

თემა: ატომის მოდელების განვითარების ისტორია - წარმოდგენების განვითარება ატომის აღნაგობის შესახებ

წინარე ცოდნა

რეკომენდაცია პედაგოგს აქტივობების შესასრულებლად საჭირო ცოდნის გასააქტიურებლად. პედაგოგმა კომპაქტური ტექსტის სახით უნდა მიაწოდოს მოსწავლეებს ინფორმაცია ატომის მოდელების განვითარების ქრონოლოგიის შესახებ. პედაგოგმა უნდა გამოკვეთოს თითოეული მოდელის დადებითი და უარყოფითი მხარეები, ხაზი უნდა გაუსვას იმ გარემოებას, რომ ყოველი მომდევნო მოდელის შექმნა განპირობებული იყო არსებული მოდელის ხარვეზებით; ამით მოსწავლეებს უნდა ვაჩვენოთ, რომ მათი კვლევა ამა თუ იმ საკითხთან დაკავშირებით იქნება ყოველთვის ღირებული, თუნდაც არასრულყოფილი იყოს რაღაც ნაწილში.

ამ საკითხისათვის საჭირო წინარე ცოდნა ეფუძნება ქვემოთ წარმოდგენილ მასალას, რომელშიც ძალიან მოკლეაა წარმოდგენილი ატომის მოდელების განვითარების ეტაპები.

დემოკრიტე, დალტონი

დემოკრიტე - 460–370 წწ. ჩვ.წ.ად-მდე; ატომი - განუყოფელი; არ იყო გამყარებული ექსპერიმენტით, არ ეფუძნებოდა სამეცნიერო მეთოდს.

დალტონის მოდელი (XIX ს.) - დაფუძნებულია ექსპერიმენტზე.

ნაკლი - ატომი განუყოფელი; დალტონის თეორიაში შესწორება შევიდა მას შემდეგ, რაც **ტომსონმა** აღმოაჩინა ელექტრონი, რითაც დაიმსხვრა მითი ატომის განუყოფელობის შესახებ.



ტომსონის ექსპერიმენტი [იხილეთ ბმულზე:](#)

როგორც ექსპერიმენტიდან ჩანს, კათოდური სხივი გადაიხარა დადებითად დამუხტული ფირფიტისკენ. ტომსონმა იცოდა, რომ საპირისპირო მუხტები ერთმანეთს მიიზიდავენ და გამოთქვა ჰიპოთეზა, რომ კათოდური სხივი შეიცავდა უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკებს, რომლებსაც მან „კორპუსკულები“ უწოდა. მოგვიანებით ამ ნაწილაკებს ელექტრონები უწოდეს.

საკუთარი ჰიპოთეზის შესამოწმებლად ტომსონმა ექსპერიმენტულად გაზომა ელექტრონის მუხტის შეფარდება ელექტრონის მასასთან და აღმოაჩინა, რომ ეს თანაფარდობა არის მუდმივი სიდიდე და არ არის დამოკიდებული არც მილში არსებული გაზის რაობაზე და არც იმაზე თუ რომელი მეტალისგან არის დამზადებული ელექტროდები. აქედან ტომსონმა დაასკვნა, რომ ელექტრონი უნდა შედიოდეს ყველა ელემენტის ატომის შედგენილობაში.

მოგვიანებით, ამერიკელმა მეცნიერმა რობერტ მილიკენმა (1868 - 1953) ექსპერიმენტულად განსაზღვრა ელექტრონის მუხტი ($1,602 \cdot 10^{-19}$ კულონი) და გამოთვალა ელექტრონის მასა ($m_e = 5,4858 \cdot 10^{-4}$ ანუ $1/1840 m_{ae} = 0,9109 \cdot 10^{-30}$ კგ).

1896 წელს ფრანგმა მეცნიერმა ანრი ბეკერელმა შეამჩნია, რომ ურანის ნაერთები თვითნებურად ასხივებს სხივებს, რომლებსაც უნარი აქვს, გააშავოს ფოტოგრაფიული ფირფიტა, მოახდინოს ჰაერის იონიზაცია და ა.შ. ამ სხივებს რადიოაქტიური სხივები უწოდეს, ნივთიერებებს კი, რომლებიც თვითნებურად ასხივებდა ზემოთ აღწერილ სხივებს - რადიოაქტიური ნივთიერებები.

