

**ATOMY**

**OD FILOZOFICZNEJ IDEI  
DO FIZYCZNEJ REALNOŚCI**

JAN GRZEGORZ MAŁECKI

# ATOMY

## OD FILOZOFICZNEJ IDEI DO FIZYCZNEJ REALNOŚCI



WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU ŚLĄSKIEGO • KATOWICE 2023

Recenzenci

RAFAŁ KRUSZYŃSKI

TOMASZ MANIECKI

## Spis treści

### Wstęp 11

### Podstawy teorii atomowej 15

- Wiry i cząstki: René Descartes (1596–1650) 18
- Cząstki w atmosferze: Robert Boyle (1627–1691) 22
- Materia i ruch: Robert Hooke (1635–1703) 29
- Falowa teoria światła: Christiaan Huygens (1629–1695) 36
- Cząstki i kinetyka: Isaac Newton (1642–1727) 44
- Kinetyczna teoria gazów: Daniel Bernoulli (1700–1782) 50
- Atomy jako centra sił: Ruđer Joseph Bošković (1711–1787) 53

### Atomy w chemii 57

- Narodziny teorii atomowej: John Dalton (1766–1844) 57
- Prawa gazowe: Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850) 67
- Atomy i cząsteczki – prawo Avogadra: Amedeo Avogadro (1776–1856) 72
- Poszukiwanie pierwotnej materii: William Prout (1785–1850) 75

### Powstanie kinetycznej teorii materii 79

- Atomy w ruchu: John Herapath (1790–1868) 79
- Aktywne cząstki: Robert Brown (1773–1858) 81
- Tragedia talentu: John James Waterston (1811–1883) 83
- Zachowanie energii, mechaniczny odpowiednik ciepła: James Prescott Joule (1818–1889) 85
- Prędkości cząsteczek w gazie: James Clerk Maxwell (1831–1879) 92

**Teoria atomowa w chemii 103**

- Cząsteczki wieloatomowe: Stanislao Cannizzaro (1826–1910) 103  
Układ okresowy pierwiastków: Dmitrij Iwanowicz Mendelejew (1834–1907) 106

**Więcej niż atom 111**

- Atomy i elektryczność: Michael Faraday (1791–1867) 111  
Teoria elektromagnetyczna: James Clerk Maxwell (1831–1879) 117  
Promienie katodowe – „Czwarty stan materii”: William Crookes (1832–1919) 123  
Niezwyczajne regularności w widmie wodoru: Johann Jacob Balmer (1825–1898) 131  
Koniec *Luminiferous aether*: Albert Michelson (1852–1931) i Edward Morley (1838–1923) 134

**Początki nowoczesnej fizyki atomowej 141**

- Odkrycie promieni X: Wilhelm Conrad Roentgen (1845–1923) 141  
Odkrycie radioaktywności: Antoine Henri Becquerel (1852–1908) 145  
Odkrycie elektronu: J.J. Thomson (1856–1940) 147  
Odkrycie polonu i radu: Pierre Curie (1859–1906) i Maria Skłodowska-Curie (1867–1934) 154  
Odkrycie promieniowania alfa i beta: Ernest Rutherford (1871–1931) 157  
Odkrycie promieni gamma: Paul Villard (1860–1934) 159  
Transmutacja pierwiastków: Ernest Rutherford (1871–1937) i Frederick Soddy (1877–1956) 160  
Kwantowa teoria promieniowania: Max Planck (1858–1947) 162  
Masa a prędkość: Walter Kaufmann (1871–1947) 170  
Elektronowa teoria materii: Henrik Anton Lorentz (1853–1928) 172  
Spuścizna Einsteina: Albert Einstein (1879–1955) 178

**Nowe idee i nowe pomiary 199**

- Atom „Thomsona”: J.J. Thomson (1856–1940) 199  
Ustalenie liczby Avogadra: Jean Perrin (1870–1942) 202  
Cząsteczki alfa i hel: Ernest Rutherford (1871–1937) 204  
Atomy elektryczności: Robert Andrews Millikan (1868–1953) 205

**Dwa dalekosiężne odkrycia 211**

- Odkrycie promieniowania kosmicznego: Viktor F. Hess (1883–1964) 211  
Komora mgłowa: Charles Thomson Rees Wilson (1869–1959) 214

