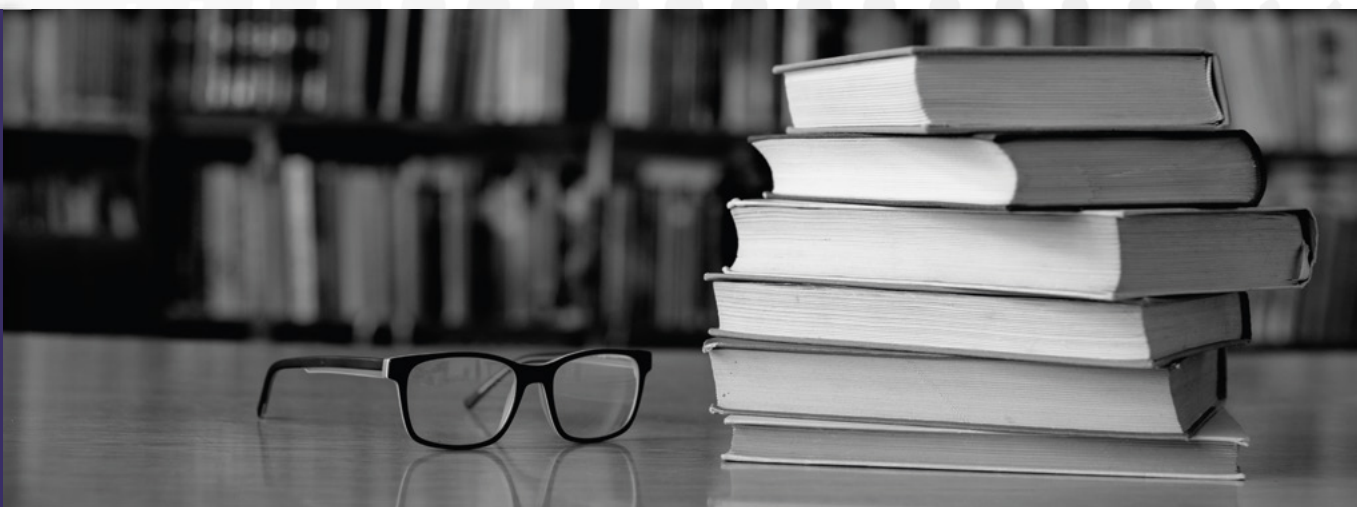




Vademecum Nauczyciela

Wdrażanie podstawy programowej w szkole ponadpodstawowej



FIZYKA



MINISTERSTWO
EDUKACJI
NARODOWEJ



OŚRODEK
ROZWOJU
EDUKACJI



Vademecum **Nauczyciela**

Wdrażanie podstawy programowej w szkole ponadpodstawowej

FIZYKA

Ośrodek Rozwoju Edukacji
Warszawa 2019

Autorzy

**Dariusz Bossowski, Tomasz Greczyło, Mariusz Mroczek, Lidia Skibińska,
Marek Thomas, Marek Ludwiczak**

Redakcja merytoryczna

Mariusz Mroczek

Redakcja językowa i korekta

Katarzyna Majewska

Redakcja techniczna i skład

Paweł Jaros

Projekt okładki, layout

Wojciech Romerowicz

Elementy graficzne: © Jovan/stock.adobe.com, © Pushkarevskyy/stock.adobe.com,
© absent84/stock.adobe.com, © Julien Eichinger/Fotolia.com, © LynxVector/Fotolia.com

Ośrodek Rozwoju Edukacji

Warszawa 2019

ISBN 978-83-66047-55-6

ISBN 978-83-66047-49-5 (seria *Vademecum nauczyciela. Wdrażanie podstawy programowej
w szkole ponadpodstawowej*)

© Copyright by Ministerstwo Edukacji Narodowej

Ośrodek Rozwoju Edukacji

Aleje Ujazdowskie 28

00-478 Warszawa

www.ore.edu.pl

tel. 22 345 37 00

Opracowano na podstawie materiałów przygotowanych przez Ministerstwo Edukacji Narodowej

Spis treści

Wprowadzenie <i>dr Wioletta Kozak</i>	5
Preambuła podstawy programowej kształcenia ogólnego, III etap edukacyjny: 4-letnie liceum ogólnokształcące oraz 5-letnie technikum	9
Podstawa programowa przedmiotu fizyka.....	15
Komentarz do podstawy programowej przedmiotu fizyka <i>Dariusz Bossowski, Tomasz Greczyło, Mariusz Mroczek,</i> <i>dr Lidia Skibińska, dr Marek Thomas,</i>	35
Wskazówki metodyczne <i>dr Lidia Skibińska, dr Marek Thomas, dr Marek Ludwiczak</i>	69

Wprowadzenie

Przygotowaliśmy dla Państwa publikację, której celem jest przybliżenie najważniejszych założeń reformy edukacji w liceum ogólnokształcącym oraz technikum¹. Wprowadzone zmiany wydłużyły czas nauki w liceum do 4 lat, a w technikum – do 5. Oprócz modyfikacji strukturalnych została wprowadzona także zmiana programowa, której najważniejszym celem jest odejście od wąskoutylitarnego, pragmatycznego kształcenia umiejętności na rzecz powrotu do uporządkowanej, systematycznej wiedzy jako podstawy edukacji – *traktowanie uporządkowanej, systematycznej wiedzy jako podstawy kształtowania umiejętności* (cel 1.) oraz *rozwijanie u uczniów szacunku dla wiedzy* (cel 8.). Zdaniem Stanleya J. Spanbauera naczelną wartość edukacji stanowi jasna, klarowna i uporządkowana wiedza. „Ona, zmieniając człowieka, ustawia go w coraz to innych szeregach. Jest odniesieniem do pragnień niechwilowych i ponadto widzianych przez pryzmat osobniczych wartości. Jest wartością w kształceniu jednostki i jej własnością. O tym, jak ważną odgrywa rolę, jednostka dowiaduje się najczęściej wtedy, gdy podejmowanie decyzji uwarunkowane jest jej posiadaniem”².

W podstawie programowej umiejętności i kompetencje rozumiane są zatem jako praktyczne zastosowanie **wiedzy** zdobywanej przez uczniów w procesie kształcenia. Wiedza to informacja wartościowa, integrująca dane, fakty, hipotezy; oznacza ona umiejętność zdobywania i posiadania informacji oraz wykorzystywania ich w praktyce. Tworzenie wiedzy wymaga, aby ktoś wcześniej informację przetworzył, połączył i zinterpretował³. Wiedza nie jest zatem synonimem informacji – wręcz przeciwnie: wiedzę tworzą informacje uporządkowane, zhierarchizowane i logicznie powiązane.

Cele główne podstawy programowej – sformułowane w oparciu o wyżej wspomnianą koncepcję wiedzy – kładą szczególny nacisk na zadania poznawcze w obrębie szkolnej edukacji, które realizowane są w dwóch wymiarach: z jednej strony jako transmisja niezbędnej wiedzy przedmiotowej, z drugiej – jako podstawa kształcenia umiejętności. Rola szkoły nie polega tylko na zapewnieniu dostępu do informacji – ten dostęp w czasach cywilizacji informatycznej i cyfrowej, jak nazywany jest wiek XXI, wydaje się dla

¹ *Vademecum Nauczyciela* zawiera zapisy podstawy programowej z komentarzami dotyczące wyłącznie liceum ogólnokształcącego oraz technikum. Pełną wersję podstawy programowej kształcenia ogólnego można znaleźć na stronie Ośrodka Rozwoju Edukacji: <https://www.ore.edu.pl/2018/03/podstawa-programowa-ksztalcenia-ogolnego-dla-liceum-technikum-i-branzowej-szkoly-ii-stopnia/> [dostęp: 15 lipca 2019 r.]

² Spanbauer S. J., (1987), *Quality First in Education... Why not?*, Appleton, WI: Fox Valley Technical College Foundation, za: Denek K., *Edukacja oparta o wartości*, (2009), „Wartości w muzyce” nr 2, s. 139–158, online: http://bazhum.muzhp.pl/media/files/Wartosci_w_muzyce/Wartosci_w_muzyce-r2009-t2/Wartosci_w_muzyce-r2009-t2-s139-158/Wartosci_w_muzyce-r2009-t2-s139-158.pdf [dostęp: 15 lipca 2019 r.]

³ Kromer B., (2008), *Wiedza jako podstawowy czynnik funkcjonowania organizacji inteligentnej*, „Zeszyty Naukowe Instytutu Ekonomii i Zarządzania” nr 2, Koszalin: Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, s. 93–99.

uczniów niemal nieograniczony – ale taka organizacja złożonego procesu przekazywania i samodzielnego zdobywania wiedzy, aby młodzi ludzie mogli rozumieć otaczającą ich rzeczywistość. Nastąpiła więc zmiana paradygmatu myślenia o edukacji – szkoła staje się przestrzenią rozwoju uczniów i budowania dla nich dobrej przyszłości, w której wykorzystają swój potencjał, możliwości i zainteresowania.

Podstawa programowa do szkoły ponadpodstawowej ukierunkowana jest na rozwijanie myślenia. Myślenie to tworzenie pojęć, które organizują świat, rozwiązywanie problemów oraz skuteczne podejmowanie decyzji i formułowanie sądów⁴. Myślenie krytyczne stanowi jedną z najważniejszych umiejętności XXI wieku, a jej rozwój jest kluczowym elementem przygotowującym uczniów do dorosłego życia. Dzięki myśleniu krytycznemu ludzie uczą się i potrafią:

- analizować, tworzyć hipotezy, określać istotę problemów;
- oceniać, weryfikować i formułować argumenty;
- myśleć niezależnie;
- tworzyć logiczne powiązania;
- przewidywać (na drodze dedukcji) konsekwencje znanych faktów;
- dostrzegać nieścisłości i błędy w rozumowaniu;
- sprawdzać fakty, rozumieć logiczne zależności między faktami;
- przetwarzać informacje;
- kwestionować oczywistości i własne założenia;
- myśleć jasno i precyzyjnie, być dociekliwymi.

Myślenie krytyczne jest zdyscyplinowanym procesem intelektualnym, który polega na:

- 1) aktywnej i umiejętnej konceptualizacji;
- 2) wykorzystywaniu, analizowaniu i syntetyzowaniu oraz ocenie informacji uzyskanych od kogoś lub sformułowanych samodzielnie;
- 3) obserwacji, zdobywaniu doświadczeń;
- 4) refleksji, rozumowaniu i komunikacji.

Krytyczne myślenie zakłada sprawdzenie w każdym rozumowaniu struktur lub elementów takich jak: cel, problem, kwestia, założenia, pojęcia, podstawy empiryczne, określony wniosek, implikacje i konsekwencje, zastrzeżenia płynące z innych punktów widzenia oraz zakres możliwych nawiązań. Myślenie krytyczne jako dotyczące wielu różnych przedmiotów, spraw i celów stanowi składową różnorodnych sposobów myślenia, m.in.: myślenia naukowego, matematycznego, historycznego, ekonomicznego, moralnego i filozoficznego.

⁴ Myers D.G., *Psychologia*, (2003), Poznań: Zysk i S-ka, s. 378.

Myślenie krytyczne można charakteryzować jako złożone z następujących elementów:

- 1) zbiór informacji oraz przekonań, które kształtują umiejętności;
- 2) nawyki, oparte na zaangażowaniu intelektualnym, określające wykorzystanie owych umiejętności do kontroli i kształtowania zachowania.

Z tego względu można je przeciwstawić:

- 1) biernemu przyswajaniu i przechowywaniu informacji – ponieważ myślenie krytyczne wymaga [używania] szczegółowych metod wyszukiwania informacji i obchodzenia się z nimi;
- 2) posiadaniu umiejętności, które zgodnie z założeniem będą stale używane;
- 3) wykorzystywaniu tych umiejętności⁵.

Autorzy podstawy programowej, rozumiejąc potrzebę formowania „człowieka myślącego”, aż trzy z ośmiu celów głównych odnieśli do konieczności ukształtowania i doskonalenia – w ramach nauczania na zajęciach wszystkich przedmiotów ogólnych, realizowanych zarówno w liceum ogólnokształcącym, jak i w technikum – narzędzi intelektualnego rozwoju człowieka. Za istotne wyzwania, przed którymi stoi szkoła, uznano:

- 2) *doskonalenie umiejętności myślowo-językowych, takich jak: czytanie ze zrozumieniem, pisanie twórcze, formułowanie pytań i problemów, posługiwanie się kryteriami, uzasadnianie, wyjaśnianie, klasyfikowanie, wnioskowanie, definiowanie, posługiwanie się przykładami itp.;*
- 4) *zdobywanie umiejętności formułowania samodzielnych i przemyślanych sądów, uzasadniania własnych i cudzych sądów w procesie dialogu we wspólnocie dociekającej;*
- 5) *łącznie zdolności krytycznego i logicznego myślenia z umiejętnościami wyobrażeniowo-twórczymi;*
- 7) *rozwijanie narzędzi myślowych umożliwiających uczniom obcowanie z kulturą i jej rozumienie.*

Myślenie stanowi nadrzędną **umiejętność** zdobywaną przez ucznia w trakcie szkolnej edukacji – jest „rozumiane jako złożony proces umysłowy, polegający na tworzeniu nowych reprezentacji za pomocą transformacji dostępnych informacji, obejmującej interakcję wielu operacji umysłowych: wnioskowanie, abstrahowanie, rozumowanie, wyobrażanie sobie, sądzenie, rozwiązywanie problemów, twórczość. Dzięki temu, że uczniowie szkoły ponadpodstawowej uczą się równocześnie różnych przedmiotów, możliwe jest rozwijanie następujących typów myślenia: analitycznego, syntetycznego, logicznego, komputacyjnego, przyczynowo-skutkowego, kreatywnego, abstrakcyjnego; zachowanie ciągłości kształcenia ogólnego rozwija zarówno myślenie percepcyjne, jak i myślenie pojęciowe. Synteza obu typów myślenia stanowi podstawę wszechstronnego rozwoju ucznia”.

⁵ Zob. Oświadczenie Michaela Scrivena i Richarda Paula wygłoszone podczas 8th Annual International Conference on Critical Thinking and Education Reform, (1987) – online: <http://www.criticalthinking.pl/czym-jest-krytyczne-myslenie/> [dostęp: 15 lipca 2019 r.].

Przygotowany dla Państwa materiał proponuje sposoby, metody i techniki, które pomagają rozwijać sprawność myślenia uczniów na lekcjach poszczególnych przedmiotów. Podpowiada rozwiązania metodyczne i – mamy nadzieję – okaże się ciekawym, inspirującym i pomocnym poradnikiem w pracy dydaktycznej.

dr Wioletta Kozak

Preambuła podstawy programowej kształcenia ogólnego

III etap edukacyjny: 4-letnie liceum ogólnokształcące oraz 5-letnie technikum

Kształcenie ogólne w szkole ponadpodstawowej tworzy programowo spójną całość i stanowi fundament wykształcenia, umożliwiając zdobycie zróżnicowanych kwalifikacji zawodowych, a następnie ich doskonalenie lub modyfikowanie, otwierając proces uczenia się przez całe życie.

Celem kształcenia ogólnego w liceum ogólnokształcącym i technikum jest:

- 1) traktowanie uporządkowanej, systematycznej wiedzy jako podstawy kształtowania umiejętności;
- 2) doskonalenie umiejętności myślowo-językowych, takich jak: czytanie ze zrozumieniem, pisanie twórcze, formułowanie pytań i problemów, posługiwanie się kryteriami, uzasadnianie, wyjaśnianie, klasyfikowanie, wnioskowanie, definiowanie, posługiwanie się przykładami itp.;
- 3) rozwijanie osobistych zainteresowań ucznia i integrowanie wiedzy przedmiotowej z różnych dyscyplin;
- 4) zdobywanie umiejętności formułowania samodzielnych i przemyślanych sądów, uzasadniania własnych i cudzych sądów w procesie dialogu we wspólnocie dociekającej;
- 5) łączenie zdolności krytycznego i logicznego myślenia z umiejętnościami wyobrażeniowo-twórczymi;
- 6) rozwijanie wrażliwości społecznej, moralnej i estetycznej;
- 7) rozwijanie narzędzi myślowych umożliwiających uczniom obcowanie z kulturą i jej rozumienie;
- 8) rozwijanie u uczniów szacunku dla wiedzy, wyrabianie pasji poznawania świata i zachęcanie do praktycznego zastosowania zdobytych wiadomości.

Do najważniejszych umiejętności zdobywanych przez ucznia w trakcie kształcenia ogólnego w liceum ogólnokształcącym i technikum należą:

- 1) myślenie – rozumiane jako złożony proces umysłowy, polegający na tworzeniu nowych reprezentacji za pomocą transformacji dostępnych informacji, obejmującej interakcję wielu operacji umysłowych: wnioskowanie, abstrahowanie, rozumowanie, wyobrażanie sobie, sądzenie, rozwiązywanie problemów, twórczość. Dzięki temu, że uczniowie szkoły ponadpodstawowej uczą się równocześnie różnych przedmiotów, możliwe jest rozwijanie następujących typów myślenia: analitycznego, syntetycznego, logicznego, komputacyjnego, przyczynowo-skutkowego, kreatywnego, abstrakcyjnego; zachowanie ciągłości kształcenia ogólnego rozwija zarówno myślenie percepcyjne, jak i myślenie pojęciowe. Synteza obu typów myślenia stanowi podstawę wszechstronnego rozwoju ucznia;

- 2) czytanie – umiejętność łącząca zarówno rozumienie sensów, jak i znaczeń symbolicznych wypowiedzi; kluczowa umiejętność lingwistyczna i psychologiczna prowadząca do rozwoju osobowego, aktywnego uczestnictwa we wspólnocie, przekazywania doświadczeń między pokoleniami;
- 3) umiejętność komunikowania się w języku ojczystym i w językach obcych, zarówno w mowie, jak i w piśmie, to podstawowa umiejętność społeczna, której podstawą jest znajomość norm językowych oraz tworzenie podstaw porozumienia się w różnych sytuacjach komunikacyjnych;
- 4) kreatywne rozwiązywanie problemów z różnych dziedzin ze świadomym wykorzystaniem metod i narzędzi wywodzących się z informatyki, w tym programowanie;
- 5) umiejętność sprawnego posługiwania się nowoczesnymi technologiami informacyjno-komunikacyjnymi, w tym dbałość o poszanowanie praw autorskich i bezpieczne poruszanie się w cyberprzestrzeni;
- 6) umiejętność samodzielnego docierania do informacji, dokonywania ich selekcji, syntezy oraz wartościowania, rzetelnego korzystania ze źródeł;
- 7) nabywanie nawyków systematycznego uczenia się, porządkowania zdobytej wiedzy i jej pogłębiania;
- 8) umiejętność współpracy w grupie i podejmowania działań indywidualnych.

Jednym z najważniejszych zadań liceum ogólnokształcącego i technikum jest rozwijanie kompetencji językowej i kompetencji komunikacyjnej stanowiących kluczowe narzędzie poznawcze we wszystkich dyscyplinach wiedzy. Istotne w tym zakresie jest łączenie teorii i praktyki językowej. Bogacenie słownictwa, w tym poznawanie terminologii właściwej dla każdego z przedmiotów, służy rozwojowi intelektualnemu ucznia, a wspomaganie i dbałość o ten rozwój należy do obowiązków każdego nauczyciela.

Ważnym zadaniem szkoły jest przygotowanie uczniów do życia w społeczeństwie informacyjnym. Nauczyciele wszystkich przedmiotów powinni stwarzać uczniom warunki do nabywania umiejętności wyszukiwania, porządkowania i wykorzystywania informacji z różnych źródeł oraz dokumentowania swojej pracy, z uwzględnieniem prawidłowej kompozycji tekstu i zasad jego organizacji, z zastosowaniem technologii informacyjno-komunikacyjnych.