შემდგომი გამოკვლევების შედეგად აღმოჩნდა, რომ რადიოაქტიური გამოსხივება ელექტრულ ველში სამ ნაწილად იყოფა. სხვაგვარად, ის შედგება სამი სახის: α , β და γ სხივებისგან. α --სხივები α -ნაწილაკების ნაკადს წარმოადგენს, რომელთა მასა ჰელიუმის ატომის მასის ტოლია. ეს ნაწილაკები დადებითადაა დამუხტული, მუხტი სიდიდით ორჯერ აღემატება ელექტრონისას, ნიშნით კი საწინააღმდეგოა. β -სხივები წარმოადგენს ელექტრონების ნაკადს, შესაბამისად, უარყოფითად არის დამუხტული. γ -გამოსხივება ელექტრონეიტრალური, რენტგენის სხივების მსგავსი გამოსხივებაა.

რაკი ცხადი იყო, რომ ზემოხსენებული სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული ნაწილაკები რადიოაქტიური ნივთიერებების ატომებიდან გამოიყოფოდა, გამოითქვა ჰიპოთეზა, რომ ატომები შეიცავდა დადებითად დამუხტულ ნაწილაკებსაც. იმის დადგენაც შეძლეს, რომ α --ნაწილაკები, ჰაერში რამდენიმე სანტიმეტრის გავლის შემდეგ, ჰელიუმის დამანასიათებელ სპექტრს იძლევა, ე.ი. მძიმე ატომები (მაგალითად, ურანი) იშლება მსუბუქი ატომების გამოყოფით. ასე გამოეცალა საფუძველი შეხედულებას ატომის განუყოფლობის შესახებ.

თუ ზემოთ აღწერილ ექსპერიმენტულ მონაცემებს შევაჯამებთ, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ატომი იშლება უფრო მარტივ, დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკებად.

ტომსონის მოდელის ნაკლი: ეს მოდელი არაფერს გვუბნება დადებითი მუხტებისა და ელექტრონების რაოდენობაზე, მათ მდებარეობაზე ატომში, ვერ ხსნის თუ რატომ შეუძლია ატომს ელექტრონების გაცემა ან შეძენა და იონის წარმოქმნა.

ოქროს ფირფიტის ექსპერიმენტი

1910 წელს ინგლისელმა ფიზიკოსმა ერნესტ რეზერფორდმა ჩაატარა ექსპერიმენტი (მოსწავლეები ნახავენ [ვიდეოს ბმულზე](#)),



რომელმაც არსებითად შეცვალა წარმოდგენა ატომის აღნაგობაზე. ექსპერიმენტის არსი შემდეგში მდგომარეობს: რადიოაქტიური ნივთიერება მოთავსებულია ტყვიის კოლოფში, რომელსაც აქვს ხვრელი. ტყვიას აქვს α -ნაწილაკების შეკავების უნარი, ასე რომ, ეს ნაწილაკები ვრცელდება მხოლოდ ხვრელიდან -- ერთადერთი მიმართულებით. გზაში α -ნაწილაკები ეცემა ოქროს თხელ ფირფიტას, გადის მასში (α -ნაწილაკებს აქვს მეტალის თხელ ფირფიტაში გაღწევის უნარი) და ეცემა ეკრანს, რომელიც დაფარულია ლუმინესცენტური ნივთიერებით. ნათებას აკვირდებიან მიკროსკოპით. სწორედ ეს ნათება მიუთითებს, გადაიხარა თუ არა ნაწილაკები სწორხაზოვანი ტრაექტორიიდან.

