cdot 1 \text{ Кл/кг} = 3880\text{p}; \\ 1\text{p} &= 2,58 \cdot 10^{-4} \text{Кл}. \quad 1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3\text{p} \end{aligned}$$

Фаҳмиши дозаи экспозитсионӣ. Дэксп. Барои тафсифонидани афканишоти рентганӣ ё гамма хизмат мекунад.

Андозаи ионизатсиониро дар ҳаво бо таъсири ин афканишотҳо муайян мекунад. Он ба дозаи афканишоти фотонҳо баробар аст, ки дар 1кг ҳавои атмосферӣ ионҳои заряди электрики 1 кулон доштаро пайдо мекунад.

Ифлосии радиофаъл зиччиаш 1 Ки/м^2 ба тавоноии дозаи экспозитсионӣ 10 p/с эквивалент аст ё тавоноии дозаи экспозитсионии афканишоти ионизатсионӣ $1 \frac{\text{p}}{\text{с}}$ ба ифлосии 10 мкКи/см^2 мувофиқ меояд.

Дозаи эквивалентӣ- Омӯхтани оқибатҳои алоҳидаи нурбориши бофтаҳои зинда, нишон дод, ки дар дозаҳои якхелаи фурубурд, ки навъҳои гуногуни радиатсия ба амал меоварад, таъсири биологӣ онҳо дар организм якхела нест. Асоснок шудааст, ки зарраҳои вазнинтар (мисол протон) нисбати зарраҳои сабук (мисол электрон), дар роҳи тайкардашон дар бофтаҳо ионҳои зиёдеро дар асоси ионизатсия ҳосил мекунанд.

Дар дозаҳои якхела фурубурд, эффементи вайроншавии радиобиологӣ зиёдтар нисбати зичии ионизатсионӣ, ки афканишот ба вучуд меоварад. Барои ба назар гирифтани ин эффемент фаҳмиши дозаи эквивалентиро дохил карданд. Барои баҳо додани дозаи эквивалентӣ, ки коргарони касбӣ (гурӯҳи одамон), хоҷагии қишлоқ, истиқоматкунандагон шаҳру районҳо қобул мекунанд, фаҳмиши дозаи эквивалентии коллективӣ (Дэкв.к) истифода мебаранд. Ин дозаи миёнаи аҳоли ба адади истиқоматкунандагон зарб мешавад, бо одам. зиверт ифода мешавад.

Дозаи эквивалентии ҳангоми ба зароби нисбии самаранокии биологӣ ё зароби сифат (СНБ) зарб задан ҳисоб карда мешавад.

Зароби нисбии самаранокии эффементивӣ барои навъҳои гуногуни афканишот дар қадвали 10.3.1.

Қадвали 10.3.1

Навъи афканишот	Зарб Зв/Гр
Афканишоти рентгени ё гамма	1
Электронҳо, позитронҳо, $\beta\beta$ – афканишот	1
Нейтронҳои энергияшон хурд то 10 МэВ	3
Нейтронҳои энергияшон 0,1-10 МэВ	10
Протонҳои энергияшон хурд то 10 МэВ	10
Алфа афканишот бо энергияи хурд то 10 МэВ	20
Ядрои вазнини қафарафта	20

Дар системаи Си бузургии дозаи эквивалентиро бо воҳиди зиверт (Зв) чен мекунанд. Бузургии 1Зв ба дозаи эквивалентии навъи дилхоҳи афканишот баробар буда, дар 1кг бофтаи биологӣ фурурафта чунин эффементи биологиро ба вучуд меоварад, монанди 1Гр дозаи фурубурди афканишоти фотон мебошад..

Дозаи эквивалентиро бо воҳиди гайрисистемавӣ ки эбр (эквиваленти биологии рентген) чен мекунанд.

$$13\text{В} = 100\text{ЭБР}; \quad 1\text{ЭБР} = 10^{-2}\text{ЗВ}.$$

Дозаи интегралӣ. Дозаи интеграли афканишот – рад. Г, Гр, кг

$$1\text{рад. Грамм} = 10^{-5}\text{Грей. кг.}$$

$$1\text{Гр. кг} = 10^5\text{рад. г.}$$

Дозаи самаранокӣ- бузургии дозаи E самаранокӣ ҳамчун ченаки хатари пайдошавии оқибатҳои алоҳидаи нурбориши ҳамаи ҷисми одам ва органҳои алоҳида, бофтаҳо бо назардошти ҳиссиёташон ба радионуклидҳо истифода мебаранд. Дозаи самаранокӣ иборат аз ҳосили ҷамъи дозаи эквивалентӣ дар органҳо ва бофтаҳо бо зароби мувофиқомада. Як қисми органҳо ва бофтаҳои одам нисбати дигарашон ба таъсири радиатсия ҳиссиёташон зиёд аст.

Мисол: Дар дозаҳои эквиваленти якхела пайдошавии касалии сироятноки шуш эҳтимолияти зиёд дорад, нисбати гадуди сипаршакл, аз тарафи дигар нурборон кардани гадуди мардона хело хафнок аст, аз хатари захмдоршавии гинетикӣ. Бинобар он дозаи нурбориши органҳои гуногун ва бофтаҳо бояд зароби гуногунро ба эътибор гирифт, ки онро зароби хатари радиатсионӣ меноманд. Дозаи эквивалентиро ба зароби хатари радиатсионӣ зарб зада ба ҳамаи бофтаҳо ва органҳо ҷамъаширо гирифта дозаи самаранокро ҳосил мекунем. Ин натиҷа эффементи ҷамъшавиро барои организм медиҳад.

Қиммати зароби хатари радиатсионӣ барои органҳои алоҳида дар ҷадвали 10.3.2 оварда шудааст

Ҷадвали 10.3.2.

<i>Органҳо, бофтаҳо</i>	<i>зариб. Wt</i>
<i>Гонадҳо</i>	<i>0,2</i>
<i>Устухони сурхи майна</i>	<i>0,12</i>
<i>Рудани гафс</i>	<i>0,12</i>
<i>руда</i>	<i>0,12</i>
<i>шуш</i>	<i>0,12</i>
<i>мезакдон</i>	<i>0,05</i>
<i>Гурда</i>	<i>0,05</i>
<i>сурхруда</i>	<i>0,05</i>
<i>гадуди сипаршакл</i>	<i>0,05</i>
<i>пуст</i>	<i>0,01</i>
<i>ҳуҷайраи берунаи устухон</i>	<i>0,01</i>
<i>майнаи сар</i>	<i>0,025</i>
<i>бофтаҳои боқимонда</i>	<i>0,05</i>

Зароби санҷиширо ба таври эмперики барқарор намуда чунин ҳисоб мекунанд, ки ҷамъи он барои тамоми организм ба як баробар шавад. Воҳиди ҷенкунии дозаи самаранокӣ бо воҳиди ҷенкунии дозаи эквиваленти мувофиқат мекунад. Он бо зиверт ё бэр чен карда мешавад

Ба эътибор гирифтани дозаи эквивалентӣ ва самаранокӣ – Ин баҳодиҳӣ дозаи радиатсионӣ дар инсон, дар натиҷаи ингалятсия (муолиҷаи роҳҳои нафас ба воситаи доруи бо газ ё буг табдил додашуда) ё истифодабарии як миқдор моддаи радиофаъл бо бэр ё зиверм (Зв) ифода шуда, ҳиссиёти органҳои гуногунро дар фосилаи вақт бо моддаи радиофаъл ифода мекунад, ки дар тамоми ҳаёт ба организм меафтад. Вобаста аз шароит на ҳамаи қисми одам яъне қисми муайян ба дозаи афканишот ҳиссиёти хеле калонро дорад.

Дозаи гурӯҳи - дозаи самаранокии ҳар як одамро ҳисоб карда, дозаи гурӯҳро ёфтани мумкин аст.

Дозаи гурӯҳӣ – ҷамъи дозаи шахси гурӯҳи одамони додашуда дар фосилаи вақти муайян. Дозаи гурӯҳро барои аҳолии алоҳидаи қишлоқҷойҳо шахру, территорияи давлатҳои алоҳида ҳисоб карда мешавад. Ин дозаро ҳангоми бо дозаи самаранокӣ миёна зарб задан ба шумораи умумии одамон, ки дар зери таъсири афканишот ҳастанд, ёфтани мумкин аст. Воҳиди ченкунии дозаи гурӯҳи одам – зиверм (одам -зв), воҳиди гайрисистемавӣ одам бэр (одам – бэр) мебошад.

Ғайр аз ин боз чунин воҳидҳои дозаҳо мавҷуд аст:

Дозаи комитментӣ - дозаи мунтазирӣ, дозаи номасрӣ. Барои ҳимояи радиатсионӣ ва гигиенӣ ҳангоми ҳисоби дозаи фурубурд, эквивалентӣ ва самаранокӣ аз нуклидҳои радиофаълӣ ин кор поривани – (ҳамроҳ кардан), истифода мебаранд. Ченаки дозаи мувофиқро дорад.

Дозаи колективӣ – бузургии ҳисоб барои тавсифи эффеҶтҳо ё зарар барои саломатӣ ба гурӯҳи одамони нурборишудаи он зиверт (Зв) мебошад.

Дозаи колективӣ ҳамчун ҷамъи ҳосилаи дозаи миёна ба шумораи одамон дар ин ҳудуди доза муайян карда мешавад. Дозаи колективӣ метавонад, дар муддати дурудароз ҷамъ шавад, аз авлод ба авлоди дигар гузарад.

Дозаи остонагӣ – дозае, ки поён аз он пайдоиши эффеҶти нурбориш пайдо намешавад.

Ҳудуди дозаи имконпазир (ХДИ) - Қиммати хурдтарини дозаи эквиваленти шахсӣ дар як соли календарӣ, ки баробар нурборонкунӣ дар давоми 50 сол ба саломати инсон ягон тағйироти хафнокро оварда наметавонад.

Дозаи пешгирӣ – Дозаи пешгӯи кардашуда дар асоси садамаи радиатсионӣ пайдо мешавад, ки дар асоси ташиқ кардани ҳимоя аз байн бардоштан мушқил аст.

Дозаи дучанда – дозае, ки 2 маротиба зиёд мешавад (ё 100%) аз савияи худ аз худ рӯйдиҳӣ мутатсия. Дозаи дучанда ба хотири нисбии мутасионӣ мутаносиби ҷап аст. Дар асоси натиҷаҳои ҳозиразамон, бузургии дозаи дучанда барои тезнурборонкардан қиммати миёнаи он 2 Зв, ва барои нурбориши давомноки доимӣ қариб 4 Зв – ро ташиқ мекунад.

Дозаи биологӣ афканишоти гамма – нейтронҳо: – дозаи баробар самаранокӣ мағлубишавии организм баробар аст, ҳангоми нурбориши гамма – афканишот ҳамчун намуна гирифта шудааст. Ба дозаи физикӣ афканишотӣ додашуда баробар аст, ба зарби сифат зарб зада мешавад.

Дозаи минемалии Леталӣ (марговар) – дозаи минималии афканишот, ҳамаи объектҳои нурборонишуда аз ҷумла хучайраҳои зинда, бофтаҳои биологиро нобуд карда муҳитро захрнок мекунад.

Тавоноии доза – Интенсивияти нурбориш – табилёбии дозаи мувофиқомада бо таъсири афканишоти додашуда дар воҳиди вақт. Ченаки доза (фурубарӣ, экспозитсионӣ ва гайра) ба воҳиди вақт тақсим мебошад. Дозаи фурубурд, эквивалентӣ, экспозитсионӣ, дар воҳиди вақт тавоноии доза номида мешавад.

