**III Mühazirə**

**Atomun quruluşu haqqında Zommerfeld modeli, de-Broyl dalğaları, qeyri-müəyyənlik prinsipi və kvant ədədləri**

 Atomun quruluşu haqqında Bor modeli elmin sonrakı inkişafı üçün bir növ təmal “ daşı “ olmuşdur. Belə ki , o hidrogen və hidrogenəbənzər atomların ( məs, He+, Li2+ ) spektrlərindəki qanunauyğunluqların səbəbini izah etməyə müvəffəq olmuşdur.

 N.Bor nəzəriyyəsinə görə stasionar orbitlərin enerjisi və radiusu yalnız baş kvant ədədindən ( n ) asılıdır :

 E = - 2 π2 m z2 e4  / n2  h2 ; r =n2h2/4π2mze2

 Məlum olduğu kimi , baş kvant ədədi diskret qiymətlər ( 1 , 2 , 3 , 4 ... və s. ) alır. Deməli, n – in hər bir qiymətinə bir enerji səviyyəsi müvafiq gəlməlidir. Elektronun bir stasionar haldan digərinə keçidi isə porsiyalarla ( hν , 2hν , 3hν və s. ) enerjinin udulması və ya buraxılması ilə reallaşmalıdır ( Plank ideyasına görə ). Buna görə də , elektronun bir stasionar haldan digərinə keçidinə spektrdə bir xətt müvafiq gəlməlidir. Lakin sonralar məlum olmuşdur ki, Bor nəzəriyyəsi yalnız birelektronlu sistemlərdə tam ödənilir ; çünki yalnız birelektronlu sistemlərdə n – in hər bir qiymətinə müvafiq gələn yarımsəviyyələrin [ məs : n = 3 halına uyğun gələn 3 ( s, p , d ) yarımsəviyyələrinin ] enerjisi eyni olur. Başqa sözlə , yalnız birelektronlu sistemlərdə elektronun enerjisi n – dən asılıdır.

 Zaman keçdikcə atom spektrlərinin tədqiqində istifadə olunan fiziki avadanlıqlar daha da təkmilləşmiş və aparılan elmi araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, iki və daha çoxelektronlu atomların spektrlərində müşahidə olunan hər bir xətt əslində enerji cəhətdən bir – birinə yaxın olan bir neçə xətlər yığımından ibarətdir ; buna spektrin incə quruluşu deyilir. Bu isə onu göstərirdi ki, baş kvant ədədinin hər bir qiymətinə , əslində bir neçə enerji səviyyəsi müvafiq gəlir. Digər tərəfdən , məlum olmuşdur ki, əgər elektron keçidləri elektrik və ya maqnit sahələrində baş verirsə , belə hallarda da , atom spektrlərində incə quruluş yaranır; bunlar Ştark və Zeyman eggektləri adlanır ( şəkil 4.5 ). Bu qeyd olunan təcrübi faktlar isə ona dəlalət edirdi ki, elektronun enerjisi yalnız n – dən asılı deyil. Ona görə də , yeni kvant ədədlərinə ehtiyac yaranmışdır.

 Atom spektrlərinin incə quruluşunun səbəbini izah etmək üçün alman alimi Zommerfeld belə bir ideya irəli sürmüşdür ki, elektron nüvə ətrafında həm dairəvi, həm də elleptik orbitlər üzrə hərəkət edir ( şəkil 2 ) . Əgər bu ehtimal doğrudursa , onda elektronun energetik halı ən azı 2 kvant ədədi ilə xarakterizə olunmalıdır.