Realizację powyższych celów powinna wspomagać dobrze wyposażona biblioteka szkolna, dysponująca aktualnymi zbiorami, zarówno w postaci księgozbioru, jak i w postaci zasobów multimedialnych. Nauczyciele wszystkich przedmiotów powinni odwoływać się do zasobów biblioteki szkolnej i współpracować z nauczycielami bibliotekarzami w celu wszechstronnego przygotowania uczniów do samokształcenia i świadomego wyszukiwania, selekcjonowania i wykorzystywania informacji.

Ponieważ środki społecznego przekazu odgrywają coraz większą rolę, zarówno w życiu społecznym, jak i indywidualnym, każdy nauczyciel powinien poświęcić dużo uwagi edukacji medialnej, czyli wychowaniu uczniów do właściwego odbioru i wykorzystania mediów.

Ważnym celem działalności szkoły jest skuteczne nauczanie języków obcych. Bardzo ważne jest dostosowanie zajęć do poziomu przygotowania ucznia, które uzyskał na wcześniejszych etapach edukacyjnych.

Ważnym zadaniem szkoły jest także edukacja zdrowotna, której celem jest rozwijanie u uczniów postawy dbałości o zdrowie własne i innych ludzi oraz umiejętności tworzenia środowiska sprzyjającego zdrowiu.

W procesie kształcenia ogólnego szkoła kształtuje u uczniów postawy sprzyjające ich dalszemu rozwojowi indywidualnemu i społecznemu, takie jak: uczciwość, wiarygodność, odpowiedzialność, wytrwałość, poczucie własnej wartości, szacunek dla innych ludzi, ciekawość poznawcza, kreatywność, przedsiębiorczość, kultura osobista, gotowość do uczestnictwa w kulturze, podejmowania inicjatyw oraz do pracy zespołowej. W rozwoju społecznym bardzo ważne jest kształtowanie postawy obywatelskiej, postawy poszanowania tradycji i kultury własnego narodu, a także postawy poszanowania dla innych kultur i tradycji.

Kształcenie i wychowanie w liceum ogólnokształcącym i technikum sprzyja rozwijaniu postaw obywatelskich, patriotycznych i społecznych uczniów. Zadaniem szkoły jest wzmacnianie poczucia tożsamości narodowej, etnicznej i regionalnej, przywiązania do historii i tradycji narodowych, przygotowanie i zachęcanie do podejmowania działań na rzecz środowiska szkolnego i lokalnego, w tym do angażowania się w wolontariat. Szkoła dba o wychowanie młodzieży w duchu akceptacji i szacunku dla drugiego człowieka, kształtuje postawę szacunku dla środowiska przyrodniczego, motywuje do działań na rzecz ochrony środowiska oraz rozwija zainteresowanie ekologią.

Duże znaczenie dla rozwoju młodego człowieka oraz jego sukcesów w dorosłym życiu ma nabywanie kompetencji społecznych, takich jak: komunikacja i współpraca w grupie, w tym w środowiskach wirtualnych, udział w projektach zespołowych lub indywidualnych oraz organizacja i zarządzanie projektami.

Strategia uczenia się przez całe życie wymaga umiejętności podejmowania ważnych decyzji, poczynając od wyboru szkoły ponadpodstawowej, kierunku studiów lub konkretnej specjalizacji zawodowej, poprzez decyzje o wyborze miejsca pracy, sposobie podnoszenia oraz poszerzania swoich kwalifikacji, aż do ewentualnych decyzji o zmianie zawodu. I te umiejętności kształtowane będą w szkole ponadpodstawowej.

Przedmioty w liceum ogólnokształcącym i technikum mogą być nauczane w zakresie podstawowym lub w zakresie rozszerzonym:

- 1) tylko w zakresie podstawowym – przedmioty: muzyka, plastyka, podstawy przedsiębiorczości, wychowanie fizyczne, edukacja dla bezpieczeństwa, wychowanie do życia w rodzinie, etyka;
- 2) w zakresie podstawowym i w zakresie rozszerzonym: język polski, język obcy nowożytny, matematyka, język mniejszości narodowej lub etnicznej oraz język regionalny – język kaszubski, historia, wiedza o społeczeństwie, geografia, biologia, chemia, filozofia, fizyka, informatyka;
- 3) tylko w zakresie rozszerzonym – przedmioty: historia muzyki, historia sztuki, język łaciński i kultura antyczna.

Szkoła ma stwarzać uczniom warunki do nabywania wiedzy i umiejętności potrzebnych do rozwiązywania problemów z wykorzystaniem metod i technik wywodzących się z informatyki, w tym logicznego i algorytmicznego myślenia, programowania, posługiwania się aplikacjami komputerowymi, wyszukiwania i wykorzystywania informacji z różnych źródeł, posługiwania się komputerem i podstawowymi urządzeniami cyfrowymi oraz stosowania tych umiejętności na zajęciach z różnych przedmiotów, m.in. do pracy nad tekstem, wykonywania obliczeń, przetwarzania informacji i jej prezentacji w różnych postaciach.

Każda sala lekcyjna powinna mieć dostęp do internetu, uczniowie i nauczyciele powinni mieć zapewniony dostęp do pracowni stacjonarnej lub mobilnej oraz możliwość korzystania z własnego sprzętu. Wszystkie pracownie powinny być wyposażone w monitor interaktywny (z wbudowanym komputerem i oprogramowaniem) lub zestaw: komputer, projektor i tablica interaktywna lub ekran.

Szkoła ma również przygotowywać uczniów do dokonywania świadomych i odpowiedzialnych wyborów w trakcie korzystania z zasobów dostępnych w internecie, krytycznej analizy informacji, bezpiecznego poruszania się w przestrzeni cyfrowej, w tym nawiązywania i utrzymywania opartych na wzajemnym szacunku relacji z innymi użytkownikami sieci.

Szkoła oraz poszczególni nauczyciele podejmują działania mające na celu zindywidualizowane wspomaganie rozwoju każdego ucznia, stosownie do jego potrzeb i możliwości.

Uczniom z niepełnosprawnościami szkoła zapewnia optymalne warunki pracy. Wybór form indywidualizacji nauczania powinien wynikać z rozpoznania potencjału każdego ucznia. Zatem nauczyciel powinien tak dobierać zadania, aby z jednej strony nie przerażały one możliwości ucznia (nie uniemożliwiały osiągnięcia sukcesu), a z drugiej nie powodowały obniżenia motywacji do radzenia sobie z wyzwaniami.

Bardzo istotna jest edukacja zdrowotna, która prowadzona konsekwentnie i umiejętnie będzie przyczyniać się do poprawy kondycji zdrowotnej społeczeństwa oraz pomyślności ekonomicznej państwa.

Zastosowanie metody projektu, oprócz wspierania w nabywaniu opisanych wyżej kompetencji, pomaga również rozwijać u uczniów przedsiębiorczość i kreatywność oraz umożliwia stosowanie w procesie kształcenia innowacyjnych rozwiązań programowych, organizacyjnych lub metodycznych.

Opis wiadomości i umiejętności zdobytych przez ucznia w szkole ponadpodstawowej jest przedstawiany w języku efektów uczenia się, zgodnie z Polską Ramą Kwalifikacji⁶.

Działalność edukacyjna szkoły określona jest przez:

- 1) szkolny zestaw programów nauczania;
- 2) program wychowawczo-profilaktyczny szkoły.

Szkolny zestaw programów nauczania oraz program wychowawczo-profilaktyczny szkoły tworzą spójną całość i muszą uwzględniać wszystkie wymagania opisane w podstawie programowej. Ich przygotowanie i realizacja są zadaniem zarówno całej szkoły, jak i każdego nauczyciela.

Obok zadań wychowawczych i profilaktycznych nauczyciele wykonują również działania opiekuńcze odpowiednio do istniejących potrzeb.

Działalność wychowawcza szkoły należy do podstawowych celów polityki oświatowej państwa. Wychowanie młodego pokolenia jest zadaniem rodziny i szkoły, która w swojej działalności musi uwzględniać wolę rodziców, ale także i państwa, do którego obowiązków należy stwarzanie właściwych warunków wychowania. Zadaniem szkoły jest ukierunkowanie procesu wychowawczego na wartości, które wyznaczają cele wychowania i kryteria jego oceny. Wychowanie ukierunkowane na wartości zakłada przede wszystkim podmiotowe traktowanie ucznia, a wartości skłaniają człowieka do podejmowania odpowiednich wyborów czy decyzji. W realizowanym procesie dydaktyczno-wychowawczym szkoła podejmuje działania związane z miejscami ważnymi dla pamięci narodowej, formami upamiętniania postaci i wydarzeń z przeszłości, najważniejszymi świętami narodowymi i symbolami państwowymi.

W czteroletnim liceum ogólnokształcącym i pięcioletnim technikum są realizowane następujące przedmioty:

- 1) język polski;
- 2) język obcy nowożytny;
- 3) filozofia;

⁶ Ustawa z dnia 22 grudnia 2015 r. o Zintegrowanym Systemie Kwalifikacji (Dz.U. z 2017 r., poz. 986 i 1475).

- 4) język łaciński i kultura antyczna;
- 5) muzyka;
- 6) historia muzyki;
- 7) plastyka;
- 8) historia sztuki;
- 9) historia;
- 10) wiedza o społeczeństwie;
- 11) geografia;
- 12) podstawy przedsiębiorczości;
- 13) biologia;
- 14) chemia;
- 15) fizyka;
- 16) matematyka;
- 17) informatyka;
- 18) wychowanie fizyczne;
- 19) edukacja dla bezpieczeństwa;
- 20) wychowanie do życia w rodzinie⁷;
- 21) etyka;
- 22) język mniejszości narodowej lub etnicznej⁸;
- 23) język regionalny – język kaszubski⁸.

Fizyka

Fizyka jest nauką przyrodniczą ściśle związaną z codzienną aktywnością człowieka. Nauczanie fizyki w liceum ogólnokształcącym i technikum stanowi istotny element kształcenia ogólnego. Głównym celem nauczania fizyki na tym etapie edukacyjnym jest dostarczenie narzędzi ułatwiających całościowe postrzeganie różnorodności i złożoności zjawisk otaczającego świata z punktu widzenia nauk przyrodniczych. Zdobycie ogólnej wiedzy, wykształcenie podstawowych umiejętności oraz ukształtowanie postaw charakterystycznych dla fizyki ułatwia rozumienie procesów i zjawisk, które towarzyszą człowiekowi na co dzień. Zgodnie z założeniem spiralnego nauczania ogólnej treści zawarte w podstawie programowej zostały poszerzone i uzupełnione w celu holistycznego kształtowania podstaw rozumowania naukowego. Rozumowanie to obejmuje rozpoznawanie zagadnień, wyjaśnianie zjawisk fizycznych, interpretowanie oraz wykorzystywanie wyników i dowodów naukowych do budowania fizycznego obrazu rzeczywistości.

⁷ Sposób nauczania przedmiotu wychowanie do życia w rodzinie określają przepisy wydane na podstawie art. 4 ust. 3 *Ustawy z dnia 7 stycznia 1993 r. o planowaniu rodziny, ochronie płodu ludzkiego i warunkach dopuszczalności przerywania ciąży* (Dz.U., poz. 78, z 1995 r., poz. 334, z 1996 r., poz. 646, z 1997 r., poz. 943 i poz. 1040, z 1999 r., poz. 32 oraz z 2001 r., poz. 1792).

⁸ Przedmiot język mniejszości narodowej lub etnicznej oraz przedmiot język regionalny – język kaszubski są realizowane w szkołach (oddziałach) z nauczaniem języka mniejszości narodowych lub etnicznych oraz języka regionalnego – języka kaszubskiego, zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 13 ust. 3 *Ustawy z dnia 7 września 1991 r. o systemie oświaty* (Dz.U. z 2017 r., poz. 2198, 2203 i 2361).

Podstawa programowa przedmiotu fizyka

III etap edukacyjny: 4-letnie liceum ogólnokształcące oraz 5-letnie technikum

Zakres podstawowy

Cele kształcenia – wymagania ogólne

- I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.
- II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.
- III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.
- IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych.

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

- I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:
 - 1) przedstawia jednostki wielkości fizycznych, opisuje ich związki z jednostkami podstawowymi; przelicza wielokrotności i podwielokrotności;
 - 2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;
 - 3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik;
 - 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;
 - 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne;
 - 6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi;
 - 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;
 - 8) rozpoznaje zależność rosnącą bądź malejącą na podstawie danych z tabeli lub na podstawie wykresu; rozpoznaje proporcjonalność prostą na podstawie wykresu;
 - 9) dopasowuje prostą do danych przedstawionych w postaci wykresu; interpretuje nachylenie tej prostej i punkty przecięcia z osiami;
 - 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia, korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;
 - 11) przestrzega zasad bezpieczeństwa podczas wykonywania obserwacji, pomiarów i doświadczeń;

- 12) wyznacza średnią z kilku pomiarów jako końcowy wynik pomiaru powtarzanego;
- 13) posługuje się pojęciem niepewności pomiaru wielkości prostych; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności;
- 14) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych;
- 15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu;
- 16) przedstawia własnymi słowami główne tezy tekstu popularnonaukowego z dziedziny fizyki lub astronomii;
- 17) przedstawia wybrane informacje z historii odkryć kluczowych dla rozwoju fizyki.

II. Mechanika. Uczeń:

- 1) rozróżnia pojęcia: położenie, tor i droga;
- 2) posługuje się do opisu ruchów wielkościami wektorowymi: przemieszczenie, prędkość i przyspieszenie wraz z ich jednostkami;
- 3) opisuje ruchy prostoliniowe jednostajne i jednostajnie zmiennie, posługując się zależnościami położenia, wartości prędkości oraz drogi od czasu;
- 4) opisuje ruch jednostajny po okręgu, posługując się pojęciami okresu, częstotliwości i prędkości liniowej wraz z ich jednostkami;
- 5) wyznacza graficznie siłę wypadkową dla sił działających w dowolnych kierunkach na płaszczyźnie;
- 6) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał;
- 7) rozróżnia opory ruchu (opory ośrodka i tarcie); omawia rolę tarcia na wybranych przykładach;
- 8) wskazuje siłę dośrodkową jako przyczynę ruchu jednostajnego po okręgu;
- 9) rozróżnia układy inercjalne i nieinercjalne; posługuje się pojęciem siły bezwładności;
- 10) posługuje się pojęciami pracy mechanicznej, mocy, energii kinetycznej, energii potencjalnej wraz z ich jednostkami; stosuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń;
- 11) doświadcza:
 - a) demonstruje działanie siły bezwładności, m.in. na przykładzie pojazdów gwałtownie hamujących,
 - b) bada związek między siłą dośrodkową a masą, prędkością liniową i promieniem w ruchu jednostajnym po okręgu.

III. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:

- 1) posługuje się prawem powszechnego ciążenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego; wskazuje siłę grawitacji jako przyczynę spadania ciał;

- 2) wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej; oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu; omawia ruch satelitów wokół Ziemi;
- 3) opisuje stan nieważkości i stan przeciążenia oraz podaje warunki i przykłady jego występowania;
- 4) opisuje budowę Układu Słonecznego i jego miejsce w Galaktyce; posługuje się pojęciami jednostki astronomicznej i roku świetlnego;
- 5) opisuje Wielki Wybuch jako początek znanego nam Wszechświata; zna przybliżony wiek Wszechświata, opisuje rozszerzanie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk).

IV. Drgania. Uczeń:

- 1) opisuje proporcjonalność siły sprężystości do wydłużenia; posługuje się pojęciem współczynnika sprężystości i jego jednostką;
- 2) analizuje ruch drgający pod wpływem siły sprężystości, posługując się pojęciami wychylenia, amplitudy oraz okresu drgań; podaje przykłady takiego ruchu;
- 3) analizuje przemiany energii w ruchu drgającym;
- 4) opisuje drgania wymuszone i drgania słabo tłumione; ilustruje zjawisko rezonansu mechanicznego na wybranych przykładach;
- 5) doświadczalnie:
 - a) demonstruje niezależność okresu drgań ciężarka na sprężynie od amplitudy;
 - b) bada zależność okresu drgań ciężarka na sprężynie od jego masy;
 - c) demonstruje zjawisko rezonansu mechanicznego.

V. Termodynamika. Uczeń:

- 1) opisuje zjawisko rozszerzalności cieplnej: liniowej ciał stałych oraz objętościowej gazów i cieczy;
- 2) odróżnia przekaz energii w postaci ciepła między układami o różnych temperaturach od przekazu energii w formie pracy;
- 3) posługuje się pojęciem energii wewnętrznej; analizuje pierwszą zasadę termodynamiki jako zasadę zachowania energii;
- 4) wykorzystuje pojęcie ciepła właściwego oraz ciepła przemiany fazowej w analizie bilansu cieplnego;
- 5) posługuje się pojęciem wartości energetycznej paliw i żywności;
- 6) wymienia szczególne własności wody i ich konsekwencje dla życia na Ziemi;
- 7) opisuje zjawisko dyfuzji jako skutek chaotycznego ruchu cząsteczek;
- 8) doświadczalnie:
 - a) wyznacza ciepło właściwe metalu, posługując się bilansem cieplnym,
 - b) demonstruje rozszerzalność cieplną wybranych ciał stałych.

VI. Elektrostatyka. Uczeń:

- 1) posługuje się zasadą zachowania ładunku;

- 2) oblicza wartość siły wzajemnego oddziaływania ładunków, stosując prawo Coulomba;
- 3) posługuje się pojęciem pola elektrycznego; ilustruje graficznie pole elektryczne za pomocą linii pola; opisuje pole jednorodne;
- 4) opisuje jakościowo rozkład ładunków w przewodnikach i znikanie pola elektrycznego wewnątrz przewodnika (klatka Faradaya);
- 5) opisuje kondensator jako układ dwóch przeciwnie naładowanych przewodników, pomiędzy którymi istnieje napięcie elektryczne oraz jako urządzenie magazynujące energię;
- 6) doświadcza:
 - a) ilustruje pole elektryczne oraz układ linii pola wokół przewodnika,
 - b) demonstruje przekaz energii podczas rozładowania kondensatora (np. lampa błyskowa, przeskoc iskry).

VII. Prąd elektryczny. Uczeń:

- 1) posługuje się pojęciami natężenia prądu elektrycznego, napięcia elektrycznego oraz mocy wraz z ich jednostkami;
- 2) rozróżnia metale i półprzewodniki; omawia zależność oporu od temperatury dla metali i półprzewodników;
- 3) stosuje do obliczeń proporcjonalność natężenia prądu stałego do napięcia dla przewodników (prawo Ohma);
- 4) stosuje I prawo Kirchhoffa jako przykład zasady zachowania ładunku;
- 5) opisuje sieć domową jako przykład obwodu rozgałęzionego; wyjaśnia funkcję bezpieczników różnicowych i przewodu uziemiającego;
- 6) wykorzystuje dane znamionowe urządzeń elektrycznych do obliczeń;
- 7) opisuje zasadę dodawania napięć w układzie ogniów połączonych szeregowo i jej związek z zasadą zachowania energii;
- 8) opisuje funkcję diody półprzewodnikowej jako elementu przewodzącego w jednym kierunku oraz jako źródła światła;
- 9) opisuje tranzystor jako trójelektrodowy, półprzewodnikowy element wzmacniający sygnały elektryczne;
- 10) doświadcza:
 - a) demonstruje I prawo Kirchhoffa,
 - b) bada dodawanie napięć w układzie ogniów połączonych szeregowo,
 - c) demonstruje rolę diody jako elementu składowego prostowników i źródła światła.

VIII. Magnetyzm. Uczeń:

- 1) posługuje się pojęciem pola magnetycznego; rysuje linie pola magnetycznego w pobliżu magnesów stałych i przewodników z prądem (przewodnik prostoliniowy, zwojnica);

- 2) opisuje jakościowo oddziaływanie pola magnetycznego na przewodniki z prądem i poruszające się cząstki naładowane; omawia rolę pola magnetycznego Ziemi jako osłony przed wiatrem słonecznym;
- 3) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jej związek ze względnym ruchem magnesu i zwojnicy lub zmianą natężenia prądu w elektromagnesie; opisuje przemiany energii podczas działania prądnicy;
- 4) opisuje cechy prądu przemiennego;
- 5) opisuje zasadę działania transformatora oraz podaje przykłady jego zastosowania;
- 6) doświadczalnie:
 - a) ilustruje układ linii pola magnetycznego,
 - b) demonstruje zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jego związek ze względnym ruchem magnesu i zwojnicy oraz ze zmianą natężenia prądu w elektromagnesie.