Мисол: тавоноии дозаи фурубурд $P_{\phi} = \frac{Гр}{с}$ ё $\frac{рад}{с}$; Тавоноии дозаи эквивалентӣ $P_{эқв} = \frac{Зв}{с}$ ё $\frac{эбр}{с}$;

Тавоноии дозаи экспозитсионӣ $P_{эқп} = K_{л}/K_{Г} \cdot с$ ё $\frac{p}{с}$;

Барои афканишоти ионизатсионӣ чунин бузургиро истифода мебаранд: $1Гр = 100эбр = 100р = 100рад = 13Зв$ (бо аниқии то 10-15%), воҳидҳои гуногуни махсус истифода мебаранд. Мисол, Зв/соат, бэр/дақиқа, сЗв/сол ва гайра.

Нормаи беҳатарии радиатсионӣ НБР – 76/87 ва қоидаҳои асосии санитарӣ корӣ бо моддаҳои радиофаъл ва дигар манбаҳои афканишоти ионизатсионӣ ОСП-72-87 дозаи имконпазири коргарони касбӣ ва аҳолиро пешниҳод менамояд.

Таъсири биологӣ тақсимидашави маводи ядрӣ, эффекти нурбориш аз бузургии дозаи фурубурд, тавоноии он, нави афканишот, нурбориши ҳаҷми бофтаҳо ва организм вобаста аст. Барои миқдоран баҳо додани воҳидҳои махсус дохил карда шудааст. Воҳиди системавӣ ва гайрисистемавӣ, ҳозираи воҳиди системаи Си истифода мебаранд.

10.4. ВОБАСТАГИИ БАЙНИ ВОҲИДҲОИ ДОЗАИ РАДИАТСИОНӢ.

Таъсири афканишоти ионизатсионӣ аз просесҳои мураккаб иборат аст. Эффементи нурбориш аз бузургии дозаи фурубурд, тавоноии он, нави афканишот, ҳаҷми бофтае, ки нурбориш мешавад, ва органҳо иборат мебошад. Барои сифатан баҳододани он, воҳиди махсус қабул шудааст, ки гайрисистемавӣ ва системаи Си мебошад.

Аксар вақт воҳиди дозаро дар системаи Си истифода мебаранд. Дар қадвали 10.4.1 воҳидҳои ченкуни бузургҳои радиологӣ ва муқоисаи он ба системаи Си ва гайрисистемавӣ оварда шудааст.

Бузургҳои асосии радиологӣ ва воҳиди онҳо. Ном ва ишора, воҳиди ченкунӣ ва ифодаи онҳо, нисбати байни воҳидҳо.

Қадвали 10.4.1

<i>Ғайрисистемавӣ</i>	<i>Системаи Си</i>
<i>Фаъолият (А), Кюри (Ки),</i> $1\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{Бк}$	<i>Беккерель (Бк)</i> $1\text{Бк} =$ $1 \frac{\text{КОҶИШ}}{\text{с}}; 1 < r = 2,710^{-11}\text{Ки}$
<i>Дозаи экспозитсионӣ; Рентген</i> <i>(Р)</i> $1\text{р} = 2,58 \cdot 10^{-4}\text{Ки/кг}$	$\text{Кл/кг} \left(\frac{\text{Кулон}}{\text{кг}} \right); 1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$ $= 3,88 \cdot 10^3\text{р}$
<i>Дозаи фурубурд (Д), Рад</i> $1\text{рад} =$ 10^{-2}Грей	<i>Грей (Гр);</i> $1\text{Гр} = 1 \frac{\text{ЉОУЛ}}{\text{кг}}$
<i>Дозаи эквиваленти, Н, ЭБР;</i> $1\text{ЭБР} = 10^{-2}\text{Зв}$	<i>Зиверт (Зв);</i> $1\text{Зв} = 100\text{Эбр}$
<i>Дозаи афканишоти интегралӣ</i> <i>Рад. Грам. (рад.Г):</i> $1\text{рад.г} =$ 10^{-5}Гр.кг	<i>Грей.кг (Гр.кг);</i> $1\text{Гр.кг} =$ 10^5рад.г

Барои навиштани таъсири афканишоти иониш дар модда чунин фаҳмиш ва воҳиди ченкуни истифода мебаранд.

Фаъолияти радионуклидҳо дар манбаъ (А). Фаъолият ба нисбати худ ба худ табдилёбии ҳастаи дар ин манба буда дар фосилаи вақти хурд (dN) ба бузургии фосилаи вақти (dt) баробар аст.

$$A = dN/dt \quad (10.4.1)$$

Воҳиди фаъолият дар системаи Си-Беккерель (Бк) гайри системавӣ – Кюри (ки).

$N(t)$ -адади радиофаъоли ҳастаи манбаи додашуда аз рӯи чунин қонун кам мешавад:

$$n(t) = N_0 e^{-(t \ln 2 / T_{1/2})} = N_0 e^{(-0,693t / T_{1/2})}; \quad (10.4.2)$$

Дар ин ҷо N_0 – адади ҳастаи радиофаъол дар фосилаи вақти $t = 0, T_{1/2}$ – даври нимкоҳиш – вақте дар муддати он ними ҳастаи радиофаъол коҳиш мекурад. m массаи радионуклид, фаъолият A аз формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$m = 2,4 \cdot 10^{-24} M T_{1/2} A \quad (10.4.3)$$

Дар ин ҷо M – адади массавии радионуклидҳо, A – фаъолият бо воҳиди Беккерелҳо $T_{1/2}$ – даври нимкоҳиш дар сония. Масса ба граммҳо ифода карда мешавад.

Дозаи экспозитсионӣ (X). Ба сифати меъёри миқдори афканишоти рентгенӣ ё гамма қабулшудааст, истифодабарии воҳиди гайрисистемавии дозаи экспозитсионӣ, заряди зарраи дуҷуминро (dQ) муайян мекунад, ки пайдоиши массаи моддаи (dm) ҳангоми пурра сустшавии зарраҳои заряднок чунин ифода мешавад:

$$X = \frac{dQ}{dm}; \quad (10.4.4)$$

Воҳиди дозаи экспозитсионӣ – рентген (р), рентген – ин дозаи экспозитсионӣ афканишоти рентгенӣ ё гамма нурҳо, ки дар $1\text{куб}(\text{см}^3)$ ҳаво дар температураи 0°C ва фишори 760мм.сут.сумобӣ заряди ионҳои

суммави аломаташон якхела дар як воҳиди электростатикӣ миқдори электрикро пайдо мекунад.

$$D_{\text{экс}} 1p = 2,08 \cdot 10^9 \text{ чуфти ионҳо } (2,08 \cdot 10^9 = 1/4,8 \cdot 10^{-10}).$$

Агар энергия миёнаи барои пайдоиши як чуфти ионҳо дар ҳаво баробари 33,85 эВ бошад, он гоҳ дар дозаи экспозитсионии 1p як см³ ҳаво чунин энергия дода мешавад;

$$E = (2,08 \cdot 10^9) \cdot 33,85(1,6 \cdot 10^{-12}) = 0,113 \text{ эрг. Дар як грамм ҳаво;}$$

$$E = 0,113/\text{ҳаво} = 0,113/0,001293 = 87,3 \text{ эрг}$$

Энергияи фурубурди афканиши иониш просеси якумин, ки саршавии пай дар пай табдилоти физики химиявиро дар бофтаи нурборишшуда медиҳад, ба мушоҳидаи эффекти радиатсионӣ меоварад. Бинобар он табиист ки қобилияти мушоҳидакардаи эффект бо миқдори энергияи фурубурд ё дозаи фурубурд алоқаманд аст.

Дозаи фурубурд (Д) – Грей (Гр), гайри системавӣ рад дозаи фурубурди афканиши иониш дилхоҳро муйаян мекунад, ба 100эрг тақсими грамм моддаи нурборишшуда баробар аст.

$$\left. \begin{aligned} 1\text{рад} &= 0,01 \frac{\text{Љоул}}{\text{кг}} = 100 \frac{\text{эрг}}{\text{г}} \\ \text{Си; Гоей; 1гр} &= 1 \frac{\text{Љоул}}{\text{кг}} = 100\text{рад.} \end{aligned} \right\} (10.4.5) .$$

1Бк = 1 $\frac{\text{коњиш}}{\text{с}}$; 1Ки = 3,7 · 10¹⁰ бо фаъолияти 1гр.ради мувофиқ аст.

$$1\text{млкюри} = 0,001\text{Кюри} = 10^{-3}\text{кюри} \quad 1\text{мккюри} = 0,00000 =$$

$$10^{-6}\text{Кюри}; 1\text{рад} = 100 \frac{\text{эрг}}{\text{г}} = 10^{-2}\text{Гр. 13ивверт} = 100\text{бэр}; 1\text{резерфорд} =$$

$$10^6 \frac{\text{коњиш}}{\text{сония}}$$

Воҳиди навъи дозаи фурубурд дар система.

Дозаи эквивалентӣ (Н) – Барои ба қадри имкон баҳододани зарар ба саломати одам дар шароити доими (дурру дароз) нурбориш гирифтани, дар соҳаи бехатарии радиатсионӣ фаҳмиши дозаи эквивалентӣ (Н) дохил карданд, ки ба ҳосилаи дозаи фурубурд D_r баробар буда, нурбориш дар масофаи r ба вуҷуд меоварад ва нисбати таҳлили миёнаи организмҳо ё тамоми органҳо, ба зарбшавандаи массагии w_r, баробар аст ки зарби сифатан нурбориш меноманд.

Ҷадвали 10.4.2

Навъи зарраҳо	Зарбшавандаи массагӣ, w _r
Фотонҳои энергияшон гуногун	1
Электронҳо ва мюонҳои ҳамаи энергия	1
Нейтронҳои энергияшон H < 10КэВ	5
Нейтронҳои аз 10 то 100КэВ	10
Нейтронҳои аз 100КэВ то 2МэВ	20
Нейтронҳои аз 2МэВ то 20МэВ	10
Нейтронҳои > 20МэВ	5
Протонҳои энергияшон > 2МэВ (гайр аз протонҳои қафорафта)	5
Алфа – зарра, пораҳои тақсимишуда ва	20

Воҳиди ченкунии дозаи эквивалентӣ ҷоул ба килограмм Ҷоул/кг. Он номи махсуси Зиверт (Зв) – ро дорад.

10.5. Зарбшавандаи массавии афканишот навъҳои афканишот ва миқёси энергия

Таъсири нурбориш характери номунтазамро дорад. Барои баҳододани зарари саломатии одамон аз ҳисоби характерҳои гуногуни таъсири нурбориш дар органҳои гуногун (дар шароити нурбориши мунтазами ҳамаи ҷисм) фаҳмиши самаранокии дозаи эквиваленти дохил карда шудааст. $E_{\text{самар}}$ барои баҳо додани имконияти эффекти тасодуфӣ нав пайдошавии шаклҳои гандаи нурбориш истифода мебаранд.

Дозаи эффективӣ – ба суммаи дозаи эквиваленти санҷиши ҳамаи организмҳо ва бофтаҳо баробар аст.

Дар ин ҷо wt зарбшавандаи вазнии бофта (ҷадвали 10.5.1), Ht – дозаи эквивалентӣ дар бофта фурурафта – t . Воҳиди самаранокии дозаи эквиваленти – зиверт.

Қиммати зарбшавандаи wt вазни бофта барои бофтаҳо ва органҳои гуногун

Ҷадвали 10.4.2

Бофта ё орган wt Бофта ё орган wt

Дозаи эквивалентӣ самаранокии коллективӣ-барои баҳододан ба зарари саломатии коргарони касбӣ ва аҳоли аз эффектҳои тасодуфӣ, ки таъсири афканишоти иониш ба вуҷуд меорад, дозаи S эквиваленти саммаранокии коллективӣ истифода мебаранд, чунин муайян мекунанд.

$S = N(E) \cdot E$ воҳиди S одам – зиверт (одам – зв).