**Jądro atomu 217**

- Dziwne wyniki rozpraszania cząstek alfa: Hans Geiger (1882–1945) 217  
Jądro atomowe: Ernest Rutherford (1871–1937) 219  
Struktura atomu: Niels Bohr (1885–1962) 226  
Test teorii kwantowej: James Franck (1882–1964) i Gustav Hertz (1887–1975) 241

- Odkrycie izotopów: Frederick Soddy (1877–1956) 246  
 Promieniowanie kanalikowe: J.J. Thomson (1856–1940) 250  
 Transmutacja pierwiastków: Ernest Rutherford (1871–1937) 251  
 Niejednorodność atomów: Francis William Aston (1877–1945) 256

### Promienie rentgenowskie w badaniach nad budową materii 261

- Zjawiska interferencyjne: Max von Laue (1879–1960) 261  
 Prawo Braggów: William Henry Bragg (1862–1942) i William Lawrence Bragg (1890–1971) 266  
 Liczba atomowa: Antonius van den Broek (1870–1926) 271

### Rozwój teorii atomowej 275

- Liczba atomowa: Henry G.J. Moseley (1887–1915) 275

### Kwantowa teoria promieniowania i procesów atomowych 281

- Kwantowa teoria promieniowania i procesów atomowych: Albert Einstein (1879–1955) 281  
 Efekt Comptona: Arthur H. Compton (1892–1962) 285  
 Kwantyzacja przestrzenna: Otto Stern (1888–1969) 289  
 Spin elektronu: Samuel A. Goudsmit (1902–1978) i George E. Uhlenbeck (1900–1988) 295  
 Zasada wykluczenia: Wolfgang Pauli (1900–1958) 301  
 Promieniowanie rozproszone: Chandrasekhara Venkata Raman (1888–1970) 314  
 Mechanika statystyczna: Satyendra Nath Bose (1894–1974) 319

### Mechanika falowa 329

- Zasada najmniejszego działania: William Rowan Hamilton (1805–1865) 329  
 Długość fali materii: książkę Louis de Broglie (1892–1987) 337  
 Równanie falowe dla cząstek: Erwin Schrödinger (1887–1961) 344  
 Statystyka i fale: Max Born (1882–1970) 351  
 Zasada nieoznaczoności: Werner Karl Heisenberg (1901–1976) 358  
 Bariera wokół jądra atomowego: George Gamow (1904–1968) 369  
 Elektron jako fala: Clinton J. Davisson (1881–1958) i George Paget Thomson (1882–1975) 374

### Elektron i teoria względności 379

- Elektron i względność: Paul Adrian Maurice Dirac (1902–1983) 379  
 „Dziury” w teorii Diraca: J. Robert Oppenheimer (1904–1967) 390  
 Komplementarność: Niels Bohr (1885–1962) 395

### Nowe cząsteczki i akceleratory 401

- Pozyton – pierwsza cząsteczka antymaterii: Carl D. Anderson (1905–1991) 401  
 Odkrycie deuteronu: Harold Clayton Urey (1893–1981) 404

Odkrycie neutronu: sir James Chadwick (1891–1974) 408  
Wkład Fermiego w badania nad atomem: Enrico Fermi (1901–1954) 413  
Sztuczne przemiany jądrowe: John Douglas Cockcroft (1897–1967)  
i Ernest Thomas Sinton Walton (1903–1995) 424  
Generator elektrostatyczny: Robert Jemison Van de Graaff (1901–1967) 431  
Cyklotron: Ernest Orlando Lawrence (1901–1958) 433  
Odkrycie sztucznej radioaktywności: Jean Frédéric Joliot-Curie (1900–1958)  
i Irène Joliot-Curie (1897–1957) 436  
Mezon: Hideki Yukawa (1907–1981) 440

## Dalsze osiągnięcia teorii atomowej i jądrowej 449

Odkrycie mezonów w promieniowaniu kosmicznym: Cecil Frank Powell (1903–1969) 449  
Antyproton: Emilio G. Segrè (1905–1989) i Owen Chamberlain (1920–2006) 452  
Jądrowy moment magnetyczny: Isidor Isaac Rabi (1898–1988) 460  
Wodór i cząstki elementarne: Willis E. Lamb, Jr. (1913–2008) 465  
Moment magnetyczny elektronu: Polykarp Kusch (1911–1993) 471  
Fizyka wysokich energii: Hans Bethe (1906–2005), Julian Schwinger (1918–1994),  
Richard Feynman (1918–1988) 475  
Model powłokowy jądra: Johannes Daniel Jensen (1907–1973) 490  
Datowanie radiowęglowe: Willard Frank Libby (1908–1980) 492

