



**№ 8-дәріс**

# **КВАНТТЫҚ ТЕОРИЯНЫҢ БАСТАУЛАРЫ**



# Жоспары

- 1. Классикалық теориялық физика
- 2. Жарықтың кванттық теориясы
- 3. Атомдық жүйелердегі квантталу
- 4. Корпускулалық- толқындық дуализм. Де Бройль толқындары

# 1. Классикалық теориялық физика

- XIX ғасырдың екінші жартысында жаратылыстану ғылымдарының дамуы зор қарқынға ие болды. Ғалымдар осы кезеңде қоршаған дүниедегі өтетін терең байланыстарын түсінуде елеулі ғылыми жетістіктерге қол жеткізген болатын. Олардың ең маңыздылары ағылшынның ғұлама ғалымдары И. Ньютон мен Дж. Максвеллдің зерттеулерімен, осы ғалымдар ашып, қалыптастырған классикалық механика мен классикалық электродинамиканың іргелі заңдарымен тікелей байланысты еді. Осы заңдар бұл күндері физиканың классикалық теориялық физика деп аталатын үлкен бөлімінің негізін құрайды.
- Жоғарыдағы айтылған мағлұматтардың дені негізінен зат құрылысына қатысты мәселелер. Сонымен қатар, бұл кезде жарықтың қасиеті жөніндегі түсінік те айқындалған еді. “Жарық табиғаты қандай? Ол корпускула ма, жоқ әлде тоқын ба?” деген ескіден келе жатқан талас бұл кезде тәжірибеден байқалатын барлық дифракциялық және интерференциялық құбылыстарды геометриялық оптиканың негізгі заңдарымен қоса түсіндіруінің нәтижесінде біржолата толқындық теорияның пайдасына шешілген болатын.

- Осы кезде толқындық теорияның дамуымен қатар электрлік және магниттік құбылыстарды зерттеу де зор қарқын алған еді. Мұндағы маңызды жетістік Максвелл ұсынған электромагниттік теорияның негізгі теңдеулерімен байланысты болатын.

Осы теңдеулерге сүйене отырып, Максвелл электромагниттік толқындардың болатыны жөнінде болжам айтты. Көп уақыт өтпей-ақ бұл болжам Герц тәжірибелерінде айқын дәлелденді. Бұдан арғы зерттеулердің нәтижесінде жарықтың өзі де белгілі бір толқын ұзындығындағы электромагниттік толқындар екендігі анықталды. Ғылымның дамуы барысында оптика мен электр туралы ілім осылайша бірігіп, бір арнаға түсті.

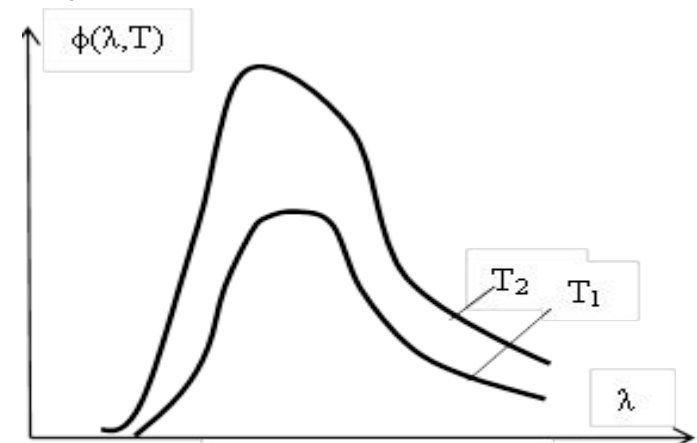
- Аса көрнекті ғалым лорд Кельвин XX ғасырдың табалдырығынан аттайтын деп тұрып, Балтимор университетінде оқыған дәрістерінің бірінде XIX ғасырдағы физиканың даму жолын қорытындылай келіп, “физика дегеніміз толық даму гармониясына жеткен, негізінен анықталған ғылым жүйесі. Тек оның ашық аспанына қылау түсіріп тұрған кішкене ғана екі бұлт бар, ол – Майкельсон тәжірибесінің теріс нәтижесі және шымқай қара дененің сәуле шығаруы жөніндегі мәселе” деген еді. Бұл сөзінде көпті көрген данышпан ғалым классикалық физиканың ең осал жерлерін тап басып, қадап айтқан болатын. Физиканың бұдан арғы дамуы барысында шешілмеген дәл осы екі мәселеден қазіргі заман физикасының ең күшті теориялары – Эйнштейннің салыстырамалылық теориясы мен кванттық теория бастау алады.

