

# Model i koncept atoma od antičke Grčke do 20. stoljeća

---

Zorić, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:312698>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Science](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

**Model i koncept atoma od antičke Grčke  
do 20. stoljeća**

Dino Zorić

Split, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

**Model i koncept atoma od antičke Grčke  
do 20. stoljeća**

Student:

Dino Zorić

Mentor:

doc. dr. sc. Marko Kovač

Neposredni voditelj:

dr. sc. Marin Vojković

Split, rujan 2024.

# Temeljna dokumentacijska kartica

Završni rad

Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Odjel za Fiziku  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

## Model i koncept atoma od antičke Grčke do 20. stoljeća

Dino Zorić

### SAŽETAK

Ovaj rad opisuje povijesni razvoj teorije atoma, prateći njezinu evoluciju od antičkih filozofskih koncepata do suvremenog modela. Počevši od grčkih filozofa poput Demokrita i Leukipa, koji su predložili postojanje nedjeljivih čestica (atoma) kao osnovnih gradivnih jedinica materije, rad se osvrće na odmak znanstvenika od atoma tokom Rimskog Carstva i ponovno oživljavanje atomskih ideja krajem srednjeg vijeka. Rad ističe bitne trenutke u razvoju atomizma, uključujući teoriju atoma Johna Daltona s početka 19. stoljeća, koja je pružila znanstvene temelje za koncept atoma, te otkrića subatomskih čestica krajem 19. i početkom 20. stoljeća od strane znanstvenika poput J.J. Thomsona, Ernesta Rutherforda i Nielsa Bohra. Cilj ovog rada je pokazati kako je teorija oblikovala naše razumijevanje tvari i svijeta oko nas.

**Ključne riječi:** atom, čestica, elektron

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilište u Splitu

**Rad sadrži:** 26 stranica, 10 slika, 18 literaturnih navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku.

**Mentor:** doc. dr. sc. Marko Kovač

**Neposredni voditelj:** dr. sc. Marin Vojković

**Ocjenivači:** doc. dr. sc. Marko Kovač

dr. sc. Marin Vojković, viši asistent

dr. sc. Nikola Vukman, viši asistent

**Rad prihvaćen:** rujan 2024

## **Basic documentation card**

Thesis

University of Split  
Faculty of Science  
Department of Physics  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

### **Model and the concept of the atom, from ancient Greece to the 20th century**

**Dino Zorić**

#### **ABSTRACT**

This paper describes the historical development of atomic theory and traces its evolution from ancient philosophical concepts to the modern model. Starting with Greek philosophers such as Democritus and Leucippus, who proposed the existence of indivisible particles (atoms) as the fundamental building blocks of matter, it discusses the decline of atomic ideas during the Roman Empire and their resurgence in the late Middle Ages. It highlights key moments in the development of atomism, including John Dalton's atomic theory in the early 19th century, which provided a scientific basis for the concept of atoms, and the discovery of subatomic particles in the late 19th and early 20th centuries by scientists like J.J. Thomson, Ernest Rutherford, and Niels Bohr. The aim of this paper is to show how atomic theory has shaped our understanding of matter and the world around us.

**Key words:** atom, particle , electron

Thesis deposited in library of Faculty of science, University of Split

**Thesis consists of:** 26 pages, 10 figures, 18 references. Original language: Croatian.

**Mentor:** Assistant professor, PhD Marko Kovač

**Supervisor:** PhD Marin Vojković

**Reviewers:** Assistant professor, PhD Marko Kovač

PhD Marin Vojković, Senior instructor

PhD Nikola Vukman, Senior instructor

**Thesis accepted:** september 2024



## Sadržaj

Uvod .....	2
1. Začetci ideje o atomima.....	3
1.1. Kina .....	3
1.2. Indija.....	4
2. Prve atomističke teorije .....	6
2.1. Grčka .....	6
2.2. Rimsko carstvo .....	9
2.3. Srednji vijek.....	10
2.4. Prijemoderno razdoblje.....	11
3. Moderni modeli atoma .....	13
3.1. John Dalton.....	13
3.2. Joseph John Thomson.....	14
3.3. Ernest Rutherford .....	16
3.4. Niels Henrik David Bohr.....	17
3.5. Moderni atom .....	18
Zaključak .....	20
Literatura .....	21

# Uvod

Cilj ovog rada je prikazati povijesni razvoj teorije atoma, jednog od najznačajnijih pojmova ne samo u fizici nego i u širem kontekstu prirodnih znanosti. Razvoj teorije atoma odražava stalnu ljudsku težnju za razumijevanjem osnovnih gradivnih elemenata svemira i ključan je za napredak različitih znanstvenih disciplina, uključujući kemiju, fiziku pa čak i biologiju. Rad se sastoji od tri dijela.

Prvi dio istražuje rane ideje o nedjeljivim česticama u starim civilizacijama. Ideja o temeljnoj, nedjeljivoj jedinici materije bila je neovisno predložena od strane mislilaca u Kini i Indiji mnogo prije nego što je formalizirana u kontekstu moderne znanosti.

Drugi dio bavi se atomističkim teorijama starogrčkih filozofa, posebice doprinosima Demokrita i Leukipa. Njihova vizija atoma kao najmanjih, nedjeljivih sastavnica tvari koje se kreću kroz prazninu bila je revolucionarna za njihovo vrijeme. Međutim, napredak atomističke misli bio je ometen stoljećima zbog dominacije Aristotelove filozofije, koja je odbacivala koncept atoma u korist ideje kontinuirane tvari. Ovaj zastoj u razvoju teorije atoma nastavlja se kroz srednji vijek, jer je znanstveno istraživanje bilo pod velikim utjecajem religijskih i filozofskih doktrina koje su više odgovarale Aristotelovim pogledima.

Treći i posljednji dio razmatra ponovno oživljavanje i nagli razvoj teorije atoma tijekom osamnaestog stoljeća i kasnije. Radovi četvorice ključnih znanstvenika – Johna Daltona, J.J. Thomsona, Ernesta Rutherforda i Nielsa Bohra – igrali su ključnu ulogu u razvoju atomističke teorije. Daltonova atomska teorija s početka 19. stoljeća postavila je temelje za razumijevanje kemijskih reakcija u smislu atoma i molekula. Thomsonovo otkriće elektrona dovelo je u pitanje ideju o nedjeljivim atomima i sugeriralo postojanje subatomske čestice. Rutherfordov eksperiment sa zlatnom folijom otkrio je postojanje guste atomske jezgre, a Bohrov model uveo je ideju kvantiziranih orbita elektrona, što je pomoglo objasniti atomske spektre i postaviti temelje moderne kvantne mehanike.



# 1. Začetci ideje o atomima

Prije nego li se počnemo baviti starogrčkim predstavnicima u razvoju ideje atoma reći ćemo nešto o idejama mislioca starih civilizacija Kine i Indije po tom pitanju.

