

Fizyka

– wkład merytoryczny do strategii oraz założeń
Polskiej Encyklopedii Nauki

Profesor dr hab. Stefan Jurga
e-mail: stjurga@amu.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Henryk Drozdowski
e-mail: riemann@amu.edu.pl

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Poznań, marzec 2019

Spis treści

I. Wprowadzenie do <i>Polskiej Encyklopedii – FIZYKA</i>	3
1. Istota fizyki	3
2. Fizyka nauką doświadczalną	3
3. Związek fizyki z innymi naukami	5
II. Koncepcja i założenia ogólne	7
1. Proponowane tytuły tomów <i>Encyklopedii FIZYKI</i>	7
•Mechanika klasyczna	7
•Mechanika relatywistyczna	12
•Fizyka kwantowa	15
•Fizyka cząstek elementarnych	15
•Fizyka jądrowa	16
•Fizyka statystyczna i termodynamika	17
•Fizyka ciała stałego	18
•Fizyka materii miękkiej.....	18
•Fizyka medyczna i biofizyka.....	18
•Fizyka Wszechświata.....	19
2. Zakres <i>Polskiej Encyklopedii Nauki – FIZYKA</i>	19
3. Hasła w <i>Polskiej Encyklopedii Nauki – FIZYKA</i>	20
4. Konsultacje	22

I. Wprowadzenie do *Polskiej Encyklopedii Nauki* – **FIZYKA**

Istota fizyki

Fizyka jest nauką zajmującą się badaniem ogólnych właściwości ciał i formułowaniem podstawowych praw rządzących zjawiskami Przyrody. Fizyka jest fundamentalną nauką przyrodniczą ścisłą, która posługuje się metodami matematycznymi. Oznacza to ilościowe ujmowanie zjawisk i ustalanie ich najogólniejszych cech, które można mierzyć za pomocą precyzyjnych narzędzi pomiarowych. Fizyka dąży do włączania zjawisk w bardzo ogólne systemy teoretyczne. Podstawą tych systemów są najogólniejsze prawa rządzące Naturą sformułowane w postaci związków matematycznych. Najczęściej prawa te wyrażone są w postaci równań różniczkowych.

Dwie ogólne zasady stanowią fundament całej fizyki współczesnej: jedność materialna świata i uniwersalność fizyki. Pierwsza zasada odnosi się do strukturalnych właściwości materii: wszystkie ciała materialne, nieożywione i ożywione, na Ziemi i gdziekolwiek indziej we Wszechświecie są zbudowane z takich samych pierwiastków chemicznych. Druga zasada odnosi się do dynamicznych właściwości materii: oddziaływania fundamentalne między cząstkami elementarnymi i wynikające z nich właściwości materii oraz prawa fizyki są wszędzie w Kosmosie takie same.

Cechą charakterystyczną fizyki współczesnej jest łączenie coraz to innych i coraz szerzej pojętych zjawisk z podstawową konstrukcją teoretyczną. Metody fizyki przeniknęły do całego współczesnego przyrodoznawstwa.

Fizyka nauką doświadczalną

Ogromnie wzrosło zainteresowanie naukami przyrodniczymi w okresie Odrodzenia. Przełomowe znaczenie dla rozwoju fizyki miała teoria heliocentryczna Mikołaja Kopernika (1473-1543), który pierwszy przeciwstawił się wyraźnie poglądom Arystotelesa. Dzieło Kopernika *De Revolutionibus* zapoczątkowało nowy sposób patrzenia na świat.

Od czasów Galileo Galilei – Galileusza (1564-1642) fizyka jest nauką doświadczalną. Galileusz uważany jest za twórcę podstaw eksperymentalnych metod badawczych w przyrodoznawstwie.

Charakterystyczną cechą metody doświadczalnej stosowanej w fizyce jest badanie zjawiska w określonych przez badacza warunkach i ilościowe określanie pewnych wybranych cech zjawiska. Warunki są tak dobrane, by na ich podstawie można było sformułować w formie hipotezy prawa rządzące danym zjawiskiem. W tym celu eksperyment poddać należy analizie teoretycznej. Ze sformułowanych praw wyciąga się wnioski, które pozwalają przeprowadzić nowe doświadczenia. Zespół praw wielokrotnie potwierdzonych przez doświadczenie staje się teorią fizykalną.

Galileusz jako pierwszy wyraźnie postulował metodę doświadczalną jako jedyną właściwą podstawę do poznania praw rządzących zjawiskami Przyrody. Uważał, że fizyce należy nadać postać ścisłą. Przedmiot badań należy najpierw mierzyć, a zjawiska poddać gruntownej analizie w celu znalezienia składników, które można mierzyć. Na takich podstawach należy dopiero budować fizykę drogą syntezy. Twierdził, że „Księga natury pisana jest w matematycznym języku”. Matematyka powinna ustalić związki niezależne od doświadczenia, a rolą doświadczenia jest potwierdzenie istnienia niezbędnych przesłanek. Galileusz przekładał badanie zjawisk ponad badanie substancji. Głosił on, że „od prawdy naukowego twierdzenia nie wolno i nie można wymagać więcej ponadto, iżby odpowiadała wszystkim zjawiskom”. Galileusz przedstawił nowy program fizyki, w myśl którego celem fizyki jest badanie konkretnych zjawisk i dążenie do ustalenia rządzących nimi prawidłowości. Badanie celowości przyrody zastąpione zostało badaniem przyczynowości zjawisk.

Galileusz potraktował fizykę i całe przyrodoznawstwo doświadczalnie i matematycznie. W 1583 r. odkrył prawo izochronizmu wahadła, w trzy lata później zbudował wagę hydrostatyczną, w 1602 r. odkrył prawo swobodnego spadania ciał, w 1603 r. zbudował pierwszy termoskop, a w 1609 r. zbudował lunetę i zastosował ją do obserwacji astronomicznych. Dzięki tym obserwacjom odkrył góry i kratery na powierzchni Księżyca, plamy słoneczne, satelity Jowisza, fazy Wenus i stwierdził obrót Słońca dookoła osi. O tych odkryciach doniósł Galileusz w wydanej w 1610 r. książce *Sidereus nuntius (Zwiastun gwiezdny)*.