Энергияи зинагӣ айнан ба энергияи электронҳо дахл дорад. Агар дар як рӯдоди бархурӣ зарраи зарядноки аввала электронро пайдо кунад, ки энергияи калон бошад, он гоҳ ин энергия ба қиммати dE дохил намешавад, ва электрон бо энергияи калон ҳамчун зарраҳои аввалини мустақил ба ҳисоб меравад. Интихоби энергияи зинагӣ аз шароитҳои конкретӣ вобаста аст. Аз муайян куниҳо маълум мешавад, ки ба намуди хатти додани энергия ба сусткунии қобилияти мода монанди дорад. Он вобаста аст:

1. Сарфи хатти энергия (СХЭ), ба фотон табдил меёбад, яъне сарфи радиатсионӣ.
2. Ба зинаи додашуда СХЭ ба худ энергияи кинетики зарраро ҳамроҳ намекунад, зиёдшаванда аст.

Бузургии СХЭ ва қобилияти сустшави мувофиқ меояд, агар сарфи энергияро дар сустшави ба назар нагирем.

Қиммати миёнаи бузургии хаттӣ таҳлили энергия L ва дав R барои электронҳо, протонҳо ва алфа – зарра дар матои нарм, L , КэВ/МКМ ҷадвали 10.5.1.

Ҷадвали 10.5.1

<i>зарра</i>	<i>E, МэВ</i>	<i>L, КэВ/МКМ</i>	<i>R, МКМ</i>
<i>электрон</i> 0,1 0,42 1,0 0,35	0,01 180 5000	2,3	1
<i>Протон</i> 2,0 16 5,0 8 100,0 4	0,1 80 350 1400	90	3
<i>Алфа зарра</i> — 5,0 95	0,1 35	260	1

Аз рӯи бузурги энергия таҳлили хатти зарбшавандаи вазнинро байни намуди додашудаи афканишот муайян кардан мумкин аст, ҷадвали 10.5.2

Вобастагии зарбшавандаи вазни афканишот wr аз таҳлили хатти энергияи афканишоти иониш L барои об.

Ҷадвали 10.5.2.

<i>L, КэВ/МКМ</i>	$< \frac{3}{5}$	7	23	53	> 175
<i>Wr</i>	1	2	5	10	20

Дигар воҳидҳои радиатсия ва дозаро чунин маънидод, кардан мумкин аст:

Беккерель: воҳиди радиофаъоли байналхалқи стандартӣ, ба як коҳиш сония баробар аст. Ин бузургии наонқадар калон, тақрибан ба 27 микрокюри баробар аст.

Кюри: бузургии ананави ченкардани радиофаъол ба радиофаъоли як грамм ради тоза баробар аст. Ин ба 37 млрд, коҳишҳо дар сония (37 млрд, беккерел) эквивалент аст.

Рад: воҳиди ченшуда дозаи фурубурди радиатсия, ҳамчун ҷамъшавӣ 100 эрг энергия дар як грамм матоъ муайян карда мешавад.

Грей: воҳиди дозаи фурубурд, ба 100 рад баробар аст.

Рентген: бузургии кӯҳнаи ченкардани таъсири радиатсия аст. Воҳиди грамм радиатсия қабул шудааст, ки савияи иониши ҳаворо чен мекунад. Як рентген баъзе бофтаҳои биологии беустухон, ки таъсири радиатсияро мегирад тахминан ба як рад баробар аст.

Рем (эквиваленти радиатсионӣ инсон, аз забони англисӣ гирифта шудааст): воҳиди ченкунии дозаи эквиваленти радиатсионӣ, навъҳои

гуногуни додани энергияи радиатсионӣ иониш ба бофтаҳо, организми инсонро (боз маълум аст самаранокии нисбии биологӣ) ба эътибор мегирад. Дар ин вақт ҳамчун бо радҳо ва грейҳо ҷамъшавии энергияро дар бофтаҳо чен карда мешавад, ремҳо ва зивертҳо зарари биологиро чен мекунад. Дар ҳолати бета – ва гамма радиатсия радҳо ва ремҳо ба ҳам баробаранд. Аммо азбаски алфа – радиатсия зарари хело ва хело калон дар воҳиди энергия меорад, ҷамъшавӣ дар бофтаи зинда, бо радҳо чен шуда бояд ба 20 зарб шавад. Ин зариб барои он ки натиҷаро бо рем ҳосил кунем, истифода мебаранд. Зариби нишондодашуда дар замони ҳозира 20 (омили сифат меноманд) қабул шудааст, аммо дар оянда барои аз нав баҳододани зарари радиатсионӣ ин зариб мумкин тағир ёбад. Дар замони ҳозира ICRP маҳдудияти дозаро дар ҳудуди 2 рем 1 сол барои коргарони касбӣ ва 500 миллирем 1 сол барои аҳоли пешниҳод мекунад.

Зиверт: воҳиди ченкунии дозаи фурубурди эквиваленти мебошад.
 $1\text{зиверт}=100\text{рем}$.

Инсон зиверт: ин бузурги дозаи аҳолиро муайян мекунад, ҳамчун суммаи дозаи шахсӣ ба аҳоли.

Савияи корӣ: воҳиди доза, барои истеҳсоли уран истифода мебаранд. Савияи корӣ аз воҳиди ганоши дар ҳаво аз энергияи потенциалии алфа иборат аст, ки радон ва маҳсули тақсимишавии он меафканад. Агар дар ҳаво радон бошад, дар фосилаи вақти муайян, як савияи корӣ тахминан ба 100 пикокюри радон дар як литр ҳаво мувофиқ меояд.

Савияи корӣ як моҳа: савияи кори як моҳа муайян карда мешавад, ҳамчун таъсири як савияи кори миёна дар давоми моҳи корӣ, ки ба 170 соат баробар аст.

10.6. Чиркинӣ аз моддаҳои радиофаъл ва ченкунии он

Чиркинии ҷои кор, даст, либос ва гайра аз моддаҳои радиоактив аз нуқтаи назари нурбориши беруна хавфнок нест. Агар қисми камтари чиркинии радиоактив ба организм тавассути пӯст, роҳи нафас ва гайра дохил шавад, зарари зиёд меорад. Савияи ҷоизии чиркинии сатҳи корӣ, либос, даст ва гайра ҳисоб карда намешавад. Ин ҳодиса барқарор карда мешавад, вобаста аз таҷрибаи корӣ бо моддаҳои радиоактив ва гайра.

«Қоидаи санитарӣ» ҳудуди ҷоизии савияи чиркини сатҳи кориро муайян кардааст.

Ҳангоми кор бо моддаҳои радиоактив дар лаборатория ва корхонаҳо либоси махсус аз ҷумла либоси тағ набояд чиркин шавад. Меъёри тартиб додани ба назар гирифта мешавад ва савияи чиркинии сатҳ то тоза кардан набояд аз ин меъёр зиёд шавад. Савияи ҳудуди ҷоизии ловозимотҳои чиркиншуда дар корхонаву муассисаҳое, бо моддаи радиоактив кор мекунанд, дар ҷадвали 10.6.1 оварда шудааст.

Объекти чиркинӣ	Чиркинӣ аз алфа-зарра сатҳи 150см² дар як дақиқа		Чиркинӣ аз бета-зарра сатҳи 150 см² дар як дақиқа	
	То тоза кардан	Баъди тоза кардан	То тоза кардан	Баъди тоза кардан
Даст	75	Импулси бегона	5000	Импулси бегона
Либоси махсуси тағ, сачоқ	75	Импулси бегона	25000	Импулси бегона
Либоси махсуси тағ, пахтагӣ ё қоғазӣ	500	100	25000	5000
Либоси плёнкавӣ	500	200	25000	10000
Берунӣ дастпӯшак	500	100	25000	5000
Беруни пойафзоли махсус	500	200	25000	5000
Сатҳи корӣ ва асбобу ловозимотҳо	500	200	25000	5000

Манбаи чиркинии моддаи радиоактив ба 2 гурӯҳ тақсим мешавад. Гурӯҳи якум – манбаҳои маҳдудшуда ва назоратшаванда, муассисаҳои саноатӣ, реакторҳои атомӣ ва ғайраҳо. Гурӯҳи дуюм – манбаи назоратшаванда ва бартарафнашаванда, маҳсули таркиши ҳастаӣ. Манбаи асосии чиркинӣ партовҳои радиоактив аст. Чиркинии асбобу ловозимот ҳангоми иваз кардани чузъҳои таркибии реакторҳо, ки дар минтақаи нурбориш бо нейтронҳо кор мекунад, дастпӯшаки резинӣ, зарфи шишагӣ, тақиони саҳти дар қаъри зарф пайдошуда, ки ҳангоми буг дода тоза кардани партовҳои моеъгӣ ҳосил мешавад.

Чиркинӣ аз боқимондаҳои моддаҳои радиоактив дар вақти кор кардани маъдани радий ва уран ҳосил мешавад. Ҳангоми хунук кардани реактор бо обу ҳаво ё моеъҳои дигар, изотопи уран ҷудо шуда аз он тахтасангҳо таёр мекунад, ки барои кори реакторҳо ва ҷудо кардани энергияи сӯзишвории атомӣ истифода мебаранд. Яке аз сабабҳои пайдоиши чиркинии радиоактивӣ дар ҳаво нигоҳ доштани блокҳои реактор, ки нурборон карда шудаанд, ҷорӣ шудани об аз либосшӯйхонаҳо, ки либосҳои махсус шуста мешаванд. Дар ҷое, ки асбобу ловозимотҳо тоза карда мешаванд, аз чиркинии моддаҳои радиоактив озод нестанд.

Ақсар вақт чиркинии радиоактивӣ ҳангоми хунуккунии реакторҳо бо ҳаво, ки дар таркибашон элементи химиявии аргон-41 мавҷуд аст, пайдо

мешавад. Бо усули химиявӣ аз маҳсули уран ва пулутоний газҳои инертӣ ба монанди криптон (Kr), ксеон (Ks), аргон (Ar), ва маҳсули сабуки тақсими уран, йод, рутений ва аэрозоли (газе, ки дар муҳити он зарраҳои сахт ва моеъ муаллақ меистад) моеъи зарароранда пайдо мешаванд.

Сабоби дигари пайдоиши чиркини радиоактивӣ аз боқимондаҳои аэрозоли газмонанд дар натиҷаи сӯзонданӣ либосҳои ифлосшуда мебошад. Ин гунна партовҳои моддаҳои радиоактив набояд дар замин ва обу ҳаво паҳн шаванд, зеро онҳо дигар чузъҳоро чиркин мекунанд. Чизҳои чиркиншуда аз ҷумла об ва ҳаво бояд ҳатман тоза карда шаванд. Барои чен кардани чиркинӣ аз моддаҳои радиоактив аз бета – нурҳо ҳисобгиракҳои таҳлилии газӣ бо масоҳати самаранокияшон 150 см^2 истифода мебаранд. Ин гуна ҳисобгиракҳо на танҳо миқдори бета – зарраҳое, аз сатҳи чиркинӣ парвоз кунанда, балки суръати ҳисоби J_β –ро муайян мекунанд. Барои он ки аз $J_{\beta(\text{с.Ӣ})}$ ба N_β гузарем бояд баъзе ислоҳотро ба назар гирем. Барои гузаронидани ченкуниҳо аввал дараҷабандии ҳисобгиракро аниқ муайян кардан лозим аст. Аз хатти рости дараҷабандӣ суръати ҳисоби J (им/дак), ки манбаи намунавии ҳамвор хориҷ мекунад, бо радиометр чен карда мешавад, бо миқдори бета – зарра, ки манбаи намунавии бета – афканишот дар таҳти кунчи 2π дар дақиқа хориҷ мекунад, муқоиса карда мешавад. Самаранокии ҳисоби радиметр ε –ро аз формулаи зерин меёбем.

$$\varepsilon = \frac{J_{\beta(\text{сх})}}{N_\beta} \quad (10.6.1)$$

Қиммати ε ва суръати ҳисобро аз сатҳи чиркинӣ доништа, миқдори бета – зарраҳои (N_β) аз сатҳи чиркини 150 см^2 дар дақиқа парвоз мекунанд, ёфтан мумкин аст. Агар фаъолияти манбаи ҳамвори намунавӣ (a) маълум бошад, он гоҳ самаранокии ҳисоб баробар мешавад.

$$\varepsilon = \frac{2J_{\beta(\text{сх})}}{a}, \quad N_\beta = \frac{a}{2} \quad (10.6.2)$$

Агар дараҷабандӣ бо бета – манбаи намунавӣ аз моддаи нафиси радиоактив ҳамчун сатҳи чиркиншуда гузаронида шавад, пас бо радиометр бо саҳеҳии максималӣ ченкунии чиркинӣ муайян мешавад.