## 1.1. Kina

Neki od prvih zapisa o ideji da postoji nešto oku nevidljivo što gradi sve oko nas potječu iz Stare Kine. Oni datiraju iz petog stoljeća prije Krista, u vrijeme kineske povijesti koje nazivamo Razdoblje zaraćenih država. U to doba Kina se sastojala od sedam nezavisnih država koje su se međusobno borile za dominaciju na istočnom dijelu Azije. To se doba smatra jednim od najplodnijih i najbitnijih razdoblja kineske povijesti zbog velikog razvoja filozofije, znanosti, poljoprivrede i postavljanja temelja političke uprave i kulture koja će se dalje razvijati u Kini sljedećih dva tisućljeća. Razdoblje zaraćenih država završava pobjedom države Qin i ujedinjenjem svih država pod dinastijom Qin. U tom razdoblju razvoja filozofije i znanosti, za ovu temu su bitna dva filozofa, Mo Di i Zhuang Zhuo. [17]

Mo Di (poznat i pod imenima Majstor Mo i Mozi) staro kineski filozof, rođen je u pokrajini Lu, unutar države Zhou. Osnovao je filozofsku školu Mohizam koja se bavi etikom, logikom i znanošću, a veliku važnost stavljaju na dijeljenje, društveni poredak i među poštovanje. Nama je bitan samo jedan mali dio njegovog rada, a to je pojam *duan*, kojeg definira i objašnjava u svojem dijelu *Mozi*. Pomoću današnjeg vokabulara, pojam *duan* bismo mogli objasniti kao infinitezimalno malen dio površine nekog tijela. [4]

Drugi filozof koji je bitan za ovu temu je Zhuang Zhou (poznat i kao Majstor Zhuang ili Zhuangzhi). Rođen u pokrajini Song unutar države Zhou. Tijekom svog života napisao je knjigu *Zhuangzhi*, koja će kasnije biti jedna od temelja taoizma. Unutar te knjige je zapisana jedna misao koja nam govori da je razmišljao od čega je svijet napravljen. Misao kaže da ako prepolovimo isti štapić svaki dan idućih deset tisuća generacija, još uvijek ćemo imati dio tog štapa. [5]

Ako promatramo razmišljanja ova dva filozofa i njihove misli koje sam naveo i ako uzmemo u obzir sve što znamo o atomima danas, onda bi njihove ideje teško mogli nazvati idejama o atomima. Stoga je normalno pitati zašto su oni navedeni ovdje. Razlog je

jednostavan, s obzirom na znanja koja su njima dostupna i vrijeme u kojem su živjeli, njihove ideje bih svrstao u začetke atomističke teorije. Oni ne govore o atomu kakvog mi znamo danas, ali daju ideju o postojanju nečeg malenog, oku nevidljivog što gradi sve oko nas.

## 1.2. Indija

Počeci teorija o atomima u staroj Indiji javljaju se par stoljeća prije Krista. U to doba u Indiji postoji šest hinduističkih filozofskih škola koje proučavaju materijalni i nematerijalni svijet. Od tih šest škola, nama su bitne dvije: Nyaya i Vaisešika. Škola Nyaya se bavi realizmom, logikom i analitikom. Djelo *Nyaya Sutrās* je djelo na kojem se temelje sve ideje škole Nyaya. Djelo je napisao staroindijski filozof Aksapada. Školu Vaisešika je utemeljio staroindijski filozof Kanada (nije poznato kada je točno živio, no pretpostavlja se između šestog i drugog stoljeća prije Krista). Škola proučava četiri elementa u staroindijskoj civilizaciji: vatra, voda, zemlja i zrak. Kanada u svome djelu *Vaisešika Sutra* iznosi ideje o nevidljivim česticama, koje zove *paramanu* (što indijska riječ za atom), a koje imaju neke sličnosti sa atomima i drugim fizikalnim idejama iz stare Grčke. Obe škole, međusobno neovisno, dolaze do sličnih zaključaka o svijetu i drugim idejama, što dovodi do njihovog spajanja u jednu školu. [1]

U hinduističkoj filozofiji se uzimaju četiri prethodno navedena elementa za osnovne elemente od kojih je sve drugo sačinjeno. Ne odbacuju ideju o atomima nego tvrde da osnovni elementi imaju različite atome koji ih grade. Staroindijski filozofi vjeruju da su atomi nevidljive čestice koje se mogu mijenjati, nastati iz ničega i biti uništene. Svaki od osnovnih elemenata ima neka svojstva koja ih karakteriziraju, pa tako vatra je vruća, voda je hladna,... Ta svojstva pripisuju atomima koji tvore pojedini element pa tako atomi vode nose hladnoću. Dva atoma se ne mogu spojiti u jedan, ali se mogu miješati i povezivati na različite načine. Činjenicu da se dva atoma ne mogu spojiti u jedan objašnjavaju na slijedeći način: svaki atom zauzima neki prostor (koliko god on malen bio) i stoga dva atoma ne mogu zauzimati isti prostor u isto vrijeme. Način na koji se atomi povezuju indijski filozofi ne znaju objasniti. Svjesni su, iz svakodnevnog života, da miješanjem vode i zemlje se dobije blato koje ima nova svojstva, različita od vode i zemlje. Njihovi filozofski stavovi traže da se tvrdnje mogu dokazati iskustveno ili pokusom, pa iako imaju rješenje za problem miješanja atoma ono im nije prihvatljivo. Staroindijski filozof Vatsyayana, član škole Nyaya, daje svoju ideju o rješenju problema. Teoriju o miješanju

atoma povezuje sa šumom. Ako gledamo šumu izdaleka, ne možemo razaznati svako stablo u njoj pa tako i u tvarima ne možemo vidjeti svaki atom unutar te tvari. Škole Nyaya i Vaisešika razmišljaju i o gibanju atoma. Smatraju da su gibanja atoma posljedica božje volje. Njihovo proučavanje gibanja materije i uzroka gibanja podsjećaju na današnja objašnjenja gibanja pomoću sila. Dušu i vrijeme ne smatraju materijalnim „elementima“, što ih razlikuje od ostalih škola. [1]

Osim Nyaya-Vaisešika, budisti isto daju svoje ideje vezane uz atomizam. Atomi u budističkoj teoriji se nazivaju *dharmama* i nisu čestice već događaji. Ti događaji ne moraju biti fizikalni, nego mogu biti i mentalni. Smatraju da svojstva koje materija ima nisu povezana sa atomima nego su posljedica naših osjeta. Poriču da postoji neka osnovna tvar koja povezuje različita svojstva koja materija može imati (npr. miris, okus, boja,...). To objašnjavaju koristeći analogiju s pojmom rečenice: ako izoliramo riječi unutar rečenice, one nemaju puno smisla, no kada ih povežemo u rečenicu one dobivaju smisao. Razmatraju i gibanje atoma, no ne daju smislen odgovor. Unatoč tome, ideje i zaključci do kojih su došli kasnije će pomoći drugim školama da dođu do boljih ideja o gibanju atoma. [1]

Bitno je još izdvojiti jednu teoriju o atomima koju povezujemo uz religiju Džanizam. Oni smatraju (po prvi puta povijesti) da su sve tvari napravljene od iste čestice, za razliku od prethodne dvije teorije koje razlikuju atome za četiri osnovna elementa. Razlike u svojstvima materije posljedica su različitog broja ili načina povezivanja tih čestica. Prema njima, te čestice tvore i prostor i vrijeme. Smatraju da duša postoji i da atomi mogu direktno utjecati na nju. [1]