Galileusz sformułował podstawową dla mechaniki zasadę bezwładności, która głosi, że ciało pozostawione samemu sobie porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Do mechaniki wprowadził on pojęcie ruchów złożonych. W przeprowadzanych badaniach Galileusz stosował dwie metody: analizy (rezolutywną) oraz syntezy (kompozytywną). Występował przeciw spekulatywnym rozwiązaniom zagadnień przyrodniczych, bez odwoływania się do doświadczenia.

Od czasów Galileusza fizyka jest nauką doświadczalną. Charakterystyczną cechą metody doświadczalnej stosowanej w fizyce jest badanie zjawiska w określonych przez badacza warunkach i ilościowe określanie pewnych wybranych cech zjawiska. Warunki są tak dobrane, by na ich podstawie można było sformułować w formie hipotezy prawa rządzące danym zjawiskiem. W tym celu eksperyment poddać należy analizie teoretycznej. Ze sformułowanych praw wyciąga się wnioski, które pozwalają przeprowadzić nowe doświadczenia. Zespół praw wielokrotnie potwierdzonych przez doświadczenie staje się teorią fizykalną.

Galileusz pozostawił po sobie wielkie dzieło: *Dialogo Sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico e Copernicano* (*Dialog o dwu najważniejszych układach świata Ptolemeuszowym i Kopernikowym*), które ukazało się w 1632 r. we Florencji. W dziele tym Galileusz przeciwstawił heliocentryczny układ Kopernika geocentrycznemu układowi Ptolemeusza w postaci trwającej cztery dni rozmowy trzech osób o imionach Sagredo, Salviati i Simplicio. W swoich rozważaniach nawiązywał do Kopernika (aż na stu stronach ukazuje się jego nazwisko), Leonardo da Vinci i Keplera. W 1638 r. wydał *Dialogi i dowody matematyczne* – zbiór podstawowych prac z zakresu mechaniki.

Zasługi Galileusza w zakresie kształtowania się fizyki jako nauki doświadczalnej są ogromne: skonkretyzował cel i przedmiot fizyki oraz metody poznawcze, uznał konieczność wszechstronnego i dokładnego poznania Przyrody, prowadzenia badań w celu odkrycia praw przyrody i związków między zjawiskami.

Wiek XVII stanowił okres szybkiego rozwoju metody doświadczalnej w fizyce i burzliwego rozwoju mechaniki. Astronom niemiecki Johannes Kepler (1571-1630) odkrył prawa ruchu planet. Uczony holenderski Christian Huygens (1629-1695) sformułował prawa ruchu wahadła, czyli ruchu drgającego prostego i podał prawa ruchu fal.

Związek fizyki z innymi naukami

Ścisły związek fizyki z matematyką zaistniał w XVII wieku, kiedy to Isaac Newton (1642-1727) stworzył wraz z G.W. Leibnizem podstawy rachunku różniczkowego i całkowego w związku z formułowaniem zasad mechaniki. Posługując się metodami analizy matematycznej, sformułował Newton podstawowe prawa mechaniki oraz prawo powszechnego ciężenia. Mechanika Newtona stała się wzorem nauki ścisłej, a jej sformułowania wytyczyły kierunek rozwoju całej fizyki w ciągu 200 lat następnych, wywierając przemożny wpływ na rozkwit racjonalizmu w XVIII wieku. W rozwoju analizy

matematycznej, w szczególności równań różniczkowych o pochodnych cząstkowych, rozstrzygającą rolę odegrały badania nad polem sił ciężenia, rozchodzeniem się fal sprężystych, przewodnictwem ciepła i dyfuzją. Teorię szeregów funkcji ortogonalnych zapoczątkował J.B. Fourier, badając przewodnictwo ciepła.

Rozwój geometrii nieeuklidesowych i geometrii różniczkowej wiąże się z ogólną teorią względności Einsteina. Natomiast rozwój analizy funkcjonalnej – z powstaniem i ekspansją [rozwojem] mechaniki kwantowej. Teorię dystrybucji w matematyce zapoczątkował Paul A. Dirac (1902–1984), który pierwszy wprowadził funkcje delta, istotne do poprawnego formułowania różnych działów mechaniki kwantowej. Związek matematyki i fizyki jest tak ścisły, że nie można przeprowadzić wyraźnego rozgraniczenia pomiędzy fizyką teoretyczną a matematyką. Mechanikę analityczną uważać można równie dobrze za dział fizyki, jak i za dział matematyki. Fizyka zajmuje nie tylko kluczowe miejsce w dziedzinie nauk przyrodniczych, ale stanowi pomost między nimi a matematyką.

Jeszcze w pierwszej połowie XX w. można było wyraźnie wyróżnić zakres badań chemii, która zajmowała się właściwościami materii, uważanymi wówczas za trwałe, natomiast zakres fizyki obejmował zjawiska związane z kształtem, położeniem i stanem skupienia ciał oraz siły działające na te ciała. Dzisiaj granice pomiędzy fizyką a chemią uległy zatarciu; metody fizyki odgrywają fundamentalną rolę w tradycyjnych dziedzinach chemii, a mechanika kwantowa tłumaczy strukturę i właściwości molekuł. Rozróżnianie fizyki i chemii to sprawa tradycji i historii rozwoju tych nauk.

Fizyka początkowo zajmowała się badaniem Przyrody nieożywionej, pozostawiając biologii badanie przyrody ożywionej. Jednakże wszystkie prawa fizyki stosują się również do istot żywych, a bardzo charakterystyczny dla dzisiejszych czasów jest burzliwy rozwój biofizyki, która pozwala sięgnąć coraz głębiej w dziedzinę skomplikowanych mechanizmów zachodzących w organizmach żywych. Obserwujemy skuteczną i szybką ekspansję metod fizyki – w dziedzinę biologii. Fizyka przeniknęła swymi metodami do biologii.

Fizyka jest silnie powiązana z filozofią. Rozwój teorii względności i mechaniki kwantowej wywarł duży wpływ na filozofię. Większość znakomitych fizyków XX w. (np. Einstein, Bohr, Planck, Schrodinger) zajmowała się problematyką filozoficzną związaną ściśle z metodyką fizyki. Fizyka stanowi więc bardzo istotny składnik kultury XX i XXI w.; reprezentuje twórczość równorzędną największym osiągnięciom sztuki i muzyki. Tym samym stanowi najsukcesowniej wysiłek poznawczy ludzkości w stosunku do otaczającego nas świata.