IX. Fale i optyka. Uczeń:

- 1) opisuje rozchodzenie się fal na powierzchni wody i dźwięku w powietrzu na podstawie obrazu powierzchni falowych;
- 2) opisuje jakościowo dyfrakcję fali na szczelinie;
- 3) stosuje zasadę superpozycji fal; podaje warunki wzmocnienia oraz wygaszenia się fal; opisuje zjawisko interferencji fal i przestrzenny obraz interferencji;
- 4) analizuje efekt Dopplera dla fal w przypadku, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala; podaje przykłady występowania tego zjawiska;
- 5) opisuje zjawiska jednoczesnego odbicia i załamania światła na granicy dwóch ośrodków różniących się prędkością rozchodzenia się światła; opisuje działanie światłowodu jako przykład wykorzystania zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia;
- 6) rozróżnia fale poprzeczne i podłużne; opisuje światło jako falę elektromagnetyczną; opisuje polaryzację światła wynikającą z poprzecznego charakteru fali;
- 7) opisuje widmo światła białego jako mieszaniny fal o różnych częstotliwościach;
- 8) opisuje przykłady zjawisk optycznych w przyrodzie;
- 9) doświadczalnie:
 - a) obserwuje wygaszanie światła po przejściu przez dwa polaryzatory ustawione prostopadle,
 - b) demonstruje rozpraszanie światła w ośrodku.

X. Fizyka atomowa. Uczeń:

- 1) analizuje na wybranych przykładach promieniowanie termiczne ciał i jego zależność od temperatury;
- 2) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; wyjaśnia pojęcie fotonu oraz jego energii;
- 3) opisuje jakościowo pochodzenie widm emisyjnych i absorpcyjnych gazów;

- 4) interpretuje linie widmowe jako skutek przejść między poziomami energetycznymi w atomach z emisją lub absorpcją kwantu światła; rozróżnia stan podstawowy i stany wzbudzone atomu;
- 5) opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej.

XI. Fizyka jądrowa. Uczeń:

- 1) posługuje się pojęciami: pierwiastek, jądro atomowe, izotop, proton, neutron, elektron do opisu składu materii; opisuje skład jądra atomowego na podstawie liczby masowej i atomowej;
- 2) zapisuje reakcje jądrowe, stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku;
- 3) wymienia właściwości promieniowania jądrowego; opisuje rozpady alfa, beta;
- 4) posługuje się pojęciem jądra stabilnego i niestabilnego; opisuje powstawanie promieniowania gamma;
- 5) opisuje rozpad izotopu promieniotwórczego; posługuje się pojęciem czasu połowicznego rozpadu;
- 6) stosuje zasadę zachowania energii do opisu reakcji jądrowych; posługuje się pojęciami energii wiązania i deficytu masy; oblicza te wielkości dla dowolnego izotopu;
- 7) wskazuje wpływ promieniowania jonizującego na materię oraz na organizmy żywe;
- 8) wymienia przykłady zastosowania zjawiska promieniotwórczości w technice i medycynie;
- 9) opisuje reakcję rozszczepienia jądra uranu ^{235}U zachodzącą w wyniku pochłonięcia neutronu; podaje warunki zajścia reakcji łańcuchowej;
- 10) opisuje zasadę działania elektrowni jądrowej oraz wymienia korzyści i niebezpieczeństwa płynące z energetyki jądrowej;
- 11) opisuje reakcję termojądrową przemiany wodoru w hel zachodzącą w gwiazdach;
- 12) opisuje elementy ewolucji gwiazd; omawia supernowe i czarne dziury.

Warunki i sposób realizacji

Podstawę programową fizyki dla szkół ponadpodstawowych w zakresie podstawowym otwierają cele ogólne określające główne zadania kształcenia na tym etapie edukacyjnym. Uwzględniając kumulatywność wiedzy i umiejętności zdobytych w szkole podstawowej oraz ze względu na spiralny charakter kształcenia, do podstawy programowej wprowadzone zostały nowe treści powiększające zasób wiedzy i kompetencji przedmiotowych. Stanowią one niezbędne uzupełnienie wykształcenia ogólnego w zakresie fizyki.

Uczenie fizyki powinno odwoływać się do przykładów z życia codziennego. Należy kłaść nacisk przede wszystkim na umiejętność identyfikacji zjawisk, znajomość warunków ich występowania i przebiegu. Ważnym elementem jest kształtowanie umiejętności budowania prawidłowych związków przyczynowo-skutkowych. Podczas zajęć fizyki wskazane jest, aby analiza jakościowa była priorytetowa w stosunku do analizy ilościowej. Sprawne wykonywanie obliczeń i oszacowań ilościowych jest ważną umiejętnością, ale nie może być uważane za główny cel nauczania w tym zakresie.

Uczniowie kończący edukację w zakresie podstawowym powinni być przygotowani do funkcjonowania we współczesnym świecie oraz postrzegać rolę fizyki jako fundamentu techniki i różnych gałęzi wiedzy przyrodniczej. Należy rozbudzać w nich ciekawość świata i umiejętność poszukiwania wiedzy, jednocześnie rozwijając krytyczne podejście do informacji i opinii. W procesie tym kluczową rolę odgrywa nauczyciel i szkoła m.in. poprzez zróżnicowanie form pracy z uczniami (np. metoda projektu, nauczanie przez działanie, odwrócona lekcja).

Zakres rozszerzony

Cele kształcenia – wymagania ogólne

- I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.
- II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.
- III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.
- IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych.
- V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

- I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:
 - 1) przedstawia jednostki wielkości fizycznych, opisuje ich związki z jednostkami podstawowymi; przelicza wielokrotności i podwielokrotności;
 - 2) posługuje się materiałami pomocniczymi, w tym tablicami fizycznymi i chemicznymi oraz kartą wybranych wzorów i stałych fizykochemicznych;
 - 3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik;
 - 4) przeprowadza obliczenia liczbowe, posługując się kalkulatorem;
 - 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarnie, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe);
 - 6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi;
 - 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;
 - 8) rozpoznaje zależność rosnącą bądź malejącą na podstawie danych z tabeli lub na podstawie wykresu; rozpoznaje proporcjonalność prostą na podstawie wykresu;
 - 9) dopasowuje prostą do danych przedstawionych w postaci wykresu; interpretuje nachylenie tej prostej i punkty przecięcia z osiami;
 - 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia, korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji;

- 11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;
- 12) przestrzega zasad bezpieczeństwa podczas wykonywania obserwacji, pomiarów i doświadczeń;
- 13) rozróżnia błędy przypadkowe i systematyczne;
- 14) wyznacza średnią z kilku pomiarów jako końcowy wynik pomiaru powtarzanego;
- 15) posługuje się pojęciem niepewności pomiaru wielkości prostych i złożonych; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności; uwzględnia niepewności podczas sporządzania wykresów;
- 16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych;
- 17) przedstawia wybrane informacje z historii odkryć kluczowych dla rozwoju fizyki;
- 18) przedstawia własnymi słowami główne tezy tekstu popularnonaukowego z dziedziny fizyki lub astronomii;
- 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu;
- 20) tworzy modele fizyczne lub matematyczne wybranych zjawisk i opisuje ich założenia; ilustruje prawa i zależności fizyczne z wykorzystaniem tych założeń.

II. Mechanika. Uczeń:

- 1) opisuje ruch względem różnych układów odniesienia;
- 2) rozróżnia pojęcia położenie, tor i droga;
- 3) opisuje ruchy postępowe, posługując się wielkościami wektorowymi: przemieszczeniem, prędkością i przyspieszeniem wraz z ich jednostkami;
- 4) opisuje ruchy prostoliniowe jednostajne i jednostajnie zmiennne, posługując się zależnościami położenia, wartości prędkości i przyspieszenia oraz drogi od czasu;
- 5) sporządza i interpretuje wykresy zależności parametrów ruchu od czasu;
- 6) wyznacza położenie, wartość prędkości, wartość przyspieszenia i drogę w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym na podstawie danych zawartych w postaci tabel i wykresów;
- 7) opisuje ruchy złożone jako sumę ruchów prostych; analizuje rzut poziomy jako przykład ruchu dwuwymiarowego;
- 8) opisuje ruch jednostajny po okręgu, posługując się pojęciami: okresu, częstotliwości, prędkości liniowej oraz przemieszczenia kąowego, prędkości kątowej i przyspieszenia dośrodkowego wraz z ich jednostkami;
- 9) stosuje do obliczeń związki między promieniem okręgu, prędkością kątową, prędkością liniową oraz przyspieszeniem dośrodkowym;
- 10) wskazuje siłę dośrodkową jako przyczynę ruchu jednostajnego po okręgu;

- 11) opisuje ruch niejednostajny po okręgu;
- 12) wyznacza graficznie siłę wypadkową dla sił działających w dowolnych kierunkach na płaszczyźnie;
- 13) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał;
- 14) posługuje się pojęciem pędu i jego jednostką; interpretuje II zasadę dynamiki jako związek między zmianą pędu i popędem siły;
- 15) wykorzystuje zasadę zachowania pędu do opisu zachowania się izolowanego układu ciał;
- 16) rozróżnia i analizuje zderzenia sprężyste i niesprężyste;
- 17) opisuje opory ruchu (opory ośrodka, tarcie statyczne, tarcie kinetyczne); rozróżnia współczynniki tarcia kinetycznego oraz tarcia statycznego; omawia rolę tarcia na wybranych przykładach;
- 18) rozróżnia układy inercjalne i nieinercjalne; omawia różnice między opisem ruchu ciał w układach inercjalnych i nieinercjalnych; posługuje się pojęciem siły bezwładności;
- 19) stosuje zasadę równoważności układów inercjalnych (zasadę względności Galileusza);
- 20) posługuje się pojęciami pracy mechanicznej, mocy, energii kinetycznej, energii potencjalnej wraz z ich jednostkami; stosuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń;
- 21) posługuje się pojęciem sprawności urządzeń mechanicznych;
- 22) interpretuje pole pod wykresem zależności siły od drogi i pole pod wykresem zależności mocy od czasu jako wykonaną pracę;
- 23) opisuje ruch ciał na równi pochyłej;
- 24) posługuje się pojęciem ciśnienia hydrostatycznego i stosuje je do obliczeń; analizuje równowagę cieczy w naczyniach połączonych;
- 25) stosuje do obliczeń prawo Archimedesusa i objaśnia warunki pływania ciał;
- 26) doświadczalnie:
 - a) demonstruje działanie siły bezwładności, m.in. na przykładzie pojazdów gwałtownie hamujących,
 - b) bada zderzenia ciał oraz wyznacza masę lub prędkość jednego z ciał, korzystając z zasady zachowania pędu,
 - c) bada związek między siłą dośrodkową a masą, prędkością liniową i promieniem w ruchu jednostajnym po okręgu,
 - d) wyznacza wartość współczynnika tarcia na podstawie analizy ruchu ciała na równi.

III. Mechanika bryły sztywnej. Uczeń:

- 1) wyznacza położenie środka masy układu ciał;
- 2) stosuje pojęcie bryły sztywnej; opisuje ruch obrotowy bryły sztywnej wokół osi;
- 3) stosuje warunki statyki bryły sztywnej; posługuje się pojęciem momentu sił wraz z jednostką;

- 4) stosuje zasady dynamiki dla ruchu obrotowego; posługuje się pojęciami przyspieszenia kątownego oraz momentu bezwładności jako wielkości zależnej od rozkładu mas, wraz z ich jednostkami;
- 5) oblicza energię ruchu bryły sztywnej jako sumę energii kinetycznej ruchu postępowego środka masy i ruchu obrotowego wokół osi przechodzącej przez środek masy;
- 6) posługuje się pojęciem momentu pędu punktu materialnego i bryły; stosuje do obliczeń związek między momentem pędu i prędkością kątową;
- 7) stosuje zasadę zachowania momentu pędu;
- 8) doświadczalnie:
 - a) demonstruje zasadę zachowania momentu pędu,
 - b) bada ruch ciał o różnych momentach bezwładności.

IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:

- 1) posługuje się prawem powszechnego ciążenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego; wskazuje siłę grawitacji jako przyczynę spadania ciał;
- 2) stosuje do obliczeń związek między przyspieszeniem grawitacyjnym na powierzchni planety a jej masą i promieniem;
- 3) analizuje jakościowo wpływ siły grawitacji Słońca na niejednostajny ruch planet po orbitach eliptycznych i siły grawitacji planet na ruch ich księżyców;
- 4) wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej, oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu; omawia ruch satelitów wokół Ziemi;
- 5) interpretuje III prawo Keplera jako konsekwencję prawa powszechnego ciążenia; stosuje do obliczeń III prawo Keplera dla orbit kołowych;
- 6) interpretuje II prawo Keplera jako konsekwencję zasady zachowania momentu pędu;
- 7) oblicza zmiany energii potencjalnej grawitacji i stosuje zasadę zachowania energii do ruchu orbitalnego; posługuje się pojęciem drugiej prędkości kosmicznej (prędkości ucieczki);
- 8) opisuje stan nieważkości i stan przeciążenia oraz podaje warunki i przykłady jego występowania;
- 9) opisuje budowę Układu Słonecznego i jego miejsce w Galaktyce; posługuje się pojęciami jednostki astronomicznej, roku świetlnego i parseka;
- 10) opisuje Wielki Wybuch jako początek znanego nam Wszechświata; zna przybliżony wiek Wszechświata, opisuje rozszerzanie się Wszechświata (ucieczkę galaktyk); stosuje do obliczeń prawo Hubble'a.

V. Drgania. Uczeń:

- 1) opisuje proporcjonalność siły sprężystości do wydłużenia; posługuje się pojęciem współczynnika sprężystości i jego jednostką;

- 2) analizuje ruch pod wpływem siły sprężystości; posługuje się pojęciem ruchu harmonicznego; podaje przykłady takich ruchów;
- 3) opisuje ruch harmoniczny, posługując się pojęciami wychylenia, amplitudy, częstości kołowej i przesunięcia fazowego; rozróżnia drgania o fazach zgodnych lub przeciwnych;
- 4) analizuje zależności położenia, prędkości i przyspieszenia od czasu dla ciała w ruchu drgającym harmonicznym oraz interpretuje wykresy tych zależności;
- 5) stosuje do obliczeń zależność okresu małych drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie od ich parametrów;
- 6) oblicza energię potencjalną sprężystości i uwzględnia ją w analizie przemian energii;
- 7) opisuje drgania wymuszone i drgania słabo tłumione; ilustruje zjawisko rezonansu mechanicznego na wybranych przykładach;
- 8) doświadcza:
 - a) demonstruje niezależność okresu drgań wahadła od amplitudy,
 - b) bada zależność okresu drgań od długości wahadła,
 - c) bada zależność okresu drgań ciężarka od jego masy i od współczynnika sprężystości sprężyny,
 - d) demonstruje zjawisko rezonansu mechanicznego,
 - e) wyznacza wartość przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła matematycznego.

VI. Termodynamika. Uczeń:

- 1) opisuje zjawisko rozszerzalności cieplnej: liniowej ciał stałych oraz objętościowej gazów i cieczy;
- 2) rozróżnia przekaz energii w postaci ciepła między układami o różnych temperaturach i przekaz energii w formie pracy;
- 3) posługuje się pojęciem energii wewnętrznej; analizuje pierwszą zasadę termodynamiki jako zasadę zachowania energii;
- 4) opisuje przykłady współistnienia substancji w różnych fazach w stanie równowagi termodynamicznej;
- 5) wykorzystuje pojęcie ciepła właściwego oraz ciepła przemiany fazowej w analizie bilansu cieplnego;
- 6) opisuje skokową zmianę energii wewnętrznej w przemianach fazowych;
- 7) posługuje się pojęciem wartości energetycznej paliw i żywności;
- 8) wymienia szczególne własności wody i ich konsekwencje dla życia na Ziemi;
- 9) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki do analizy przemian gazowych; rozróżnia przemiany: izotermiczną, izobaryczną, izochoryczną i adiabatyczną gazów;
- 10) posługuje się założeniami teorii kinetyczno-molekularnej gazu doskonałego;
- 11) opisuje związek pomiędzy temperaturą w skali Kelvina a średnią energią ruchu cząsteczek i energią wewnętrzną gazu doskonałego;

- 12) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego;
- 13) stosuje równanie gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) do wyznaczenia parametrów gazu;
- 14) posługuje się pojęciem ciepła molowego gazu; interpretuje związek między ciepłem molowym przy stałym ciśnieniu a ciepłem molowym w stałej objętości dla gazu doskonałego;
- 15) analizuje przepływ energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w silnikach i pompach cieplnych;
- 16) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych;
- 17) interpretuje drugą zasadę termodynamiki, podaje przykłady zjawisk odwracalnych i nieodwracalnych;
- 18) opisuje zjawisko dyfuzji; posługuje się pojęciem fluktuacji, opisuje ruchy Browna;
- 19) doświadczalnie:
 - a) demonstruje rozszerzalność cieplną wybranych ciał stałych,
 - b) bada proces wyrównywania temperatury ciał i posługuje się bilansem cieplnym,
 - c) demonstruje stałość temperatury podczas przemiany fazowej.

VII. Elektrostatyka. Uczeń:

- 1) posługuje się zasadą zachowania ładunku;
- 2) oblicza wartość siły wzajemnego oddziaływania ładunków, stosując prawo Coulomba;
- 3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką; ilustruje graficznie pole elektryczne za pomocą linii pola; interpretuje zagęszczenie linii pola jako miarę natężenia pola; rozróżnia pole centralne i pole jednorodne;
- 4) analizuje natężenie pola wytwarzanego przez układ ładunków punktowych i oblicza jego wartość;
- 5) opisuje pole na zewnątrz sferycznie symetrycznego układu ładunków;
- 6) opisuje jakościowo rozkład ładunków w przewodnikach, zerowe natężenie pola elektrycznego wewnątrz przewodnika (klatka Faradaya), duże natężenie pola wokół ostrzy na powierzchni przewodnika;
- 7) analizuje ruch cząstek naładowanych w polu elektrycznym;
- 8) analizuje pracę jako zmianę energii potencjalnej podczas przemieszczenia ładunku w polu elektrycznym; posługuje się pojęciem potencjału pola i jego jednostką;
- 9) oblicza zmianę energii ładunku w polu centralnym i jednorodnym;
- 10) opisuje ilościowo pole elektryczne wewnątrz kondensatora płaskiego;

- 11) posługuje się pojęciem pojemności kondensatora i jej jednostką; posługuje się zależnością pojemności kondensatora płaskiego od jego wymiarów; oblicza energię zmagazynowaną w kondensatorze;
- 12) opisuje polaryzację dielektryków w polu zewnętrznym i ich wpływ na pojemność kondensatora; oblicza pojemność kondensatora, uwzględniając stałą dielektryczną;
- 13) doświadczalnie:
 - a) ilustruje pole elektryczne oraz układ linii pola wokół przewodnika,
 - b) demonstruje przekaz energii podczas rozładowania kondensatora (np. lampa błyskowa, przeskok iskry).