## 2. Prve atomističke teorije

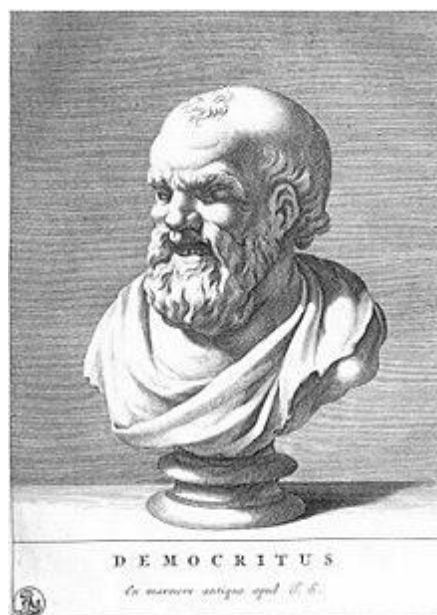
U ovom ćemo poglavlju detaljnije razraditi kako su starogrčki filozofi i znanstvenici promišljali o svijetu oko sebe i kakve su im ideje o atomima padale napamet.

### 2.1. Grčka

Veliki broj zapisa o atomizmu drevnih naroda pronađeni su u Grčkoj. Sama riječ atom dolazi od grčke riječi atomos što znači nedjeljiv. Veliki broj grčkih filozofa o atomima počinje razmišljati u petom i četvrtom stoljeću prije Krista. Grčki filozofi se slažu da se atomi gibaju kroz prazninu, da se međusobno sudaraju, povezuju i odbijaju. U pronađenim zapisima iz tog doba, osoba koja se prva povezuje s proučavanjem atoma i idejama o oku nevidljivim česticama je Mochus iz Sidona, no on se ne uzima za osnivača atomizma. Ta titula pripada Leukipu. [1]

**Leukip** je bio grčki filozof koji je živio u petom stoljeću prije Krista. O njegovom životu se ne zna puno, no njegove ideje i mišljenja zapisao je i dijelio njegov učenik **Demokrit**<sup>1</sup>.

Tijekom svog života napisao je dva dijela *O umu* i *Veliko uređenje svijeta*. Leukip je smatrao da se svijet sastoji od atoma i praznog prostora. Za razliku od indijskih teorija, Leukip je vjerovao da atomi ne mogu nastati iz ničega, da su neuništivi i nepromjenjivi. Atome dijeli prema obliku i veličini, a one sa istim oblikom i veličinom smatra istim atomima. Gibanjem kroz prostor, atomi se mogu povezivati u gomile koje tvore svu materiju pa tako i sve stvari oko nas. Tvrdi da se atomi ne mogu prestati gibati, odnosno da su se uvijek gibali i da će se



Slika 2.1 Demokrit

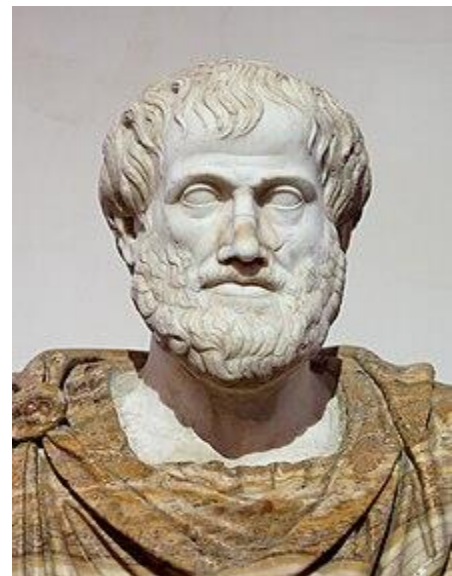
---

<sup>1</sup> Slika preuzeta sa Wikipedia (<https://hr.wikipedia.org/wiki/Demokrit>)

nastaviti gibati zauvijek. Svojstva koja će te gomile atoma imati, a tako i materija oko nas, ovisi o veličini i obliku atoma. Različita agregatna stanja objašnjava na slijedeći način; agregatna stanja tvari ovise o udjelu praznog prostora među atomima te tvari. Više praznog prostora smanjuje čvrstoću materije pa ako između atoma ima dosta praznog prostora, onda se tvar koja je sačinjena od tih atoma nalazi u tekućem stanju. Osim povezivanja atoma, razmatra i sudare atoma. Smatra da se pri sudaru dva atoma, ti atomi ne mogu spojiti u jedan nego se odbiju i nastave gibati kroz prazan prostor. Pomoću atoma pokušava objasniti kako nastaju podražaji koje ljudi osjete. Uzmimo za primjer dodir, smatra da kada površinski sloj atoma predmeta kojeg diramo i naše kože stupe u kontakt, taj površinski sloj predmeta se guli i prelazi na kožu pa te atome naši osjetilni organi detektiraju i pomoću njih nam daju informacije o predmetu ili okolini. Boje koje mi vidimo ovise o razmještaju atoma, a okusi o obliku atoma (šiljasti atomi nam daju ljuti i gorki okus, dok obli atomi daju sladak okus). [1]

**Platon** je veliki grčki filozof, rođen u Ateni u uglednoj plemićkoj obitelji na samom kraju petog stoljeća prije Krista. U mladosti se bavio pjesništvom i govorništvom, no kasnije svoja dijela uništava. Svoje filozofsko obrazovanje dobiva od Sokrata. Tijekom svog života proputovao je cijeli Mediteran i došao u kontakt sa različitim kulturama. Odlučio je, u Ateni, osnovati filozofsku školu koju je nazvao Akademija. U svome dijelu *Timeaus* iznosi svoje ideje o atomima. Vjeruje u četiri osnovna elementa (vatra, voda, zemlja i zrak), a atomi koji grade te elemente su sastavljeni od pravokutnih i jednakokračnih trokuta. Pomoću takvih trokuta moguće je izgraditi bilo koje geometrijsko tijelo, pa na taj način objašnjava kako se miješanjem elemenata dobiju nove tvari. Reorganizacijom trokuta unutar atoma dobivamo nove strukture koje mogu imati neka nova svojstva različita od svojstava elemenata koje ih tvore. [1]

<sup>2</sup>No, nisu svi Grci bili pobornici teorije o atomima. Najistaknutiji protivnik atomističkih teorija je **Aristotel**, filozof i znanstvenik iz četvrtog stoljeća prije Krista.