Fizyka odgrywa rolę pionierską, daje początek nowym dziedzinom techniki i decydująco wpływa na rozwój jej dawniejszych działów. Technika współczesna – to w istocie fizyka stosowana.

II. Koncepcja i założenia ogólne

W założeniu będzie to encyklopedia hasłowo-problemowa. Istotną nowością, jaką proponujemy – w stosunku do istniejących na rynku wydawniczym podobnych pozycji – jest przedstawienie dziedzin fizyki nie w porządku chronologicznym, ponieważ obraz odkryć i dokonań zostałby zniekształcony pod względem historycznym.

W planowanych tomach *Polskiej Encyklopedii Nauki – FIZYKA* planujemy takie zgrupowanie zagadnień, aby zilustrowane zostały poszczególne działy fizyki z uwzględnieniem historycznego przebiegu odkryć. Odpowiednie dziedziny fizyki zostaną więc omówione oddzielnie. Takie podejście ma zapewnić zrozumienie mechanizmów powstawania wiedzy ludzkiej (ewolucja pojęć, relacje teorii i eksperymentu w genezie poszczególnych dziedzin fizyki).

Tomy obejmować będą także życie i dorobek ludzi, którzy na trwałe zapisały się w dziejach fizyki światowej. Projektowane tomy mają odzwierciedlać historie badań w dziedzinie fizyki przez pryzmat życia wybitnych jednostek i ich wielkich dokonań.

Proponowane tytuły tomów *Encyklopedii Fizyki*

Tom 1. **Mechanika klasyczna**

Wstęp (mechanika kręgosłupem fizyki)

1. Rozwój mechaniki od Galileusza do Hamiltona
2. Zasady wariacyjne mechaniki
3. Podstawy mechaniki Lagrange'a i Hamiltona
4. Zasady zachowania
5. Podstawowe pojęcia z mechaniki ośrodków ciągłych (ruch, masa, układ sił, ciepło, temperatura)
6. Prawa termomechaniki
7. Oddziaływania ośrodka z otoczeniem
8. Wybrane zagadnienia z mechaniki ośrodków ciągłych

Mechanika jest podstawowym działem fizyki. Zasady mechaniki klasycznej sformułowane przez J. Lagrange'a obowiązują w postaci niezmięnionej w fizyce współczesnej. Fundamenty mechaniki kwantowej tkwią w zasadzie Hamiltona.

W XVIII i XIX w. nastąpił rozkwit mechaniki ośrodków ciągłych i hydrodynamiki. Podstawowe dla mechaniki ośrodków ciągłych pojęcia naprężenia i odkształcenia wprowadził A. Cauchy. Podwaliny hydromechaniki położył L. Euler. Hydrodynamika zapoczątkowała aerodynamikę, która z kolei dokonała postępu w lotnictwie. Aerodynamika gazów rozrzedzonych znalazła praktyczne zastosowanie w astronautyce. Rozwój mechaniki przyczynił się do powstania rachunku wektorowego, który zapoczątkował Hamilton. Problemy mechaniki ciał odkształcalnych wiążą się z teorią wytrzymałości, mającą podstawowe znaczenie dla techniki.

Zgodnie z koncepcją *Polskiej Encyklopedii Nauki – Fizyka* poszczególne dziedziny fizyki będą omówione oddzielnie z uwzględnieniem historycznego przebiegu wydarzeń. Oto przykłady takiego podejścia w realizacji tomu pierwszego.

Wstęp do tomu pierwszego *Polskiej Encyklopedii Nauki – FIZYKA* zawierać będzie dwa zagadnienia: *Początki fizyki* oraz *Archimedes – prekursor nowożytnej fizyki*.

Początki fizyki

Fizyka zrodziła się z potrzeb praktycznych i kształtowała się na gruncie zainteresowań człowieka otaczającym go światem zjawisk, procesów i przemian. Człowiek pragnął wyjaśnić mechanizmy działań i oddziaływań, połączyć to w logiczną całość i przyporządkować swoim własnym potrzebom. Takie dążenia są tak dawne, jak dawne jest istnienie człowieka na Ziemi. Wierne odtworzenie początków fizyki jest trudne, ponieważ myśl ludzka podążała innymi torami, niż obecnie. Ponadto wielokrotnie źródła historyczne były masowo niszczone a nauka najczęściej była przekazywana ustnie tylko wtajemniczonym, zaś na użytek powszechny obrastała całą masą przesądów.

Do najdawniejszych starożytnych ośrodków kultury i wiedzy zaliczamy: Chiny, Babilonię i Assyrię oraz Egipt. W swoich przedhistorycznych początkach problemy natury fizycznej wiązały się nierozzerwalnie z zagadnieniami technicznymi.

W Chinach powstały pierwsze w świecie szkoły. Założycielem ich był cesarz Ti-Ku (2432-2363 r. p.n.e). Już w latach 2353–2206 p.n.e. w stolicy Chin powstała pierwsza Akademia Nauk. Zachowały się ślady działalności zaliczanej dziś do nauk fizycznych. W IV i III tysiącleciu p.n.e. pochodzą wzmianki o systemach dźwiękowych /pentatonika – pięć dźwięków/ opartych na przeliczeniach częstotliwości drgań. Posługiwanie się takim bezpółtonowym systemem było możliwe tylko pod warunkiem znajomości pewnych podstawowych elementów nauki o drganiach. W tych poczynaniach widoczny jest wyraźny pierwiastek naukowego myślenia z pogranicza akustyki i muzyki.

Z okresu 2205–2198 r. p.n.e. pochodzą pierwsze wzmianki o działalności melioracyjnej, prowadzonej planowo. Wielokondygnacyjne budownictwo chińskie świadczy o dużej znajomości praw statyki. Niestety, w 213 r. p.n.e. w wyniku prześladowań szkół filozoficznych, w Chinach spalono zabytki piśmiennictwa.

Z okresu kultury sumeryjskiej (Sumerowie zamieszkiwali tereny Assyri i Babilonii) pozostało pismo obrazkowe sprzed 4 000 lat p.n.e. Ryto wówczas dzieła literackie i pewne informacje typu naukowego. Wśród odszyfrowanych znalezisk, z tych czasów, znane są tabliczki z ćwiczeniami z matematyki i astronomii. Trzecie tysiąclecie p.n.e. to rozwój szkół w Sumerii. W Tello istniała biblioteka obejmująca około 23 000 tomów. Budowanie kanałów i zapór poprzedzały odpowiednie obliczenia. Wiedzę z astronomii wykorzystywano dla obliczania dat uroczystości kultowych. W Assyrii w Niniwie VIII w. p.n.e. czynna była biblioteka większa od biblioteki w Tello. Fizyka w tym czasie miała charakter stosowany.

