

Э.О. ҚЎШЖОНОВ, Д.Э. ҚЎШЖОНОВА

МИКРОЗАРРАЛАРНИНГ СИРЛИ ТАБИАТИ

ТОШКЕНТ – 2018

УДК
ББК

Муаллифлар:

Э.О. Қўшжонов, Д.Е. Қўшжонова

Масъул муҳаррир:

А. Атамуратов – УрДУ, “Физика” кафедраси доценти,
физика-математика фанлари номзоди.

Такризчилар:

У. Қутлиев – УрДУ, “Физика” кафедраси мудири, физика-математика
фанлари доктори, профессор.

Э. Рўзиев – УрДУ, “Мехнат таълими” кафедраси мудири,
педагогика фанлари доктори, профессор.

Ш. Исмоилов – Тошкент ахборот технологиялар университети Урганч
филиали, “Телекоммуникация инженеринги” кафедраси мудири,
физика-математика фанлари номзоди, доцент.

Илмий-амалий қўлланма Муҳаммад Ал-Хоразмий номидаги ТАТУ
Урганч филиали Факультет Кенгаши томонидан кўриб чиқилиб чоп
қилишга тавсия қилинган (Баённома №5, 27 декабрь 2017).

Э.О.Қўшжонов, Д.Э.Қўшжонова. **Микрозарраларнинг сирли та-
биати.** – Т.: “Voris-nashriyot”, 2018. – 72 б.

Ушбу илмий-амалий қўлланмада табиатнинг сирли воқеа-ҳодисаларидан
ҳисобланмиш атомлар, электронлар, фотонлар, умуман микрозарраларнинг
очилиши, дифракция ва интерференцияси тарихи ҳақида сўз юритилади,
уларни тушинтиришда эса квант физикасининг тўлқин функцияси, материя
тўлқинлари, эҳтимол тўлқинлари, тўлқин амплитудаси каби тушинчалари
ҳамда статистикаси ва эҳтимоллар назарияси қонуниятларидан фойдаланил-
ган. Бундан ташқари, китобчада атом “образ”ларининг ҳамда квант физика-
сидаги баъзи “сир”ли тушунчаларнинг ривожланиш босқичлари, “сир”лари-
нинг очилиш тарихига тегишли бўлган фактлар қизиқарли баён қилинган ва
ўқувчиларни бефарқ қолдирмайди деган умиддамиз. Қўлланма физика, тех-
ника ҳамда табиий фанлар ривожланиш тарихи билан қизиқувчи кенг китоб-
хонлар оммасига мўлжалланган.

КИРИШ

Табиатда бирорта мураккаб жараён, сирли воқеа – ходиса йўқки, уни ҳозирги замон физикаси тушинчаларисиз, ғояларисиз тушинтириб бўлмаса. Илмий-амалий қўлланмада ана шундай сирли воқеа-ҳодисалардан ҳисобланмиш атомлар, электронлар, фотонлар, умуман микрозарраларнинг очилиши, дифракция ва интерференцияси тарихи ҳақида сўз юритилади, уларни тушинтиришда эса квант физикасининг тўлқин функцияси, материя тўлқинлари, эҳтимол тўлқинлари, тўлқин амплитудаси каби тушинчалар ҳамда статистика ва эҳтимоллар назарияси қонуниятларидан фойдаланилган. Бундан ташқари, китобчада атом “образ”ларининг ҳамда квант физикасидаги баъзи “сир”ли тушунчаларнинг ривожланиш босқичлари, “сир”ларининг очилиш тарихига тегишли бўлган фактлар қизиқарли баён қилинган ва ўқувчиларни бефарқ қолдирмайди деган умиддамиз.

Физика тарихи, физика фанининг ривожланиш жараёнини ва унинг ички ва ташқи сабаблари орасидаги боғланишларини очиб беришдан иборатдир. Табиий фанларнинг ривожланиш қонуни, бу ушбу фаннинг ривожланиши ишлаб чиқариш билан белгиланиши бўлиб, у мураккаб функциядир. Физика фани ривожланишининг асосий давр ва босқичлари тахминий қуйидагилардан иборатдир[1,2]:

1. Физика тарихидан олдинги давр (қадимги вақтлардан XVII асргача): 1) Антик давр (эрамизгача VI асрдан эрамизнинг V асригача); 2) ўрта асрлар (VI–XIV асрлар); 3) Уйғониш даври (XV–XVI асрлар).

2. Физиканинг фан сифатида вужудга келиш даври (XVII аср бошидан шу асрнинг 80-йилларигача).

3. Классик физика даври (XVII аср охириларида XX аср бошигача).

1) 1-босқичи (XVI аср охириларида XIX асрнинг 60-йилларигача); 2) 2-босқичи (XIX асрнинг 60-йилларидан 1894 йилгача); 3) 3-босқичи (1895–1904 йиллар).

4. Ҳозирги замон физикаси даври (1905 йилдан бошланди).

1) 1-босқичи (1905–1931 йилгача); 2) 2-босқичи (1932–1954 йиллар); 3) 3-босқичи (1955 йилдан бошланган).

Ҳозирги замон физикаси даври 3 босқичга бўлинади:

1. 1905–1931 релятивистик ва квант тушунчаларидан фойдаланиш ва квант механикасини вужудга келиш босқичидан иборатдир. Бу И.Ньютондан кейинги 4-фундаментал назариядир. 2. 1932–1954 йилларда физиклар атом ядроси дунёсига кириб бордилар. 3) 1955 йилдан бошланиб, ушбу давр субядро ва космос физикаси давридир. Физиклар нуклонларнинг структурасини ўргана бошладилар. Бу босқич илмий -техника революцияси даврига тўғри келди ва у ишлаб чиқариш кучлари ривожланишига ҳамда инсоният жамиятининг ривожланишига янги шароит яратиб берди. Физика тарихини юқоридагича даврларга бўлиш, албатта тахминийдир.

I боб.

МИКРОЗАРРАЛАР ДИФРАКЦИЯСИ

1. Ёруғлик заррами, аразми ёки бошқа нарсами?

Электронлар, протонлар ҳамда нейтронларнинг тўлқин-зарра хусусиятига эга эканликларини талабаларга тушунтириш ва бу жараёнда эҳтимолий-статистика ғояларидан фойдаланишни ўргатиш физика таълими олдида турган муҳим ва долзарб вазифалардан биридир.

Ёруғликнинг табиати қадим-қадимларданок инсониятни қизиқтириб келган. Буюк ватандошимиз Берунийнинг *“Ёруғлик заррами, аразми ёки бошқа нарсами?”* деган савол билан Ибн Синога мурожаат қилишида чуқур маъно бор[3,6]. Чунки, бу саволга алломаларимиз асрлар давомида жавоб топа олмай келганлар ва XX аср бошига келиб у қуйидаги кўринишда янада кескинроқ қўйила бошланди: “Ёруғлик заррами, тўлқинми ёки бошқа нарсами?” ёки “микрозарраларнинг тўлқин хусусиятини қандай изоҳлаш мумкин?” Саволнинг бу тарзда қўйилишига асосий сабаб иссиқлик нурланиши бўйича тажриба натижаларини классик физика мутлақо тушунтириб бера олмагани бўлди [7].

Ёруғликнинг тўлқин хусусиятга эга эканлиги Гюгенс, Френель замонларидан буён маълум, ўшандан буён ёруғликнинг нурланишини, денгиз тўлқинларига ва айниқса тўлқин таъсирини, кирғоққа келиб урилаётган денгиз тўлқинларига ўхшатиш одат бўлган [8]. Электромагнит нурланишнинг ҳам *тўлқин* хусусиятга эга эканлигини ва Масвелл тенгламаларининг тўғрилигини 1889 йилда Г.Р.Герц ўз тажрибаларида исботлади. Такдир-

ни қарангки, икки йил аввал (1887 йили) худди шу олимнинг ўзи ўз тажрибларида ёруғлик нурланишининг шундай хусусиятига гувоҳ бўлдики, уни тушунтириш учун ёруғликни фақат **корпус-кула яъни зарра** деб қабул қилиш лозим бўлади. Гап шундаки, бу ҳодисани, аниқроғи иссиқлик нурланиши спектрини классик физика тушунтиришга ожизлик қилди. Бундай ҳолат, яъни тажриба натижаларини классик физика конунлари тушунтириб беришга ожизлик қилган ҳол физикада биринчи бор кузатилиши эди. Шу сабаб, табиатшунослар, биринчи навбатда физиклар бу вазиятдан «шок» ҳолатга тушиб қолдилар. Ҳодиса эса «ультра-бинафша ҳалокат» деган ваҳимали ном олди. Файласуфлар орасида эса «физика кризисга учради», «физиканинг умри тугади» деган гаплар тарқалди.

Шундай бир ҳолатда физикани кризисдан қутқариб қолишга Макс Планкнинг **элементар энергетик бўлаклар** тўғрисидаги дадил ғояси асос бўлди (1900, декабр). М.Планк сифат жиҳатдан бутунлай янги ғояни илгари сурди. Унинг фикрича нурланиш узлуксиз эмас, балки **бўлак-бўлак, порция-порция бўлиб амалга ошади**, ҳар бир элементар порциянинг энергияси эса ёруғлик частотасига боғлиқ ҳолда қуйидагига $E = h\nu$ тенг, бунда h – Планк доимийси, унинг қиймати $6,625 \cdot 10^{-34}$ ж·с. Бу энергия порциясини киритиш билан иссиқлик нурланишининг тажрибаларда топилган қонуниятларини (нурланиш спектри кўринишини, Стефан–Больцман қонунини, В.Вин қонунини) тушунтириш имкони пайдо бўлди [7,8]. Масалан, юқоридаги **Планк формуласига асосан қисқа тўлқин узунликлар соҳасида, тўлқин частотаси ошиши билан ҳар бир квантнинг энергияси оша боради**. Тўлқин узунлик нолга интилганда эса ҳар бир квант энергияси шу даражада катта бўлиши лозимки, бундай ҳолда иссиқлик ҳаракатининг энергияси ҳатто **битта квант чиқаришга ҳам қурби етмай қолади**. Натижада, абсолют қора жисм нурланиш қобиляти кескин пасаяди.

2. Фотоэффект ва Комптон эффекти ходисалари

1905 йиллар Эйнштейннинг “Ёруғликнинг вужудга келиши ва ўзгаришига эвристик қарашлар” илмий мақоласи физика тарихида янги муҳим саҳифа бўлди. Мақола киришида Эйнштейн, жумладан, қуйидагиларни ёзган эди: “ёруғлик назарияси узлуксиз фазовий функцияларни қўллаши билан, уни ёруғликни вужудга келиши ва ўзгариши ходисалари учун қўллаганида тажриба натижаларига мос келмаслигини кузатиш мумкин бўлади. Шу муносабат билан, унинг энергияси бир нуқтадан чиқиб фазонинг барча нуқталарида узлуксиз тақсимланади дея олмаймиз, балки у фазода чекли сондаги фақат яхлит ҳолда вужудга келувчи ёки ўзгарувчи квантлар энергиясига йиғиларди”. Кейинчалик Эйнштейн яна ёзади: “Агар кичик зичликдаги монохраматик нурланиш ўзини $h\nu$ энергияли квантлар дискрет муҳит сифатида намоён қилса, у ҳолда ёруғликнинг вужудга келиши ва ўзгариши қонунлари гўёки ёруғлик худди шундай энергия квантларидан ташкил бўлмасмикан, деган савол пайдо бўлмайдими?” Шундай қилиб, Эйнштейн квант осцилляторларни, Планкнинг квантлаш ғоясини электромагнит тўлқинлари нурланиши учун умумлаштирди[9].

Кейинчалик Эйнштейн (1905) ушбу элементар энергия порциясини **“квант”** деб атаган, Ж.Льюис эса уни ёруғлик квантлари учун **фотон** (1926) деб номлаган эди [8,9,10]. Эйнштейн фотоэффект ходисасини тушунтиришда ёруғликни денгиз тўлқинларидан кўра кўпроқ артиллерия снарядларига ўхшатди ва “ҳар бир снаряд-квант, энергияси етарлича бўлганда, атомдан фақат биттагина электрон уриб чиқариши мумкин, энергиянинг ортган қисми эса металлдан чиқиб олган электроннинг максимал кинетик энергияси сифатида намоён бўлади” дейди. Эйнштейн фикрига кўра, фотон энергияси унинг частотаси билан $E=h\nu$ орқали боғланган бўлса, унинг импульиси тўлқин вектори $\mathbf{k}$ орқали қуйидагича боғланади: $\mathbf{P}=\hbar\mathbf{k}$. *Ушбу ифодалар, Эйнштейн фикрича нурланиш жараёнини эътиборга олмаб, балки нурла-*

ниш ўзининг хусусиятидир. Демак, электромагнит нурланиш тўлқинлари квантлардан-фотонлардан иборат экан[10]. Шундай қилиб, Эйнштейн Планк назариясини ривожлантирди: квантлар назариясини ёруғликнинг *нурланиши, тарқалиши, ютилиши* ҳодисалари учун ҳам умумлаштирди. Натижада, квант физикасига асос солинди. Ёруғликнинг сочилиши ҳам квант хусияти билан аниқланишини кўрсатадиган яна бир тажрибани А. Комптон амалга оширди. А. Комптон 1923 йили рентген монохроматик нурланишнинг енгил атомлар (парафин, бор)да сочилишини кузатар экан, сочилган нурлар таркибида дастлабки нурлар билан бир қаторда *уzun тўлқин узунликли* нурлар ҳам борлигини аниқлади. Тажрибалар шуни кўрсатдики, дастлабки тушаётган нур билан сочилаётган нур тўлқин узунликлари фарқи $\Delta\lambda$ дастлабки нур тўлқин узунлигига ҳам сочувчи муҳит табиатига ҳам боғлиқ бўлмасдан фақат сочилиш бурчагигагина θ боғлиқ бўлади. Классик физика тасаввурларига биноан муҳитга тушган электромагнит тебранишлари муҳит атом, молекула ёки электронларини маълум бир частота билан тебранишга мажбур қилади. Натижада, муҳит иккиламчи электромагнит тўлқинлар тарқата бошлайди. Бунда ҳосил бўлган иккиламчи электромагнит тўлқинлар частотаси бирламчи тўлқинларники билан айнан бир хил бўлиши керак эди.

Демак, А.Комптон тажрибасини фақат квант физикасига асосланиб, яъни тарқалаётган, муҳитга тушган ва сочилган электромагнит нурланиш квант (зарра) хусусиятига эга эканлигини эътиборга олган тақдирдагина тушунтириш мумкин. *Бунда гўё икки биллиард шарчалари ўзаро бир-бири билан тўқнашиб сочилгандаги ҳодиса юз беради.* Ушбу ҳодиса зарраларнинг тўқнашувлар диаграммасига асосланиб тушунтирилади. Айттайлик нурланиш кванти моддадаги заиф боғланган электронга тушаяпти дейлик. Маълум бир импульс ва энергияга эга бўлган квант-зарра тинчликдаги электронга ($E_{э,т} = m_0c^2$; $P_э = 0$) келиб тушиб, унга энергия ва импульсининг бир қисмини узатади ва θ

бурчакка сочилади. Бунда энергия ва импульс сақланиш қонуни бажарилади[11]:

$$m_0c^2 + h\nu = h\nu^I \quad (1)$$

$$m\vartheta^2 = \left(\frac{h\nu^I}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 - 2\frac{h^2}{c^2}\nu\nu^I \cos\Theta \quad (2)$$

Бунда m_0 – тинчликдаги электрон массаси; m – ҳаракатдаги электрон массаси; ϑ – электроннинг ҳаракат тезлиги; ν – тушаётган квант частотаси; ν^I – сочилаётган квант частотаси; Θ – сочилиш бурчаги; c – ёруғлик тезлиги; h – Планк доимийси. Кузатиш натижаларига биноан, тўлқин узунлиги силжиши $\Delta\lambda$ қуйидаги формула ёрдамида аниқланади.

$$\Delta\lambda = 2K_c \sin^2 \frac{\Theta}{2} \quad (3)$$

Комптон доимийсининг назарий қийматини эса қуйидаги ифодадан топиш мумкин:

$$K = \frac{h}{m_0c} \quad (4)$$

Демак, тушаётган нурланиш тўлқин узунлиги силжиши $\Delta\lambda = \lambda^I - \lambda$ нурланиш квантининг сочилиш бурчаги билан аниқланар экан.

3. Атомлар нега турғун?

Де-Бройльни анча вақтдан буён ёруғликнинг тўлқин-зарра хусусияти ва шу билан бирга электроннинг ҳам атомдаги ҳаракатлари қизиқтириб келар эди. Уни, жумладан, атомлар нега турғун? Нима учун стационар орбиталарда ҳаракат қилувчи электронлар тезланиш билан ҳаракатлансалар ҳам улар электромагнит нурланиш тарқатмайди? Нима учун Н.Бор бутун сонли қийматларга мос келган кўплаб орбиталар туриб, айнан шу

г радиусли, m массали, v тезликли электронлар учун куйидаги квантлаш шартларини киритди: $mvg = n\hbar$? деган саволлар ўйлантирарди.

Бунда де-Бройль ушбу квантлаш шартларини одатдаги, кўпчилик ўқувчилар ўрганиб қолган тушунчалар билан алмаштиришга, яъни масаланинг физик моҳиятини соддароқ тушунтиришга ҳаракат қилди. Бунда у Н.Бор биринчи постулатидаги қийинчилик, яъни ёруғликнинг тўлқин-зарра хусусиятидаги қарама-қаршиликка ўхшаб кетишига эътибор берди ва у ушбу ўхшашликдан фойдаландиб, электрон ҳаракат орбитаси қандай бўлганда у турғун бўлади деган саволга жавоб топгандай бўлди. Бунинг учун у электроннинг орбита бўйлаб ҳаракатини “электроннинг тўлқинсимон ҳаракати” деб кўрди ва агарда орбитага бутун “n” сондаги тўлқинлар жойлашса, бу ҳаракат турғун бўлади деган хулосага келди[8]. Бу ҳолда “электрон тўлқини” учун соддагина шартни ёзиш мумкин: $2\pi r = n\lambda$, ушбу ифодани Борнинг биринчи постулати билан солиштирсак, “электрон тўлқин узунлиги” учун куйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

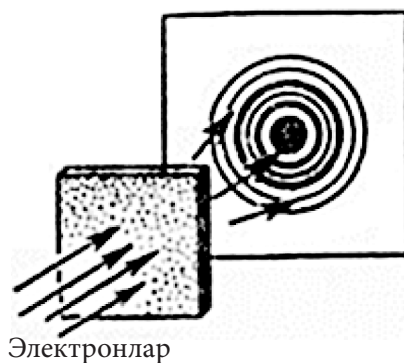
$$\lambda = h/mv \quad (5)$$

4. Микрозарраларнинг тўлқин-зарра дуализми

Ушбу мулоҳозалардан келиб чиқиб, де-Бройль 1924 йилда ўзининг янги гипотезасини илгари сурди: *табиат ҳодисалари симметрияга мойил бўлганлиги сабабли табиатда модда зарраларининг фақат квант хусусиятлари эмас, балки тўлқин хусусиятлари ҳам намоён бўлиши лозим*. Демак, де-Бройль гипотезисасига кўра, ёруғлик тўлқинлари квант хусиятга эга экан, у ҳолда модда квантлари (электрон, протон, нейтрон)лар ҳам тўлқин хусусиятга эга бўлиши лозим. *Де-Бройль фикрига кўра, нафақат ёруғлик, балки табиатдаги барча моддий заррачалар, ва ҳатто чанг заррачалари ҳам бир вақтнинг ўзида ҳам зарра, ҳам тўлқин хусусиятга эгадир*. Ушбу хусусият табиат-

даги барча материяга тегишли бўлган универсал хусусиятдир. У ҳолда бу хусусият макроскопик жисмларда нима учун кузатилмайди? Масалан, 1 м/с тезлик билан ҳаракатланаётган массаси 1г лик зарранинг де-Бройль тўлқин узунлиги $\lambda \approx 10^{-28}$ м, лекин, бундай даврийликка эга бўлган структура (кристалл панжара) табиатда умуман учрамайди. Шу сабабли ҳам макроскопик зарралар дифракцияси тажрибаларда кузатилмаган[7,8,12,14,15].