Slika 2.2 Aristotel

---

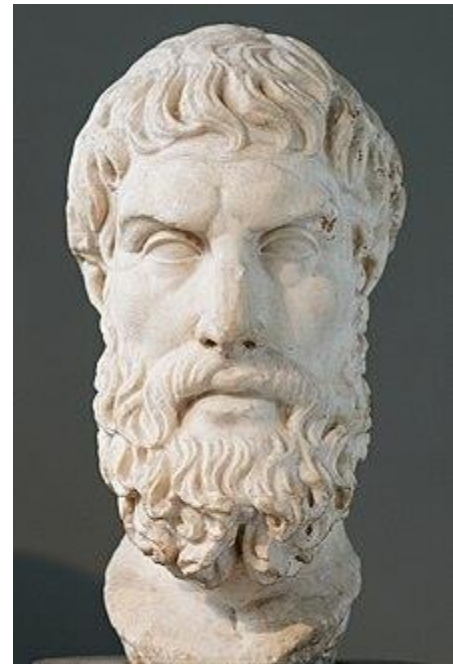
<sup>2</sup> Slika preuzeta sa Wikipedia (<https://en.wikipedia.org/wiki/Aristotle>)

Podrijetlom je iz ugledne liječničke obitelji. Školuje se u Platonovoj Akademiji gdje ostaje dvadesetak godina. Kasnije postaje osobni učitelj i odgojitelj mladog Aleksandra Velikog. Vraća se u Atenu i osniva svoju filozofsku školu Likej. Nakon Aleksandrove smrti optužen je za bezboštvo te je prognan iz Atene. Odlazi na otok Halkidu i tamo umire nakon godinu dana. U svojim djelima Aristotel prihvaća postojanje najmanjeg u prirodi. Tvrdi da postoji najmanja količina materije potrebna da od nje nastane neki oblik tkiva. Svako to

tkivo zahtjeva određene omjere zemlje, zraka, vatre i vode od kojih je sastavljeno. Smatra da su te količine materije kontinuirane i djeljive u svakoj točki. Otvoreno se suprotstavlja Platonovim i Demokritovim idejama. Ne slaže se sa idejom da je sve sastavljeno od trokuta jer smatra da trokuti nemaju masu za razliku od tvari oko nas. Pa ako je sve oko nas sastavljeno od trokuta, onda sve oko nas ne bi trebalo imati masu. [14]

**Diodor Kron** grčki je dijalektičar i filozof rođen sredinom četvrtog stoljeća prije Krista. Iako se primarno dijalektikom, tijekom svog života iznosi i ideje vezane za atome. Postojanje atoma pokušava dokazati na slijedeći način; kaže da ako fiksiramo neku udaljenost između nas i predmeta, taj predmet možemo ili vidjeti jer je dovoljno blizu ili ne vidjeti jer je predaleko. Za svaki predmet, neovisno o njegovoj veličini, postoji udaljenost kada se on nalazi na granici vidljivosti, to jest ako se samo malo udalji postane nevidljiv. Odnosno, za svaki predmet postoji najmanja udaljenost s koje je vidljiv, a svaki manji predmet od tog nam je nevidljiv sa te najmanje udaljenosti. Ako nastavimo smanjivati predmet taj oku nevidljiv predmet, u jednom trenutku ćemo dobiti atom. Pretpostavlja da ne postoji jedinstveni atom koji gradi sve oko nas i da se atomi razlikuju po svojim dijelovima. Prihvaća ideju da se atomi beskonačno gibaju kroz prazan prostor, sudaraju se i time mijenjaju svoj smjer. [1]

**Epikur**<sup>3</sup> je bio jedan od najznačajnijih grčkih filozofa u helenističkom dobu. Živio je u četvrtom stoljeću prije Krista. Filozofiju je učio od Demokritovih i Platonovih sljedbenika. Krajem četvrtog stoljeća prije Krista seli se



Slika 2.3 Epikur

---

<sup>3</sup> Slika je preuzeta sa Wikipedia (<https://en.wikipedia.org/wiki/Epicurus>)

u Atenu gdje osniva filozofsku školu. Informacije o njegovom životu, ali i o njegovim idejama dobili smo iz epikurejske knjižnice koja je bila zakopana nakon vulkanskih erupcija. Pretpostavlja se da svojom teorijom o atomima pokušava zadovoljiti Aristotelove kritike Demokritove teorije. Epikur (slično kao i Demokrit) vjeruje da postoje krute i nevidljive čestice koje grade našu okolinu i prazan prostor koji te čestice ne zauzimaju. Smatra da atomi nisu najmanje čestice već da su atomi izgrađeni od nečeg manjeg. Podržava ideju da se atomi beskonačno gibaju istom brzinom, a sudaranjem mijenjaju smjer. Smatra da se u svemiru atomi gibaju „prema dolje“ odnosno da padaju. [7]

Bitno je još izdvojiti i **Heron** iz Aleksandrije. Heron je najpoznatiji po svojim doprinosima u matematici, ovaj veliki grčki matematičar i filozof iz prvog stoljeća, prvi daje ideju o elastičnim svojstvima atoma. Osim što se atomi mogu povezivati i odbijati, Heron smatra da se atomi mogu zbiti i raširiti pod utjecajem vanjskih čimbenika te da se ti deformirani atom nastoje vratiti u prvobitno stanje gdje nisu bili deformirani. [1]

## 2.2. Rimsko carstvo

Istovremeno sa razvojem stare Grčke, na apeninskom poluotoku nastaje Rimsko kraljevstvo (kasnije Rimsko carstvo). Malo po malo, Rimljani osvajaju teritorije diljem Mediterana, pa tako i Grčku. Na vrhuncu svojeg postojanja, Rimljani su uspješno osvojili cijeli Mediteran, ali i druge dijelove Europe. Na taj je način rimsko carstvo apsorbiralo različite kulture (npr, egipatsku, grčku,...), pa tako i filozofe i njihove ideje. Rimljane zanima samo praktična primjena znanosti i filozofije u svakodnevnom životu. Njihov cilj bio je napraviti što veću i moćniju državu, stoga, u to vrijeme ideja o atomima polako nestaje.

**Tit Lukrecije** rimski je pjesnik i filozof koji je živio i radio u Rimu u prvom stoljeću prije Krista. O njegovom životu se jako malo zna, ali za atomizam je jako bitan, jer nakon dužeg perioda u kojem nema velikog interesa o atomima, Lukrecije oživljava Epikurove ideje. Napisao je djelo *O prirodi* koje se sastoji od šest knjiga. U tom djelu opisuje Epikurova razmišljanja o atomima i sve njegove ideje vezane za fiziku i matematiku. Zbog toga se ova knjiga smatra najpouzdanijim izvorom za epikurejsku fiziku. Zanimljivo je da u svome djelu nikada ne koristi riječ atomos iako upravo o njima piše. U prvoj knjizi uvodi osnovne principe grčkog sistema svijeta, odnosno ideju o atomima i praznom prostoru, kako atomi

ne mogu biti uništeni mora postojati granica do koje bilo koju tvar možemo usitniti. U drugoj knjizi Lukrecije iznosi ideje o postojanju atoma i odbija ideju da većinu svojstva nose atomi (npr. boja, miris,...). Također, razmatra gibanje atoma i atomske oblike. Smatra da se atomi gibaju konstantnom, jako velikom brzinom jer u praznom prostoru ne osjećaju otpor. Atomski sudari ne usporavaju atome nego samo mijenjaju njegov smjer gibanja. Smatra da postoji veliki broj različitih oblika atoma koji se jako malo razlikuju. Samo potpuno identični atomi mogu se smatrati istim atomom. Ostale četiri knjige sadrže teme poput smrti, postanka svemira i objašnjavanja meteoroloških pojava. [6]