O zaawansowaniu problematyki „fizycznej” świadczą materiały dokumentalne: planowane zespoły urbanistyczne, warownie, wysokowieżowe świątynie, mosty i akwedukty. O znajomości teorii akustyki świadczą liczne, powszechnie stosowane instrumenty muzyczne fletowe i strunowe, dające możliwość operowania określonymi systemami dźwiękowymi.

W Babilonii w okresie 3 000–1700 r. p.n.e. zrodziło się miernictwo, szczególnie miernictwo czasu. Zagadnienia fizyczne wiązano z praktyką techniczno-wykonawczą. Powiązane były z trzema gałęziami życia codziennego: architekturą, bazującą na statyce, akustyką i handlem ożywiającym rozwój miernictwa, w tym ważenia i wag oraz podróżami morskimi, wymagającymi znacznej wiedzy prowadzącej do udoskonalenia budowy okrętów i orientacji w czasie i w terenie.

Obliczenia czasu, to jeden z ważnych i interesujących problemów z pogranicza fizyki i astronomii. Odkrycia wykopaliskowe ukazały, że już około 8 000 lat p.n.e. ówczesny człowiek grupował na bransoletach, w określony sposób, kreski i punkty celem oznaczenia upływającego czasu, przyjmując za podstawę zjawiska przyrodnicze, na przykład brzemienność reniferów. Podobne ryciny znalezione na kościach mamuta świadczą o planowych, wieloletnich obserwacjach astronomicznych. Graficznie notowano różne okresy różnymi typami znaków. Niebo spełniało rolę zegara. Astronomia stała się nauką w VI w. p.n.e., gdy zainteresowanie nią zainspirowało fizykalne procesy badawcze. W czasach starożytnych używano określenia *dzień*, oznaczając tym słowem czas między dwoma górowaniami Słońca. Pomiar przeprowadzano na zasadzie określenia długości cienia rzucanego przez pionowo ustawiony pręt (gnomon). Najkrótszy cień oznaczał południe, najdłuższy – zachód. W Egipcie data zmieniała się ze wschodem Słońca. Z czasem miejsce gnomonów zajęły zegary słoneczne, używane od IV w. Od początku podjęcia prób ustalania

systemu czasu współdziałały ze sobą metody eksperymentalne i obliczenia teoretyczne. Doprowadziło to do przyjęcia w II w. p.n.e. roku równego 365 dni, 5 godzin, 55 minut. Podane dane różnią się tylko o kilka minut od danych aktualnych. Do tak określonego czasu przyczyniło się odkrycie przez astronoma Hipparcha (160–125 r. p.n.e.) zjawiska precesji.

Duże zasługi w miernictwie czasu mieli uczeni z Egiptu. Państwo egipskie formowało się już około 10 000 lat p.n.e. Konieczność ujarznienia Natury wpłynęła na wcześniej powstające zainteresowania uczonych problemami z dziedziny nauk ścisłych. Papirusy przekazały nam wiedzę o wspaniałych budowlach, nawadnianiu pól, kanałach irygacyjnych. W tym celu należało wcześniej przewidzieć wylewy Nilu; umożliwiła to jedynie głęboka wiedza z dziedziny nauk ścisłych. W Egipcie kapłani uczyli się matematyki, a architekci, oprócz tego, mechaniki i nauk przyrodniczych, obejmujących też zjawiska fizyczne.

Z okresu od 2 900 do 525 r. p.n.e. pochodzą monumentalne dzieła urbanistyczne – piramidy i kolumny. Piramida Cheopsa (146,6 m wysokości, 230,5 m bok podstawy, objętość 2 000 000 m³, złożona z trzech milionów (!) bloków kamiennych o ciężarze 2,5 ton każdy) budowana była 23 lata. Przy zastosowaniu wszystkich najnowszych technik, dzisiaj budowa taka musiałaby trwać nie mniej niż 40 lat. Postawienie tej piramidy było możliwe tylko po uprzednich ścisłych obliczeniach z zakresu mechaniki i urządzeń wykorzystujących prawa statyki.

Archimedes – prekursor nowożytnej fizyki

Grecję starożytną czcimy jako kolebkę wiedzy zachodniej. Początki fizyki sięgają również czasów greckich, chociaż nie była ona wówczas jeszcze wyodrębniona od filozofii, obejmującej całość ówczesnej wiedzy, pojmowanej niezależnie od praktyki. W III w. p.n.e. najwybitniejszym uczonym w Grecji był Archimedes (287-212 p.n.e.), który pierwszy sformułował prawa statyki, działu mechaniki ściśle związanego z architekturą. Pierwotnie mechanika była sztuką stosowaną, jak świadczy nazwa grecka (*he mechanike techne*), czyli sztuka mechaniczna. Przymiotnik utworzony jest z czasownika *mechano* lub *mechanaomaj*, który znaczy: coś sztucznie zrobić, wymyślić, kunsztownie zbudować.

Mechanika Archimedesesa wywodzi się z pojęcia równowagi, pierwotnie dźwigni. Do naszych czasów dotrwały dwie fundamentalne prace Archimedesesa: *O równowadze ciał płaskich i o środkach ciężkości płaskich figur* oraz *O pływaniu ciał*. W dziełach tych rozwinięta jest grecka nauka statyki – *He statike techne*, czyli sztuka ważenia w szerokim znaczeniu (od *ho stater* – waga, *statikos* – zatrzymujący się, też: umiejący ważyć).

Określił środek ciężkości, podał dane o pracy maszyn prostych. Archimedes sformułował pojęcie momentu siły i wywiódł ogólne prawo dźwigni, wyrażające równość momentów siły. Prawo dźwigni Archimedesesa było pierwszym w fizyce prawem zachowania. Z dźwigni też wyprowadził inne maszyny proste: równię pochyłą, klin, kołowroty, śrubę do podnoszenia poziomu wody.