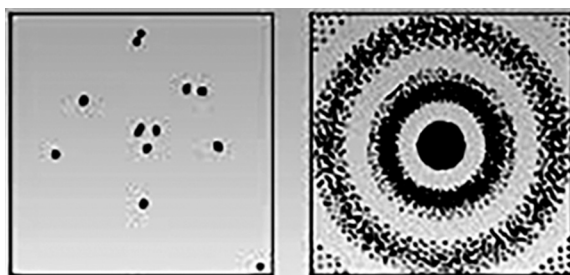
1922 йили “Белл телефон” фирмаси ходими Ж.Девиссон ва унинг хизматдоши Кансем фирма буюртмасига биноан электронлар оқимининг металл сиртидан қайтишини ўрганаётиб, бу жараёнда қандайдир аномал ҳодисанинг гувоҳи бўлганлар.1925 йили, яъни де-Бройль ишларидан кейин, М.Борн шогирди Эль-зассер ушбу аномал ҳодиса электрон тўлқинлари деган хулосага келиб, бу ҳақда қисқа мақола эълон қилади. Лекин, Ж.Девиссон ушбу мақолани ўқиган бўлса ҳам у бунга унчалик эътибор бермаган. Кейинчалик, Ж.Девиссон 1926 йили ўз графикларини Гёттингенда М.Борн ва Ж.Франкка ҳамда Оксфордда Д.Хартрига кўрсатади ва улар ушбу тўлқинлар де-Бройль тўлқинлари эканига ишонч ҳосил қилсалар ҳам, лекин улар бунга Ж.Девиссонни ишонтира олмайдилар. Ҳўш, электроннинг тўлқин хусусиятини қандай тушунмоқ керак? “Де-Бройль тўлқини” ўзи нима? Ушбу саволларга ҳали жавоб йўқ эди. 1925 йилда де-Бройль “материя тўлқинлари” деган сирли тушунчани киритади ва у орқали материя тўлқинларини ифодалай бошлайди. 1926 йилда немис физиги Э.Шредингер ушбу тўлқинлар учун дифференциал тенглама таклиф қилади, бу тенглама кейинчалик квант механикасида Шреденгер тенгламаси номи билан машҳур бўлади. Ушбу тенглама ечилиб тўлқин функцияси: $\psi(x, y, z, t)$ топилади. Ниҳоят, 1927 йилда Ж.Девиссон ва А.Жермер ҳамда П.Тартаковский ва П.Томсонлар бир-бирларига боғлиқ бўлмаган ҳолда электронлар дифракциясини кузатдилар. Дифракцион манзарада олиб борилган ўлчашлар, тўлқинлар физик маъносини очиб бермаган бўлса-да, де-Бройль формуласини ва электроннинг тўлқин хусусиятга эгаллигини тасдиқладилар (1-расм)[7,8,11-13].



1- расм. Электронларнинг металл фольгада дифракцияси.

Табиатда ёруғлик тўлқинлари ва материя зарраларидан ташқари, **ёруғлик фотонлари ҳам, материя тўлқинлари ҳам реал мавжуд бўлмоғи лозим.** “Материя тўлқинлари” мавжуд экан у ҳолда, уни кузатиш ҳам, ўлчаш ҳам мумкин бўлади. Ҳақиқатдан ҳам, де-Бройль гипотезасидан уч йил ўтиб, микро-зарралар дифракцияси кузатилди ва тўлқин узунлиги ўлчанди.

Бу билан электрон тўлқинми ёки заррами деган саволга жавоб топилдими? Савол янада мураккаблашди: нима тўлқин хусусиятга эга? Электронми ёки электронлар дастасими? Электрон тўлқин хусусиятига эга бўлса уни тўлқин билан алмаштириш

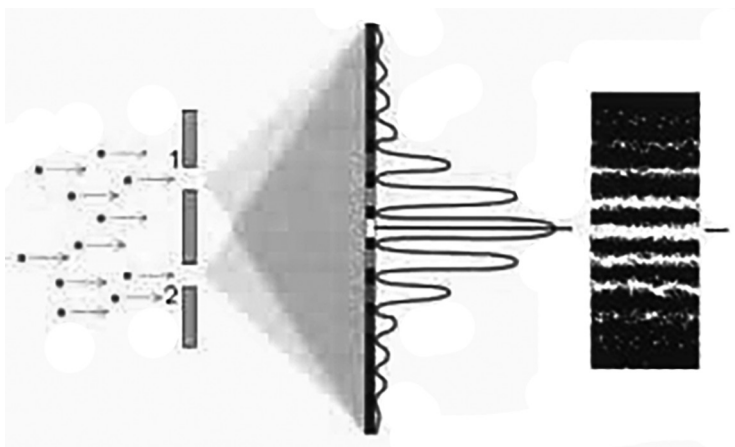


Электронларнинг фотопластинкалардаги тақсимотлари:
а) кам электронлар тушган ҳол; б) кўп сондаги электронлар тушган ҳолат[15].

мумкинми? Ёки тўлқин пакети билан алмаштириш керакми? Юқоридаги тажрибаларда дифракцион панжарага электронлар дастаси туширилган эди. В.А. Фабрикант 1948 йили тажрибани икки хил усулда бажаришни таклиф қилди [8,11,12,15]:

1) тирқишга электронлар дастаси туширилади ва экранда дифракцион манзара кузатилади (2-расм);

2) электронлар дастаси шу даражада сийраклаштириладики, бунда икки электрон орасидаги вақт, электроннинг ускуна ичида ўтиш вақтидан 10^4 марта катта бўлган, бу ҳолатда электронни тирқишдан якка-якка ўтади дейиш мумкин бўлади. Кейинчалик, дифракция ҳодисаси нейтронлар, протонлар, атомлар ва хаттоки молекулалар учун ҳам ўринли эканлиги маълум бўлди[7]. Қизиғи шундаки, тажрибанинг иккинчи вариантыда ҳам, экспозиция вақти маълум бир қийматга етганда яна биринчи вариантдагидек дифракцион манзара ҳосил бўлади. Бу тўлқин хусусиятига ҳар бир электрон эга деган натижани беради. Шундай бўлса электронни бирор тўлқин ёки тўлқин пакети билан алмаштириш мумкинми? Олиб борилган ҳисоб-китоблар электронни бирор тўлқин билан ҳам, тўлқин пакети билан ҳам алмаштириб бўл-



2-расм. Тирқишдан ўтган электронлар ҳосил қилган дифракцион манзара. 1- ва 2-тасмасимон тирқишлар[15].

маслигини кўрсатади. Чунки, тўлқин пакети ҳам фазода жуда қисқа вақт (10^{-26} с) ичида тарқалиб кетар экан.

Ҳозирги замон квант физикаси тасаввурларига биноан электрон тўлқинми ёки заррами деган саволнинг ўзи ноўрин. Электрон биз классик физикада билган зарра ҳам эмас, тўлқин эса биз классик электродинамикада билган тўлқин ҳам эмас, у квантмеханик объектдир.

Уни фазонинг маълум бир соҳасида топиш эҳтимолинигина тўлқин функция модули квадратига караб баҳолаш мумкин ҳолос. Демак, дифракцион манзарани берувчи нуқталар тўплами электронни экраннинг шу нуқтасига тушиши эҳтимолини берар экан. Демак, электроннинг ўзи эмас, балки уни фазода топиш эҳтимоли тўлқин хусусиятига эга экан деган хулосага келиш мумкин.

Лекин, “зарра” деганда биз классик физикада билган зарра, “тўлқин” деганда эса биз классик электродинамикада билган Максвелл тўлқинлари тушинилмаслиги керак. Немис физиги М.Борн 1926 йили куйидаги фикрга келди: “материя тўлқинлари” бу “эҳтимоллик тўлқинлари”дир. Чунки, у айрим электроннинг ҳаракатини, жумладан, унинг фотопластинканинг маълум нуқтасига тушиши эҳтимолини характерлайди. *Замонавий тилда айтадиган бўлсак тўлқин функция бу информация тўлқинидир[9]*. Электронлар сочилиши ҳодисасига эҳтимоллар назариясини қўллашнинг учта сабаби бор: 1.Электронлар зарра сифатида бошқа зарраларга боғлиқ бўлмаган ҳолда сочилади. 2.Электронларни ва уларнинг сочилиш актларини ҳам бир-биридан фарқлаб бўлмайди. 3. Электронларнинг дастлабки координаталари ва импульсларини принцип жиҳатидан тўлиқ аниқлаб бўлмайди (Гейзенберг ноъаниқлик принципи). Бундай ҳолда ҳар бир электрон учун унинг троекториясини топиш маъносиздир. Шу сабабли, электронни фотопластинканинг маълум бир Х нуқтасига тушиш эҳтимолини ҳисоблашни ўрганиш лозим бўлади. М. Борннинг таъкидлашича, электронни Х да топиш эҳти-

моли $\rho(X)$ шу нуқтадаги тўлқин функция квадрати $\psi(X)$ билан аниқланади[7,12,13]:

$$\rho(X) = |\psi(X)|^2 \quad (6)$$

Ёруғлик ҳам, элементар зарра ҳам ўзида “зарра – тўлқин” дуализми хусусиятини намоён қилувчи квантмеханика объект-дир. Бу М.Борн таъбири билан айтганда, микроразрарани тасвирлашда эҳтимолий ёндашиш квант назариясининг классик назариядан асосий фарқидир. Демак, микрообъект ҳолатини тўлқин функция билан ифодалаш статистик эҳтимолий характерга эга: де-Бройль тўлқинлари амплитудаси модули квадрати микроразрарани t вақт моментида $x+dx$, $y+dy$, $z+dz$ координатали соҳада бўлиш эҳтимолини кўрсатади. Микроразраранинг dV ҳажмда бўлиш эҳтимоли эса:

$$d\rho = |\psi(x,y,z,t)|^2 dv \quad (7)$$

Бунда тўлқин функция микроразраранинг объектив характеристикаси бўлгани сабабли у қуйидаги шартларга бўйсунмоғи лозим: тўлқин функция а) чекли, яъни бу қиймат бирдан катта бўлмаслиги; б) бир қийматли; в) узлуксиз, яъни сакраб ўзгармаслиги; г) булардан ташқари тўлқин функциянинг биринчи тартибли ҳосилалари ҳам узлуксиз бўлмоғи; д) тўлқин функция модулининг квадрати интегралланувчи бўлмоғи керак ҳамда тўлқин функция суперпозиция принципига бўйсунмоғи лозим: $\psi = \sum_n \psi_n$, яъни агарда тизим $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \dots \psi_n$ ҳолатларда бўла олса, у ҳолда тизим тўлқин функциялари уларнинг чизикли комбинациялари кўринишида ҳам бўла олади деганидир [7,12-14].

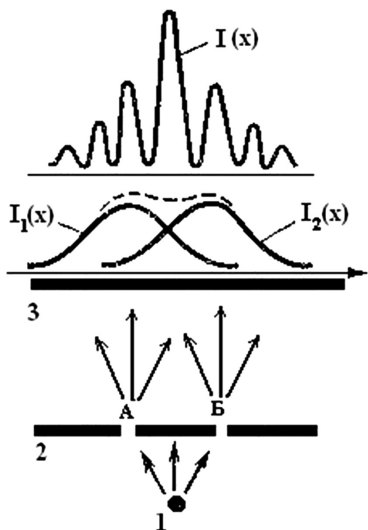
Эҳтимол тўлқинлари денгиз тўлқинлари каби реал ҳақиқат-дир. Денгиз сувлари шундай хусусиятга эгаки, у бир вақтнинг ўзида ҳам тўлқин, ҳам зарра бўла олади. Эҳтимолликнинг бундай хусусиятига ҳайрон қолмаслик лозим. Шамол эсганда, денгиз сувларининг тартибсиз молекулалари йиғиндиси тартиблашган тўлқин қаторларини ҳосил қилгани каби, сочилган электронлар (яъни айрим олинган тасодифий воқеалар) қонуний равишда

ягона эҳтимол тўлқинларига бирлашадилар. Атомдаги айрим электронлар ҳаракати биз илгари ўхшатган тебранишларга умуман ўхшамайди. Яхлит ҳолда олганда электронларнинг йўллари ягона кузатилаётган ансамблга, яъни эҳтимол тўлқинига тегишлидир. Ушбу тўлқинлар шаклини квант механикаси беради. ***Тўлқин функцияси $\psi(x)$ ва эҳтимол тақсимоти $\rho(x)$ ни айрим зарра учун ҳисоблаб топиш мумкин. Лекин, эҳтимол тақсимотини $\rho(x)$ ни ўлчаш учун эса бир хил турдаги тажрибани бир хил зарраларда қўлаб марталаб қайтариш зарур бўлади.*** М.Борн таъбири билан айтганда: “Зарралар ҳаракати эҳтимол қонунларига бўйсунса ҳам, эҳтимол тақсимоти сабабият қонуни асосида кечади” [8,12,13].

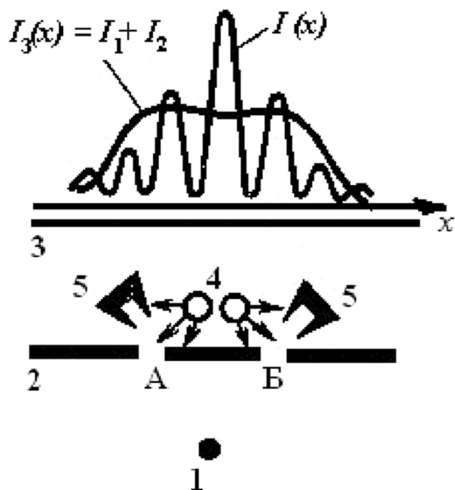
Лекин, микрообъект зарра ва тўлқиннинг симбиоз ҳолати эмас, шу сабабли ҳам тўлқин-зарра иборасини тўғридан-тўғри тушунмаслик лозим[12,13]. Ҳозирда зарра-тўлқин дуализми деганда микрообъектларнинг ташқи шарт-шароитларга қараб ҳар хил потенциал имкониятларини намоён қилиши тушунилади. Академик В.А. Фок таъкидлаганидек: “...атомларда маълум бир шароитларда уларнинг тўлқин хусусиятлари, бошқаларида эса зарра хусусиятлари намоён бўлади ва шундай шароитлар бўлиши мумкинки, у ҳолда уларда иккала хусусият ҳам кузатилиши мумкин...”

5. Электроннинг интерферометрдаги ҳаракатини “яширин” назорат қилиш

В.А.Фабрикант, Л.М.Биберман ва Н.Г.Сушкинлар билан биргаликда электронларнинг тирқишдан ўтиш жараёнини назорат қиладиган қурилмалар билан жиҳозланган махсус интерферометрда тажриба ўтказдилар (3-расм). Бунда 1- моноэнергетик электронлар манбаи; 2- А ва Б тирқишли экран; 3- детектор экранига тушган зарралар интенсивлиги тақсимотини қайд қилувчи экран; Бунда “Б” тирқишни ёпиб қўйилик. Бу ҳолда детектор экранида



3-расм. Электрон дифракциясининг махсус интерферометрда кузатилиши [12,13].



4-расм. Электрон дифракциясини электронларни тирқишдан ўтишини назорат қилувчи қурилмалар билан жиҳозланган ҳолати.

Бунда, 4 – ёруғлик манбалари, 5 – фотоприёмниклар.

$I_1(x)$ тақсимот кузатилади. Энди “Б” тирқишни очиб, “А” тирқиш беркитилса, у ҳолда детектор экранида $I_2(x)$ кузатилади. Ҳар иккала тирқиш ҳам очик ҳолда, экранда кутилганидай $I_1 + I_2$ эмас, балки интерференцион тақсимот $I(x)$ кузатилган [12,13].

Агар ҳар бир электрон маълум бир тирқишдан ўтиши аниқ бўлса, у ҳолда натижавий интерференцион манзара $I(x)$ кузатилади, электрон бир тирқиш орқали ўтар экан, у шу вақтнинг ўзида иккинчи тирқишни ҳам “*сезади*” деган ҳулосага келиш мумкин. Акс ҳолда натижавий манзара $I_1 + I_2$ бўлиши лозим эди. Ёки электрон иккала тирқишдан ҳам бир вақтда ўтармикан? Бунни текшириб кўриш мақсадида, “А”, “Б” тирқишлар ва экран ёнига ёруғлик манбаи “4” ҳамда фотоприёмник “5” ўрнатилган. Ушбу жиҳозлар электроннинг қайси тирқишдан ўтишини назорат қилиши зарур. Натижада, электрон фақат битта тирқишдан ёки ўнгдаги тирқишдан, ёки чапдаги тирқишдан ўтиши маълум

бўлади. Тажрибалар етарлича вақт давом этгандан кейин экранда $I_3(x) = I_1(x) + I_2(x)$ натижавий график шаклланади. Энди тажрибани ёруғлик манбаини ўчириб қўйиб давом эттирилди. Бу ҳолда эса яна интерференцион манзара кузатилади. Демак, тажриба давомида электроннинг қайси тирқишдан ўтиши аниқланиши биланоқ интерференцион манзара бузилади. Электроннинг қайси тирқишдан ўтиши номаълум бўлиб қолса, интерференцион манзара қайта тикланади. Ёки бошқача қилиб айтадиган бўлсак, электронлар интерференцияси ҳодисаси “А” ва “Б” тирқишлар бир-бирларидан ажратиб бўлмас даражадаги муқобил тирқишлар бўлиб қолган ҳолда кузатилади.

6. Эҳтимолликлар амплитудаларини квант физикаси асосида қўшиш

Ушбу функция $P_B(x)$ “А” тирқиш ёпиқ, “Б” очик бўлган ҳолда микрозарранинг “Б” тирқишдан ўтиб экраннинг x нуқтасида топиш эҳтимолини кўсатади. $P_A(x)$ функция эса “Б” тирқиш ёпиқ, “А” тирқиш очик бўлган ҳолда микрозарранинг “А” тирқишдан ўтиб экраннинг x нуқтасида топиш эҳтимолини кўсатади. У ҳолда эҳтимолларни қўшиш натижасида қуйидаги ифода ҳосил бўлади:

$$P_{AB}(x) = P_A(x) + P_B(x) = |\psi_A(x)|^2 + |\psi_B(x)|^2. \quad (8)$$

Бунда, $\psi_A(x)$ – микрообъектнинг А тирқишдан ўтиб, (Б тирқиш берк вақтида) Х нуқтада топиш эҳтимоли. $\psi_B(x)$ – микрообъектнинг Б тирқишдан ўтиб, (А тирқиш ёпиқ) Х нуқтада бўлиш эҳтимоли.

Иккита тирқиш ҳам очик бўлган ҳолда битта тирқишдан ўтаётган микрообъект иккинчи тирқишни сезмаслиги лозим эди. Бунда натижавий эҳтимоллик (8) формула асосида топилиши керак эди. Ҳақиқатдан эса экранда қуйидаги интерференцион тақсимот кузатилади[12,13]:

$$|\psi + \psi|^2 = |\psi|^2 + |\psi|^2 + \left[\frac{\Psi}{\Psi} |\psi|^2 + \frac{\Psi}{\Psi} |\psi|^2 \right] \quad (9)$$

Юқоридаги (8) ва (9) формулалардан қачон эҳтимолликларни қўшиш, қачон эҳтимолликларнинг амплитудаларини қўшиш лозимлигини кўриш мумкин. Шунини таъкидлаш лозимки, берилган тажрибада микрообъект учун иккита муқобил имконият мавжуд: ёки А тирқишдан ўтиш ёки Б тирқишдан ўтиш. Агар ёруғлик манбаи ўчирилса, у ҳолда бу иккита муқобил имкониятларни бир-биридан ажратиб бўлмай қолади. Агарда ёруғлик манбаи ёқилса, уларни ажратиш имкони пайдо бўлади ёки илмий тил билан айтганда “*кузатиш*” имкони пайдо бўлади. ***Квант механикасининг асосий ҳулосаси шундан иборатки: Агарда муқобил тирқишларни ажратиш имкони бўлса, у ҳолда эҳтимолликлар қўшилади (8); агарда муқобил тирқишларни бир-бирларидан ажратиб бўлмайдиган бўлса, у ҳолда эҳтимолликлар эмас, балки эҳтимолликлар амплитудалари(9) қўшилади.*** Демак, ёруғлик манбаи ёқилганда эҳтимолликлар қўшилади (8), ёруғлик манбаи ўчирилганда эса эҳтимолликлар амплитудалари қўшилади (9)[12,13,16].