**Galen** je bio grčki fizičar i filozof rođen u Pergamu, gradu na području današnje Turske. Rođen je početkom drugog stoljeća nakon Krista u bogatoj obitelji što mu je omogućilo da dobije dobro obrazovanje. U mladosti se bavio filozofijom i književnošću, a kasnije ga počinje zanimati medicina po čemu je najviše zapamćen u povijesti. Putuje u Aleksandriju, tada najveće medicinsko središte na svijetu. Tamo provodi više od deset godina učeći o medicini. Nakon Aleksandrije, Galen se kratko vraća u svoj rodni grad te nekoliko godina kasnije ide u Rim. U Rimu postaje dobro poznat liječnik. Car Marko Aurelije ga stavlja na poziciji carskog fizičara. Svoja zadnja dijela piše na samom početku trećeg stoljeća, a prema arapskim izvorima, umire oko 220 godine. Tijekom svojeg života, oživljava grčka razmišljanja o atomima, posebno teorije vezane za Epikura. Galen vjeruje u teoriju o četiri elementa (vatra, voda, zemlja, zrak) i ova četiri elementa smatra tjelesnim elementima. U njegovim radovima, radi lakšeg objašnjenja, koristi se elementima vezanim za svojstva tvari. Pa tako umjesto vatre priča o toplini, umjesto zraka o hladnoći, umjesto zemlje o suhoći, a vodu mijenja u vlažnost. Ove zamjene najčešće koristi u svojim medicinskim tekstovima. [8]

### **2.3. Srednji vijek**

Nakon pada Zapadnog Rimskog Carstva u petom stoljeću, u Europi kreće razdoblje koje nazivamo Srednji vijek. Srednji vijek je obilježen barbarskim napadima, feudalizmom i velikim epidemijama. Na teritorijima Zapadnog Rimskog Carstva nastaju nove države koje međusobno ratuju za prevlast na europskom kontinentu. Ako uz to uzmemo u obzir činjenicu da medicina još nije dovoljno razvijena dobijemo doba europske povijesti u kojem se broj stanovnika na kontinentu poprilično smanjio. U srednjem vijeku dolazi do velikog odmak od antičke kulture čime se gube i ideje o atomima. No, ideje o atomima



ponovo će se pojaviti u sedamnaestom stoljeću kada znanstvenici počnu proučavati antičke spise, pogotovo Aristotelovu fiziku i Epikurov atomizam. [18]

## 2.4. Prijemoderno razdoblje

Srednji vijek završava sa petnaestim stoljećem, a često se za njegov kraj uzima 1492., godina kada je otkrivena Amerika. To je razdoblje renesanse u Europi, budi se interes o antici. Oživljavaju se brojne grane umjetnosti i znanosti koje su tada dominirale, pa tako i atomizam. Glavne ideje koje se razmatraju Epikurova su teorija o atomima i Aristotelova kritika na ostale grčke teorije.

**Galileo Galilei**<sup>4</sup> talijanski je matematičar, fizičar, astronom i filozof, rođen 1564. godine u Pizi. Početkom 1570.-ih, obitelj se seli u Firencu gdje nastavlja živjeti sljedeći nekoliko generacija. Galilei pohađa samostansku školu, a kasnije studira na sveučilištu u Pizi. Želio se baviti medicinom, ali planove mijenja nakon što se zaljubio u matematiku. Proučava Aristotelovu fiziku čije dijelove odbacuje nakon što je pokazao da tijela različitih masa slobodno padaju različitim brzinama. Zanima ga i astronomija nakon što je naćuo da postoji aparat koji može približiti objekte



Slika 2.3 Galileo Galilei

ako ih promatramo kroz njega. Na temelju te ideje, izradio je svoj teleskop kojeg je kasnije usavršavao. Podupire Kopernikovu teoriju da se Zemlja vrti oko Sunca, zbog čega je imao problema sa Crkvom. Pred kraj života postaje bolestan i gubi vid, te umire 1642. godine. U djelu *Il saggiatore* iznosi ideje o kometima, a nekoliko paragrafa podsijecaju na atomizam. Zbog kontraverznih ideja ovo je djelo zabranjeno od strane Inkvizicije. Problemi s Inkvizicijom ne sprječavaju ga u pisanju o atomima, pa 1638. godine izdaje djelo *Itorno a due nuove scienze* koje se sastoji od dva dijela. Prvi dio se bavi prirodom materije, a drugi dio gibanjem. Pokušava sve opisati pomoću matematike, pa tako odbacuje ideju o konačnim atomima jer ih ne može prikazati kao kontinuirano djeljive matematičke veličine. Zato smatra da je materija sastavljena od beskonačno mnogo nedjeljivih toćaka,

---

<sup>4</sup> Slika preuzeta sa Wikipedia ([https://hr.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_Galilei](https://hr.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei))

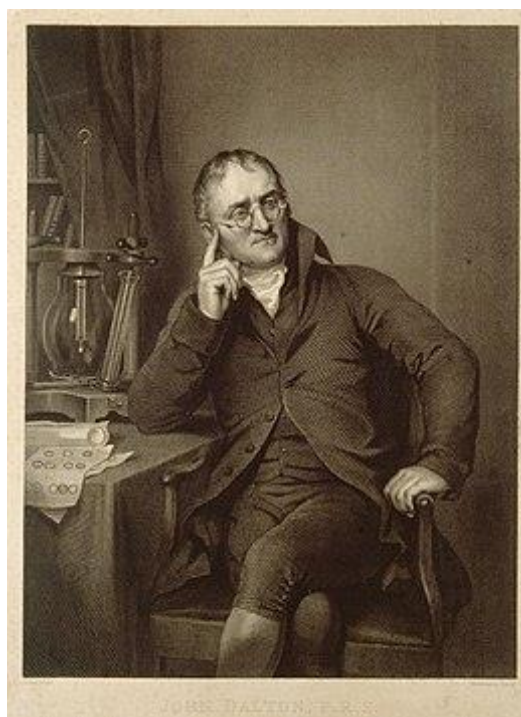
što mu omogućava prikazati matematičke račune za različita svojstva materije, kao na primjer gustoću. [9]

### 3. Moderni modeli atoma

U ovom poglavlju ćemo detaljnije obraditi četiri znanstvenika koji su u kratkom vremenskom periodu svojim doprinosima u razvoju atomističke teorije gotovo u cijelosti riješili sve probleme atomizma.