VIII. Prąd elektryczny. Uczeń:

- 1) opisuje przewodnictwo w metalach, elektrolitach i gazach; wyjaśnia procesy jonizacji w gazach, wskazuje rolę promieniowania, wysokiej temperatury i dużego natężenia pola;
- 2) posługuje się pojęciami natężenia prądu elektrycznego, napięcia elektrycznego oraz mocy wraz z ich jednostkami;
- 3) analizuje zależność oporu od wymiarów przewodnika, posługuje się pojęciem oporu właściwego materiału i jego jednostką;
- 4) opisuje wpływ temperatury na opór metali i półprzewodników;
- 5) stosuje do obliczeń proporcjonalność natężenia prądu stałego do napięcia dla przewodników (prawo Ohma);
- 6) analizuje charakterystykę prądowo-napięciową elementów obwodu (zgodną lub niezgodną z prawem Ohma);
- 7) posługuje się pojęciami oporu wewnętrznego i siły elektromotorycznej jako cechami źródła;
- 8) stosuje do obliczeń związki mocy wydzielonej na oporniku (ciepła Joule'a-Lenza) z natężeniem prądu i oporem oraz napięciem i oporem;
- 9) wykorzystuje dane znamionowe urządzeń elektrycznych do obliczeń;
- 10) interpretuje I prawo Kirchhoffa jako przykład zasady zachowania ładunku;
- 11) opisuje sieć domową jako przykład obwodu rozgałęzionego; wyjaśnia funkcję bezpieczników różnicowych i przewodu uziemiającego;
- 12) analizuje dodawanie i odejmowanie napięć w obwodzie z uwzględnieniem źródeł i odbiorników energii (II prawo Kirchhoffa);
- 13) posługuje się pojęciem oporu zastępczego; oblicza opór zastępczy układu oporników połączonych szeregowo lub równolegle;
- 14) opisuje funkcję diody półprzewodnikowej jako elementu przewodzącego w jednym kierunku; przedstawia jej zastosowanie w prostownikach oraz jako źródła światła;
- 15) opisuje tranzystor jako trójelektrodowy, półprzewodnikowy element wzmacniający sygnały elektryczne;
- 16) doświadczalnie:

- a) demonstruje I prawo Kirchhoffa,
- b) bada dodawanie napięć w układzie ogniów połączonych szeregowo,
- c) demonstruje rolę diody jako elementu składowego prostowników i źródła światła,
- d) bada charakterystykę prądowo-napięciową żarówki.

IX. Magnetyzm. Uczeń:

- 1) posługuje się pojęciem pola magnetycznego; rysuje linie pola magnetycznego w pobliżu magnesów stałych i przewodników z prądem (przewodnik prostoliniowy, zwojnica);
- 2) posługuje się pojęciem wektora indukcji magnetycznej wraz z jego jednostką, analizuje oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem oraz na poruszającą się cząstkę naładowaną (siła Lorentza, siła elektrodynamiczna); opisuje rolę pola magnetycznego Ziemi jako osłony przed wiatrem słonecznym;
- 3) analizuje tor cząstki naładowanej w jednorodnym polu magnetycznym;
- 4) rysuje siły działające na pętlę z przewodnika w jednorodnym polu magnetycznym; na podstawie tego rysunku omawia zasadę działania silnika elektrycznego;
- 5) stosuje do obliczeń związki wartości indukcji pola magnetycznego i natężenia prądu dla prostoliniowego przewodnika i długiej zwojnicy;
- 6) analizuje siłę oddziaływania dwóch długich przewodników prostoliniowych; posługuje się definicją ampera;
- 7) opisuje jakościowo podstawowe właściwości oraz zastosowania ferromagnetyków;
- 8) oblicza strumień pola magnetycznego przez powierzchnię, stosuje jednostkę strumienia;
- 9) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej; stosuje regułę Lenza; opisuje przemiany energii podczas działania prądnicy;
- 10) oblicza siłę elektromotoryczną indukcji jako szybkość zmiany strumienia;
- 11) opisuje jakościowo zjawisko samoindukcji;
- 12) opisuje cechy prądu przemiennego; posługuje się pojęciem napięcia i natężenia skutecznego; oblicza napięcie i natężenie skuteczne dla przebiegu sinusoidalnego;
- 13) opisuje zasadę działania transformatora; przedstawia uproszczony model transformatora, w którym przekładnia napięciowa i przekładnia prądowa zależą tylko od liczb zwojów; opisuje zastosowania transformatorów;
- 14) opisuje jakościowo współzależność zmian pola magnetycznego i elektrycznego oraz rozchodzenie się fal elektromagnetycznych;
- 15) doświadczaalnie:
 - a) ilustruje układ linii pola magnetycznego,

- b) demonstruje zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jego związek ze względnym ruchem magnesu i zwojnicy oraz ze zmianą natężenia prądu w elektromagnesie.

X. Fale i optyka. Uczeń:

- 1) analizuje rozchodzenie się fal na powierzchni wody i dźwięku w powietrzu na podstawie obrazu powierzchni falowych;
- 2) posługuje się pojęciem natężenia fali wraz z jej jednostką (W/m^2) oraz proporcjonalnością do kwadratu amplitudy;
- 3) opisuje zależność natężenia i amplitudy fali kulistej od odległości od punktowego źródła;
- 4) opisuje widmo światła białego jako mieszaniny fal elektromagnetycznych o różnych częstotliwościach;
- 5) opisuje światło laserowe jako skolimowaną wiązkę światła monochromatycznego o zgodnej fazie;
- 6) stosuje prawo odbicia i prawo załamania fal na granicy dwóch ośrodków; posługuje się pojęciem współczynnika załamania ośrodka; oblicza kąt graniczny;
- 7) opisuje działanie światłowodu jako przykład wykorzystania zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia;
- 8) opisuje jakościowo związek pomiędzy dyfrakcją na szczelinie a szerokością szczeliny i długością fali;
- 9) analizuje zdolność rozdzielczą przyrządów optycznych w kontekście zjawiska dyfrakcji;
- 10) stosuje zasadę superpozycji fal; wyjaśnia zjawisko interferencji fal; podaje warunki wzmocnienia oraz wygaszenia się fal;
- 11) analizuje jakościowo zjawisko interferencji wiązek światła odbitych od dwóch powierzchni cienkiej warstwy;
- 12) opisuje zależność przestrzennego obrazu interferencji od długości fali i odległości między źródłami;
- 13) analizuje efekt Dopplera dla fal w przypadku, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala; podaje przykłady występowania tego zjawiska;
- 14) rozróżnia fale poprzeczne i podłużne; opisuje światło jako falę elektromagnetyczną poprzeczną; rozróżnia światło spolaryzowane i niespolaryzowane;
- 15) opisuje jakościowo zjawisko polaryzacji światła przy odbiciu;
- 16) opisuje obraz powstający po przejściu światła przez siatkę dyfrakcyjną; stosuje do obliczeń związek między kątem dyfrakcji, stałą siatki i długością fali;
- 17) opisuje jakościowo zależność ogniskowej soczewki od jej krzywizny oraz współczynnika załamania; stosuje do obliczeń pojęcie zdolności skupiającej wraz z jej jednostką;
- 18) rysuje konstrukcyjnie obrazy wytworzone przez soczewki; stosuje do obliczeń równanie soczewki;

- 19) opisuje przykłady zjawisk optycznych w przyrodzie: miraż, czerwony kolor zachodzącego słońca, zjawisko Tyndalla;
- 20) doświadcza:
 - a) obserwuje zmiany natężenia światła po przejściu przez dwa polaryzatory ustawione równolegle i prostopadle,
 - b) obserwuje zjawisko dyfrakcji fali na szczelinie,
 - c) obserwuje zjawisko interferencji fal,
 - d) demonstruje rozpraszanie światła w ośrodku,
 - e) wyznacza wartość współczynnika załamania światła z pomiaru kąta granicznego,
 - f) bada związek między ogniskową soczewki a położeniami przedmiotu i obrazu.

XI. Fizyka atomowa. Uczeń:

- 1) analizuje na wybranych przykładach promieniowanie termiczne ciał i jego zależność od temperatury;
- 2) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; stosuje pojęcie fotonu oraz jego energii;
- 3) opisuje powstawanie promieniowania rentgenowskiego jako promieniowania hamowania; oblicza krótkofalową granicę widma promieniowania rentgenowskiego;
- 4) rozróżnia widma emisyjne i absorpcyjne gazów; interpretuje linie widmowe jako skutek przejść między poziomami energetycznymi w atomach z emisją lub absorpcją kwantu światła; rozróżnia stan podstawowy i stany wzbudzone atomu;
- 5) analizuje seryjny układ linii widmowych na przykładzie widm atomowych wodoru; posługuje się wzorem Rydberga;
- 6) posługuje się pojęciem pędu fotonu; stosuje zasadę zachowania energii i zasadę zachowania pędu do opisu emisji i absorpcji przez swobodne atomy; opisuje odrzut atomu emitującego kwant światła;
- 7) opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej;
- 8) opisuje jakościowo obraz dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego na kryształach;
- 9) opisuje zjawiska dyfrakcji oraz interferencji elektronów i innych cząstek; oblicza długość fali de Broglie'a poruszających się cząstek;
- 10) doświadcza: obserwuje widma atomowe za pomocą siatki dyfrakcyjnej.

XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa. Uczeń:

- 1) wskazuje niezależność prędkości światła w próżni od prędkości źródła i prędkości obserwatora; opisuje względność równoczesności;

- 2) posługuje się związkiem między energią całkowitą, masą cząstki i jej prędkością; posługuje się pojęciem energii spoczynkowej;
- 3) opisuje równoważność masy i energii spoczynkowej;
- 4) wskazuje prędkość światła w próżni jako maksymalną prędkość przekazu energii i informacji;
- 5) posługuje się pojęciami: pierwiastek, jądro atomowe, izotop, proton, neutron, elektron; opisuje skład jądra atomowego na podstawie liczby masowej i atomowej;
- 6) zapisuje reakcje jądrowe, stosując zasadę zachowania liczby nukleonów i zasadę zachowania ładunku;
- 7) stosuje zasadę zachowania energii do opisu reakcji jądrowych; posługuje się pojęciem energii wiązania;
- 8) oblicza dla dowolnego izotopu energię spoczynkową, deficyt masy i energię wiązania;
- 9) wymienia właściwości promieniowania jądrowego; opisuje rozpady alfa, beta (β^+ , β^-);
- 10) posługuje się pojęciem jądra stabilnego i niestabilnego; opisuje powstawanie promieniowania gamma;
- 11) opisuje przypadkowy charakter rozpadu jąder atomowych;
- 12) opisuje rozpad izotopu promieniotwórczego; posługuje się pojęciem czasu połowicznego rozpadu; opisuje zasadę datowania substancji na podstawie węgla ^{14}C ;
- 13) wskazuje wpływ promieniowania jonizującego na materię oraz na organizmy żywe;
- 14) wymienia przykłady zastosowania zjawiska promieniotwórczości w technice i medycynie;
- 15) opisuje reakcję rozszczepienia jądra uranu ^{235}U zachodzącą w wyniku pochłonięcia neutronu; podaje warunki zajścia reakcji łańcuchowej;
- 16) opisuje zasadę działania elektrowni jądrowej oraz wymienia korzyści i niebezpieczeństwa płynące z energetyki jądrowej;
- 17) opisuje reakcję termojądrową przemiany wodoru w hel zachodzącą w gwiazdach;
- 18) opisuje elementy ewolucji gwiazd; omawia supernowe i czarne dziury;
- 19) opisuje kreację lub anihilację par cząstka-antycząstka; stosuje zasady zachowania energii i pędu oraz zasadę zachowania ładunku do analizy kreacji lub anihilacji pary elektron-pozyton.

Warunki i sposób realizacji

Podstawę programową fizyki dla szkół ponadpodstawowych w zakresie rozszerzonym otwierają wymagania ogólne określające główne zadania kształcenia na tym etapie edukacyjnym. Do podstawy programowej szkoły ponadpodstawowej zostały wprowadzone nowe wymagania szczegółowe przy założeniu kumulatywności wiedzy i umiejętności zdobytych w szkole podstawowej oraz spiralnego charakteru kształcenia. W ten sposób powiększony został zasób wiedzy i kompetencji przedmiotowych, a uczeń przybliży się do rozwiązywania problemów w szerszej perspektywie poznawczej. Treści nauczania zostały poszerzone oraz uzupełnione tak, aby stanowiły pełniejszy obraz fizyki i przyrody.

Uczenie fizyki powinno odwoływać się do przykładów z życia codziennego, czynnego badania zjawisk i procesów fizycznych. Należy kłaść nacisk przede wszystkim na umiejętność identyfikacji zjawisk, znajomość warunków ich występowania i przebiegu. Ważnym elementem jest kształtowanie umiejętności twórczego rozwiązywania problemów poprzez budowanie prawidłowych związków przyczynowo-skutkowych.

Podczas zajęć fizyki w zakresie rozszerzonym analiza ilościowa procesów i zjawisk fizycznych powinna być traktowana na równi z analizą jakościową tak, by obie wzajemnie się uzupełniały.

Niezbędnym elementem procesu poznawczego jest wykonywanie zaproponowanych doświadczeń i pokazów. Pozwalają one lepiej zrozumieć zasady i prawa fizyki oraz kształtować umiejętność interpretacji i oceny realności otrzymywanych wyników.

Istotnym elementem kształcenia jest umiejętność wykorzystywania dostępnych źródeł informacji, w tym internetu. W procesie pozyskiwania i weryfikowania informacji przez ucznia kluczową rolę odgrywa nauczyciel i szkoła.

Uczniowie kończący edukację w zakresie rozszerzonym powinni być przygotowani do funkcjonowania we współczesnym świecie. Powinni postrzegać i doceniać rolę fizyki jako fundamentu techniki i różnych gałęzi wiedzy przyrodniczej. Należy podtrzymywać w nich ciekawość świata i kształtować umiejętność poszerzania wiedzy oraz krytycznego podejścia do informacji.

Dobór treści podstawy programowej w zakresie rozszerzonym ma dać solidną podstawę do kontynuowania nauki na wyższych studiach.

Komentarz do podstawy programowej przedmiotu fizyka

Liceum i technikum

Dariusz Bossowski, Tomasz Greczyło, Mariusz Mroczek, dr Lidia Skibińska, dr Marek Thomas

Ogólne założenia podstawy programowej

Podstawa programowa kształcenia ogólnego dla czteroletniego liceum ogólnokształcącego i pięcioletniego technikum przedmiotu fizyka może być realizowana przez uczniów wymienionych szkół w zakresie podstawowym lub rozszerzonym.

Każda z podstaw programowych: w zakresie podstawowym i rozszerzonym, stanowi odrębną oraz integralną całość. Obie zakładają spiralny charakter kształcenia – to oznacza, że do treści z ośmioletniej szkoły podstawowej powraca się na wyższym poziomie, przedstawia się je w szerszej perspektywie i uzupełnia się ich zakres.

W omawianych podstawach programowych fizyki określone zostały cele kształcenia oraz treści nauczania. Cele kształcenia zapisano w języku wymagań ogólnych, natomiast treści nauczania ujęto w języku wymagań szczegółowych. Wymagania ogólne opisują zbiór najważniejszych kompetencji związanych z przedmiotem fizyka, które są oczekiwane od ucznia po ukończeniu danego etapu kształcenia. Z kolei każde z wymagań szczegółowych opisuje umiejętności oczekiwane od uczniów w kontekście danego elementu wiedzy.

Treści nauczania oraz cele kształcenia na poziomie podstawowym skupiają się na umiejętnościach rozpoznawania zjawisk fizycznych, ich wyjaśniania (szczególnie od strony jakościowej), opisywania oraz interpretowania za pomocą podstawowych praw i pojęć fizycznych. Analiza ilościowa zjawisk w tym zakresie nie jest traktowana priorytetowo.

Podstawa programowa przedmiotu fizyka w zakresie rozszerzonym zawiera pod względem tematyki te same treści nauczania, co w zakresie podstawowym, poszerzając je i uzupełniając o: 1) spektrum umiejętności związanych z tematyką fizyczną wspólną dla obu zakresów; oraz o 2) nowe zagadnienia fizyczne i pojęcia o wyższym stopniu abstrakcji. Pierwsze oznacza, że w zakresie rozszerzonym oczekuje się dodatkowych umiejętności lub umiejętności na wyższym poziomie. Często chodzi o umiejętności posługiwania się aparatem matematycznym i związanej z tym ilościowej analizy zjawisk. Przykładowo, zamiast wymagania typu „uczeń opisuje jakościowo [...]” lub „uczeń posługuje się pojęciem [...]” jest wymaganie typu „uczeń stosuje do obliczeń [...]” lub „uczeń analizuje [...]”. Drugie oznacza, że treści nauczania w zakresie rozszerzonym zawierają dodatkowe działy tematyczne fizyki. Są to m.in.: mechanika bryły sztywnej, elementy szczególnej teorii względności. Oprócz tego, w zakresie rozszerzonym operuje się pojęciami fizycznymi

o wyższym stopniu abstrakcji (np. zasada względności Galileusza, punkt środka masy, względność równoczesności zdarzeń w szczególnej teorii względności).

Cele kształcenia w zakresie rozszerzonym zostały poszerzone – w porównaniu do zakresu podstawowego – o jedno wymaganie ogólne związane z budowaniem modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk. Cel ten istotnie odróżnia zakres podstawowy od zakresu rozszerzonego, o czym wspomnimy w dalszej części komentarza.

Podstawa programowa – w obu zakresach – kładzie nacisk na konieczność wykonywania obserwacji i doświadczeń fizycznych. Czynne badanie i analizowanie zjawisk jest niezastąpionym środkiem dydaktycznym ułatwiającym oraz pogłębiającym proces poznawczy. Nowym rozwiązaniem w tej podstawie programowej jest umieszczenie wymagań doświadczalnych na końcu wykazu treści nauczania prawie każdego bloku tematycznego. Stanowi to rozwinięcie pomysłu wyodrębniania wymagań doświadczalnych, wprowadzonego w poprzedniej podstawie.

Głównym czynnikiem kształtowania umiejętności jest uporządkowana i systematyczna wiedza, a ponadto zazwyczaj przedmiotem umiejętności jest właśnie konstruktywne operowanie wiedzą. W naukach ścisłych (i nie tylko) opanowanie nowych pojęć i kształtowanie kolejnych umiejętności jest możliwe dopiero po opanowaniu i ukształtowaniu wcześniej wprowadzonych pojęć oraz umiejętności. Sprzyja temu klasyczny układ treści nauczania w postaci ponadczasowych zagadnień tematycznych fizyki: od mechaniki klasycznej i grawitacji poprzez termodynamikę, elektryczność i magnetyzm, fale i optykę, aż do fizyki kwantowej i jądrowej.

Założenia na płaszczyźnie celów kształcenia – wymagań ogólnych oraz treści nauczania – wymagań szczegółowych

W omawianej podstawie programowej pierwsze cztery cele kształcenia (I–IV) są identyczne dla obu zakresów. Wymagania ogólne – wyrażające te cele – opisują kompetencje nabywane stopniowo podczas nauki o zjawiskach fizycznych, a nawet więcej – w procesie poznawania fizyki i metody naukowej w ogóle.

Fizyka jest nauką przyrodniczą zajmującą się opisem, wyjaśnianiem oraz przewidywaniem procesów i zjawisk fizycznych wyodrębnionych w otaczającej nas rzeczywistości – w najszerszym tego słowa znaczeniu, tzn. z uwzględnieniem mikroskali oraz skali kosmologicznej. Zwracamy uczniom uwagę na fakt, że możliwość wyodrębnienia zjawiska wynika z jego powtarzalności – zjawisko zachodzi zawsze tak samo (albo bardzo podobnie), gdy tylko wystąpią te same (albo bardzo podobne) warunki. Te zjawiska i procesy opisuje się pojęciami fizycznymi reprezentującymi wielkości, które można obserwować (bezpośrednio lub pośrednio) w danym zjawisku fizycznym (np. położenie, czas, prędkość,

siła, moment bezwładności, natężenie prądu, temperatura, ciepło wymienione) albo pojęciami reprezentującymi pewne aspekty zjawiska (np. określenie: stan równowagi cieplnej, układ inercjalny, stan nieważkości, układ izolowany, przemiana izobaryczna, gaz doskonały). Tych podstaw metody naukowej fizyki dotyczy pierwszy cel kształcenia:

I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.