Ponadto odkrył Archimedes prawa równowagi ciał pływających w wodzie, stwarzając hydrostatykę, która jest podstawą budowy okrętów i całej techniki wodnej. Statyka i hydrostatyka najsilniej rozwijały się w Aleksandrii, stanowiącej w III i II w. p.n.e. jeden z głównych ośrodków kultury hellenistycznej. Ustalone przez Archimedesesa prawa i zależności z zakresu statyki ciała stałego i cieczy są do dziś aktualne.

W swojej pracy *Psammites* (*O liczeniu piasku*) podał Archimedes metodę skrótowego zapisywania bardzo dużych liczb, stosowaną obecnie w systemie dziesiętnym, czyli rzędy jednostek, dziesiątek.

Archimedes wiązał teorię z praktyką i skutecznie stosował matematykę i mechanikę do rozwiązywania problemów technicznych. Dzięki systemowi dźwigni i wielokrążków spuścił na wodę załadowany okręt. Wynalazł przekładnię ślimakową (śrubę sprzężoną z kołem zębatym), stosowaną dziś powszechnie w dyferencjałach samochodowych, podnośnikach i windach. Archimedes zbudował maszyny wojenne dla obrony swego miasta – Syrakuz – przed najazdem rzymskim. Wynalazł też przyrząd do mierzenia pozornej wielkości Słońca i Księżyca. Przypisuje mu się budowę planetarium, o którym wspomina Ciceron.

Do naszych czasów zachowało się 12 wielokrotnie przepisywanych przez pokolenia dzieł Archimedesesa: 8 geometrycznych, 2 arytmetyczne i 2 z mechaniki. Przypuszcza się, że co najmniej drugie tyle zaginęło.

Przy omawianiu zagadnienia: *Rozwój mechaniki od Galileusza do Hamiltona* przedstawione będą osiągnięcia I. Newtona, J. Lagrange'a i Hamiltona. Poniżej przykład takiego opracowania (I. Newton).

Newton – twórca metody matematycznej

Twórcą metody matematycznej w fizyce był Isaac Newton (1642-1727). W 1687 r. w Londynie, ukazało się nieśmiertelne dzieło Isaaka Newtona, napisane po łacinie: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Matematyczne zasady filozofii przyrody). Niezwykły jest tytuł tego dzieła. W czasach Newtona fizykę uważano za część filozofii – filozofię naturalną. Powstanie tego dzieła było jednym z największych wydarzeń w historii

nauki, pojawiła się pierwsza kompletna koncepcja nowożytnej fizyki jako nauki ścisłej, zarazem doświadczalnej i teoretycznej, opartej na pomiarach i matematyce. Przed Newtonem nie istniał żaden zwarty system przyczynowości fizycznej, któryby w jakikolwiek sposób potrafił odtworzyć głębsze rysy charakterystyczne świata materialnego.

Posługując się metodami analizy matematycznej, sformułował Newton trzy zasady dynamiki, stanowiące podstawę całej mechaniki. Jego prawo ciążenia powszechnego: prawo odwrotnych kwadratów jest jedynym prawem sił, które przewiduje orbity planet jako stałe w czasie elipsy Keplera. Prawo o powszechnym ciążeniu Newtona wyjaśniło zarazem ruchy ciał niebieskich i ciężkość ciał. Newton rozwiązał zagadnienie ruchu pod działaniem siły centralnej, wytłumaczył zjawisko precesji, powstawanie pływów, spłaszczenie Jowisza oraz kształt Ziemi. W 1704 r. ukazało się kolejne wielkie dzieło Newtona: *Optyka*, w którym jako pierwszy sformułował jasno całą koncepcję tej nauki i dlatego uważany jest też twórcę optyki fizycznej.

Ramy fizyki Newtona w ciągu dwóch stuleci dawały nauce punkt oparcia i kierunek myślowy. Do końca XIX stulecia system Newtona stanowił program każdego badacza w zakresie fizyki. Każde zjawisko fizyczne należało sprowadzić do mas, podporządkowanym prawom ruchu Newtona. Sam Newton zastosował ten program do optyki, zakładając, że światło polega na ruchu bezwładnych korpuskuł. Również optyka falowa posługiwała się prawem ruchu Newtona po zastosowaniu go do mas, rozciągających się w przestrzeni. Wyłącznie na dynamice Newtona oparła się kinetyczna teoria ciepła i teoria gazów, które pogłębiły zrozumienie drugiej zasady termodynamiki. Również nauka o elektryczności i magnetyzmie rozwijała się aż do końca XIX w. pod wyłącznym przewodem podstawowych idei Newtona (substancja elektryczna i magnetyczna, siły działające na odległość). Nawet odkrycia dokonane przez Faradaya i Maxwella w elektrodynamice i optyce odbywały się jeszcze pod przewodem idei Newtona. Co więcej, Maxwell, Boltzmann, lord Kelvin pracowali niestrudzenie nad sprowadzeniem pól elektromagnetycznych i ich dynamicznych działań wzajemnych do zjawisk mechanicznych w masach hipotetycznych, rozciągających się w przestrzeni.

TOM 2. Mechanika relatywistyczna

1. Fizyczny rodowód szczególnej teorii względności
2. Czasoprzestrzeń Galileusza
3. Czasoprzestrzeń w szczególnej teorii względności
4. Czasoprzestrzeń Minkowskiego
5. Kinematyka i dynamika relatywistyczna

6. Zasady zachowania (twierdzenie i równanie Noether, symetrie dynamiczne)
7. Równania ruchu (równanie Hamiltona-Jacobiego)
8. Dynamika czasoprzestrzeni (istota ogólnej teorii względności /OTW/ –
równanie pola grawitacyjnego Einsteina, doświadczalnie sprawdziany OTW)
9. Mechanika relatywistyczna a teoria pola

Wraz z omawianiem poszczególnych pojęć i zagadnień z fizyki relatywistycznej uwzględniony zostanie historyczny przebieg wydarzeń. Poniżej przykład.