ატომის ტომსონისეული მოდელის საფუძველზე α -ნაწილაკების დიდი კუთხით გადახრა მოსალოდნელი არ იყო. რეზერფორდის ექსპერიმენტის შედეგები კი მხოლოდ იმ წარმოდგენების საფუძველზე შეიძლებოდა ახსნილიყო, თუ ოქროს ფირფიტა შეიცავდა, ერთი მხრივ, დიდი მოცულობის არეებს, სადაც განლაგებული იქნებოდა ელექტრონები (ელექტრონი, მცირე მასის გამო, დიდ გავლენას ვერ მოახდენს α -ნაწილაკების გადაადგილებაზე), მეორე მხრივ კი, დიდი მასისა და მცირე მოცულობის დადებითად დამუხტულ არეებს, რომლებთან ახლოს გავლისას α -ნაწილაკები გადაიხრება, უშუალო დაჯახებისას კი - აირეკლება.

1911 წელს რეზერფორდმა წამოაყენა ატომის აღნაგობის ახალი მოდელი: ატომი შედგება დადებითად დამუხტული, მცირე მოცულობისა და დიდი მასის მქონე ბირთვისაგან, რომლის გარშემო წრიულ ორბიტებზე მოძრაობს ელექტრონები (სურ. 5). ელექტრონები განაპირობებს ატომის მოცულობას, მაგრამ უმნიშვნელო როლს თამაშობს ატომის მასის განსაზღვრისას. კერძოდ, ატომების დიამეტრი 10^{-8} სმ. რიგისაა, ბირთვისა კი -- 10^{-12} - 10^{-13} სმ. რიგისა.

რეზერფორდმა სათავე დაუდო ატომის აღნაგობის ბირთვულ თეორიას, რომელიც დღემდე ძალაშია.

რეზერფორდის მოდელის ნაკლი: ცნობილია, რომ საპირისპირო ნიშნით დამუხტული ნაწილაკები ერთმანეთს იზიდავს. ამ ლოგიკით, უარყოფითად დამუხტული ელექტრონები უნდა მიუახლოვდეს დადებითად დამუხტულ ატომბირთვს და შეერწყას მას, ანუ ატომი გაქრეს, მოხდეს ბირთვის კოლაფსი, მაგრამ ეს ასე არ ხდება.

მეორე ახსნა: კლასიკური ფიზიკის კანონების თანახმად, წრიულ ტრაექტორიაზე მოძრავი ელექტრონი მოძრაობს ცენტრისკენული აჩქარებით, ასხივებს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს, რის გამოც კარგავს ენერგიას, უახლოვდება და საბოლოოდ უნდა დაეჯახოს ბირთვს და ისევ მოხდეს მასთან შეერწყმა. მაგრამ ეს ასე არ ხდება და ეს ფაქტი ვერ ახსნა რეზერფორდის მოდელმა. ადგილი აქვს კლასიკური ფიზიკის კანონებთან შეუსაბამობას.

რეზერფორდის თეორიის ეს წინააღმდეგობანი გადაჭრა დანიელმა მეცნიერმა **ნილს ბორმა**. იგი დაეყრდნო მაქს პლანკის მოსაზრებას, რომ სხივური ენერგია გამოსხივდება არა

უწყვეტად, არამედ გარკვეული ულუფებით, ანუ კვანტებით. რაც მეტია გამოსხივების სიხშირე, მით მეტია კვანტის ენერგია. 1913 წელს ნილს ბორმა წამოაყენა შემდეგი პოსტულატები:

ელექტრონი ატომში მოძრაობს არა ნებისმიერ, არამედ განსაზღვრულ (ნებადართულ) კვანტურ ორბიტაზე.

ორბიტაზე მოძრაობისას ელექტრონი ენერგიას არ შთანთქავს და არ ასხივებს.

ენერგიის შთანთქმისას ელექტრონს შეუძლია, გადავიდეს უფრო მაღალი ენერგიის მქონე ორბიტაზე. უკან, დაბალი ენერგიის მქონე ორბიტაზე გადასვლისას ის გამოასხივებს ენერგიას.