Pierwszy cel kształcenia można osiągnąć, odwołując się do przykładów zjawisk obserwowanych w życiu codziennym. Należy przy tym podkreślać, że fizyka używa ściśle określonych pojęć. Język naukowy fizyki należy bezwzględnie oddzielać i odróżniać od czasem identycznych słów i wyrażeń używanych w języku potocznym, jednak mających inne znaczenie. Należy podkreślić, że odpowiednio używany język naukowy – tzn. ściśle określone pojęcia, oznaczenia wielkości, formuły, schematy, wykresy, założenia – służy temu, żeby opis zjawiska, zagadnienia, problemu czy zadania był: prosty, jasny, krótki, komunikatywny, uniwersalny i jednoznaczny.

Kolejnym krokiem dla ucznia w procesie poznawczym – po zapoznaniu się z pojęciami opisującymi wskazane zjawisko – będzie określenie podstawowych praw i zależności pomiędzy wielkościami fizycznymi opisującymi zjawisko/układ fizyczny. Uczeń poznaje metody – jakościowe oraz ilościowe – przewidywania i wyjaśniania zjawisk za pomocą praw o charakterze podstawowym lub wynikających z nich zasad. Tego obszaru poznawczego dotyczy drugi cel kształcenia:

II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.

Następny cel kształcenia powinien być traktowany priorytetowo zarówno w zakresie podstawowym, jak i rozszerzonym. Przeprowadzanie obserwacji i doświadczeń fizycznych oraz analiza ich wyników pozwala uczniom głębiej zrozumieć istotę zjawisk, wnioskować o zależnościach pomiędzy wielkościami, stawiać hipotezy – a także je weryfikować. Słynne newtonowskie stwierdzenie *Hypotheses non fingo* (Hipotez nie finguję) interpretuje się właśnie jako opisujące metodę naukową, w myśl której doświadczenie może wspierać hipotezę lub prowadzić do jej odrzucenia. W tym duchu wyrażony jest III cel kształcenia:

III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników.

Czwarty cel kształcenia dotyczy umiejętności posługiwania się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych. Obszar ten opisują również wymagania przekrojowe, które omówimy w dalszej części komentarza.

Realizacja czterech powyższych celów kształcenia (łącznie z treściami nauczania w zakresie podstawowym) w zupełności pozwala na to, aby absolwent szkoły ponadpodstawowej nabył rzetelną wiedzę o zjawiskach zachodzących w przyrodzie, wykształcił podstawowe i dosyć solidne umiejętności w zakresie posługiwania się aparatem pojęciowym fizyki oraz poznał podstawy metody naukowej. Szczególnie ten ostatni jest ważną częścią kultury intelektualnej człowieka z wykształceniem ogólnym. Ponadto tak wykształcony absolwent będzie postrzegał fizykę – równorzędnie obok matematyki – jako fundament wszystkich innych nauk przyrodniczych, a w szczególności nauk technicznych oraz informatycznych.

Ostatni cel kształcenia w zakresie rozszerzonym, jak już zostało wspomniane wcześniej, istotnie odróżnia zakres podstawowy od rozszerzonego. Wprowadza on kompetencje poznawcze na dużo wyższym poziomie abstrakcji oraz wymaga posługiwania się aparatem matematycznym do opisu zjawisk. Wyższe umiejętności poznawcze opisane w V celu kształcenia polegają także na tym, że uczeń samodzielnie musi tworzyć model fizyczny i matematyczny do opisu zjawisk:

V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.

Budowanie modelu fizycznego zjawiska złożonego wiąże się z: 1) wyodrębnieniem zjawisk podstawowych w zjawisku złożonym oraz 2) wyodrębnieniem czynników istotnych i nieistotnych w przebiegu zjawiska. Abstrahowanie od czynników mniej istotnych w przebiegu zjawiska prowadzi do utworzenia wyidealizowanego modelu fizycznego tego zjawiska. Uczeń ma umieć dalej opisać matematycznie model fizyczny zbudowany w ramach tak dokonanych założeń. Ponadto musi mieć świadomość, że wyniki obliczeń wartości pewnych wielkości są zawsze mniej lub bardziej zbliżone do rzeczywistych wartości tych wielkości – ponieważ obliczenia dotyczą zjawiska wyidealizowanego. Piąty cel kształcenia nawiązuje do metod fizyki teoretycznej.

Treści nauczania zostały podzielone na bloki tematyczne od I do XI dla zakresu podstawowego oraz od I do XII dla zakresu rozszerzonego. Każdy blok zawiera punkty z wymaganiami szczegółowymi. Wymagania szczegółowe opisują oczekiwane umiejętności uczniów w kontekście danego elementu wiedzy. Można je podzielić na dwie grupy: umiejętności przekrojowe oraz umiejętności związane z wiedzą odnoszącą się do konkretnego działu fizyki.

Treści nauczania rozpoczyna blok wymagań szczegółowych nazwanych *Wymagania przekrojowe*. Opisują one te uniwersalne umiejętności i elementy wiedzy, które mają zastosowanie we wszystkich wymienionych dalej działach fizyki, i które stanowią podstawę do realizacji opisanych tam wymagań szczegółowych. Są to m.in.: umiejętności związane ze stosowaniem aparatu matematycznego, umiejętności planowania i przeprowadzania

doświadczeń oraz zapisu i analizy danych doświadczalnych – w tym analizy niepewności pomiarowych, wyodrębniania czynników istotnych i nieistotnych w przebiegu zjawisk oraz tworzenia modeli zjawisk, analizy tekstów popularnonaukowych z fizyki lub astronomii.

Kolejne bloki treści nauczania tworzą klasyczny układ w postaci działów tematycznych fizyki. Zawarte w nich wymagania szczegółowe określają umiejętności związane z treściami danego działu fizyki. Układ wymagań szczegółowych w blokach od II obejmuje kolejno mechanikę klasyczną (oraz mechanikę bryły sztywnej w zakresie rozszerzonym), drgania, grawitację z elementami astronomii, termodynamikę, elektryczność, magnetyzm, fale i optykę, fizykę atomową oraz fizykę jądrową (z elementami szczególnej teorii względności w zakresie rozszerzonym).

Na końcu każdego bloku tematycznego (za wyjątkiem dwóch: *Grawitacja i elementy astronomii* oraz *Fizyka jądrowa*) wyróżniono i opisano wymagania szczegółowe doświadczalne. Dotyczą one reprezentatywnych dla danej tematyki zjawisk fizycznych, które należy pokazać w doświadczeniu przeprowadzonym na zajęciach w szkole. Wymagania doświadczalne opisują więc obowiązkowy zestaw eksperymentów do przeprowadzenia w szkole.

Wymagania przekrojowe

Podstawa wyraźnie eksponuje wymagania przekrojowe. Zostały one umieszczone na samym początku wymagań szczegółowych. Wymagania te – w odniesieniu do analogicznych wymagań zawartych w poprzednich podstawach – są znacznie bardziej rozbudowane tudzież doprecyzowane lub uzupełnione.

Obliczenia i zapis wyników

Wymagania przekrojowe I.1) do I.4) w zakresie podstawowym są takie same jak w zakresie rozszerzonym. Opisują one elementarne umiejętności związane z używaniem jednostek, posługiwaniem się materiałami pomocniczymi, obliczeniami szacunkowymi oraz obliczeniami za pomocą kalkulatora. Powszechnie używane już od wielu lat kalkulatory naukowe z powodzeniem zastępują tablice wartości funkcji trygonometrycznych oraz logarytmicznych, pozwalają szybko wykonywać złożone obliczenia, obliczać pierwiastki wyższych stopni (np. przy zastosowaniu III prawa Keplera – punkt IV.5) zakresu rozszerzonego) lub potęgi o wykładniku rzeczywistym (np. przy zastosowaniu prawa przemian/rozpadów promieniotwórczych do datowania substancji – punkt XII.12)). To pozwala rozwiązywać i analizować realne zagadnienia fizyczne, a nie tylko takie, które mają dane dobrane w sposób sztuczny (jak np. $\sin 30^\circ$; $0,5^{\frac{24}{6}}$; $\sqrt[3]{64}$ itp.).

W podstawie programowej w zakresie podstawowym (pkt. I.14)) oraz rozszerzonym (pkt I.16)) wymieniono umiejętność zaokrąglania wyników obliczeń do takiej liczby cyfr znaczących, jaka wynika z niepewności pomiarowej lub z danych. Warto uczniom zwrócić przy tej okazji uwagę na pojęcie liczby cyfr znaczących, które mylone jest często z liczbą cyfr po przecinku. Przykładowo: liczba 2 743 640 zaokrąglona do dwóch cyfr znaczących to 2 700 000, a do czterech cyfr znaczących to 2 744 000. W odróżnieniu od tego, liczba cyfr po przecinku zależy od sposobu zapisu potęgowego zaokrąglonej liczby, np.:

$$2\,744\,000 = 274,4 \cdot 10^4 = 27,44 \cdot 10^5 = 2,744 \cdot 10^6 = 0,2744 \cdot 10^7$$

Przy okazji podkreślamy, żeby do obliczeń i do zapisu wartości liczbowej wyniku (dla dużych lub małych liczb) używać zapisu potęgowego w postaci, np.:

$$2\,744\,000 = 2,744 \cdot 10^6 \qquad 0,000\,000\,000\,000\,038\,51 = 3,851 \cdot 10^{-14}$$

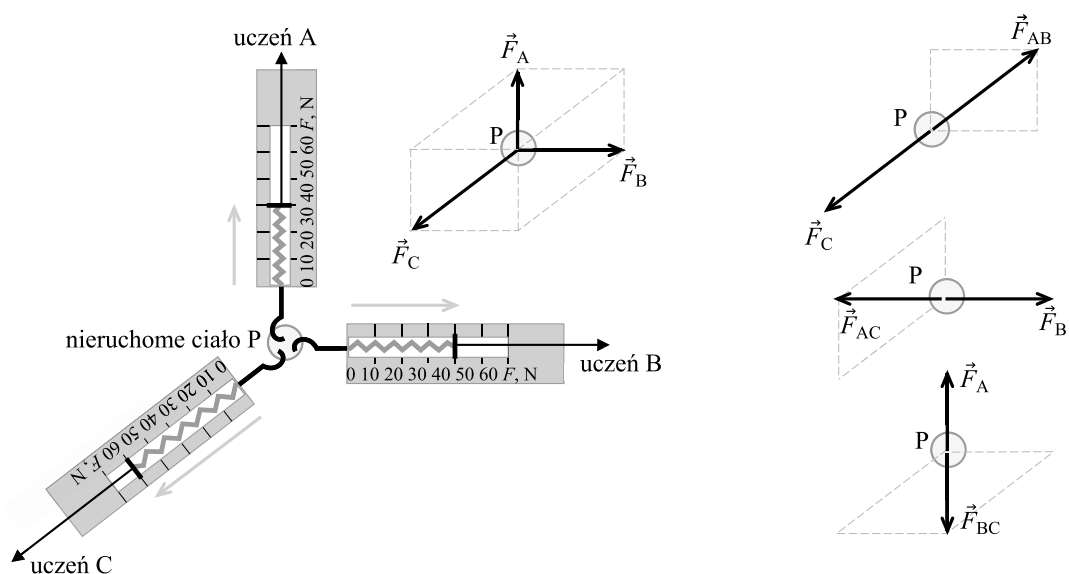
Wektory

W zakresie podstawowym określone jest wymaganie rozróżniania wielkości fizycznych o charakterze wektorowym i skalarnym – punkt I.5). Niezależnie od tego, z zapisu w pkt II.5) (zakres podstawowy) o wyznaczaniu graficznym siły wypadkowej wynika, że uczeń musi wykazać się umiejętnością dodawania wektorów. Wprowadzenie pojęcia wielkości wektorowej w zakresie podstawowym (oraz rozszerzonym) wiąże się z wprowadzeniem pojęcia wektora na lekcjach fizyki – niezależnie od programu realizowanego na lekcjach matematyki.

Należy tworzyć sytuacje dydaktyczne uświadamiające uczniom, że siłę działającą na ciało lub prędkość ciała (albo np. natężenie pola elektrycznego) można opisać obiektem, któremu przypisuje się punkt zaczepienia, kierunek, zwrot i wartość. Na lekcjach matematyki w szkole naucza się zazwyczaj o wektorach jako translacjach na płaszczyźnie euklidesowej lub równoważnie – uporządkowanych parach punktów. Jednak wektor prędkości lub wektor siły (albo natężenie pola elektrycznego, wektor indukcji magnetycznej itp.) nie są wyznaczone przez pary punktów przestrzeni – wektor siły (lub prędkości) ma punkt zaczepienia, natomiast końca tego wektora nie wiąże się z punktem przestrzeni. W związku z powyższym, określenie wektora jako obiektu posiadającego punkt zaczepienia, kierunek, zwrot i wartość to zbyt mało. Pojęcie wektora wprowadzamy razem z określeniem własności dodawania wektorów (reguła równoległoboku) oraz mnożenia ich przez liczby (skalowanie). Na tym etapie kształcenia formalne własności, jakim podlega dodawanie wektorów i mnożenie ich przez liczbę, pokazujemy geometrycznie.

Powyższe cele dydaktyczne można osiągnąć, wykonując proste doświadczenia, np. z siłomierzami zaczepionymi do jednego ciała spoczywającego na gładkiej powierzchni. Uczniowie A, B, C starają się ciągnąć ciało w różne strony płaszczyzny powierzchni, ale tak, aby ich

oddziaływania równoważyły się i ciało pozostawało nieruchome (zobacz rys. poniżej). Następnie odczytują wskazania siłomierzy, określają kierunki ustawienia siłomierzy i analizują model geometryczny – zauważają m.in. „regułę równoległoboku” stosowaną przy dodawaniu sił: $\vec{F}_A + \vec{F}_B = \vec{F}_{AB}$ (oraz dla pozostałych par: $\vec{F}_B + \vec{F}_C = \vec{F}_{BC}$, $\vec{F}_A + \vec{F}_C = \vec{F}_{AC}$ – zobacz rys.). Przy okazji uczniowie poznają pojęcie siły wypadkowej oraz siły przeciwnie skierowanej, np. $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_C$. Ponadto stwierdzają, że k -krotne zwiększenie sił $\vec{F}_A$ i $\vec{F}_B$ pociąga za sobą także k -krotne zwiększenie siły wypadkowej: $k\vec{F}_A + k\vec{F}_B = k(\vec{F}_A + \vec{F}_B)$. Ważne jest przy tym, aby uczniowie zrozumieli, że długość wektora siły narysowanego na diagramie – wyrażająca wartość siły w niutonach – jest umowna.



W tym samym punkcie I.5) wymagań przekrojowych dla zakresu rozszerzonego wymienia się *explicite* umiejętności wykonywania działań na wektorach: dodawania wektorów, odejmowania wektorów, rozkładania wektora na składowe. Warto tutaj dopowiedzieć, że geometryczne porównywanie lub odejmowanie wektorów zaczepionych w różnych punktach przestrzeni (np. wektorów prędkości ciała z dwóch różnych chwil czasu) wymaga przeniesienia równoległego wektora do punktu, w którym operacja ma być wykonana. Umiejętności posługiwania się wektorami mają szerokie zastosowanie, np. do: wyznaczania siły wypadkowej $\vec{F}$ działającej na ciało, wyrażania wektora prędkości ciała w różnych układach odniesienia, wyznaczania składowych siły wzdłuż zadanych kierunków, wyznaczania zmiany $\Delta\vec{v}$ wektora prędkości lub zmiany $\Delta\vec{p}$ wektora pędu ciała w ruchu, wyznaczania z II zasady dynamiki kierunku i zwrotu wektora siły $\vec{F}$ ze zmiany $\Delta\vec{p}$ wektora pędu (lub prędkości) oraz odwrotnie – kierunku i zwrotu zmiany $\Delta\vec{p}$ wektora pędu (lub prędkości) z wektora siły $\vec{F}$ (punkt II.14)). Ponadto umiejętność działania na wektorach pozwala na wyznaczanie – z zasady superpozycji – pola (elektrycznego lub magnetycznego, lub grawitacyjnego) w zadanym punkcie przestrzeni, a pochodzącego od różnych źródeł (kilku ładunków, przewodników z prądem, magnesów, ciał niebieskich itp.). Dodawanie wektorów pozwala zrozumieć składanie drgań, a tym samym umożliwia wejście w istotę takich zjawisk jak interferencja (punkt X.10)), fala stojąca.

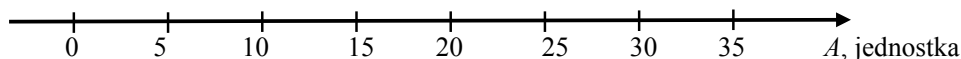
Omówione umiejętności są nie tylko narzędziem do rozwiązywania zagadnień i opisywania pojęć fizycznych, one są wręcz narzędziem do głębszego rozumienia zjawisk, praw i samych pojęć. Przykładem tego jest geometryczne ujęcie II zasady dynamiki Newtona, które pokazuje jej pełną treść i ułatwia zrozumienie ruchów krzywoliniowych (np. tego, że wektor siły wypadkowej działającej na ciało w ruchu jednostajnym po okręgu jest skierowany do środka okręgu).

Przedstawianie informacji o zjawiskach

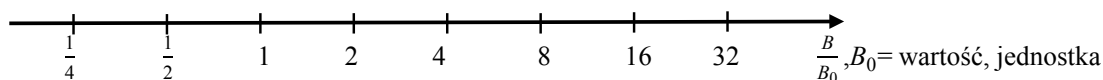
Kolejne wymagania przekrojowe I.6) i I.7) opisują umiejętności związane z odczytywaniem oraz przedstawianiem informacji dotyczących zjawisk za pomocą tekstów, tabel, diagramów, wykresów, ale i także – co jest nowością w stosunku do poprzednich podstaw programowych – za pomocą rysunków schematycznych lub rysunków blokowych. W związku z powyższym rekomenduje się, aby na zajęciach szkolnych uczniowie mieli styczność z zadaniami przedstawianymi w takiej właśnie różnorodnej formie.

Podstawa programowa w punkcie I.6) dla obu zakresów zwraca uwagę na właściwe skalowanie, oznaczanie i dobieranie zakresów osi. Przyjęło się, że domyślną skalą na każdej osi jest skala liniowa – oznacza to, że ustalonemu przyrostowi ΔA wielkości fizycznej A odpowiada na osi liczbowej odcinek o ustalonej długości. Jednak są zagadnienia, w których wygodniej jest zastosować na przykład skalę logarytmiczną – ze względu na np. bardzo szeroki zakres wartości danej wielkości fizycznej lub na nierównomierny rozkład danych. W skali logarytmicznej wielkość fizyczna B (a precyzyjniej – stosunek B do pewnej ustalonej B_0) przekształcona jest za pomocą logarytmu o zadanej podstawie. Poniżej przedstawione są przykłady osi wraz z oznaczeniem i jednostką w skali liniowej (dla wielkości, A) i logarytmicznej o podstawie 2 (dla wielkości, B).

Oś wyskalowana liniowo, oznaczona i z dobranym zakresem.



Oś wyskalowana logarytmicznie, oznaczona i z dobranym zakresem.



W obu powyższych przykładach specjalnie dobrano podobne zakresy wartości wielkości fizycznej. Wartości na osi muszą być oznaczone – co ustalony przyrost – w całym analizowanym zakresie, licząc od wartości początkowej.

Wymagania przekrojowe I.8) i I.9) są wspólne dla zakresu rozszerzonego i podstawowego. Opisują one umiejętności określania monotoniczności zależności między danymi przedstawionymi w formie tabeli lub wykresu oraz rozpoznawania proporcjonalności prostej na podstawie wykresu. Ponadto wymieniona jest ważna umiejętność dopasowywania prostej do danych przedstawionych w postaci wykresu (tzn. w postaci punktów pomiarowych naniesionych w układzie współrzędnych) oraz analizy takiego wykresu. Uczeń powinien umieć wyznaczać oraz interpretować współczynnik kierunkowy a dopasowanej prostej $y = ax + b$, punkt przecięcia prostej z osią odciętych oraz punkt przecięcia z osią rzędnych.