Дараҷабандии радиометр барои чен кардани алфа – ифлосӣ айнан ҳамин хел гузаронида мешавад. Дар ин маврид ба сифати алфа – манбаи намунавӣ пластинаи ҳамвори алюминий бо қабати нафиси моддаи алфа – фаъоли (намаки уран, P_f – ва гайра) масоҳаташ 150 см^2 истифода мебаранд. Барои гузаронидани дараҷабандии радиометр бо ҳисобгирак синтилационӣ бояд манбае тайёр кунем, ки масоҳати он ба тирезачаи ҳисобгирак баробар бошад. Чен кардани савияи чиркини даст, либос, пойафзол, асбобу анҷом, фаршу сақфи хона ва сатҳҳои ловозимотҳо бо мақсади аз ҳад зиёд роҳ надодани моддаҳои радиоактив гузаронида мешавад.

Барои муайян кардани чиркини сатҳи баъзе асбобҳо онро бо ҳисобгирак радиометр ё ҳисобгиракро дар сатҳи чиркин мегуздоранд. Пас суръати ҳисобро $J_{\text{Ӣ}}$ чен мекунанд, асбоби чиркиншударо аз радиометр дур карда импульсҳои бегона ва адади зарраҳое, ки сатҳи 150 см^2 хориҷ мекунад чен мекунанд.

$$N_{\beta} = \frac{J_X - N_{\text{им.бег}}}{\varepsilon}, \quad (10.6.3)$$

Дар ин ҷо ε самаранокии ҳисоби радиометр, ки онро дар вақти дараҷабандӣ муайян мекунанд. Агар сатҳи асбоби тафтишишуда аз моддаи радиоактив чиркин бошад ва бета ё гамма нур хориҷ кунад, барои аз суръати ҳисоби умумии бета ё гамма – нурҳо хориҷ кардани адади импульсҳои гамма усули зеринро истифода мебаранд. Адади умумии импульсҳо аз бета ва гамма – манбаъ чен мекунанд, пас дар байни сатҳи чиркиншуда аз ҳисобгираки радиометр барои фуру бурдани бета – зарраҳо варақаи алюминий мегузоранд, суръати ҳисоб $N_{\gamma} + N_{\beta}$ чен мекунанд.

Он гоҳ суръати ҳисоб аз сатҳи чиркинии бета – зарраҳо чунин ёфта мешавад:

$$N_{\beta} = N_{\Sigma} - (N_{\gamma} + N_{\delta}) \quad (10.6.4)$$

Ҳисобгираке, ки барои ба ҳисоб гирифтани бета – зарраҳо истифода мебаранд самаранокиаш аз 100% зиёд аст, вобаста ба нисбати самаранокии ҳисобгираки гамма – нурҳо, суръати ҳисоб дар сатҳи он чунин аст: $N_{\gamma} \ll N_{\beta}$ – ин барои қабати маҳини моддаи фаъол мувофиқ аст. Бинобар ин суръати ҳисоби N_{γ} –ро ба эътибор нагирифтани мумкин аст. Барои қабати гафси моддаи фаъол бошад дар сатҳи он N_{γ} –ро ба назар гирифтани шарт аст.

Агар сатҳи чиркинӣ аз алфа – зарра бо иштироки бета ва гамма – зарраҳо чен шавад, он гоҳ N_{γ} ва N_{β} –ро ба назар намегиранд. Ба сифати алфа ҳисобгирак, ки одатан радиометр истифода мешавад, амплитудани алфа – зарра нисбат ба дигар нурҳо хеле калон аст, бинобар ин γ ва β –нурҳо, ки дорои амплитудани хурданд ба ҳисоб гирифта намешавад. Ҳамин тариқ, суръати ҳисоб аз сатҳи ифлосии алфа – зарра N_{α} чунин аст:

$$N_{\alpha} = N_{\Sigma} - N_{\beta} \quad (10.6.5)$$

Дар ин ҷо N_{Σ} – суръати ҳисоб бо назардошти импульсҳои бегона, N_{β} – суръати ҳисоби импульсҳои бегона.

Агар масоҳати ҳисобгираки радиометр аз 150см² хурд бошад, барои баҳо додани чиркинӣ натиҷаҳои гирифташуда бояд ба таносуи 150/F зарб зада шавад; F – масоҳати ҳисобгирак (см²).

Барои баҳо додани сатҳи чиркинӣ аз алфа ва бета моддаҳои фаъол мутасифона радиометри навъи «тисс» истифода мебаранд. Радиометрҳои навъи «Ирис», «Фиалка», ки бо худ ҳисобгираки тахлияи газӣ доранд ва сатҳи самаранокиашон ба 150см² баробар аст, кам истифода мешаванд. Радиометри «тисс» гайр аз қайдгирак, ҳисобгираки синтилационии булурӣ, ки масоҳати 7см² (бе рушноибар) ва 23см² (бо рушноибар) –ро дорад.

Дар вақтҳои охир барои муайян кардани сатҳи чиркинӣ аз моддаҳои радиоактив усули олудакунии истифода мебаранд. Ин усулро дар он ҳолат истифода мебаранд, агар дар манзил импульсҳои бегона аз гамма – нурҳо зиёд бошанд. Барои чен кардани сатҳи ифлосӣ бо асбоби «тисс», алфа – ва бета – моддаҳои фаъол ҳалал мерасонанд. Усули олудакунии барои бартараф кардани

чиркинӣ ва ҳангоми чен кардани он бо иштироки гамма – импульсҳои бегона басо кам буда, хеле қулай мебошад. Бинобар он ҳангоми чен кардани сатҳи чиркинӣ, агар ҳисобгиракӣ навъи «тисс» ҳамвор бошад хеле қулай аст, бо навъи дигари ҳисобгиракҳо ин корро иҷро кардан басо мушкил ва ғайриимкон мебошад. Усули олудакунӣ, барои часпида гирифтани чиркинӣ радиоактив бо доқа, қоғази полоишӣ ё латтаи пахтагӣ барои нигоҳ доштани чиркинӣ истифода бурда мешавад. Умуман бо ин усул, яъне гирифтани олудакунак бо лавозимотҳои хушк ё намнок гузаронида мешавад.

Ба воситаи қоғази полоишӣ қариб 20% бо латтаи намноки пахтагӣ 80% чиркинӣ сатҳи чиркинӣшударо гирифтани мумкин аст. Олудакунаки хушк ва намнокро бо радиометрҳо чен мекунад. Барои чен кардани алфа-фаъол асбоби намуди «тисс» ва иловагии ҳисобгиракӣ синтилационӣ истифода мебаранд. Бетта-фаъоли олудакунак бо воситаи асбоби «тисс» ё «фиалка» чен карда мешавад. Меъёрбандӣ кардан ва тафтиши самаранокии ҳисоби дастгоҳ бо ёрии манбаъҳои радиоактивию намунавӣ, ки тайфашон ба тайфи чиркинӣ – ченишаванда наздик аст, гузаронида мешавад.

Фаъолияти олудакуни α_0 бо формулаи зерин ифода карда мешавад

$$\alpha_0 = \frac{2(N-N_0)}{\varepsilon} \quad (10.6.6)$$

Дар ин ҷо α_0 фаъолияти олудакунӣ бо адади (зарра/дақиқа), N – адади импульсҳо, ки дастгоҳ дар як дақиқа ҳисоб мекунад, N_0 – импульсҳои бегона дастгоҳи (имп/дақ), ε – самаранокии ҳисоби дастгоҳ мебошад.

Фаъолияти олудакуниро доништа фаъолияти сатҳи ифлосии a бо адади зарра / дақиқа дар сатҳи 150см^2 муайян мекунем.

$$a = \frac{\alpha_0 \cdot 150 \cdot 100}{F \cdot \varepsilon} \quad (10.6.7)$$

Дар ин ҷо F – масоҳате, ки олудакунак ишғол мекунад. ε – заррибе, ки барои навъи додашудаи олудакунак бо % (фоизҳо) гирифта мешавад.

10.7. Омилҳои, ки ба дараҷаи эҳтимолияти ҳафнокии кор бо моддаҳои радиофаъол вобастаанд

Омилҳои асосие, ки дараҷаи ҳафнокиро ҳангоми кор бо моддаҳои радиоактив ба амал меоранд, аз таъсири биологӣ, кимиёвӣ ва физики онҳо вобастаанд. Ҳар касе, ки дар соҳаи физикаи ҳаста кор мекунад, масъалаи ҳафнокии диданашавандаи нурҳои ҳастаиро, ки реакторҳо ва масолеҳи онҳо хорич мекунад, бояд донанд.

Олимон, созандагон ва коргароне, ки дар корхонаҳо бо моддаҳои кимиёвӣ радиоактив сару кор доранд ва бо нейтронҳо ва реаксияҳои ҳастаӣ кори тадқиқотӣ мебаранд, бо сабабҳои гуногун бо масъалаи ҳафнокии радиатсия дучор мешаванд. Аз ин рӯ, лоиҳаи тахмини ҳифз аз ин ҳодисаҳо пешакӣ ҳисоб карда, бехатарии онҳо бояд таъмин бошад.

Нурҳои радиоактив ба организм бо ду роҳ таъсир мерасонанд:

1. Нурборонкунии беруна - ҳангоми бо гамма – квантҳо ё зарраҳо бомбаборон кардан;

2. *Нурборонкунии дарунӣ – яъне моддаҳои радиоактив бо роҳи нафас, хӯрокаи ё захми яраи нӯст метавонад ба организм дохил шавад.*

Ҳар ду ҳолати таъсир ба организм ба харобӣ ва нобудшавии ҳуҷайраҳои биологӣ меоранд. Ин ҳодиса ва пайдоиши он аз таъсири мутақобили гузариши нурҳои ҳастаӣ бо атоми мода, ки дар таркиби бофтаҳо мавҷуд аст, вобаста мебошад.

Кормандони хизмати дозасанҷӣ дараҷаи хафнокиро муайян мекунад ва нурборонро таҳлил карда, барои одамон ва кормандоне, ки бо нурҳои ҳастаӣ кор мекунад ё дар назди онҳо меистанд, чораҳои эҳтиётӣ пешбинӣ ва муқаррар мекунад.

Кормандоне, ки дар назди реакторҳо меистанд ё бо моддаҳои радиоактив кор мекунад афканишотро бо ду роҳ назорат карда метавонанд. Якум, бо истифодаи ҳисобгиракҳое, ки ибто рентген дараҷабандӣ карда шудааст ва майдони нурҳои ҳастаиро чен мекунад. Дуюм, ҳисоби таносуби байни мавҷудияти сели афканишот ва тавоноии доза, агар фаъолият ва навъи афканишот маълум бошад. Ҳангоми ҳисоби пешакӣ ва муайян кардани чораҳои эҳтиётӣ, ки беҳатарини ҷои корро таъмин мекунад, ин гунна таҳлил зарур аст. Қабати берунии нӯсти одам тамоми организмро аз таъсири бомбаборонкунии алфа – ва бета – нурҳо ҳимоя мекунад. Ин зарраҳои қобилияти гузаришашон дар мода хеле хурд мебошад. Аммо агар ин гунна зарраҳои заряднок ба дохили организм гузаранд, онҳо ба ҳуҷайраҳои зиндаи организм таъсир расонида организмро ба касалии вазнин дучор мекунад. Аз ин сабаб хафнокии моддаи радиоактив дар организм бо чунин омилҳо баҳо дода мешавад.