Демак, юқоридаги тажрибада электроннинг табиатига ёруғлик (интенсивлиги қанча паст бўлса ҳам) қандайдир кучлар билан таъсир қилар экан. Хўш, электронни ғалаёнга келтирмайдиган бирорта усул билан назорат қилиш мумкинми? Микрозаррача учун унинг импульси тўлқин узунлиги билан қуйидагича боғланганлиги маълум:

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (10)$$

Демак, тушаётган ёруғлик импульсини камайтира бориб ёки тўлқин узунлигини ошира бориб, тажриба ўтказиш лозим бўлади. Демак, ёруғликнинг частотасини шу даражада пасайтириш керакки, у электронни ғалаёнга келтирмасин. Шундай тажриба ўтказилган [16], бунда инфрақизил тўлқинлар ёки радиотўлқин-

лардан фойдаланилган. Махсус ускуналар ёрдамида электронинг қайси тиркиш томон йўналганини ва қайси тиркишга тушишини кузатиш имкони бўлган, ёруғлик тўлқин узунлиги аста-секин узайтира борилган. Бунда, ҳеч қандай ўзгариш бўлмаган, дастлаб олдинги натижалар кузатилаётган экан, лекин бирданига ёруғлик тўлқин узунлиги тиркишлар орасидаги тўсик кенглигига яқинлашиб қолганда қизик ҳодиса юз берган: Бунда электрондан шундай ёйилган қайтиш рўй берганки, электронлар ва тиркишлар тасвири ёйилиб йўқолиб кетган. Энди ёруғлик тўлқинини яна узайтириш давом эттирилса, яъни унинг қиймати тўсик қийматидан анча катта бўлгандан кейин, ғалаён шу даражада кичиклашадики, натижада яна дифракцион манзара кузатила бошлайди. *Демак, электронни ғалаёнтирмайдиган ва шу вақтнинг ўзида уни назорат қиладиган қурилмани қуриб бўлмас экан*[16].

7. Интерференциянинг икки хил тури ҳақида

Атроф олами ёрганиш учун квант физикаси инсониятга нималар берди? Биринчидан, квант физикаси табиатдаги асосий қонуниятлар динамик эмас, балки статистик қонуниятлар амал қилишини ва сабабийликнинг асосий шакли бу эҳтимоллий форма эканлигини, классик (Лаплас) детерменизми эса ҳусусий ҳол эканлигини кўрсатди. Айтиш мумкинки, *табиат қонунларининг эҳтимоллий характери статистик қонуниятларнинг онасидир*. Иккинчидан эса, махсус интерференцион эффект ҳодисасига эҳтимоллик муносабатлари орасидаги ўзига ҳос боғланишлар сабабчидир. Квант физикаси пайдо бўлмасидан илгари интерференция ҳодисаси бевосита тўлқин ҳодисаларига мисол сифатида кўрилар эди. Шу сабабли ҳам бирорта тажриба жараёнида интерференция кузатилса, унга сабаб албатта тўлқин ҳодисалари деб кўрилар эди. Ушбу ҳолатда классик *тўлқин бирламчи, ноодатий интерференция эса иккиламчи деб кўриларди*.

Квант физикаси эса асосий эътиборни интерференцияга қаратишни таклиф қилди. Квант физикасига кўра, кузатилаётган интерференцион манзара остида албатта **классик тўлқин жараёнлари бўлиши шарт эмас**. Умуман олганда **интерференция – бу махсус квант ҳодисаси бўлиб**, кузатилаётган электронлар дифракцияси тажрибасида эҳтимоллар амплитудаларининг суперпозициясидан келиб чиқади[12,13].

Микрообъектнинг тўлқин характеристикаларини реал тўлқин характеристикалари билан солиштириш мумкин эмас. Хусусан, де Бройль тўлқини ҳеч қандай тўлқин билан боғлиқ эмас, ҳатто электронлар дифракцияси ҳам реал тўлқин билан боғлиқ эмас. Ҳамма интерференция типик тўлқин ҳодисаси эканлигига ўрганиб қолган. Шу сабабли ҳам электронлар билан ўтказилган тажрибада интерференцион манзара кузатилганда, барча “электрон тўлқинлари” мавжуд эканига ишонган. Кейинчалик, маълум бўлдики, **электронлар интерференцияси анча “нозик” келиб чиқишга эга экан: у “эҳтимолликлар амплитудаларини қўйиши билан боғлиқ экан”**.

У ҳолда реал ёруғлик тўлқинлари тўғрисида нима дейиш мумкин? Бу ҳолда сифат жиҳатидан бутунлай бошқача вазият билан тўқнашилади. Фотон **бозон бўлганлиги сабабли, улар бир хил ҳолатларда йиғилиш хусусиятига эгадирлар**. Айтайлик, дастлаб ҳолатда биттагина фотон бор дейлик. Ҳозирча ҳеч қандай классик тўлқин йўқ. Секин-аста ушбу ҳолат фотонлар билан тўла бошласин. Берилган ҳолат фотонлар билан етарлича тўлгандан кейин биз билган классик тўлқинга келамиз, шуни ҳам таъкидлаш жоизки, энди тўлқин характеристикалари фотон ҳолати характеристикалари билан бир хил бўлади. Энди тўлқин ва унинг характеристикалари ҳақида гапириш мумкин бўлади: тўлқин вектори, частота, кутбланиши. Демак фотоннинг тўлқин характеристикалари тўлқин характеристикаларига айланди. Булар ҳамма фотонларни бир хил ҳолатда йиғилишига асос бўлади. Натижада, бу ҳодиса коллектив ҳодиса сифатида намоён бўлади.

Электронларда эса бундай коллектив ҳодиса кузатилиши мумкин эмас. Чунки, фермионларда битта ҳолатда фақат бир

электронгина жойлашиши мумкин. Шу сабабли ҳам фермион тўлқинлари реал бўлиши мумкин эмас. Шу сабабли классик суперпозитция фақат бозонлар коллективида ишлайди ҳолос. Шунинг учун ҳам ёруғлик интерференцияси электронлар интерференциясидан анча олдин кузатилган. Демак, табиатда интерференциянинг икки хил тури мавжуд: *тўлқинларнинг қўшилиши билан боғлиқ бўлган классик интерференция ва эҳтимоллар амплитудасининг қўшилиши билан боғлиқ бўлган квант интерференцияси*. Одатдаги шароитларда классик интерференция квант интерференциясини ниқоблайди.

8. Тўлиқ тўплам

Модомики микроразрачаларнинг аниқ координаталарини ва импульсларини бир вақтнинг ўзида аниқлаб бўлмас экан, демак, унинг классик тушунча ҳисобланган троекторияси ҳам, атомдаги орбитаси ҳам маънога эга эмас. Гейзенберг ноаниқлик муносабати, микрообъектларнинг динамик характеристикаларини бир вақтда ўлчаш мумкин бўлганларини тўпламларга ажратади, ушбу тўпламлар тўлиқ тўпламлар дейилади. Атомда электроннинг ҳолатини беришда қуйидаги учта тўлиқ тўплам қўлланилади:

$$1) x, y, z, s; \quad 2) p_x, p_y, p_z, s; \quad 3) E, l, m, s \quad (11)$$

Бунда l, m, S лар мос равишда орбитал, магнит ва спин квант сонлари дейилади[12].

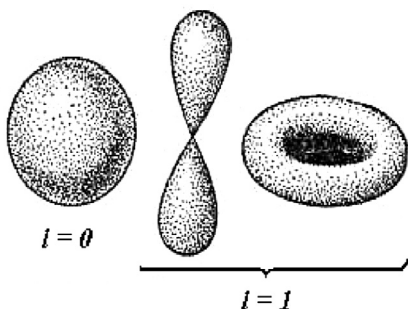
9. Конфигурацион фазо

М.Борн Шреденгер тенгламасига бўйсунувчи тўлқин функцияси учун эҳтимолий интерпретациясини таклиф қилди. У тўлқин функцияси модули квадратини мирообъектнинг у ёки бу ҳолатда бўлиш эҳтимоли деб қарай бошлади. Аниқроқ айтадиган бўлсак, агар микроразра тўлиқ тўпламга тегишли бўлган маълум ҳолатга эга бўлса, у ҳолда микроразрарнинг тўлиқ тўпламга тегишли бўлган бошқа ҳолатда топиш эҳтимоли ҳақида ҳам гапириш мумкин

бўлади. Мисол тариқасида атомдаги электронни кўрайлик. Бу ҳолда тўлиқ тўпламдан, одатда, 11.1 ва 11.3лар олинади. Бунда декарт координаталари ўрнига сферик координаталар қўлланилган: r , θ , φ . Атомдаги электрон тўлқин функциясини қуйидагича ёзиш мумкин: $\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi)$; бунда “ n ” бош квант сони бўлиб, у “ ℓ ” билан биргаликда атомдаги электрон энергияси учун жавобгардир. Айтайлик, электрон ҳолати n , ℓ , m квант сонлар билан характерлансин. У ҳолда бундай электронни, координаталари r , θ , φ бўлган нукта ёнидаги dV ҳажм элементида топиш эҳтимоли М.Борнга кўра қуйидаги кўринишда бўлади:

$$d\rho = |\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi)|^2 dV \quad (12)$$

Электрон орбита ўрнига энди ядро атрофида жойлашган ва зичлиги $|\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi)|^2$ га пропорционал ўзгарувчи электрон “булутларни” кўриш мумкин бўлади (5-расм):



5- расм. Атом электрон булутининг ҳар-хил l лардаги ҳолатлари[13]

Шундай қилиб, “материя тўлқинлари” “эҳтимол тўлқин”ларига алмашди. “Материя тўлқинларининг ноодатий кўриниши” – деб ёзган эди М.Планк, “уларнинг символик характерга эгалигидан, уларнинг ҳаракатда эканлигидан ва одатдаги уч ўлчамли фазода эмас, балки **конфигурацион фазода эканлигидан даракдир**”[12]. Планкнинг фикрига кўра, конфигурацион фазода, тўлқин функция аргументлари нафақат уч ўлчамли координаталар эмас, балки исталган физик катталиклар бўлиши мумкин.

II боб. АТОМНИНГ “ОБРАЗ”ЛАРИ

1. Атом тўғрисида қадимги алломалар (Демокрит, Канада, Беруний) тушунчалари

Атом тўғрисидаги тушунчани биринчи бўлиб фанга Демокрит киритган дейишади. Демокрит Ўртаер денгизи қирғоқларидаги Фракияда туғилиб, эрамиздан аввалги 370 йили шу ерда вафот этган. У кўп саёҳат қилувчи билимдон одам бўлган, жумладан, Ҳиндистонда ҳам бўлган. У холдейлар ва форс мажусийларидан кўп нарса ўрганган. Демокрит қўлида олма ушлаган ҳолда қуйидагича фикр юритар экан: агар олмани кесиб иккига бўлсам, менда ярми қолади, агар уни ҳам иккига бўлсам $\frac{1}{4}$, уни ҳам иккига бўлсам $\frac{1}{8}$ ва ҳ.з. давом эттирсам шундай бир ҳолат юзага келадики, унда менда қолган олманинг хусусияти олмага бутунлай ўхшамай қолади, *ушбу бўлиб бўлмайдиган бўлакни Демокрит атом, яъни бўлинмас деб атади*[8].

Эрамиздан аввалги VII асрда яшаб фаолият юритган ҳинд доғишманди Канада(атомларни ютувчи) диний-фалсафий таълимотларининг асосида ҳам атом тушинчаси ётган. Канадага кўра, *субстанция* 9 турдан иборат бўлиб, улардан бештаси *моддий* (тупроқ, сув, ҳаво, ёруғлик, эфир) ва тўрттаси *номоддий* (вақт, фазо, жон, ақл)дир. Бешта моддий субстанциялар атомлардан ташкил топган бўлиб, улар табиатнинг энг майда заррачаларидир: улар ёруғлик нурида кўринадиган энг майда чанг заррачаларидан иборатдир. Ушбу заррачалар олтига атомдан ташкил топган бўлиб, улар ҳар иккитаси “худонинг инояти билан ёки бошқа сабабларга кўра ўзаро жуфтлашган бўлади”. Буюк ватандоши-

миз Беруний (973 й.т.) [3,6] атом ва модда тузилиши ҳақида қуйидаги фикрларни билдирган эди: *нима учун Аристотель бўлинмас зарра ҳақидаги таълимотни хато ҳисоблайди, зарранинг чексиз бўлиниши ундан ҳам хатороқ-ку?*” “...Сурмани қанча ишқалаб майдаласанг ҳам энг кичик бўлинмас зарра даражасига етказиб бўлмайди, чунки бўлиниш жараёни энг кичик зарра даражасига етгунча тугайди ва шу даражада қолаверади... Сув буғланиб, унинг заррачалари шу даражада тарқалиб кетадики, уни биз сеза олмаймиз ва уни кўз илғамайди...” Беруний ўз кузатишлари ва ўзи ўтказган тажрибалари асосида қуйидаги фикрга келади: сув билан сув атомлари орасида принципаал фарқ йўқ, лекин атомларнинг ўлчамлари жуда кичик бўлганлиги сабабли уни сезиш қийин. Барча бўлинмас заррачалар Ер маркази томон интилади, оғирлик атомларга хосдир. Беруний шунингдек, бўлинмас зарралар ўртасида бир-бирларига тутиниш ва бир-бирларидан ажралиш мавжудлигини эътироф этади.

2. Атом ўлчамлари

XVII асрга келиб *физика фан сифатида* пайдо бўлди. Фан энди соф фикрлашга эмас, балки тажриба ва математикага таяна бошлади. Атроф-муҳитни ўрганишда энди фақат кузатиш эмас, балки мақсадли тажрибалар қўйиш, натижаларини эса ёзиб олишга ўргандилар. 1804 йили кимёвий бирикмалар бўйича маълум бўлганларини таҳлил қилиб Ж.Дальтон бир хил атомлардан ташкил топган *модда молекуласи*, яъни *кимёвий элемент* ҳақида гапиради. Кейинчалик маълум бўлдики, кимёвий элементлар сони унчалик кўп эмас экан. Атомнинг кўз илғамас заррача эканини биринчи бўлиб баҳолашга уринган Вена университетининг физика ўқитувчиси Й. Лошмидтдир. *У 1865 йилда “барча атомлар ўлчамлари деярли бир хил бўлиб, ушбу катталиқ 10^{-8} см.ни, водород атомининг массаси эса 10^{-24} граммни ташкил қилади” деган эди*[8].

Ҳар қандай жисм: шу жумладан, темир ҳам атомлардан ташкил топган. Темирни печга жойласак, у қизий бошлайди. Кейинчалик маълум бўлдики, иссиқлик бу *ҳаракатдаги* атомлар энергияси ошганидан дарак беради. Бундан ташқари қиздириш оша борган сари қизиган темир *ранги* ҳам ўзгара бошлайди: қизилдан оққа томон ўзгаради. Қизиган темирга тегиш у ёқда турсин уни ёнига ҳам яқинлашиш қийин. Ушбу янги физик ҳодиса *нурланиш* дейилади. Ҳозирги кунда маълумки, иссиқлик, ёруғлик, радио ва рентген нурлари булар электромагнит нурланишнинг ҳар хил кўринишларидир. Электромагнит нурланиш белгилари жуда кўп, лекин ҳозирги вазиятда энг кўп қизиқтирадигани нурланишнинг *тўлқин* табиатидир. Тўлқин физикада энг кўп тарқалган тушунчадир, уни ҳар ким ҳар хил тасаввур қилади. Схематик (синусоидал) тўлқиннинг тўртта асосий хусусияти бор: амплитуда A , тўлқин узунлиги, частотаси ν , тарқалиш тезлиги v . Тўлқиннинг асосий хусусиятларидан бири бу унинг *интерференцияланиши*дир. Интерференция – бу тўлқинларнинг ўзаро қўшилишиб бир-бирларини сусайтириш ёки кучайтириш ходисасидир. Тўлқиннинг яъна бир хусусияти шундан иборатки, унинг *тўлқин узунлиги* унга учраган тўсиқ ўлчамлари билан яқин бўлса, у тўсиқдан айланиб ўтиш хусусиятига эга. Ушбу хусусият тўлқин *дифракцияси* дейилади. Айнан рентген нурлари ва бошқа нурларнинг интерференция ҳамда дифракциясини ўрганиб, уларнинг ҳар хил тўлқин узунликли тўлқинлар экани ҳақида хулосага келганлар.

3. Спектр – атомлар характеристикаси

И.Нютон 1666 йилда қуёш нурлари дастасини призма орқали ўтишини ва унинг орқасидаги деворда *камалакни*, яъни қуёш нурлари спектрини ўрганган. У ҳар бир рангга маълум бир тўлқин узунлиги мос келишини аниқлаган. 1884 йили С.Лэнглеу томонидан нурланиш энергиясини ўлчайдиган қурилма – *балометр*ни ихтиро қилган. *1900 йили 14 декабрда* немис физиклар

жамияти мажлисида М.Планкнинг “нормал спектрда энергия тақсимооти назариясига доир” мавзусидаги доклады тингланди. Ҳисоб-китобларда М.Планк “нурланиш узлуксиз эмас, балки энергетик порциялар билан амалга ошади. Ҳар бир элементар порциянинг қиймати билан аниқланади” деган ҳулоса чиқарди. Бу ерда, ν – нурланиш частотаси; h – Планк доимийси. Ушбу кун янги ***фан – квантлар тўғрисидаги фан дунёга келади***. 1859 йилда Г.Р.Кирхгоф ёзган қисқа мақоласи бирданига тўртта ихтирога сабабчи бўлди:

1. Ҳар бир элементга фақат ўзигагина хос бўлган чизиқли спектр мос келади;

2. Ушбу чизиқларни қўллаб нафақат Ерда балки, юлдузлардаги жисмларнинг ҳам элементлар таркибини ўрганиш мумкин;

3. Қуёш қизиган ядродан ва нисбатан совуқроқ газлар атмосферасидан иборат;

4. Қуёшда натрий элементининг мавжудлиги аниқланди. Ушбу ихтироларнинг барчаси кейинчалик тасдиқланди.

Эндиликда маълум бўлдики, спектрнинг икки тури мавжуд: ***узлуксиз*** (иссиқлик спектри), ***чизиқли спектр***. Шуниси муҳимки, чизиқли спектр газлар ва буғларни қиздирганда ҳосил бўлади. Бу ҳолда атомлар орасидаги таъсирлашув кичик бўлиши лозим.

Демак, спектр ҳосил бўлиш сабабларини ўрганиш, атомнинг хусусиятларидан келиб чиқар экан. Элементларни чизиқли спектр ёрдамида ўрганишни кўпчилик билса ҳам, ***лекин ушбу спектр айрим атомлар характеристикаси эканини ҳали ҳам билмас эдилар***. Бу 1874 йилда машҳур инглиз астрофизиги Н.Лоқьер ишларидан кейин маълум бўлди, бундай фикрларни илгари (1860 йили) Максвелл ва 1866 йили Больцман ҳам билдирган эди. Агар чизиқли спектр атомдаги ички жараёнлар асосида келиб чиқар экан, у ҳолда кўпчилик физиклар ***атом структурага эга бўлиши лозим*** деган фикрга келди.

1870 йилга келиб кўпчилик атом анча содда заррачалардан иборат бўлиши керак деган фикрга келдилар ва физиклар ушбу заррачани излай бошладилар.

Табиатда барча жисмлар электр нейтралдир. Агарда қандайдир тузнинг сувли эритмасига (масалан, NaCl) иккита мусбат ва манфий электродлар тушириб уларга батарея қутбларини уласак, катодда натрий метали, анодда эса хлор гази ажрала бошлайди. Бу дегани **натрий атомлари мусбат** зарядланади, **хлор атомлари эса манфий** зарядланади деганидир (6-расм).

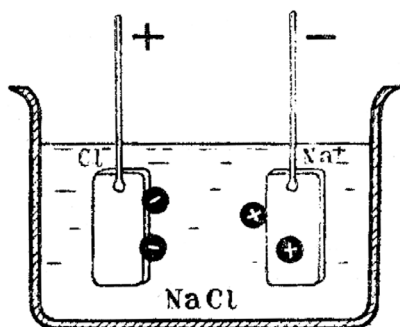
М. Фарадей 1834 йили ушбу ҳодисани миқдорий жиҳатдан қуйидагича ифодалади. Бир валентли атомлардан ташкил топган молекула тузлари эритмаларидан бир хил миқдордаги электр ўтказсак: 96485 Кл, у ҳолда электродларда доимо бир хил сондаги $6,022 \cdot 10^{23}$ атомлар ажралади:

$$F = N_A \cdot e = 96485,3 \text{ Кл/моль.},$$

бунда F Фарадей сони дейилади. (13)

Na^+ ва Cl^- зарядлари тенг ва қарама-қарши ишоралидир. Ушбу зарядли атомларга Фарадей машҳур фан тарихчиси У.Уэвелл таклифига биноан ион яъни, дарвиш, сайёҳ деб ном берди. Физика ва кимёдаги анион ва катион терминлари ҳам У.Уэвелл номи билан боғлиқ. Фарадей формуласидан фойдаланиб, бир валентли ионлар заряди “ e ” ни топиш мумкин бўлди:

$$e = \frac{F}{N_A} = 4,806 \cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ заряд бирлиги.} \quad (14)$$



6-расм. Электролиз тажрибаси схемаси.