Analiza wyników pomiarów

Kolejne zapisy I.10)–I.14) (zakres podstawowy) i I.10)–I.16) (zakres rozszerzony) wyszczególniają umiejętności planowania oraz przeprowadzania obserwacji, pomiarów i doświadczeń, a także umiejętności analizowania zbioru danych otrzymanych w wyniku pomiarów z uwzględnieniem niepewności wyników pomiarów. W zakresie podstawowym obowiązuje jedynie posługiwanie się pojęciem niepewności pomiaru wielkości, wyznaczanie końcowego wyniku wielokrotnego pomiaru jako średniej arytmetycznej serii danych oraz zapisywanie wyniku pomiaru z uwzględnieniem zadanej informacji o niepewności (bez obliczania niepewności). Natomiast w zakresie rozszerzonym podstawy programowej z fizyki pojawiają się istotne zmiany i uszczegółowienia dotyczące błędów pomiarowych i niepewności wyników pomiarów. Wyodrębniona zostaje umiejętność rozróżniania błędów pomiarowych systematycznych i błędów pomiarowych przypadkowych oraz umiejętność posługiwania się niepewnościami wyników pomiarów wielkości prostych (tzn. mierzonych bezpośrednio) oraz niepewnościami wyników pomiarów wielkości złożonych (tzn. mierzonych pośrednio).

Elementy analizy niepewności pomiarowych – bardzo zaawansowanego i specjalistycznego obszaru metod fizyki doświadczalnej – są nowością w odniesieniu do dotychczas obowiązujących podstaw programowych. Dlatego zasadnym będzie zamieszczenie w komentarzu krótkiej wykładni tych zapisów – opartej na Rekomendacji PTF (zamieszczonej na stronie MEN). Pomiar wielkości fizycznej x obarczony jest błędem pomiarowym: systematycznym i/lub przypadkowym. Błąd systematyczny uczeń powinien wiązać z sytuacją, w której powtarzany pomiar wielkości fizycznej x daje za każdym razem identyczne wyniki x_s . Taką sytuację dydaktyczną można osiągnąć, planując pomiar zawsze w identycznych warunkach, w których minimalizuje się wszelkie inne czynniki (poza przyrządem) wpływające na wynik pomiaru (np. czynnik ludzki, zmiana parametrów termodynamicznych otoczenia itp.). Przykładem może być wielokrotny pomiar masy tego samego ciała na wadze elektronicznej. Miarą błędu systematycznego pomiaru wielkości x jest tzw. niepewność graniczna Δx . Dla mierników cyfrowych niepewność graniczną uczeń powinien utożsamiać z dokładnością pomiaru podawaną w instrukcjach – jest ona na ogół większa od rozdzielczości miernika (tzn. najmniejszej możliwej

różnicy wskazań przyrządu). Uczeń powinien rozumieć, że dokładna wartość mierzonej wielkości zawarta jest w przedziale $x_s \pm \Delta x$.

W odróżnieniu od tego błąd przypadkowy należy wiązać z sytuacją, w której n wyników pomiarów x_i tej samej wielkości fizycznej różni się od siebie o więcej niż dokładność/niepewność przyrządu. Przykładem tego może być ręczny pomiar stoperem czasu ruchu ciała od punktu A do B przy ustalonych warunkach początkowych ruchu i pod wpływem zawsze takich samych sił. Jako wynik pomiaru obarczonego błędem przypadkowym należy przyjąć średnią arytmetyczną $\bar{x}$, serii wyników $x_1 \dots x_n$, natomiast za miarę rozrzutu tych wyników można przyjąć odchylenie standardowe σ_x . Te umiejętności korelują z punktem XII.4) podstawy programowej matematyki w zakresie podstawowym. Za miarę błędu przypadkowego serii wyników $x_1 \dots x_n$ przyjmuje się tzw. niepewność standardową $u(x)$ daną wzorem $u(x) = \sigma_x / \sqrt{n}$. Gdy ponadto wielkość x obarczona jest niepewnością graniczną Δx (mierzącą błąd systematyczny) to zamienia się ją na niepewność standardową przy użyciu wzoru $u_g(x) = \Delta x / \sqrt{3}$. Całkowitą niepewność pomiarową wielkości x , obarczonej błędem pomiarowym przypadkowym i systematycznym, obliczamy ze wzoru:

$$u_c(x) = \sqrt{u(x)^2 + u_g(x)^2}$$

W zakresie rozszerzonym pojawia się pojęcie niepewności wielkości złożonych – chodzi tutaj o niepewność wielkości y mierzonej pośrednio na podstawie pomiaru wielkości x . Gdy obie wielkości wiąże zależność $y = f(x)$ oraz znana jest niepewność $u(x)$ pomiaru wielkości x , to niepewność $u(y)$ wielkości y obliczamy ze wzoru:

$$u(y) = \frac{1}{2} |f(x + u(x)) - f(x - u(x))|$$

Jeżeli natomiast wielkość $y = f(x)$ zależy od dwóch mierzonych wielkości fizycznych x_1 oraz x_2 , to najpierw określamy udziały niepewności $u_1(y)$ oraz $u_2(y)$ dla niepewności wielkości y . Obliczamy je analogicznie jak w przypadku funkcji jednej zmiennej – do obliczenia $u_1(y)$ przyjmujemy, że pomiar x_2 jest dokładny, a do obliczenia $u_2(y)$ przyjmujemy, że pomiar x_1 jest dokładny:

$$u_1(y) = \frac{1}{2} |f(x_1 + u(x_1), x_2) - f(x_1 - u(x_1), x_2)| \quad u_2(y) = \frac{1}{2} |f(x_1, x_2 + u(x_2)) - f(x_1, x_2 - u(x_2))|$$

Gdy mamy obliczone udziały $u_1(y)$ oraz $u_2(y)$, to niepewność $u(y)$ wyznaczamy ze wzoru:

$$u(y) = \sqrt{u_1(y)^2 + u_2(y)^2}$$

Udziały niepewności $u_1(y)$ oraz $u_2(y)$ można wykorzystywać do określania, który pomiar: x_1 czy x_2 wnosi większy wkład do niepewności $u(y)$ wielkości y mierzonej pośrednio.

Historia odkryć, analiza tekstów popularnonaukowych

Kolejną nowością w podstawie programowej fizyki – dla obu zakresów – jest wymaganie przedstawiania wybranych informacji z historii odkryć kluczowych dla rozwoju fizyki. Autorzy podstawy nie wyodrębniają konkretnych odkryć. Dlatego rekomenduje się, aby krótko przedstawiać kontekst historyczny przy okazji wprowadzania pojęć i praw związanych z takimi odkryciami jak np.: zasady dynamiki, prawa Keplera, prawo powszechnego ciążenia Newtona, prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya, światło jako fala elektromagnetyczna, interferencja elektronów, promieniowanie jądrowe, teoria względności.

Należy podkreślać, że każdy wielki przełom w fizyce wprowadzał nowe paradygmaty oraz rewidował powszechne lub potoczne wyobrażenia na temat rzeczywistości. Są to: przewrót kopernikański (heliocentryzm), prawa Keplera (opisujące kinematykę ruchów planet po elipsach), zasada bezwładności Galileusza (opisująca ruch ciała swobodnego), zasada względności Galileusza (niezależność zjawisk mechanicznych od stanu ruchu układu inercjalnego), prawo spadków swobodnych Galileusza (niezależność przyspieszenia grawitacyjnego od masy ciała), zasady dynamiki Newtona (w układach inercjalnych), prawo powszechnego ciążenia Newtona (m.in. oddziaływanie ciał na odległość – przez próżnię), prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya (zmiany strumienia pola magnetycznego są źródłem pola elektrycznego – nie tylko ładunki elektryczne), światło jako rozchodząca się w próżni fala pola elektromagnetycznego (bez pośrednictwa „eteru”), niezmienniczość prędkości światła (nieintuicyjna niezależność wartości prędkości światła od układu inercjalnego), względność równoczesności (rewizja pojęcia czasu absolutnego), interferencja jednego elektronu na dwóch szczelinach (dualizm korpuskularno-falowy), niedeterministyczny wynik pomiaru układu kwantowego, defekt masy jąder atomowych (masa jądra nie jest równa sumie mas jego składników).

Wymienione powyżej kluczowe odkrycia, począwszy od zasady bezwładności, zawsze wywołują u osób stykających się po raz pierwszy z nimi rodzaj „napięcia poznawczego” (lub nawet niedowierzania). Tak się dzieje, ponieważ wymienione kluczowe odkrycia są pozornie sprzeczne z intuicją kształtowaną codziennym doświadczeniem – zwłaszcza że człowiek w rozwoju osobniczym ma tendencję do powielania błędnych schematów myślowych, jakie towarzyszyły rozwojowi cywilizacji. Dlatego takim sytuacjom dydaktycznym należy poświęcać szczególną uwagę, a uzyskane na zajęciach zainteresowanie lub wręcz zaintrygowanie zagadnieniem wykorzystywać dydaktycznie. Sprzyja temu pogadanka, wykonanie eksperymentu rzeczywistego (np. spadek piórka i żelaznej kulki w rurze próżniowej) lub – za Einsteinem – eksperymentu myślowego (np. przy okazji operacyjnego definiowania pojęcia równoczesności).

Kolejne wymaganie przekrojowe – wspólne dla zakresu podstawowego i rozszerzonego – dotyczy umiejętności analizy oraz interpretacji tekstów popularnonaukowych

z fizyki lub astronomii. Nawiązuje ono wprost do wymagania ogólnego opisującego IV cel kształcenia dla obu zakresów. Treść tego wymagania ogólnego oraz przekrojowego została wprowadzona już w poprzedniej podstawie, co zaowocowało ugruntowaniem pewnej praktyki dydaktycznej oraz egzaminacyjnej. W dobie powszechnego dostępu do informacji, ale także ogromu błędnych lub nieprecyzyjnych wiadomości o charakterze pseudonaukowym lub popularnonaukowym (z akcentem na „popularno”), praca z materiałem źródłowym (naukowym lub rekomendowanym popularnonaukowym) stanowi ważny obszar aktywności poznawczej ucznia.

Modelowanie zjawisk

W omawianej podstawie programowej fizyki pojawiają się po raz pierwszy bardzo ważne zapisy związane z szeroko pojętym modelowaniem zjawisk. Wymagania przekrojowe: I.15) w zakresie podstawowym oraz I.19) w zakresie rozszerzonym są identyczne i opisują umiejętność wyodrębniania zjawiska z kontekstu oraz wskazywania czynników istotnych i nieistotnych w jego przebiegu. Każde zjawisko fizyczne jest zazwyczaj bardzo złożone, a na jego przebieg wpływa w mniejszym lub większym stopniu wiele czynników. Opis zjawiska fizycznego wymaga wyodrębnienia zjawisk podstawowych mających największy wpływ na zjawisko oraz pominięcia zjawisk mających mniejszy wpływ na zjawisko – w zależności od dokładności, jaką chcemy uzyskać w obliczeniach/opisie. Uwzględnienie wpływu wszystkich czynników w opisie zjawiska jest praktycznie niemożliwe. Dlatego dokonuje się pewnych uproszczeń, czyli idealizacji.

Rozważmy na przykład ruch niewielkiego kamienia rzuconego przez człowieka na ziemi. Gdy ruch kamienia trwa stosunkowo krótko, a jego prędkość jest niezbyt duża, to wpływ oporów powietrza na ruch jest niewielki. Do tego zmiany wysokości, na jakiej odbywa się ruch, są na tyle małe, żeby nie uwzględniać bardzo małych niejednorodności pola grawitacyjnego. Do opisu ruchu kamienia możemy przyjąć model, w którym kamień porusza się w jednorodnym polu grawitacyjnym przy braku sił oporów powietrza. Dalej pominiemy zjawiska cieplne wewnątrz kamienia jako niewpływające na jego ruch, a ponadto pominiemy siłę wyporu działającą na kamień i inne efekty aerodynamiczne, jako nieistotnie małe. W dodatku nie będzie nas interesował także ruch obrotowy kamienia. W związku z tym kamień potraktujemy jako punkt materialny. Na koniec, dla porządku dodamy, że pomijamy efekty związane z ruchem obrotowym Ziemi (tzn. zakładamy ruch w układzie inercjalnym) oraz efekty relatywistyczne.

Powyżej dokonaliśmy analizy szeregu czynników istotnych i nieistotnych dla przebiegu omawianego zjawiska. Tej właśnie umiejętności – dla różnej klasy zjawisk – wymaga się od ucznia.

W zakresie rozszerzonym omówione kompetencje są poszerzone. Zapis I.20) opisuje wymaganie tworzenia modeli fizycznych i matematycznych zjawisk – łącznie z określaniem

założeń dla tych modeli. W powyższym przykładzie całe złożone zjawisko ruchu rzuconego w powietrzu kamienia zostało przybliżone następującym wyidealizowanym modelem fizycznym: ruchem punktu materialnego w układzie inercyjnym, bez oporów i w jednorodnym polu grawitacyjnym – przy zadanych warunkach początkowych ruchu. Ten wyabstrahowany fizyczny model zjawiska uczeń powinien umieć opisać modelem matematycznym – w przypadku rozważanego zagadnienia ruchu kamienia byłyby to równania II zasady dynamiki: $m\vec{a} = m\vec{g}$ oraz rozwiązania tych równań przy zadanych warunkach początkowych ruchu: $\vec{v}_0, \vec{x}_0$ (równoważnie – zgodnie z zapisem II.7) podstawy taki ruch uczeń opisuje matematycznie jako złożenie ruchów: spadku swobodnego w pionie i ruchu swobodnego w poziomie).

Mechanika

Drugim blokiem wymagań szczegółowych i jednocześnie pierwszym blokiem tematycznym – dla obu zakresów – jest *Mechanika*. Uczeń kontynuujący naukę na poziomie ponadpodstawowym ma utrwalić wiedzę z mechaniki zdobytą na wcześniejszym etapie kształcenia, a także poszerzyć tę wiedzę o nowe treści oraz rozwinąć umiejętności posługiwania się bardziej zaawansowanymi narzędziami do opisu praw i zależności fizycznych.

W tej podstawie programowej, już w zakresie podstawowym wprowadzono wymaganie, aby w opisie ruchu postępowego uczeń posługiwał się wielkościami wektorowymi, takimi jak: przemieszczenie, prędkość, przyspieszenie. Wielkości te – a w szczególności wektor przyspieszenia – należy omawiać i pokazywać (półjakościowo, bez formalnego wprowadzania pojęcia granicy) także na przykładach ruchów krzywoliniowych. To pozwala kształtować odpowiednie intuicje geometryczne, istotne do rozumienia drugiej zasady dynamiki. Podejście takie jest bardzo owocne dydaktycznie – uczniowie otrzymują narzędzia pozwalające im zrozumieć na przykład to, że przyczyną ruchu jednostajnego po okręgu jest siła dośrodkowa. Świetnym zabiegiem dydaktycznym jest analiza ruchu reprezentowanego na rysunku położeniami ciała w jednakowych odstępach czasu.

Do opisu ruchów prostoliniowych jednostajnych i jednostajnie zmiennych uczeń musi posługiwać się zależnościami: położenia od czasu, drogi od czasu i wartości prędkości od czasu. Ponadto w zakresie rozszerzonym wymaga się umiejętności sporządzania, interpretowania oraz analizowania wykresów (oraz danych w postaci tabel) wymienionych ruchów prostoliniowych. Z kolei do opisu kinematyki ruchu po okręgu w zakresie rozszerzonym wprowadza się dodatkowo – oprócz prędkości liniowej, okresu i częstotliwości – przemieszczenie kątowe, prędkość kątową, przyspieszenie dośrodkowe (wraz z ich jednostkami). W zakresie rozszerzonym uczeń stosuje do obliczeń związku między tymi wielkościami, a to pociąga za sobą konieczność wprowadzenia miary łukowej kąta.

Kinematyka w zakresie rozszerzonym rozbudowana jest o wymagania opisu ruchów złożonych dwuwymiarowych oraz ruchów niejednostajnych po okręgu, a także opisu

ruchów względem różnych układów odniesienia. To ostatnie powinno uczniom zwracać uwagę na względnosc ruchu, czyli zależność od układu odniesienia takich wielkości jak: przemieszczenie, droga, prędkość i w ogólności (w układach nieinercjalnych) przyspieszenie.

Jednym z najważniejszych wymagań w dziale *Mechanika* jest oczywiście umiejętność stosowania zasad dynamiki do opisu zachowania się ciał. W zakresie rozszerzonym II.14) dodatkowo interpretuje się II zasadę dynamiki jako związek między zmianą wektora pędu w czasie z wektorem siły. W istocie jest to nie tyle interpretacja, co nawiązanie wprost do oryginalnego, geometrycznego, newtonowskiego ujęcia II zasady dynamiki:

Mutationem motus [quantitas motus] proportionalem esse vi motrici impressa, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

„Zmiana ruchu [pędu] jest proporcjonalna do czynnej siły przyłożonej i ma kierunek wzdłuż linii prostej, wzdłuż której ta siła jest przyłożona”.

Newton I., (2011), *Matematyczne zasady filozofii przyrody*, Kraków: Copernicus Center Press.

Geometryczne ujęcie II zasady dynamiki, z wykorzystaniem przyrównania $\Delta \vec{p}$ – wektora zmiany pędu do $\vec{F}\Delta t$ – wektora siły pomnożonej przez czas działania powinno być traktowane priorytetowo.

Standardowo, po zasadach dynamiki omawia się w zakresie rozszerzonym zasadę zachowania pędu izolowanego układu ciał, tzn. podlegających jedynie wzajemnym oddziaływaniom.

Zarówno w zakresie podstawowym, jak i rozszerzonym, opisując zjawiska, uczeń ma uwzględniać opory ruchu i odróżniać opory ośrodka wywierane na powierzchnię ciała od sił tarcia występujących na powierzchni styku ciał. Natomiast w zakresie rozszerzonym wymaga się rozróżniania na tarcie kinetyczne i statyczne.

Bardzo ważnym zapisem w tej podstawie programowej, wspólnym dla obu zakresów, jest umiejętność rozróżniania inercjalnych układów odniesienia od nieinercjalnych układów odniesienia. Pojęcie inercjalnego układu odniesienia jest fundamentalne przy formułowaniu zasad dynamiki. Wyrażanie zasad dynamiki bez użycia pojęcia inercjalnego układu odniesienia utrwała przekonanie o absolutnym charakterze ruchu, a to jest niezgodne z względnością ruchu. Samo stwierdzenie „ruch jednostajny prostoliniowy w przestrzeni”, bez określenia względem jakiego układu odniesienia ruch się odbywa, nie ma sensu. Tę praktykę dydaktyczną należy ograniczać. Położenia ciał określamy względem innych ciał (stanowiących układ odniesienia), które umownie uznajemy

za nieruchome. Jednak ze względu na powszechność ruchu, ciało nieruchome w jednym układzie odniesienia porusza się względem innego układu. W mechanice klasycznej nie ma sposobu wyróżnienia takiego układu odniesienia (albo ciała), o którym powiedzieliśmy, że pozostaje w absolutnym spoczynku względem przestrzeni – z tego powodu i ruch nie ma charakteru absolutnego.