*Şəkil 4.1. Zəif maqnit sahəsində natriuma məxsus dublet xətlərin energetik parçalanması ( Zeyman effekti )*



 *Şəkil 4.2. a – Dairəvi və elleptik hərəkət edən elektronun r – və φ – parametrləri ; b - n=3 halına müvafiq gələn orbitlər*

Çünki dairəvi orbit üzrə hərəkət edən elektronun koordinantlarının dəyişməsi fırlanma bucağının ( φ ) dəyişməsi hesabına baş verirsə , elleptik hərəkətdə bu dəyişiklik həm fırlanma bucağının , həm də radius vektorunun ( r ) dəyişməsi hesabına reallaşır (şəkil 2,a). Bu qeyd olunan yaxınlaşmalardan belə məntiqi nəticəyə gəlmək olar ki, elektronun 2 sərbəstlik dərəcəsi var. Başqa sözlə , onun energetik halı 2 kvant ədədi ilə xarakterizə olunmalıdır. Odur ki, elektronun qeyd olunan sərbəstlik dərəcələrinin ( φ və r – in ) kvantlanması üçün Zommerfeld , N.Borun təklif etdiyi kvantlanma şərtinə (mυr = nh **/** 2π) istinad edərək bu şərtin ∮pi $d\_{q\_{i}}$ = ni h şəklində ifadə olunmasını təklif etmişdir; burada pi kəmiyyəti qi koordinantlarına malik elektronun hərəkət miqdarı momentidir. Zommerfeldin bu yaxınlaşmasına istinad edərək iki dəyişən (n və r) kəmiyyətlər üçün aşağıdakı ifadələri yazmaq olar :

∮ nφ dφ = nφ h

∮ nr dr = nr h

 İzolə olunmuş atomda bucaq momenti sabit kəmiyyət olduğundan onun inteqralı pφ = nφ  h **/** 2 π ifadəsinə bərabər olacaq ki, bu bərabərlik də , Borun təklif etdiyi kvantlanma şərti (n h **/** 2 π ) ilə eynilik təşkil edir. Beləliklə , Zommerfeldə görə elektronun enerjisini müəyyən edən baş kvant ədədi ( n ) aşağıdakı kimi təyin olunmalıdır :

 n = nφ + nr ( 4.l ) ;

burada, nφ – fırlanma bucağı , nr ( l) isə radius vektorudur .

 Fırlanma bucağı ( nφ  ) n – in verilmiş qiymətində vahiddən n - ə qədər tam qiymətlər alır , nr (*l*) isə sıfırdan n – 1 - ə qədər tam qiymətlər alır. Məsələn:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *n* | *nφ* | *nr (l)* |
| *1* | *1* | *0(s)* |
| *2* | *2* | *0(s)* |
| *1* | *1(p)* |
| *3* | *3* | *0(s)* |
| *2* | *1(p)* |
| *1* | *2(d)* |

 n = nφ  halı dairəvi orbit, nφ < n olan halları isə elleptik orbitlər adlanır.

 Lakin Zommerfeld tərəfindən elm aləminə “ gətirilən “ yeni kvant ədədi heç də , atomda enerji cəhətdən fərqlənən energetik səviyyələrin mövcudluğuna dəlalət etmirdi ; bu ideya yalnız n – in verilmiş qiymətlərinə müvafiq gələn energetik səviyyələrin sayını müəyyən edirdi. Odur ki, Zommerfeld baş kvant ədədinin müxtəlif qiymətlərinə müvafiq gələn yarımsəviyyələrin enerji cəhətdən bir – birindən fərqlənmə səbəbini ( onların cırlaşmasının aradan götürülməsini ) əsaslandırmaq üçün nisbilik nəzəriyyəsinə istinad etmişdir.

 Nisbilik nəzəriyyəsinə görə, zərrəciyyin hərəkət sürəti artdıqca, onun kütləsi də artır. Həqiqətən də elektronun dairəvi və elleptik hərəkət sürətləri bir – birindən müəyyən dərəcədə fərqlənir ki, bu fərq də, nr ( l ) kvant ədədindən asılı bir funksiyadır. Beləliklə, Zommerfeld öz mülahizəsinin doğruluğunu (yarımsəviyyələrin enerjilərinin fərqli olmasını) təsdiq etmişdir ( şəkil 4.3c ). Lakin Zommerfeld ideyasına əsasən yalnız hidrogen atomunun spektrinin incə quruluşunun səbəbini izah etmək mümkün olmuşdur. Sonralar isə məlum olmuşdur ki, yalnız izolə olunmuş atomlarda elektronun enerjisi 2 kvant ədədindən asılıdır. Digər tərəfdən , Zommerfeld modelinə əsasən atom spektrində hər bir xətt (2l + 1) sayda xətlərə parçalanmalıdır ki, bu da , təcrübədə təsdiqlənmirdi. Əəslində hər bir xətt 2 ( 2l +1 ) sayda xətlərə parçalanırdı.