#### 3.1. John Dalton

John Dalton<sup>5</sup> engleski meteorolog i kemičar, rođen 1766 godine smatra se pionikom modernog razvoja teorije o atomima. Pohađa gimnaziju Johna Flethera u Eaglesfieldu. Samo nekoliko godina kasnije, Dalton počinje podučavati u školi svog starijeg brata. Uz pomoć svojih mentora Elihua Robinsona i John Gougha uspješno savladava osnove matematike, grčkog i latinskog, a kasnije od njih dobiva i osnovno znanje o meteorologiji. 1793. godine postaje profesor matematike na sveučilištu u Manchesteru. Ubrzo postaje članom književnog i filozofskog društva. Tu iznosi svoje otkriće o nemogućnosti raspoznavanja boja ili kako to danas zovemo daltonizam. Početkom



Slika 3.1 John Dalton

devetnaestog stoljeća smanjuje broj svojih istraživanja. Royal Society, jedan od najprestižniji znanstvenih krugova, odbija 1838. godine prihvatiti njegov rad, što ga je dodatno pogodilo. No, njegova teorija o atomima postaje sve popularnija i Daltonu vraća ugled. Zbog svojih postignuća u kemiji, meteorologiji i teoriji atoma, dobiva počasnu diplomu na sveučilištu Oxford, a kasnije postaje članom Royal Societya u Londonu i

---

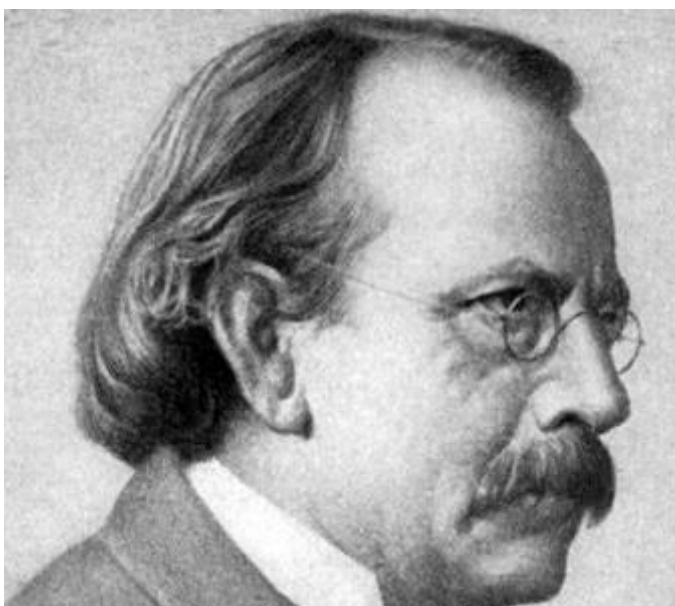
<sup>5</sup> Slika preuzeta sa Wikipedia ([https://ast.wikipedia.org/wiki/John\\_Dalton](https://ast.wikipedia.org/wiki/John_Dalton))

Edinburgu. Nedugo nakon toga, postaje jedan od osam stranaca koji su uvršteni u francusku Akademiju znanosti. Umire 1844. godine u Manchesteru. [10]

U prošlosti ostaje zapamćen po svojoj teoriji o atomima. U Manchesteru ima jako dobre uvjete za proučavanje meteorologije i meteoroloških pojava, kao što je miješanje plinova u zraku i apsorpcija vodene pare u zraku. Nakon provođenja nekoliko pokusa u različitim uvjetima i s različitim količinama pare, dolazi do zaključka da količina apsorbirane vodene pare ne ovisi o gustoći zraka. Smatra da se zrak sastoji od mješavine plinova. [10] Od tu dolazi prvi Daltonov postulat o teoriji atoma, a glasi „Elementi se sastoje od nedjeljivih malih čestica- atoma“. Kako bi dokazao svoju teoriju pokušava pronaći način kako izmjeriti masu različitih elemenata u zraku. Mjerenjem masa elemenata dolazi do otkrića o složenim elementima koje danas nazivamo molekule. Dalton tvrdi da atomi ne mogu nastati iz ničega i ne mogu biti uništeni. Svi atomi istog elementa su isti, različiti elementi imaju različite atome. [11]

### 3.2. Joseph John Thomson

Joseph John Thomson <sup>6</sup>rođen je 1856. godine u predgrađu Manchestera. Svoje obrazovanje započinje na fakultetu Owens u Manchesteru, a kasnije prelazi na Cambridge. 1884. godine postaje počasni profesor fizike na Cambridge-u. Njegova najvažnija dostignuća su otkriće elektrona i Thomsonov model atoma. Vrlo



Slika 3.2 Joseph John Thomson

rano razvija interes za atome što se može naslutiti u njegovom djelu *Treatise on the Motion of vortex*

*rings*. 1892. godine izdaje *Notes on Recent Researches of Dynamics to Physics and Chemistry* za koje se često govori da je treća Maxwelllova knjiga. Često putuje u Ameriku

---

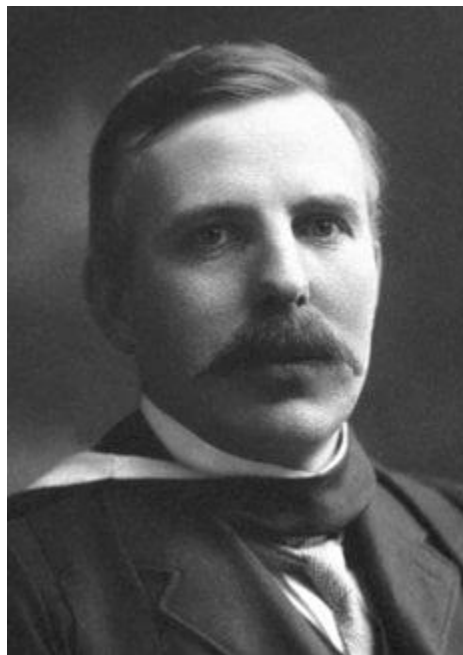
<sup>6</sup> Slika preuzeta sa Britannica (<https://www.britannica.com/biography/J-J-Thomson>)

gdje drži predavanja na uglednim sveučilištima. Koristeći katodne zrake dolazi do svojeg najvećeg otkrića- elektrona. Svoje istraživanje i rezultate iznosi pred Royal Institution-om, a knjigu *Conduction of Electricity through Gases* izdaje 1903. godine sa svim objašnjenjima vezanim uz otkriće elektrona. Nekoliko godina kasnije pronalazi način kako molekule razbiti na atome. Dobitnik je brojnih nagrada, 1906. godine dobiva Nobelovu nagradu za fiziku, a 1908. godine od Engleskog dvora dobiva *Order of Merit* i službeno je proglašen vitezom. Od brojnih sveučilišta na kojima je držao predavanja ili provodio eksperimente dobiva počasnu diplomu, a neka od njih su Oxford, London, Dublin, Cambridge, Athens, Oslo, Philadelphia i mnoga druga. Umire 1940. godine u Cambridgeu. [13]

