

Խ. ԱԲՈՎՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՊԵՏԱԿԱՆ ՄԱՆԿԱՎԱՐԺԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Ուսուցիչների վերապատրաստման դասընթացներ

ՀԵՏԱԶՈՏԱԿԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔ

ԴԱՍԱԿԱՆ ԵՎ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՍԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐԻ
ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ՝ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԴՊՐՈՑԱԿԱՆ
ԴԱՍԸՆԹԱՅԻ ՇՐՋԱՆԱԿՆԵՐՈՒՄ

ԿԱՏԱՐՈՂ՝ Ղ. ԱՂԱՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ Հ. 63 ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԴՊՐՈՑԻ
ՈՒՍՈՒՑՉՈՒՀԻ ԱԼԻՆԱ ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ՂԵԿԱՎԱՐ՝ Ֆ.Վ.Գ.Պ. Գ. ԴԵՄԻՐՄԱՆՅԱՆ

ԵՐԵՎԱՆ 2023

Բովանդակություն

Ներածություն.....	
3	
Քվանտային մեխանիկայի փորձարարական նախադրյալները	
5	
Չափումները	
միկրոաշխարհում.....	7
Հայզենբերգի	անորոշությունների
սկզբունքը.....	8
Բորի	քվանտային
կանխադրույթները.....	11
Բոր-Չոմերֆելտի	քվանտացման
պայմանը.....	12
Բոր-Չոմերֆելտի քվանտացման պայմանի կիրառումը`	
Ջրածնանման	
ատոմներ.....	13
Եզրակացություն.....	
15	
Գրականություն.....	1
5	

1. ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

19-րդ դարի վերջին դասական ֆիզիկան հասել էր զարգացման բարձր մակարդակի և հաջողությամբ բացատրում էր գրեթե բոլոր ֆիզիկական երևույթները:

Ավելի քան 200 տարի դասական մեխանիկայի օրենքները և գրավիտացիոն ձգողության տեսությունը բացատրում էին մարմինների մեխանիկական շարժման օրինաչափությունները:

Ավարտուն տեսքի էր բերվել ջերմադինամիկան: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիման վրա ձևավորվեց վիճակագրական ֆիզիկան: Փայլուն հաջողությունների էր հասել դասական էլեկտրադինամիկան, որի հիմքում դրված էին Մաքսվելի հավասարումները: Հայտնաբերվել էին էներգիայի, իմպուլսի և լիցքի պահպանման օրենքները:

Շատ ֆիզիկոսների մոտ ձևավորվել էին այն պատկերացումները, որ բնության հիմնական օրինաչափությունները բացահայտվել են և ֆիզիկայի զարգացումը մոտենում է ավարտին:

Սակայն 20-րդ դարի սկզբին հայտնաբերվեցին մի շարք ֆիզիկական երևույթներ, որոնք դասական ֆիզիկայի շրջանակներում չէին բացատրվում: Դրանցից կարևորագույնը Ռեզերֆորդի փորձերի արդյունքում ձևավորված ատոմի մոլորակային մոդելն էր, «սև» մարմնի ճառագայթումը, ատոմների սպեկտրալ գծերի բժավորությունը, ֆոտոէֆեկտը, էլեկտրոնների դիֆրակցիան, գերհաղորդականության երևույթը, պինդ մարմինների ջերմունակության կախումը ջերմաստիճանից և այլն:

Հենց այս երևույթների բացատրության որոնման ճանապարհին ի հայտ եկան նոր գաղափարներ, զարգացվեցին նոր մոտեցումներ, և դրվեց ֆիզիկական նոր տեսության կառուցման հիմքը:

1926 թվականին ավստրիացի ֆիզիկոս Էրվին Շրյոդինգերը և գերմանացի ֆիզիկոս Վեռներ Հայզենբերգը, միմյանցից անկախ, ստեղծել են միկրոաշխարհի երևույթները նկարագրող նոր տեսությունը՝ քվանտային մեխանիկան: Այն ընդհանուր տեսություն էր և կարողացավ բացատրել միկրոաշխարհին վերաբերող բազմաթիվ երևույթներ:

Նոր տեսության կայացումն ընթացել է երկու ուղղությամբ: Առաջինը կապված էր ջերմային ճառագայթման խնդրի լուծման հետ և վերածվեց քվանտային տեսության Մաքս Պլանկի և Ալբերտ Այնշտայնի աշխատանքների շնորհիվ: Այս ուղղության շրջանակներում ի հայտ եկավ լույսի քվանտի՝ ֆոտոնի երկակի (ալիքամասնիկային) բնույթը, բացատրվեցին մի շարք երևույթներ՝ ֆոտոէֆեկտ, Կոմպտոնի էֆեկտ և այլն:

Մյուս ուղղությունը կապված էր ատոմների կառուցվածքի և ատոմական սպեկտրների ուսումնասիրման հետ: Այս ուղղության շնորհիվ սահմանվեցին քվանտային վիճակների, քվանտային անցումների, քվանտային թվերի և այլ նոր գաղափարներ: Այս երկու ուղղությունները միավորվեցին որպես մեկ միասնական տեսություն՝ քվանտային ֆիզիկան:

Ստորև աղյուսակ 1-ում բերված են դասական և քվանտային ֆիզիկայի հիմնական սկզբունքները, դրանց հակադրումները, ինչպես նաև հիմնական մաթեմատիկական ապարատը:

Աղյուսակ 1. Դասական և քվանտային ֆիզիկայի հիմնական սկզբունքները

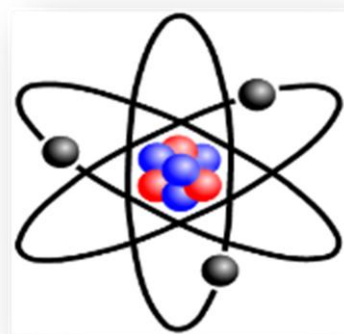
<i>Դասական ֆիզիկա</i>	<i>Քվանտային ֆիզիկա</i>
Պատճառահետևանքային կապի սկզբունք	Պատճառահետևանքային կապի բացակայություն
Հիմնական մաթեմատիկական ապարատ	
ա) ինտեգրալ- դիֆերենցիալ հաշիվ բ) կոմուտատիվ հանրահաշիվ	ա) հավանականության տեսություն բ) ոչ կոմուտատիվ հանրահաշիվ
Հիմնական հետևություններ	
Շարժման գաղափարի առկայություն	Շարժման գաղափարի բացակայություն

Ցանկացած փակ հետազոծով շարժումը թույլատրելի է	Թույլատրելի են միայն որոշակի «հետազոծեր» (Բոր-Չոմերֆելտի պայմանը)
Բոլոր ֆիզիկական մեծությունները համատեղելի են	Գոյություն ունեն անհամատեղելի ֆիզիկական մեծություններ (Հայզենբերգի անորոշությունների սկզբունքը)

2. ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱՅԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՆԱԽԱԴՐՅԱԼՆԵՐԸ

- Ատոմի մոլորակային մոդելը

Ռեզերֆորդի փորձի արդյունքում կառուցվեց ատոմի <<մոլորակային մոդելը>>: Այդ մոդելի համաձայն ատոմը կազմված է դրականապես լիցքավորված միջուկից և միջուկի շուրջ պտտվող էլեկտրոններից (նկ. 1): Ըստ որում, Ռեզերֆորդի փորձերի տվյալներից միարժեքորեն բխում է, որ միջուկի չափերը մոտ 10^5 անգամ փոքր են ատոմի չափերից:



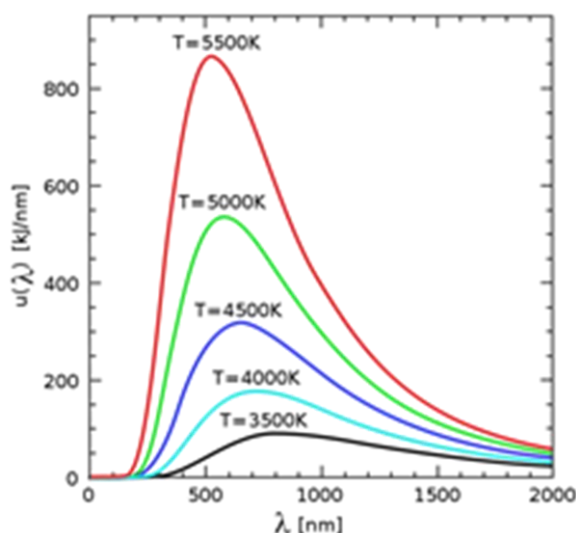
Նկ. 1 Ատոմի մոլորակային մոդելը $R_{\text{միջուկ}} \approx 10^{-5} \times R_{\text{ատոմ}} \approx 10^{-13}$ սմ

Ի՞նչն է այստեղ հակասում դասական ֆիզիկային: Բանն այն է, որ ըստ դասական էլեկտրադինամիկայի՝ արագացումով շարժվող լիցքը պետք է ճառագայթի էլեկտրամագնիսական ալիքներ և ժամանակի ընթացքում կորցնի որոշակի էներգիա: Արդյունքում որոշ ժամանակ անց էլեկտրոնը պետք է ընկնի միջուկի վրա: Դասական