Энг қизиги шундан иборатки, элементар заряд миқдори-дан кичик бўлган заряд табиатда ҳозиргача топилмаган. Ушбу заряд миқдори Ж.Стоне томонидан 1891 йил **электрон** деб аталди. Электролиз ва газларда электрўтказувчанлик ҳодисаларини ҳар хил фанлар ўзаро боғлиқ бўлмаган ҳолда ўргандилар ва охирида бир хил натижага келдилар. “Фан тарихида бундай ҳолат – деб ёзган эди Планкнинг шогирди, Физика бўйича Нобель мукофоти совриндори М.Лауэ – унинг ҳақиқатлигини кўрсатувчи исботидир”.

4. Биринчи элементар зарра

1897 йили Қироллик институтининг кечки мажлисида Ж.Томсон ўзининг тадқиқотлари ҳақида ҳисобот берди. Олимларнинг қирқ йиллик самарали меҳнатлари натижасида физикада **биринчи элементар заррача – электрон кашф қилинди.** У атомдан анча майда бўлиш билан бирга барча атомлар таркибига кирувчи, фақат материягина эмас, балки электр ҳам атомистик структурага эгалигини кўрсатувчи заррадир. Буларнинг барчаси табиатда **энг кичик заряд ташувчи материя** мавжудлигини кўрсатади. Лекин, баъзи олимлар ҳали ҳам электроннинг реал мавжудлигига ишонмас эди. Машҳур физик Рентген ҳам 1920 йилгача электронга ишончсизлик билан қараган эди. Электроннинг реаллигига ишонган физиклар эса дарров уни чуқурроқ ўрганишга киришдилар. Уларнинг самарали меҳнати туфайли электрон массаси ва заряди аниқланди. Р.Милликеннинг 1909–1940 йиллардаги ишлари туфайли ҳозирда ушбу катталикларнинг аниқ қийматларини биламиз:

$$m = 9,109389 \cdot 10^{-28} \text{ г}, e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Электроннинг **ўлчамлари** эса афсуски **ҳозиргача аниқ эмас[8].** Ушбу саволнинг ўзи қанчалик аниқ қўйилганлиги ҳозирча номаълум. Балки, электрон ўлчами тажриба шароитига боғлиқдир?

Электроннинг очилиши физикларга кўтаринкилик олиб келиш билан, уларни янги саволларга ҳам кўмиб ташлади: Электрон атомга қандай боғланган? Улар атомда нечта? Улар тинч ҳолдами ёки ҳаракатдами? Ҳаракатда бўлса, ушбу ҳаракатлар атом нурланиши билан қандай боғланган? Саволларнинг шакли ва характерлари ўзгариб борса ҳам, улар барчаси қуйидаги масалага келиб тақалади: Электронларнинг атомдаги ўлчами ва жойлашуви қандай? Ҳамда уларнинг нурланиш жараёнига таъсири қандай?

Дастлаб, физиклар асосий саволга жавоб топишга ҳаракат қилишди: нима учун атом фақат маълум бир аниқ белгиланган тўлқин узунликли нурланиш чиқаради? Ушбу тўлқин узунликли чизиқлар сони нега жуда кўп? Масалан, темир атомида, фақат кўринадиган соҳада, 3000 та?

5. Атомнинг Томсон модели

Ниҳоят, Ж.Томсон рентген нурларининг ҳар хил элементлар атомларда сочилишини ўрганаётиб қуйидаги фикрга келди: атомда электронлар сони унчалик кўп эмас экан ва шулардан келиб чиқиб у 1904 йилда атомнинг қуйидаги моделини таклиф қилди. Бунда у Уильям Томсон (Лорд Кельвин) нинг гипотезасидан фойдаланди ва уни ривожлантирди. Унинг фикрича, *у шарсимон бир текис мусбат зарядланган, диаметри 10^{-8} см.ли ҳажмида эса у билан квазиэластик боғланган манфий электронлар сузиб юради.* Электронлар сони шарнинг заряди билан белгиланади ва натижада атом яхлит ҳолда нейтрал ҳолда бўлади. Баъзи физиклар бошқа моделлар ҳам таклиф қилган бўлсалар ҳам, кўпчилик ушбу моделни қабул қилган бўлсалар ҳам, *атом тўғрисидаги фанда* янги давр бошланганини кўпчилик сезар эди.

“Спектр” терминини физикага Ньютон киритган бўлиб, ушбу термин классик лотин тилида “рух” деган маънони берган. Кирхгоф ва Бунзенлар ўзларининг ихтироларининг аҳамиятини

дарров тушиниб етган эдилар. Улар спектрал чизиқлар призма тузилишининг эмас, балки атомлар характеристикаси эканини аллақачон тушуниб етган эдилар. Кирхгоф зудлик билан Куёш нурлари спектри бўйича Фраунгофер чизиқлари атласини қайта ўрганиб, Куёшдаги элементларнинг таркибини аниқлай бошладди, кўзи кучли зарарланиши оқибатида 1864 йилда ишини тўхта-тишга мажбур бўлди.

1868 йили олдин француз астрономи Куёш тутилиши жараёнида, Т.Шансен, ундан икки ой ўтиб инглиз физиги Ж.Локьер Куёш спектрида сарик чизиқни кузатди ва ушбу номаълум элементни у гелий деб атади. Уларнинг шарафига 1868 йилда **Франция академияси олтин медаль** таъсис этди: медальнинг бир томонида Шансен ва Локьер профиллари иккинчи томонида эса Аполлон расми бор эди. Ерда эса **гелий** 1895 йили У.Рамзай томонидан торий минералларида топилган.

Электрон очилгандан кейин, 1897 йилда К.Ф.Браун “трубка”лари пайдо бўлди. Ушбу Браун трубкалари ҳамда 1838 йилда америкалик врач Пейдж томонидан амалга оширилган ихтиро — **индукцион машинкаси (ёки Г.Румкоф галтаги)** кейинчалик замонавий телевидениега асос бўлди. 1861 йилда У. Крукс томонидан таллий элементи очилди.

6. Модданинг молекуляр — кинетик назарияси

XIX асрда тадқиқотчилар жисмларнинг физик хусусиятларини улар атомларининг ички тузилишларига эътибор бермаган ҳолда ўргана бошладилар. Бу жараёнда улар, табиатда жисмларни ташкил қилган атомлар ҳеч қачон тинч бўлмас эканлар, улар **доимий равишда ҳаракатда** бўлар эканлар деган хулосага келдилар. Р. Бойль ва Ф.Беконлар “иссиқлик бу ҳаракат демакдир” деб таъкидлаган бўлсалар ҳам, материянинг молекуляр-кинетик назарияси Д.Бернулли томонидан яратилган деб ҳисобланади. 1851 йилда Ж.Жоуль **биринчи бўлиб** газ молекуласининг тезлигини баҳолади. Ушбу катталик кутилмаган даражада катта чиқ-

ди: масалан, водород молекуласи, уй ҳароратида 1800 м/с тезлик билан ҳаракатланиб, ушбу катталиқ артиллерия снаряди тезлигидан икки баробар катта эди. Кейинчалик ушбу фанни Крённинг (1856) ва Клаузиуслар ривожлантирдилар. Максвелл (1860) ва Больцман (1878) лар эса уни ҳозирги замонавий даражага олиб келдилар.

1895 йил 8 ноябрда Вюрцбург университети лабораториясида В.К.Рентген катод нурларини ўрганаётиб электронлар дастаси тушаётган анодда янги нурланишнинг гувоҳи бўлди: ушбу нурланиш кишини кўрkitадиган даражадаги хусусиятларга эга эди. Масалан, у инсон танасидан бемалол ўтиб кета олар ва ҳатто ёпиқ сейф оркали ҳам ўта олар эди. Орадан бир неча ой ўтиб, 1896 йил мартда А.Беккерль нурланишнинг янги турини топди, у бир бўлак уран рудасида табиий емирилишни кузатди. Кейинги текширишлар шуни кўрсатдики, *ушбу нурланиш электронлардан, гамма-квантлардан ҳамда мусбат зарядли зарра (α) лардан иборат экан*. Баъзи жисмларга (масалан, ZnS) α -зарралар тушса, улар нурланиш бериши маълум бўлди. Ушбу ҳодиса У.Круксга спитарископ (α -зарралар тушгандаги чакнашларни кўрадиган қурилма) ихтиро қилишига имкон туғдирди.

7. Атомнинг планетар модели

Кўпчилик физиклар атомнинг Томсон модели тарафдори бўлсалар ҳам, баъзи бир физиклар атомни бутунлай бошқача тасаввур қилар эдилар. Шундайлардан бири **Ж.Стонней** эди. Унга кўра (1891) электрон атом атрофида худди планеталар атрофида йўлдошлари ҳаракат қилгандек ҳаракатланадилар деган фикрда эди. Ж.Перрен (1901) фикрига кўра эса атом *“нуклеар-планетар”* структурага эга. Япон физиги Х.Нагаока эса 1903 йили атом ичидаги *фазо ҳажми* уни ташкил этувчиларига нисбатан, электр заррачаларга нисбатан ҳам жуда катта ёки бошқача қилиб айтадиган бўлсак, у Сатурн айланаларига ўхшаш мураккаб тuzилишга эга. Лекин, планетар атом тарафдорларидан бирортаси

ҳам марказда мусбат заряд, унинг атрофида электронлар айланивчи тизимнинг, яъни атомнинг турғунлигини тушунтириб бера олмадилар. Чунки, айлана орбита бўйлаб ҳаракатланаётган электрон тезланиш билан ҳаракатланиб, Максвелл-Лоренц назариясига кўра, энергиясини нурланишга йўқотиши лозим. Ушбу нурланиш шу даражада интенсивки, у 10^{-11} с ичида марказга кулаши лозим эди (*ушбу натижани немис физиги Шотт 1904 йили олган*). Ҳақиқатдан эса реал атом турғунлиги маълум. Лекин, физикада 200 йилдан ортиқроқ вақтдан буён маълумки, исталган гипотезани фақат тажриба натижалари ҳал қилади.

8. Резерфорд тажрибаси ва атомнинг характеристикалари

Худди шундай тажриба 1909 йилда Э.Резерфорд томонидан ўтказилган. Резерфорднинг тажриба қурилмаси анча содда қурилма эди. У ампула, α -заррачалар чиқарувчи радий (манба), ундан α -зарралар оқимини ҳосил қилиб ZnS экранга йўналтирувчи диафрагма, экрандаги чақнашларни кузатувчи микроскоплардан иборат эди. Натижада, экранда тирқишнинг аниқ тасвири ҳосил бўлар эди. Агарда α -заррачалар йўлига металл фольга қўйилса экранда тирқишнинг аниқ тасвири ўрнига бироз ёйилган тасвири ҳосил бўлади, лекин ёйилиш даражаси унчалик катта эмас, зарралар тўғри чизикли йўналишдан тахминан $\approx 2^\circ$ га оғар эди. Электронлар билан тўқнашувларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади, чунки бунда 20 км/с тезлик билан келаётган α заррачанинг электрон билан тўқнашуви пушка ядросининг нўҳат зарраси билан тўқнашгандай гап. Икки йил давомида ўтказилган қайта-қайта тажрибалар (шу вақт давомида миллиондан ортиқ чақнашлар кузатилган), *α -заррачаларнинг фақат 8 мингтадан биттасигина орқага сочилиши аниқланди.* 1911 йилнинг 7 март куни Манчестер файласуфлар жамиятида Э.Резерфорднинг “ α ва β зарраларнинг сочилиши ва атомнинг тузилиши” мавзусидаги

доклади (маърузаси) тингланди. Бунда тингловчилар атомнинг Куёш тизимига ўхшадини эшитдилар: *атом ядро ва унинг атрофида $\approx 10^{-8}$ см масофада айланувчи электронлардан иборат. Ядро ўлчами жуда кичик бўлиб, 10^{-13} – 10^{-12} см, лекин унда атом массасининг деярли барчаси жойлашган.* Атом ядросининг заряд сони эса атом массаси сонининг тахминан ярмига тенг. Резерфорднинг маърузасини физиклар оғир вазминлик билан қабул қилишди. Унинг ўзи ўз тажрибаларининг ишончлилигини билса ҳам икки йил давомида ўз моделида қаттиқ туриб олмади. Физиклар танлов олдида қолдилар: *ёки электродинамика, ёки атомнинг планетар модели?* Физиклар жимлик билан биринчисини танладилар. Жимлик билан, чунки Резерфорд тажрибасини рад этиб ҳам, эсдан чиқариб ҳам бўлмасди. Айтиш мумкинки, атом физикаси боши берк кўчага кириб қолган эди. Атом физикасини ушбу ҳолатдан Нильс Бор чиқарди.

Бу вақтга келиб *олимлар шуни тушиндиларки, атомни чуқурроқ ўрганиш учун унинг чизикли спектрларини ўрганиш зарур экан.* Бунинг учун ўлчаш қурилмаларини мукамаллаштириш керак эди.

9. Бальмер сериялари

Бу вақтга келиб Кирхгоф спектроскопи ҳам, унинг Фраунгофер томонидан мукамаллаштирилган варианты ҳам талабга жавоб беролмайдиган бўлиб қолган эди. Уларнинг ўрнига спектроскопияга янги *кристалл панжарали спектроскоп* кириб келди. Ушбу спектроскоп ёрдамида бир неча ўн йиллар давомида К.Рунге, Г.Кайзер ва Тюбингендаги Ф.Пашен лабораторияси хизматлари билан 10 мингдан ортиқ ҳар хил элементлар спектрал чизиклари ўрганилди ва жадваллар тўлдирилди. 1913 йилга келиб спектрал анализ бўйича қилинган ишлар сони *50 мингдан* ортиб кетган эди. Ҳусусан, машҳур бўлган спектрдаги сариқ чизик D , аслида бир-бирларига яқин жойлашган $D_1 = 5895,9256 \text{ \AA}^0$ ва $D_2 = 5889,9504 \text{ \AA}^0$ чизиклардан иборат эканлиги аниқлан-

ди ($1\text{Å}^0=0,1\text{ нм} = 10^{-8}\text{см}$ бу катталиқ тахминан атом диаметрига тенг). У швед физиги И.Ангстрем шарафига қўйилган. Лекин, ҳар қандай фаннинг олдида турган вазифа – бу фактларни йиғиш эмас, балки воқеа – ҳодисалар орасидаги боғланишларни аниқлаш ва уларнинг умумий сабабларини белгилашдир. Ушбу таблицалар (жадваллар)да атомлар структурасига тегишли бўлган маълумотлар бор албатта, лекин уларни қандай қилиб ажратиб олиш мумкин?

Бу ишни И.Я.Бальмер бошлаб берди, у дастлаб Карлсруэ, Берлин ва Базель университетларида математикани ўрганди. 1869 йилда у фалсафа доктори ва Базель университетиде приват-доцент бўлиб ишлади. Тез орада у кизлар гимназиясида физикадан дарс беришни маъқул кўрди. Бальмер чизикли спектр серияларида ўзини қизиқтириб қолган нарсани кўриб қолганида 60 ёшда эди. Бальмер **водород атоми чизикли спектрини кўзга кўринувчи соҳасидаги чизиклар шунчаки бетартиб жойлашган эмас, балки маълум бир қонуниятга бўйсунганини кўриб қолди**. Ушбу чизиклар маълум бир серия ҳосил қилишини топди ва бу серия қуйидаги қонуниятга бўйсунганини аниқлади:

$$\lambda = b \frac{k^2}{k^2 - 4} \quad (15)$$

бунда, λ – спектрдаги чизик тўлқин узунлиги, ангстремларда, $K=3, 4, 5, 6$ бутун сонлар, доимий $b = 3645,6$.

Спектр тури	Ангстрем, $\lambda \text{ Å}$ ўлчашлари	$\lambda \text{ Å}$ Бальмер ҳисоби	k
C	6562,10	6562,08	3
F	4860,74	4860,8	4
G	4340,1	4340,0	5
H	4101,2	4101,3	6

Жадвалдан кўриниб турибдики, И.А. Ангстрем томонидан аниқ ўлчанган ва Бальмер ҳисоб-китобларидан чиққан натижалар бир-бирларига ҳайратланарли даражада яқин. Бунда бирин-

чи устун спектрал чизикларнинг Фраунгофер бўйича номланиши, иккинчи устун швед физиги Ангстрем ўлчашлари, учинчи устун эса Бальмер формуласи ёрдамидаги ҳисоб-китоблар натижалари. Ушбу яқинлик тасодифий бўлиши мумкин эмас эди. Шу сабабли, Бальмер ишлари янгидан-янги серияларнинг очилишига сабаб бўлди. Бальмернинг ушбу кашфиёти атом ҳақидаги фанда янги даврни бошлаб берди. Атом ҳақидаги назариялар энди Бальмер формулаларидан бошланадиган бўлди. Рунге 1886 йилдаёқ Бальмер формуласини тўлқин узунлик эмас, балки частота учун ёзилса у шаффофрок чиқишини сезиб қолди:

$$\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad (16)$$

Бунда, “ n ” ва “ k ” лар бутун сонлар; $R = 109677,58 \text{ см}^{-1}$ водород атоми учун Ридберг доимийси дейилади. Ушбу формулада $n=2$ деб қўриб, Бальмернинг кейинчалик ўлчаган барча $k=50$ серияларини, ҳисоблаб топиш мумкин бўлади.

Ўша вақтда частотани икки термлар айирмаси сифатида ёзиш мумкинлиги ҳақидаги фикр ҳам пайдо бўлган эди:

$$\nu = \frac{CR}{n^2} - \frac{CR}{k^2} = T_n - T_k \quad (17)$$

1908 йили эрта ўлиб кетган швейцариялик олим В.Ритц формулани бундай ёзишнинг афзал томонлари ҳақида ҳам гапирган эди. У.Ридберг ишларини давом эттириб, қуйидаги комбинацион принципни шакллантирди: исталган атом спектридаги исталган чизикни ҳатто айрим термининг водородникига ўхшаш содда кўриниши маълум бўлмаса ҳам, уни қуйидаги фарқлар кўринишида ифодалаш мумкин:

$$\nu_{nk} = T_k - T_n \quad (18)$$

10. Бор потулатлари

Спектрлар калитини топишдек машаққатли иш яна 25 йил давом этди, чунки шифрни очиш учун калит зарур эди. Ушбу ишни

Н.Бор 1913 йили амалга оширди. Нурланиш анча вақтгача фақат частотаси билан характерлаб келинар эди. Лекин, Куёш нури шаффоф ва моддийдир, масалан, Ер юзасининг ҳар бир квадрат метрига ҳар секундда $7,3 \cdot 10^{-12}$ грамм ёруғлик тушади. 1873 йили Ж.К.Максвелл ёруғлик ерга тушар экан, у ушбу жараёнда унга маълум бир босим беришни назарий йўлда топди. П.Н.Лебедев эса 1899 йилда буни ўз тажрибаларида исботлади: Куёш нури босими $2 \cdot 10^{-6}$ кгс/м² (кг·куч/м²) га тенг экан. Ва, ниҳоят, Планк, Эйнштейн ва Комптонлар ёруғликнинг квант хусусиятини де-Бройль эса унинг тўлқин-зарра хусусиятини исботладилар.

1912 йилдан бошлаб Н.Бор Манчестерда Резерфорд лабораториясида ишлай бошлади. Бор энди “Резерфорд атомидаги электрон тузилишни “квант таъсири” бошқаришини тушуниб етган ва бунга аниқ ишонар эди, лекин “у ўз постулатларини эълон қилишига” ҳали бир йил бор эди. У нималар ҳақида ўйлади? Македониялик Александр олдига Гордия тугунини қўйишганида у тугунни ечиб ўтирмади, балки уни чопиб ташлади ва енгди. Бор ҳам худди шундай йўл тутди. Планетар атомда электрон айланма ҳаракат қилиши, бунда энергиясини йўқотмаслиги лозим. *Демак, деб хулоса чиқарди Бор – ушбу жараёнда электроннинг ядрога тушишини ман қилиб қўйиши лозим[8].* Чунки, материя турғун бўлмоғи лозим! Шундай ўй-фикр жараёнида Н.Борнинг қўлига И.Штаркнинг “Атом динамикаси принциплари” китоби ва ундаги Бальмер ҳамда Ридберг формулаларига кўзи тушиб қолди ва бирданига саволига жавоб топгандай бўлди. Ушбу ҳолатни Н.Бор кейинчалик куйидагича эслайди: “Квант ғояларини жиддийроқ шаклда қўллаш мақсадида кўплаб урунишларимдан кейин 1913 йил баҳорида миямга бир фикр келди, яъни *атом физикасидаги турғунлик муаммоси атом спектрига тегишли бўлган соддагина қонунлар ёрдамида ечилиши керак*”.

Энди Н.Бор постулатларини эълон қилса ҳам бўлади:

I – турғун ҳолатлар ҳақида. Атомда шундай орбиталар борки, унда айланаётган электрон ўзидан нурланиш чиқармайди.

II – квант сакраишлар ҳақида. Электрон фақат бир турғун орбитадан боиқасига сакрагандагина нурланиш чиқаради. Бу ҳолда нурланиш частотаси ν , Эйнштейн формуласи $h\nu = \Delta E$ ёрдамида аниқланиб, у ёруғлик квантининг E_1 бошланғич ва E_2 охириги ҳолатларига мос келади.

$$\Delta E = E_1 - E_2, \quad (19)$$

Постулатларни чуқурроқ тушиниш мақсадида Ер йўлдоши билан, ядро атрофида айланувчи электроннинг ўхшашлигидан фойдаланайлик. Ўз даврида Ньютон фикрида қуйидаги савол турарди: “Нима учун йўлдош Ерга тушиб кетмайди?” Ҳозирги кунда бу саволга ҳаммада жавоб тайёр: “Чунки у Ер атрофида қатъий белгиланган тезлик ва белгиланган радиус бўйлаб ҳаракат қилади”. Шундай қилиб, йўлдош Ерга кулаб тушмаслиги ва Ердан самога учиб кетмаслиги учун унинг орбитаси радиуси “ r ” ҳамда ҳаракат тезлиги “ v ” орасида маълум бир боғланиш бўлмоғи лозим. Водород атомида “ m ” массали ва “ e ” зарядли электроннинг ядро атрофида “ v ” тезлик билан “ r ” радиусли орбита бўйлаб ҳаракати учун эса улар орасида қуйидагича боғланишли тенглама бўлиш лозим:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2} \quad (20)$$

Ушбу тенглама, электрон нурланиш берадими ёки бермайдими, бундан қатъий назар, ҳар доим тўғри. У илгаридан маълум бўлган, марказдан қочма ва тортишиш кучларининг тенглигидир. Агар электродинамика қонунларига асосан электрон ўз энергиясини нурланишга йўқотса, у ҳолда электрон ядрога қулаши керак, ҳудди йўлдош атмосфера қаршилигига учраб Ерга қулагани сингари. Лекин, ***турғун орбитадаги ҳаракатида электрон электродинамика қонунларига бўйсунмайди ва нурлантирмайди деган талаб қўйилган эди.*** У ҳолда қўшимча шарт ҳам қўйилмоғи керакки, ушбу шарт турғун орбитани бошқаларидан ажратиб турсин. ***Ушбу шартни орбитада ҳаракатланаётган электроннинг яна бир характеристикаси, яъни орбитал***

моментига қўйиш мумкин. Борнинг таъкидлашича электрон орбитал моменти йўлдош орбитал моментидан фарқи шуки, у ихтиёрий қийматга эга бўла олмайдди, балки $\hbar = h/2\pi$ га бутун қаррали қийматларни қабул қила олади:

$$mvr = n\hbar \quad (21)$$

Ушбу ёндашув орбитани квантлаш дейилади, чунки бунда таъсир кванти $\hbar$ иштирок этади:

Юқоридаги икки шартдан фойдаланиб, электрон орбитаси “ r ” ни, унинг тезлиги “ v ” ни ва орбитадаги тўлиқ энергияси E ни

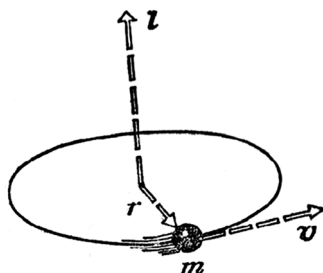
$$\square = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{r} \quad (22)$$

унинг массаси “ m ”, заряди “ e ” ва Планк доимийси $\hbar$ орқали ифодалаш мумкин. Ушбу катталиклар **орбита рақамларига** қуйидагича боғланган бўлади:

$$r_n = \frac{\hbar^2}{me^2} n^2; \quad v_n = \frac{e^2}{\hbar} \frac{1}{n}; \quad E_n = -\frac{me^4}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (23)$$

11. Бор постулатлари натижалари

Шундай қилиб, турғун орбиталар (мос равишда энергетик сатҳлар) бутун сонлар билан рақамланади: $n = 1, 2, 3, \dots$. Шуни-си аҳамиятлики, атомда юқорида айтилган энергия қийматлари E_n дан бошқа оралиқ қийматлар бўлиши мумкин эмас. Атомдаги юқорида қўрилган электрон орбита радиуси, тезлиги ва тўлиқ энергияси қийматларидаги узилишлар, **яъни квантланишлар квант назариясининг асосий ҳарактерли белгиларидир**. Ушбу белгилар фикран қабул қилиниши қийин бўлган катталиклардир. Электрон “ k ” сатҳдан “ n ” сатҳга ўтганда $\Delta E = E_k - E_n$ нурланиш чиқариб, унинг частотаси Эйнштейнга кўра қуйидаги формула ёрдамида топилади:



7-расм. Орбита моментини квантлашга доир[8].

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{\Delta E}{2\pi\hbar} \quad (24)$$

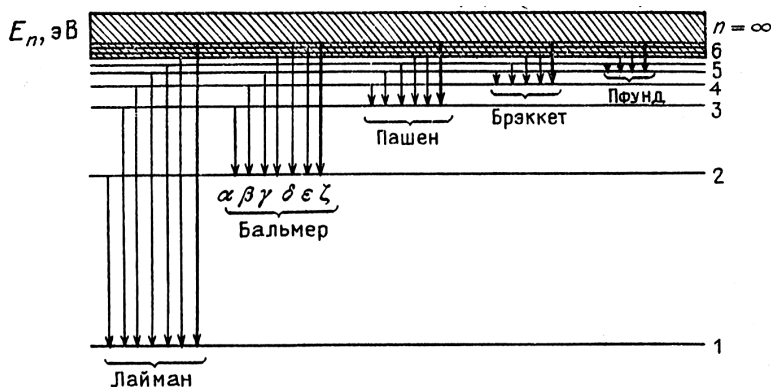
Юқоридаги формуладан Н.Борнинг водород атоми нурланиш частотаси учун ёзилган қуйидаги формуласи келиб чиқади:

$$\nu = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad (25)$$

Бунда ҳар хил “к” ларга мос келган сатҳлардан маълум бир “n” сатҳга ўтишларни кузатиб, кўриш мумкинки, спектрал сериялар мажмуаси ҳосил бўлади (8-расм). Масалан, $n = 2$ сатҳга ўтиш билан ҳосил бўлган Бальмер серияларини кўриш мумкин. Юқоридаги Н.Бор томонидан ҳосил қилинган формула, Бордан анча олдин Ридберг томонидан тажрибалар асосидан топилган

$$\nu = CR \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad (26)$$

формулага жуда ўхшашдир. Охирги икки формулани Бор томонидан ҳосил қилинган (25) ва Ридберг томонидан тажрибаларда топилган (26) формулаларни солиштириб, водород атоми учун Ридберг доимийсининг ҳисобланган қийматини топиш мумкин бўлади. Ушбу сон қиймат аввалдан спектрал ўлчашлардан маълум бўлган қиймат билан аниқ мос тушади. Ушбу мос келиш Н.Бор назариясининг кишини ҳайратга соладиган биринчи на-



8-расм. Водород атоми спектрал сериялари.

тижаси эди. Бундан ташқари, Н.Бор назариясидан топилган водород атомининг ғалаёнланмаган ҳолатдаги радиуси ($n = 1$)нинг кинетик назариядан топилган қиймат билан аниқ мос тушиши

$$\lambda_1 = \frac{h^2}{me^2} = 0,53 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 0,53 \text{ \AA} \quad (27)$$

янада ҳайратланарлироқ **иккинчи** ҳолат эди. Чунки, ушбу формула билан ҳисоблаб топилган қиймат моддаларнинг кинетик назариясидан топилгани билан **айнан бирдай** эди. Ва, ниҳоят, **Бор назарияси жисмлар чизиқли спектр хусусиятларини атомнинг ички тузилиши билан боғлиқлигини тушинтириб бера олди**. Ушбу боғланишни физиклар ҳар доим интуитив равишда сезар эдилар, лекин фақат Боргагина уни сон жиҳатдан исботлаб бериш насиб этди, шуни ҳам таъкидлаш лозимки, ушбу боғланишни Планк доимийси “ h ” амалга ошириб келган экан. **Ушбу ҳолат ҳам қутилмаган учинчи ҳолат эди**, чунки таъсир кванти h иссиқлик нурланиши назариясидан кириб келган ва у на атом билан, на атомлар тарқатадиган нурланиш билан бево-сита боғлиқ эди. Лекин, шунга қарамасдан у атомнинг абсолют ўлчамларини ва у нурлантирадиган ёруғликнинг частотасини олдиндан айтиб бера олди. Ушбу боғланишни олдиндан сезиш Бор ва унинг касбдошларга **табиат қонунлари ягона** эканли-гига ишончларини янада кучайтирди. Бор постулатларини ман-тиқан асослаш ёки бошқа қонуниятлардан келтириб чиқариб бўлмайди. У инсон тафаккурининг олий маҳсулидир. Юқорида Н.Бор постулатларининг учта натижасигагина тўхтанилди, асли-да эса натижалар, оқибатлар анча кўп, **улар барчаси ҳам “ту-шинарсиз”, ноодатий постулатларнинг нақадар кучлилигини намоиши қилади**. Бор назариясидан кейин кўпчилик физиклар ўзларини “енгил тортдилар”, чунки улар ўша даврларда атомар ҳодисалардан чарчашган асаблари таранг эди, воқеа ва ҳодиса-ларнинг бош-оёғини топмасдан тажанг эдилар. Энди эса ушбу ҳодисалар кўпчилиги “тушунарсиз” лекин содда модель атро-фида гуруҳландилар, қолганлари эса модельни ривожлантириш учун ҳаракатни давом эттирдилар.

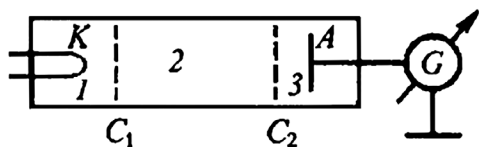
12. Бор постулатларининг тажрибада тасдиқланиши

Бор назариясининг муваффақиятларига қарамасдан физиклар уни дастлаб қулай модель сифатида тан олган бўлсалар ҳам, лекин улар атомдаги энергетик зиналарнинг реал мавжуд эканига ҳали ҳам ишонмас эдилар. Ушбу *шубҳани* ҳам Ж.Франк ва Г.Л.Герцлар ўз тажрибалари билан 1914 йилда олиб ташладилар[7,8,11].

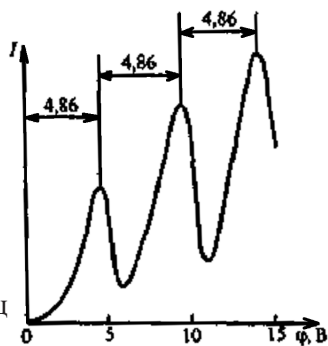
1914 йилда Франк ва Герц томонидан моҳирона амалга оширилган тажриба атомдаги турғун ҳолатларни, яъни дискрет энергетик сатҳларнинг мавжудлигини тасдиқлади.

Ҳавоси сўриб олинган идиш ичига симобнинг буғлари қамалган. Катод (K) қиздирилиши натижасида термоэлектронлар ажралиб чиқади ва улар катод ҳамда тўр (T) оралиғидаги электр майдон таъсирида тезлатилади. Катод ва тўр орасидаги потенциаллар фарқи U бўлса, тўрдан ўтаётган электроннинг энергияси eU бўлади. Тўр ва анод (A) оралиғида эса тўхтатувчи кучсизгина майдон ҳосил қилинган. Агар электрон катод ва тўр оралиғида симоб атоми билан ноэластик тўқнашмаса, у бемалол бу кучсиз майдонни енгиб анодга етиб келади. Аксинча, симоб атоми билан ноэластик тўқнашув туфайли энергиясини йўқотган электрон тўхтатувчи майдонни енга олмайди ва тўрга тушади. Тўрга тушаётган электронлар қанчалик кўп бўлса, анод занжирига уланган гальванометр қайд қилаётган ток шунчалик камайиб кетади. Тезлатувчи потенциал U нинг қиймати реостат ёрдамида ўзгартирилиши мумкин. U нинг қийматига боғлиқ равишда анод токининг ўзгаришини ифодаловчи эгри чизиқ 10-расмда тасвирланган. Тезлатувчи потенциални ортиши, яъни электронларнинг кинетик энергиясини ортиши билан, аввал ток ҳам орта бошлайди (худди электрон лампалардагидек). Лекин, бу ўсиш электронлар энергиясининг 4,9 эВ қийматигача давом этади.

Шундан сўнг ток кескин камаяди. Кейинчалик, ток яна ўса бошлайди, лекин электронлар энергияси 9,8 эВ га етганда, яна ток кескин камайиб кетади.



9-расм. Франк-Герц тажрибаси курилмасининг принципиал схемаси[7].



10-расм. Франк-Герц тажрибасидаги ВАХ[7].

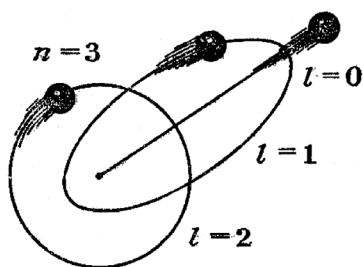
Токнинг кейинги кескин камайиши электронлар энергиясининг 14,7 эВ қийматида содир бўлади. Тажрибанинг кўрсатишича, ток қийматларининг кескин камайиши электроннинг энергияси 4,9 эВ га қаррали бўлган ҳолларда амалга ошяпти. Бундан симоб атоми куйи энергетик сатҳдан юқори энергетик сатҳга кўтариш учун 4,9 эВ энергия лозим, деган хулосага келамиз. Бошқача айтганда, симоб атомига электрон фақат маълум улуш энергияни (айни мисолда 4,9 эВ ни) беради. ВАХнинг 9,8 ва 14,7 В ли электронларга мос келган минимумлари мос равишда симобнинг икки ва уч атоми билан тўқнашган ҳолатларга мос келади. Бунда атомлар тизими шундай энергияларни ютади. Шу тариқа Франк ва Герц тажрибаси атомнинг турғун ҳолатлари ҳақидаги Бор ғоясини исботлади.

13. Атом спектрининг “нозик” структураси. Зоммерфельднинг фазовий квантлаши

Барча соф, шаффоф гипотезалар каби Бор гипотезаси ҳам эски фактларни тушинтирибгина қолмасдан, балки постулатларни текширишнинг янги йўлларини ҳам очиб берди. Бор постулатларига Европада биринчилар қаторида ишонган ва уни ривожлантирган машҳур физик А.И.Зоммерфельд (1868–1951) фикрига кўра: *агарда атом Қуёш тизимига ўхшаб бўлса, у*

ҳолда электрон Бор моделига ўхшаб, нафақат айлана бўйлаб, балки эллипс бўйлаб ҳам ҳаракат қилиши ва бунда атом ядроси эллипс фокусларида бирида жойлашмоғи лозим. Катта яримўқли эллипслар бир хил квант сонли бўлиб, уларда электронлар энергиялари ушбу орбиталарга ўзаро тенгдир. Зоммерфельднинг таъкидлашича, берилган “ n ” нинг қийматларида эллипсларнинг ялпайиш даражаси ихтиёрий эмас, балки фақат шундай бўлиши лозимки, бунда уларни фарқловчи орбитал квант сонлар “ ℓ ” фақат бутун сонларга $\ell = 0, 1, 2, \dots, n-1$, яъни **эллипслар сони** “ n ” га тенг бўлиши керак (11-расм).

Бор ва Зоммерфельдлар: Эйнштейн нисбийлик назариясини эътиборга олинса, у ҳолда эллипслар бир хил “ n ”, лекин ҳар хил “ ℓ ” ларга эга бўлсалар улар энергетик соҳалари бир-биридан биров фарқланиши ва демак атомда энергетик сатҳларни иккита квант сони билан (n, ℓ) берилиши лозим деб ҳисоблайдилар. Шу сабабли ҳам “ k ” сатҳлардан “ n ”га ўтиш жараёнида чиқариладиган спектрал чизиқлар **нозик структурага** эга бўлади, яъни улар бир нечта компонентга ажраладилар. Зоммерфельд илтимосига кўра, Ф.Пашен ушбу назарияни тажрибада аниқлади ва гелийнинг $\lambda = 468,3$ нм ли спектрал чизиғининг $k=4$ дан $n=3$ га ўтишидан пайдо бўлишини кўрсатди. Ф.Пашен 1916 йилда ушбу ўтишлар ҳақиқатдан ҳам 13 та бир-бирларига жуда яқин спектрал чизиқлардан иборат эканини топди. “Хулосаларнинг оддийлиги ва натижаларнинг соддалигидан – деб ёзган эди Зоммерфельд 1916 йили – уни сеҳргарликка ўхшатиш мумкин”. Унинг ўзи шу вақтда **квант сони, фазовий квантлаш деган терминларни киритган эди.**



11-расм. Атомда электронларнинг эллипслар бўйича ҳаракати[8].

П.Зееман 1896 йили нурлантираётган атомни магнит майдонига киритиш билан энди электроннинг ҳолатини иккита квант сони билан аниқлаб бўлмаслигини кўрсатди.

Чунки магнит майдонида электрон орбитаси фазода исталган ҳолатда эмас, балки маълум бир қоидага бўйсунган ҳолда бўлиши талаб қилинади: ушбу сон **магнит квант сони** “ m ” дейилади ва у қуйидаги бутун сонларга эга бўлиши мумкин: $m = -\ell, -(\ell - 1), \dots, -1, 0, 1, \dots, (\ell - 1), \ell$.

Демак, магнит майдонида “ n ” ва “ ℓ ” билан берилган ҳар бир ҳолат $2\ell + 1$ ҳолатларига ажралади. Демак, атомдаги энергетик сатҳлар **энди n, ℓ, m квант сонлар билан характерланадилар**.

Н.Бор назарияси мураккаблашиб борган сари, у ўзининг кўргазмалилигини ва нозик ҳолатини йўқота борди. Унинг ўрнига атомнинг расмий модели кела бошлайди: ушбу моделнинг асосий талаби атом спектрларининг ва термларининг тўғри жойлашуви эди. Атомда турғун орбиталарни энди “ n ”, “ ℓ ”, “ m ” квант сонлари белгиланадиган бўлинди.

14. Атомнинг расмий модели. Паули принципи. Электрон спини

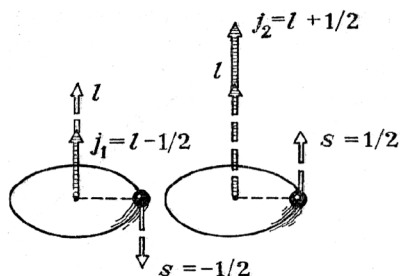
Фан ютуқларини оммалаштиришнинг шундай бир чегараси борки, ўша чегарага етганда илмий (фактлар) далилларни кундалик, ҳаётий тушунчалар билан ифодалаб бўлмай қолади, айнан ана шу чегарани енгиб ўтиш учун эса, вақтинчалик бўлса ҳам, фаннинг расмий тилига ўтишга тўғри келади. Ушбу жараёнларнинг барчасида маълумотларни йўқотишлар, маънони йўқотишлар бўлса ҳам фаннинг асосий мазмун моҳияти сақлаб қолинади. Кичкина қийинчиликларни енггандан кейин эса фандаги мантикий боғланишларни ва ундан кейин келиб чиқадиган хулосаларнинг гўзаллигига ишонч ҳосил қилиш мумкин бўлади. Масалан, икки атом водороддан ва бир атом кислороддан иборат молекула дейиш ўрнига H_2O деб ёзиш қулай. Ушбу кимёвий формулаларга ўхшаш белгилар спектрлар назариясида ҳам кўп учрайди: Масалан, бош квант сонлари “ n ” қуйидаги рақамлар билан белгиланади $\ell = 0, 1, 2, 3, \dots$ ҳамда рақамлар қаторига $\ell = S, P, d, f, \dots$ ҳарфлар қатори ҳам тиркалади. Шу сабабли,

$n=3, \ell=0$ энергетик ҳолатни $3S, n=3, \ell=1$ ҳолатни эса $3P$ деб олишга келишилган.