## Procesy i energia jądrowa 495

Teoria jądra atomowego: Werner Karl Heisenberg (1901–1976) 495  
Produkcja energii w gwiazdach: Hans Bethe (1906–2005) 497  
Rozszczepienie jądra atomowego: Lise Meitner (1878–1968), Otto R. Frisch (1904–1979)  
i Niels Bohr (1885–1962) 502  
Stos chicagowski: Enrico Fermi (1901–1954) 511  
Łamanie symetrii parzystości: C.N. Yang (1922–) i T.D. Lee (1926–) 517  
Jądro i nukleony: Robert Hofstadter (1915–1990) 527

## Źródła cytatów 555

## Bibliografia 562

## Spis ilustracji 572

Na początku był Arystoteles,  
I obiekty w spoczynku pozostawały w spoczynku  
I obiekty w ruchu dążyły do spoczynku,  
I wkrótce wszystko było w spoczynku,  
I Bóg ujrzał, że to było nudne  
I wtedy Bóg stworzył Bohra,  
I powstała zasada,  
A zasada była kwantowa  
I wszystkie rzeczy były skwantowane,  
Ale niektóre z nich wciąż były względne,  
I Bóg ujrzał, że to było zagmatwane.

T. Joseph: *Unified Field Theory*.

Tłumaczenie własne.



## Wstęp

Atom – słowo zadomowione we współczesnym języku na stałe i, jak można przypuszczać, którego sens nie wymaga wyjaśnienia. Gdyby jednak zapytać o definicję tego pojęcia, okazałoby się, że trudno ją jednoznacznie sprecyzować. W encyklopediach atom opisywany jest jako najmniejsza składowa materii mająca właściwości pierwiastka chemicznego. Według Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej atom to „najmniejsza cząstka reprezentująca pierwiastek chemiczny, składająca się z jądra mającego ładunek dodatni, którego masa stanowi większość masy atomu (ponad 99,9%), oraz z elektronów określających jego rozmiar”. Sam atom jest na tyle mały, że próby przewidywania jego zachowania na podstawie praw fizyki klasycznej są niemożliwe, gdyż w skali atomowej uwidaczniają się efekty kwantowe.

Idea, że materia składa się z mikroskopijnych składników, których nie da się w nieskończoność dzielić na mniejsze części, pojawiła się już w starożytności – w Indiach i Grecji. Nie opierała się jednak na żadnych danych empirycznych, a jedynie stanowiła jedną z filozoficznych koncepcji natury. Cechy tych mikroskopijnych składników były odmiennie opisywane przez przedstawicieli różnych szkół filozoficznych, którzy często uwzględniali ich duchowe właściwości i opracowywali zawiłe teorie opisujące łączenie się atomów w bardziej złożone obiekty. Najstarsze odniesienia do atomów można znaleźć w pismach filozoficznych i religijnych napisanych w VI wieku p.n.e. w Indiach. W cywilizacji zachodniej pojawiły się mniej więcej sto lat później, w pismach Leukipposa, i zostały usystematyzowane przez jego ucznia Demokryta, który około 450 roku p.n.e. wprowadził słowo *ἄτομος* (*átomos*), czyli niepodzielny. W latach pięćdziesiątych I wieku p.n.e. Lukrecjusz twierdził, iż świat składa się jedynie z atomów i pustki. Choć te starożytne koncepcje

były czysto filozoficzne, współczesna nauka zaadaptowała nazwę najmniejszych składników materii.

W XIII wieku w alchemii pojawiła się koncepcja korpuskularyzmu. Za jej autora uważa się arabskiego alchemika podpisującego się imieniem Geber. Zgodnie z jego hipotezą wszystkie fizyczne obiekty miały posiadać wewnętrzną i zewnętrzną warstwę zbudowaną z mikroskopijnych cząstek. Teoria ta nawiązywała do starożytnej idei atomizmu, odrzucano jednak koncept, że cząsteczki te są niepodzielne. Przykładowo spekulowano, że rtęć może wnikać do wnętrza metali i zmieniać ich wewnętrzną strukturę, co miało umożliwić wytwarzanie złota. Koncepcja ta zdominowała alchemię na następnych kilkaset lat.