Einstein i rewolucja relatywistyczna

Pod koniec XIX w. elektrodynamika Maxwella dostarczała zasadniczo innego obrazu świata niż mechanika Newtona. Po pierwsze, nie udało się ani Maxwellowi, ani jego następcom, sformułować niesprzecznego, mechanicznego modelu eteru elektrodynamicznego. Po drugie, prawa pola elektromagnetycznego Maxwella okazały się prawami w pełni autonomicznymi, a nie prawami wynikającymi z praw dynamiki Newtona. Po trzecie – w elektrodynamice występowała skończona prędkość rozchodzenia się oddziaływań w polu, podczas gdy mechanika Newtona bazowała na założeniu, że oddziaływania fizyczne mogą się rozchodzić z dowolną, nawet nieskończoną prędkością. Wreszcie w mechanice Newtona dopuszczane były działania na odległość (*actio in distans*), w elektrodynamice obowiązywała natomiast koncepcja oddziaływania bezpośredniego (*actio directa*) przekazywanego stopniowo od punktu do punktu. Jako odpowiedź na usunięcie sprzeczności między mechaniką Newtona a elektrodynamiką Maxwella powstała szczególna teoria względności (STW) – dzieło Alberta Einsteina.

Fizyka współczesna jest wynikiem trzech kolejnych zmian paradygmatu myślenia: szczególnej teorii względności, ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej.

W 1905 r. w „Annalen der Physik”, t. 17 opublikował Albert Einstein pracę pod tytułem *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, która zawierała wykład fundamentalnych założeń STW. Fizyka oparta na teorii względności nazywa się fizyką relatywistyczną, która tylko dla olbrzymich prędkości rzędu 100 000 km/sek daje inne rezultaty aniżeli fizyka klasyczna. Powstanie STW zamknęło mechanistyczny okres rozwoju fizyki. Wielokrotnie podejmowane próby zbudowania mechanistycznej teorii światła, pojmowanego jako zaburzenie w hipotetycznym ośrodku sprężystym – eterze, trzeba było uznać za beznadziejne. Wynik eksperymentu Michelsona i Morleya – fakt niezależności prędkości światła od ruchu układu

odniesienia – bezpośrednio przemawiał przeciwko mechanistycznym wyjaśnieniom zjawisk świetlnych.

Einstein przyjął wyniki Michelsona-Morleya za dwa podstawowe prawa Przyrody: po pierwsze: eteru nie ma, po drugie: prędkość światła względem obserwatora jest zawsze taka sama. Te dwa założenia są podstawą STW. Dopiero STW Einsteina uznała stałość prędkości światła za fakt podstawowy dla całej fizyki, a nie za trudność występującą w mechanice i wymagającą oddzielnego wytłumaczenia. Hipoteza eteru kosmicznego ostatecznie upadła, a elektrodynamika stała się równie podstawową gałęzią fizyki jak mechanika.

Podstawowym założeniem STW Einsteina jest zasada względności. Zgodnie z tą zasadą prawa fizyki nie zależą od wyboru układu odniesienia. Postulat niezależności praw fizyki wymagał odpowiedniego wyboru grupy przekształceń wielkości fizycznych przy zmianie układu współrzędnych. W STW obowiązują przekształcenia Lorentza, wprowadzone wcześniej do fizyki w związku z nieudanymi próbami mechanistycznego wyjaśnienia eksperymentu Michelsona-Morleya. Zgodnie z tymi przekształceniami takie wielkości fizyczne, jak masa, długość, odstęp czasu, natężenie pola elektrycznego są wielkościami względnymi. Ujawnienie względnego charakteru odstępów czasu i odległości uznano za istotny argument przeciwko newtonowskiej koncepcji absolutnego czasu i absolutnej przestrzeni.

Leżące u podstaw STW twierdzenie, że prędkość rozchodzenia się oddziaływań fizycznych nie może przekraczać prędkości światła, posiada istotne znaczenie dla zagadnienia przyczynowości. Konsekwencją tego twierdzenia jest to, że według STW oddziaływanie między ciałami materialnymi odbywa się za pośrednictwem pola, a nie bezpośrednio na odległość. Obalona została więc zasada *actio in distans* fizyki Newtona.

Szczególne teoria względności ujawniła związek czasu i przestrzeni: interwał czasoprzestrzenny jest wielkością absolutną, ale zarówno odstęp czasu, jak i odległość należą do wielkości względnych. Najdonioślejszy wynik STW dotyczył bezwładnej masy ciał: masa ciał jest miarą nagromadzonej w nim energii (prawo równoważności masy i energii).

O ile STW stosuje zasadę względności jedynie do układów inercjalnych, to ogólna teoria względności (OTW) rozciąga ją również na układy nieinercjalne. Zasada względności w OTW głosi, iż efekt przyciągania przez planetę, czy efekt poruszania się ruchem jednostajnie przyspieszonym są takie same i nie można ich odróżnić. W dalszym rozwoju fizyki pojęcie pola wysunęło się na plan pierwszy – przy zasadniczym udziale Einsteina jako twórcy OTW.

Einstein udowodnił, że geometria czasoprzestrzeni zależy od rozkładu i ruchu mas. Składowe tensora metrycznego określają geometrię przestrzeni i są zarazem potencjałami grawitacyjnymi. Krzywizna czasoprzestrzeni jest powiązana z materią zawartą we Wszechświecie. Obserwacje astronomiczne wykazały, że Kosmos rozszerza się zgodnie z OTW.

TOM 3. Fizyka kwantowa

1. Podstawowe pojęcia mechaniki kwantowej. Geneza historyczna
2. Hipoteza kwantów Plancka
3. Od prawa promieniowania Plancka do teorii atomu wodoru Bohra
4. Najważniejsze odkrycia w dziedzinie zjawisk kwantowych przy emisji światła przez atomy i molekuly
5. Subtelna struktura linii widmowych wodoru
6. Dualizm korpuskularno-falowy
7. Dynamika kwantowa punktu materialnego. Mechanika falowa
8. Zasada Pauliego
9. Związek mechaniki kwantowej i teorii względności
10. Zastosowania mechaniki kwantowej (oscylator harmoniczny, dół potencjału, atom wodoropodobny)

W tomie tym uwzględniony będzie wkład Polaków w rozwój fizyki kwantowej, w szczególności Wojciecha Rubinowicza, który odkrył reguły wyboru i reguły polaryzacji dla elektrycznego dipolowego promieniowania atomu. Rubinowicz odkrył je korzystając z warunków Bohra uzupełnionych przez Sommerfelda. Reguły wyboru i polaryzacji są powszechnie uznanym i docenianym przez fizykę wkładem Rubinowicza do kwantowej teorii promieniowania. Ponadto w tomie tym uwzględnione będzie odkrycie magnetycznych linii dipolowych przez Henryka Niewodniczańskiego i Jana Blatona.