Do otkrića elektrona dolazi pomoću dva pokusa sa katodnim zrakama. Brojni znanstvenici proučavaju katodne zrake prije Thomsona. Prije početka svojih pokusa Thomson zna da ako se u vakumskoj cijevi katoda i anoda spoje na bateriju staklo iza anode će svijetliti. Stoga Thomson ide jedan korak dalje, u isti taj eksperiment dodaje još i magnetsko polje. U pokusu primjećuje da zakretanje katodnih zraka uzrokuje zakretanje toka naboja. Iz ovog pokusa izvlači prvi važni zaključak da su katodne zrake sačinjene od negativni čestica. U drugom pokusu želi odrediti omjere mase i naboja tih čestica na katodnim zrakama. Ovaj pokus provodi više puta, a u svakom novo izvođenju mijenja metal od kojeg su katoda i anoda napravljene. Kao rezultat dobiva da neovisno o metalu kojeg koristi u pokusu, omjer mase i naboja je približno jednak, a taj omjer je otprilike tisuću puta manji nego kod vodikovog iona. Iz ovih pokusa zaključuje da postoje čestice manje od atoma koje su nositelji negativnog naboja. Thomson te čestice naziva samo čestice, no s vremenom dano im je ime elektron. Jedan od Daltonovih postulata, koji govori da su atomi nedjeljivi, više nije dobar jer je pronađena čestica koja je sastavni dio svakog atoma, a manja je od njega. Za atome se znalo da su oni neutralno nabijeni, odnosno nemaju naboj. Stoga Thomson tvrdi da unutar svakog atoma mora postojati nešto pozitivno nabijeno kako bi se naboji elektrona i tog nečeg mogli poništiti. Thomson predlaže model atoma u kojem se negativno nabijeni elektroni slobodno kreću unutar pozitivnog naboja. Ovaj model se još naziva i model pudinga, zbog očite sličnosti u opisu kao i popularan Engleski desert puding sa šljivama. Ovaj model će brzo biti zamijenjen jer pomoću njega nije moguće objasniti rezultate eksperimenata drugih znanstvenika u narednom desetljeću. [12]

### 3.3. Ernest Rutherford

Ernest Rutherford <sup>7</sup>rođen je 1871. godine u gradu Nelson na Novom Zelandu. Osnovno obrazovanje dobiva u državnim školama, a sa šesnaest godina počinje pohađati Nelson Collegiate School. Svoje obrazovanje nastavlja na University-ju of New Zealand i Canterbury College-u. 1893, godine diplomira fiziku i matematiku. 1894. godine dobiva stipendiju koja mu omogućuje odlazak na Trinity Colledge u Cambridge-u gdje uči od Thomsona. Tijekom svog boravka u Cambridge-u, izumio je detektor za elektromagnetsko zračenje. Krajem devetnaestog stoljeća seli se u Kanadu i preuzima katedru za fiziku na McGill University-u. Tu nastavlja svoja proučavanja vezana za



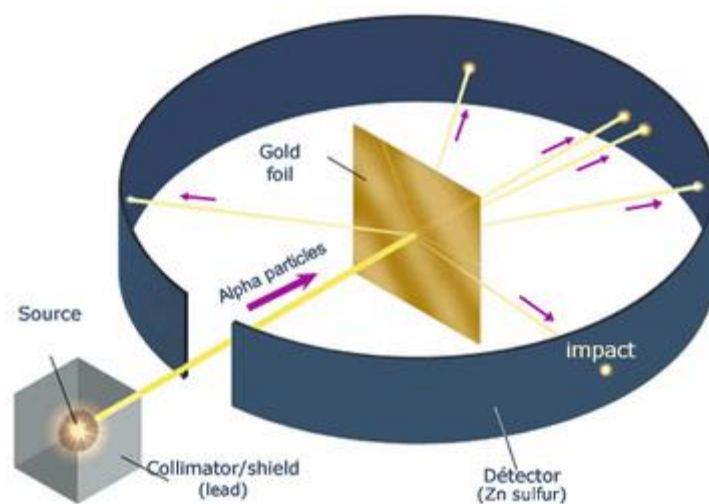
Slika 3.3 Ernest Rutherford

radioaktivnost uz dva asistenta Fredericka Soddyja i Otta Hahna. 1907. godine vraća se u Englesku, točnije u Manchester gdje dobiva poziciju profesora fizike. Zajedno sa Hansom Geigerom i Ernestom Marsdenom provodi pokuse nad alfa česticama. Pomoću brojnih eksperimenata dolaze do otkrića atomske jezgre. Nedugo nakon tog otkrića na istraživanjima, mu se pridružuje Niels Bohr, koji kasnije i sam daje svoj model atoma. Rutherford se povlači sa sveučilišta 1919. godine. Dobitnik je Nobelove nagrade za fiziku 1908. godine, proglašen je vitezom 1914., a 1925. godine dobitnik je Order of Merit. Umro je 1937. godine u Cambridge-u. [15]

Eksperiment koji povezujemo s njegovim imenom je eksperiment s zlatnom folijom. Taj pokus kakvog danas učimo na predavanjima nikada nije proveden, ali radi jednostavnosti prenošenja biti je prihvaćen. Rutherford, zajedno sa H. Geigerom i E. Marsdenom provodi nizove pokusa na alfa česticama. Cilj im je opisati raspršenja alfa čestica u zraku i pri sudaru sa nekim drugim materijalom. Zlatni listić stavljen je unutar detektora te se u taj zlatni listić pusti snop alfa čestica.

---

<sup>7</sup> Slika preuzeta sa <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1908/rutherford/biographical/>



Slika 3.4 Eksperimentalni uređaj Rutherfordovog pokusa

Rutherford je pretpostavio da će gotovo sve alfa čestice proći kroz zlatni listić. No to se nije dogodilo. U eksperimentu je velika većina alfa čestica zaista prošla kroz zlatni listić, ali mali broj čestica se odbio od zlata za kut veći od  $90^\circ$ . To je bio jako neočekivan rezultat eksperimenta i očit signal da nešto nije dobro s Thomsonovim modelom atoma. Stoga Rutherford predlaže novi model atoma. On tvrdi da se svaki atom sastoji od teške jezgre u kojoj se nalazi sav pozitivan naboj dok elektroni kruže oko jezgre. Iz rezultata svojih istraživanja Rutherford zaključuje da jezgra zauzima samo mali dio cijelog atoma. Vrlo brzo javljaju se problemi s ovim modelom, a njih će pokušati riješiti Bohr. [12]

### 3.4. Niels Henrik David Bohr

Niels Henrik David Bohr<sup>8</sup> rođen je 1885. godine u Kopenhagenu u Danskoj. Svoje obrazovanje započinje u Gammelholm Grammar School, a diplomu i doktorat iz fizike dobiva na Sveučilištu u Kopenhagenu. Vrlo brzo dolazi u dodir s Planckovom kvantnom fizikom koja ga jako intrigira. 1911. godine odlazi na Cambridge gdje uči od Thomsona i Rutherforda. Objavljuje rad o apsorpciji alfa zraka 1913.