ბორის თეორიამ ახსნა, რატომ არის ატომი მდგრადი და რატომ არ არის მისი გამოსხივების სპექტრი უწყვეტი. ეს თეორია ერთმანეთს უხამებს კლასიკურ მექანიკასა და ენერგიის დაკვანტვის პრინციპს. ბორმა პირველმა გამოიყენა ატომის მიმართ ენერგიის დაკვანტვის პრინციპი. მან აჩვენა, რომ არ შეიძლება მაკროსამყაროს კანონების მექანიკური გადატანა მიკროსამყაროს უსასრულოდ მცირე ობიექტებზე.

ბორის მოდელის ნაკლი: ვერ ხსნის, თუ რატომ არის უცვლელი ელექტრონის ენერგია ორბიტაზე მოძრაობისას და რატომ არ შეუძლია ელექტრონს მოძრაობა ენერგეტიკულ ღონეებს შორის, ვინაიდან ნიუტონის კანონების თანახმად, სხეულის კინეტიკური ენერგია იცვლება არა ნახტომისებურად, არამედ მდორედ და უწყვეტად. **მეორე ნაკლი:** ბორმა აღწერა ელექტრონის მოძრაობა წყალბადის ატომში და ივარაუდა, რომ სხვა ელემენტების ატომებში ელექტრონების მოძრაობა ანალოგიური იქნებოდა, თუმცა ასე არ აღმოჩნდა. ამიტომ ეს მოდელიც არ იყო სრულყოფილი. საჭირო გახდა ელექტრონის მოძრაობის ახალ ჭრილში განხილვა.

პროტონები და ნეიტრონები

სხვადასხვა მეტალის ფირფიტაში გავლისას α ნაწილაკების განბნევის კუთხეების მიხედვით, რეზერფორდმა გამოთვალა ამ მეტალთა ატომების ბირთვის მუხტები. აღმოჩნდა, რომ მოცემული ატომის ბირთვის მუხტი ტოლია პერიოდულ სისტემაში მისი რიგობრივი ნომრისა. ცხადია, რიგობრივი ნომრის ერთეულით გაზრდისას, ბირთვის მუხტიც ერთეულით იზრდება. ამ ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე მეცნიერებმა აღვიღად გამოიტანეს დასკვნა: ატომბირთვში უნდა ყოფილიყო ერთეულოვანი დადებითი მუხტის მატარებელი ნაწილაკები.

1919 წელს რეზერფორდმავე შეძლო, აზოტის ჩქარი α ნაწილაკებით დაბობვისას მიღებულ პროდუქტებში აღმოეჩინა ამგვარი ნაწილაკი - წყალბადის ბირთვი: 1_1H . ამ ნაწილაკს მან პროტონი უწოდა. პროტონს აღნიშნავენ p სიმბოლოთი. მისი მასაა $1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ კგ} = 1,0073$ მაე. პროტონის მუხტი რიცხობრივად ელექტრონის მუხტის ტოლია, ნიშნით კი -

საწინააღმდეგო. სწორედ პროტონი იქცა ატომის სტრუქტურის ასაგებ მეორე ფუნდამენტურ ნაწილაკად.

იმის დადგენამ, რომ ატომის ბირთვის მუხტი რიცხობრივად მისი რიგობრივი ნომრის ტოლია, შესაძლებელი გახდა თითოეულ ატომში ელექტრონების რიცხვის დადგენაც. მართლაც, თუ ბირთვის მუხტი ელექტრონის მუხტს x -ჯერ აღემატება, ატომში უნდა იყოს x ელექტრონი, რათა ატომი ელექტრონეიტრალური დარჩეს.

ამასობაში დაგროვდა იმის დამადასტურებელი ფაქტები, რომ ატომბირთვი არ შედგება მხოლოდ პროტონებისგან. ჯერ ერთი, ატომების მასა უფრო მეტი აღმოჩნდა, ვიდრე ექსპერიმენტულად დადგენილი ბირთვის მუხტი, ანუ პროტონების რიცხვი, რაც ნიშნავს, რომ ბირთვში რაღაც სხვა ნეიტრალური ნაწილაკიც უნდა არსებობდეს; მეორეც, ატომური მასის გაზრდასთან ერთად, მუდმივი არ რჩება ბირთვის მუხტისა და ატომური მასის ფარდობა: ელემენტის ატომბირთვის მუხტი უფრო ნელა იზრდება, ვიდრე მასა. ეს კი ნიშნავს, რომ ატომბირთვი შეიცავს ნეიტრალურ ნაწილაკებს, რომელთა მასის ცვლილების მუხტის ზრდაზე დამოკიდებულება ყველა ატომისათვის ერთნაირი არაა.