TOM 4. Fizyka cząstek elementarnych

1. Cząstki elementarne
2. Oddziaływania fundamentalne (silne i słabe jądrowe, elektromagnetyczne)
3. Detekcja cząstek (odkrycia cząstek o wielkiej energii)
4. Promieniowanie kosmiczne i wytłumaczenie jego natury (V. Hess, W. Bothe, W. Kolhorster, D. Skobielcyn, P. Blackett, C. Occhialini)
5. Odkrycia różnych mezonów (H. Yukawa, C.F. Powell, D.A. Glaser)

6. Problem zachowania parzystości (C.N. Yang, T.D. Lee, C.S. Wu, L. Lederman)
7. Cząstki i antycząstki (E.G. Segré, O. Chamberlain)
8. Akceleratory

TOM 5. Fizyka jądrowa

1. Promieniotwórczość naturalna (odkrycia H. Becquerela i M. Curie-Skłodowskiej)
2. Przemiany pierwiastków (doświadczenie E. Rutherforda)
3. Sztuczne przemiany pierwiastków (eksperymenty J.D. Cockcrofta i E.T. Waltona)
4. Odkrycie ciężkiego wodoru (H. Urey) i neutronu (J. Chadwick)
6. Sztuczna promieniotwórczość (F. Joliot i I. Joliot-Curie)
7. Rozszczepienie jąder uranu (eksperyment O. Hahna i Strassmanna; interpretacja L. Meiner i Frisch)
8. Metody pomiarowe w dziedzinie fizyki jądrowej o szczególnym znaczeniu (O. Stern, I. Rabi, F. Bloch, R. Mossbauer)
9. Modele jąder atomowych (N. Bohr, M Goeppert-Mayer, H. Jensen).
10. Narzędzia fizyki jądrowej (komora Wilsona, komora jonizacyjna i licznik Geigera-Mullera, spektrograf masowy, akceleratory: wysokonapięciowe i magnetyczne cykliczne /cyklotron, betatron, synchrotron, fazotron, synchrofazotron/ oraz akceleratory liniowe; reaktory jądrowe, emulsje jądrowe).

W tomie tym omówione zostaną osiągnięcia polskich fizyków. Poniżej przykłady:

1/ Maria Curie-Skłodowska (1867-1934) wkrótce po odkryciu przez H. Becquerela zjawiska promieniotwórczości rozpoczęła badania aktywności promieniowania różnych substancji. Odkryła, że związki uranu i toru mają właściwości promieniotwórcze. Wykazała, że promieniowanie jest właściwością samego uranu i toru, a aktywność związków jest proporcjonalna do ilości zawartych w nich tych pierwiastków. Do swoich badań wykorzystwała jonizacyjne właściwości promieniowania. Substancję promieniotwórczą umieszczała pomiędzy okładkami kondensatora. Szybkość zmian napięcia na okładkach stanowiła miarę aktywności próbki. Do pomiaru napięcia służył elektrometr, którego zasadniczą częścią był kryształ kwarcu, wykazujący silne właściwości piezoelektryczne. Kryształ ten pod

obciążeniem stawał się źródłem napięcia równoważącego spadek wywołany aktywnością pierwiastka. W ten sposób dzięki pomiarowi obciążenia M. Curie oceniła aktywność.

M. Curie-Skłodowska odkryła, że niektóre rudy uranu wykazują aktywność znacznie wyższą niż sam metaliczny uran. W rudach znajdował się nieznan, silnie promieniotwórczy pierwiastek, który wyodrębniła. Prace nad wydzieleniem jego polegały na kolejnym usuwaniu z rudy znanych związków i pomiarów aktywności pozostałości. W ten sposób wyodrębniła z Pierre Curie dwa nowe pierwiastki, nadając im nazwy polonu i radu.

2/ Tadeusz J. Godlewski (1878-1921) stworzył na Politechnice Lwowskiej pierwsze na ziemiach polskich laboratorium do badań nad promieniotwórczością. Badał aktywną rodzinę promieniotwórczą. Odkrył wchodzący w jej skład nowy pierwiastek radioaktywny aktyn X, który okazał się później jednym z izotopów radu. Godlewski opisał po raz pierwszy wysyłane przez aktyn X promieniowanie beta i gamma.

3/ Jan K. Danysz (1884-1914) był jednym z pionierów badań właściwości promieniowania beta. Skonstruował po raz pierwszy spektrometr beta, przyrząd do pomiarów energii tego promieniowania. Wykonał pomiary energii niesionej przez cząstki. Zaobserwował zachowanie promieni beta w polu magnetycznym. Prace J.K. Danysza stworzyły nowy kierunek badań – spektroskopię beta.

TOM 6. Fizyka statystyczna i termodynamika

1. Rozkłady w statystyce klasycznej
2. Rozkłady w statystyce kwantowej
3. Zasady termodynamiki
4. Gazy doskonałe i niedoskonałe
5. Układy o zmiennej liczbie molekuł
6. Statystyki Bosego i Fermiego
7. Fluktuacje termodynamiczne. Ruchy Browna
8. Termodynamika procesów nieodwracalnych

We wstępie do tego tomu przedstawiony zostanie zarys kinetyczno-molekularnej teorii budowy materii i termodynamiki. W rozwoju termodynamiki szczególnie ważną i istotną rolę odegrały prawa gazowe: Boyle'a-Mariotte'a, Daltona, Gay-Lussaca. Omówione będzie równanie van der Waalsa, dotyczące stanu gazów rzeczywistych, obejmujące również obszar skraplania.

Podkreślony zostanie znaczący wkład uczonych polskich do fizyki statystycznej i termodynamiki. Twórcą teorii fluktuacji termodynamicznych był światowej sławy fizyk polski Marian Smoluchowski, zaś Władysław Natanson był jednym z twórców termodynamiki procesów nieodwracalnych.