Poglądy atomistyczne odnowił w 1624 roku Pierre Gassendi w dziele *Exercitationes paradoxicae adversus Aristoteleos*. W 1661 roku Robert Boyle opublikował traktat *The Sceptical Chymist*, w którym przekonywał, że materia zbudowana jest z kombinacji wielu różnych korpuskuł, a nie czterech żywiołów (powietrza, ziemi, wody i ognia), jak tego dowodzili filozofowie starożytni. Koncepcję tę wykorzystał dziesięć lat później do opracowania korpuskularnej teorii światła Isaac Newton. Z kolei w 1758 roku atomizm był postulowany przez Rudera J. Boškovicia, encyklopedystę znanego z rozległej, obejmującej wiele dziedzin wiedzy. Jak widać, w XVII i XVIII wieku koncepcja atomowej budowy materii zyskiwała na znaczeniu. Wraz z rozwojem nauki, a zwłaszcza przekształceniem się chemii w naukę ścisłą, nastąpił dalszy rozwój teorii atomowej. W 1789 roku Antoine Lavoisier odkrył prawo zachowania masy i zdefiniował pierwiastek chemiczny jako podstawową substancję, która nie może już być rozdzielona metodami chemicznymi. W 1803 roku John Dalton skorzystał z koncepcji atomów do wytłumaczenia, czemu pierwiastki wchodzą w reakcje w stosunkach ilościowych dających się przedstawić w postaci niewielkich liczb naturalnych (prawo stosunków wielokrotnych) i dlaczego jedne gazy łatwiej się rozpuszczają w wodzie niż inne. Postulował, że każdy pierwiastek składa się z atomów jednego, unikalnego typu i że atomy te mogą się łączyć, tworząc związki chemiczne. Postawienie tych hipotez uczyniło Daltona twórcą współczesnej teorii atomistycznej.

Fakty doświadczalne potwierdzające teorię atomistyczną pojawiły się w 1827 roku, gdy botanik Robert Brown odkrył zjawisko spontanicznego, chaotycznego ruchu pyłków kwiatowych zawieszonych w wodzie, nazwane w późniejszym czasie ruchami Browna. Wyjaśnienie tego procesu przez termiczne ruchy cząsteczek wody zasugerował w 1877 roku Joseph Delsaulx, a w 1905 roku Albert Einstein przedstawił jego pełną matematyczną analizę. Fundamentalny wkład do teorii ruchów Browna wniósł w latach 1906–1917 Marian Smoluchowski (stworzył przy okazji nową gałąź fizyki statystycznej określaną obecnie jako procesy stochastyczne). Analiza Einsteina została potwierdzona eksperymentalnie po raz pierwszy już w 1906 roku, przez

Theodora Svedberga, a Jean Baptiste Perrin wykorzystał dwa lata później teoretyczne prace Einsteina i Smoluchowskiego do eksperymentalnego wyznaczenia mas i „rozmiarów” atomów, dzięki czemu potwierdził ostatecznie teorię Daltona.

W 1869 roku Dmitrij Mendelejew opublikował pierwszy układ okresowy pierwiastków. W 1897 roku J.J. Thomson odkrył istnienie elektronów podczas badania promieni katodowych i doszedł do wniosku, że znajdują się one w każdym atomie. Tym samym obalił tezę, że atomy są ostatecznymi, niepodzielnymi elementami materii. Thomson stworzył pierwszy model struktury atomu, w którym ujemnie naładowane elektrony unoszą się w jednorodnej, dodatnio naładowanej kuli. Niepoprawność tego modelu wykazali w 1909 roku Hans Geiger, Ernest Marsden i Ernest Rutherford, gdy podczas bombardowania złotej folii cząstkami alfa odkryli, że tylko niewielka część z nich jest odbijana, co było sprzeczne z przewidywaniami modelu Thomsona. Na podstawie tych wyników Rutherford stworzył nowy model atomu, w którym dodatni ładunek i większość masy atomu są skupione w niewielkim jądrze w jego centrum, a ujemnie naładowane elektrony krążą wokół jądra.