Էլեկտրադինամիկայի հիման վրա կատարվող հաշվումների արդյունքում այդ ժամանակամիջոցի համար ստանում ենք $\tau \approx 10^{-8}$ վ: Այսպիսով, ըստ դասական տեսության ատոմի մոլորակային մոդելը անկայուն է՝ այն դադարում է գոյություն ունենալ 10^{-8} վ հետո: Մյուս կողմից մոլորակային մոդելը միարժեքորեն բխում է Ռեզերֆորդի փորձից:

- **Սև մարմնի ճառագայթումը (ջերմային ճառագայթում)**

Հայտնի փորձարարական փաստ է, որ բոլոր մարմինները ճառագայթում են էլեկտրամագնիսական ալիքներ: Այդ ճառագայթման ինտենսիվությունը և ալիքի երկարությունը կախված են մարմնի ջերմաստիճանից (նկ. 2): Այդ կախումները որոշվում են Վինի շեղման և Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքներով:



Նկ. 2 Ջերմային ճառագայթման ջերմաստիճանային կախումը:

Վինի շեղման օրենքը՝ $\lambda_{max} \cdot T = const$

Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքը՝ $E = \sigma \cdot T^4$

Դասական էլեկտրադինամիկայի շրջանակներում ջերմային ճառագայթումը բացատրվում է Ռեյլեյ-Ջինսի օրենքով, որի համաձայն ջերմային ճառագայթման էներգիայի խտությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\varepsilon(v, T) = \frac{8\pi v^2}{c^3} kT,$$

որտեղ v -ն ճառագայթման հաճախությունն է, c -ն՝ լույսի արագությունը, k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը և T -ն՝ ջերմաստիճանը:

Հիմք ընդունելով Ռեյլեյ-Ջինսի օրենքը և հաշվելով ճառագայթված ամբողջ էներգիան՝ կատացվի, որ մարմինն անվերջ մեծ էներգիա է ճառագայթում («ուլտրամանուշակագույն աղետ»), ինչը հնարավոր չէ: Այս հակասության վերացման նպատակով Մ. Պլանկը առաջ քաշեց իր հայտնի վարկածը, ըստ որի լույսը տարածվում է քվանտներով և մեկ քվանտի էներգիան համեմատական է լույսի հաճախությանը՝ $E = h\nu$: $h \approx 6,62 \cdot 10^{-34} \text{Ջ} \cdot \text{վ}$ -ը կոչվում է Պլանկի հաստատուն, իսկ լույսի մասնիկը՝ ֆոտոն (photon): Պլանկի վարկածի կիրառումը վերացրեց վերոհիշյալ հակասությունը և հանգեցրեց տեսական ու փորձարարական տվյալների համընկման: Ավելին, Պլանկի բանաձևի կիրառմամբ արտածվեց սև մարմնի ճառագայթման էներգիայի բանաձևը՝

$$E(T) = \frac{8\pi^3 h}{15 c^3} \left(\frac{kT}{h}\right)^4 ,$$

որը, փաստորեն, արտահայտում է Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքը և թույլ է տալիս գնահատել Ստեֆան-Բոլցմանի հաստատունի թվային արժեքը՝ $\sigma = \frac{8\pi^3 h}{15 c^3} \left(\frac{k}{h}\right)^4$:

- **Ատոմների սպեկտրալ գծերի բժավորությունը**

Փորձը ցույց է տալիս, որ ատոմների սպեկտրալ գծերը (կլանման և առաքման), ի տարբերություն ջերմային ճառագայթման, բժավոր են, այսինքն՝ բաղկացած են առանձին, իրարից տարանջատված սպեկտրալ գծերից:

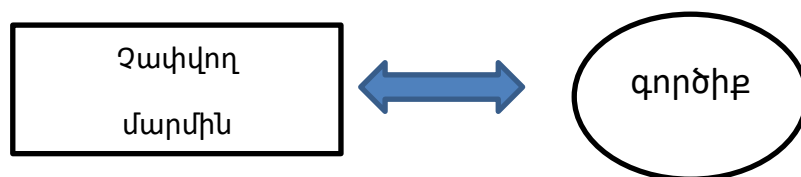
Ատոմները ունակ են կլանել (առաքել) միայն այն ալիքի երկարության ճառագայթները, որոնք կարող են առաքվել (կլանվել) իրենց կողմից: Այս երևույթը, ինչպես նաև կլանման և առաքման սպեկտրների բժավորությունը, որևէ բացատրություն դասական ֆիզիկայի շրջանակներում չունի, և միայն քվանտային տեսությունն է, որ կարողացավ տալ այս երևույթների լիարժեք բացատրությունը:

3. ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԸ ՄԻԿՐՈԱՇԽԱՐՀՈՒՄ

Դասական ֆիզիկայում չափումների գործընթացը լուրջ խնդիրներ չի առաջացնում՝ սահմանափակվելով միայն սխալանքի գնահատմամբ՝ կապված չափող սարքի ճշտությամբ և այլն: Մինչդեռ միկրոաշխարհի ֆիզիկական բնութագրերի չափումները լուրջ վերլուծություն են պահանջում: Բանն այն է, որ չափող սարքերը,

որոնց ցուցմունքները մեզ համար (մեր զգայարանների համար) ընկալելի են իրենց բնույթով, <<դասական>> են՝ գործում են դասական ֆիզիկայի օրենքներով: Եվ քանի որ մակրոաշխարհում հետազոտվող առարկաները նույնպես ենթարկվում են դասական ֆիզիկայի կանոններին, ապա այստեղ չափումների կատարման ընթացքում չեն առաջանում լրացուցիչ դժվարություններ: Այլ է միկրոաշխարհում կատարվող չափումների ընթացքը: Քանի որ մեր զգայարանները չափազանց կոպիտ են և կարող են ընկալել միայն մակրոերևույթները, ուստի մենք չենք տեսնում էլեկտրոնին, մեր աչքը չի գրանցում առանձին ֆոտոնը և այլն: Այսինքն միկրոաշխարհում կատարվող չափումները միշտ միջնորդավորված են: Մենք ուղղակիորեն չենք կարող չափել լիցքը կամ զանգվածը և այլն: Օրինակ, էլեկտրոնի լիցքը կարելի է որոշել էլեկտրոլիզի փորձի արդյունքներով:

Եվ այսպես, իրենից ի՞նչ է ներկայացնում չափման գործընթացը: Ընդհանուր առմամբ կարելի է ասել, որ մեր չափող գործիքը փոխազդեցության մեջ է մտնում չափվող համակարգի (մարմնի) հետ, ինչի հետևանքով փոխվում է չափող սարքի այս կամ այն ֆիզիկական մեծությունը, ինչն էլ մենք գրանցում ենք (Նկ.3):



Նկ.3 Չափման գործընթացի սխեման

Չափող գործիքի և մարմնի փոխազդեցությունը պետք է լինի այնքան մեծ, որպեսզի հնարավոր լինի գործիքի արձագանքի գրանցումը և միևնույն ժամանակ՝ այնքան փոքր, որպեսզի չափումից հետո մարմնի չափվող հատկությունը (համապատասխան ֆիզիկական մեծությունը) էական փոփոխություն չկրի: Բացի այդ, մարմնի որևէ ֆիզիկական մեծության չափման գործընթացը չպետք է շոշափելի ազդեցություն ունենա մարմինը բնութագրող այլ ֆիզիկական մեծությունների վրա: Այս վերջին պայմանից բխում է, որ սկզբունքորեն հնարավոր է միևնույն փորձի ընթացքում չափել մի քանի ֆիզիկական մեծություններ: Նշված երկու պայմանները բավարարում են դասական ֆիզիկայի շրջանակներում, երբ և՛ չափող գործիքը, և՛ մարմինը «դասական օբյեկտներ» են: Վիճակն այլ է միկրոօբյեկտների ֆիզիկական մեծությունների չափման ժամանակ, երբ չափող գործիքը «դասական օբյեկտ» է, իսկ

մարմինը՝ ոչ: Այս դեպքում չեն բավարարում վերը նշված ո՛չ առաջին, ո՛չ էլ երկրորդ պայմանները և անհրաժեշտ է զարգացնել միանգամայն նոր մոտեցում:

4. ՀԱՅՁԵՆԲԵՐԳԻ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԿՁԲՈՒՆՔԸ

Դիցուք ունենք երկու A և B ֆիզիկական մեծություններ, որոնց արժեքները ցանկանում ենք որոշել միևնույն փորձի ընթացքում: Դասական ֆիզիկայի պատկերացումներով դա հնարավոր է միշտ: Այսինքն ցանկացած ֆիզիկական մեծություններ սկզբունքորեն կարելի է միևնույն փորձի ընթացքում չափել՝ առանց սահմանափակումներ դնելու չափման ճշտության վրա: Այդպիսի մեծությունները կոչվում են «համատեղելի մեծություններ»: Դասական ֆիզիկայի շրջանակներում բոլոր մեծությունները համատեղելի են: Այլ է վիճակը, երբ չափումները կատարվում են քվանտային օբյեկտների ֆիզիկական մեծությունները որոշելու համար: Այս դեպքում ոչ բոլոր ֆիզիկական մեծություններն են համատեղելի: A ֆիզիկական մեծության չափումը կարող է էական ազդեցություն թողնել B ֆիզիկական մեծության վրա: Այսինքն A և B ֆիզիկական մեծությունները կարող են լինել «անհամատեղելի»: Շեշտենք, որ խոսքը գնում է ոչ թե չափման հնարավորության մասին որպես այդպիսին, այլ չափման ճշտության մասին: Անհամատեղելի A և B ֆիզիկական մեծությունները չեն կարող միևնույն փորձի ընթացքում չափվել կամայական ճշտությամբ՝ մեկի չափման ճշտությունը որոշակի սահմանափակում է դնում մյուսի չափման ճշտության վրա: Այս պնդումը իրենից ներկայացնում է Հայզենբերգի անորոշությունների սկզբունքը: Կարելի է տալ այս սկզբունքի մաթեմատիկական ձևակերպումը:

<p>A և B համատեղելի ֆիզիկական մեծությունների համար՝</p> $\Delta A \cdot \Delta B = 0 \quad (1)$ <p>A և B անհամատեղելի ֆիզիկական մեծությունների համար՝</p> $\Delta A \cdot \Delta B \geq h \neq 0 \quad (2)$

(1) և (2) առնչությունները կոչվում են Հայգենբերգի անորոշությունների առնչություններ: Կարևոր հարց է ծագում, ինչպե՞ս պարզել, թե որ ֆիզիկական մեծություններն են անհամատեղելի, և որոնք են համատեղելի: Նշենք, որ այն կապված է դասական և քվանտային ֆիզիկայի սկզբունքային տարբեր մոտեցումների հետ և հանգեցնում է անսպասելի հետևությունների, որոնք առաջին հայացքից հակասում են սովորական պատկերացումներին:

Որպես օրինակ դիտարկենք պարզագույն՝ մեկ մասնիկից բաղկացած համակարգը: Ինչպես գիտենք դասական մեխանիկայում մասնիկի վիճակը միարժեքորեն նկարագրվում է նրա կոորդինատներով՝ x -ով, y -ով, z -ով, և իմպուլսներով՝ p_x -ով, p_y -ով, p_z -ով:

Սակայն, ի տարբերություն դասական մեխանիկայի, քվանտային տեսության մեջ նշված վեց մեծություններից բոլորը չեն, որ գույգ առ գույգ համատեղելի են: Անհամատեղելի են x -ը և p_x -ը, y -ը և p_y -ը, z -ը և p_z -ը: Այնպես որ,

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h, \quad \Delta y \cdot \Delta p_y \geq h, \quad \Delta z \cdot \Delta p_z \geq h : \quad (3)$$

Մնացած բոլոր գույգերը համատեղելի են՝

$$\begin{aligned} \Delta x \cdot \Delta y &= 0, & \Delta x \cdot \Delta z &= 0, & \Delta y \cdot \Delta z &= 0, & (4) \\ \Delta p_x \cdot \Delta p_y &= 0, & \Delta p_x \cdot \Delta p_z &= 0, & \Delta p_y \cdot \Delta p_z &= 0, \\ \Delta x \cdot \Delta p_y &= 0, & \Delta x \cdot \Delta p_z &= 0, & \Delta y \cdot \Delta p_x &= 0, \\ \Delta y \cdot \Delta p_z &= 0, & \Delta z \cdot \Delta p_x &= 0, & \Delta z \cdot \Delta p_y &= 0 : \end{aligned}$$

(3) և (4) առնչությունները ցույց են տալիս, որ մասնիկի շառավիղ վեկտորի և իմպուլսի համանուն կոորդինատներն անհամատեղելի են: Այսինքն դրանք համատեղ ճշգրիտ արժեք չեն կարող ունենալ: Որքան ճշգրիտ է մի մեծության արժեքը, այնքան մեծ է մյուս մեծության անորոշությունը:

Այս դրույթը դասական ֆիզիկայի տեսանկյունից հանգեցնում է պարադոքսալ հետևության. դասական իմաստով միկրոաշխարհում շարժում լինել չի կարող: Իսկապես, եթե առկա է որևէ շարժում, ապա լուծելով համապատասխան դիֆերենցիալ հավասարումը, կարելի է գտնել շարժման օրենքը՝ $x(t)$ -ն, որն ածանցելով՝ կգտնենք արագությունը՝ v_x -ը, և այն բազմապատկելով մասնիկի m զանգվածով՝ կորոշենք մասնիկի իմպուլսի արժեքը՝ p_x -ը: Այն հակասում է (3)-ին:

Մտացված հակասությունը ապացուցում է, որ քվանտային տեսությունում շարժման գաղափարը բացակայում է:

Անորոշությունների առնչության ֆիզիկական իմաստն այն է, որ եթե միկրոմասնիկի շարժման վիճակը բնութագրենք այնպիսի ֆիզիկական մեծություններով, որոնցով դասական մեխանիկայում բնութագրում ենք մասնիկի վիճակը, ապա այդ մեծությունները որոշվում են այս կամ այն չափի անորոշությամբ: Մասնավորապես, որքան ճշգրիտ է որոշվում միկրոմասնիկի կոորդինատը, այնքան ավելի պակաս ճշտությամբ է որոշվում նրա իմպուլսի համապատասխան պրոյեկցիան:

Երբեմն պնդում են, որ անորոշությունների առնչությունը հետևանք է չափման սխալի, այսինքն պայմանավորված է չափիչ սարքի անկատարությամբ: Իրականում, սակայն, չափման արդյունքը կախված է ոչ միայն չափիչ սարքի, այլ նաև հետազոտվող օբյեկտի հատկություններից: Եթե նույնիսկ չափումներ կատարենք իդեալական սարքերով, ապա, միևնույն է, միկրոմասնիկի կոորդինատը և համապատասխան իմպուլսը միաժամանակ՝ մեկ փորձի արդյունքներով չենք կարող որոշել: Համաձայն Հայզենբերգի անորոշությունների առնչությունների՝ եթե միկրոմասնիկի վիճակն այնպիսին է, որ նրա x կոորդինատն ունի ճշգրիտ արժեք, ապա միկրոմասնիկի իմպուլսի պրոյեկցիան՝ p_x -ը, որպես վիճակի ֆիզիկական բնութագիր, զրկվում է որևէ իմաստից: Եվ հակառակը, եթե ճշգրիտ հայտնի է միկրոմասնիկի իմպուլսի p_x պրոյեկցիան, ապա անորոշ է մասնիկի x կոորդինատը:

5. ԲՈՐԻ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԿԱՆԽԱԴՐՈՒՅԹՆԵՐԸ

Դասական մեխանիկան և էլեկտրադինամիկան չեն կարող նկարագրել ատոմի հատկությունները, քանի որ ըստ դասական պատկերացումների՝ «մոլորակային մոդելով» նկարագրվող ատոմները կայուն չեն. միջուկի շուրջը «պտտվող» էլեկտրոնները շատ արագ (10^8 վ հետո) պետք է «ընկնեն» միջուկի վրա: Բացի այդ, ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, ատոմները լուսարձակում և կլանում են միայն որոշակի ալիքի երկարություններ ունեցող ֆոտոններ:

Դանիացի ֆիզիկոս Նիլս Բորը եզրահանգեց, որ Ռեզերֆորդի առաջարկած ատոմի մոլորակային մոդելի և փորձի անհամապատասխանությունը հետևանք է ոչ

թե այն բանի, որ այդ մոդելը ճիշտ չէ, այլ որ ատոմների և ներատոմային մասնիկների «շարժումն» օժտված է այնպիսի առանձնահատկություններով, որոնք բնորոշ չեն մակրոաշխարհի մարմիններին: Այսպիսով, նա հրաժարվեց դասական ֆիզիկայի որոշ պատկերացումներից և հաշվի առնելով Պլանկի վարկածն այն մասին, որ ատոմները լուսարձակում են առանձին բաժիններով (քվանտներով), առաջ քաշեց մի տեսություն, որը հիմնված էր երկու կանխադրույթի վրա:

1. Կանխադրույթ ստացիոնար վիճակների մասին. ատոմում էլեկտրոնը միջուկի շուրջը կարող է շարժվել միայն որոշակի՝ «թույլատրված» կորերով (ուղեծրերով): Այդ ուղեծրերով շարժվելիս էլեկտրոնը էներգիա չի առաքում: Բորը այդ ուղեծրերն անվանել է ստացիոնար:

Բորի առաջին կանխադրույթը հակասում է դասական ֆիզիկայի պատկերացումներին: Նախ՝ ատոմում էլեկտրոնի էներգիան կարող է ընդունել միայն ընդհատ արժեքներ, որը նշանակում է, որ ատոմի էներգիան քվանտացված է: Այնուհետև՝ ստացիոնար ուղեծրերով «շարժվելիս» էլեկտրոնը, ի հեճուկս դասական էլեկտրադինամիկայի, էլեկտրամագնիսական ալիքներ չի ճառագայթում:

2. Կանխադրույթ հաճախությունների մասին. ատոմը մի ստացիոնար վիճակից մյուսին անցնելիս արձակում կամ կլանում է էներգիայի քվանտ, որի հաճախությունը որոշվում է այդ ստացիոնար վիճակների էներգիաների տարբերությամբ՝

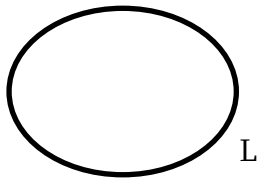
$$h\nu_{mn} = E_n - E_m :$$

Բորի երկրորդ կանխադրույթը ևս հակասում է դասական ֆիզիկայի օրենքներին, քանի որ արձակված ֆոտոնի հաճախությունը որոշվում է միայն ատոմի էներգիայի փոփոխությամբ և բոլորովին կախված չէ միջուկի շուրջը էլեկտրոնի պարբերական շարժման հաճախությունից:

6. ԲՈՐ-ԶՈՄԵՐՖԵԼՏԻ ՔՎԱՆՏԱՑՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆԸ

Բոր-Զոմերֆելտի պայմանը պահպանելով դասական ֆիզիկայի հիմնական մոտեցումները՝ լրացուցիչ սահմանափակում է դնում փակ կորով շարժումների հնարավոր հետագծերի վրա: Համաձայն դասական մեխանիկայի՝ մարմինը կարող է շարժվել ցանկացած փակ հետագծով, որի տեսքը կախված է մարմնի վրա ազդող

ուժերից և սկզբնական պայմաններից: Այլ է պատկերը Բորի առաջ քաշած տեսության շրջանակներում, ըստ որի պնդվում է, որ մասնիկը կարող է շարժվել միայն այն փակ (L) հետագծերով, որոնց համար տեղի ունի հետևյալ պայմանը.



նկ. 4

$$\oint p dq = nh, \quad (5)$$

որտեղ p -ն մարմնի ընդհանրացված իմպուլսն է, q -ն՝ ընդհանրացված կոորդինատը, n -ը ոչ բացասական ամբողջ թիվ է, h -ը՝ Պլանկի հաստատունը: (5)-ը արտահայտում է Բոր-Ջոմերֆելտի քվանտացման պայմանը: Դրա միջոցով որոշակի « ընտրություն» է կատարվում դասական մեխանիկայի կողմից թույլատրվող հետագծերի միջև՝ պնդելով, որ միայն այն հետագծերը կարող են իրականանալ բնության մեջ, որոնք բավարարում են (5) պայմանին:

7. ԲՈՐ-ՋՈՄԵՐՖԵԼՏԻ ՔՎԱՆՏԱՑՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ՝

ՋՐԱԾՆԱՆՄԱՆ ԱՏՈՄՆԵՐ

Ատոմը կոչվում է ջրածնանման, եթե, ջրածնի ատոմի նմանությամբ, նրա միջուկի շուրջը պտտվում է մեկ էլեկտրոն: Եթե ատոմի միջուկի կարգաթիվը նշանակենք Z -ով, ապա միջուկի լիցքը հավասար կլինի Ze -ի ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Կլ տարրական լիցքն է) : Էլեկտրոնի վրա միջուկի կողմից ազդում է կուլոնյան ձգողության ուժը՝ $F_{կլ} = k \frac{Ze^2}{r^2}$, և կենտրոնախույս ուժը՝ $F_{կ} = \frac{mv^2}{r}$ (ենթադրվում է, որ էլեկտրոնը միջուկի շուրջ պտտվում է շրջանագծային ուղեծրով): Որպեսզի էլեկտրոնը պահպանի շրջանագծային ուղեծիրը անհրաժեշտ է, որ էլեկտրական ձգողության ուժը համակշռի կենտրոնախույս ուժին:

$$k \frac{Ze^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}, \quad (6)$$

որտեղ m -ը էլեկտրոնի զանգվածն է, v -ն՝ էլեկտրոնի արագությունը, r -ը՝ ատոմի շառավիղը, k -ն էլեկտրական հաստատունն է, $k=9 \cdot 10^9$ Ն · մ²/Կլ²: (6)-ից՝

$$mv^2 = k \frac{Ze^2}{r} \quad \Rightarrow \quad \frac{mv^2}{2} = k \frac{Ze^2}{2r} : \quad (7)$$

Ուստի էլեկտրոնի լրիվ էներգիան, որը պոտենցիալ և կինետիկ էներգիաների գումարն է, հավասար է՝

$$E = \frac{mv^2}{2} - k \frac{Ze^2}{r} = -k \frac{Ze^2}{2r} : \quad (8)$$

Մինչ այժմ մենք գործում էինք դասական ֆիզիկայի շրջանակներում: Այժմ տեսնենք, թե ինչ է տալիս Բոր-Չոմերֆելտի քվանտացման պայմանը:

Ատոմի իմպուլսի մոմենտը ընդունում է ընդհատ արժեքներ՝

$$M = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar : \quad (9)$$

Ուղեծրի շառավիղը նույնպես ընդունում է ընդհատ արժեքներ՝

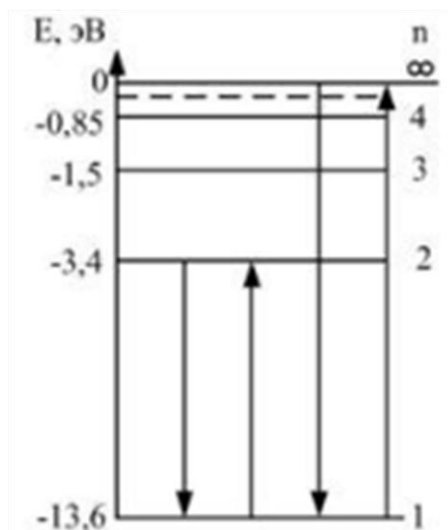
$$r_n = \frac{a_0}{Z} \cdot n^2 , \quad (10)$$