- Бұл кезде тәжірибе жасау құралдары мен әдістерінің дамығаны соншалықты, енді макроскопиялық денелерді ғана емес, тіпті жекелеген атомдар мен молекулаларды зерттеу мүмкіндіктері туды. 1910 жылы Милликен электронның элементар зарядын өлшесе, 1912 жылы Вильсон өзі ойлап тапқан камерада алғаш рет зарядталған бөлшектердің жүріп өткен ізін байқады. 1896 жылы радиоактивтілік құбылысы ашылды. Бұл құбылыс материя құрылымының жаңа деңгейі – атом ядросы қасиетінің алғашқы көрінуі еді. Радиоактивті ыдырау кезінде пайда болатын шапшаң альфа-бөлшектер атом құрылысын зерттеудің тамаша құралына айналды. Осы альфа-бөлшектердің әр түрлі нысаналардан шашырауын зерттеудің барысында Резерфорд 1911 жылы атомның планетаралық моделін ұсынды.
- Заттардың құрылысына қатысты зерттеулермен қатар, электромагниттік толқындардың қасиеттерін зерттеу бағытындағы ізденістер де жемісті болды. 1895 жылы Рентген кейіннен өз атымен аталған өте өткір сәулелерді ашқан болатын. Бұл сәулелердің кристаллдық торлардан дифракциялануын зерттеу барысында 1912 жылы фон Лауэ оның толқын ұзындықтары өте қысқа электромагниттік толқындар екенін дәлелдеп берді. Спектрлік талдау әдісінің дамуының нәтижесінде заттардың өзінен сәуле шығаруы, шағылдыруы және жұтуы жөнінде де өте көп тәжірибелік деректер жинақталады. Осы жинақталған тәжірибе нәтижелеріне теориялық тұрғыдан түсінік берер кезде алғаш рет классикалық теориялық физика қиыншылыққа жоғылып, тығырыққа тірелді. Енді осы жөнінде кеңірек әңгімелейміз.

## 2. ЖАРЫҚТЫҢ КВАНТТЫҚ ТЕОРИЯСЫ

- Шымқай қара дененің сәуле шығаруы.
- Физикада шымқай қара дене деп өзіне түскен сәулені шағылдырмастан, түгелімен бойына сіңіретін денені айтады. XIX ғасырдың аяғына таман мұндай дененің сәуле шығаруының спектрлік тығыздығы дене температурасының әр түрлі мәндері үшін үлкен дәлдікпен, әрі өте ұқыптылықпен өлшенген болатын. Сондай өлшеудің нәтижелерінің бірі 1.1-суреттің келтірілген.

*Бұл суреттен көрініп тұрғандай, толқын ұзындығы арта бастаған кезде сәуле шығарудың  $\phi(\lambda, T)$  спектрлік тығыздығы нөлден бастап артады да, толқын ұзындығының қындай да бір болған сәтінде өзінің максимум мәніне жетіп, толқын ұзындығы одан әрі қарай артқан кезде қайтадан кемі отырып, нөлге ұмтылады.*