W 1913 roku Frederick Soddy podczas badania produktów rozpadu promieniotwórczego odkrył, że atomy każdego pierwiastka mogą występować w kilku odmianach różniących się nieco masą atomową. Określenie izotop (z gr. *isos topos* – „w tym samym miejscu”) zasugerowała mu szkocka pisarka i lekarka Margaret Todd (1859–1918). W tym samym 1913 roku fizyk Niels Bohr zaproponował wyjaśnienie występowania linii spektralnych w widmach emisyjnych pierwiastków przez wprowadzenie hipotezy istnienia zestawu dopuszczalnych orbit, na których elektrony mogą krążyć wokół jądra atomowego. Z modelu tego skorzystał Gilbert Newton Lewis, który w 1916 roku postawił hipotezę, że istotą wiązań chemicznych jest wymiana i współdzielenie elektronów znajdujących się na najbardziej zewnętrznych orbitach atomowych. Trzy lata później, w 1919 roku, Irving Langmuir zaproponował koncepcję mówiącą, że podobieństwo właściwości chemicznych pierwiastków tworzących grupy w układzie okresowym jest efektem lokalizacji elektronów na pewnych orbitach tworzących powłoki elektronowe.

W 1922 roku doświadczenie Sterna–Gerlacha pokazało, że kierunek wektora magnetycznego momentu dipolowego atomów jest skwantowany, co zgodnie z mechaniką klasyczną nie powinno mieć miejsca. Dwa lata później Louis de Broglie zasugerował, że wszystkie cząstki mogą zachowywać się jak fale. W 1926 roku Erwin Schrödinger rozwinął tę ideę i przedstawił matematyczny model atomu, w którym ruch elektronów został opisany funkcjami fal stojących. Konsekwencją opisywania cząstek jako fali było to, że matematycznie niemożliwe stało się jednoczesne określenie ich położenia i pędu, co zostało sformułowane jako zasada nieoznaczności przez Wernera Heisenberga w 1926 roku. Zgodnie z nią, zwiększając precyzję pomiaru położenia, zmniejsza się jednocześnie precyzję pomiaru pędu i *vice versa*.

Model Schrödingera umożliwił rozwiązanie problemów, które napotykały wcześniejsze modele przy wyjaśnianiu istnienia linii spektralnych atomów cięższych od wodoru.

W 1932 roku fizyk James Chadwick odkrył neutron – elektrycznie obojętną cząstkę podobną do protonu. Sześć lat później, w 1938 roku, niemiecki chemik Otto Hahn podczas próby uzyskania cięższych pierwiastków skierował strumień neutronów na atomy uranu. Produktem okazał się lżejszy pierwiastek – bar. Rok później Lise Meitner i Otto Frisch potwierdzili, że eksperyment ten był pierwszym sztucznie wywołanym rozbitiem jądra atomowego.

Po 1950 roku rozpoczęto budowę licznych akceleratorów i detektorów cząstek. Ich wykorzystanie pozwoliło fizykom badać wyniki zderzeń atomów poruszających się z dużymi prędkościami, dzięki czemu odkryto dziesiątki, a później – setki nowych cząstek. Ich strukturę wyjaśnili w 1964 roku, niezależnie od siebie, Murray Gell-Mann i George Zweig, którzy wprowadzili pojęcie kwarków, czyli najmniejszych znanych, jak na razie, cząstek materii. Neutrony i protony okazały się hadronami, cząsteczkami zbudowanymi z kwarków. Model standardowy, wyjaśniający strukturę jądra atomowego, stworzono właśnie z wykorzystaniem kwarków i opisu sił, jakim one podlegają.

Tak następował rozwój teorii atomowej od filozoficznej idei do fizycznej rzeczywistości. Niniejsze opracowanie przedstawia odkrycia, sylwetki badaczy i koncepcje, które doprowadziły do współczesnego opisu atomu – niegdyś uważanego za podstawowy budulec materii, a który w rzeczywistości posiada wewnętrzną strukturę. Celem monografii jest przekazanie w prosty i zrozumiały dla niespecjalistów sposób opisu teoretycznych i praktycznych zagadnień, z jakimi mierzyli się na przestrzeni lat uczeni pracujący nad problemami budowy materii. Autor starał się uniknąć nadmiernej recytacji faktów, ale jednocześnie – zawrzeć taką ilość podstawowych informacji, która pozwoli na korzystanie z książki jako źródła do dalszych studiów. Podstawową strukturę organizacyjną opracowania wyznacza chronologia, podkreślająca ciągłość rozwoju pojęć. Aby zwiększyć atrakcyjność tekstu i ożywić prezentowane zagadnienia, odkrycia naukowe zostały przedstawione w ramach szerszej analizy, uzupełnionej danymi bibliograficznymi.