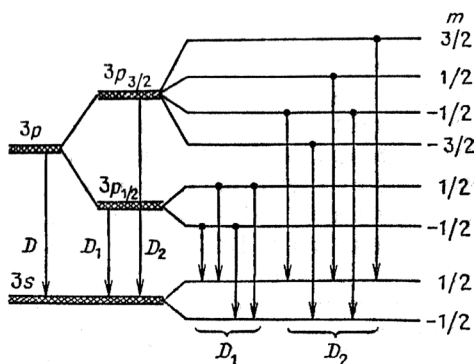
Зеemannнинг аномал эффектини тушунтириш йўлида Зоммерфельднинг шогирди В.Паули 1924 йили **янги квант сонини, яъни электрон спинини** очди. У бунда қуйидагича фикрлади: Водороддаги D спектрал чизиклари иккаласи ҳам (D_1, D_2), битта ўтишга, яъни $n=3, \ell=1$ сатҳдан $n=3, \ell=0$ га тегишли бўлса, нима учун улар иккита? **Демак, юқоридаги $3P$ сатҳлар иккита бўлиши** ва уларни бир-бирларидан фарқловчи мос квант сонлари ҳам бўлиши лозим. **Ушбу “ноклассик икки қийматли сонни”:** $+\frac{1}{2}$ ёки $-\frac{1}{2}$ **электроннинг спини** деб атади. Паули ушбу хусусиятни кўргазмали тасаввур қилишни имкони йўқ деб ҳисоблади. Бир йилдан кейин, атомнинг Қуёш тизимига ўхшашлигидан фойдаланиб (Ер Қуёш атрофида айланишидан ташқари у ўз ўқи атрофида ҳам айланади) Ж.Ю.Уленбек, С.А.Гаудсмитлар (улардан анча олдин 1921 йилда Комптон ҳам ушбу ўхшашликка эътибор берган эди) электрон ҳам ўз ўқи атрофида айланади дейишган эди. **Уленбек ва Гаудсмит қуйидагиларни таъкидлаган: электрон орбитал моментдан ташқари ўз хусусий ўқи атрофидаги айланиш моментига яъни хусусий моментига эга бўлиши лозим дедилар.** Ушбу момент $s = \frac{1}{2}$ га тенг бўлиб, у орбитал момент “ ℓ ” билан тўлиқ моментни ҳосил қилади $j = l \pm s$. Энди ҳаммаси ўз жойига тушди. $3S$ ҳолат ўзгаришсиз қолади, чунки $\ell = 0$. Лекин, $3P$ ҳолатдаги сатҳ иккига ажралади, чунки $\ell = 1$. Шу сабабли: $3P_{\frac{1}{2}}$ ва $3P_{\frac{3}{2}}$ ушбу ҳолат энергиялари бир-биридан бироз фарқ қилади (12, 13-расмлар).

Магнит майдонда эса j тўлиқ моментга эга бўлган энергетик сатҳлар ҳар бири яна $2j+1$ компанентга ажралади (“ m ” магнит квант сонларига қараб).

Электроннинг спини гипотезаси физикадаги энг чуқур тушунчалардандир, шу сабабли ҳам унинг физик маъноси ҳозиргача охиригача тушуниб етилмаган. Гап шундаки, атомдаги жараёнларга ҳамда унинг тузилишига спиннинг таъсири баъзи-

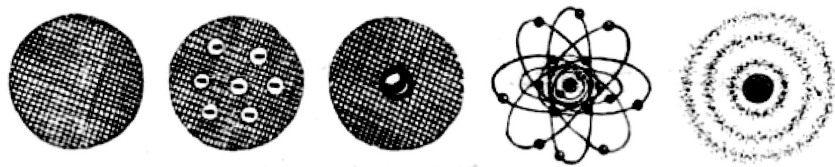


12-расм. Электрон спини ҳосил бўлиш механизми[8].



13-расм. Электронларнинг атом сатҳларида Паули принципига асосан жойлашиши.

да кутилмаганда келиб чиқади. Масалан, спиннинг ўзига хос томонлари Паулининг куйидаги ман қилувчи қондасида ўз аксини топган: **атомда бир хил квант сонли “n”, “l”, “m”, “S” фақат иккита электрон бўлиши мумкин эмас**. Кейинчалик маълум бўлдики, фақат Паули принцигига элементларни Менделеев даврий тизимига рационал жойлаштиришга асос бўла олди. Ҳозирги кунга келиб маълум бўлдики, атом спектридаги исталган спектрал чизиқни аниқлаш учун бизга 8 та квант сонлари лозим бўлар экан: 4 таси электроннинг дастлабки ҳолатини (n_i ; l_i ; m_i ; S_i) ва яна 4 таси электроннинг охириги ҳолатини (n_k ; l_k ; m_k ; S_k) аниқлаш учун. Ва ниҳоят, 1925 йилда **атомда электронлар ҳаракатини ўрганувчи фан-квант механикаси яратилди**. Бу ишни, физикларнинг ўша даврдаги нисбатан ёш авлоди В.Гейзенберг, П.Дирак, В.Паули, Л. де Бройль, Э.Шрёдингерлар бажарди, уларга квант механикасининг тушунчалари ва образларини формулалар тилига ўтказиш насиб қилди (14-расм):



14-расм. Атом “образ”ларининг ривожланиш боскичлари.

15. Матрицалар механикаси ва тўлқин механикаси

1926 йилнинг баҳорига келиб атом физикасида қизиқарли воқеа юз берди: бир-бирларига боғлиқ бўлмаган ҳолда, атом физикасида икки хил квант механикаси пайдо бўлди, уларнинг бошланғич шартлари ўзларига яраша эди. 1. Гейзенберг Бор билан биргаликда электронни зарра деб ҳисоблар эдилар, шу сабабли Гейзенберг электроннинг атомдаги ҳолатлари учун **матрицали тенгламаларни ёзди**. 2. Шрёдингер эса де-Бройль билан биргаликда электроннинг тўлқин хусусиятига кўпроқ ишонар эдилар, шу сабабдан, Шрёдингер атомдаги электронлар тўлқини учун дифференциал тенгламаларни ёзган эди. Гейзенберг ўз тенгламаларига тажрибаларда ўлчаш мумкин бўлган катталикларни: спектрал чизиқлар частотасини, уларнинг интенсивликларини киритди. Гейзенберг ҳам, Шрёдингер ҳам **электрон троекторияси** деган тушунчани ўз тенгламаларига киритмаганлар. Лекин, Шрёдингер ўз навбатида тажрибада ўлчаш мумкин бўлмаган, бунинг устига ўша пайтда физик маъноси ҳам маълум бўлмаган тўлқин функция Ψ ни киритган эди. Фандаги барча зиддиятларнинг ечими тажриба бўлгани каби, энди барчаси тажриба натижаларига боғлиқ бўлиб қолди. Фарадей тажрибалари электр зарядининг бўлинмаслигини, кейинчалик Крукс ва Ж.Томсон тажрибалари ҳам ушбу далилни тасдиқлади. Милликен тажрибаси ҳамда Вильсон камерасидаги электрон излари фотографияси ушбу хусусиятга фақат заррачалар эга бўлишига заррача ҳам шубҳа қолдирмади. Лекин, планетар атом турғун эмас эди, бу эса электрон-зарра фикрига қарама-қарши эди. Бунинг устига Бор постулатлари ҳам электронни зарра деб ҳисоблаб ўйлаб топишган эди. Де-Бройль ва Шрёдингерлар бошқача йўлдан боришди, уларнинг фикрига кўра, электронни тўлқин деб кўргандагина атомнинг турғунлигини исботлаш мумкин эди. Бундан ташқари, ушбу гипотеза тез орада Девиссон, Жермер ва Томсонлар томонидан электронлар дифракцияси тажрибасида исботланди. Одат-

да, тажриба натижаларига ишонилади, лекин бир-бирларини рад этувчи тажрибалар натижаларига қандай ишониш мумкин? Дастлаб иккала квант механикасининг ҳам тўғрилигига ишондилар, кейинчалик эса ҳамма улардан бири тўғрилигига иккинчисининг эса қалбакилигини кўрсатиш учун урунишлар бошланиб кетди: икки квант механикаси тарафдорлари ўртасида қақшатқич кураш қизиб кетди. Ниҳоят **1926 йил бошларида Э.Шрёдингер иккала механика ҳам математик ва физик нуқтаи назардан тўлиқ эквивалент эканлигини**, уларнинг иккиси ҳам ҳар хил математик шаклларда ёзилган атом механикаси эканлигини исботлади. Бу дегани, дастлабки шартлар ҳам иккаласи учун ҳам тўғри деганидир: матрицали механика учун электрон-зарра, тўлқин механикаси учун эса электрон-тўлқин. 1927 йилда В.Гейзенберг квант объектлари учун “тўлқин” “зарра” деган тушунчаларни уларни қатъий алоҳида-алоҳида кўрган пайтдагина киритиш мумкинлигини тушуниб етган эди. Планк ва Эйнштейн даврида ҳамма ёруғлик нури бу тўлқинми ёки зарра-квантлар оқими? эканлигини билишга қизиқар эдилар. Де-Бройль ишларидан кейин эса ҳаммага “электрон-тўлқинми ёки заррами?” деган савол тинчлик бермас эди. Нима учун тўлқин хусусиятлари билан зарра хусусиятлари бир-бирларини рад қилишлари керак? Асосий сабаб, бу фикрлашимиздаги инерциядир, шу сабабли ҳам биз янги далилларни эски тушунчалар ёрдамида тушунишга ҳаракат қиламиз. Атом – бир вақтнинг ўзида “ҳам тўлқин ва ҳам зарра”-дир. Улар зарра-тўлқин дуализмининг ҳар хил кўринишларидир. Бундай фикрга 1924 йилда биргаликда мақола ёзган Бор, Крамерс, Слэтерлар келган эдилар: “Тарқалаётган ёруғликнинг **“Тўлқин”** характери бир томондан, ва уларнинг **квантлар кўринишида ютилиши ҳамда нурланиши** иккинчи томондан, экспериментал далиллар бўлиб хизмат қилади”. Уларнинг бир-бирларини рад қилувчи хусусиятлари Планк ($E = h\nu$) ва де Бройль (h/mv) формулаларида яққол кўриниб турибди. **Ушбу дуализмни биз турмушда сезмаганлигимизнинг ягона сабаби Планк доимийсининг жуда кичик қийматидир.** Ушбу номувофиқлардан

кутулиш мақсадида Гейзенбергга классик физикадаги **яна бир идеаллаштиришдан, яъни кузатиш** тушунчасидан воз кечишига олиб келди. Демак, квант физикасида кузатиш тушунчасидан, ҳаракат тушунчаси каби қутилиш лозим экан. **Ҳодиса, ўлчаш ва кузатиш каби тушунчалар** бир-бирларига мустаҳкам боғлиқ бўлсалар ҳам улар бир ҳил нарса эмас. Қадимда уларни табиатни ўрганиш методлари деб тушинар эдилар ва улар асосида бир фикрга келар эдилар, чунки кузатиш жараёни воқеа-ҳодисаларга таъсир қилмасликларига ишончлари комил эди. Лекин ҳозирги физика фақат кузатиш асосида ҳулоса чиқаришдан қайтиб, тажриба натижалари асосида ҳулосалар чиқарадиган бўлди. Ҳозирги физика воқеа ва ҳодисаларнинг кечишига кузатиш жараёни таъсир қилмаслигини рад этмаса ҳам, **у кузатиш объекти бўлиши учун унинг хусусиятларини аниқ ўлчаш услублари олдиндан кўрсатилган бўлмоғи лозим**. Физикада кузатиш ва ўлчаш тушунчалари бир-бирларидан ажралмасдир.

16. Борнинг тўлдирувчанлик принципи[8,9,17,18]

Квант физикасида ҳар қандай **ўлчаш жараёни, ўлчаш объекти билан ўлчаш қурилмаси ўртасидаги ўзаро таъсирлашувдан иборатдир**. Ҳар қандай ўзаро таъсирлашув эса қурилманинг ва объектнинг ҳолатини ўзгартириб юборади, демак, биз ҳар бир ўлчаш жараёнида нотўғри маълумотлар олар эканмиз! “Классик физикага асосан биз ўлчаш жараёнида қурилманинг таъсирини ҳам ҳисобга оламиз ва “ҳақиқий” натижага эришамиз деб нотўғри ҳисоблаб келганмиз” деб таъкидлайди В.Гейзенберг. Унинг таъкидлашича: **“...атом физикасида “ҳодисалар” ва “кузатишлар”ни бир-биридан ажратиб бўлмайди**”. Аслини олганда кузатиш ҳам ҳодиса, лекин у анча мураккаб бўлган ҳодисадир. Кундалик ҳаёт кўрсатадики, объект қанча майда бўлса, унинг ҳолатини **ўлчаш жараёнида** бузиб юбориш шунчалик осон бўлади. Биз табиатда атомлар, электронлар ва ядро-

лардан майдароқ бошқа нарсаларни билмаймиз. Шу сабабли ҳам ушбу объектлар хусусиятларини ўрганишда уларнинг ўзларини қўллашга мажбурмиз. Бундай ҳолда эса **ўлчаш қурилмаси объектдан фарқ қилмайди**. Чунки, объект ҳам, қурилма ҳам, ўша **квантланган** оламда жойлашган. Квантланган оламда эса ҳеч нарса оз-оз ёки сал-пал бўлмайди, балки дискрет бўлади: ёки таъсир бор, ёки ҳеч нарса йўқ. Н.Борнинг **тўлдирувчанлик принциpidан** кейин маълум бўлдики, **ноаниқлик принциpi ҳам, зарра-тўлқин дуализми ҳам**, умумий принцип ҳисобланган тўлдирувчанлик принципининг хусусий ҳоллари экан. Н. Бор тўлдирувчанлик деб атаган принцип замонамизнинг энг чуқур фалсафий ва табиий-илмий ғояларидан биридир. Бор ўз замонида ушбу принциpi асосида атом объектларининг импульслари, координаталарини таҳлил қилишдан бошлади. Нильс Бор бунда содда ва тушунарли бўлган далил, яъни **атом зарранинг координатасини ва импульсини нафақат бир вақтда, балки битта қурилма ёрдамида ўлчаб бўлмаслигига эътибор берди**. Ҳақиқатдан ҳам атом зарранинг **импульсини**, уни ўзгартириб юбормасдан ўлчаш учун, **жуда енгил ва ҳаракатчанг “қурилма” зарур бўлади**. Айнан, мазкур ҳаракатчанглик эса объект координатаси номаълум қолишини таъминлайди. Биз микрофонга гапирганимизда овозимиз тўлқинлари мембрана тебранишларига айланади. Мембрана қанчалик енгил бўлса, у шунчалик овоз тебранишларига мос эргашади ва овоз шунчалик тиниқ чиқади, аммо унинг ҳар бир вақт моментидаги ўрнини (яъни координатасини) аниқлай олмай қоламиз. Унинг ўрнини, координатасини ўлчаш учун эса шундай массив қурилма зарур бўладики, зарралар тушганда у ўрнидан ҳам қўзғалмасин. Яъни унинг импульси қанчалик ўзгармасин биз уни сезмаймиз. Гейзенберг фикрига кўра, битта тажриба ёрдамида атом объектнинг иккала характеристикасини – координата ва импульсини аниқлаб бўлмайди. Бунинг учун иккита ўлчаш ва бир-биридан принципиал фарқ қилувчи ҳамда бир-бирлари хусусиятларини тўлдирувчи икки қурилмада олиб борилиши зарур. **Тўлдирувчанлик** – бу фи-

крлаш жараёнидаги шундай янгилик, шундай ўзгаришки, буни тушинишга барча, Борнинг умумий тўлдирувчанлик принципи туфайли эришган эди. Ушбу параграфда шунингдек, ана шу принципнинг ривожланиш босқичлари, квант объектлар хусусиятларини тушунтиришдаги аҳамияти тарихи ҳақида гап кетади. 1927 йил бошида амалда бир вақтда иккита қизиқ воқеа содир бўлади: Бор ва Гейзенберглар навбатдаги мурасасиз кечган илмий баҳсларидан кейин, кўп ўтмай қайта учрашганларида, Гейзенбергда **ноаниқлик тенгизлиги** келтириб чиқарилган бўлса, Бор эса **тўлдирувчанлик принципини** ўйлаб топган эди. Н. Бор ҳозирги замоннинг кўпгина фанлари соҳаларида муҳим роль ўйнаган принцип ҳисобланмиш тўлдирувчанлик принципини шакллантирган эди. Гейзенбергнинг ноаниқлик принципи Бор умумий тўлдирувчанлик принципининг миқдоран амалга оширилган ва мужассамлаштирилган кўриниши эди. Ушбу ноаниқлик принципини шакллантиришга Борга бир қадам қолган эди холос, лекин Бор ўзи таклиф қиладиган ғояларни конкрет натижага қўллашдан олдин уни “чуқур фалсафий” таҳлилдан ўтказар, шошмас эди[9].

Боргача барча икки ўлчаш қурилмасининг мавжудлиги, улар ёрдамида олиб бориладиган ўлчашлар хусусиятларида зиддиятлар, раддиялар пайдо бўлади деган бирёқлама фикрда эдилар. Н. Бор эса бундай бирёқламаликка қарши бўлиб, у қуйидагича фикр юритади: ҳа ҳақиқатдан ҳам ушбу хусусиятларда мос эмаслик мавжуд бўлади. *Лекин, квант объектининг тўлиқ ҳолатини бериш учун улар иккаласи ҳам зарур, чунки улар бир-бирларига қарама-қарши эмас, балки бир-бирларини тўлдирувчидирлар.*

Бундай ҳолат билан биз турмушимизда кўп тўқнаш келамиз. Айтайлик, ёшлиқда биз линза ёрдамида ҳар хил қоғозларни ёққанимиз ёдимизда. Ушбу жараён қуёш нурининг битта характеристикасини: яъни *Қуёш фотонлари дастаси ўзида энергия олиб юришини кўрсатар экан.* Энди ўша нурланиш дастасини призма орқали ўтказайлик, у ҳолда биз ҳар хил рангли (ҳар хил

тўлқин узунликли) камалакни кўрамиз. *Демак, биз икки хил ўлчаш ва икки хил қурилма ёрдамида битта квант объекти (фотон)нинг керакли хусусиятларини тўлиқ ўргандик.* Линза ва призмалар булар ҳар хил физик хусусиятларни ўлчовчи қурилмалардир. Шунинг таъкидлаш жоизки, Қуёш нурининг *ушбу хусусиятларини бир вақтнинг ўзида, битта тажрибада, ўша қурилмалар билан ўлчаш мумкин бўлмас эди.* Лекин, Қуёш нурининг асл моҳиятини ўрганиш учун булар зарур маълумотлардир. Н.Бор “тўлқинми ёки заррачами?” деган савол атом объектига нисбатан нотўғри қўйилган деб ҳисоблайди, чунки шундай айрим олинган хусусиятлар атом объектида йўқ, шу сабабли ҳам, унга “ҳа” ёки “йўқ” деб жавоб бериш мумкин эмас. Ушбу савол худди “Нима катта, метрми ёки килограмми?” деган саволга ўхшаш жавобсиздир. *Квант объекти – бу на зарра, ва на тўлқин, ва ҳаттоки бир вақтнинг ўзида униси ҳам эмас, буниси ҳам.* Квант объекти бу қандайдир *учинчи* мусиқага ўхшаш нарса бўлиб, у шу вақтда маъно жиҳатидан мусиқани ташкил этувчилари оддий йиғиндисидан *чуқурроқдир*, масалан, *кентавр одам билан отнинг* оддий йиғиндиси бўлмагани каби, у ҳам қандайдир сифат жиҳатидан *янги нарсадир*. Ушбу янги квант “нимадир”ни биз ҳеч қачон сеза олмаймиз, фақат бир нарса аниқки, у ҳақиқатдан ҳам *реалдир*. Фақат бизнинг тилимизда унга мос “*образлар*”, ушбу реалликни *тасаввур қила оладиган сезги органларимиз йўқ.* Аммо, бизнинг интеллектимиз тажрибаларга суянган ҳолда, уни ўрганишга қодир. *Квант реаллиكنинг икки тўлдирувчиси хусусиятларини уларни бир-бирларидан ажратмасдан, яъни табиат ҳодисасини уларнинг бирлигини бузмасдан, алоҳида-алоҳида ажратиб ўрганиб бўлмайди, чунки квант реаллик сифат жиҳатидан биз тасаввур қила олмайдиган бутунлай янги нарсадир.* Н.Бор табиатдаги муаммоли воқеа-ҳодисалар тўғрисида ўйлаб қуйидаги хулосага келди: “Табиатдаги ҳар қандай ҳақиқий чуқур ҳодиса сўзлар ёрдамида бир маъноли аниқла-тилмайди, унинг аниқланилиши учун у камида иккита бир-бири-ни рад қилувчи тушунчалар билан тўлдирилмоғи лозим” [8].