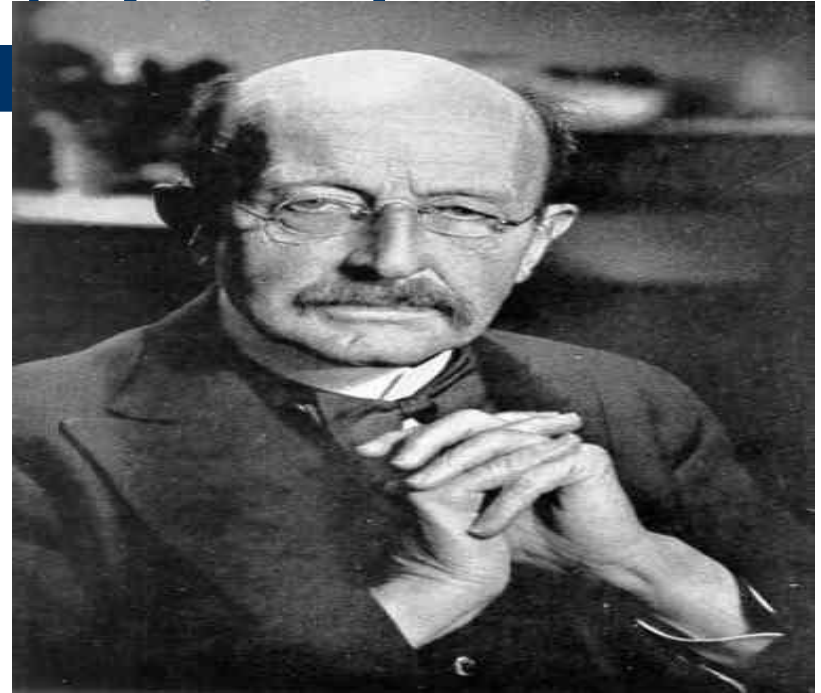


1.1 - сурет



## Кванттық теорияның туған күні

Алғаш рет бұл мәселеге қатысты классикалық физиканың дәрменсіздігін жете түсініп, әрі мойындап, үлкен ғылыми ерлікке барған адам – неміс ғалымы Макс Планк болды. Ол 1900 жылдың 17 желтоқсанында Берлиндегі неміс физикалық қоғамының съезінде жасаған баяндамасында шымқай қара дененің сәуле шығаруы туралы проблеманы шешкені жөнінде хабарлады. Бұл физиканың дамуындағы үлкен бетбұрыс болатын. Дәл осы күнді ғылым тарихындағы ерекше белгі – кванттық теорияның туған күні деп атаса да болғандай.



**Макс Карл Эрнст Людвиг Планк** — неміс физик-теоретигі, кванттық теорияның негізін салушы. Берлин ғылым академиясының мүшесі (1894), 1912 — 38 ж. аралығындағы хатшысы.

# Планк тұрақтысы

*Galileo Galilei*

Планк өзінің әйгілі болжамын ұсынды. Бұл болжам бойынша, **зат өзінен энергияны үздіксіз емес, жеке үлестер (порциялар) түрінде шығарады. Әрбір үлестің энергиясы**

$$E = \hbar\omega \text{ — болады.}$$

Мұндағы  $\omega = 2\pi\nu$  – сәуле шығарудың циклдық жиілігі, ал  $\hbar = h/2\pi$ .  
Әсердің бірлігімен өлшенетін  $h$  шамасы **Планк тұрақтысы** деп аталады. Планк тұрақтысының терең физикалық мағынасы бар, ол кванттық физикада ерекше роль атқарады. Эйнштейн теориясындағы  $c$  жарықтың жылдамдығы тәрізді кванттық механикадағы  $h$  Планк тұрақтысы әлемдік тұрақтылардың қатарына жатады. Оның бүгінгі күні аныталған ең дәл мәні мынаға тең:



Планк қорытып шығарған жиілік пен абсолют температураның белгілі бір мәніндегі сәуле шағарудың спектрлік тығыздығының осы өрнегі мынадай

$$U(\omega, T) = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{\hbar \omega}{kT}\right) - 1}$$

Планк өзінің талдауларында термодинамиканың жалпы принциптеріне қарама-қайшы келетін ешқандай тұжырымдар жасамағандықтан, бұл өрнек Стефан-Больцман және Вин заңдарымен толық үйлесімді болатын. Жоғарыдағы Планк өрнегінен бұл заңдарды оңай шығарып алуға болады. Ал ол Рэлей-Джинс заңымен тек төменгі жиілік және жоғарғы температурадағы аймақта ғана сәйкес келіп, жиіліктің жоғарғы, ал температураның төменгі мәндеріне тіптен басқа нәтижелерге алып келетін.