## Spis ilustracji

1. Wiry eteru wokół planet 22  
Źródło: R. Descartes: *Principia philosophiae*. Elsevier, Amsterdam 1644, s. 92.
2. Eksperyment O. von Guerickego z półkulami magdeburskimi.  
Rysunek Gaspara Schotta 25  
Źródło: O. von Guericke: *Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio*. J. Jansson à Waesberge, Amsterdam 1672, alonż pomiędzy s. 104 a s. 105.
3. Schemat mikroskopu 31  
Źródło: R. Hooke: *Micrographia: or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses. With Observations and Inquiries Thereupon*. The Royal Society, London 1665, alonż pomiędzy ostatnią stroną nienumerowanego Preface a s. 1.
4. Rysunek oglądanych przez mikroskop komórek korka 31  
Źródło: R. Hooke: *Micrographia: or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses. With Observations and Inquiries Thereupon*. The Royal Society, London 1665, alonż pomiędzy s. 114 a s. 115.
5. Pompa powietrzna konstrukcji R. Hooke'a 35  
Źródło: R. Boyle: *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air and Its Effects*. H. Hall, Printer to the University, Oxford 1771, alonż pomiędzy ostatnią stroną nienumerowanego *Summary* a s. 1.
6. Teleskop powietrzny Christiaana Huygensa o ogniskowej 64 m z obiektywem poruszonym za pomocą linki 38  
Źródło: Ch. Huygens: *Astroscopia Compendiaria tubi optici molimine Liberata*. Apud Arnoldum Leers, Hagæ-Comitum 1684, alonż pomiędzy s. 8 a s. 9.
7. Strona tytułowa dzieła *Hydrodynamica, sive de Viribus et Motibus Fluidorum Commentarii* D. Bernoulliego z roku 1738 52  
Źródło: D. Bernoulli: *Hydrodynamica, sive de Viribus et Motibus Fluidorum Commentarii*. Sumptibus Johannis Reinholdi Dulseckeri; Typis Joh. Deckeri, typographi Basiliensis 1738.

- 8.** Wykresy obrazujące siły 54  
 Źródło: R.J. Bošković: *Theoria Philosophiæ Naturalis*. Remondini, Venetiis 1763, alonż po numerowanej stronie *Monitum*.
- 9.** Ilustracja z książki *A New System of Chemical Philosophy* J. Daltona 61  
 Źródło: J. Dalton: *A New System of Chemical Philosophy*. S. Russell, Manchester 1808, alonż pomiędzy s. 218 a s. 219.
- 10.** Joseph Louis Gay-Lussac i Jean B. Biot w balonie, 1804 rok.  
 Ilustracja z wieku XIX 70  
 Źródło: Autor nieznan. Ilustracja należy do serii 10 obrazków opublikowanych w okresie pomiędzy 1890 a 1900 rokiem w Paryżu przez Romanet & cie., imp. edit.
- 11.** Schemat aparatu J.P. Joule'a do pomiaru mechanicznego równoważnika ciepła 89  
 Źródło: [br. aut.]: [br. tyt.]. „Harper's New Monthly Magazine”, No. 231, August, 1869.
- 12.** Uniwersytet w Edynburgu około roku 1827 95  
 Źródło: autor nieznan. Domena publiczna.
- 13.** Laboratorium Faradaya w Royal Institution 114  
 Źródło: *The life and letters of Faraday*. Red. B. Jones. Longmans, Green and Co., London 1870, wyklejka.
- 14.** Rysunek obrazujący eksperyment Michaela Faradaya z 1831 roku, pokazujący indukcję elektromagnetyczną 116  
 Źródło: A.W. Poyser: *Magnetism and electricity: A manual for students in advanced classes*. Longmans, Green, & Co., New York 1892.
- 15.** Schemat rurki Crookesa 125  
 Źródło: opracowanie własne.
- 16.** Fotografia sir Williama Crookesa z roku 1906 126  
 Źródło: autor fotografii: George Charles Beresford. Domena publiczna.
- 17.** Rysunek radiometru W. Crookesa 128  
 Źródło: *The Century Dictionary and Cyclopaedia: An encyclopedic Lexicon of the English Language*. The Century Co., New York, NY 1889.
- 18.** Eksperyment A. Fizeou z roku 1851 135  
 Źródło: Éleuthère Mascart, domena publiczna.
- 19.** Ilustracja Thomsona przedstawiająca rurkę Crookesa wykorzystaną podczas odkrycia elektronu 147  
 Źródło: J.J. Thomson: *Cathode Rays*. „Philosophical Magazine”, 1897, No. 44, s. 293.
- 20.** W. Nernst, A. Einstein, M. Planck, R.A. Millikan i M. von Laue podczas obiadu wydanego przez tego ostatniego w Berlinie w roku 1931 169  
 Źródło: fotografia nieznanego autorstwa pochodząca ze zbiorów Nationaal Archief, Den Haag.
- 21.** Układ doświadczalny wykorzystany przez J. Perrina do wyznaczenia liczby Avogadra 203  
 Źródło: opracowanie własne.
- 22.** Aparat Millikana służący do wyznaczania ładunku elektronu z lat 1909–1910 207  
 Źródło: autor nieznan. Domena publiczna.