1. *Миқдори моддае, ки ба организм дохил мешавад.*

Табиятан бояд донист, ки чӣ қадаре, ки изотопҳои дар организм дохил шуда дорои фаъолияти калон бошад, ҳамон қадар хафнокии онҳо зиёдтаранд. Ғайр аз ин, вақти корӣ омилҳои асосӣ мебошад. Агар моддаи радиоактив мунтазам бо ганоиши хурд ба организм дохил шавад, вай бо қобилияти худ ҳуҷайраҳои харобишударо, ки амалан онҳо дар ҳолати мӯътадил меистанд бо тезӣ иваз мекунад.

2. *Табияти химиявии мода*

Донишмандони ин раванд муҳим ва зарур аст, зеро вай суръати ҷудошавии моддаро аз организм муайян мекунад. Аз ин рӯ, моддаҳоро ба чунин синфбандӣ ҷудо мекунем:

а) моддаҳои бефаъоли кимиёвӣ мисол газҳои инертӣ Аргон (Ar), Ксеон (Ks), Криптон (Kr). Ин газҳо бо роҳи нафас ба шуш дохил шуда дар муддати кӯтоҳ дар ин ҷо меистад ва ҳатто ба хун омехта мешаванд. Аммо онҳо ҳеҷ вақт дар таркиби ҷисми инсон ягон пайвасти кимиёвиро пайдо намекунад. Агар ҳамаи омилҳо ба пайвастагии вақти коҳиш баробар бошанд, онҳо дохилишавии ин газҳо ба организм хафноктаранд. Ба ин категория моддаҳои дохил мешаванд, ки онҳоро организми инсон ҳазм намекунад.

б) моддаҳои, ки организм ба таври муқарарӣ талаб мекунад, мисли натрий (Na), об хлор, ки якҷоя бо намаки хӯрокаи ҳосил мешаванд ва онҳо ба

аъзои ҷисми инсон дохил шаванд, тез ҳазм шуда вақти дурру дароз намеистанд.

в) моддаҳое, ки ба организми инсон заруранд, ба мисли йод, ки ба гадуди сипаршакл ганоиш мешавад. Баъзе моддаҳои радиоактив ба монанди стронсий, калсий ва плутоний дар бофтаи устухон тақшин шуда мағзи устухонро, ки истехсолкунандаи ҳуҷайраи хун мебошад, вайрону хароб мекунад. Элементи оҳан бошад қисми асосии зарурии хуни сурхи ҳайвонотро тақшил мекунад. Мавриди зикр аст, ки суръати ҷудошавиш моддаи радиоактивро аз организм ҳамчун вақти нимҷудошавӣ ва вақти нимқоҳиши элементҳои радиоактивӣ баробар қабул кардан лозим меояд.

10.8. Андозаи зарра.

Тадқиқотҳо нишон доданд, ки зарраҳои калони андозаашон аз 10 мк зиёд мавҷуданд, ки гоҳ – гоҳ ба холигии димоғ чуқур медароянд ва органҳои ҳиссиётро басо эҳтиёт мекунад. Аз он ҷумла шуширо, ки бо хуни ҷудокардаиш баъзе узвҳоро, ки чун хӯрокаи истеъмол мекунад, таъмин мекунад. Ҷисмҳои бегона, ки аз масолеҳи сустҳалшаванда иборатанд, бояд аз организм бароварда шаванд, то ки онро захмдор накунад.

1. Вақти нимқоҳиши радиоактив, энергия ва навъи афканишот.

Изотопҳои, ки вақти зисташон тақрибан якчанд дақиқа ё соат, яъне тез қоҳиш мехӯранд, аввало пурқувват меафкананд ва дар оянда пеш аз он ки дар вақташ тақшин шаванд дар узвҳои мувофиқбудаи инсон фуру рафта нест мешаванд. Изотопҳои дарозумр устувор буда аз сабаби паст будани фаъолиятҳои камзиёнанд. Баъзе моддаҳои радиоактиви дорои «вақти мобайни нимқоҳишашон» тақрибан якчанд сол мебошад. Аз ин гунна изотопҳо бояд эҳтиёт шуд, зеро ҳуҷайраҳои ҷисми инсон амалан ба интенсификации доимӣ дар муддати вақти зисти организм нурбориш мешаванд.

2. Эҳсоси бофтаҳо, ба афканишоти радиоактив

Яке аз омилҳои мавҷуд – ин харобие, ки ба узви ҷисми инсон таъсири афканишоти радиоактив ба амал меорад. Дар ҷадвали 10.8.1 номгуи изотопҳои зарурӣ оварда шудааст. Аён аст, кич и гунна ҷоизи минъикосималии миқдори ин изотопҳо дар дохили организм нигоҳ дошта мешавад.

Агар суҳан дар бораи аҳолии истиқоматӣ равад, ҷоизаи максималии одамони хизматрасон бояд 10 маротиба паст бошад. Моддаҳои радиоактив метавонад ба организм дохил шаванд ва бо роҳҳои гуногун дар он истанд. Ҳамин тариқ, бояд ду роҳи гузариши моддаҳои радиоактивиро дар организм ба ҳисоб гирем:

- нафасгирӣ аз ҳавои чиркани радиоактивӣ дар лабораторияҳои, ки бо моддаҳои радиоактив кор мекунад,
- истифода ва нӯшидани оби чиркин, ки дар таркибаи ин моддаҳоро дорад.

Таъсири физикӣ – эквиваленти физики рентген (ЭФР), эквиваленти биологӣ рентген (ЭБР), эквиваленти биологӣ нисбӣ (ЭБН) дар саҳифаҳои пешина оварда шудааст.

Ҷоици минъикосималии миқдори изотопҳои радиоактив, ки дар дохили организм мавҷуданд

Ҷадвали 10.8.1

Изотопҳо	Даври нимкоҳиш	Навъи афканиш -от ва энергия, МэВ	Миқдори ҷоизӣ, мккюри	Ҷоици максималӣ, ганоиш дар ҳаво, мкк/л	Ҷоици максималӣ, ганоиш дар об, мкк/л	Эзоҳ
Ra^{226}	1620 сол	$\alpha(4,8)$	0,1	810^{-9}	410^{-5}	Дар организм пурра нигоҳ дошта мешаванд, камхуниро меоварад, устухонро нобуд мекунад.
Pu^{239}	$2,4 \cdot 10^4$ сол	$\alpha(5,2)$	0,04	210^{-9}	$1,510^{-3}$	Ба организм пурра нигоҳ дошта мешавад.
Sr^{89}	53 рӯз	$\beta(1,5)$	2,0	-	-	Вақти мобайни
Sr^{90}	25 сол	$\beta(0,54)$	1,0	210^{-7}	810^{-4}	нимкоҳиш
PO^{210}	138 рӯз	$\alpha(5,3)$	0,005	-	-	
H^3	12,5 сол	$\beta(0,019)$	10	0,05	0,4	Бо об аз организм тез хориҷ мешавад.
$C^{14}(CO_2)$	5720 сол	$\beta(0,155)$	-	-	8	Аз организм бо ҳамроҳии намак тез хориҷ мешавад.
Na^{24}	14,9 сол	$\gamma(2,8; 1,4)$	15	-	-	
P^{32}	14,3 рӯз	$\beta(1,7)$	10	-	0,2	Дар сипаршақл гадуди мешавад
Co^{60}	5,2 сол	$\gamma(1,2; 1,3)$	1,0	710^{-6}	0,01	
J^{13}	8 рӯз	$\beta(0,60)$ $\gamma(0,36)$	0,3	310^{-6}	0,03	
Ar^{41}	1,8 соат	$\beta(1,25)$ $\gamma(1,3)$	-	110^{-3}	-	
Xe^{138}	5,3 рӯз	$\beta(0,032)$ $\gamma(0,085)$	-	0,01	-	
Xe^{135}	9,2 соат	$\beta(0,91)$ $\gamma(0,25)$	-	310^{-3}	-	
U^{238}	$4,5 \cdot 10^9$ сол	$\alpha(4,2)$	-	$1,710^{-8}$ урани табиӣ	-	Урани табиӣ аз ҷиҳати кимёвӣ, ҳафнок, урани тоза гамма-фаъол аст.
U^{234}	$8,9 \cdot 10^8$ сол	$\alpha(4,4)$ $\gamma(0,16)$	-	-	-	Ғаноиши F^{234} ҳафнок, дар табиат зиёд, 0,0058% -ро ташкил мекунад.
U^{235}	$2,7 \cdot 10^5$ сол	$\alpha(4,8)$	-	-	-	

10.9. Касалии нури. Дозаи леталӣ (марговар)

Гузариши радиатсия ва таъсири нурборонкунӣ ба вайрон кардани организм оварда мерасонад. Ин гунна таъсирот ба ҳуҷайраҳои зиндаи организм зарари биологӣ меоварад. Маънои гузариш ва таъсири зараровариши радиатсия ба организми зинда дар он аст, ки гамма-нурҳо ва нейтронҳо молекулаҳои ҳуҷайраҳои зиндарионизатсия мекунонад. Ионизатсия фаъолияти ҳаёти

мӯтадили хучайраҳоро вайрон карда, дар дозаи калон онҳоро нобуд мекунад. Хучайраҳо қобилияти коришоями худро гум мекунад ва инсон ба касалии нури дучор мешавад. Агар дозаи нурбориш аз 100р калон шавад, касалии нури пайдо мешавад.

Вобаста аз дозаи нурбориш касалии нуриро ба се дараҷа тақсим мекунад: якум-сабук, дуҷум-миёна, сеҷум-вазнин.

Касалии нурии дараҷаи якум- аз дозаи умумии нурбориш 100-200р сар мешавад. Даври пинҳонияш ду-се ҳафта давом мекунад. Пас пайдошавии бетобӣ, беҳолӣ, сустӣ, бемадорӣ, беҳузурӣ, сарчархзанӣ, баланду паст шудани ҳарорати бадан пайдо мешавад. Дар таркиби хун миқдори саққочаҳои сафед хунӣ кам мешавад. Ин касали муолиҷашаванда аст.

Касалии нурии дараҷаи дуҷум- аз дозаи калони нурбориши 200-300р сар мешавад. Даври пинҳонияш то якчанд ҳафта давом дорад. Пас аломатҳои монанди касалии якум, танҳо равшантар ифода меёбад. Ҳангоми муолиҷаи фаъол баъди 1,5-2 ҳафта сиҳатишавӣ сар мешавад.

Касалии нурии дараҷаи сеҷум- дар дозаи умумии нурбориши зиёда аз 300-500р пайдо мешавад. Даври пинҳонияш то якчанд соат буда, беморӣ хеле бошиддат мегузарад. Ҳангоми муолиҷаи фаъол баъди якчанд ҳафта сиҳатишавӣ сар мешавад. Агар дозаи нурбориш аз 500р зиёд шавад, одам ба марг дучор мешавад, барои инсон ин дозаи ҳалокатовар аст. Маҷмӯаи ташиклиҳои, ки барои ҳимояи инсон аз нурҳои ионзо истифода мешавад-ин назорати тандурустӣ аст.

Аз нуқтани назари назорати тандурустӣ гузаронидани интихоби мутахассисон, ки бо нурҳои ионзо кор мекунад ва ошкор намудани касалии нуриро, агар мавҷуд бошад, муайян кардан зарур аст. Шахси касалии нури шуда аз нишонаҳои касалии оддӣ фарқ надорад, бинобар ин ошкор ва ташикси касалии нури хеле душвор аст. Махсусан ошкор намудани аломатҳои аввали он дар аввали пайдоишаш хеле мураккаб мебошад.