Na niższych etapach edukacyjnych być może nie da się uniknąć naginania względności ruchu podczas wprowadzania zasad dynamiki, ale na poziomie liceum i technikum trzeba temu zaradzić. Tutaj należy tworzyć sytuacje dydaktyczne w formie obserwacji, doświadczeń, animacji, filmów czy eksperymentu myślowego, w których rozważa się i opisuje ruch tego samego ciała swobodnego (lub podlegającego równoważącym się siłom) ale w różnych układach odniesienia. Ważne, by uczniowie zrozumieli, że względem niektórych układów odniesienia ten sam ruch jest jednostajny prostoliniowy (lub jest to spoczynek), a w innych układach odniesienia jest to ruch w ogólności krzywoliniowy i z przyspieszeniem. Uczniowie powinni uchwycić intuicyjnie, że układy odniesienia, w których ciało swobodne spoczywa lub porusza się jednostajnie prostoliniowo, czyli układy inercjalne, są wyróżnione – poprzez tę naturalną właściwość ruchu ciała swobodnego względem nich. Układ nieinercjalny to będzie taki, w którym ruch ciała swobodnego będzie inny niż jednostajny prostoliniowy.

W zakresie rozszerzonym uczeń musi znać różnice w opisie ruchów ciał względem inercjalnych i nieinercjalnych układów odniesienia. Do wyznaczania ruchów ciał (z zasad dynamiki) w układach inercjalnych wystarczy tylko: znajomość sił rzeczywistych (tzn. związanych z oddziaływaniem z innymi ciałami albo z polem) działających na ciało oraz warunki początkowe ruchu. Z kolei do wyznaczenia ruchu ciała w układzie nieinercjalnym oprócz tego należy uwzględnić dodatkowo ruch układu nieinercjalnego względem inercjalnego i związane z tym efekty, nazywane „siłami” bezwładności.

Z tymi zagadnieniami wiąże się bezpośrednio kolejne wymaganie w zakresie rozszerzonym: uczeń musi posługiwać się zasadą względności Galileusza. (Przy okazji warto zwrócić uwagę, aby uczniowie nie mylili jej z faktem względności ruchu). Zasada względności Galileusza mówi o równoważności układów inercjalnych do opisu ruchu. W celu zilustrowania tej zasady należy wykonywać z uczniami eksperymenty, przeprowadzać pogadanki z odwołaniem się do codziennych doświadczeń, które uświadamiają, co następuje: przy warunkach początkowych ruchu określonych zawsze w pewien ustalony sposób względem dowolnego układu inercjalnego i przy tak samo działających siłach, ruch ciała będzie odbywał się zawsze w określony (zasadami dynamiki, warunkami początkowymi i siłami) sposób. Równoważność układów inercjalnych oznacza, że stan ruchu układu inercjalnego nie wpływa na ruchy ciał w tym układzie. Na przykład zjawiska mechaniczne dziejące się w pociągu (albo samolocie) jadącym ze stałą prędkością i po linii prostej (a najlepiej po torze powietrznym) przebiegają tak samo jak w pociągu stojącym na stacji. Jeśli w pociągu byłyby pozasłaniane okna, i nie było słychać odgłosów

jazdy, to pasażer nie mógłby stwierdzić o ruchu pociągu na podstawie żadnego zjawiska mechanicznego przebiegającego w tym pociągu. Tej równoważności nie ma dla układów nieinercjalnych (jakim stałby się hamujący pociąg): ruchy ciał w układach nieinercjalnych dodatkowo zależą od stanu ruchu układu nieinercjalnego względem inercjalnego.

Nauczyciel decydujący się na poszerzenie tych trudnych koncepcyjnie treści może wspomnieć, nawiązując do szczególnej teorii względności (zgodnie z jednym z wymagań przekrojowych o odkryciach historycznych), że Einstein rozszerzył zasadę względności Galileusza dotyczącą mechaniki o zjawiska elektromagnetyczne.

Kolejne wymagania (wspólne dla obu zakresów) opisują umiejętności posługiwania się takimi pojęciami jak: praca mechaniczna, moc mechaniczna, energia kinetyczna, energia potencjalna. Uczeń stosuje zasadę zachowania energii oraz związki między zmianami energii a pracą mechaniczną. W tym dziale tematycznym uczeń poznaje pojęcie sprawności urządzeń mechanicznych. Dzięki temu nabędzie prawidłowych intuicji dotyczących pojęcia sprawności silników elektrycznych czy silników cieplnych.

W podstawie programowej w zakresie rozszerzonym wprowadzono interpretację pola pod wykresem zależności siły od położenia lub zależności mocy chwilowej od czasu jako wykonanej pracy. To daje możliwość wykonywania obliczeń (lub szacowań) dla dosyć szerokiej klasy przypadków zjawisk – bez znajomości rachunku różniczkowego i całkowego.

Zgodnie ze spiralnym charakterem tej podstawy programowej, w zakresie rozszerzonym pojawiają się elementy hydrostatyki, takie jak: posługiwanie się pojęciem ciśnienia hydrostatycznego(i jego własnościami określonymi prawem Pascala), stosowanie do obliczeń prawa Archimedesesa.

Mechanika bryły sztywnej (zakres rozszerzony)

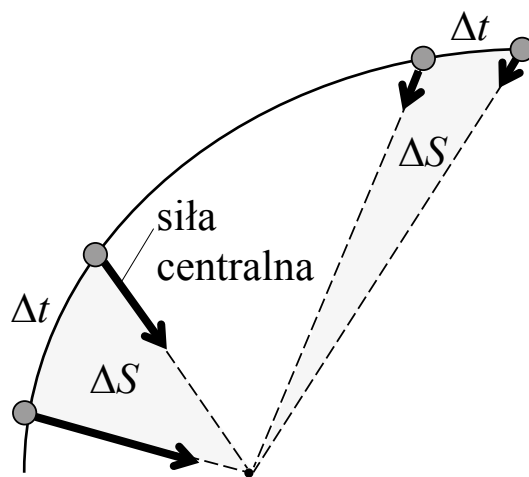
Blok tematyczny *Mechanika bryły sztywnej* obowiązuje tylko w zakresie rozszerzonym. Uczeń poznaje pojęcie bryły sztywnej, wyznacza położenie środka masy bryły oraz poznaje wielkości opisujące kinematykę i dynamikę ruchu obrotowego bryły wokół ustalonej osi. Oprócz wielkości kinematycznych poznanych przy okazji ruchu po okręgu, uczeń posługuje się pojęciem przyspieszenia kątownego.

Z wielkości charakteryzujących dynamikę ruchu obrotowego bryły wprowadzono pojęcie momentu siły oraz momentu bezwładności. Oprócz tego uczeń posługuje się pojęciem momentu pędu punktu materialnego (ogólnie) oraz momentu pędu bryły (jako sumy momentów pędu punktów materialnych bryły poruszających się po okręgach dookoła osi obrotu) i poznaje związek tej wielkości z prędkością kątową.

Poznane pojęcia łącznie z zasadami dynamiki dla bryły sztywnej uczeń stosuje do opisu jej ruchu obrotowego. Ponadto oblicza energię kinetyczną całkowitą bryły sztywnej jako sumę energii kinetycznej ruchu postępowego środka masy i ruchu obrotowego względem osi przechodzącej przez środek masy.

Wymaga się umiejętności stosowania zasady zachowania momentu pędu. Zgodnie z wcześniejszymi zapisami należy przyjąć, że uczeń stosuje zasadę zachowania momentu pędu w ruchu bryły sztywnej (gdy momenty sił znoszą się), ale także zasadę zachowania momentu pędu punktu materialnego w ruchu (niekoniecznie po okręgu) pod wpływem siły centralnej. To szczególnie ważne w kontekście drugiego prawa Keplera i wymagania IV.6) w zakresie rozszerzonym.

Należy przy tej okazji podkreślać, że z zasady zachowania momentu pędu punktu materialnego pod działaniem siły centralnej (np. siły grawitacji) wynika prawo pól (rys. obok): promień wodzący punkt i zaczepiony w centrum siły, zakreśla w jednakowych odstępach czasu Δt powierzchnie o równych polach ΔS . Nauczyciel – o ile uzna za stosowne – może poszerzyć te treści o dowód prawa pól (szczególnie geometryczny, bez użycia rachunku różniczkowego i całkowego) oraz kontekst historyczny (realizując tym samym wymaganie przekrojowe).



Grawitacja i elementy astronomii

W zakresie podstawowym i rozszerzonym określone jest wymaganie posługiwania się prawem powszechnego ciążenia. Należy przez nie rozumieć: wzór na wartość siły grawitacji, z jaką działają na siebie punkty materialne, zasadę wektorowego dodawania sił grawitacji oraz fakt, że siła grawitacji działa na każdy punkt materialny ciała. Uczeń omawia konsekwencje oddziaływania grawitacyjnego i zdaje sobie sprawę z jego makroskali. Na podstawie opisu wymagań należy przyjąć, że uczeń stosuje do obliczeń wzór na siłę grawitacji działającą pomiędzy dwoma ciałami ze sferycznie symetrycznym rozkładem masy (lub między takim ciałem a punktem materialnym): np. oblicza prędkość ciała poruszającego się (dookoła planety lub gwiazdy) po orbicie kołowej o dowolnym promieniu.

Dla obu zakresów wprowadzono pojęcia stanów nieważkości i przeciążenia. Stan nieważkości należy wiązać z faktem, że przyspieszenie grawitacyjne nie zależy od masy ciała (więc spadające swobodnie z tym samym przyspieszeniem ciała nie naciskają na siebie

nawzajem) lub równoważnie z faktem, że w spadającym układzie odniesienia siła grawitacji dokładnie równoważy „siłę” bezwładności i działa na każdy punkt ciała. Przy tej okazji naprawdę warto – pomimo że w podstawie pominięto wymagania doświadczalne w tym bloku – wykonać podstawowe eksperymenty lub obserwacje. Najważniejszym z nich – także w kontekście przełomowych odkryć w fizyce – jest doświadczenie pokazujące niezależność przyspieszenia grawitacyjnego od masy ciała (np. spadanie piórka i kulki ołowianej w rurze próżniowej). Inne doświadczenia mogą demonstrować stan nieważkości – np. upuszczanie ciał zawieszonych na sprężynie (sprężyna podczas spadku przestaje być napięta i ciało spadające swobodnie nie „waży” w układzie odniesienia związanym ze spadającą sprężyną), upuszczanie przedziurawionych butelek z wodą (woda nie wylewa się, bo spada tak samo jak butelka – nie może wyprzedzić butelki podczas spadania). W tle tych zapisów funkcjonuje niewymienione wprost pojęcie natężenia pola grawitacyjnego. Badając własności grawitacji analizuje się swobodne spadanie ciała oraz siły działające na nieruchome ciało. Uczniowie odkrywają, że stosunek siły grawitacji do masy ciała jest w danym miejscu przestrzeni niezależny od masy ciała – zależy on od miejsca w przestrzeni. Natężenie pola grawitacyjnego łatwiej jest uczniom badać niż przyspieszenie grawitacyjne – wystarczy umieszczać różne ciała na siłomierzu, następnie obliczać iloraz siły grawitacji i masy ciała.

Powyżej omówione treści zostały znacząco poszerzone w zakresie rozszerzonym – szczególnie o prawa Keplera. Uczeń analizuje jakościowo niejednostajny ruch planet po orbitach eliptycznych oraz interpretuje II prawo Keplera jako konsekwencje zasady zachowania momentu pędu. Analizę jakościową niejednostajnego ruchu po orbicie eliptycznej można przeprowadzić, porównując zwrot wektora prędkości planety ze zwrotem rzutu wektora siły grawitacji na kierunek styczny do orbity eliptycznej w danym punkcie (poza punktami perycentrum i apocentrum). Ponadto te zapisy, łącznie z wymaganiem III.6) (zakres rozszerzony) pozwalają na ilościową analizę niejednostajnych ruchów planet po elipsach – w szczególności z wykorzystaniem zasady zachowania momentu pędu (punktu materialnego), gdy planeta znajduje się w perycentrum i apocentrum. Przy tej okazji można podawać w zagadnieniach podstawowe informacje o geometrii elipsy, zwłaszcza że w wielu opracowaniach elipsa z ogniskiem rysowana jest błędnie. Uczeń powinien umieć wykorzystać podane informacje: o półosi wielkiej elipsy, o odległości od ogniska do perycentrum i apocentrum, o mimośrodku elipsy lub związku między półosią wielką, małą i ogniskową. Dalej wymaga się interpretacji III prawa Keplera jako konsekwencji prawa powszechnego ciążenia i stosowania go do obliczeń dla orbit kołowych (np. obliczanie masy centrum grawitacyjnego na podstawie ruchu orbitalnego dookoła tego centrum).

W zakresie rozszerzonym uczeń oblicza zmiany energii potencjalnej oraz stosuje zasadę zachowania energii mechanicznej dla ruchu orbitalnego, ale także dla ruchu po torze otwartym nieskończonym – czego przykładem jest posługiwanie się pojęciem prędkości ucieczki.

Ostatnie, bardzo ważne wymagania są wspólne dla obu zakresów i dotyczą elementów astronomii oraz kosmologii. Uczeń musi znać budowę Układu Słonecznego, jego miejsce w Galaktyce oraz posługiwać się pojęciami jednostki astronomicznej, roku świetlnego i – w zakresie rozszerzonym – parseka. Uświadamia się uczniom skale odległości w Układzie Słonecznym, w Galaktyce, między sąsiednimi galaktykami, grupami galaktyk i w całym Wszechświecie.

Z elementów kosmologii wprowadzono Wielki Wybuch jako początek znanego Wszechświata oraz rozszerzanie się Wszechświata. Przy omawianiu podstawowych zagadnień kosmologicznych należy zwracać uwagę na ich teoretyczną i obserwacyjną stronę: początek (w czasie) Wszechświata i jego rozszerzanie się przewidują rozwiązania równań ogólnej teorii względności Einsteina, a ponadto są one potwierdzone obserwacjami: charakteru oddalania się od siebie bardzo odległych galaktyk oraz promieniowania tła wypełniającego cały Wszechświat. Warto wyjaśniać jakościowo istotę Wielkiego Wybuchu, kształtować odpowiednie intuicje i rewidować błędne poglądy. W zakresie rozszerzonym uczeń dodatkowo ma stosować do obliczeń prawo Hubble'a opisujące sposób rozszerzania się Wszechświata we wszystkie strony.

Drgania

W zakresie podstawowym uczeń opisuje charakter siły sprężystości (przy odpowiednio małych odkształceniach), analizuje ruch pod jej wpływem, posługując się podstawowymi pojęciami: wychylenia, amplitudy i okresu, a także analizuje przemiany energii w ruchu drgającym. Ponadto uczeń opisuje drgania wymuszone oraz zjawisko rezonansu mechanicznego (ważne, aby rozróżniał oba zjawiska, ponieważ nader często są one ze sobą mylone). Na końcu bloku tematycznego wymienia się doświadczenia ilustrujące własności dynamiczne oraz kinematyczne drgań ciężarka na sprężynie oraz zjawisko rezonansu. Wymagania w zakresie podstawowym skupiają się wokół jakościowego opisu aspektów związanych z drganiami.

W zakresie rozszerzonym dokonano istotnych uzupełnień umożliwiających ścisły, ilościowy opis kinematyki i dynamiki drgań. Wprowadzono pojęcie precyzujące kinematykę drgania: drganie harmoniczne. Uczeń opisuje ruch harmoniczny (prosty) pod wpływem siły harmonicznej (o wartości proporcjonalnej do wartości wychylenia i przeciwnie do niego skierowanej), posługując się dodatkowo pojęciami częstości kołowej i fazy drgania. Do tego analizuje zależności od czasu (używa do tego równań i wykresów): położenia, prędkości i przyspieszenia, a także stosuje do obliczeń wzory na okres drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie. Przy tej okazji należy podkreślać założenia modelu wahadła matematycznego. Wymagania doświadczalne zostały poszerzone o trzy doświadczenia z wykorzystaniem wahadła matematycznego. Ostatnie doświadczenie – wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła

matematycznego – pokazuje niezależność okresu drgań od masy ciężarka i jest kolejnym dowodem na niezależność przyspieszenia grawitacyjnego od masy ciała.

Termodynamika

Ten blok tematyczny rozpoczyna się dla obu zakresów od wymagań związanych ze zjawiskami rozszerzalności cieplnej (będących m.in. podstawą działania termometrów) oraz od wymagań w zakresie rozróżniania sposobu przekazywania energii w formie ciepła od sposobu przekazywania energii w formie pracy mechanicznej.

Uczeń musi rozumieć, że gdy termometr dotyka innego ciała lub ma kontakt z ośrodkiem materialnym, to substancja w termometrze może zmieniać swoje rozmiary, pomimo że jest izolowana mechanicznie i materialnie od otoczenia: nie jest niczym ściskana ani rozciągana, ani uderzana, ani też znikąd jej nie przybywa. Substancja w termometrze – podczas kontaktu cieplnego z innym ciałem – może nabywać energię (jakby do swojego wnętrza) i zmieniać parametry stanu. Zgodnie z kolejnymi wymaganiami uczeń musi rozróżniać przekazywanie energii w postaci ciepła (między układami o różnych temperaturach) i przekazywanie energii w formie pracy, a także ma posługiwać się pojęciem energii wewnętrznej.

Wyodrębnienie przekazu energii w formie wykonywanej pracy i wymiany cieplnej pozwala na sformułowanie I zasady termodynamiki jako związku między zmianą energii wewnętrznej a sumą wykonanej pracy całkowitej i wymienionego ciepła między układem a otoczeniem. Analizy I zasady termodynamiki wymaga się w zakresie podstawowym i rozszerzonym.

W obu zakresach omawianego bloku tematycznego wprowadzono zapisy o charakterze ogólnym i mającym praktyczne znaczenie: o posługiwaniu się wartościami energetycznymi żywności i paliw oraz o własnościach wody i ich konsekwencji dla życia na Ziemi.

W zakresie podstawowym nie powraca się do elementów teorii kinetyczno-molekularnej, jak np. poznawany w szkole podstawowej związek między temperaturą i średnią energią kinetyczną chaotycznego ruchu cząsteczek ośrodka materialnego. W zakresie podstawowym nie obowiązuje ponadto termodynamika gazów. Natomiast w zakresie rozszerzonym gruntownie omawia się model gazu doskonałego: założenia modelu, związek między temperaturą a średnią energią kinetyczną ruchu cząsteczek gazu i energią wewnętrzną gazu, równanie Clapeyrona wiążące parametry stanu gazu, zastosowania I zasady termodynamiki w przemianach termodynamicznych łącznie z posługiwaniem się pojęciem ciepła molowego. Uczeń powinien rozumieć, że gazy rzeczywiste można opisywać z dobrym przybliżeniem za pomocą modelu gazu doskonałego jedynie w pewnym ograniczonym zakresie warunków.

W zakresie rozszerzonym wprowadzono istotnie nowe treści w bloku termodynamika, związane ze współistnieniem różnych faz tej samej substancji, gdy są one w równowadze termodynamicznej, tzn. przy pewnej temperaturze obu faz oraz ciśnieniu. Współistnienie należy tłumaczyć uczniom jako fakt, że w ujęciu makroskopowym żadnej ze współistniejących faz nie ubywa ani nie przybywa (np. lód się nie topi, a woda nie zamarza). Jako przykład rekomenduje się omówienie diagramu fazowego (we współrzędnych T, p) dla wody, łącznie z analizą krzywych $p(T)$ współistnienia faz: woda (jako ciecz) i para wodna, lód i woda jako ciecz, lód i para wodna. Można także wspomnieć o punkcie potrójnym wody, a także o punkcie krytycznym. Przy tej okazji należy uświadomić zależność temperatury wrzenia (lub topnienia) od ciśnienia, odwołując się do znanych zjawisk.

Zgodnie z wymaganiami dla obu zakresów uczeń ma analizować bilans cieplny, wykorzystując pojęcie ciepła właściwego i pojęcie ciepła przemiany fazowej. Ponadto w zakresie rozszerzonym uczeń ma opisywać skokową zmianę energii wewnętrznej w przemianie fazowej (zachodzącej w stałej temperaturze). Warto wyjaśniać, że taka zmiana energii wewnętrznej podczas przemiany fazowej związana jest ze zmianą energii potencjalnej wzajemnych oddziaływań międzycząsteczkowych.