- 23. Schemat doświadczenia Millikana 207**  
 Źródło: R.A. Millikan: *On the Elementary Electrical Charge and the Avogadro Constant*. „Physical Review” 1913, 2, s. 122.
- 24. Oryginalna komora Wilsona wystawiona w muzeum Laboratorium Cavendisha w Cambridge 216**  
 Źródło: <http://chambrebrouillard.wifeo.com/history-andachievements.php#1123>
- 25. Ślad pozytonu zarejestrowany w komorze w roku 1932 216**  
 Źródło: autor nieznan. Domena publiczna.
- 26. Oczekiwane rozpraszanie cząstek alfa na atomach w modelu J.J. Thomsona i E. Rutherforda 222**  
 Źródło: Kurzon, *Conclusions of Rutherford's gold foil experiment*, 2009. Dostępne pod adresem: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gold\\_foil\\_experiment\\_conclusions.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gold_foil_experiment_conclusions.svg)
- 27. Widma emisyjne pierwiastków (od góry) wodoru, rtęci i neonu 234**  
 Źródło: opracowanie własne.
- 28. Serie linii odpowiadających emisji fotonów przez elektrony w stanach wzbudzonych w atomie wodoru 239**  
 Źródło: opracowanie własne.
- 29. Odkryta w wyniku obserwacji widma wodoru przez Johanna Balmera w roku 1885 seria linii emitowanych podczas przechodzenia elektronu z różnych poziomów stacjonarnych na poziom kwantowy opisany główną liczbą kwantową  $n = 2$  239**  
 Źródło: opracowanie własne.
- 30. Ilustracja doświadczenia Francka–Hertza 243**  
 Źródło: opracowanie własne.
- 31. Zdjęcie układu pomiarowego w doświadczeniu Francka–Hertza 243**  
 Źródło: autor fotografii: E.A. Schiff, domena publiczna.
- 32. Wejście do Laboratorium Cavendisha 257**  
 Źródło: J. McKeen Cattell: *The popular Science Monthly*. The Science Press, New York 1911.
- 33. Przykładowy dyfraktogram Lauego kryształu w układzie regularnym 265**  
 Źródło: opracowanie własne.
- 34. Przykładowy dyfraktogram Lauego kryształu w układzie regularnym 265**  
 Źródło: opracowanie własne.
- 35. Spektrometr skonstruowany przez Williama Henry’ego Bragga w roku 1912 267**  
 Źródło: zdjęcie pochodzi ze zbiorów Science Museum London, Science and Society Picture Library.
- 36. Dyfrakcja promieni rentgenowskich na strukturze krystalicznej 269**  
 Źródło: opracowanie własne.
- 37. Eksperyment Sterna–Gerlacha 293**  
 Źródło: Th. Knott na licencji Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
- 38. Rozszczepienie linii widmowych sodu 306**  
 Źródło: P. Zeeman: *The Effect of Magnetisation on the Nature of Light Emitted by a Substance*, “Nature”, vol. 55, 11 February 1897, s. 347.