# Фотоэлектрлік эффект құбылысы.

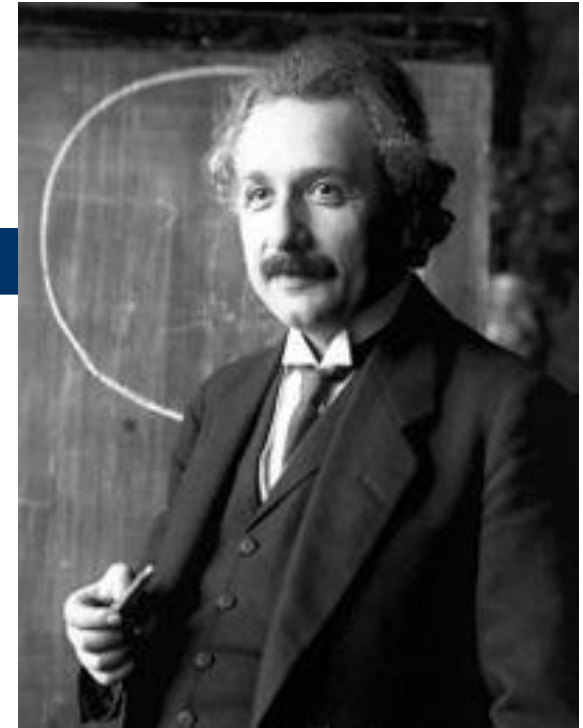
*J.s. Newton*

- Фотоэлектрлік эффект деп бетіне әсірекүлгін сәуле түскен кезде сілтілік металдардан электрондардың ұшып шығу құбылысын айтады. Бұл құбылысты алғаш рет 1887 жылы Г. Герц байқаған болатын. Жүргізілген зерттеулер фотоэффект кезінде ұшып шығатын электрондардың жылдамдығы түскен жарықтың қарқындылығына байланысты болмай, тек оның жиілігіне ғана тәуелді болатындығын көрсетті. Жарықтың қарқындылығы ұшып шыққан электрондардың санын ғана анықтайтын. Осылайша, бір қарағанда қарапайым болып көрінетін заңдылықтарды жарықтың классикалық толқындық теориясы негізінде түсіндіру мүмкін емес еді.

# Эйнштейн формуласы

- Бұл қиыншылықтан шығудың жолын алғаш рет көрсеткен данышпан ғалым Альберт Эйнштейн болды. Ол 1905 жылы жарияланған фотоэлектрлік эффектін зерттеуге арналған еңбегінде кванттық идеяны жаңа болжамдармен байытып, одан әрі дамытты.

*Ол Планк кванттары тек сәуле шығару мен жұтылу кезінде ғана байқалатын қасиет емес, жарық сәулелері дегеннің өзі энергиясы  $h\nu$ -ға, ал жылдамдығы  $c=300000$  км/с – ке тең жарықтың кішкене бөлшектерінің – **фотондардың** ағыны деген болжам айтып, бұл идеяның негізінде сол кезге дейін түсінігін таппаған бірқатар құбылыстарды қалай түсіндіруге болатынын көрсетті. Бұлардың ішінде фотоэлектрлік эффект те бар еді. Бұл құбылысқа Эйнштейннің берген түсінігінің мәнісі мынада болатын. Энергиясы  $h\nu$  болатын фотондар металл бетіне түскен кезде ондағы электрондармен соқтығысады да, толығымен жұтылады.*



**Альберт Эйнштейн**  
физик-теоретик, заманауи физиканың екі негізгі тірегінің бірі болып есептелетін салыстырмалылық теориясының негізін қалаушы

*A. Einstein.*

Мұндай электрон фотоннан алған энергиясының бір бөлігін металдан шығу жұмысына жұмсайды да, қалған бөлігін өзімен бірге кинетикалық энергия түрінде ала кетеді. Яғни энергияның сақталу заңының негізінде мынадай теңдік орындалады:

$$\hbar\omega = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{шығ.}}$$

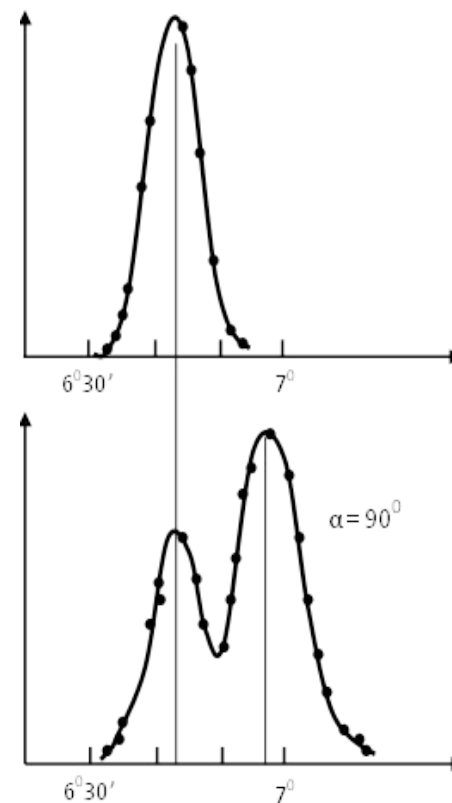
Бұл өрнек фотоэффект үшін жазылған **Эйнштейн формуласы** деп аталады. Оның негізінде жүргізілген есептеулер фотоэффектіге қатысты байқалатын барлық заңдылықтарды толық түсіндіруге мүмкіндік берді. Планктың кванттар туралы болжамы ескі көзқарастағы физиктер арасында әлі толық қолдау таппай тұрған кезінде Эйнштейннің бұл идеяны одан ары дамытып, басқада физикалық құбылыстарды түсіндіруге қолдануы жаңа физиканың қалыптасуындағы үлкен көрегендік болатын.

# Комптон эффекті

- Бұл құбылысты алғаш рет 1922 жылы американ ғалымы Артур Комптон ашқан болатын. Ол өз тәжірибелерінде рентген сәулесі кейбір заттармен (графит, парафин, т.б) әсерлескен кезде, сол заттан шашыраған сәуленің құрамында толқын ұзындықтары түскен сәуленің толқын ұзындықтарымен салыстырғанда біршама үлкен болатын сәулелердің де бар екенін байқады

(1.3 – суретті қараңыз).

*Комптон эффекті* деп аталған бұл құбылысты одан әрі зерттеу барысында толқын ұзындығы ығысуының шамасы шағылдырушы заттың табиғатына да, түскен толқынның ұзындығына да тәуелді болмай, тек шашырау бұрышымен ғана анықталатыны байқалды.



1.3 - сурет

# Комптон эффекті

- Бұл теорияның түсіндіруі бойынша, түскен толқын ұзындығының өзгеру себебі жеке фотондардың зат құрамындағы еркін электрондармен серпімді соқтығысудың салдарынан болатын. Мұндай процесс кезінде олар өз энергиясының біраз бөлігін өзімен соқтығысқан электронға береді де, шашыраған фотондардың энергиясы түскен фотондар энергиясымен салыстырғанда біраз шамаға кемиді немесе, басқа сөзбен айтсақ шашыраған толқындар ұзындығы түскен толқын ұзындығынан біршама артық болады. Соқтығысу серпімді болғандықтан, бұл үрдісті энергияның және импульстің сақталу заңдары орындалады. Егер түскен фотонның энергиясын –  $\hbar\omega$ , импульсын –  $p$ , ал шашыраған фотонның энергиясы мен импульсын сәйкес  $\hbar\omega'$  және  $p$  деп, ал фотон шашырағаннан кейінгі электронның энергиясын  $E_e$ , – ал импульсын  $\vec{p}_e$  деп белгілесек, энергия мен импульстың сақталу заңдары мына түрде жазылады:

- $$\hbar\omega + mc^2 = \hbar\omega' + E_e, \quad (1.3)$$

- $$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e \quad (1.4)$$

# Комптон эффекті

- Фотонның шашырау бұрышын  $\theta$  деп белгілесек, жоғарыдағы сақталу заңдарынан толқын ұзындығының өзгерісі үшін мына төмендегі өрнекті оңай шығарып алуға болады:

$$\Delta\lambda = 2\lambda_k \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (1.5)$$

- Мұндағы  $\lambda_k = 2\pi\left(\frac{\hbar}{mc}\right)$  - компондық толқын ұзындық деп аталады. Бұл өрнектің негізінде жүргізілген теориялық есептеулер тәжірибенің нәтижелерімен дәл келді. Бұл Планк болжамынан бастау алған кванттық теорияның дұрыстығының тағы бір бұлтартпас дәлелі еді.

# 3. Атомдық жүйелердегі квантталу

## *Атомның Резерфорд моделі*

*Шапшаң альфа-бөлшектердің өте жұқа алтын фольгадан шашырауын зерттей келе, ағылшын ғалымы Э. Резерфорд 1911 жылы атомның планетарлық моделін ұсынды. Бұл модель бойынша, атом оң зарядталған өте ауыр ядродан және оның маңында дөңгелек орбиталарда қозғалып жүрген теріс зарядталған жеңіл электрондардан тұратын.*

Зерттеу барысында әрбір элементтің тек өзіне ғана тән спектр сызықтары болатындығы анықталды. Бір қарағанда тым күрделі, шымшытырық шатысып жатқандай болып көрінетін спектр сызықтарын одан әрі байытып зерттеу барысында оларды белгілі бір топтарға-серияларға бөлуге болатындығы байқалды. Ал бір серияға кіретін спектр сызықтарын қарапайым математикалық өрнекпен сипаттауға болатын. Сутегі атомының сызықтық спектріне сәйкес келетін толқын жиіліктері үшін мұны алғаш рет 1885 жылы гимназия оқытушысы Бальмер байқаған еді. Бұл бағыттағы келесі қадамды жасаған Ритц болды. Ол сутегі атомы үшін Бальмер сериясымен қатар одан кейінірек ашылған басқа да белгілі серияларды төмендегі жалпы өрнекпен сипаттауға болатынын көрсетті.



Ол сутегі атомы үшін Бальмер сериясымен қатар одан кейінірек ашылған басқа да белгілі серияларды төмендегі жалпы өрнекпен сипаттауға болатынын көрсетті.

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

Мұндағы  $n$  және  $m$ - бүтін оң сандар ( $m > n$ ), ал  $R$  – **Ридберг тұрақтысы** деп аталады. Бұл өрнекпен дербес жағдайда,  $n=2$  болғанда, Бальмер сериясымен аламыз. Күрделі атомдар үшін мұндай қарапайым формула жазудың мүмкіндігі жоқ, бірақ спектр сызықтарына сәйкес келетін жиіліктердің арасында қандай да бір байланыс бар екені байқалады. Мәселен, егер қарастырып отырған спектрдің құрамына қандай да бір екі жиілік кіріп тұрса, онда ол жиіліктердің айырымы, не қосындысы да сол спектр құрамына кіреді. Дәлірек айтқанда, әрбір атомға **спектрлік термдер** деп аталатын сандар кестесін сәйкес қоюға болады. Онда байқалатын әрбір спектр сызығы осы термдер айырымы түрінде анықталады. Бұл тұжырым **Ридберг-Ритцтің комбинациялық ережесі** деп аталады. Әрине, мұндай заңдылықтардың байқалуы тегін емес еді, керісінше, бұл жағдай осы термдердің сол сәуле шығарып тұрған атомның ішкі құрылымымен тығыз байланысты екенің көрінісі болатын. Ал оны, әрине, теориялық тұрғыдан негіздеу қажет еді.

