

JAN GRZEGORZ MAŁECKI

ATOMY

OD FILOZOFICZNEJ IDEI DO FIZYCZNEJ REALNOŚCI



UNIWERSYTET ŚLĄSKI
WYDAWNICTWO

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 nie-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
- 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
- 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}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

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

e-mail: 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)



Cena 149,90 zł (w tym VAT)

ISBN 978-83-226-4274-0



9 788322 642740

Więcej o książce