*Şəkil 4.3. Baş kvant ədədinin müvafiq qiymətlərinə uyğun gələn yarımsəviyyələrin energetik vəziyyəti : a – Bor modelinə görə; b – Zommerfeld modelinə görə ; c – ml – kvant ədədinə görə ; d – ms kvant ədəinə görə*

 Bu nəzəri və təcrübi faktların uyğunsuzluğunun səbəbini izah etmək üçün yenə də, əlavə kvant ədədinə ehtiyac yaranmışdır.

 Məlumdur ki, fəza üçölçülüdür. Deməli, fəzada elektronun üç sərbəstlik dərəcəsi var. Buna görə də, elektronun energetik halı ən azı 3 kvant ədədi ilə xarakterizə olunmalıdır.

 Elektronun energetik halını xarakterizə etmək üçün elm aləminə ''daxil edilən" 3 – cü kvant ədədi isə ml – dir ki, o da maqnit kvant ədədi adlanır. O elektronun orbital hərəkət miqdarı momentinin üstün ( verilən ) istiqamətdə proeksiyasını xarakterizə edir ( şəkil 4.4 ). Başqa sözlə orbitalların fəzadakı orientasiyasını xarakterizə edir və o sıfır da daxil olmaqla verilən orbital üçün - l – dən + l - ə qədər ( 2 l + 1 ) sayda tam qiymətlər alır. Məsələn, l = 2 halı üçün o 5 qiymət alır ( şəkil 4.4 ).

**

 *Şəkil4.4 Orbital hərəkət miqdarı momentinin fəzada orientasiyası*.

 Aparılan elmi tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, müxtəlif koordinant oxları boyunca hərəkət edən elektronların maqnit momentinin xarici sahələrlə qarşılıqlı təsiri müxtəlif olur ki, bu da orbitalların ( məs, px , py , pz ) cırlaşmasının aradan götürülməsinə səbəb olur ( şəkil 4.3 c ). Əgər bu mülahizə doğrudursa, onda orbitallar arasındakı elektron keçidinə ( məs; s→p) 2l + 1 sayda xətlər müvafiq gəlməlidir; çünki p – orbitalları üç istiqamətdə orientasiya edir. Lakin yuxarıda qeyd edildiyi kimi , ayrı – ayrı orbitallar arasındakı elektron keçidlərinə əslində spektrdə 2 ( 2l+1 ) sayda xətlər müvafiq gəlirdi. Atomda elektron keçidləri haqqındakı nəzəri və praktiki uyğunsuzluqların səbəbini izah etmək üçün yenə də, əlavə (4-cü) kvant ədədinə ehtiyac yaranmışdır. Odur ki, 1924 – cü ildə alman alimləri Qaudsmit və Ulenbeq belə bir ideya irəli sürmüşlər ki, elektron həm nüvə ətrafında , həm də öz ağırlıq mərkəzindən keçən ox ətrafında fırlanır ( şəkil 4.5 ) ; sonuncu hərəkət spin (ehtimal) adlanır ki, o da spin momenti ( ms ) ilə xarakterizə olunur.



*Şəkil 4.5. Elektronun öz oxu ətrafında fırlanması*

Şərti olaraq qəbul olunub ki, əgər elektronun öz oxu ətrafında fırlanması saat əqrəbi istiqamətində olarsa, ms = + ½, əks istiqamətdə fırlanarısa ms = - ½ olur; xarici sahələr olmadıqda eyni kvant qəfəsində yerləşən və ms – ləri müxtəlif qiymətlərlə səciyyələnən elektronların enerjisi eyni olur. Əgər atom xarici sahədə yerləşərsə, bu zaman cırlaşma ardan çıxır. Çünki ms –i + ½ və - ½ olan elektronların xarici sahə ilə qarşılıqlı təsiri müxtəlif qiymətli olur ( şəkil 4.6 ).