որտեղ $a_0 = \frac{\hbar^2}{ke^2 m}$ մեծությունը կոչվում է ջրածնի ատոմի Բորի շառավիղ:

Ատոմի էներգիան ընդունում է ընդհատ արժեքներ՝

$$E_n = -Z^2 \cdot Ry \cdot \frac{1}{n^2} , \quad (11)$$

որտեղ $Ry = \frac{mk^2 e^4}{2\hbar^2}$ կոչվում է Ռիդբերգի հաստատուն: Այսպիսով ատոմի էներգիական մակարդակները դիսկրետ են: Նկար 5-ում բերված է ջրածնի ատոմի էներգիական մակարդակների սխեման:



նկ. 5 Ջրածնի ատոմի էներգիական մակարդակների սխեման

Ատոմը գտնվելով որևէ ստացիոնար վիճակում՝ պահպանում է իր էներգիան (ոչ ճառագայթում է, և ոչ էլ կլանում): Մա Բորի առաջին կանխադրույթն է:

Բորի երկրորդ կանխադրության համաձայն ատոմը մի ստացիոնար վիճակից մյուսին անցնելիս ճառագայթում կամ կլանում է համապատասխան էներգիայի քվանտ, որի հաճախությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$h\nu_{nn'} = Z^2 \cdot Ry \left| \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right| , \quad (12)$$

Ընդ որում, եթե $E_n > E_{n'}$, ապա ատոմը ճառագայթում է, իսկ $E_n < E_{n'}$ դեպքում՝ առաքում է էներգիա:

Քվանտային ֆիզիկայում Բորի կանխադրությունները հանդես են գալիս որպես այդ տեսության հիմնական սկզբունքներից բխող հետևանքներ:

Այսպիսով, ներկայացնելով դասական և քվանտային ֆիզիկայի սկզբունքների համեմատական վերլուծությունը, նշենք նաև, որ այն մասնավոր դեպքերում, երբ կարելի է Պլանկի հաստատունը համարել անվերջ փոքր մեծություն, քվանտային մեխանիկան հանգում է դասական մեխանիկային:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

«Ֆիզիկա» ուսումնական առարկայի ուսուցումն ունի կարևոր նշանակություն, քանի որ զարգացնում է սովորողների մտավոր կարողությունները, սովորեցնում է առաջադրված խնդիրներից յուրաքանչյուրի լուծումը դիտել որպես նպատակ և հետևողական աշխատանք կատարել դրան հասնելու համար: Այդ պատճառով էլ արդյունավետ ուսուցումը կարող է տալ ցանկալի արդյունք ինչպես առարկայի իմացության, այնպես էլ սովորողների ստեղծագործական կարողությունների զարգացման և գիտական աշխարհայացք ձևավորելու նպատակով:

Նյութի մատուցումը իրագործվում է՝ հաշվի առնելով սովորողների տարիքային և հոգեբանական առանձնահատկությունները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Է. Ղազարյան, Ա. Կիրակոսյան, «Ֆիզիկա 12» դասագիրք, Երևան, 2011
2. В.В. Мултановский, А.С. Василевский. Курс теоретической физики, Квантовая механика.- М.: Просв.-ние, 1991

3. Գ.Ս. Սահակյան, Է.Վ. Չուբարյան, Քվանտային մեխանիկա. Երևան, 1972
4. Ռ. Ֆեյնման, Ռ. Լեյգտոն, Ս. Սանդերս, Ֆիզիկայի Ֆեյնմանյան դասախոսությունները: հ. 8-9, Քվանտային մեխանիկա. Մոսկվա, 1966
5. Պ. Ա.Ս. Դիրակ, Քվանտային մեխանիկայի սկզբունքները. Մոսկվա, 1979
6. Ա. Կ. Ավետիսյան «Դասական մեխանիկա», Երևան, ԵՊՀ, 2004թ
7. Ռ. Ֆեյնման, Ռ. Լեյգտոն, Ս. Սանդերս, Ֆիզիկայի Ֆեյնմանյան դասախոսությունները: հ.1-2, Մեխանիկա. Մոսկվա, 1966
8. В.В.Мултановский, Курс теоретической физики. «Классическая механика». М. Просвещение 1988.