# Бордың жартылай классикалық теориясы

Бұл тығырықтан шығудың бір жолын 1913 жылы дат ғалымы Нильс Бор көрсетті. Ол атом құрылысын зерттеу барысында Планктың квант туралы іргелі идеяларына жіті назар аударып, бұл идеялардың тек жарық қасиеттерімен ғана емес, сонымен қатар табиғаттың басқа да құбылыстарына қатысты әмбебап сипатта екенін алғашқы болып аңғарды.

*Galileo Galilei*



даниялық ғалым, қазіргі заманғы физиканың негізін салушылардың бірі, Дания корольдік қоғамының мүшесі (1917) және 1919 жылдан оның президенті.

## Н.Бор бұл тұжырымдарды мынадай екі постулат түрінде ұсынды:

1. атомдағы электрондардың классикалық физика тұрғысынан ешқандай шектеу қойылмайтын аса көп орбиталарының ішінен, шындығында, тек белгілі бір кванттық шарттарды қанағаттандыратын дискретті, стационар орбиталары ғана жүсеге асады. Электрондар бұл стационар орбиталарда үдемелі қозғалғанымен, өзінен электромагниттік сәуле шығармайды;
2. атом жарықты электрон осы бір стационар орбитадан екінші стационар орбитаға көшкен кезде энергиясы  $\hbar\omega$ -ға тең кванттар түрінде шығарады, не сіңіреді. Ал кванттың энергиясы осы стационар орбиталарға сәйкес келетін энергиялырдың айырымы ретінде мына түрде анықталады:

$$(1.7) \quad \hbar\omega = E_n - E_m$$

## 4. Корпускулалық-толқындық дуализм

*Де Бройль толқындары*

- Жарықтың осы бір екіжақтылық қасиетін физикада *корпускулалық-толқындық дуализм* деп атайды.
- ***Корпускулалық-толқындық дуализм тек жарыққа ғана тән қасиет емес. Ол микродүниенің жалпы қасиеті. Яғни жарық толқындарының бөлшектік қасиеті ғана емес, сонымен қатар микробөлшектердің толқындық қасиеті де бар.***

# Де Бройль қатынасы

- Бөлшектерді корпускула ретінде олардың энергиясы мен импульсы, ал толқын ретінде тербеліс жиілігі мен толқындық векторы сипаттайды. Корпускулалық-толқындық дуализм бөлшектердің осындай екі алуан қасиеттерінің диалектикалық бірлігі болғандықтан, бұл қасиеттерді сипаттайтын физикалық шамалардың арасында да қандай да бір байланыс болуы тиіс. Шындығында да осылай. *Де Бройль қатынасы* деп аталған бұл өрнек мынадай:

$$E = \hbar\omega \qquad \vec{p} = \hbar\vec{k}.$$

- Ерекше назар аударатын нәрсе, бөлшектердің әр алуан қасиеттерін сипаттайтын осы физикалық шамалар бір-бірімен Планк тұрақтысы арқылы байланысып тұр. Бұл оның микродүниеде іргелі роль атқаратынының айқап дәлелі.

# Қорытынды

- Сонымен,біз бұл тарауда кванттық теорияның ашылар қарсаңындағы физика ғылымында қалыптасқан жағдайларға талдау жүргізіп, тарихи шолу жасап өттік. Бұл қысқа шолудан осы қарсаңдағы жинақталған жаңа физикалық деректердің қарқынды тегеуріні классикалық физиканың тас қамалының іргесін қалай солқылдатып, қабырғасының жігін қалай шытынатқанының куәсі болдық. Бұл кезеңдегі физикадағы жағдай үлкен дауыл алдындағы күй еді. Ақыры ол дауыл соғып тынды. Нәсерден кейінгі жарқырап ашылған күн сияқты, ғылыми аренаға түсі де, тұрпаты да бөлек жаңа физика – кванттық механика келді. Алдағы тарауларда, құрметті оқырмандар , сіздерді сол жаңа физикамен тәптіштей таныстыратын боламыз.

# Дәрістің соңы!



**СЕН ДЕ - БІР КІРПІШ, ДҮНИЕГЕ.  
КЕТІГІН ТАП ТА, БАР ҚАЛАН!**

*Абай*