TOM 7. Fizyka ciała stałego

1. Dyfrakcyjne badania strukturalne (rentgenografia, neutronografia, elektronografia)
2. Spektroskopia masowa jako metoda analizy składu
3. Spektroskopia elektronów Augera do badań powierzchni ciała stałego
4. Dyfrakcja pozytonów w badaniach defektów struktury
5. Spektrometria fotoelektronów – wyznaczenie struktury elektronowej ciała stałego
6. Spektrometria fotoemisyjna i elektronów w fotoemisji – wyznaczenie stanów elektronowych
7. Spektrometria w podczerwieni. Rozpraszanie Ramana i rozpraszanie Brillouina
8. Metody rezonansowe badań ciała stałego: jądrowy rezonans magnetyczny (NMR), jądrowy rezonans kwadrupolowy (NQR) i elektronowy rezonans paramagnetyczny (EPR) oraz spektrometria Mössbauera
9. Lasery w badaniach ciała stałego (optyka nieliniowa)
10. Badania magnetyków
11. Właściwości termiczne i elastyczne ciała stałego

TOM 8. Fizyka materii miękkiej

1. Struktura cieczy, szkieł i ciał amorficznych
2. Geometria i topologia nieporządku
3. Szkła chalcogenidkowe
4. Polimery organiczne
5. Uporządkowanie bliskiego zasięgu molekuł a właściwości fizykochemiczne złożonych układów
6. Ciekłe kryształy (metody spektroskopowe)
7. Kwazikryształy

TOM 9. Fizyka medyczna i biofizyka

1. Przedmiot i problemy fizyki medycznej i biofizyki molekularnej
2. Białka
3. Kwasy nukleinowe

4. Biocybernetyka (zastosowanie teorii informacji i modelowania do badań procesów w złożonych układach biologicznych)
5. Promieniowanie jonizujące w medycynie (medycyna nuklearna)
6. Promieniowanie laserowe

TOM 10. Fizyka Wszechświata

1. Astrofizyka relatywistyczna
2. Podstawy termodynamiki relatywistycznej
3. Astrofizyka czarnych dziur i gwiazd neutronowych
4. Kosmologia

Zakres Polskiej Encyklopedii Nauki – FIZYKA

Treść *Polskiej Encyklopedii Nauki – Fizyka* zawierać będzie:

- Hasła problemowe zawarte we wszystkich tomach
- Fundamentalne pojęcia z dziedziny fizyki
- Współczesne teorie fizykalne
- Ważne hipotezy naukowe
- Poszczególne dziedziny fizyki będą omówione problemowo oddzielnie (w tomach) z uwzględnieniem historycznego przebiegu odkryć
- Wkład Polaków do fizyki światowej
- Biografie nieżyjących już fizyków polskiego pochodzenia lub działających w Polsce (tylko najważniejsze dla rozwoju fizyki)
- Ważne instytucje naukowe działające w Polsce: jednostki PAN-u (np. IFJ PAN), centra naukowo-badawcze (np. CBBM w Poznaniu) i konsorcja naukowe
- Związek fizyki z innymi naukami
- Światowe tendencje w rozwoju współczesnej fizyki
- Grafika (wykresy, rysunki, zdjęcia) muszą ilustrować treść tomów.

Poszczególne tomy *Polskiej Encyklopedii Nauki – FIZYKA* oprócz uwzględnienia historycznego przebiegu odkryć zawierać będą informacje o wkładzie fizyków polskich do nauki światowej.

W szczególności należy obszerniej omówić wkład następujących uczonych polskich do fizyki XX wieku:

1. Wojciech Rubinowicz
2. Mieczysław Wolfke
3. Aleksander Jabłoński
4. Leopold Infeld
5. Marian Mięsowicz
6. Jan Weysenhoff
7. Marian Danysz i Jerzy Pniewski
8. Andrzej Trautman
9. Robert Gałązka
10. Marek Pfutzner

Przewiduje się, że na końcu każdego tomu omówione zostaną perspektywy rozwoju danej dziedziny (fizyka cząstek elementarnych; fizyka jądrowa; ciała stałego; materii miękkiej; fizyka medyczna i biofizyka; fizyka Wszechświata). Poniżej przykład dotyczący fizyki materii miękkiej.

Perspektywy fizyki materii miękkiej

– Stworzenie ilościowej teorii cieczy, która na podstawie znanych właściwości pojedynczych molekuł potrafi przewidzieć ilościowe ich zachowanie w fazie ciekłej oraz obliczyć wszystkie makroskopowe właściwości.

– Metamateriały /nowe zastosowania w technice/.

Hasła w *Polskiej Encyklopedii Nauki* – FIZYKA

Hasła w *Polskiej Encyklopedii Nauki* – *Fizyka* będą ułożone chronologicznie (alfabetycznie) w każdym tomie. Zawierać będą pojęcia kluczowe występujące w tekście *Encyklopedii*. Poniżej przykłady:

Akcelerator
Antycząstki
Bariony
Broń jądrowa
Cyklotron
Cząstki elementarne
Detektory promieniowania
Deuter
Dysocjacja elektrolityczna

Elektrodynamika
Elektronika kwantowa
Energia jądrowa
Fale materii
Ferromagnetyzm
Fizyka statystyczna
Foton
Hiperjądra
Izotopy
Izospin
Jednostki energii
Kinetyczna teoria gazów
Koincydencja
Kwant
Laser
Leptony
Maser
Mechanika kwantowa
Metody przybliżone mechaniki kwantowej
Mezony
Modele atomu
Modele jądra atomowego
Mikrofale
Nadciekłość
Nukleon
Oddziaływania
Pierwiastki transuranowe
Plazma
Promienie kanalikowe i katodowe
Promieniotwórczość naturalna
Promieniotwórczość sztuczna
Promieniowanie cieplne
Promieniowanie Czerenkowa
Promieniowanie elektromagnetyczne
Promienie kosmiczne
Promienie rentgenowskie
Radioaktywność
Radiochemia
Reakcja łańcuchowa
Reakcja termojądrowa
Reaktor jądrowy
Reguła zakazu
Rentgenogram
Rezonanse
Rezonans jądrowy
Rozpad radioaktywny
Rozszczepienie jądra atomowego
Rozszczepienie linii widmowych
Siły jądrowe
Spektrograf masowy
Spin
Spalnianie neutronów

Stan krytyczny
Stany wzbudzone
Statystyka
Symetria
Synchrocyclotron
Synchrotron
Teoria pola
Teoria względności
Widmo charakterystyczne
Widmo atomowe i cząsteczkowe
Wskaźniki izotopowe
Zastosowania
Zasada nieoznaczoności
Zjawisko fotoelektryczne

Konsultacje

1. Konsultacje poprawności językowej.
2. Proponowane gremia do konsultacji treści haseł *Polskiej Encyklopedii Nauki* –

FIZYKA:

Wydział III – Nauk Ścisłych i Nauk o Ziemi PAN

Komitet Fizyki PAN