Ташикси рентгенӣ нишон медиҳад, ки дозаи нурбориш як рентгенро ташикл медиҳад, ҳангоми маҳдуд кардани нурбориш дозае, ки ба варамии руда ё маъда таъсир мерасонад ба 25р мерасад. Агар дозаи қабулкардаи инсон аз 450р зиёд шавад, инсон ба ҳалокат мерасад, онро дозаи леталӣ меноманд. Аз ин рӯ инро 50%-и дозаи леталӣ меноманд, ки ба 50%-и дозаи ҳалокатовар мувофиқ аст.

Аз ин нуқтаи назар дозаи леталӣ чунин дозае мебошад, ки 100% марговар аст.

Дозае, ки ба инсон хароби меорад ё не аниқ муайян кардан душвор аст, зеро ҳодисаи нурбориш хеле кам ва айнан барои тасдиқи ин ҳодисаҳои натиҷаҳои лозимии оморӣ миқдоран нестанд. Ғайр аз ин қобилияти нурбориш нишонаҳои худро баъди якчанд сол ошкор мекунад.

Ҳангоми маҳдудкунии нурбориши инсон аз ҳисоби реаксияҳои ҷубронии организми одам метавонад ба касалии дозаи калонро гузаронад. Асосан, ҳангоми гузаронидани рентгенбинии оддӣ шуши одам дозаеро қабул мекунад, ки 100 маротиба нисбат ба дозаи ҷоиши тамоми организм зиёд аст.

Ҳамин тавр, барои беҳатарӣ ва пешгирӣ кардани касалии нури, ки дар зери таъсири нурҳои ионзо ба вуҷуд меояд, бояд қоидаи санитариро риоя кард.

10.10. Таъсири биологии афканишоти ҳастай

Афканишоти ҳастай ба энергияи калон соҳиб буда, таъсири он ба бофтаҳои зинда боиси вайроншавии бофтаҳо мешавад. Агар дозаи беҳад калонро ба ҳисоб нагирем, таъсири биологӣ вобаста аз доза ва навъи нурҳои ҳастай дертар, яъне пас аз якчанд рӯз то якчанд моҳ ба қафомонӣ ошкор мешавад. Дар ин вақт ҳангоми аз ҳад зиёд будани экспозитсия (давомоти нурбориш, ки бо адади чуфти ионҳо дар 1см^3 ҳаво пайдо мешаванд, ифода меёбанд), ки воҳиди он рентген аст, давомоти он аз миқдори бофтаҳои нурборон гирифторишуда вобаста нест. Байни доза ва экспозитсия чунин вобастагӣ мавҷуд аст:

Доза = (экспозитсия) - (ҳаҷме, ки ба экспозитсия гирифтोर аст), дар он тағироти биологии ба вучудодада ба назар гирифта мешавад. Дар зери таъсири он бофта ҳамин хел зарари қиддӣ мебинад, ки барои муолиҷаи он то ин дам доруи аниқ ёфт нашудааст.

Пайдоиши аломатҳои нуркуваттарини экспозитсияи басо зиёдро дида мебароем:

1. Камшавии адади доначаҳои сафедаи хун;
2. Бенаслӣ;
3. Тағироти бенаслӣ дар авлод, яъне таъсири омил, ки дигаргунии ягон ҷисми баданро ба вучуд меорад ва он мумкин, ки ба ирсият гузарад;
4. Рехтани мӯи бадан, аз он ҷумла мӯи сар;
5. Саратон;
6. Нобудшавии устухонҳо, харобшави ва хушк шудани устухонҳо.

Камшавии адади заррачаҳои сафеди хун яке аз аломатҳои аввалиндараҷаи экспозитсия мебошад. Аз ин рӯ барои ҳамаи шахсоне, ки гирифтори экспозитсия мебошанд, ҳатман ва мунтазам бояд хунашонро ба таҳлил диҳанд ва аз назорати тибӣ гузаранд. Аммо дар ҳолати мӯътадил нигоҳ доштани камшавӣ шумораи доначаҳои сафедии хун кафолати набудани экспозитсияи басо зиёдро таъмин карда на мешавад. Барои ба даст овардани эффекти биологӣ дозаи зиёд сарф мешавад ва он аз дозаи муқарарӣ калон аст. Ин дигаргунӣ баъди гузаштани вақти муайян пас аз экспозитсия пайдо мешавад. Бараке таркиби пасттарини камшавии адади доначаҳо сафедии хун беандоза баланд будани экспозитсияро ба намуди хаттӣ нишон намедиҳад, зеро камшавии миқдори доначаҳои сафеди хун аз бисёр омилҳо вобаста мебошад. Ҳангоми набудани дигар омилҳо бояд чунин ҳолатҳои махсусро ба эътибор гирем, ки дар қисми таҳлили хун норасогии доначаҳои сафеди он дар организм зоҳир шавад. Вай дар навбати худ аз таъсири афканишоти нурҳои ҳастай вобаста мебошад. Доначаҳои сурхи хун ба афканишот нисбатан устувор буда, андаке хароб шудани он таъсири зиёди дозаи афканишоти нурҳои ҳастаиро талаб менамояд.

Тули солҳо маълум буд, ки таъсири нурҳои ҳастай боиси рехтани мӯи бадан мешавад. Аз ин рӯ онҳоро барои резонидани мӯи зиёдати истифода мебаранд, ҳоло он ки ин раванд дар организм без иён намегузарад, чунки вай дозаи калони афканишотро талаб мекунад. Дар баъзе ҳолатҳо мӯи метавонад баъди якчанд моҳ аз нав пайдо шавад, аммо дар дозаи басо

калонтарини афканишоти ҳастаӣ мӯй дигар пайдо намешавад. Яке аз оқибатҳои вазнин ва ҳайратангези нурҳои ҳастаӣ, яъне рехтани мӯи бадани одам дар зерин таъсири ин нурҳо пас аз таркиши бомбаҳои атомӣ дар Хиросима ва нигасаки ошкор гардид.

Маълум аст, ки таъсири нурҳои гуногун инсонро ба бенаслӣ доимӣ ё муваққатӣ гирифтад мекунад. Агар дозаи афканишот миёна бошад, инсон ба бенаслӣ муваққатӣ дучор мешавад ва организм қори мӯътадили худ муддати якчанд моҳ ё баъди якчанд сол барқарор менамояд. Дозаи басо зиёди афканишот бошад метавонад одамро ба бенаслӣ доимӣ дучор кунад.

Гузариши афканишот хеле самаранок аст, мутатсия (тағйироти тиббии ё сунъии хусусиятҳои ирсии организм, ки дар натиҷаи дигаргунишавӣ ё вайроншавии хромосомаҳо ва генаҳо ба вуҷуд меояд, асоси тағйироти хусусиятҳои ирсии организм аст) бо муваффақият барои парвариши навъҳои нави зироатҳо истифода мешаванд, аммо истифодаи он аз сабаби хеле кам будани миқдори дилхоҳи мутовҳо барои инсон ғайри имкон мебошад. Мутантҳо дар авлоди дуюмин ё сеюмин бо гузаштани вақти басо зиёд метавонанд пайдо шаванд. Аломатҳои он ошкор гашта, ба мутатсияи муайян ноил шуда таъсири он ба ҳодисаи омори ягон маҳдудият надорад. Аз ин рӯ ҳар гунна доза самаранок аст: бо зиёд шудани доза аз ҳудуди ҷоиз эҳтимолияти мутатсия меафзояд. Ҳар як фотон қобилияти таачубовари мутатсияро дорад, аммо эҳтимолияти ин ҳодиса хеле кам аст.

Нурҳои ҳастаи барои муолиҷаи касалии саратон васеъ истифода бурда мешавад. Вале маълум аст, ки саратон дар натиҷаи басо зиёд будани дозаи экспозитсионӣ пайдо мешавад. Дар адабиётҳои тиббӣ бисёр сабабҳои пайдоиши касалии саратон оварда шудааст; аз ҷумла дар байни рентгенологҳо аз сабаби маълум набудани ҳафнокии таъсири x-нурҳо ва нурҳои радиӣ ин касалӣ дар байни рентгенологҳо паҳн шудааст.

Дар бисёр мавридҳо дозаи аз ҳад зиёдро ошкор қардан душвор аст. Он бешубҳа қалон буда таъсираш муддати якчанд сол давом мекунад. Қаноатмандона зиёд шудани экспозитсияи мӯътадил ба камшавии шумораи дончаҳои сафеди хун меорад, аммо дозаи ниҳоят қалон боиси сафедхунӣ ё вайроншавии таркиби хун мегардад. Афзудани касалии хун – натиҷаи хеле баланд шудани миқдори лейкоцитҳо мебошад. Саратони хун оқибати нурбориш аст ва метавонад дар муддати 10 – 15 сол пас аз нурбориши инкишоф наёбад, аммо ҳама вақт сабабгори алоқамандии байни ду ҳодиса – нурбориш ва пайдоиши касалии саратон мебошад.

Алалхусус, ҳангоми ба организм дохил шудани радиоактив нобуд шудани устухон дар бисёр ҳолатҳо мушоҳида мешавад.

Элементҳои радиоактив, ба мисоли радиӣ ва плутоний, дар устухон ҷой мегирад ва дар ҷунин ҷойҳо ҷамъшуда ганоиш мешаванд, ки барои нобудшавии устухон самараноканд. Устухон яке аз бофтаҳои устувор нисбат ба афканиши ҳаста мебошад, аммо устухон ҳам дар муддати дурро дароз ҳангоми ба алфа-зарраҳо бомбаборон қардани тоб оварда наметавонад. Вақте, ки моддаҳои радиоактив ба узви устухон дохил мешаванд онҳоро аз он ҷо якбора хориҷ қардан ниҳоят душвор аст. Қӯшишҳои барои танг қарда баровардани алфа-зарра аз устухон ҳангоми

парҳезӣ истифода бурдани калсии хело баланд ба муваффақият наовард. Моддаҳои дар натиҷаи коҳиши алфа-зарра хориҷ шаванда, яке аз воситаҳои фаъолтарин барои нобуд кардани устухон мебошанд. Ғайр аз он, якчанд ҳолати нобуд шудани устухон баъди қабули дозаи калони гамма-нурҳо ошкор шудааст.

Қисми зиёди натиҷаҳои эффеќти биологӣ пас аз қабули дозаи нисбатан калони ҳастаӣ пайдо мешавад, вале чунин натиҷаҳо то ҳол мутаассифона хеле кам мебошанд. То он даме, ки зарари расонидашуда хеле калон наафзояд, фарди зарардида ягон эҳсос наменамояд ва намедонад чӣ гунна таъсирот боиси пайдоиши тағироти меъросӣ дар авлод мешавад. Сабаб ва шароити пайдоиши касалии саратони хун характери омӯрӣ дорад. Бинобар ин ҳамаи қувваро бояд ба он раво кард, ки экспозитсияи зиёдатири истифода набурда қоидаи беҳатарии муқарраршударо қатъи назар риоя ва истифода шавад. Ҳангоми мунтазам гузаронидани тафтишот бо асбобҳои қайдгирак, ки дараҷаи ҳафнокӣ бо нишондоди онҳо муайян мегардад, бояд асбобҳои қайдгирак боваринок бошанд ва онҳоро ловозимотҳои нави коркард иваз намоянд.

