

Раздзел 6

Фізіка атама

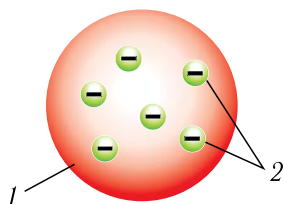
§ 30. З’явы, якія пацвярджаюць складаную будову атама. Ядзерная мадэль атама

- Спробы растлумачыць структуру матэрыі прывялі антычных даследчыкаў да фармулёўкі ідэй атамізму. Атам у перакладзе з грэч. α томо (атам) азначае «непадзельны». Таму ў рамках гэтых уяўленняў атам не меў ніякай унутранай структуры. Аднак па меры назапашвання эксперыментальных даных стала зразумела, што атам зусім «не просты», паколькі мае свае састаўныя часткі. Якую будову мае атам? Якія мадэлі атама былі прапанаваны фізікамі? У чым іх адрозненні?

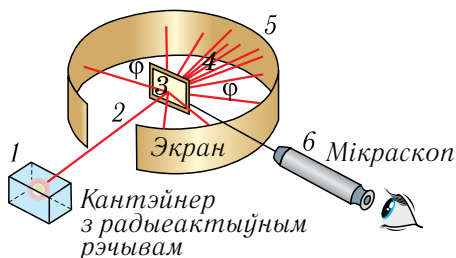


Атам гелію мае дадатна зараджанае ядро і два электроны, якія верцяцца вакол яго. Ядро атама гелію (${}^4_2\text{He}$) з’яўляецца α -часціцай.

Старажытнагрэчаскі вучоны Дэмакрыт у V ст. да н. э. прыйшоў да ідэй аб існаванні драбнюткаў і непадзельных часціц, якія ён назваў **атамамі**. Праз больш чым 2,4 тыс. гадоў было даказана, што атам мае складаную структуру. Апошнія дзесяцігоддзе XIX ст. адзначылася найбуйнейшымі адкрыццямі ў фізіцы. Практычна адначасова былі адкрыты з’ява натуральнай радыеактыўнасці (А. Бекерэль, 1896 г.) і першая элементарная часціца — электрон (Дж. Дж. Томсан, Э. Віхерт, 1897 г.). Паколькі радыеактыўнае выпраменьванне ўтрымлівала дадатна і адмоўна зараджаныя часціцы, то натуральна было выказаць здагадку, што такія часціцы



Мал. 186. Мадэль атама Томсана:
1 — дадатна зараджаны шар;
2 — электроны



Мал. 187. Схема эксперыментальнай
устаноўкі Рэзерфарда па рассеянні α -часціц:
1 — крыніца α -часціц; 2 — α -часціцы;
3 — залатая фольга; 4 — рассеяныя
 α -часціцы; 5 — сцынтыляцыйны экран;
6 — мікраскоп

ўваходзяць у састаў атамаў. А з адкрыццём электрона стала ясна, што менавіта электроны ўваходзяць у састаў атама.

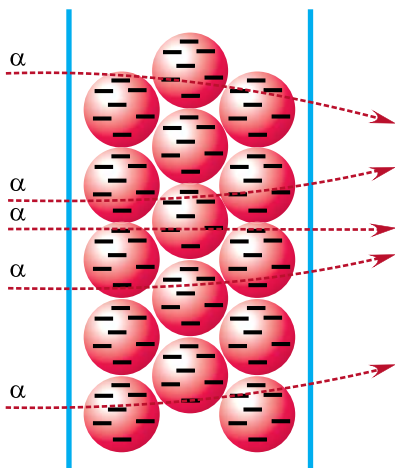
На пачатку XX ст. шырокае распаўсюджанне атрымала «пудынгавая» мадэль атама англійскага фізіка Джозефа Джона Томсана. Паводле гэтай мадэлі дадатны зарад раўнамерна размеркаваны па ўсім аб'ёме атама ў выглядзе нейкай аднароднай масы, якую Томсан назваў «сферай аднароднай дадатнай электрызацыі». Паколькі атам электрычна нейтральны, то электроны «плаваюць» у гэтым дадатна зараджаным асяроддзі (як разыначкі ў пудынг) і цалкам кампенсуюць яго дадатны электрычны зарад (мал. 186).

Для праверкі справядлівасці гэтай мадэлі атама англійскі фізік Эрнэст Рэзерфард з супрацоўнікамі ў 1911 г. правёў эксперыменты, вынікі якіх супярэчылі мадэлі атама Томсана.

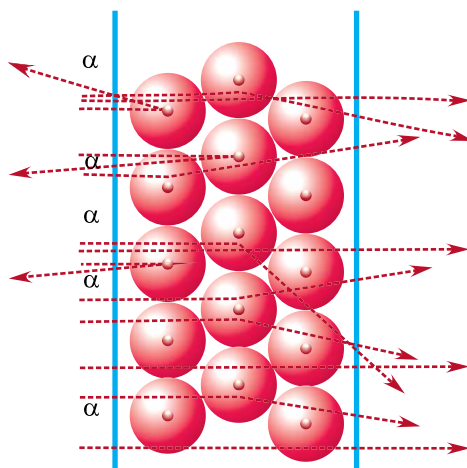
Пучок α -часціц накіроўваўся на тонкую залатую фольгу таўшчынёй каля 400 нм (мал. 187), што адпавядала прыкладна 1600 сляям атамаў.

Светлавая ўспышкі ад часціц, якія прайшлі праз фольгу, рэгістраваліся на экране, пакрытым спецыяльным рэчывам, з дапамогай мікраскопа.

Зыходзячы з мадэлі атама Томсана з прычыны раўнамернага размеркавання зараду па ўсім аб'ёме атама чакалася, што пры сутыкненні α -часціц з атамамі яны лёгка пройдуць праз фольгу і будуць мала адхіляцца ад прамалінейнай траекторыі (расейвацца). Пры гэтым



Мал. 188. Меркаванае расейванне α -часціц атамамі золата паводле мадэлі Томсана



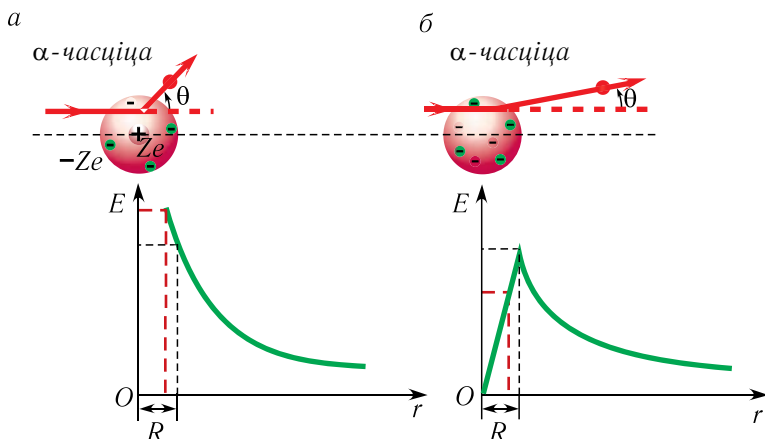
Мал. 189. Назіраемае расейванне α -часціц у доследах Рэзерфарда

карціна іх расейвання павінна была быць прыкладна такой, як на малюнку 188.

Аднак атрыманыя вынікі эксперыmentaў зусім не адпавядалі вынікам разлікаў Рэзерфарда. У эксперыментах значная частка α -часціц сапраўды адхілялася ад напрамку свайго пачатковага руху на малыя вуглы θ (ад нуля да 4° — 6°). Але былі і такія часціцы, якія расейваліся на вуглы, большыя за 90° (мал. 189), або нават вярталіся назад. Як пісаў Рэзерфард: «Гэта было амаль гэтак жа непраўдападобна, як калі б вы зрабілі стрэл па кавалачку папяроснай паперы 15-цалевым снарадам, а ён вярнуўся б назад і патрапіў у вас».

Прыкладна адна з 20 000 α -часціц мела адхіленне на вугал, большы за 90° , адна з 40 000 — на вугал, большы за 120° , а адна з 70 000 — на вугал, большы за 150° .

Вынікі эксперыmentaў сведчылі, што ўнутры атама ёсць вельмі моцнае электрычнае поле, якое ствараецца дадатным зарадам, сканцэнтраваным у вельмі малым аб'ёме. Рэзерфард прапанаваў для гэтага зараду тэрмін «ядро». Памер ядра малы, але ў ім засяроджана практычна ўся маса атама. Пры набліжэнні дадатна зараджанай α -часціцы да ядра, у адпаведнасці з законам Кулона, узнікае вялікая сіла адштурхвання, якая істотна змяняе траекторыю α -часціц (мал. 190, а).



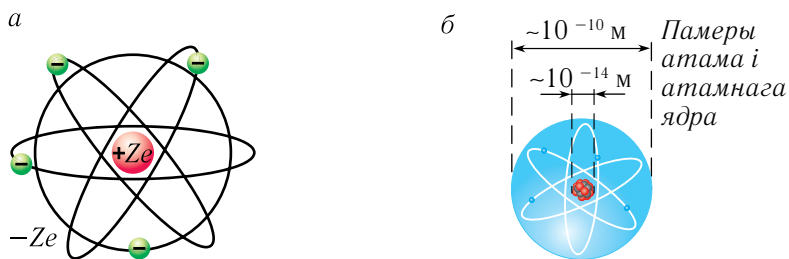
Мал. 190. Мадэлі атама і залежнасці модуля напружанасці электрычнага поля ад адлегласці: *a* — ядзерная мадэль; *б* — мадэль атама Томсана

У мадэлі атама Томсана электрычнае поле адпавядае электрычнаму полю раўнамерна зараджанага па аб'ёме шара (мал. 190, *б*), і пры набліжэнні да цэнтра атама модуль яго напружанасці імкнецца да нуля. Такім чынам, у гэтым выпадку не было б α -часціц, рассеяных на вялікія вуглы.

На падставе аналізу вынікаў праведзеных эксперыментаў Рэзерфард у 1911 г. прапанаваў **ядзерную мадэль атама** (мал. 191, *a, б*), асноўныя палажэнні якой наступныя:

1) у цэнтры атама размешчана ядро памерам $d \leq 10^{-14}$ м, яго зарад $q = +Ze$, дзе Z — парадкавы нумар элемента ў перыядычнай сістэме элементаў Мендзялеева (мал. 191, *a*);

2) амаль уся маса атама (99,96 %) засяроджана ў дадатна зараджаным ядры (мал. 191, *б*);



Мал. 191. Мадэль атама Рэзерфарда (ядзерная мадэль атама)

З) ядро абкружаюць Z рухомах электронаў, якія ўтвараюць электронную абалонку атама. Сумарны зарад электронаў $q = Z(-e)$, таму атам у цэлым электрычна нейтральны.

Падкрэслім, што электроны не могуць знаходзіцца ў спакоі ўнутры атама, паколькі ў гэтым выпадку пад дзеяннем сіл прыцягнення Кулона да ядра яны зваліліся б на яго. Адгэтуль вынікае, што электроны верцяцца вакол ядра па пэўных арбітах.

Мадэль атама Рэзерфарда называюць таксама планетарнай, паколькі яна нагадвае нашу Сонечную сістэму, у якой планеты верцяцца па вызначаных арбітах вакол масіўнага цэнтра — Сонца.

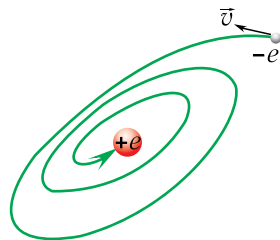
Прагрэсіўнасць ядзернай мадэлі атама заключалася ў тым, што на яе падставе былі растлумачаны эксперыментальныя даныя, атрыманыя пры вывучэнні расейвання α -часціц. Аднак далейшы аналіз паказаў, што яна супярэчыла законам класічнай механікі і электрадынамікі, паколькі не дазваляла растлумачыць факт стабільнасці існавання атама.

Сапраўды, па-першае, у адпаведнасці з законам класічнай электрадынамікі Максвела пры паскораным руху электронаў па арбітах яны павінны бесперапынна выпраменьваць электрамагнітныя хвалі, частата якіх павінна быць роўна частаце абарачэння электронаў вакол ядра.

Па-другое, пры выпраменьванні электроны павінны былі губляць энергію і «зваліцца» на ядро за прамежак часу парадку 10^{-13} с (мал. 192). У такім разе атамы павінны былі быць няўстойлівымі і мець вельмі кароткі час жыцця.

Па-трэцяе, частата абарачэння электрона вакол ядра (па меры набліжэння да ядра) павінна была змяняцца плаўна, бесперапынна, паколькі частата выпраменьвання заўсёды роўна частаце ваганняў крыніцы. Аднак у праведзеных эксперыментах назіралася скачкападобнае змяненне частаты выпраменьвання, г. зн. набор асобных спектральных ліній, падзеленых цёмнымі прамежкамі.

Такім чынам, тлумачэнне будовы і ўласцівасцей атама на падставе механікі Ньютана і электрадынамікі Максвела не з'яўлялася поўным, паколькі часткова прыводзіла да супярэчнасцей з эксперыментам.



Мал. 192. Траекторыя «падзення» электрона на ядро атама вадароду

► Назваць найменшы адмоўны зарад электронам прапанаваў у 1891 г. брытанскі фізік Джордж Джонстан Стоні, а ў 1897 г. ірландскі фізік Джордж Фрэнсіс Фіцджэральд прапанаваў выкарыстоўваць гэты тэрмін у якасці назвы самой часціцы. Мадэль атама Рэзерфарда з выявай электронных арбіт стала папулярнай эмблемай XX ст. Так, на малюнку 193 паказана эмблема фізічнага факультэта Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта.



Мал. 193. Эмблема фізічнага факультэта БДУ



1. Растлумачце сутнасць мадэлі атама Томсана.
2. Растлумачце схему эксперыменту Рэзерфарда па рассеянні α -часціц.
3. Чаму фольга ў эксперыментах Рэзерфарда павінна быць найтанчэйшай?
4. Растлумачце прычыну рассеявання α -часціц атамамі рэчыва.
5. Сфармулюйце асноўныя палажэнні ядзернай мадэлі атама.
6. Пакажыце схематычна відарыс ядзернай мадэлі атама.
7. Чаму ядзерную мадэль атама называюць таксама планетарнай? Якія элементы мадэлі з'яўляюцца аналагамі планет?
8. Якія супярэчнасці ўзнікаюць пры тлумачэнні працэсу выпраменьвання энергіі атамамі на падставе класічнай механікі і электрадынамікі пры выкарыстанні ядзернай мадэлі атама?
9. Вызначыце поўны зарад усіх электронаў у атаме:
а) вугляроду; б) кіслароду; в) жалеза.
10. Вызначыце хімічны элемент, поўны зарад ядра атама якога роўны:
а) $q = 4,80 \cdot 10^{-19}$ Кл; б) $q = 9,60 \cdot 10^{-19}$ Кл; в) $q = 15,2 \cdot 10^{-19}$ Кл.

§ 31. Квантавыя пастулаты Бора

■ Доўгі час атам лічыўся драбнюткай непадзельнай часціцай рэчыва, якая з'яўляецца носьбітам яго фізічных уласцівасцей. Аднак адкрыццё радыеактыўнасці і першай элементарнай часціцы (электрона) паставіла пад сумненне факт яго непадзельнасці. Чаму атам устойлівы? Якія фізічныя працэсы адбываюцца ў атамах? Як атам выпраменьвае святло?

Для пераадолення супярэчнасцей, якія ўзнікаюць пры апісанні будовы атама на падставе законаў класічнай механікі і электрадынамікі з эксперыментальнымі данымі, дацкі фізік Нільс Бор у 1913 г. у працы

«Аб будове атамаў і малекул» прапанаваў квантавую мадэль атама, заснаваную на двух пастулатах. У сучасным выглядзе яны фармулююцца наступным чынам:

I пастулат Бора (пастулат стацыянарных станаў):

атам можа знаходзіцца ў асобных стацыянарных (квантавых) станах, кожнаму з якіх адпавядае пэўная энергія. У стацыянарным стане атам не выпраменьвае.

Стацыянарныя станы можна пранумараваць, прысвоіўшы ім парадкавыя нумары $n = 1, 2, 3, \dots$, прычым кожнаму стану адпавядае пэўнае дыскрэтнае значэнне энергіі E_n .

Паводле мадэлі Бора стацыянарным станам атама адпавядаюць пэўныя (дазволеныя) арбіты, па якіх электроны рухаюцца вакол ядра. Бор для прастаты меркаваў, што гэтыя арбіты ўяўляюць сабой акружнасці, хоць у агульным выпадку арбіты могуць мець форму эліпса, прычым ядро размяшчаецца ў адным з яго фокусаў (мал. 194).

Першы пастулат супярэчыць як законам класічнай механікі (энергія электронаў, якія рухаюцца, можа быць любой), так і законам класічнай электрадынамікі (электроны, якія рухаюцца паскорана, заўсёды выпраменьваюць электрамагнітныя хвалі).

II пастулат Бора (правіла частот):

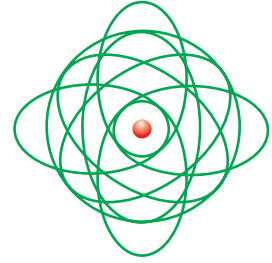
атам можа пераходзіць з аднаго стацыянарнага стану ў іншы. Пры гэтым пераходзе можа выпускацца ці паглынацца квант электрамагнітнай энергіі, частата якога вызначаецца рознасцю энергій атама ў дадзеных станах:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}, \quad (1)$$

дзе ν_{kn} — частата паглынутага ці выпушчанага кванта выпраменьвання, E_k, E_n — энергія атама ў k -м і n -м стацыянарным стане, h — пастаянная Планка.

Калі $E_k > E_n$, то пры пераходзе адбываецца выпраменьванне энергіі, калі $E_k < E_n$, то — яе паглыннанне.

Стан атама, якому адпавядае найменшая энергія, называецца асноўным, а станы, якім адпавядаюць вялікія значэнні энергіі, — узбуджанымі.



Мал. 194. Электронныя арбіты ў атаме па тэорыі Бора — Зомерфельда

У асноўным энергетычным стане атам можа знаходзіцца неабмежавана доўга, а ў астатніх стацыянарных станах $\sim 10^{-8}$ с. Гэта так званы *час жыцця атама* ва ўзбуджаным стане.

Як вынікае з II пастулата Бора, частата выпраменьвання атама не звязана з частатой абарачэння электрона па арбіце, яна вызначаецца рознасцю значэнняў энергіі атама E_k і E_n у пачатковым і канечным станах. Пераход атама з аднаго стацыянарнага стану ў іншы суправаджаецца электрамагнітным выпраменьваннем з даўжынёй хвалі

$$\lambda_{kn} = \frac{c}{\nu_{kn}} = \frac{hc}{E_k - E_n}. \quad (2)$$

Такім чынам, першы пастулат Бора дазволіў растлумачыць дыскрэтнасць значэнняў энергіі атама, а першы і другі пастулаты — лінейчастую структуру атамных спектраў.

Бор прапанаваў таксама колькасную ўмову *квантавання* для знаходжання радыусаў стацыянарных (дазволеных) кругавых арбіт электронаў:

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}, \quad (3)$$

дзе $n = 1, 2, 3, \dots$, — нумар арбіты, m_e — маса электрона, v_n — модуль скорасці электрона на n -й арбіце, r — радыус n -й арбіты, h — пастаянная Планка.

Такім чынам, пастулаты Бора грунтаваліся на трох эксперыментальных перадумовах — выніках даследавання атамных спектраў, квантавай тэорыі выпраменьвання, развітай Планкам і Эйнштэйнам, і ядзернай (планетарнай) мадэлі атама Рэзерфарда.

Зыходзячы з пастулатаў Бора і ўмовы квантавання арбіт, можна растлумачыць структуру энергетычных узроўняў найпрасцейшага атама — атама вадароду, які складаецца з ядра (пратона) і аднаго электрона, што верціцца вакол яго.



Бор атрымаў выраз для энергіі атама вадароду:

$$E_n = -R \cdot \frac{1}{n^2} \quad (n = 1, 2, 3). \quad (4)$$

Таму энергія атама вадароду (4) фактычна вызначаецца толькі нумарам арбіты n электрона, паколькі велічыня $R = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3}$ з'яўляецца пастаяннай, у выніку таго што выражаецца праз фундаментальныя

пастаянныя (зарад электрона e , масу электрона m_e , пастаянную Планка h , электрычную пастаянную ϵ_0).

Згодна з формулай (4) энергія атама вадароду ў *асноўным стане* ($n = 1$) атрымліваецца роўнай $E_1 = -13,6$ эВ, а яго энергія ў *іанізаваным стане*, калі электрон бясконца далёкі ад ядра ($n = \infty$), роўнай $E_\infty = 0$ эВ.

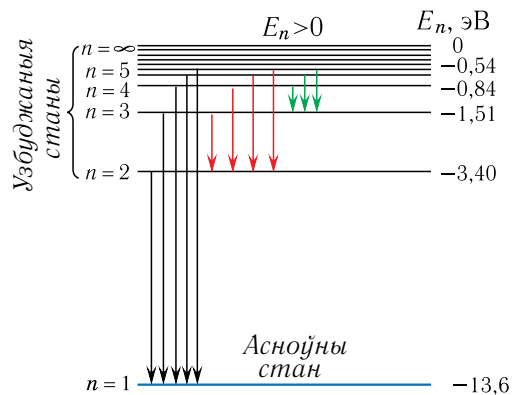
У другім стане ($n = 2$) энергія $E_2 = \frac{E_1}{4} = -3,40$ эВ, у трэцім ($n = 3$) — $E_3 = \frac{E_1}{9} = -1,51$ эВ і г. д. Энергію атама вадароду ў любым стане можна разлічыць па формуле:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ (эВ)}. \quad (5)$$

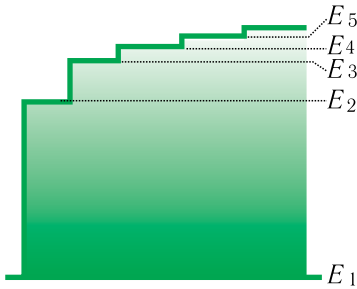
Паколькі энергія атама вадароду можа прымаць толькі дыскрэтны набор значэнняў, то гавораць, што яна **квантаваная**.

Для нагляднага паказу стацыянарных энергетычных станаў атама выкарыстоўваецца **энергетычная дыяграма** (мал. 195). Графічна магчымыя значэнні энергіі атама паказваюць у выглядзе схемы ўзроўняў энергіі (**энергетычных узроўняў**) — гарызантальных прамых, праведзеных на адлегласцях у пэўным маштабе, які адпавядае рознасцям дазволенага значэнняў энергіі. Пераходы атама з аднаго стану ў іншы паказваюцца на дыяграме вертыкальнымі лініямі паміж адпаведнымі ўзроўнямі. Напрамак пераходу абазначаецца стрэлкамі.

Энергетычную дыяграму можна лічыць своеасаблівай «лесвіцай» з «ніжняй пляцоўкай» (асноўным станам) і «прыступкамі», што ўзнікаюцца ўгару (узбуджанымі станамі). Формула для энергетычных узроўняў энергіі E_n атама паказвае важную заканамернасць: чым вышэй паднімаецца над асноўным (першым) узроўнем энергетычная «лесвіца», тым менш «стромкімі» становяцца яе прыступкі (на малюнку 196 гэта добра бачна пры $n > 4$).



Мал. 195. Энергетычная дыяграма стацыянарных станаў атама вадароду



Мал. 196. Энергетычная «лесвіца» станаў атама вадароду

Такім чынам, чым далей электрон ад ядра ($n \rightarrow \infty$), тым на меншую велічыню адрозніваюцца суседнія ўзроўні энергіі, г. зн. густата энергетычных узроўняў расце. Квантавыя скачкі пры гэтым памяншаюцца, з прычыны чаго пераходы паміж стацыянарнымі станамі атама ўсё больш і больш становяцца «падобнымі» на бесперапыннае змяненне энергіі. Энергетычная «лесвіца» паступова ператвараецца ў пакаты «плаўны ўздым» (гл. мал. 196), г. зн. энергія становіцца велічынёй, якая амаль бесперапынна змяняецца, як гэта і было ў класічнай тэорыі.

Працэс выдалення электрона з атама называецца **іанізацыяй**. Для выдалення электрона з атама вадароду, які знаходзіцца ў асноўным стане, атаму неабходна надаць энергію $E_i = E_\infty - E_1 = 13,6$ эВ. Таму гэту энергію E_i называюць *энергіяй іанізацыі* атама вадароду. Такім чынам, **энергія іанізацыі** роўна рабоце, якую неабходна выканаць знешнім сілам для выдалення электрона на «бяскончую» адлегласць з атама, які знаходзіцца ў асноўным стане. Тут пад «бяскончасцю» разумеецца такая адлегласць, пры якой узаемадзеянне электрона і ядра можна не ўлічваць.

Адзначым, што вышэй узроўню $n = \infty$ (пры $E > 0$) электрон з'яўляецца свабодным і можа мець любую энергію.

Энергія

$$E_{\text{св}} = E_1 - E_\infty = -13,6 \text{ эВ}$$

назваецца **энергіяй сувязі** электрона ў атаме вадароду.

Энергія сувязі вызначаецца электрамагнітным узаемадзеяннем часціц і з'яўляецца *адмоўнай велічынёй*, з прычыны таго, што пры ўтварэнні атама энергія вылучаецца. Абсалютнае значэнне энергіі сувязі характарызуе *трываласць сувязі* і *ўстойлівасць* атама.

Энергія сувязі па абсалютнай велічыні роўна энергіі іанізацыі электрона ў атаме:

$$E_i = E_{\text{св}}.$$



► Іанізацыя складаных атамаў можа быць аднакратнай (атам губляе адзін электрон), двухкратнай (два электроны) і г. д.

Паколькі пры ўзбуджэнні атама радыус арбіты электрона нарастае, то выпусканне выпраменьвання атамам адбываецца пры пераходах электронаў у атаме са знешніх арбіт на ўнутраныя (мал. 197).

Мадэль атама Бора дазваляе апісаць не толькі атам вадароду, але і іанізаваныя атамы (іоны) іншых элементаў, вакол ядзер якіх, як і ў атаме вадароду, рухаецца толькі адзін электрон. Такія іоны называюцца *вадароднападобнымі*. Прыкладамі такіх іонаў з'яўляюцца аднакратна іанізаваны атам гелію (He^+), двухкратна іанізаваны атам літыю (Li^{++}) і г. д.

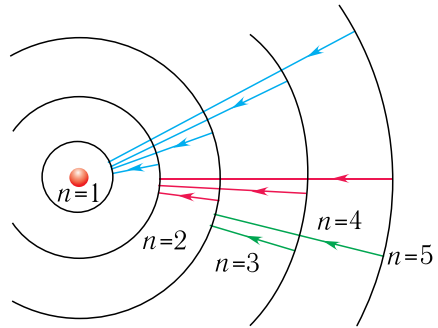
Неабходна адзначыць, што энергія атама можа змяняцца не толькі пры выпусканні ці паглыннанні энергіі, але і пры сутыкненні атамаў. Пры няпругкім сутыкненні змяняецца ўнутраная энергія атамаў, якія сутыкаюцца, і электроны ў іх пераходзяць на іншыя ўзроўні энергіі.

Такім чынам, з дапамогай мадэлі атама Бора атрымалася:

па-першае, вылічыць энергію іанізацыі атама вадароду, якая добра ўзгадняецца з эксперыментам. Як тэорыя, так і эксперымент далі значэнне $E_i = 13,6$ эВ;

па-другое, значна прасунуцца ў тлумачэнні заканамернасцей перыядычнай сістэмы хімічных элементаў Мендзялеева. Паводле мадэлі атама Бора электроны рухаюцца па пэўных арбітах, якія ўтвараюць розныя групы — электронныя абалонкі. Структура электронных абалонак абумоўлівае хімічныя ўласцівасці элементаў, якія перыядычна паўтараюцца па меры запаўнення абалонак электронамі. Гэта дазволіла «прадказваць» уласцівасці невядомых элементаў; так, напрыклад, быў адкрыты элемент з парадковым нумарам $Z = 72$ — гафній, па сваіх уласцівасцях аналагічны цырконию ($Z = 40$).

Мадэль атама Бора растлумачыла асноўныя заканамернасці спектра атама вадароду, хоць часткова захавала класічны характар, паколькі ў ёй меркавалася, што электроны рухаюцца па арбітах вакол ядра. Аднак на аснове дадзенай мадэлі не атрымалася пабудаваць тэорыю больш складаных атамаў, напрыклад растлумачыць спектр выпраменьвання атама гелію, які ідзе за вадародам і змяшчае ўсяго два электроны. Аднак, не магло быць і гаворкі аб тлумачэнні на падставе дадзенай мадэлі бу-



Мал. 197. Пераходы электронаў у атаме пры выпусканні выпраменьвання

довы малекул, паколькі ў іх карціна руху і ўзаемадзеяння электронаў і атамных ядзер намнога больш складаная, чым у атамах.

Тэорыя атама Бора з'явілася вельмі важным этапам на шляху стварэння паслядоўнай тэорыі мікраскапічных з'яў — квантавай механікі.

▶ Планеты Сонечнай сістэмы таксама рухаюцца па эліпсах, у адным з фокусаў якіх знаходзіцца Сонца. Гэта акалічнасць робіць аналогію паміж ядзернай мадэллю атама (гл. мал. 194) і Сонечнай сістэмай яшчэ больш цеснай.

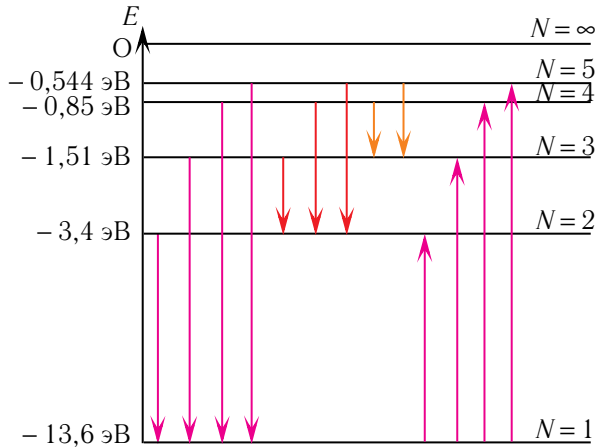
У 1922 г. Нільсу Бору была прысуджана Нобелеўская прэмія па фізіцы «за заслугі ў даследаванні будовы атамаў і выпускаемага імі выпраменьвання».



1. Што прапанаваў Бор для тлумачэння стабільнасці атама?
2. Сфармулюйце першы пастулат Бора — пастулат стацыянарных станаў.
3. Сфармулюйце і запішыце правіла частот — другі пастулат Бора.
4. Запішыце ўмову квантавання стацыянарных кругавых арбіт электронаў.
5. Чым адрозніваецца атам, які знаходзіцца ў асноўным стане, ад атама, які знаходзіцца ва ўзбуджаным стане?
6. Куды «знікае» энергія пры пераходзе электрона са стану з большай энергіяй у стан з меншай энергіяй?
7. Ці нерухомы электрон у асноўным стане атама вадароду ў мадэлі Бора?
8. Якая сіла ўтрымлівае электроны на арбітах у ядзернай мадэлі атама?
9. Чаму пры наяўнасці ў атаме вадароду ўсяго аднаго электрона ў спектры атама вадароду назіраецца шмат ліній?

Практыкаванне 20

1. Колькі розных квантаў святла N можа выпусціць узбуджаны атам вадароду, калі ён знаходзіцца на чацвёртым энергетычным узроўні?
2. Атам вадароду перайшоў з чацвёртага энергетычнага ўзроўню ($n = 4$) на другі ($k = 2$). Як пры гэтым змянілася энергія атама?
3. Вызначыце, зыходзячы з прадстаўленай энергетычнай дыяграмы (мал. 198), які з пераходаў адпавядае:
 - а) выпраменьванню фатона максімальнай энергіі;
 - б) паглыннанню фатона максімальнай энергіі.



Мал. 198. Энергетычная дыяграма

4. Вызначыце змяненне энергіі электрона ў атаме вадароду, калі атам выпраменьвае фатон, даўжыня хвалі якога $\lambda = 486$ нм.
5. Вызначыце мінімальную энергію, якую неабходна надаць электрону, што знаходзіцца ў асноўным стане ў атаме вадароду, каб яго спектр выпраменьвання змяшчаў толькі тры спектральныя лініі.
6. Вызначыце даўжыню хвалі выпраменьвання, якое можа выклікаць іанізацыю атама: а) літгію ($E_i = 5,4$ эВ); б) серабра ($E_i = 7,6$ эВ); в) калію ($E_i = 4,3$ эВ).



§ 32. Выпраменьванне і паглыннанне святла атамам. Спектры выпускавання і паглынання

■ Мадэль атама Бора дазваляе апісаць працэсы выпраменьвання і паглынання святла атамам. Як гэта адбываецца? Як фатон «з'яўляецца на свет»? Што змяняецца ў атаме пасля паглынання фатона?

З прычыны таго што энергія атама квантаваная, яна характарызуецца пэўным наборам энергетычных узроўняў E_n . Выпускаанне выпраменьвання адбываецца пры самаадвольным пераходзе атама з вышэйшых энергетычных узроўняў E_k на адзін з ніжэйшых энергетычных узроўняў E_n ($E_k > E_n$). Атам выпраменьвае фатон (квант электрамагнітнай энергіі) з энергіяй $h\nu_{kn} = E_k - E_n$. Частата выпраменьвання пры гэтым:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}. \tag{1}$$