Slika 3.5 Niels Bohr

<sup>8</sup> Slika preuzeta sa <https://atomicmodeltimelinervmf.weebly.com/niels-bohr.html>

godine koje su u to vrijeme interesirale znanstvenike. Nedugo nakon što je Rutherford objavio svoj model atoma, Niels Bohr počinje proučavati atomske strukture. Probleme Rutherfordovog modela pokušava objasniti korištenjem nekih koncepata Planckove kvantne fizike na atomima. Dobiva 1922. godine Nobelovu nagradu za fiziku za rad na strukturi atoma. Od 1930-ih pa nadalje proučava jezgre atoma, njihovo raspadanje i promjenljivost. Tijekom Drugog svjetskog rata bježi prvo u Švedsku pa onda u Englesku i Ameriku. U Americi dolazi u doticaj s projektom o izgradnji atomske bombe. Pred kraj svog života vraća se u Kopenhagen gdje umire 1962. godine. [16]

Bohr je svjestan problema kolapsa atoma. U Rutherfordovom modelu elektroni se mogu gibati bilo gdje oko jezgre te ih ništa ne sprječava da kontinuiranim kruženjem oko jezgre gube energiju. Gubitak energije bi značio da bi se taj elektron počeo gibati putanjom koja je bliža jezgri sve dok ponovo ne izgubi dovoljno energije da mora smanjiti putanju. Prema tome, nakon nekog vremena elektron ne bi imao dovoljno energije da napravi krug oko jezgre te bi upao u nju, drugim riječima atom bi kolapsirao. To bi značilo da su atomi nestabilne prirode, što također nije istina. Eksperimentima je davno pokazano da su samo radioaktivni atomi nestabilni, a iz ovakvog modela nestabilni bi bili svi atomi. Kako bi riješio taj problem, Bohr tvrdi da energije koje elektroni mogu imati nisu kontinuirane već kvantizirane. Elektrone smješta u posebne orbitale koje odgovaraju određenim kvantiziranim energetske nivoima po kojima one kruže oko jezgre. U jednoj orbitali ne mogu biti svi elektroni nego najviše dva (dva elektrona koji imaju spinove obrnutih predznaka). Orbitale se popunjavaju od najnižih energetske nivoa prema višim. Ako elektron primi energiju, on može iskočiti iz svoje orbitale u orbitalu s više energije, ali se nastoji vratiti u prvobitno stanje. Višak energije ispušta u obliku fotona. Stanja u kojima elektroni nastoje biti nazivamo osnovna stanja, a ostala stanja pobuđenim stanjima.

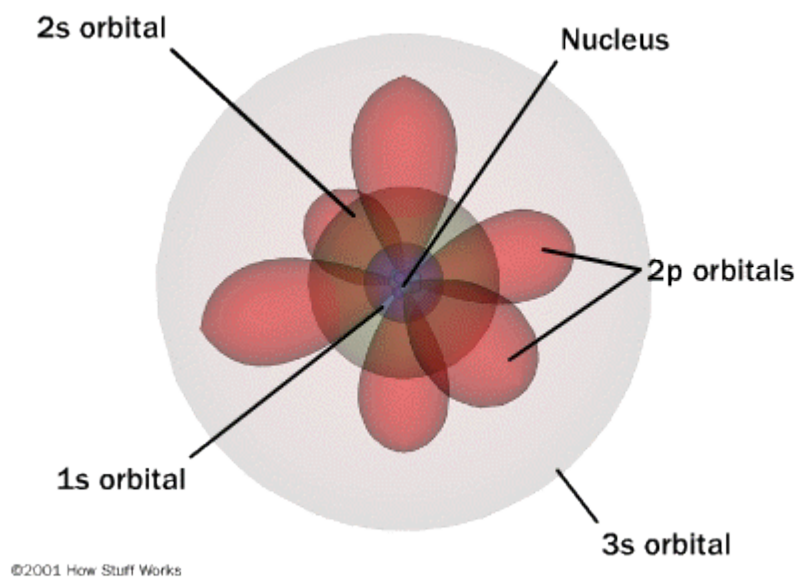
### **3.5. Moderni atom**

Moderni model atoma sastavljen je od male jezgre koja je okružena elektronskim oblakom. Jezgra atoma nalazi se u njegovom središtu, sastoji se od pozitivno nabijenih protona i neutralnih neutrona, te sadrži gotovo svu masu cijelog atoma. U elektronskom se oblaku negativno nabijeni elektroni gibaju oko jezgre po orbitalama. Za razliku od Bohrovog modela gdje elektroni imaju točno određene putanje, moderni atom uzima u obzira Heisenbergove relacije neodređenosti pa se elektronima ne može točno odrediti položaj nego samo vjerojatnost da se nađu u nekom prostoru. Raspodjela elektrona i njihove



energije određene su kvantnim brojevima (glavnim, angularnim, magnetskim, spinskim). Rasporedi elektrona po orbitalama određuju kemijska svojstva elementa i način povezivanja s drugim elementima u molekule.

9



Slika 3.6 moderni model atoma s prvih nekoliko orbitala

---

<sup>9</sup> Slika preuzeta sa <https://socratic.org/questions/why-is-the-modern-day-quantum-model-of-the-atom-better-than-john-dalson-s-model>

## Zaključak

Prve ideje o nevidljivim česticama koje grade sve oko nas pojavljuju se na nekoliko mjesta u svijetu u otprilike isto vrijeme. Najveći broj ideja, a i sam naziv atom potječe iz stare Grčke. Većina starogrčkih filozofa smatra da se svijet oko nas sastoji od nedjeljivih čestica-atoma, ali je važno naglasiti Aristotelov opozicijski stav- da je sve oko nas dobiveno miješanjem četiri elementa (vatra, voda, zemlja, zrak). Rimskim osvajanjima ideja o atomima polako pada u zaborav i tamo ostaje sve do renesanse kada se ponovo budi interes za sve antičko. Renesansni filozofi, kojih nema puno jer su se teme o atomima smatrale heretičkim i kao takve bile meta Inkvizicije, obnavljaju Epikurove i Aristotelove ideje o atomima, te ih razvijaju do kraja osamnaestog stoljeća. Industrijska revolucija omogućila je razvoj instrumenata i metoda istraživanja koje su bile potrebne za daljnji razvoj modela atoma. Krajem devetnaestog stoljeća dolazi do naglog razvoja atomske teorije zahvaljujući grupi znanstvenika koji formiraju grupu na Sveučilištu u Manchesteru. Najistaknutiji od njih su J. Dalton, J.J. Thomson, E. Rutherford i N. Bohr koji su uspjeli odgonetnuti strukturu atoma provodeći razne eksperimente. Današnji model atoma rezultat je njihovih radova uz minimalne promjene krajem dvadesetog stoljeća.

# Literatura

Web izvori:

- [1] <https://plato.stanford.edu/entries/atomism-ancient/#AtomClasIndiPhil>
- [2] <https://www.britannica.com/science/atom/Development-of-atomic-theory>
- [3] <https://plato.stanford.edu/entries/lucretius/#Book1>
- [4] <https://plato.stanford.edu/entries/mohism/>
- [5] <https://plato.stanford.edu/entries/zhuangzi/>
- [6] <https://enciklopedija.hr/clanak/lukrecije>
- [7] <https://iep.utm.edu/epicur/>
- [8] <https://www.britannica.com/biography/Galen>
- [9] <https://www.britannica.com/biography/Galileo-Galilei>
- [10] <https://www.britannica.com/biography/John-Dalton>
- [11] <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803095658664>
- [12] <https://www.khanacademy.org/science/chemistry/atomic-structure-and-properties/history-of-atomic-structure/a/discovery-of-the-electron-and-nucleus>
- [13] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1906/thomson/biographical/>
- [14] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/aristotel>
- [15] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1908/rutherford/biographical/>
- [16] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1922/bohr/biographical/>
- [17] <https://www.britannica.com/event/Warring-States>
- [18] <https://www.britannica.com/event/Middle-Ages>