 Beləliklə, ayrı – ayrı orbitallar arasındakı elektron keçidləri haqqında təcrübələrin nəticələrini [spektral xətlərin sayının 2 ( 2l + 1 ) olmasını ] 4 kvant ədədləri hesabına izah etmək mümkün olmuşdur.



*Şəkil 4. 6. ms = ± ½ olan energetik halların maqnit sahəsində parçalanması ; a – maqnit sahəsinin olmadığı hal ; b – maqnit sahəsinin olduğu hal.*

 **De – Broyl dalğaları**

Əgər işıq şüaları ikili ( zərrə və dalğa ) təbiətə malikdirsə, onda bəs nə üçün zərrə məsələn, elektron dalğa xassəsinə malik olmasın? Belə bir sualı ( mülahizəni ) ilk dəfə de-Broyl irəli sürmüşdür. Əgər elektron doğurdan da, dalğa xassəsi göstərirsə, deməli, onun dalğa uzunluğu olmalıdır. de-Broyl bu mülahizəyə istinad edərək elektronun kütləsi, sürəti və dalğa uzunluğu arasındakı asılılığı aşağıdakı kimi ifadə etmişdir:

$λ=\frac{h}{mv}=\frac{h}{p}$ (5.1)

5.1 ifadəsi ilə xarakterizə olunan dalğalara de-Broyl dalğaları deyilir (Çox ehtimal ki, 5.1 ifadəsinin alınmasında de-Broyl $mc^{2}=hν=\frac{hc}{λ}$ bərabərliyinə istinad etmişdir). 5.1 ifadəsindən istifadə edərək ən sadə quruluşa malik hidrogen atomunun k - orbitində ( yəni n=1 olan stasionar orbitində ) hərəkət edən elektronun dalğa uzunluğunu hesablamaq olar. Lakin bunun üçün (5.1) ifadəsində müvafiq əvəzləmələr aparmaq lazımdır; çünki “υ“ məlum deyil. Məlum olduğu kimi, kinetik enerji $E\_{k}=\frac{mv^{2}}{2}$ (5.2) bərabərliyi ilə ifadə olunur. Əgər (5.2) bərabərliyinin sürət və məxrəcini “m“-ə vursaq, $E\_{k}=\frac{m^{2}v^{2}}{2m}=\frac{p^{2}}{2m}$ ifadəsini alarıq. Buradan $p=\sqrt{E\_{k}∙2m}$ bərabərliyini alarıq. p-in bu qiymətini (5.1) ifadəsində nəzərə alsaq, $λ=\frac{h}{\sqrt{E\_{k∙2m}}}$ ifadəsini alarıq. Hidrogen atomunun k-orbitində hərəkət edən elektronun kinetik enerjisinin qiyməti təcrübədən tapılır ($E\_{k}=0, 208∙10^{-10}$ erq) ki, bu qiyməti də (5.1) – də nəzərə alsaq,

$λ=\frac{6,62 ∙ 10^{-27} erq/san}{\sqrt{0,208 ∙ 10^{-10} × 2(9,1 ∙ 10^{-28})}}≅3,33\overset{ o}{ A}$ olar.

 Deməli, k-orbitində hərəkət edən elektronun dalğa uzunluğu 33,3 $\overset{o}{A}$-ə bərabərdir. Nüvənin elektrona təsirini nəzərə alsaq, belə nəticəyə gəlmək olar ki, elektronun hərəkəti zamanı yaranan dalğa durğun dalğadır; məhdud oblastda yaranan dalğalara durğun dalğalar deyilir. Kvant mexanikasına görə dairəvi orbit üzrə durğun dalğa o zaman mümkündür ki, orbitin uzunluğu, dalğa uzunluğunun tam ədədə hasilinə bərabər olsun. Yəni$ 2πr=nλ$ (şəkil 5.1). Əgər bu şərt ödənilmirsə, onda çevrənin müəyyən bir nöqtəsindən keçən dalğanın II dəfə həmin nöqtədən keçməsi zamanı onların fazaları bir-birinə uyğun gəlmir və bununla da, onlar bir-birini söndürür (şəkil 5.1).