Гейзенбергнинг ноаниқлик принципи Бор тўлдирувчанлик принципининг хусусий ҳолидир. Айнан шу принцип ўзаро келиша олмайдиган фактларни ўзаро келиштиришга имкон яратди: чунки, электрон ҳар хил тажрибаларда ўзини ҳар хил тутар эди, бир қарасанг зарра, яна бир қарасанг эса тўлқин. Квант механикаси ушбу тушунчаларни синтез қилиб, улар ўзларини қандай тутишларидан қатъий назар, исталган тажриба натижаларини олдиндан айтиб бериш имконини топди. Воқеа ва ҳодисаларнинг **физикавий тасаввури ва унинг математик ифодаланиши ҳам** ўзаро тўлдирувчидирлар: воқеа ва ҳодисанинг физикавий тасаввурини яратишда баъзи бир деталлардан ва математик аниқликдан воз кечишга тўғри келади, воқеа ва ҳодисани математик ифодалашда эса аксинча аниқ тасвирлашда равшанлик етишмайди. “Ҳақиқат” тушунчасига нима тўлдирувчи бўла олади?” деб Бордан сўрашганида, у “равшанлик” деб жавоб қайтарган экан[8].

Гейзенберг, электроннинг координата ва импульсини ўлчанишини таҳлил қилар экан унинг **координатасини аниқлашга ёрдам берадиган омиллар, унинг импульсини ўлчашни қийинлаштирар ва аксинча эди**, ушбу маънода “координата” ва “импульс” тушунчалари **бир-бирларини тўлдирар экан**. Буни қуйидаги ҳаёлий тажриба билан исботлайлик: электроннинг ўрнини аниқлаш учун, **уни ёритиб кейин “микроскопда” кузатиш лозим бўлади**. Координатани бундай усул билан аниқлаш координата таркибида, ёритилаётган тўлқин узунлик λ тартибидаги миқдорда ноаниқликни Δq келтириб чиқаради: $\Delta q \sim \lambda$. Электроннинг ўрнини янада аниқроқ ўлчаш учун ёруғлик тўлқин узунлигини бундан ҳам кичрайтириш мумкин эди, лекин бунда, ёруғлик фотонлари томонидан электронга бериладиган импульсдаги ноаниқлик миқдори Δp ошиб кетади ($p_\gamma = h/\lambda$). Бунинг ўрнига ёруғлик интенсивлигини шундай камайтириш лозимки, бунда электрон билан фақат биттагина фотон тўқнашсин. Ушбу ҳолда **электроннинг импульсини ўлчашдаги ноаниқлик $\Delta p > h/\lambda$ бўлади**. Тенгсизликнинг икки томонини λ га кўпайти-

риб ва λ нинг ўрнига Δq ни қўйсак: $\Delta q \Delta p > h$ Гейзенберг ноаниқлик муносабати ҳосил бўлади. Шундай ҳаёлий тажрибаларни қўплаб қўйиб кўриб, қуйидаги хулосага келиш мумкин: бу ҳолат қурилманинг камчилигими ёки тажриба ўтказувчининг камчилигими ҳақида гап кетаётгани йўқ. Бунда гап шундаки, микрообъектнинг координатасини ва импульсини бир вақтнинг ўзида, ўша қурилмалар ёрдамида *принцип жиҳатидан* аниқ ўлчаб бўлмайди, бу ерда Δq , Δp лар координатани ва импульсни ўлчашдаги ноаниқликлар (хатоликлар), яъни координатани аниқроқ ўлчаб, импульсни ўлчашда кўпроқ хатога йўл қўямиз ва аксинча, импульсни аниқроқ ўлчасак, координатани ўлчашда кўпроқ хатоликка йўл қўямиз. **Булар барчаси табиат томонидан координата ва импульсга қўйилган чегаралардир.** Планк доимийси h қиймати жуда кичик бўлганлиги сабабли классик физикада бундай чегарани сезмаймиз, у фақат микрообъектлар устида тажрибалар олиб борилгандагина юзага чиқади. Гейзенберг ноаниқлик принципи қуйидаги катталиклар жуфтликлари учун ҳам мавжуд бўлади: $\Delta x \Delta p_x > h$, $\Delta y \Delta p_y > h$, $\Delta z \Delta p_z > h$. Гейзенбергнинг координата ва импульс орасида мавжуд бўлган ноаниқлик муносабатига ўхшаш муносабат, **Борнинг** исботлашича таъсирлашув жараёнида, **объект оладиган энергияси** ва **таъсирлашув вақти** орасида ҳам мавжуд, яъни объект билан ўлчаш қурилмаси орасидаги ўзаро таъсирлашув вақти қанчалик аниқ бўлса унинг таъсирлашувда оладиган энергияси шунчалик ноаниқ бўлади, ва аксинча унинг оладиган энергияси қанчалик аниқ бўлса унинг ўлчаш қурилмаси билан ўзаро таъсирлашув вақти шунчалик ноаниқроқ бўлади, бунда **Бор** ноаниқлик муносабати қуйидагича ёзилади: $\Delta E \Delta t > h[9]$.

XX асргача баъзи объектлар (масалан, макроскопик жисмлар) корпоскуляр тушунчалар ёрдамида, бошқалари эса (масалан, ёруғлик ёки товуш тебранишлари) тўлқин тушунчалари ёрдамида ифодаланилар эди. Лекин, ҳозирги замонга келиб маълум бўлдики, юқоридаги икки ифодаланиш услуби ҳам тўғри экан,

чунки бу услублар ўзаро қарама-қарши эмас, балки бир-бирларини **тўлдирувчи** эканлар [19]. Квант объектлар хусусиятларини классик тилда, яъни ўлчаш объектлари тилида тасвирлашга ҳаракат қилиш кўпгина парадоксларни келтирииб чиқарган [8,9,17,18]. Н. Борнинг тўлдирувчанлик принципига кўра уларнинг ечими: микрообъектлар квант хусусиятларини қўшимча равишда классик тушунчалар ёрдамида тасвирлашдн иборатдир. Ўлчаш шароитларига боғлиқ равишда электрон ўзини ёки тўлқин, ёки заррача каби тутди. Демак, зарранинг траекториясини аниқлаш унинг тўлқин хусусиятларини **беркилади**. Интерференция тажрибаси эса, унинг **траекторияси номаълум қолишини таъминлайди**. Демак, **классик тасаввурлар ва квант тўлқин хусусиятлар бир-бирларига тўлдирувчи ҳисобланар эканлар**. Умуман олганда бир-бирларига коммутатив бўлмаган операторлар хусусий функцияларига мос келувчи физик катталиклар ўзаро тўлдирувчи бўла оладилар. Тўлдирувчанлик принципи квант тизимларнинг объектив хусусиятларини ифодалаб, у кузатувчининг бор-йўқлигига умуман боғлиқ эмас. Ушбу принципга асосан микрообъектнинг маълум бир физик катталиклари бўйича олинadиган тажриба натижалари, унга “тўлдирувчи” ҳисобланадиган бошқа физик катталик бўйича олинadиган маълумотнинг йўқотилишига ёки қисман йўқотилишига сабабчи бўлиши [18] мумкин экан.

17. Туннель эффекти ҳодисаси

Радиоактивлик ҳодисаси Анри Беккерль томонидан 1896 йили очилган бўлса-да лекин унинг асл физик маъносини олти йил ўтиб, яъни 1902 йилда Резерфорд ва Соддилар тушунтириб бердилар. Ушбу ҳодиса ядроларнинг жуда катта миқдорда энергия ажратиб ўз-ўзидан емирилиш ҳодисасидир. Лекин, ўз-ўзидан емирилишда ажраладиган энергия манбаи ҳақида фақат 1913 йилга бориб фикр юрита бошланди.

Беккерльнинг тажриба ғояси ҳам етарли даражада содда эди: фотон пластинкани қора қоғозга ўраб, устига ноёб уран тузлари минералини жойлаштириб бир неча соатга қуёшга қўйиш.

Беккерль фикрича, агарда Х-нурлар ҳақиқатдан ҳам мавжуд бўлса, у ҳолда минералнинг флуоресценцияси туфайли фотон пластинкада уран тузлари минералининг шаклдор қиёфаси кўриниши лозим эди ва шундай ҳам бўлди. 2 март 1896 йилда А.Беккерль француз фанлар академиясида ўз тажрибаларида кузатган янги ҳодиса тўғрисида ҳисобот берди:

- Фотопластинкаларга бундай таъсир фақат уран бор бўлганларида кузатилди;
- Ушбу таъсир минерал турига мутлақо боғлиқ эмас, фақат уран миқдорига боғлиқ эди;
- Ушбу ҳодиса люменисценция ҳодисасига мутлақо боғлиқ эмас.

1896 йилнинг 23 ноябрида қилган ҳисоботида Беккерль қуйидагиларни кўрсатди: Урандан чиқаётган нурланиш шу вақтгача номаълум бўлган нурланиш бўлиб, у “уран” ёки “Беккерль” нурланиши деб аталди, ушбу нурланиш фотопластинкага таъсир қилади ва ҳавони ионлаштиради.

Шундай қилиб табиатнинг ғаройиб ҳодисаси очилган бўлиб, уни М.С.Кюри 1898 йили радиоактивлик деб номлаган эди. 1896 йилда М.Кюрини Сарбона университетини битказиш арафасида магистрлик диссертацияси учун мавзу ёзаётиб, “уран нурларининг” ҳавони ионлаш хусусияти қизиқтириб қолди, ушбу танлов тасодифий эмас эди, чунки сал илгарироқ унинг турмуш ўртоғи П.Кюри ўзининг акаси Жак билан биргаликда ўзлари очган пезоэлектр ҳодисаси асосида ишлайдиган сезгир, қулай электрометрни ихтиро қилган эдилар. Электрометр билан ишлаш фотопластинка билан ишлашга қараганда анча қулай эди, бундан ташқари у янги нурланиш интенсивлигини ўлчаш имконини ҳам берар эди. Дастлаб М.Кюри қуйидаги саволга жавоб излади: “Бундай янги нурланиш бериш фақат уранга хосми? Агар ҳа бўлса, унинг ўзига хослиги нимада?” Бу даврга келиб уран 100

йилдан ортиқроқ вақт маълум эди. М.Кюри ўша даврда маълум бўлган (80 дан ортиқ) элементларнинг радиоактивлигини амалда ўрганиб чиқди ва **торий** ҳам шундай хусусиятга эга эканини аниқлади. Ушбу хулосага унга боғлиқ бўлмаган ҳолда немис олими Э.К.Шмидт ҳам келган эди. 1898 йили март ойидан бошлаб П.Кюри ўзининг ишларини қўйиб М.Кюри ишларига қараша бошлади. 1898 йил 12 майда улар янги радиоактив элемент **“радий”** ни очдилар. Радий – нур дегани. Шу йилнинг июль ойида улар руда қолдиқларида яна бир радиоактив элемент **Полоний**ни топишди ва ниҳоят 1898 йил 26 декабрда улар ўз ишлари юзасидан Франция фанлар академиясига ҳисобот тайёрладилар. Бу вақтга келиб улар эшитувчиларга **радий** препаратини тақдим қилишга улгурган эдилар, у худди шундай массадаги урандан 900 марта активроқ эди. 1910 йили, яъни иш бошланганидан 12 йил ўтиб М.Кюрининг орзуси амалга ошди: у ниҳоят оқ қумуш ранг радий металли 0,0085 грамлик массасини кўрди, у шундай массадаги уран томчисидан 3 млн. марта активроқ эди. Пьер ва Мария Кюриларнинг илмий жасоратлари бутун дунёда улар тириклигидаёқ тан олинган эди: улар 1903 йили А.Беккерль билан биргаликда физика бўйича Нобель мукофотига сазовор бўлганлар.

1911 йили эса Шведция фанлар академияси М.Кюрини иккинчи марта Нобель мукофотига лойиқ топишди. 1903 йилга келиб радиоактив модда емирилиш жараёнида уч хил турдаги нурланиш чиқариши маълум эди ва улар Резерфорд шарофати билан α , β , γ нурлар деб аталди. М.Кюрини радиоактивликнинг кимёвий томони кўпроқ қизиқтирса, Резерфордни ҳодисанинг физикавий томони кўпроқ қизиқтирар эди. Уни радиоактивлик ҳодисасининг моҳияти нимадан иборат? Унинг ҳақиқий сабаби нимадан иборат? каби саволлар кўпроқ қийнар эди. У дастлаб “ α ” зарранинг хусусиятларини чуқурроқ ўрганишга ҳаракат қилди. Масаланинг қийинчилиги шундан иборат эдики, ўша замонда “атом ядроси” деган тушунчанинг ўзи ҳам йўқ эди, ҳатто электроннинг мавжудлиги бундан икки йил илгари кўрсатилган

бўлса ҳам ҳали атомнинг ўзи мавжудлиги ҳам қатъий тарзда исботланмаган эди.

Уч йил тинимсиз олиб борилган тадқиқотлардан кейин Резерфорд α зарра икки карра ионлашган гелий атоми деган хулосага келди. Бунда у қуйидаги далилларга таянади: уран ва торийнинг барча бирикмаларида гелий мавжуд; 1 грамм торийни иссиқда тоблаш билан 10 см³ гелий олиш мумкин бўлиб унинг ҳажми дастлабки торий ҳажмидан 100 баробар катта; гелий Ерда бундан етти йил илгари айнан шу торий минералидан топилган; гелий инерт газлар қаторига киради. Демак, гелий радиоактив элементлардан “эманация” эвазига чиқар экан, у ҳолда элементларнинг ўзида қандай жараёнлар кечади? Резерфорднинг кейинги кузатишлари шуни кўрсатадики, торийдан “эманация” туфайли қандайдир радиоактив газ ажралиб чиқар экан. Худди шундай радиоактив газ радийдан ҳам ажралиб чиқишини Пьер ва Мария Кюрилар ҳам бундан бир йил кейин кўрганлар. Қўшимча равишда кузатишлар ушбу оғир газ радиоактивлигини тез йўқотар экан, радиоактивлик ҳар тўрт кунда икки мартагача камаяр экан. Бу янгилик эди, чунки радиоактивликни атом массаси каби элементнинг ўзгармас характеристикаси деб ўрганиб қолишган эди. Радийга нима бўлди? Икки газ қаердан келди: гелий ва радий эманацияси? 1900 йили Резерфордга ёрдамчи бўлиб ёш иктидорли кимёгар Ф. Содди келиб қўшилди ва улар тез кунда радий эманацияси ҳам барча бошқа инерт газлар хусусиятларига ўхшаган инерт газ (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон каби) эканлигини исботладилар.

Ушбу газни У.Рэлей билан У.Рамзай 1901 йили очди. Рамзай унинг Менделеев даврий жадвалида 8-махсус ноль валентли гуруҳга хос эканлигини кўрсатди. Орадан икки йил ўтиб Резерфорд ва Соддилар ҳайратланарли хулосага келдилар: ***Радиоактивлик бу атомнинг зарядланган заррача ва дастлабки атомдан кимёвий хусусиятлари билан фарқланувчи бошқа элемент атомига парчаланишидир.*** Бир атомнинг бошқа элемент атомига айланишига, бунинг устига ўз-ўзидан айланишига ўша замон-

да ҳеч кимнинг ақлига сиғмас эди. Радиоактивлик емирилиш ҳақидаги гипотезани тажрибада текшириб кўриш имкониятига эга эди. Бу ишни Содди ва Рамзайлар амалга оширдилар: улар 1903 йилда ўзларида бор бўлган бромид радийдан юпқа шиша трубкага “радий эманациясини” йиғиб қамадилар ҳамда трубка орқали электр токи ўтказдилар. Бунда янги элемент спектрига ўхшаш спектр кузатилди, лекин вақт ўтиши билан бу спектр интинсивлиги пасая бориб *гелийнинг спектрига айланди, яъни радий эманацияси гелий ва радий А. айланди. Ушбу тажрибага гувоҳ бўлганлар кўп йиллар давомида ҳаяжонларини яшира олмадилар, чунки улар кўзлари олдида бир элемент бошқа элементга айланган эдида.* Ушбу ҳолат зоолог кўз олдида мушукнинг кучукка айланиши билан баробар эдида (15-расм).

Кўп ўтмай “радий эманацияси” Резерфорд томонидан ўз ҳақиқий номини – **Радон (Rn) топди**, Рамзай эса унинг асосий характеристикаларини: атом массаси 222 ни, емирилиш схемасини ўрганди ва радийнинг атом массаси



куйидагича ўзгаришини кўрсатди:



15-расм. Зоолог кўз олдида мушукнинг кучукка “айланиши” [8].

Радийнинг атом массаси (226) М.Кюри томонидан 1902 йили, гелий атом массаси (4) эса бундан 3 йил илгари Рамзай томонидан аниқланган эди. Тез кунларда барча радиоактив элементлар маълум бир тезлик билан емирилиши аниқланди, бу катталик атом массаси каби радиокатив элементнинг асосий характеристикаси экан. Ушбу характеристикани Резерфорд таклифига биноан элементнинг *ярим емирилиш даври* $T_{1/2}$ деб атай бошладилар. *У дастлабки радиоактив элемент миқдорининг ярими*

емирилиши учун кетадиган вақтга тенг бўлади. Ушбу катталик радон учун 3,82 кун, радий учун 1600 йил, урань учун 4,5 млрд. йил. 1913 йилга келиб барча радиоактив оилалар, улардаги емирилиш кетма-кетликлари ва тезликлари аниқланди. Резерфорд ва Соддилар томонидан радиоактивликнинг табиати тўлиқ ўрганилди, лекин радиоактив элементларнинг ўз-ўзидан портлаши сабаби квант механикаси яратилганидан чорак аср ўтиб аниқланди.

1913 йилга келиб радиоактив элементлар ҳақида кўпгина далиллар маълум бўлиб қолди:

- улар секунднинг миллиондан бир бўлагига тенг вақтдан бошлаб миллиардлаб йилларгача вақт давомида емириладилар;

- бунда ўзларидан α -зарралар (гелий ядроси);

- β -зарралар (тез электронлар);

- γ нурланиш (жуда қисқа тўлқин узунликли рентген нурлари) чиқаради;

- радиоактив элементдан α ва β зарралар чиқишидан ташқари унинг барча кимёвий хусусияти ҳам ўзгаради; -Радиоактив нурланиш энергияси кимёвий реакция энергиясидан миллионлаб марта катта бўлади;

- радиоактив емирилиш жараёнини тезлаштиришга ёки секинлаштиришга на иссиқ, на совуқ ва на электр ёки магнит майдон таъсир қилмайди. Лекин, жавоб топиш зарур бўлган қуйидаги учта савол ҳали жавобсиз қолган эди: ***Радиоактив элементларнинг кимёвий табиати қандай? Улар энергияни қадердан олади? Уларнинг емирилиш сабаби нимада?***

Охирги икки саволга нисбийлик назарияси ва квант механикаси жавоб беради. Биринчи саволга эса радиокимёгарлар жавоб беришди.

Радиоактив элементларни ўрганишда уларнинг изотопларини ажратиш мумкин бўлиб қолди. Ф.Астон ушбу иш учун масс-спектрографдан фойдаланишга қарор қилди ва изотопларни аниқлашдаги хатоликни камайтириш йўллари излади: дастлабки масс-спектрографда хатолик 0,1% бўлган бўлса (1919),

кейинчалик 0,01% га ва 0,001% га (1937) туширилди. Бунда у барча радиоактив изотоплар атом массалари бутун сонларга яқин эканлигини аниқлади. Ҳозирги кунда изотоплар массасини ўлчаш 10^{-7} нисбий хатолик билан олиб борилади. Ҳозирда (1961) атом массаси эталони қилиб углерод атоми ^{12}C изотопи қабул қилинган. ***Бунда углерод атоми массаси унинг масса сонига тенг деб қабул қилинган.***

$$A(^{12}\text{C}) = N(^{12}\text{C}) = 12,00000.$$

Атом массасини ушбу бирлиги м.а.б.(массанинг атом бирлиги) дейилади:

$$1 \text{ м.а.б.} = (1 \text{ г/моль})/N_A = 1,66054 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Ф.Астоннинг барча изотоплар массалари бутун сонлар эканлиги ҳақидаги хулосаси маълум бўлгандан кейин, бирданига бир неча жойларда: Англияда – Резерфорд, АҚШ да Харникс, Австралияда Мэссон барча атом ядролари протонлардан ва қандайдир нейтрал зарралардан ташкил топган деган фикр пайдо бўлди. Нейтрал зарралар эса протонлар ва электронлардан ташкил топган ихчам тизимдан иборат бўлиб, ***ушбу заррани очилишидан 12 йил олдин Резерфорд “нейтрон” деб атаган эди.*** Лекин, протонларни қайси кучлар ядро ичида ушлаб туради? деган саволга замонда жавоб ҳали йўқ эди. Чунки, ядро ўлчами ҳар ҳолда 10^{-12} см дан кичик бўлиб, ушбу масофада протонларнинг электростатик итариш кучлари ҳали анча катта эди.