Характер ва интензивияти зараровар аз дозаи афканишот ва навъи зарраҳо вобаста аст. Ҳангоми организм аз қисмҳои узвро бо зарраҳои нурборон кардан таъсири гуногуни он мушоҳида мешаванд, баъзе организмҳои заиф ҳалок мешаванд. Дозаи миёнаи ҳалокатовар аз 50 рентген сар мешавад. Барои тухми ҳуҷайраҳо, ки аз аквариуми (зарфи шишаги пуроб, ки дар он моҳӣ ва растаниҳои обиро мепарваранд) хонагӣ гирифта шудааст, инъикосолот, барои баъзе бактерияҳо маълум аст, дозаи то 300000 р ҳалокатовар мебошанд. Дозае, ки аз дозаи ҳалокатовар пасттар аст касалиҳои гуногунро пайдо мекунад ва бо истилоҳи «касалии нурӣ» шарҳ меёбад, нигар ба қадвали 10.10.1

Дараҷаи таъсири дозаи гуногуни гамма-нурҳо дар узви бадани инсон оварда шудааст.

Қадвали 10.10.1

<i>Доза, рентген</i>	<i>Таъсирот ба организми инсон</i>
<i>0-25</i>	<i>Зарар ошкор нест.</i>
<i>20-50</i>	<i>Имконияти тағири таркиби хун.</i>
<i>50-100</i>	<i>Тағирёбӣ ва вайроншавии таркиби хун.</i>
<i>100-200</i>	<i>Зарар расонидан, қобилияти кориро аз даст додан.</i>
<i>200-400</i>	<i>Қобилияти кориро аз даст додан. Беқувватӣ</i>
<i>400</i>	<i>Ҳалокат 50%, 50%-и организми одам аз кор мебарояд. Қисми зиёди организми инсон барои иҷрои ин ё он кор қувват надорад. Имконияти ҳалок шуданро дорад.</i>
<i>600</i>	<i>Дозаи ҳалокатовар.</i>

Таркиби организм зиндаро ба се қисм тақсим кардан мумкин аст, онҳо дар зери таъсири дозаи нурбориши ба тағиротҳои гуногун дучор мешавад.

1. Молекулаҳои алоҳида;
2. Ҳуҷайраҳо;
3. Қисми макроскопии системаи организм, (бофтаи мушакҳо ё системаи нафасгирӣ). Дар зери таъсири радиатсияи зараррасон вайроншавии организм дар се қисми мушоҳидашуда ошкор шудааст.

Дар маҳсули радиолизми об, ки дар он ҳуҷайраҳои зинда одатан $25-30 \text{ A}^0$ ($1 \text{ A}^0 = 10^{-8} \text{ см}$) – ро ташкил мекунанд, таъсири радикалҳо (гурӯҳи атомҳои молекула, ки аз як таркиби кимиёвӣ ба дигараи бетагир мегузаранд) самараноктар аст. Радикалҳо метавонанд новобаста дар макромолекулаҳо ё ҳуҷайраҳои зинда ҳосил шаванд ва дар зери таъсири онҳо ҳамаи молекула ё ҳуҷайраҳо зарар мебинанд.

Таъсири биологӣ афканишоти гамма-нурҳо ва электронҳо, ки қобилияти ионизатсионӣ суғанд, ҳангоми мавҷудияти оксиген пурқувват мешавад. Дар муҳите, ки ганоии оксиген баланд аст (аз 0 то 30-40%), афзоиши дуҷуми таъсири зараррасон ҳисоб мешавад. Таъсири нурҳои ионизатсияшон пурқувват алфа-зарра аз ганоии оксиген вобаста нест.

Ба таври таҷрибавӣ муқаррар карданд, ки агар ба организм пеш аз нурбориш баъзе моддаҳои органикӣ (аксар вақт моддаҳои, ки дар таркибашон гӯгирд (s) доранд) дохил карда шаванд, пас вайроншавии биологиро дар зери таъсири афканишот то дараҷае пас фаровардан мумкин аст. Молекулаҳои ин моддаҳо дар мавриди кӯчидани энергия, ки қисми зиёди энергияи радиатсиониро фуру мебаранд ва возеҳан зарба задани макромолекулаҳо дар организм паст мефарорад дар организм фаъол омехта мешаванд. Ин гунна масолеҳи ҳифзӣ ба нурҳои ионизатсиякунанда пурқувват самаранок нестанд. Бояд қайд кард, ки баъзе вайроншавии пинҳониро ҳангоми дохил кардани моддаҳои ҳифзӣ дар организм, ҳатто пас аз нурбориш, бартараф кардан мумкин аст. Дар зери таъсири як рӯдоди ионизатсионӣ баъзе ҳуҷайраҳо ва ҳатто организмҳои якҳуҷайра нобуд мешаванд. Мисоли оддӣ як бархурии объект ба вучуд омадани касалии рӯда мебошад. Аммо бисёри ҳуҷайраҳо ба ду бархурӣ ва ҳатто ба бисёрбархурӣ дучор мешаванд. Барои объекти аз ҳуҷайраи хурд-ферментҳо (катализаторҳои биологӣ таркиби ҳуҷайраи зинда) иборат буда ҳодисаи якбархурии бештар арактерноқ аст.

Объектҳои якбархурӣ ва дубархурӣ ба энергияи афканишот эҳсоси калон доранд ва аз вай фарқ мекунанд. Объекти яқум ба афканишоти ионҳои камқувват ва дуҷум ба ионизатсияи камқувват эътинод дорад. Ин фактҳо дар расми 4 ҳамчун вобастагии бо самаранокии нисби биологӣ ББН аз бузургии сарфи энергияи ионизатсионӣ ($-dE/dx$) барои якбархурии касалии рӯда ва барои дубархурӣ диплоиди ҳуҷайраҳои хамиртруш оварда шудааст ба расми 10.10.1..

Расми 10.10.1.

Расми 10.10.1. Вобастагии ББН аз сарфи гуногуни энергия барои бисёрбархурӣ (хатти яклухт) ва якбархурӣ (хатти нуқта монанд) дар организм.

Сарфи энергияи E дар мК бофта, кэВ.

Фарқияти байни якбархурӣ ва дубархурӣ объектҳо равшан аст: объекти дубархури ҳуҷайраҳоро нобуд месозад, ҳангоми мавҷудияти дубархурӣ ионизатсия дар фазои ба ҳам наздик мегузарад вай вайроншавӣ ва зичии баланди ионизатсия вобаста аст. Дар объектҳои якбархурӣ баракс, зичии баланди ионизатсия ва таъсири он харобшавиро намет мекунад, аз сабаби эҳтимолияти баланди сарфи энергияи ионизатсия ба молекула ё ҳуҷайраи ҳалок гаишта дар объектҳои якбархурӣ баракс, зичии баланди ионизатсия ва таъсири он харобшавиро намет мекунад.

Ҷои аз ҳама эҳсосноки одам ба нурбориши чузъҳои хуновар, яъне магзи устухон, пипурз, пӯсти гадуди таносул ва пардаи луобии рӯда мебошанд. Ҳангоми доза ба дозаи ҳалокатовар наздик шудан, дар натиҷаи харобшавии ҳуҷайраҳои магзи устухон, ки хун истехсол мекунанд марг сар мешавад. Агар доза аз дозаи ҳалокатовар зиёд бошад, аз ҳисоби зарба хурдани рӯдаҳо марг тезтар фаро мерасад. Доза аз дозаи марговар хурд бошад, аввало даври тез пайдо шудни касалии камхунии сӯхтагӣ ва захм, рехтани мӯй, зарбаи чашм, милки дандон, гулӯ ва гайра сар мешавад. Беморӣ пас аз якчанд соат пайдо мешавад, ҳангоми нурбориши пурқувват вай ба беқувватшавӣ ва марг оварда мерасонад. Ҳангоми тез гузаитани касалии нури муқобилият ба касалии сирояткунанда басо намет мешавад ва эҳтимолияти пайдоиши каратант ва варами саратонӣ меафзояд.

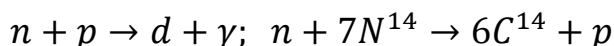
Дар замони ҳозира усули самараноки муолиҷаи касалии нури кор карда шудааст, ки бо ёри он ҳаёти одамонро аз дозаи марговари нурбориши наҷот додан мумкин аст. Дар дозаи калон усули асосии муолиҷа гузаронидани хуни аз як одам ба одами дигар ва дар организми солим магзи устухонро иваз кардан мебошад. Сабаби гуногун будани зарби эквиваленти нисбии биологӣ, яъне босамарии биологӣ нисбӣ ББН-ро барои намудҳои гуногуни афканишот, ки дар қадвали 10.10.2 оварда шудааст, дида мебароем.

Қадвали 10.10.2

<i>Намуди афканишот</i>	<i>ББН</i>
<i>Гамма-нурҳо</i>	<i>1</i>
<i>Бетта-нурҳо</i>	<i>1</i>
<i>Нейтронҳои ҳароратӣ</i>	<i>5</i>
<i>Нейтронҳои сареъ</i>	<i>10</i>
<i>Протонҳо</i>	<i>10</i>
<i>Алфа-зарраҳо</i>	<i>10</i>

Гамма-нурҳо ба бофтаҳои зинда асосан аз ҳисоби электронҳои комтонӣ таъсири мерасонанд. Бинобар он таъсири мутақобилии гамма-нурҳо ба электронҳо тахминан якхела аст. Зарраҳои зарятноки вазнин, яъне протонҳо ва алфа-зарраҳо зичии баланди ионизатсияро пайдо мекунанд. Эҳтимолияти зарба задани объекти дубархурӣ аксаран дар организмҳои баланд таъсирёфта мушоҳида мешавад. Аз ин нуқтаи назар, зарраҳои вазнин як дараҷа нисбат ба электронҳо хатроктар мебошанд. Ин

раванд барои нейтронҳои сареъ низ ҷой дорад. Нейтронҳои сустҳаракат ба бофтаҳои зинда таъсир доранд ва бо якҷоягии гамма-квантҳои дорои энергияи 2,23 МэВ ва протонҳои энергияшон 0,6 МэВ аз реаксияи зерин пайдо мешавад.



Аз ин ҷо маълум мешавад, ки ББН, барои нейтронҳо бо бузургии мувофиқ аст, ки қиммати он дар байни гамма-квантҳо ва зарраҳои заряднокӣ вазнин ҷойгир аст.

10.11. Гурӯҳи радиозаҳрнокии моддаҳои радиофаъл кушод

Моддаҳои радиоактив ба намуди кушод ҳамчун манбаи нурбориши дарунӣ ба панҷ гурӯҳи радиозаҳрноки тақсим мешаванд.

Лавозимоти гурӯҳи радиозаҳрнокиро вобаста аз ҳудуди ҷои фаъолияти манбаи радиоактив дар ҷои кор муайян мекунам, ки он қайдгирӣ ё иҷозатномаи хизмати санитарӣ-эпидемиологиро талаб намекунад. Дар асоси меъёри бехатарии радиатсионӣ гурӯҳҳои зеринро дида мебароем:

Гурӯҳи А- элементҳои радиозаҳрнокиашон ниҳоятдараҷа баланд. Ба ин гурӯҳ элементҳои зерин дохил мешаванд, ки фаъолиятшон 0,1 мккюри буда, ҳудуди ҷои ганоишашон дар ҳавои ҷой кюри ба $1, 10^{-13}$ кюри/л ва аз ин кам мебошанд.

(Sr – 90, Po – 210, Ra – 226, Pu – 239 ва ғайраҳо)

Тавоноии доза Р, дар бораи лоҳиакаши ҳифз аз сели нурҳои ионзои беруна. мбэр/соат.

Ҷадвали 10.10.3

Категорияи одамони нурбороншуда	Номи ҷой	Лоҳиаи тавоноии доза р, мбэр/соат	
		Барои t=36 соат /ҳафта	Барои t=41 соат /ҳафта
Категорияи А	Ҷои доими исти* гурӯҳи коргарон, ҷое ки гурӯҳи коргарон дар як ҳафта 18 соат, кор мекунам, ҷои гайри хизмати* ҷои муассисаҳои дигар.	1,4	1,2
		2,8	2,4
		28*	24
		0,1	0,1
Категорияи Б	Ҷои гуногуни атрофиён, ки дар ҳудуди минтақаҳои назоратӣ мебошанд.		0,03

*Ба сифати ҷои гайрихизматӣ, хонаҳои омехтаро дар назар доранд, боксҳо, ки дар онҳо манбаи нурҳои ионзо нигоҳ дошта мешаванд.

