**Де Бройл толқындарының кейбір қасиеттері. Физикалық шамалардың операторлары**

Француз ғалымы Луи де Бройль жарықтың корпускулалық-толқындық табиғаты жөніндегі түсініктерді дамыта келе, корпускулалық-толқындық дуализм тек оптикалық құбылыстарға тән ерекшелік емес, ол барлық микродүние физикасында жан-жақты қолданылуға тиіс деген батыл жорамал ұсынды. Бөлшектердің корпускулалық және толқындық қасиеттерін сипаттайтын шамаларды байланыстыратын математикалық өрнектер дәл фотондардікі сияқты. Сонымен қозғалыстағы кез келген бөлшекпен бір толқындық процесс байланысқан болады.

 

Келесі қатынас, де-Бройльша, зат бөлшектеріне салыстырылатын жазық монохромат толқын ұзындығын береді: Бұл **де-Бройль толқын ұзындығы**

Тыныштық массасы нөл емес бөлшектер үшін *p=mv* өрнектері **де-Бройль теңдеулері** деп аталады

Де Бройль толқын ұзындығын энергияның функциясы ретінде табалық. Егер *U* потенциалдар айырмасы әсерінен электрон v жылдамдыққа ие болса, онда оның p импульсы 

Осы электронмен де Бройль толқыны байланысқан, оның толқын ұзындығы 



Оператор-шартты белгі, немесе ереже; оны қолдану арқылы бір функциядан басқа функцияны алуға болады. Физикада операторлар әдетте үстіне ˆ таңбасын қойып белгіленеді: *. L ˆ , B ˆ , A ˆ* Егер *L ˆ* операторы арқылы ψ *(х)* функциядан φ*(х)* функция алынатын болса, онда *Lˆ* операторы ψ*(х)* функциясына әсер етеді (немесе *Lˆ* операторы ψ *(х)* функциясын φ *(х)*-ға айналдырады) д.а. Оператордың осы амалы (әрекеті) былай жазылады: 

Кванттық механикада күйлердің суперпозиция принципі қанғат-тандырылуы үшін тек сызықтық операторлар қолданылады. Және кез келген сызықтық оператор емес, тек өзара түйіндес, немесе эрмиттік операторлар қолданылады.

**Физикалық шамалардың операторлары**. Кез келген физикалық шамаға (динамикалық айнымалыға) сәйкес оператор өзара түйіндес, эрмиттік болуға тиіс. Оператордың нақты түрі, оның көмегімен алынатын нәтиже тәжірибеге үйлесетіндей, таңдалып алынады. *xˆ* координат және *x рˆ* импульс проекциясының операторлары кванттық механиканың негізгі операторлары болып табылады. ***х*** координатының операторы ретінде осы координатқа көбейту операторын алу керек, яғни *xˆ* координат операторын қайсыбір *f(x)* функцияға қолдану, осы функцияны ***х****-*қа көбейтуге саяды*:*

*xˆ f(x)= хf(x)*. Сонымен, *xˆ* =*х*. Осылай болғандықтан координаттың орташа мәні формуласына сәйкес былай анықталады:



бұл ***x*** координаты күтуінің анықтамасымен дәл келеді, өйткені толқындық функция модулінің квадраты ықтималдық тығыздығын береді. Импульс проекциясының операторы ретінде мына оператор алынады:



және операторлары да осыған ұқсас анықталады. ˆ z Pˆ

**Кинетикалық энергия операторы *.*** Декарттық координаттарда кинетикалық энергияға



Т ˆ операторы сәйкес келеді; мұндағы  – Лаплас операторы.

**Гамильтон операторы (гамильтониан) *.*** Классикалық физикада Гамильтон ф-сы деп бөлшектердің импульстары мен координаттары арқылы өрнектелген толық энергияны айтады: H ˆ



Кванттық механикада *Н* функциясына *H ˆ* оператор сәйкес келтірілуге тиіс. Осы оператор *Н* өрнегіне *p* орнына *pˆ* оператор қою нәтижесінде алынады:

