

1 | Структура атома

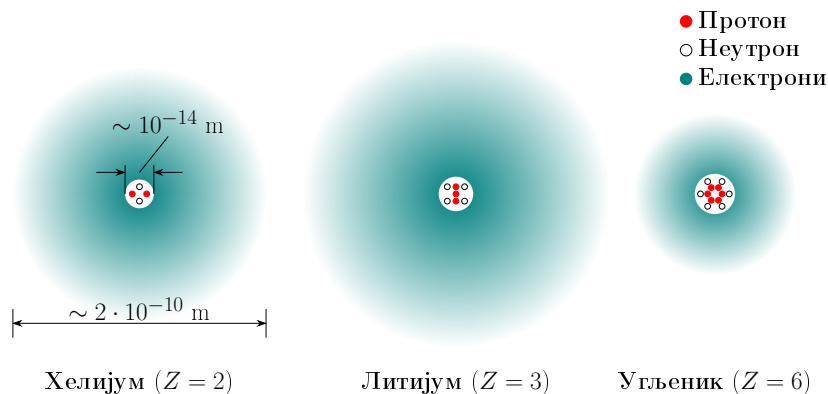
1.1. НУКЛЕОНИ И ЕЛЕКТРОНИ - ЧЕСТИЦЕ АТОМА

Сви атоми садрже једну честицу велике масе, која се зове **језгро** или нуклеус, и једну или више честица далеко мање масе, које су зову **електрони**. Маса атома је одређена масом језгра, јер и за најлакше атоме, језгро има око 2000 пута већу масу од електрона. С друге стране, хемијске особине елемената су одређене бројем електрона у атому.

Језгра, заправо садрже две врсте честица: **протоне** и **неутроне**. Они имају скоро идентичну масу и заједнички назив **нуклеони**. Број протона у језгру се назива **атомски број**, означава се са Z , и одређује редослед по коме се елементи ређају. Сада је јасно да атомске релативне масе дате у табели ?? (које су редом 1, 4, 7, итд.) могу бити знатно различите од атомских бројева атома $Z = 1$ (H), 2 (He), 3 Li, итд. редом, јер је релативна маса језгра (и атома) једнака броју нуклеона. На пример језгро атома He садржи 4 нуклеона, два протона и два неутрона, док језгро Li, чији је атомски број $Z = 3$, садржи 3 протона, док су остала 4 нуклеона неутрони.

У раним моделима атома (Радерфордовом и Боровом моделу), сматрало се да електрони круже око језгара по орбитама, слично као планете око сунца. Међутим, по важећем моделу атома, који следи из теорије Квантне механике, електрони немају дефинисане путање. Можемо замислити да зује око језгра као рој пчела. При томе број електрона је добро дефинисан и једнак је Z , али се њихов положај не може прецизно одредити. Више детаља о електронској структури атома дато је у наредном поглављу.

За сада ћемо се задржати на шематској представи атома, датој на слици 1.1, где се атоми састоје од малог језгра и електрона који се крећу око њих. Светло плаве кружнице описују простор где се електрони могу наћи. Као што смо већ рекли, пречник атома је реда $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$. Пречник језгра је чак десет хиљада пута мањи ($\sim 10^4$ пута). Стога, беле кружнице не осликавају верно величину језгра. У правој размери, оне се не би виделе на оваквој слици, али су ту да бисмо приказали садржај различитих језгара. Пуне (црвене) тачке представљају протоне, а празне неутроне, међутим ни њих не треба замишљати као да се налазе на тачно одређеној позицији и да граде неку врсту структуре - као и електрони, и нуклеони су у сталном покрету и не постоји начин да знамо где се тачно налазе. Како је језгро далеко мањих димензија од атома и како је у њему сконцентрисана готово целокупна маса атома, језгра имају изузетно велику густину. То можемо



Слика 1.1. Шематски приказ структуре атома He, Li и C.

сликовито представити следећим поређењем, када би језгро биле величине зрна грашка, имало би масу од 250 милиона тона.

У табели 1.1 дате су основне особине **субатомских честица** - то су честице од којих су атоми сачињене, и као што већ знамо у њих спадају електрони, протони и неутрони. Поред имена честице и уобичајених симбола, дате су бројне вредности маса ових честица, и на крају бројне вредности наелектрисање - још једне битне особине сваке честице. Неутрони су неутралне честице, чије је наелектрисање нула. Наелектрисања електрона и протона имају једнаку апсолутну вредност $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, али супротан знак. Ова вредност наелектрисања је **елементарно наелектрисање**, e , и представља најмању могућу вредност наелектрисања у природи, при чему су сва остала наелектрисања целобројни умношци e . Видимо да су протони позитивно наелектрисани честице са тачно једним позитивним елементарним наелектрисањем $+e$, док су електрони негативно наелектрисане честице са тачно једним негативним елементарним наелектрисањем, $-e$. Како се у језгру налазе позитивно наелектрисани протони и неутрални неутрони, оно је у целини позитивно, са наелектрисањем $+Ze$. Око језгра се налази тачно Z електрона, са укупним наелектрисањем $-Ze$, па је атом у целини неутралан.

Табела 1.1. Особине субатомских честица.

Честица	Симбол	Маса	Наелектрисање
Електрон	e^-	$9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -e$
Протон	p^+	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$+1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = +e$
Неутрон	n^0	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	0

Сада можемо одговорити на питање: шта држи на окупу субатомске честице у атому? Прво ћемо навести гравитациону силу, коју осећају све честице које имају масу. Она је увек привлачна, и за два тела масе m_1 и

m_2 њен интензитет је дат Њутновим законом гравитације:

$$F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1.1)$$

где су $\gamma = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ гравитациона константа, а r растојање између тела.

Међутим, унутар атома делује много јача сила, тако да је гравитациона сила занемарљива. То је електростатичка сила, која делује између наелектрисаних честица. Њен интензитет је дат Кулоновим законом:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (1.2)$$

где је $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$, q_1 и q_2 наелектрисања честица и r растојање између честица. Ова сила је привлачна за честице супротног наелектрисања (тежи да смањи растојање између честица), а уколико су наелектрисања истог знака она је одбојна (тежи да повећа растојање). Дакле, одговор је **у атому позитивно наелектрисано језгро привлачи негативно наелектрисане електроне електростатичком силом**. С друге стране, електрони се међусобно одбијају и теже да буду што даље једни од других, међутим та одбојна сила је уравнотежена привлачном силом језгра и електрони остају на окупу у атому. Ипак, остаје питање како електрони, услед привлачне силе, не падну у језгро? Одговор даје теорија квантне механике, о чему ће бити речи у поглављу Електронска структура атома ??.

Може се поставити и питање како позитивно наелектрисани протони остају у језгру на тако малим растојањима једни од других, када одбојна електростатичка сила постаје јако велика? Одговор је: на јако малим растојањима у језгру, делује још једна сила - јака нуклеарна сила. Поред ње у језгру делује и слаба нуклеарна сила. Четири до сада поменуте силе, гравитациона, електростатичка, јака и слаба нуклеарна сила, представљају основне или фундаменталне силе. Више детаља о њима можете наћи у додатку 1.6.2.

Задатак 1.1. Упоредити електростатичку и гравитациону силу између протона и електрона на растојању од $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$, које одговара растојању у атому.

Решење:

$$F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{(10^{-10} \text{ m})^2} =$$

$$= 1 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{N}}{\text{C}^2} \cdot \frac{-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{(10^{-10} \text{ m})^2} =$$

$$= -2,3 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

Дакле, у атому између протона и електрона, интензитет електростатичке силе је око 10^{39} пута већи од гравитационе.

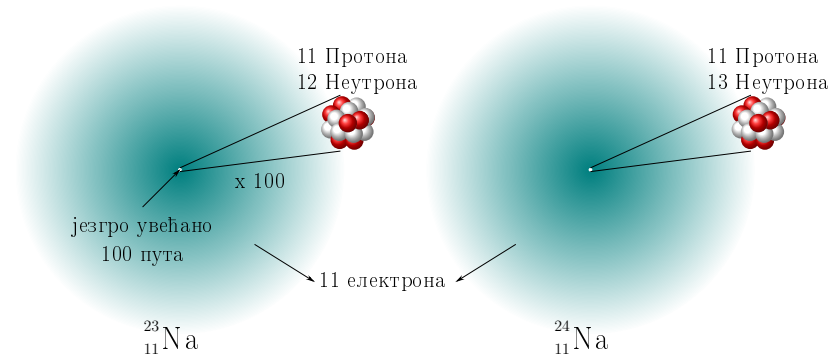
1.2. Изотопи

Атомски број, Z , једнак је броју протона у језгру атома, и одређује ком елементу припада дати атом. Укупан број протона и неутрона у језгру, назива се **масени број**, и означава се са A (од немачке речи *atomgewicht* - атомска тежина).

Дефиниција

Изотопи су атоми истог елемента са различитим масеним бројевима.

Сви изотопи једног елемента имају исте атомске бројеве, тј. имају исти број протона у језгру и исти број електрона око језгра, али различит број неутрона у језгру. Изотоп добија име када напишемо његов масени број иза имана хемијског елемента, на пример натријум-23 и натријум-24. Символ изотопа добија се писањем масеног броја као левог суперскрипта уз символ елемента, нпр. ^{23}Na и ^{24}Na . Иако је атомски број дат симболом елемента, често се као леви супскрипт додаје и Z , $^{23}_{11}\text{Na}$. Изузетак је водоник, јер његови изотопу имају посебне симболе и називе. То су: ^1H , ^2H и ^3H , који се обележавају као H, D и T и називају се водоник (протијум), деутеријум и тритијум. На слици 1.2 су шематски приказани натријумови изотопи, при чему је назначено и колико је језгро пута увећано, да би се видело на слици.



Слика 1.2. Шематски приказ структуре језгра два изотопа натријума.

Присуство различитог броја неутрона у атомима истог елемента, не доводи до значајнијих разлика у физичким и хемијским особинама изотопа, с обзиром на исти број протона и електрона. Међутим, у случају водоника, разлика у масама изотопа је велика, што значајно утиче на физичке, и мање на хемијске особине једињења у којима се ови изотопи налазе. Ове промене се називају изотопским ефектима.

У природи се највећи број елемената састоји од смеше изотопа. За сваки од елемената се може навести, најчешће у процентима, природни садржај или заступљеност појединачних изотопа. То је природни изотопски састав датог елемента. У табели 1.2 дати су неки од изотопа важних елемената, њихови симболи, атомски и масени бројеви, као и заступљеност.

Табела 1.2. Појединачни изотопи важних елемената.

Елемент	Симбол	Атомски број, Z	Масени број, A	Заступљеност, %
Водоник	^1H	1	1	99,985
Деутеријум	D	1	2	0.015
Тритијум	T	1	3	- ^a
Угљеник-12	^{12}C	6	12	98,90
Угљеник-13	^{13}C	6	13	1,10
Кисеоник-16	^{16}O	8	16	99,76

^a Радиоактиван, кратког живота.**Задатак 1.2.** Симбол неког елемента је $^{53}_{24}\text{X}$.

- 1) Како се зове тај елемент?
- 2) Колико протона се налази у његовом језгру?
- 3) Колико неутрона се налази у његовом језгру?
- 4) Колико електрона садржи електронски омотач?

Решење:

- 1) Cr - хром
- 2) $24 p^+$
- 3) $53 - 24 = 29 n^0$
- 4) $24 e^-$

Задатак 1.3. Језгро неког атома садржи 16 неутрона, а његов електронски омотач садржи 15 електрона. Како се назива елемент чији је изотоп дати атом? Написати његов симбол и назначити атомски и масени број.**Решење:** $^{31}_{15}\text{P}$ - изотоп фосфора.

1.2.1. РЕЛАТИВНА АТОМСКА МАСА ЕЛЕМЕНАТА

Како сваки елемент у природи има одређени изотопски састав, може се израчунати средња маса изотопа датог елемента, узимајући у обзир њихову заступљеност.

Дефиниција

Релативна атомска маса хемијског елемента, A_r , је средња маса изотопа датог елемента, у односу на атомску јединицу масе u .

Заправо, атомска јединица масе $u = 1,6605 \cdot 10^{-27}$ kg једнака је $1/12$ масе угљениковог изотопа $^{12}_6\text{C}$. Можемо још рећи да је A_r број који показује колико пута је маса атома неког елемента већа од u . Како је A_r однос две масе, то је број без јединица.

Просечна маса атома елемента се добија множењем релативне атомске масе са u . Често се уместо u користи јединица далтон, $1 \text{ Da} = u$. На пример, релативна атомска маса литијума је $A_r(\text{Li}) = 6,94$, па је просечна маса атома литијума:

$$m(\text{Li}) = 6,94u = 6,94 \text{ Da} = 11,53 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Ова вредност се односи на просечну масу изотопа литијума, ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$, чије су заступљености 6 % и 94 %, редом. Иако природни литијум не садржи ни један атом са масом $6,94u$, можемо сматрати да се литијум састоји од само једне врсте атома са овом масом. То нам рецимо омогућава да нађемо број атома природног литијума мерећи масу његовог узорка.

Треба напоменути да чак и елементи који имају само један изотоп, немају целобројну вредност A_r једнаку атомском броју, јер се интеракције између нуклеона у језгрима разликују од интеракција у језгру ${}^{12}_6\text{C}$, које је узето као референтно. Тако је на пример за ${}^{19}_9\text{F}$, ${}^{59}_{27}\text{Co}$ и ${}^{127}_{53}\text{I}$, релативна атомска маса 18,998, 58,93 и 126,96, редом.

Задатак 1.4. Израчунати релативну атомску масу елемента литијума, уколико је природни изотопски састав: ${}^6\text{Li}$ 6.0 % и ${}^7\text{Li}$ 94.0 %.

Решење:

$$A_r(\text{Li}) = \frac{6,0 \cdot 6 + 94,0 \cdot 7}{100} = 6,94$$

Задатак 1.5. Колика је релативна атомска маса елемента угљеника, а колика изотопа ${}^{12}_6\text{C}$. Природни изотопски састав угљеника је: ${}^{12}_6\text{C}$ 98,9 % и ${}^{13}_6\text{C}$ 1,1 %.

Решење:

За елемент угљеник:

$$A_r(\text{C}) = \frac{98,9 \cdot 12 + 1,1 \cdot 13}{100} = 12,011$$

За изотоп ${}^{13}_6\text{C}$ A_r је тачно:

$$A_r({}^{13}_6\text{C}) = 12,000$$

Задатак 1.6. Упоредити релативну атомску масу суседних елемената Ar и K , затим Co и Ni , као и Te и I .

Решење:

Природан изотопски састав Ar и K је:

0,34 %	${}^{36}_{18}\text{Ar}$	93,2 %	${}^{39}_{19}\text{K}$
0,06 %	${}^{38}_{18}\text{Ar}$	0,01 %	${}^{40}_{19}\text{K}$
99,6 %	${}^{40}_{18}\text{Ar}$	6,73 %	${}^{41}_{19}\text{K}$
$A_r(\text{Ar}) = 39,99$		$A_r(\text{K}) = 39,11$	

Дакле, $A_r({}_{18}\text{Ar}) > A_r({}_{19}\text{K})$. Даље, $A_r({}_{27}\text{Co}) > A_r({}_{28}\text{Ni})$ јер је:

	68,1 %	${}^{58}_{28}\text{Ni}$
	26,2 %	${}^{60}_{28}\text{Ni}$
	1,14 %	${}^{61}_{28}\text{Ni}$
	3,63 %	${}^{62}_{28}\text{Ni}$
100 %	${}^{59}_{27}\text{Co}$	0,93 % ${}^{64}_{28}\text{Ni}$
$A_r(\text{Co}) = 58,93$		$A_r(\text{Ni}) = 58,75$

И на крају, $A_r(\text{Te}) = 127,65$ и $A_r(\text{I}) = 126,96$, па је $A_r({}_{52}\text{Te}) > A_r({}_{53}\text{I})$. Дакле, већи атомски број не значи нужно већу релативну атомску масу.

Задатак 1.7. Израчунати масе атома елемената C, P и Cr, ако су њихове моларне масе $M(\text{C}) = 12,011 \text{ g/mol}$, $M(\text{P}) = 30,974 \text{ g/mol}$ и $M(\text{Cr}) = 51,996 \text{ g/mol}$.

Решење:

$$m_a(\text{C}) = \frac{M(\text{C})}{N_A} = \frac{12,011 \text{ g/mol}}{N_A} = 1,994 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$m_a(\text{P}) = \frac{M(\text{P})}{N_A} = \frac{30,974 \text{ g/mol}}{N_A} = 5,143 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$m_a(\text{Cr}) = \frac{M(\text{Cr})}{N_A} = \frac{51,996 \text{ g/mol}}{N_A} = 8,634 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

Задатак 1.8. Израчунати масе атома елемената C, P и Cr ако су њихове релативне атомске масе $A_r(\text{C}) = 12,011$, $A_r(\text{P}) = 30,974$ и $A_r(\text{Cr}) = 51,996$.

Решење:

$$m_a(\text{C}) = A_r(\text{C}) \cdot u = A_r(\text{C}) \cdot 1,6605 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,994 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

$$m_a(\text{P}) = A_r(\text{P}) \cdot u = A_r(\text{P}) \cdot 1,6605 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 5,143 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

$$m_a(\text{Cr}) = A_r(\text{Cr}) \cdot u = A_r(\text{Cr}) \cdot 1,6605 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 8,634 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

Задатак 1.9. Упоредити број атома који садржи један грам атома елемената C, P и Cr.

Решење:

$$12,011 \text{ g C} : 6,022 \cdot 10^{23} \text{ атома} = 1 \text{ g} : x$$

$$x = 5,013 \cdot 10^{22} \text{ атома C}$$

$$30,974 \text{ g P} : 6,022 \cdot 10^{23} \text{ атома} = 1 \text{ g} : x$$

$$x = 1,994 \cdot 10^{22} \text{ атома P}$$

$$51,996 \text{ g Cr} : 6,022 \cdot 10^{23} \text{ атома} = 1 \text{ g} : x$$

$$x = 1,158 \cdot 10^{22} \text{ атома Cr}$$

Задатак 1.10. Колико молова је садржано у 100 g чистих елемената C, P и Cr.

Решење:

$$n = \frac{m}{M}$$

$$n(\text{C}) = \frac{100 \text{ g}}{M(\text{C})} = 8,326 \text{ mol}$$

$$n(\text{P}) = \frac{100 \text{ g}}{M(\text{P})} = 3,228 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cr}) = \frac{100 \text{ g}}{M(\text{Cr})} = 1,923 \text{ mol}$$

Задатак 1.11. Израчунати моларну масу лубенице.

Решење:

Ако се узме да просечна лубеница има 5 kg, један мол лубеница има:
 $m = 5 \text{ kg} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 3,011 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ што значи да је моларна маса лубенице:

$$3,011 \cdot 10^{27} \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

IUPAC предлаже коришћење стандардних атомских тежина (standard atomic weights), које представљају препоручене вредности релативних атомских маса елемента, примењиве на било који нормални узорак елемента. Нормалан узорак је сваки разумни извор елемента или његових једињења у трговини за индустрију и науку, и који није подвргнут значајним променама изотопског састава у геолошки кратком периоду.¹ Дакле, ова величина је уведена за супстанце које се практично користе у стварности. Вредности стандардних атомских тежина, одређених из више репрезентативних узорка на Земљи, могу се наћи на веб страници <https://www.ciaaw.org/>. За елементе који немају стабилне изотопе или који немају одређени изотопски састав у природи, стандардне атомске тежине се не могу одредити. С друге стране, стандардне атомске тежине су константе само за елементе које имају један стабилан изотоп, док за остале елементе зависе од релативног односа изотопа, који може значајно варирати у природи. Због тога постоји опсег вредности, нпр. стандардна атомска тежина угљеника је између 12,0096 и 12,0116 у зависности где је елемент нађен. На истој веб страници, у посебној табели (<https://www.ciaaw.org/abridged-atomic-weights.htm>) дате су препоручене вредности у скраћеном запису, нпр. за угљеник то је 12,011.

1.3. ДЕФЕКТ МАСЕ

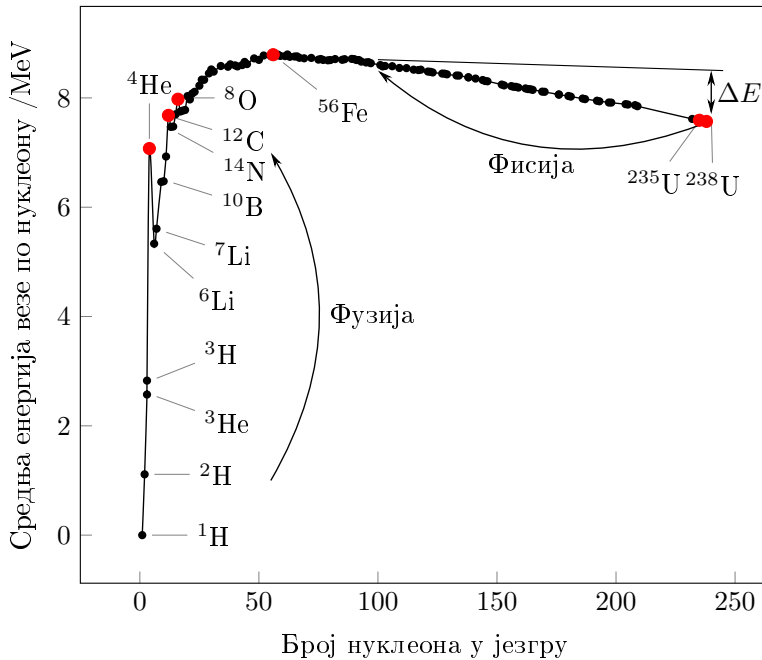
Мерења показују да је маса језгра као целине (у мировању) мања од збира маса протона и неутрона који га сачињавају. Та разлика се назива **дефект масе**.

Дефиниција

Дефект масе, Δm , је разлика маса мировања слободних протона и неутрона и масе језгра које мирује:

$$\Delta m = Zm_{p^+} + Nm_{n^0} - m_{\text{језгра}} \quad (1.3)$$

Као што смо већ рекли, приликом стварања језгра, на јако малим растојањима између нуклеона делује привлачна јака нуклеарна сила. Тада, приликом везивања једног нуклеона за други, они губе део енергије. Ова енергија се назива енергија везе, E_v . Према закона одржања енергије, то је иста енергија коју је потребно уложити како би се сви нуклеони из језгра које је у стању мировања превели у бесконачно удаљене слободне честице у стању мировања.



Слика 1.3. Средња енергија везе по нуклеону за све познате изотопе елемената периодног система.

Веза између енергије и масе је дата чувеном Ајнштајновом (нем. Albert Einstein, 1879 - 1955) једначином, која проистиче и специјалне теорије релативности: $E = mc^2$, где је $c = 3 \cdot 10^8$ m/s брзина светлости. Према овој

једначини, губитак енергије приликом формирања језгра, енергија везе, се може израчунати преко губитка, тј. дефекта, масе:

$$E_v = \Delta mc^2. \quad (1.4)$$

На Слици 1.3 су приказане енергије везе по нуклеону за све познате изотопе. Енергије су дате у јединицама мега електронволт, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$. Кинетичку енергију од 1 eV поседује електрон убрзан напоном од 1 V . Дакле:

$$E_k = qU = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$$

На датом графику се може уочити да се локални максимуми енергије везе јављају за језгра са парним бројем нуклеона (${}^4_2\text{He}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{16}_8\text{O}$), а локални минимуми за језгра са непарним бројем нуклеона, ${}^6_3\text{Li}$, ${}^{10}_5\text{B}$, ${}^{14}_7\text{N}$. Како већа енергија везе значи већу стабилност језгра, следи да су изотопи са парним бројем протона и неутрона стабилнији од осталих. Максимум на графику се јавља за језгро ${}^{62}_{28}\text{Ni}$, док јако блиску енергију везе по нуклеону имају и језгра гвожђа, ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ и ${}^{58}_{28}\text{Fe}$. Како Универзум стари очекује се све веће присуство најстабилнијих језгара. Међутим, количина ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ је за ред величине већа од ${}^{62}_{28}\text{Ni}$, јер је ${}^{62}_{28}\text{Ni}$ подложно фоторазградњи и другим нуклеарним реакцијама у међузвезданом простору.

Од значаја је поменути нуклеарне реакције **фузије** и **фисије**. И при једној и при другој нуклеарној реакцији долази до формирања стабилнијих језгара и ослобађања великих количина енергије. У првом случају се ради о спајању два лака језгра мање стабилности у стабилније теже језгро. У случају фисије долази до разлагања тешких језгара на стабилнија лакша језгра. У оба случаја, енергетски је повољније да у реакцијама учествују језгра која су удаљена од ${}^{56}_{26}\text{Fe}$, како би се ослободило што више енергије.

Задатак 1.12. Израчунати дефект масе код атома ${}^{56}_{26}\text{Fe}$, ${}^4_2\text{He}^{2+}$ и ${}^2_1\text{H}$, уз $A_r({}^{56}_{26}\text{Fe}) = 55,9349$, $A_r({}^4_2\text{He}^{2+}) = 4,0026$ и $A_r({}^2_1\text{H}) = 2,0141$.

Решење:

$${}^{56}_{26}\text{Fe} \Rightarrow A = 56; Z = 26; N = 56 - 26 = 30$$

$$m({}^{56}_{26}\text{Fe}) = 55,9349 \cdot u$$

$$m_{p^+} = 1.673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1.0075 \cdot u$$

$$m_{n^0} = 1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1.0087 \cdot u$$

$$u = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \Delta m &= 26 \cdot m_{p^+} + 30 \cdot m_{n^0} - m({}^{56}_{26}\text{Fe}) = \\ &= 26 \cdot 1.0075 \cdot u + 30 \cdot 1.0087 \cdot u - 55,9349 \cdot u = 0.5228 \cdot u \\ &= 8,6810 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \end{aligned}$$

$${}^4_2\text{He}^{2+} \Rightarrow A = 4; Z = 2; N = 2$$

$$m({}^4_2\text{He}^{2+}) = 4,0026 \cdot u$$

$$\Delta m = 2 \cdot m_{p^+} + 2 \cdot m_{n^0} - m({}_2^4\text{He}^{2+}) = 0.0299 \cdot u = 4.9683 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$${}_1^2\text{H} \Rightarrow A = 2; Z = 1; N = 1$$

$$m({}_1^2\text{H}) = 2,0141 \cdot u$$

$$\Delta m = 1 \cdot m_{p^+} + 1 \cdot m_{n^0} - m({}_1^2\text{H}) = 0.0022 \cdot u = 3,5870 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

Задатак 1.13. Израчунати енергију везе, укупну и по нуклеону, за ${}_{26}^{56}\text{Fe}$, ${}_2^4\text{He}$ и ${}_1^2\text{H}$. Које језгро је најстабилније?

Решење:

У претходном задатку су израчунати дефекти маса за ова три атома:

$$\Delta m({}_{26}^{56}\text{Fe}) = 8,6810 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

$$\Delta m({}_2^4\text{He}) = 4.9683 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$\Delta m({}_1^2\text{H}) = 3.5870 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

И коришћењем једначине 1.4 лако се налази да су енергије везе:

$$E_{\text{везе}}({}_{26}^{56}\text{Fe}) = \Delta m({}_{26}^{56}\text{Fe})c^2 = 7,8129 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$E_{\text{везе}}({}_2^4\text{He}) = \Delta m({}_2^4\text{He})c^2 = 4,4714 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$E_{\text{везе}}({}_1^2\text{H}) = \Delta m({}_1^2\text{H})c^2 = 3,2283 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Док се енергија везе по нуклеону једноставно добија дељењем енергије везе са масеним бројем, тј. укупним бројем нуклеона у језгру:

$$E_{\text{по нук.}}({}_{26}^{56}\text{Fe}) = \frac{E_{\text{везе}}({}_{26}^{56}\text{Fe})}{A({}_{26}^{56}\text{Fe})} = 1,3952 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$E_{\text{по нук.}}({}_2^4\text{He}) = \frac{E_{\text{везе}}({}_2^4\text{He})}{A({}_2^4\text{He})} = 1,1179 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$E_{\text{по нук.}}({}_1^2\text{H}) = \frac{E_{\text{везе}}({}_1^2\text{H})}{A({}_1^2\text{H})} = 1,6141 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Израчунате енергије можемо приказати у MeV, које су у овом случају погодније јединице:

$$E_{\text{по нук.}}({}_{26}^{56}\text{Fe}) = \frac{1,3952 \cdot 10^{-12}}{1,6022 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 8,7089 \cdot 10^6 \text{ eV} = 8,71 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{по нук.}}({}_2^4\text{He}) = \frac{1,1179 \cdot 10^{-12}}{1,6022 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 6,9779 \cdot 10^6 \text{ eV} = 6,98 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{по нук.}}({}_1^2\text{H}) = \frac{1,6141 \cdot 10^{-13}}{1,6022 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 1,0076 \cdot 10^6 \text{ eV} = 1,01 \text{ MeV}$$

Посматрајући енергије везе по нуклеону закључује се да је атом ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ најстабилнији. На први поглед ове енергије су изузетно мале, међутим треба имати на уму да се ради о само једном атому.

Задатак 1.14. Колико килотона ТНТ-а енергије треба уложити да би се сви нуклеони једног мола атома $^{56}_{26}\text{Fe}$ раздвојили на бесконачну удаљеност?

Решење:

Килотони ТНТ-а се користе како би се описала потенцијална деструктивност експлозивних материјала. Тринитротолуен (ТНТ) се узима као референтна експлозивна материја. Енергија која се ослободи приликом детонације 1000 тона ТНТ (1 килотон) је једнака $4,184 \cdot 10^{12}$ J. За један мол атома $^{56}_{26}\text{Fe}$ укупна енергија складиштена у енергијама везе је:

$$\begin{aligned} E_{\text{укупно, 1 mol}} &= 1 \text{ mol} \cdot N_A \cdot E_{\text{везе}} \\ &= 1 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 7,8129 \cdot 10^{-11} \text{ J} \\ &= 4,7049 \cdot 10^{13} \text{ J} = 11,25 \text{ килотона ТНТ} \end{aligned}$$

Дакле, за разлагање једног мола, односно ≈ 56 g, гвожђа до бесконачно удаљених нуклеона би било потребно уложити онолико енергије колико се ослободи приликом детонације преко 11 000 тона ТНТ-а.

Задатак 1.15. Упоредити енергије везивања у језгру (између нуклеона) и атому (између језгра и електрона) на примеру атома ^2_1H чија је енергија јонизације 15,5 eV.

Решење:

За сад је довољно рећи да енергија јонизације представља енергију коју је потребно довести атому како би му се одвојио електрон. Стога она представља енергију везе електрона и језгра.

Претходно израчуната енергија везивања по нуклеону за језгро ^2_1H је

$$E_{\text{по нук.}} \approx 1 \text{ MeV} = 1\,000\,000 \text{ eV}$$

Поређењем ове енергије и енергије јонизације која износи 15,5 eV, видимо да је интеракција између нуклеона око 6500 пута јача у односу на интеракцију електрона и језгра у истом атому.

Задатак 1.16. Лампа снаге 100 W сија непрекидно 2 сата. Колики је дефект масе лампе услед губитка енергије путем светлости? Сматрати да се сва енергија троши на стварање светлости.

Решење:

Дефект масе се и у овом случају може израчунати помоћу једна-

чине 1.4:

$$\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{P \cdot t}{c^2} = \frac{100 \text{ W} \cdot 2 \cdot 3600 \text{ s}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = 8 \cdot 10^{-12} \text{ kg} = 8 \text{ pg}$$

Ако лампа има 100 g, колико дуго би требало да сија како би потрошила 1 % своје масе?

1.4. ПЕРИОДНИ СИСТЕМ ЕЛЕМЕНАТА

Када се елементи распореде по растућем атомском броју Z , својства елемената показују одређене правилности. То дају могућност да се елементи сврстају у групе са сличним хемијским и физичким својствима.

Дефиниција

Хемијске особине елемената су периодична функција атомског броја Z .

На основу тога, елементи се могу распоредити у табелу, која се зове **периодни систем елемената (ПСЕ)**. У периодном систему се на прави поглед уочавају хемијски слични елементи, што олакшава интерпретацију и предвиђање њихових хемијских особина. У модерном ПСЕ, попут оног на слици 1.4, елементи су сврстани у вертикалне колоне које се зову **групе** и хоризонталне редове које се зову **периоде**.

1 IA																		18 VIIIA																		
1	1 H		2 IIA															2 He																		
2	3 Li		4 Be																5 B		6 C		7 N		8 O		9 F		10 Ne							
3	11 Na		12 Mg		3 IIIA		4 IVB		5 VB		6 VIB		7 VIIB		8 VIIIB		9 VIIIB		10 VIIIB		11 IB		12 IIB		13 Al		14 Si		15 P		16 S		17 Cl		18 Ar	
4	19 K		20 Ca		21 Sc		22 Ti		23 V		24 Cr		25 Mn		26 Fe		27 Co		28 Ni		29 Cu		30 Zn		31 Ga		32 Ge		33 As		34 Se		35 Br		36 Kr	
5	37 Rb		38 Sr		39 Y		40 Zr		41 Nb		42 Mo		43 Tc		44 Ru		45 Rh		46 Pd		47 Ag		48 Cd		49 In		50 Sn		51 Sb		52 Te		53 I		54 Xe	
6	55 Cs		56 Ba		57-71 La*		72 Hf		73 Ta		74 W		75 Re		76 Os		77 Ir		78 Pt		79 Au		80 Hg		81 Tl		82 Pb		83 Bi		84 Po		85 At		86 Rn	
7	87 Fr		88 Ra		89-103 Ac*		104 Rf		105 Db		106 Sg		107 Bh		108 Hs		109 Mt		110 Ds		111 Rg		112 Uub		113 Uut		114 Uuq		115 Uup		116 Uuh		117 Uus		118 Uuo	
				57 La		58 Ce		59 Pr		60 Nd		61 Pm		62 Sm		63 Eu		64 Gd		65 Tb		66 Dy		67 Ho		68 Er		69 Tm		70 Yb		71 Lu				
				89 Ac		90 Th		91 Pa		92 U		93 Np		94 Pu		95 Am		96 Cm		97 Bk		98 Cf		99 Es		100 Fm		101 Md		102 No		103 Lr				

Alkalni metali

Zemnoalkalni metali

Prelazni metali

Metaloidi

Nemetali

Plemeniti gasovi

Lantanoidi / Aktinoidi

Слика 1.4. Периодни систем елемената.

Постоји осам главних група елемената, десет група са прелазним металима распоређених у три периоде, и додатно једна периода са елементима са редним бројем 57 до 71 који се зову ретке земље или лантаноиди као и периода са елементима редног броја 89 до 103 који се зову актиноиди. Периоде са лантаноидима и актиноидима су најчешће смештене испод осталих,

због уштеде места. Један начин означавања група је римским бројевима I до VIII, при чему се код главних група додаје слово А, код група прелазних метала слово В (тада три колоне које почињу са елементима Fe, Co и Ni припадају истој VIIIВ групи), док се лантаноиди и актиноидима не сврставају у групе. Новији начин означавања је бројевима 1 до 18, при чему су главне групе означене са 1, 2 и 13 до 18, а групе прелазних метала бројевима 3 до 12. Периоде се означавају бројевима од 1 до 7.

1.5. ПОРЕКЛО ЕЛЕМЕНАТА

По савременом становишту, сви хемијски елементи у Вациони, осим водоника и великог дела хелијума, настали су у звездама. У звездама се одвијају различити нуклеарни процеси у којима се од лакших стварају тежа атомска језгра. Међутим, и пре настанка звезда, Вациона је прошла одређене фазе у свом развоју.

Данас је прихваћена теорија Великог праска, по којој Вациона почиње сингуларитетом, што би се могло описати као јединство материје и сила у нултој запремини са бесконачном густином и температуром. Затим се одиграо јединствени догађај, такозвани Велики прасак (енг. Big Bang). Можемо рећи да је то била експлозија, у којој се првобитна запремина почела увећавати и хладити.

У току прве секунде јединствена сила се раздвојила на четири основне силе и настале су елементарне честице. Међу њима су били протони, коју су заправо језгра водоника ${}^1_1\text{H}$, и неутрони. Затим су у току прва два минута од протона и неутрона настала језгра деутеријума, ${}^2_1\text{H}^+$. Даље, захватом једног или два нуклеона настају језгра са масеним бројем 3 и 4, тритијум (${}^3_1\text{H}^+$) и изотопи хелијума (${}^3_2\text{He}^{2+}$ и ${}^4_2\text{He}^{2+}$). После 250 s, вационски простор испуњавају језгра водоника (75 %) и хелијума (25 %). Након 300 000 година од Великог праска температура је пала на око 3000 K, језгра су привукла електроне, и тако су настали први атома водоника и хелијума.

Током милиона година, Вациона се хладила, а настали атоми су се услед различитих кретања, скупљали у облаке веће густине. У овим облацима, услед дејства гравитационих сила, долазило је до даљег повећања густине, и стварања небеских тела. Од тела релативно велике масе, након око милијарду година, даљим сабијањем настале су звезде. У звездама је температура достизала милионе степени. То је створило услове да отпочне фузија језгара водоника у хелијум, и да се заустави даље гравитационо скупљање. Ова реакција се одбија у унутрашњости звезде, а енергија се преноси до површине и емитује у Вациону. На тај начин звезде емитују топлоту и светлост. Како је реакција врло спора она представља прву и најдужу фазу живота звезде.

Када водоник у центру звезде сагори у хелијум, центар постаје хладан, а реакција се преноси у слој око тог централног дела звезде. Међутим због пораста масе у средишту, долази поново до гравитационог скупљања и повећања густине и температуре. Тада почиње нови циклус, фузија хелијума, при чему настају тежа језгра, као што су ${}^{12}_6\text{C}$ и ${}^{16}_8\text{O}$. Затим следе циклуси угљеника и силицијума, тј. нове фазе живота звезде, у чијем центру на-

стају све тежа и тежа језгра, а околo се налазе слојеви различитог састава оним редом којим су настајали. Циклуси се настављају док у центру звезде не настану најстабилнија атомска језгра, гвожђе и његови суседи. Светлост звезде је знак да се још увек формирају тежи елементи.

Даља фузија у центру би захтевале утросак енергије, тако да се реакције померају ка ободу звезде, а маса средишњег дела расте. Енергија одлази у Вациону, а не надокнађује се, па је крај живота звезде близу. Уколико има мању масу, након што се фузија угаси, звезда се полако хлади и сажима услед дејства гравитације. На крају остаје густо хладно тело. То ће се десити и са Сунцем за неколико милијарди година.

С друге стране, звезде чија је маса бар 1.5 пута већа од масе Сунца, свој живот завршавају у огромним експлозијама, које се називају супернове. Као последица ослобађања огромне количине енергије, дешавају се нуклеарне реакције које доводе до стварања тежих језгара од гвожђа. Јако тешки елементи које сада налазимо на Земљи, укључујући уранијум и злато, настали су на тај начин. Као последица супернове, звездани материјал, који садржи све настале елементе, разлети се у Вациону. Остаци звезде се поново постепено скупљају под утицајем гравитације. Тако настају нове звезде, али и мања тела попут планета, која круже око звезде. Сунчев систем и сама Земља су формирани на овај начин од остатака неке давне звезде настале у суперновој.

Дакле, водоник и хелијум су формирани у Великом праску. Лакши елементи (до Fe и Ni) чија језгра имају до шездесетак нуклеона, су настали фузијом лакших језгара у звездама. Тежи елементи настају приликом супернова, експлозија великих звезда, када сви елементи бивају распршени у простор.

Хемијски састав материје у Вациони се мења. Као резултат фузије повећава се број тешких језгра. Међутим, далеко највећу заступљеност у Вациони има водоник који чини 88,6 % свих атома, и 70 % масе. Други елемент по заступљености је хелијум, са 11,3 % атома и 28 % масе. Дакле, ова два најлакша елемента чине 99,9 % свих атома у Вациони. Ипак, састав небеских тела може бити веома различит. На пример, на Земљи, водоник је заступљен са свега 0.88 %, док су најзаступљенији кисеоник са 49.2 % и силицијум са 25,7 % масе у земљиној кори, океанима и атмосфери.

1.6. ДОДАЦИ 2. ПОГЛАВЉУ

1.6.1. РАНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ ЗА КАРАКТЕРИЗАЦИЈУ АТОМА

На основу радова Далтона, Геј-Лисака, Авогадра и других, било је јасно да је концепт атома добра идеја. Неминовно, научници су почели да се истражују природу атома, од чега је атом састављен, у чему се разликују атоми различитих елемената?

Електрони

Прве експерименте чију су резултати довели до разумевања структуре атома извео је Ц.Ц. Томсон (eng. Joseph John Thomson, 1856 – 1940), који је у периоду између 1898. и 1903. године испитивао електрично пражњење у катодним цевима, које представљају делимично евакуисане стаклене цеви. Томсон је открио да примена високог напона између електрода у овим цевима доводи до појаве „зрака“ које је он назвао катодним зрацима, јер су били емитовани из негативне електроде тј. катоде. У електричном пољу ови зраци су се скретали од негативног пола. На основу тога Томсон је постулирао да су катодни зраци заправо сноп негативно наелектрисаних честица, које данас зовемо електронима. На основу експеримената у којима је мерио скретање снопа електрона у магнетном пољу, Томсон је одредио специфично наелектривање електрона, које представља однос наелектривања ($-e$) и масе (m) електрона:

$$\frac{-e}{m} = -1.769 \cdot 10^{11} \text{ C/kg.}$$

Показало се да се електрони могу добити са електродама које су направљене од различитих метала, па је Томсон закључио да сви атоми морају садржати електроне. Како се знало да је атом електронеутралан, он је даље претпоставио да атоми морају садржати и позитивно наелектривање. На основи ових чињеница, Томсон је поставио један од првих модела атома, по коме се атоми састоје од дифузног облака позитивног наелектривања са негативним електронима уроњеним у њему, Слика 1.5 лево. Овај модел се често наводи као модел пудинга од шљива, по енглеском десерту са сувим грождем уроњеним у пудинг.

Године 1909. Роберт Миликен (енг. Robert Millikan, 1868–1953), извео је паметан експеримент, у коме је помоћу микроскопа посматрао наелектривање капљице уља између плоча кондензатора. Мерећи брзине различитих капљица и мењајући услове, он је увидео да постоји најмања могућа количина наелектривања, елементарно наелектривање ($e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$), којим су наелектрисани и електрони. Он је мерећи макроскопске величине дошао је до податка о особинама микроскопске честице. Познајући однос наелектривање и масе електрона, Миликен је дошао и до масе електрона.

Радиоактивност

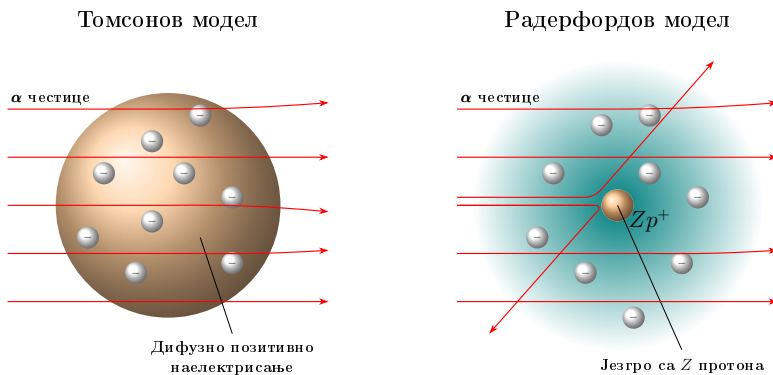
Крајем 19. века, научници су открили да поједини елементи емитују зрачење високе енергије. На пример, 1896. француски научник Хенри Бекерел

(фр. Antoine Henri Becquerel, 1852-1908) је случајно открио да комад минерала који садржи уранијум даје слику на фотографској полочи и без присуства светлости. Он је тај феномен објаснио спонтаном емисијом зрачења од стране уранијума и назвао га радиоактивношћу. Већ почетком 20. века била су познате три врсте радиоактивног зрачења: гама (γ) зрачење, бета (β) честице и алфа (α) честице. Гама зрачење је електромагнетно зрачење високе енергије, β честице су електрони, док су α честице језгра атома хелијума (без електрона), која су позитивно наелектрисана са два елементарна наелектрисица ($+2e$) и имају масу око 7300 пута већу од електрона. Данас су познате и друге врсте радиоактивности, али за нас су сада заправо важне α честице.

Радефордов експеримент - нуклеарни атом

Ернест Радефорд (енг. Ernest Rutherford, 1871–1937) заједно са Ханс Гегером (нем. Hans Geiger 1882-1945) и Ернест Марсденом (енг. Ernest Marsden 1889–1970) извео је 1909. експеримент помоћу кога је проверио Томсонов модел атома. Експеримент се састојао у томе да танку металну фолију злата гађа алфа честицама велике енергије. Изабрали су злато, јер се оно кује боље од било ког другог метала, и од њега може да се направи најтања фолија.

Да је Томсоновом модел исправан, **све** α честице би прошле кроз златну фолију, Слика 1.5. Најпре, дебљина златне фолије била је само 0.00004 cm ($4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$), а то одговара слоју ваздуха од 1.6 mm што се тиче зауставне моћи. Даље, како је позитивно наелектрисицање равномерно по целој запремини атома, густина позитивног наелектрисицања је мала да би значајно скренула α честице. На крају, услед интеракције са електронима могло би доћи само до минималног скретања неких од α честица, зато што α честице уз велике брзине имају и много већу масу од електрона.



Слика 1.5. Скретање алфа честица услед интеракције са атомима на основу Томсоновог и Радерфордовог модела атома

Међутим, резултати експеримента су били другачији. Највећи број α честица прошао је кроз фолију без скретања; мањи део честица је скре-

нуо под великим угловима; а један део, око 1 на 8000 честица, је толико променио правац, да су поново долазиле на страну са које су кренуле. То значи да је угао скретања био између 90° и 180° , и да су се те α честице потпуно одбиле о златну фолију дебљине $4 \cdot 10^{-5}$ cm. Размишљајући о овим резултатима, Радефорд је на једном од својих предавања рекао да је то био најневероватнији догађај у његовом животу јер је то наизглед било као да сте испалили гранату од 40 cm на лист папира, а она се одбила и ударила у вас.

На основу ових експерименталних резултата Радефорд је поставио **нуклеарни модел атома**. Наиме он је исправно закључио да се атом састоји из малог језгра велике густине позитивног наелектрисања и електрона који се крећу око језгра на растојањима много већим од димензије језгра. Узрок скретања позитивно наелектрисаних алфа честице под великим угловима је веома јака електростатичка интеракција приликом проласка близу позитивног језгра. По овом моделу атом подсећа на Сунчев систем, јер се електрони крећу око језгра како не би били привучени у само језгро, слично као планете око Сунца. Због тога се још назива и планетарни модел атома. У табели испод сажето су приказани главни резултати експеримента и изведени закључци:

Експериментално опажање	Закључак
Највећи број честица не скреће.	$\Rightarrow$ Атом је највећим делом празан простор.
Неке честица мало скрећу.	$\Rightarrow$ Постоји позитивно наелектрисање у атому.
Мали део скреће под угловима између 90° и 180° .	$\Rightarrow$ Позитивно наелектрисање је сконцентрисано у малој области.
Модел: Електрони се крећу око језгра као планете око Сунца.	

1.6.2. Основне силе

Основне или фундаменталне силе описују интеракције у природи које се не могу разложити на простије. Постоје четири основне интеракције и одговарајуће силе: гравитациона, електромагнетна сила, јака и слаба нуклеарна сила. Прве две су силе дугог домета чији се ефекти могу видети директно у свакодневном животу, док јака и слаба сила делују на малим, субатомским растојањима и управљају нуклеарним интеракцијама. У Табели 1.3 су представљени носиоци интеракција, релативне јачине, зависност од растојања и домет сваке од сила.

Табела 1.3. Основне силе у природи.

Сила	Носиоци интеракције	Релативна јачина ^a	Зависност од удаљености	Домет [m] ^a
Слаба	$W^\pm$ и Z^0 бозони	10^{-6}	$\sim (1/r) e^{-m(W^\pm, Z^0)r}$	10^{-18}
Јака	глуони	1	$\sim r$	10^{-15}
Електромагнетна	фотони	1/137	$\sim 1/r$	∞
Гравитациона	гравитони ^b	$6 \cdot 10^{-39}$	$\sim 1/r$	∞

^a Егзактне јачине и домети зависе од особина и типа честица које интереагују.

^b Хипотетички преносиоци интеракције - нису експериментално потврђени.

Гравитациону интеракцију осећају све честице које имају масу. На атомском нивоу, гравитација је најслабија од четири основне интеракције. Израз за гравитациону силу између два тела, масе m_1 и m_2 , дат је Њутновим (енгл. Sir Isaac Newton, 1642 – 1726/27) законом гравитације:

$$F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.5)$$

где су γ гравитациона константа која износи $6,674\,30 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ и r растојање између два тела масе m_1 и m_2 .

Електромагнетна интеракција се јавља између свих наелектрисаних честица. Када наелектрисане честице мирују јавља се електростатичка интеракција, и тада је интензитет силе која делује између честица дата Кулоновим (фра. Charles-Augustin Coulomb, 1736-1806) законом:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.6)$$

где је ϵ_0 диелектрична константа (пермитивност) вакуума чија је вредност $8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ ($= \text{C}^2/\text{Nm}^2$), q_1 и q_2 наелектрисања честица и r растојање између честица. Уколико се уведе константа $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ видимо да израз за електростатичку силу добија аналоган облик изразу за гравитациону силу.

Уколико се наелектрисана честица креће у магнетном пољу на њу ће деловати магнетна сила која се може израчунати помоћу Лоренцове (хол. Hendrik Antoon Lorentz, 1853 - 1928) једначине:

$$\vec{F}_l = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1.7)$$

где су $\vec{E}$ електрично поље и $\vec{B}$ магнетно поље које делују на честицу која се креће брзином $\vec{v}$ и има наелектрисање q . Други члан у овој једначини се односи на магнетну компоненту силе. Магнетно поље $\vec{B}$ може бити стално магнетно поље, које потиче на пример од перманентног магнета. Тада магнетну силу која делује на наелектрисану честицу није тешко израчунати.

Слаба сила делује унутар атомског језгра. Природа интеракције је веома компликована и она делује само на изузетно малим растојањима. Сматра се да је заслужна за одређене типове радиоактивних распада, с обзиром да може да утиче на промену структуре самих нуклеона. На пример, приликом β^+ распада долази до трансформације: $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ – унутар атомског језгра, при чему је $\bar{\nu}_e$ – једна од елементарних честица, која се назива електронски антинеутрино. Оваква трансформација доводи до промене врсте атомског језгра, односно до промене типа елемента, с обзиром да се посредством слабе силе један неутрон трансформисао у протон те да је дошло до повећања атомског броја за један.

Јака сила је најјача од четири основне силе. Она учествује у везивању протона и неутрона при формирању атомског језгра, па се због тога се назива и нуклеарна сила. Да нема ове интеракције, услед електростатичког

одбијања, протони би одлетели један од другог. Интересантно је да је зависност интензитета ове силе од растојања другачије од зависности код осталих сила (Табела 1.3).

Задатак 1.17. Упоредити електростатичку и гравитациону силу између протона и електрона на растојању од $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$, које одговара растојању у атому.

Решење:

$$F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{(10^{-10} \text{ m})^2} = 1 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{N}}{\text{C}^2} \cdot \frac{-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{(10^{-10} \text{ m})^2} = -2,3 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

Дакле, у атому између протона и електрона, интензитет електростатичке силе је око 10^{39} пута већи од гравитационе.

Задатак 1.18. Упоредити електромагнетну, гравитациону и јаку силу између два протона на растојању од 10^{-15} m , које одговара растојању два протона у језгру.

Решење:

Увешћемо следеће ознаке за интеракције: g - гравитациона, em - електромагнетна, s - јака, w - слаба. Гравитациона и електромагнетна (електростатичка) интеракција се могу проценити уз помоћ једначина 1.5 и 1.6:

$$F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{(1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg})^2}{(10^{-15} \text{ m})^2} = 1,9 \cdot 10^{-34} \text{ N}$$

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{m}^2 \text{N}}{\text{C}^2} \cdot \frac{(1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(10^{-15} \text{ m})^2} = 230 \text{ N}$$

док се јака и слаба интеракција могу проценити релативно, знајући вредности из Табеле 1.3:

$$F_s = 137 F_{em} = 31510 \text{ N} \approx 30000 \text{ N}$$

$$F_w = 10^{-6} F_s \approx 0,03 \text{ N}$$

Процена показује да јака сила, као и што сам назив сугерише, убедљиво најјаче делује на два протона који се налазе растојању које је реда величине радијуса атомског језгра. 30000 N одговара тежини тела које има масу од 3 тоне и стоји негде на површини Земље. Најслабија интеракција у овом случају није слаба интеракција, већ гравитациона. Ово показује колико је битан домет слабе и јаке интеракције.