Ҳайати коргарон танҳо дар вақти таъмир дар он ҷойҳо ташириф оварда метавонанд.

***зафсиш девори байни камераҳои ба ҳам наздикро чунин интиҳоб мекунанд, ки ҳангоми гурӯҳи коргарон ба он ҷо ташириф овардан, манбаи нурҳои ионзо дур бошад, хосияти коркунӣ ва шароити бехатарии дурро дароз таширифоварии ҳайати коргарон танҳо дар вақти таъмир таъмин бошад.*

Гурӯҳи Б- элементҳои радиозаҳрнокиашон баланд: Ба ин гурӯҳ изотопҳои дохил мешаванд, ки фаъолияти сутуни охири ба 1 мккюри баробар бошад: Na-22, Ca-45, Co-60, Sr-89, Y-91, Cs-134, Cs-137, Ra-224, Eu-154, барои ин элементҳо ҳудуди ҷои ганоии ба $1 \cdot 10^{-11}$ кюри/л баробар аст.

Гурӯҳи В – элементҳои радиозаҳрнокиашон миёна: Барои ин гурӯҳ элементҳои ҷадвали 10.10.4 дорони фаъолияти 10 мккюри мебошанд, яъне: O-15, Na-24, K-42, P-32 ва ғайра, ки ҳудуди ҷои ганоии аз $1 \cdot 10^{-11}$ то $1 \cdot 10^{-9}$ кюри/л зиёд аст.

Гурӯҳи Г – ба ин гурӯҳ элементҳои дохил мешаванд, ки радиозаҳрнокиашон миёна буда, фаъолиятиашон 100 мккюри аст: H-3, C-11, C-14, Ar-41, Pb-203 ва ғайра, ки барояшон ҳудуди ҷои ганоии баробари $2 \cdot 10^{-9}$ кюри/л ва зиёд мебошад.

Гурӯҳи Д – элементҳои дохил мешаванд, ки фаъолиятиашон ба 100 мккюри баробар аст.

Бояд қайд кард, ки моддаҳои радиоактив, ки дар ин ё он гурӯҳи радиозаҳрноки дохил мешаванд, вобаста аз ҳудуди ҷои ганоии моддаи радиоактив дар фазои ҷои кор муайян карда мешавад.

10.12. Синфбандии кор бо моддаҳои радиофаъл кушод

Ба доираи ташилиҳое, ки бехатарии корро бо моддаҳои радиоактив таъмин ва муайян мекунанд: муқаррар намудани синфбандии кор (дараҷаи бехатарӣ), ба қайд гирифтани ва истифодаи изотопҳои радиоактив, дохил намудани ба қайдгирӣ ҳангоми кор, гузаштани дастурамали санитарӣ-истехсолӣ, кашонидани изотопҳо ва партовҳо мебошад.

Ҳамаи корҳои, ки бо изотопҳои радиоактиви кушод мегузаранд ба се синф ҷудо мешаванд. Синфбандии кор талаботе, ки барои ҷо ба ҷо кардани лавозимотҳо дар ҳонаи корӣ, ки бо моддаҳои радиоактиви кушод гузаронида мешавад, муайян мекунанд. Синфбандии кори муқаррар карда мешавад, вобаста аз гурӯҳи радиозаҳрнокии изотопи радиоактивӣ ва миқдори асли (фаъолиятӣ) он дар ҷои кор муқаррар карда мешавад. Ин натиҷаҳо ба ҷадвали 10.10.4 оварда шудааст.

Синфбандии корӣ бо моддаҳои радиоактиви кушод

Ҷадвали 10.10.4

Гурӯҳи	Ҳудуди ҷои фаъолият дар ҷои кор, ки	Фаъолият дар ҷои кор, мккюри
		Синфи корӣ

<i>радиоа ҳрнокӣ</i>	<i>иҷозати санитарӣ- эпидемиологӣ талаб намекунад, мккюри</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
<i>A</i>	<i>0,1</i>	<i>Калон аз 10^4</i>	<i>Аз 10 то 10^4</i>	<i>Аз $0,1$ то 10</i>
<i>B</i>	<i>1,0</i>	<i>Калон аз 10^5</i>	<i>Аз 100 то 10^5</i>	<i>Аз 1 то 100</i>
<i>B</i>	<i>10,0</i>	<i>Калон аз 10^6</i>	<i>Аз 10^3 то 10^6</i>	<i>Аз 10 то 10^3</i>
<i>Г</i>	<i>100,0</i>	<i>Калон аз 10^7</i>	<i>Аз 10^4 то 10^7</i>	<i>Аз 10^2 то 10^4</i>
<i>Д</i>	<i>1000,0</i>	<i>Калон аз 10^8</i>	<i>Аз 10^5 то 10^8</i>	<i>Аз 10^3 то 10^5</i>

Дар лабораторияҳое, ки кори синфи III гузаронида мешавад, талаботи махсусро талаб намекунад. Кори ин синфҳо дар хонаҳои алоҳида гузаронида мешавад.

Тавсия дода ба сохтани обхонаҳо, ҷудо кардани хонаи алоҳида барои нигоҳ доштан ва пешакӣ баркашидани маҳлулҳо кори синфи III вобаста ба эҳтимолияти чиркинии ҳаво аз моддаҳои радиоактив, муомила бо маҳлулҳо, бугдиҳии маҳлулҳо, дар ҷевони захркаш (ҷевони махсуси лабораторияҳои кимёвӣ, ки газ ва бугҳои захрдорро мекашад) иҷро мешавад. Тахтаи болои мизи металӣ ва дигар таркиби ҷевон ва болои мизи кориро бояд аз лавозимотҳои моддаи радиоактиви сусиҷамъшаванда пӯшонидан даркор аст. Хонае, ки дар он кори синфи III гузаронида мешавад бояд дар ҷои алоҳидаи бино ҷойгир шавад, ки аз дигар хонаҳо ҷудо бошад. Ба ин қисми хонаҳо бояд иҷозатномаи санитарӣ дошташуда, ё обхонаҳо бо назорати радиационӣ дар баромад таъмин бошад.

Манзили кори синфи I дар бинои алоҳида ҷойгир мешавад, ки даромади он ба иҷозатномаи санитарӣ таъмин мебошад. Ин синф ба се минтақа ҷудо аст:

Минтақаи 1- камераҳо, хонаҳои алоҳида, ҷойҳои ҳавоногузар, хонаҳои гайрихизматӣ, ки асбобу лавозимотҳои технологӣ, алоқа, ки манбаи асосии чиркинии радиоактивро нигоҳ медоранд.

Минтақаи 2 – хонаҳое, ки пай дар пай хизмат мерасонанд. Таъмири хонаи мошинҳо барои гузаронидани таъмири асбобу лавозимотҳо ва дигар корҳо, ки ба кушодани асбобҳои техникӣ алоқаманд аст, гиреҳи борӣ ва боркамкунӣ, асбобҳои технологӣ, муваққатӣ нигоҳ доштан ва бартараф кардани партовҳо.

Минтақаи 3 – манзиле, ки барои доимӣ истодани гурӯҳи коргарон пешниҳод шудааст, ҷои оператор махсус, ки коркунони баландихтисос механизми мураккабро идора мекунанд. Барои он ки чиркинӣ аз минтақаи 2 ба минтақаи 3 нагузарад дар байни минтақаҳо дари санитарӣ аз қургошим таҷҳиз карда мешавад. Дар ҳолате, ки кор дар муассисаҳо дар се давр гузаронида

мешавад, хонаҳо дар асоси коргузаронӣ бояд ба синфҳо ҷудо бошад. Хонаи кори синфи 2 бояд аз ҷевони захркаш ва хонаҳои алоҳида таъмин бошад, барои кори синфи 1 хонаҳо, камераҳо аз ҳамдигар алоҳида ё дигар лавозимотҳои герметики ҳифзӣ таҷҳизонида бошад. Дар ҷойҳои кори синфи 1 ва 2 бояд идоракунии системаи умумӣ ҷой дошта бошад. Гармигузаронӣ, таъмини газ, таъқиқи ҳаво, об, гуруҳи лавҳаи барқӣ бояд берун аз ҷои асосии корӣ бошанд. Муомилаи кори истеҳсоли дар ҷои кор ва камераҳои махсус бояд ба лавозимотҳои масофавӣ ё дастпӯшакҳо ба таври герметикинамои девор таҷҳизонида бошад.

Дар ҷойҳои кори синфи 1 ва 2 фарши хона ва деворҳо дар минтақаи таҷҳизотҳо ва минтақаи ҷо ба ҷо намудани асбобу лавозимотҳо ва шифт бояд ба моддаҳои махсуси радиоактивро сустҷамъкунанда тобовар бошад. Охири фарш бояд нишеб буда то нисфи девор маҳкам бошад. Ҳангоми мавҷуд будани канализатсияи махсус канорҳои фарши хона бояд нишеб бошад. Ҳангоми кор бо моддаҳои радиоактивӣ кушод бояд ҳимояи коргаронро аз нурборонкунии беруна таъмин кунанд. Асбобҳо аз мизу курсӣ бояд сатҳи ҳамвор дошта бошанд. Истифодаи лавозимотҳои мулоим маън аст. Доду гирифт, аз як хона ба хонаи дигар гузаронидани моддаи радиоактив танҳо баъди назорати дозасанҷи иҷозат дода мешаванд.

Кор бо синфҳои дилхоҳ вобаста аз мураккабии иҷрои муомила ва навъи изотоп дар ҷои кор, аз бузургии муайян фаъолият вобаста аст. Ҳангоми иҷрои муомилаи мураккаб бо моддаҳои радиоактивиҳои моеъ фаъолиятшон 10 маротиба, кор бо моддаҳои чангмонанд – 100 – маротиба нисбат ба натиҷаи ҷадвали 10.10.4 овардашуда кам бошад.

Синфи кориро вобаста аз мураккабии кор интихоб мекунанд, саҳт ва воситаи ҳимоя бояд ба дараҷаи баланд гузаронидани корҳо бо моддаҳои радиоактиви кушод таъмин намояд.

Агар фаъолияти манбаъи гамма-нурҳо аз 0,1 мг экв, фаъолияти манбаи бета-нурҳо аз 0,1 мкюри калон бошад, сохти ҳифз (ҳимоя) аз нурборонкунии беруна вобаста мешавад. Кор бо манбаъҳои пӯшида синфбандӣ намешаванд. Талаботи асоси ҳангоми кор бо ин гуна манбаъҳои риояи «қоидаи санитарӣ» - мудофия аз нурбориши беруна мебошад.

Адабиётҳо

1. А.Н. Матвеев. Атомная физика, изд, Оникс, Мир и образование 2007г
2. Т.И. Трофимов, Основы физики, Атом, атомное ядро и элементарные частицы, изд, Кновус, 2011г
3. И.М. Капитонов, Введение в физику ядра и частиц, изд, Физматгиз, 2010г

4. *П.Г. Фадеев, Лекция по атомной физике, изд, Физмат книга, 2008г*
5. *Э.В. Шпольский, Атомная физика том 1 и 2 изд, Наука, М.1974г*
6. *М. Борн. Атомная физика. М. 1965г*
7. *Л.Н. Добрецов, Атомная физика, изд, физ.мат. М.1960г*
8. *Е. Пустовалов, Атомная и Ядерная физика, атомиздат, М. 1962г*
9. *А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матисевмч, Основы экспериментальных методов ядерной физики, Атомиздат, М. 1970г*
10. *А. Нарзиев, Дозасанҷӣ ва ҳифзи аз афканишоти ядрӯӣ. Нашириёти Эр-Граф. Душанбе, 2005с.*