*Şəkil 5.1. Elektronun durğun dalğası*

 Çevrənin uzunluğu $2πr$-ə bərabərdir. Hidrogen aromunun k-orbitinin radiusu isə $0,53 \overset{o}{A}$-dır. Onda k-orbiti üzrə hərəkət edən elektronun dalğa uzunluğu $2∙3,14∙0,53≅3,33\overset{o}{A}$. Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, durğun dalğa olması üçün çevrənin uzunluğu, dalğa uzunluğunun tam ədədə (n-ə) hasilinə bərabər olmalıdır: $2πr=nλ$. Əgər n=1 olarsa, (yəni k-orbiti üçün) onda, $2πr=λ$ olur. Yəni çevrənin uzunluğu, bir dalğanın uzunluğuna bərabərdir. Həqiqətən də $3,33 \left(2πr\right)=3,33\overset{o}{A}$.

 de-Broyl mülahizəsindən bir neçə il sonra ($\~1929$-cu ildə) elektronun dalğa xassəsi təcrübi olaraq təstiq olunmuşdur. Məlum olmuşdur ki, əgər elektron seli kristal qəfəsdən keçərsə, onlar difraksiyaya məruz qalır. Bu da onların dalğa təbiətə malik olmasını təcrübi olaraq təstiq edir.

 **Qeyri – müəyyənlik prinsipi**

Zərrəcikdə ( məs, elektronda ) dalğa xassəsinin müşahidə olunması yeni və maraqlı bir sualın meydana çıxmasına səbəb olmuşdur; əgər zərrəcik dalğa xasssəsi göstərirsə, onda onun lokallaşmasından ( bir nöqtədə olmasından ) danışmaq olarmı? Bir haldaki elektron ikili təbiətə malikdir, deməli o lokallığını saxlamır. Başqa sözlə, kvant mexanikasında traektorya anlayışı mənasını itirir; çünki elektronun yeri müəyyən ehtimalla tapılır . Deməli, onun koordinatlarını dəqiq müəyyən etmək mümkün deyilsə, elektronun sürətini də dəqiq müəyyən etmək mümkün deyil. Beləliklə, alman fiziki Heyzenberq belə bir nəticəyə gəlmişdir ki, təbiətdə elə iki qoşa kəmiyyətlər var ki, onların hər ikisini eyni vaxtda dəqiq müəyyən etmək mümkün deyil. Heyzenberqin bu mülahizəsi qeyri–müəyyənlik prinsipi adlandırılmışdır. Əgər bu prinsipi nüvə ətrafında hərəkət edən elektrona tətbiq etsək, onda onu aşağıdakı kimi ifadə etmək olar: elektronun impulusunu( sürətini ) və vəziyyətini( koordinatlarını ) eyni vaxtda dəqiq müəyyən etmək mümkün deyil. Bu deyilənləri isə riyazi olaraq belə ifadə etmək olar.

$$∆x∙∆y\geq \frac{h}{2πm\_{l}}( 6.1 )$$

Məhz buna görə də, nüvə ətrafında elektronun dəyişməz ( sabit ) dairəvi orbit üzrə hərəkət etməsindən danışmaq olmaz!

 Heyzenberqin qeyri–müəyyənlik prinsipindən görünür ki, impulusun və koordinatın qeyri– müəyyənliklərinin hasili Plank sabitindən kiçik ola bilməz; əgər impulus dəqiq təyin edilərsə, impulusun təyin olunduğu koordinant çox böyük xəta ilə tapılır. Eyni sözləri enerji və zaman tənliyindəki qeyri– müəyyənlik üçün də söyləmək olar:

$$∆E∙∆t\geq \frac{h}{2πm\_{l}}$$

Enerjini dəqiq təyin etdikdə, yəni $∆E\rightarrow 0$ olduqda $∆t\rightarrow \infty $ olur. Deməli, eyni zamanda enerjini və həmin enerjiyə uyğun zamanı dəqiq təyin etmək mümkün deyil.