- 39.** Paczki falowe powstałe w wyniku złożenia odpowiednio  
a) 3, b) 5 i c) 11 fal o niewiele różniących się częstotliwościach 339  
Źródło: opracowanie własne.
- 40.** Fotografia zbiorowa uczestników Pierwszego Kongresu Solvaya  
w 1911 w hotelu Metropole w Brukseli 342  
Źródło: domena publiczna. Dostępne pod adresem:  
[https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Nernst,\\_Einstein,\\_Planck,\\_Millikan,\\_Laue\\_in\\_1931.jpg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Nernst,_Einstein,_Planck,_Millikan,_Laue_in_1931.jpg)
- 41.** Cząstka alfa uwalniająca się z potencjału jądra (zielona linia)  
dzięki zjawisku tunelowemu 370  
Źródło: opracowanie własne.
- 42.** Eksperyment z dwiema szczelinami  
i obrazy uzyskane dla fal, cząstek i elektronów 397  
Źródło: opracowanie własne.
- 43.** Schemat generatora Van de Graaffa 432  
Źródło: opracowanie własne.
- 44.** Schemat cyklotronu z patentu Ernesta O. Lawrence'a 434  
Źródło: E.O. Lawrence: *Method and apparatus for the acceleration of ions*, 1934, [s. 1].
- 45.** Porównanie poziomów energetycznych wodoru w modelach Bohra i Diraca 470  
Źródło: opracowanie własne.
- 46.** Przykładowe diagramy Feynmana obrazujące odpychanie elektronów  
oraz anihilację elektronu i pozytonu 489  
Źródło: opracowanie własne.
- 47.** Cykl protonowy H. Bethego 500  
Źródło: opracowanie własne.
- 48.** Cykl węglowo-azotowo-tlenowy H. Bethego 500  
Źródło: opracowanie własne.
- 49.** Wymuszone rozszczepienie atomu uranu  $^{235}\text{U}$   
na skutek zderzenia z neutronem 511  
Źródło: opracowanie własne.
- 50.** Pierwszy reaktor jądrowy zbudowany w 1942 roku  
w sekcji West Stands Stagg Field na Uniwersytecie w Chicago 513  
Źródło: autor nieznan. Domena publiczna.
- 51.** Łamanie symetrii 524  
Źródło: opracowanie własne.
- 52.** Cząstki elementarne, z których zbudowana jest znana materia 553  
Źródło: Andrzej Barabas, *Cząstki elementarne modelu standardowego*. Dostępne pod adresem:  
[https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Czastki\\_elementarne\\_modelu\\_standardowego.svg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Czastki_elementarne_modelu_standardowego.svg)



Redakcja i korekta

JOANNA ZWIERZYŃSKA

Projekt typograficzny

TOMASZ GUT

Projekt okładki według pomysłu Autora, redakcja techniczna oraz łamanie

PAULINA DUBIEL

Redaktor inicjujący

PRZEMYSŁAW PIENIĄŻEK

Copyright © 2023 by Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego

Wszelkie prawa zastrzeżone

 <https://orcid.org/0000-0001-5571-3196>

Małecki, Jan Grzegorz

Atomy : od filozoficznej idei do fizycznej  
realności / Jan Grzegorz Małecki.

Wydanie 1. - Katowice : Wydawnictwo  
Uniwersytetu Śląskiego, 2023

DOI <https://doi.org/10.31261/PN.3997>

ISBN 978-83-226-4020-3

(wersja drukowana)

ISBN 978-83-226-4274-0

(wersja elektroniczna)

Wydawca

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU ŚLĄSKIEGO

UL. BANKOWA 12B, 40-007 KATOWICE

[www.wydawnictwo.us.edu.pl](http://www.wydawnictwo.us.edu.pl)

e-mail: [wydawnictwo@us.edu.pl](mailto:wydawnictwo@us.edu.pl)

Wydanie 1. Liczba arkuszy drukarskich: 36,0. Liczba arkuszy wydawniczych: 40,5. PN 3997.  
Cena 149,90 zł (w tym VAT). Publikację wydrukowano na papierze Munken Polar 100 g, vol. 1,13.  
Do składu użyto krojów pisma Karmina oraz Karmina Sans (autorstwa Veroniki Burian & José  
Scaglione / TypeTogether). Druk i oprawę wykonano w drukarni volumina.pl Sp. z o.o.  
(ul. Księcia Witolda 7–9, 71-063 Szczecin)