Ҳозирги кунда маълумки исталган атом ядролари нуклонлардан, яъни протонлар ва нейтронлардан ташкил топган. Иккита протон ва иккита нейтрондан иборат ядро учун боғланиш энергияси:

$$E = \Delta mc^2 = 28,3 \text{ МэВ}$$

дан иборат бўлиб, у ***электростатик итариш кучларидан 40 марта каттадир.*** Бунда нуклон учун боғланиш энергияси 7,6 МэВ бўлади, яъни тўртта нуклондан биттасини узиб олиш учун шундай энергия сарфланиши лозим экан. Лекин, бу радиоактив

элемент ядроси нима учун емирилади, бунинг устига ўз-ўзидан деган саволга жавоб бўла олмайди. ***α заррани уран, радий ва бошқа радиоэлементлар ядроларини қандай сабаб ташилаб чиқишга мажбур қилди? Яна бир неча МэВ энергия билан?***

Ушбу саволга жавоб 1928 йилда, яъни квант механикаси яратилгандан 3 йил ўтиб ва радиоактивлик очилгандан 32 йил кейин жавоб топилади. 1919 йил физика фани тарихида доимий ёзилиб қоладиган йил бўлди. Чунки, шу йили Э.Резерфорд ***Ер юзидан биринчи бўлиб элементларни сунъий равишда биридан иккинчисига айлантириш усулини топди. У қўплаб “элементлар трансмутациясини” кузатган, яъни айнан кузатган, чунки радиоактив элементларнинг емирилиш жараёнига на иссиқ, на совуқ, на электромагнит майдон, на босим ва на кимёвий реакциялар таъсир қилади.***

Бир куни у ассистенти Марсденнинг урушдан олдинги ишларини давом эттираётиб, “α” зарра оддий ҳаводан ўтаётганида микроскопда янги зарра ичига кўзи тушиб қолди, ушбу янги зарранинг эркин югуриш йўли “α” зарраникидан анча катта эди. ***Тез орада Резерфорд, ушбу иккиламчи зарралар – протонлар эканлигини*** ва у “α” зарранинг азот ядроси билан тўқнашишидан пайдо бўлар экан деган ҳулосага келди. Қандай қилиб? Бунда Резерфорд икки хил механизмни таҳлил қилди:



ёки



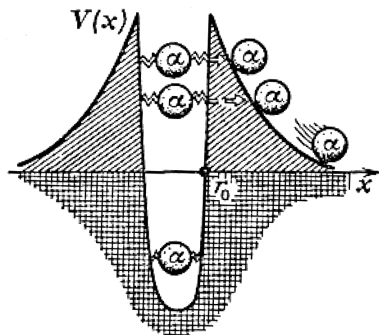
олти йил ўтиб Резерфорднинг ҳодими П.Блэккет иккинчи ядро реакциясини Вильсон камерасида кузатган эди.

Радиоактивлик ҳодисаси эса 1896 йилда А.Беккерль томонидан очилган эди. Орадан олти йил ўтиб, 1902 йилда, Резерфорд ва Соддилар унинг моҳиятини тушунтириб бердилар. Лекин, ядронинг ички структураси ҳақида оз билсалар ҳам α зарранинг ядро ичидан чиқиши ҳаммага аён эди. Лекин ушбу ишонч, α

зарра нима учун ядро ичидан учиб чиқади деган саволга жавоб бўла олмас эди, чунки у ядро ичида мустаҳкам $\approx 7,6$ МэВ энергия билан боғланганку? Бунинг устига учиб чикувчи α – зарралар моноэнергетик характерга эгаллигини қандай тушунтириш мумкин? Ядронинг ярим емирилиш даври нимага боғлиқ? Улар нега бир-бирларидан бунчалик фарқли? Ядронинг емирилиш вақти ва жойи нима билан аниқланади? Ушбу саволларга квант механикаси яратилганидан 3 йил ўтиб ва радиоактивлик ҳодисаси очилгандан 32 йилдан кейин бир вақтнинг ўзида рус физиги Г.А. Гамов ҳамда америкалик олимлар Р.У. Гёрни ва Э. Кондонлар жавоб бердилар. Уларнинг ғоялари соддалиги ва жасоратлари билан ажралиб турарди. Улар **α зарралар ядрога, электронларнинг атомдаги ҳаракатлари каби Шредингер тенгламасига бўйсунади, деган фикрда эдилар.**

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} [E - V(x)] \psi = 0 \quad (30)$$

Бунда $\psi(x)$ “ α ” зарранинг $V(x)$ потенциал майдондаги ҳаракатини ифодаловчи тўлқин функция. Шунинг ҳам таъкидлаш лозимки, ядро физикасининг барча мувафаққиятларига қарамасдан ядро кучларининг ҳақиқий табиати ва демак $V(x)$ потенциалнинг аниқ кўриниши ҳозиргача номаълум бўлиб қолмоқда. Биз фақат ядро кучлари тортишиш кучлари, жуда қисқа масофада таъсир қилувчи ҳамда жуда қувватли кучлар эканини, унинг қулон кучларига нисбатан ўнларча марта катта эканини, лекин у атом ўлчамларидан ўн ва юз марта кичик масофаларда таъсир қилишини 10^{-13} – 10^{-12} см биламиз. $V(x)$ потенциалнинг умумий кўриниши 16-расмда келтирилган:



16-расм. $V(x)$ потенциал тақсимотининг умумий кўриниши[8].

Ядро ташқарисида α -заррача кулон кучлари ёрдамида итаришади:

$$V(x) = 2ze^2/x \quad (31)$$

Бунда, z – ядро заряди.

Ядро чегарасида, $x = r_0$, итаришиш тортишишга алмашади. Демак “ α ” зарра тор ва чуқур потенциал ўрада ҳаракатланади ва ташқи дунёдан потенциал барьер билан ажралган, лекин ушбу маълумотларнинг ўзи ҳам “ α ” емирилиш қонуниятларини топишга ёрдам беради. Расмдан кўриниб турибдики, у уйғонган вулқон кесимига жуда ўхшайди: ҳақиқатдан ҳам ядро ичидаги “ α ” зарраларни магмага ўхшатиш мумкин бўлиб, у қайнаган пайтида вулкан оғзидан ошиб ташқарига чиқиши мумкин бўлади. Лекин, магмадан фарқли равишда “ α ” заррачалар квант физикаси қонунларига бўйсунди, шу сабабли унинг энергияси, “**квантланган**” бўлади, яъни у фақат дискрет қийматлар $E_1, E_2, E_3, \dots E_n$ қабул қилиши мумкин. Шу сабабли ҳам “квант вулқон” оғзида улар маълум бир баландликларда бўла оладилар. Агар “ α ” зарра горизонт чизикдан пастда ҳаракатланса ($E_n < 0$), у ҳолда “ α ”нинг ўз-ўзидан ташқарига чиқиши мумкин эмас, ядро турғун, вулқон эса ўчган ҳисобланади. Агар $E_n > 0$ бўлса, яъни “ α ” заррача ядрони ташлаб чиққандан кейинги ядро энергияси ҳолати ёки “ α ” заррача энергияси ядро энергиясидан катта бўлса, у ҳолда “ α ” заррача учун емирилиш сўзсиз фойдалидир.

Вулқоннинг чуқур оғзида магма доимий қайнашда, лекин ҳақиқий вулкан отилиши фақат магма вулқон крестеригача кўтарилганда ва ундан тўкилганда юз беради. **Магмадан фарқли равишда (квант механикаси қонунларига биноан) α заррачалар чуқур ядро девори орқали, ҳатто унинг энергияси барьерни енгиб ўтишга етарли бўлмаса ҳам амалга ошиши мумкин**, яъни “**потенциал барьер**” орқали сизиб ўтиш имконига эга бўлади[7,8], худди яримўтказгичли туннель диоддаги жараён каби. Ушбу ҳодиса типик квант ҳодиса бўлиб, у **туннель эф-**

фекти ҳодисаси деган ном олган. Потенциал барьер орқали сизиб ўтган “ α ” заррачалар жуда катта куч билан ядронинг кулон майдони ёрдамида итарилади ва маълум бир кинетик энергияга эга бўлади E_n . Бу ҳолда биз Вильсон камерасида изни ва Крукс спинтаскопида чақнашни кузатамиз.

Туннель эффект ҳодисаси бу биринчи навбатда квант объектларининг тўлқин-зарра дуализмининг натижасидир. Классик физикада унга ўхшаш ҳодисаларни учратиш мумкин албатта. Масалан, тўлқинлар тарқалиши ва дифракцияси ҳодисаларида уларнинг тўсиқни айланиб геометрик соя соҳасига ўтиши классик физикадан яхши маълум. Ушбу ҳодиса, айниқса тўсиқ ўлчами тўлқин узунлигига яқин бўлган ҳолларда яхши кузатилади. Масалан, Ер шароитида радиотўлқинлар тарқалишида. Яна бир мисол, тўлиқ ички қайтиш ҳодисаси ҳаммага маълум: агар ёруғлик нурлари шишада тарқала бориб шиша – ҳаво чегарасига $\theta_{кр}$ чегаравий бурчакдан катта бурчакда тушсин, у ҳолда у тўлиқ қайтмайди. Ушбу ҳолда шишанинг ўша жойига ўша шишанинг яна бир бўлагини пастдан маҳкам сиқиб қўйсак, энди нур чегарани сезмайди ва тўғри чизиқ бўйлаб тарқала бошлайди. Агарда энди шиша бўлагини “бироз” силжитсак-чи? ***Агар тирқиш ўлчами d ёруғлик тўлқин узунлигига яқин бўлса, у ҳолда ёруғликнинг бир қисми иккинчи шиша бўлакчасига ўта бошлайди.*** Ушбу ўтиши d қанчалик кичик бўлса, шунча яхши бўлади. Шундай қилиб, ушбу оптик ҳодисани туннель эффекти ҳодисасига ўхшатиш мумкин. “ α ” зарранинг корпускуляр хоссалари (импульси, массаси, заряди) у ядродан ташқарида бўлган ҳолларда ёрқинроқ кўринади, масалан, Вильсон камерасида. Ядро ичида эса “ α ” заррачаларнинг тўлқин хусусиятлари яхши намоён бўлади: частотаси, тўлқин узунлиги.

Маълумки, “ α ” заррачалар тўлқин узунлиги ядро ичида ядро ўлчамидан катта бўла олмайди: $\lambda \leq r_0 \approx 10^{-12}$ см уларнинг тезлиги эса ёруғлик тезлигидан 100 марта кичик, шу сабабли ядро ичида тебранишлари $v = \frac{v}{\lambda}$, $v \approx 4 \cdot 10^{20} \text{ с}^{-1}$ га етади. “ α ” заррачалар

тўлқинлари потенциал барьер деворига урилганда одатда тўла ички қайтишга учрайди, *лекин баъзан жуда кичик эҳтимол билан барьердан сизиб ўтиши мумкин*, худди ёруғлик тўлқини икки шиша орасидаги тирқишдан ўтганидек. “ α ” заррачалар энергияси қанчалик катта бўлса, у енгиб ўтиши лозим бўлган потенциал барьер кенглиги шунча кичик ва уни ядро ташқарисида кўриш эҳтимоли шунча катта бўлади.

“ α ” заррачаларни потенциал барьердан ўтиш эҳтимоли қуйидаги формуладан топилади:

$$\mathcal{U} = |\psi(r_L)|^2 \approx \exp\left(-\frac{2}{\hbar} \int_{r_0}^{r_1} \sqrt{2m[V(x) - E]} dx\right) \quad (31)$$

Ушбу ифода Шредингер тенгламасини ечишдан топилади. Ушбу эҳтимоллик жуда кичик бўлишига қарамасдан у ҳар ҳолда ноль эмас, масалан радий учун. “ α ” заррача ҳар секундда барьерга $v \approx 4 \cdot 10^{20}$ марта келиб урилади ва ҳар сафар $\mathcal{U} = 3,3 \cdot 10^{-32}$ эҳтимоллик билан ундан ўтиши мумкин, яъни ҳар бир радий ядроси ҳар секундда эҳтимоллик билан емирилиши мумкин:

$$\Lambda = v \cdot \omega = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}.$$

Демак, радий ядросининг ўртача яшаш вақти $\tau = \frac{1}{\Lambda} = 7,4 \cdot 10^{10} \text{ с} \approx 2300 \text{ йил}$, ярим емирилиш даври эса (радий учун) $T_{1/2} = 0,7\tau = 1600 \text{ йил}$.

1 грамм радийда $N_A = A = \frac{6 \cdot 10^{23}}{226} = 2,7 \cdot 10^{21}$ радий ядроси мавжуд бўлса, у ҳолда *ҳар секундда улардан $(2,7 \cdot 10^{21}) \cdot (1,4 \cdot 10^{-11}) = 3,7 \cdot 10^{10}$ та ядро емирилади*. Айнан шу сон, яъни 1 секундда емирилувчи ядролар сони **Кюри** деб қабул қилинган бўлиб, у **радиоактивлик бирлиги** дейилади. Энди радиоактивликнинг табиатига доир саволларга жавоб беришимиз мумкин. Нима учун “ α ” заррачалар ядродан учиб чиқади? Чунки, радиоактивлик табиатига кўра нотурғундир, чунки улар одамлар каби, туғилган пайтидаёқ ўлимга маҳкум. “ α ” заррачалар энергиялари нима

учун бир хил, яъни ўзгармас? Чунки, “ α ” заррачалар ядро ичида маълум бир квантланган энергияга эга ва шу энергия билан ядрони ташлаб чиқади.

Ядроларнинг ярим емирилиш вақти нималарга боғлиқ? У асосан, “ α ” заррачалар энергиялари билан боғлиқ. Ушбу энергия қанчалик катта бўлса, потенциал барьер шунча тор ва демак унинг барьердан “сизиб” ўтиш эҳтимоли шунча катта ва радиоактив ядронинг емирилиш вақти шунча кичик бўлади. Ушбу боғланиш анча кучли бўлиб, “ α ” заррачалар энергияси бир ярим марта ўзгарганда уларнинг ярим емирилиш даври миллиардлаб марта (уран-238 учун $E_n=4,2$ МэВ, $T_{1/2}=4,5 \cdot 10^9$ йил, радий – 226 учун, $E_n=4,8$ МэВ, $T_{1/2}=1,6 \cdot 10^3$ йил, радон -222 учун, $E_n=5,5$ МэВ, $T_{1/2}=3,8$ кун, Полоний-218 учун, $E_n=6,0$ МэВ, $T_{1/2}=3$ мин, Полоний-214 учун, $E_n=7,7$ МэВ, $T_{1/2}=1,6 \cdot 10^{-4}$ с) ўзгаради. Ярим емирилиш даври билан чиқарилаётган “ α ” заррачалар энергияси орасидаги боғланиш Гейгер – Нэттол қонуни сифатида 1909 йилдан буён маълум бўлса ҳам, у 20 йилдан кейин тўғри изоҳланди. Радиоактив ядроларнинг емирилиш вақти ва жойи нимага боғлиқ? *У тасодиқ қонунларига бўйсунди.* Ядро – бу микрообъект, шу сабабли у квант механикаси қонунларига бўйсунди ва бунда уни эҳтимоллик тушунчалари ва қонунлари асосида тушунтириш қабул қилинган. Ядронинг ўртача яшаш вақтини ҳамда ядролар тўдасидан ўртача 1 секундда қанча ядро емирилишини олдиндан айтиб бериш мумкин. Лекин, айрим олинган ядронинг емирилиш вақтини олдиндан айтиб бериб бўлмайди.

АДАБИЁТЛАР

1. *Кудрявцев П.С.* Курс истории физики. – М.: Просвещение, 1982. 448 стр.
2. *Рахимов Н.* Физика тарихи, Ўқув-услубий қўлланма. – Наманган, 2011. 56 б.
3. *Кошчанов Э., Матёқубов Х.* Физика ўқитишда Беруний илмий меросидан фойдаланиш. *Uzluksiz talim*, 2003, №5, 11–18.
4. *Кедров Б.К., Розенфельд Б.А.* Абу Райхан Бируни. – М.: Наука, 1973 г. 56 стр.
5. *Умаров Г.Я.* Беруни, Коперник и современная наука. – Ташкент.: Фан, 1973. 120 стр.
6. *Шарипов А.Д.* Малоизвестные страницы переписки между Бируни и Ибн Синой. *Общественные науки в Узбекистане*, 1965. №11. С. 35–41.
7. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: ВШ, 1985. 432 стр.
8. *Пономарев Л.И.* Под знаком кванта. М.: Наука. 1989. 366 с.
9. *Мигдал А.Б.* Квантовая физика. Для больших и маленьких. – Москва.: Наука, 1989. 144 стр.
10. *Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю.* Драма идей в познании природы. БК, Наука, 1988. 240 стр.
11. *Қўшжонова Д.* Замонавий физика лабораторияларида илғор педагогик технологиялардан фойдаланиш. – Т.: 2017. 104 б.
12. *Тарасов Л.В.* Введение в квантовую оптику. – М.: ВШ, 1987. 304 стр.
13. *Тарасов Л.В.* Мир, построенный на вероятности. – М.: Просвещение, 1984. 192 стр.
14. *Иванов Б.Н.* Законы физики. – М.: ВШ, 1986. 335 стр.

15. Электронная дифракция (Фото) <http://www.google.ru/search?q=%D%8%>
16. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М.* Фейнмановские лекции по физике. Кн.3,4. – М.: Изд. Мир. 1976. 496 стр.
17. Физический энциклопедический словарь. Гл. Редактор. А.М.Прохоров. – Москва: 1984 г. 944 стр.
18. Физическая энциклопедия, Том 2. Под редакцией А.М.Прохорова, М.: Советская энциклопедия, 1990. 704 стр.
19. *Угаров В.А.* Классическая и квантовая механика. В сборнике “Школьникам о современной физике”. – М.: Просвещение, 1978. 192 стр.

МУНДАРИЖА

Кириш.....	3
------------	---

І боб.

МИКРОЗАРРАЛАР ДИФРАКЦИЯСИ

1. Ёруғлик заррами, аразми ёки бошқа нарсами?	5
2. Фотоэффект ва Комптон эффекти ҳодисалари	7
3. Атомлар нега турғун?	9
4. Микрозарраларнинг тўлқин-зарра дуализми	10
5. Электроннинг интерферометрдаги ҳаракатини “яширин” назорат қилиш... 16	
6. Эҳтимолликлар амплитудаларини квант физикаси асосида қўшиш..... 18	
7. Интерференциянинг икки хил тури ҳақида..... 20	
8. Тўлиқ тўплам..... 22	
9. Конфигурацион фазо	22

II боб.

АТОМНИНГ “ОБРАЗ”ЛАРИ

1. Атом тўғрисида қадимги алломалар (Демокрит, Канада, Беруний) тушунчалари	24
2. Атом ўлчамлари	25
3. Спектр – атомлар характеристикаси	26
4. Биринчи элементар зарра	29
5. Атомнинг Томсон модели.....	30
6. Модданинг молекуляр – кинетик назарияси	31
7. Атомнинг планетар модели.....	32
8. Резерфорд тажрибаси ва атомнинг характеристикалари..... 33	
9. Бальмер сериялари.....	34
10. Бор постулатлари	36
11. Бор постулатлари натижалари	39
12. Бор постулатларининг тажрибада тасдиқланиши..... 42	
13. Атом спектрининг “нозик” структураси. Зоммерфельднинг фазовий квантлаши	43
14. Атомнинг расмий модели. Паули принципи. Электрон спини..... 45	
15. Матрицалар механикаси ва тўлқин механикаси	48
16. Борнинг тўлдирувчанлик принципи[8,9,17,18]..... 50	
17. Туннель эффекти ҳодисаси	56
Адабиётлар	69

Э.О. Қўшжонов, Д.Э. Қўшжонов

**МИКРОЗАРРАЛАРНИНГ
СИРЛИ ТАБИАТИ**

Илмий-амалий қўлланма

«Voris-nashriyot» МЧЖ
Тошкент – 2018

Муҳаррир: *Т. Тошева*
Мусахҳиҳ:
Техник муҳаррир
ва саҳифаловчи:

Ноширлик лицензияси: АИ № 195.28.08.2011.
«Voris-nashriyot» МЧЖ.

Тошкент ш., Навоий кўч., 30-уй.
Тел.: (+99871) 244-58-81.