1932 წელს რეზერფორდის მოწაფემ, ინგლისელმა ჯეიმს ჩედვიკმა ბერილიუმის α -ნაწილაკებით დაბომბვისას აღმოაჩინა, რომ გამოსხივებოდა ნაკადი, რომელიც შეიცავდა პროტონის ტოლი მასის მქონე ელექტრონეიტრალურ ნაწილაკებს. მათ სახელად ნეიტრონები უწოდეს. ნეიტრონს აღნიშნავენ n სიმბოლოთი. მისი მასაა $1,6749 \cdot 10^{-27}$ კგ = 1,0087 მაე. ნეიტრონის მუხტი, როგორც აღვნიშნეთ, ნულის ტოლია.

ნეიტრონის აღმოჩენასთან ერთად, გაჩნდა მესამე ფუნდამენტური ნაწილაკიც, ატომის სტრუქტურის ასაგებად.

ნეიტრონის აღმოჩენის შემდეგ ჩამოყალიბდა ატომბირთვის აღნაგობის პროტონულ-ნეიტრონული თეორია, რომლის თანახმადაც ატომის ბირთვი შედგება პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან.

კვანტურ-მექანიკური მოდელი (ატომის მათემატიკური მოდელი)

წინაპირობები ატომის კვანტურ-მექანიკური მოდელის შესაქმნელად (1920-იანი წლები):

მაქს პლანკი - სინათლის კვანტური თეორია. ამ თეორიის თანახმად, სინათლეს აქვს ორგვარი (დუალისტური) ბუნება, რაც გულისხმობს შემდეგს: სინათლე ამჟღავნებს როგორც ნაწილაკის (კორპუსკულურ), ისე ტალღურ ბუნებას.

დე-ბროილი (1924წ) - გამოთქვა ვარაუდი, რომ სინათლის მსგავსად, ხომ არ შეიძლება ელექტრონსაც ჰქონდეს **ორგვარი (დუალური) ბუნება?**

დე-ბროილის ჰიპოთეზა 1927წ. დადასტურდა ექსპერიმენტულად, როდესაც დადგინდა ელექტრონის **დიფრაქციისა და ინტერფერენციის** უნარი. ეს თვისებები ტალღისთვის არის დამახასიათებელი. როგორც **ნაწილაკს** კი, ელექტრონს აქვს მასა და მუხტი.

კვანტურმა თეორიამ გააერთიანა და ახსნა სინათლის **ორბუნებოვნება**. ამ თეორიის მიხედვით, სინათლის გამოსხივება ხდება ელექტრომაგნიტური ტალღების სახით, მაგრამ არა უწყვეტად, არამედ წყვეტილად — ცალკეული ულუფების, კვანტების სახით. კვანტის ენერგია გამოითვლება ფორმულით $E = h\nu$ (მაქს პლანკის განტოლება). აინშტაინმა დაამტკიცა, რომ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას აქვს როგორც ტალღის, ისე ნაწილაკის (კორპუსკულის) თვისებები. ელექტრომაგნიტული გამოსხივების ნაწილაკს ეწოდება ფოტონი, რომლის ტალღური თვისებები აღიწერება განტოლებით $c = \lambda \nu$, საიდანაც $\nu = \frac{c}{\lambda}$. ხოლო კორპუსკულური - მაქს პლანკის განტოლებით: $E = h\nu$. თავის მხრივ, როგორც აინშტაინმა დაამტკიცა, $E = mc^2$. აღნიშნული ფორმულებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავწეროთ: $\lambda = \frac{h}{mc}$. აღნიშნული ტოლობა ასახავს სინათლის **ორბუნებოვნებას, დუალობას**. (ელექტრონის შემთხვევაში გვექნება v).

ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი (1927 წ) - ერთდროულად ერთნაირი სიზუსტით შეუძლებელია ელექტრონის მდებარეობისა და სიჩქარის განსაზღვრა. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, რაც უფრო ზუსტად არის განსაზღვრული ელექტრონის მდებარეობა, მით უფრო არაზუსტად იქნება განსაზღვრული მისი სიჩქარე და პირიქით. ჰეიზენბერგმა ავსტრიელ ფიზიკოსთან შრედინგერთან ერთად შეადგინა მათემატიკური განტოლებები, რომელთა საშუალებით მიიღეს ატომის კვანტურ-მექანიკური მოდელი. ამ მიდგომის თანახმად, ელექტრონის მოძრაობა აღიწერება ე.წ. ტალღური ფუნქციით, რომელსაც ორბიტალი ეწოდება. ეს არის სამგანზომილებიანი არე ბირთვის გარშემო, რომელიც გვიჩვენებს ელექტრონის სავარაუდო მდებარეობას, მაგრამ არ გვაძლევს ინფორმაციას ელექტრონის ტრაექტორიის შესახებ.

ორბიტალებს აქვთ სხვადასხვა ფორმა და ზომა. ორბიტალის ფორმა და ზომა დამოკიდებულია მისი წარმომქმნელი ელექტრონის ენერგიაზე. სხვადასხვა ენერგიის მქონე ელექტრონები განსხვავებული ფორმისა და ზომის ორბიტალებზე მოძრაობს.

ელექტრონი ბრუნავს საკუთარი ღერძის ირგვლივაც - საათის ისრის ან საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ელექტრონის მდებარეობა ატომში განსაზღვრულია, თუ ვიცით, რა მანძილითაა ის დაშორებული ატომბირთვიდან, რა ფორმისა და სივრცული ორიენტაციის ორბიტალზე მოძრაობს, როგორ ბრუნავს საკუთარი ღერძის ირგვლივ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ,

ელექტრონის მდებარეობა ატომში განისაზღვრება მთელი რიცხვებით, რომლებსაც კვანტური რიცხვები ეწოდება. კერძოდ, ელექტრონი ატომში ხასიათდება ოთხი კვანტური რიცხვით: n - მთავარი კვანტური რიცხვი, l - თანაური კვანტური რიცხვი, m - მაგნიტური კვანტური რიცხვი და s - სპინური კვანტური რიცხვი.

ენერგეტიკული დონე: $n = 1, 2, 3 \dots\dots\dots$

მთავარი კვანტური რიცხვი $n = 1, 2, 3\dots$ (გვიჩვენებს ენერგეტიკული დონის ნომერს).

ქვედონე: $l = 0, 1, 2\dots\dots\dots (n-1)$

თანაური კვანტური რიცხვი, $l = 0, 1, 2, 3 \dots\dots\dots (n-1)$

I ენერგეტიკულ დონეზე ($n=1$) არის ერთი s ქვედონე, ანუ $l = 0$;

II ენერგეტიკულ დონეზე ($n=2$) არის ორი ქვედონე; ერთი s ($l = 0$) და ერთი p ($l = 1$);

III ენერგეტიკულ დონეზე ($n=3$) არის სამი ქვედონე: s ($l=0$) ქვედონე, p ქვედონე ($l=1$) და d ქვედონე ($l=2$).

ორბიტალი: $m_l = \pm l$ ანუ $\dots\dots -1, 0, +1\dots\dots$

მაგნიტური კვანტური რიცხვი, m_l

s ქვედონეს ($l=0$) აქვს ერთი ორბიტალი: $m_l = 0$

p ქვედონეს ($l=1$) აქვს სამი ორბიტალი: $m_l = -1, m_l = 0, m_l = +1$

d ქვედონეს ($l = 2$) აქვს ხუთი ორბიტალი: $m_l = -2, m_l = -1, m_l = 0, m_l = +1, m_l = +2$

სპინი

სპინური კვანტური რიცხვი, $m_s = +\frac{1}{2}$ ან $-\frac{1}{2}$

მოამზადა ნათია არაბულმა