Wymagania związane z analizą cykli termodynamicznych są podobne jak w poprzednich podstawach programowych, z tą różnicą, że wprowadzono umiejętność analizowania przepływu energii nie tylko w silnikach cieplnych, ale także w pompach cieplnych (chłodziarkach).

Jedno z ostatnich wymagań na poziomie rozszerzonym dotyczy bardzo ważnego zagadnienia: II zasady termodynamiki. Interpretację drugiej zasady termodynamiki należy wprowadzać przy okazji omawiania cykli: silników i odwrotnych – pomp/chłodziarek. Podczas omawiania cykli odwrotnych (na przykładzie lodówki), stosunkowo łatwo przychodzi interpretacja Clausiusa (o niemożliwości utrzymania samorzutnego przepływu ciepła od ciała o niższej do ciała o wyższej temperaturze). Trudniejszą interpretacją II zasady termodynamiki jest interpretacja Kelwina o nieistnieniu silnika, który działając cyklicznie, zamieniałby całe pobrane ciepło w pracę (całkowitą) i nie oddawał ciepła do otoczenia. Należy zwracać uwagę na kluczowe założenie w tej interpretacji: „działając cyklicznie” i związany z nim fakt powracania układu do stanu początkowego.

Omawiane powyżej wymaganie VI.17) daje w istocie nauczycielowi pewną swobodę w tym, na której interpretacji II zasady termodynamiki się skupi. Nauczyciel może nawet próbować na tym etapie kształcenia przedstawić choćby zarys statystycznego ujęcia tego prawa. To wymagałoby wprowadzenia nowych pojęć jak: mikrostan układu, stan makroskopowy układu realizowany przez pewną liczbę różnych mikrostanów (cząsteczki w pokoju zmieniają położenia i pędy, ale temperatura i ciśnienie jest to samo), także pojęcie entropii jako miary liczby mikrostanów realizujących dany stan makroskopowy.

Druga zasada termodynamiki w ujęciu statystycznym mówi, że w układzie izolowanym, złożonym początkowo z podukładów izolowanych wzajemnie: mechanicznie, termicznie lub materialnie, po usunięciu tych więzów między podukładami entropia rośnie (lub pozostaje stała). Inaczej – osiągany jest stan o największym prawdopodobieństwie. Np. prawdopodobieństwo tego, że wszystkie cząsteczki w pokoju skupią się w jednym miejscu i będą miały pędy w tym samym kierunku, aby samoistnie utworzyć podmuch, jest prawie zero. Teoretycznie jednak istnieje taka możliwość: w pokoju, w którym wcześniej wykonano podmuch, należałoby wszystkim cząsteczkom zamienić pędy na przeciwnie, co skutkowałoby utworzeniem (chwilowego) podmuchu odwróconego. To pokazuje, jak mało prawdopodobne są takie konfiguracje warunków początkowych, które mogą powodować podobne procesy lub odwracać niektóre procesy. W tym kontekście można omawiać procesy odwracalne i nieodwracalne makroskopowo.

Do podstawy programowej w obu zakresach wprowadzono zjawisko dyfuzji, a w zakresie rozszerzonym pojęcie fluktuacji i ruchu Browna. Pojęcia te związane są z molekularną strukturą materii (tutaj gazów i cieczy) i pozwalają zrozumieć przebieg zjawisk w makroskali jako konsekwencje zjawisk w skali molekuł.

Elektrostatyka

Elektrostatyka rozpoczyna się wspólnym dla obu zakresów wymaganiem posługiwania się zasadą zachowania ładunku elektrycznego. Uczniowie powinni znać ze szkoły podstawowej pojęcie ładunku, ładunku elementarnego a także wiedzieć, co jest nośnikiem ładunku. Omawiając zasadę zachowania ładunku elektrycznego należy wspomnieć jej fundamentalny charakter: jest ona spełniona na poziomie elementarnym, podobnie jak zasada zachowania energii i pędu. Do makroskopowego charakteru tej zasady powraca się przy okazji I prawa Kirchhoffa dla obwodów elektrycznych, a jej przejaw na poziomie fundamentalnym wykorzystuje się w reakcjach/przemianach jądrowych.

Podobnie w obu zakresach wymaga się ilościowego stosowania prawa Coulomba do obliczania siły wzajemnego oddziaływania ładunków punktowych. Uczeń posługuje się pojęciem pola elektrycznego. W zakresie podstawowym pole elektryczne ma być opisywane za pomocą linii sił, a w zakresie rozszerzonym – dodatkowo za pomocą wektora natężenia pola elektrycznego. W szczególności wszyscy uczniowie mają opisywać pole jednorodne (odpowiednimi dla nich narzędziami), a w zakresie rozszerzonym – także pole centralne. Oprócz powyższych wymaga się umiejętności jakościowego opisu rozkładu ładunków w przewodniku (izolowanym), który to rozkład prowadzi do: zerowania się pola elektrostatycznego wewnątrz przewodnika (a także w przestrzeni wydrążonego w środku przewodnika – tzw. klatka Faradaya), wytwarzania pola elektrycznego prostopadłego do powierzchni i takiego, że duże wartości natężenia pola są osiągane na powierzchniach mocno zakrzywionych/ostrych.

W zakresie rozszerzonym wprowadzono istotne uściślenia pojęć oraz wymagania związane z ilościową analizą. Uczeń analizuje i oblicza wartość natężenia pola elektrycznego od sferycznie symetrycznych rozkładów ładunków oraz od prostych konfiguracji ładunków punktowych. W tym kryje się zasada superpozycji (warto eksponować ten fakt jako ogólną własność teorii elektromagnetyzmu). Uczeń wiąże pracę wykonaną przez siły elektryczne podczas przemieszczenia ładunku w polu elektrycznym z różnicą energii potencjalnych – w związku z czym posługuje się pojęciem potencjału elektrycznego (lub napięcia elektrycznego).

W zakresie podstawowym wprowadzono pojęcie kondensatora jako układu przeciwnie naładowanych brył przewodnika, wytwarzających pole elektryczne istniejące w ograniczonym obszarze przestrzeni i magazynujące energię. Uczeń ma opisywać przemiany energii zgromadzonej w kondensatorze oraz demonstrować je w pokazach (zgodnie z wymaganiami doświadczalnymi). W zakresie rozszerzonym treści te są poszerzone i uzupełnione o ilościową analizę dla kondensatora płaskiego (obliczanie pojemności, natężenia pola, napięcia, energii zgromadzonej). Na koniec, w zakresie rozszerzonym omawia się dielektryki: ich polaryzację w polu zewnętrznym, wpływ na pole oraz na pojemność kondensatorów.

Prąd elektryczny

Zgodnie ze spiralnym charakterem podstawy programowej, w obu zakresach powraca się do treści poznanych w szkole podstawowej. Z nowych treści uczeń poznaje wpływ temperatury na opór metali i półprzewodników, co pozwala mu na odróżnianie tych materiałów. W obu zakresach uczeń ma stosować prawo Ohma dla przewodników, interpretować I prawo Kirchhoffa jako zasadę zachowania ładunku, a zasadę dodawania napięć w układzie ogniów połączonych szeregowo – jako konsekwencję zasady zachowania energii. To ostatnie uogólnia i poszerza się w zakresie rozszerzonym do II prawa Kirchhoffa.

Dla obu zakresów wprowadzono wymagania dotyczące praktycznych aspektów wykorzystania obwodów z prądem, działania urządzeń elektrycznych oraz stosowania półprzewodników. Tymi wymaganiami są: opisywanie domowej sieci elektrycznej, wyjaśnianie funkcji bezpieczników, przewodu uziemiającego, posługiwanie się wartościami znamionowymi urządzeń. Zastosowanie materiałów półprzewodnikowych uczeń ma opisywać na przykładzie dwóch urządzeń bardzo ważnych w technice. Jednym z nich jest dioda półprzewodnikowa jako element przewodzący prąd w jednym kierunku oraz jako źródło światła o ustalonej długości fali. Drugim z urządzeń jest tranzystor jako element wzmacniający sygnał elektryczny.

W zakresie rozszerzonym pojawiają się nowe treści: oprócz przewodnictwa w metalach uczeń opisuje przewodnictwo w gazach, elektrolitach, a także wyjaśnia procesy

jonizacji. W zakresie rozszerzonym omawia się cechy źródła w obwodzie, takie jak opór wewnętrzny i siła elektromotoryczna, analizuje się charakterystyki prądowo-napięciowe elementów obwodu zgodnych i niezgodnych z prawem Ohma, a także oblicza się moc wydzielaną na oporniku. Ponadto uczeń ma posługiwać się pojęciem oporu zastępczego i obliczać go dla układu oporników łączonych szeregowo lub równolegle.

Magnetyzm

Podobnie jak w poprzednich blokach tematycznych, wymagania w zakresie podstawowym skupiają się na jakościowym opisie (za pomocą linii pola) pola magnetycznego wytwarzanego przez magnesy stałe i przewodniki z prądem (zwojnica i przewodnik prostoliniowy). Do tego uczeń ma opisywać jakościowo oddziaływanie pola na przewodniki z prądem oraz oddziaływanie pola na poruszające się cząsteczki naładowane. Podkreślamy, że pole magnetyczne – w odróżnieniu od elektrycznego – nie działa na nieruchome cząsteczki naładowane (o ile sama cząsteczka nie ma własności magnetycznych w postaci momentu magnetycznego). Ze szkoły podstawowej uczeń pamięta sposób oddziaływania magnesów z polem na przykładach zachowania się igły magnetycznej w zewnętrznym polu magnetycznym (która ustawia się zgodnie z polem) oraz przyciągania lub odpychania się magnesów w zależności od orientacji ich biegunów.

W zakresie rozszerzonym pojawia się ilościowy opis pola magnetycznego, a także ilościowy opis oddziaływania pola z przewodnikami z prądem lub cząsteczkami w ruchu. W tym celu wprowadza się wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$ oraz omawia siłę Lorentza $\vec{F}_{mag}$ działającą na cząsteczkę o ładunku q poruszającą się z prędkością $\vec{v}$. W zasadzie to związek określający siłę Lorentza (co do kierunku zwrotu i wartości) powinien posłużyć za definicję wektora indukcji magnetycznej. Podobnie jak wektor natężenia pola elektrycznego definiowało się jako iloraz siły działającej na nieruchomą cząsteczkę i wartość jej ładunku, tak tutaj iloraz siły Lorentza i wartości ładunku będzie zależał w pewien określony sposób od wektora prędkości cząsteczki i wektora indukcji magnetycznej:

$$\frac{\vec{F}_{mag}}{q} = \vec{v} \times \vec{B}$$

(Uczniowie nie muszą formalnie znać iloczynu wektorowego, ale muszą umieć określać zwrot i wartość siły Lorentza). Siła elektrodynamiczna działająca na przewodnik z prądem w polu magnetycznym pojawia się jako wypadkowa sił Lorentza działających na poruszające się w przewodniku ładunki elektryczne. W zakresie rozszerzonym wymaga się obliczania wartości pola magnetycznego dla długiego prostoliniowego przewodnika z prądem oraz wewnątrz długiej zwojnicy.

Opisane narzędzia pozwalają w zakresie rozszerzonym na jakościową analizę sił działających na pętlę przewodnika z prądem w polu magnetycznym lub na ilościową analizę sił i momentów sił działających na prostokątną ramkę z prądem w jednorodnym polu

magnetycznym. Uczniowie uświadamiają sobie, że oto pętla z prądem zachowuje się w polu magnetycznym podobnie do magnesu: w zależności od kierunku prądu w pętli, po obu stronach płaszczyzny pętli wytwarzają się bieguny magnetyczne, które oddziałują z zewnętrznym polem, obracając ramkę. W ten sposób uczeń poznaje zasadę działania silnika elektrycznego, ale nie tylko. Model pętli z prądem oddziałującej z polem magnetycznym może posłużyć także do jakościowego i bardzo uproszczonego opisu oddziaływania atomów z polem (elektrony „krążące wokół jądra” jako prądy) – np. do wyjaśniania polaryzacji atomów w polu magnetycznym. To jest może zbyt uproszczony i naiwny opis, jednak pozwala jakkolwiek podejrzeć na poziomie mikroskopowym, skąd biorą się magnetyczne własności materii.

Kolejne zapisy wymagań dla obu zakresów związane są ze zjawiskiem wiążącym magnetyzm z elektrycznością, czyli z indukcją elektromagnetyczną. Konsekwentnie, w zakresie podstawowym zjawisko omawia się jakościowo, a w zakresie rozszerzonym ilościowo. W tym celu, do opisu zjawiska indukcji elektromagnetycznej w zakresie rozszerzonym wprowadza się wielkości określone w sposób ścisły, jak: strumień pola magnetycznego przez powierzchnię lub szybkość zmiany tego strumienia.

W zakresie podstawowym wprowadzono zapis o związku zjawiska indukcji elektromagnetycznej ze względnym ruchem magnesu i zwojnicy lub zmianą natężenia prądu w elektromagnesie. Uczeń ma rozumieć, że ruch przewodnika w polu magnetycznym (ale taki, że prędkość przewodnika i linie pola nie są w jednym kierunku), albo ruch magnesu obok przewodnika, „uruchamia” przepływ prądu w przewodniku. W ten sposób pokazuje się przemianę energii mechanicznej (ruch przewodnika albo magnesu) w energię elektryczną (przepływ prądu). Jako przykłady zastosowania omawianego zjawiska uczeń poznaje działanie prądnicy i transformatora – w obu zakresach podstawy programowej.

W zakresie rozszerzonym wprowadzono pojęcie strumienia indukcji magnetycznej przez powierzchnię. Uczeń opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej, oblicza wartość siły elektromotorycznej indukcji jako zmianę strumienia w jednostce czasu oraz stosuje regułę Lenza do określenia jej biegunowości.

W zakresie rozszerzonym uczeń ilościowo opisuje prądy i napięcia przemienne sinusoidalnie, a także poszerza wiedzę o transformatorze – stosuje ilościowy opis przekładni prądowej lub napięciowej w uproszczonym modelu transformatora, omawia zastosowania transformatorów.

Na koniec bloku tematycznego uczeń poznaje jakościową współzależność zmian pola elektrycznego (lub magnetycznego) z wytwarzanym przez te zmiany wirowym polem magnetycznym (lub elektrycznym). Należy przy tej okazji wskazywać, że przykładem powstania wirowego pola elektrycznego (np. natężenia pola elektrycznego wzdłuż pętli obwodu) pod wpływem zmiennego pola magnetycznego (np. przenikającego

powierzchnię obwodu) jest zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Ważnym jest tutaj dokonanie abstrahowania od jakichkolwiek obwodów, tzn. mówimy jedynie o relacjach pomiędzy zmianami pól i polami w przestrzeni: zmienne pole magnetyczne indukuje wirowe i zmienne pole elektryczne, które to zmienne pole elektryczne indukuje zmienne wirowe pole magnetyczne itd.

Konsekwencją tych praw elektromagnetyzmu jest zjawisko fali elektromagnetycznej rozchodzącej się w pustej przestrzeni z prędkością światła – niezależnie od prędkości jej źródła. Uczeń poznaje klasyczny opis promieniowania elektromagnetycznego, czyli światła. To szczególnie ważny temat z uwagi na to, że dzisiejsza technologia przekazywania danych (internet, telefonia komórkowa) używa fal elektromagnetycznych. W nawiązaniu do elementów szczególnej teorii względności z ostatniego bloku tematycznego, omówione treści nauczyciel może poszerzyć o szczególną zasadę względności Einsteina (tzn. zasadę względności rozszerzoną o zjawiska elektromagnetyczne), zgodnie z którą prędkość światła w próżni jest taka sama w każdym inercjalnym układzie odniesienia.

Fale i optyka

Kolejny blok tematyczny jest znaczącym poszerzeniem treści poznanych w szkole podstawowej, a związanych z falami mechanicznymi oraz elektromagnetycznymi. Układ treści nauczania ma uświadamiać, że pewne własności zjawisk związanych z rozchodzeniem się fal mechanicznych oraz fal elektromagnetycznych są identyczne (prawo odbicia, załamania, dyfrakcja, interferencja, efekt Dopplera) – jako uniwersalne przejawy falowej natury. Te intuicje związane z uniwersalnymi własnościami fal okażą się niezmiernie przydatne podczas omawiania falowych własności cząstek (fal prawdopodobieństwa).

W obu zakresach wprowadzono do podstawy programowej pojęcie powierzchni falowej. W zakresie podstawowym uczeń ma jakościowo opisywać rozchodzenie się fal w ośrodku materialnym na podstawie obrazu powierzchni falowych, a w zakresie rozszerzonym ma to analizować. Pojęcie powierzchni falowej jest niezbędne w kontekście zasady Huygensa, umożliwiającej analizę rozchodzenia się fali mechanicznej w ośrodku materialnym z przeszkodami.

W zakresie rozszerzonym pojawiają się istotne nowości: pojęcie natężenia fali I , oraz wprost proporcjonalna zależność natężenia fali od kwadratu jej amplitudy A :

$$I \sim A^2$$

a także zależność natężenia fali sferycznej od odległości r od źródła punktowego (lub sferycznie symetrycznego):

$$I \sim \frac{1}{r^2}$$

Powyższe własności dotyczą fal mechanicznych i elektromagnetycznych. Ponadto w obu zakresach uczeń ma opisywać widmo światła białego. W kolejnych wymaganiach wymieniania się umiejętności związane ze znajomością szeroko pojętych zjawisk falowych,

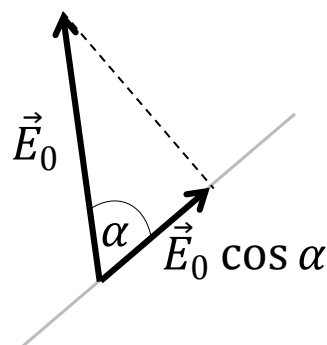
tn. związanych z propagowaniem się fal mechanicznych lub propagowaniem się fal elektromagnetycznych. Są to np. zjawisko odbicia i załamania fali na granicy ośrodków, zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia, zjawisko dyfrakcji fali na szczelinie, zjawisko interferencji fal.

Załamanie fali na granicy ośrodków uczniowie wiążą z tym, że prędkości fali w różnych ośrodkach mają zazwyczaj różne wartości, ale częstotliwość fali się nie zmienia. Przy okazji zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia omawia się działanie światłowodu.

Jako szczególny przykład zasady superpozycji fal podaje się zjawisko interferencji przejawiające się w przestrzennym rozkładzie różnych wartości amplitudy fali. Uczeń poznaje ogólne warunki na wzmocnienia i osłabienia interferencyjne oraz opisuje przestrzenny obraz interferencyjny od dwóch punktowych źródeł – obraz zależący od odległości między źródłami i długości fali. Wiedzę o dyfrakcji i interferencji światła jako fali wykorzystuje się w zakresie rozszerzonym do opisu obrazu powstającego po przejściu światła przez siatkę dyfrakcyjną.

W zakresie podstawowym omówione zjawiska opisuje się jakościowo lub ilościowo na poziomie elementarnym, natomiast w zakresie rozszerzonym wymaga się ilościowej analizy tych zjawisk (uczeń analizuje [...], stosuje [...], oblicza [...], podaje warunki [...]).

Uczeń, niezależnie od zakresu, rozróżnia fale ze względu na sposób propagowania się zaburzenia ośrodka lub pola, czyli rozróżnia fale poprzeczne od fal podłużnych. Pojawia się niewymienione wprost pojęcie polaryzacji fali lub płaszczyzny polaryzacji: uczeń opisuje światło jako falę elektromagnetyczną poprzeczną, rozróżnia światło spolaryzowane od niespolaryzowanego oraz podaje przykłady polaryzacji światła (w wyniku przejścia przez polaryzator lub odbicia od granicy ośrodków pod szczególnym kątem). Należy przyjąć, że w zakresie rozszerzonym uczeń potrafi wyznaczyć amplitudę fali elektromagnetycznej (tzn. maksymalną wartość wektora pola elektrycznego) po jej przejściu przez polaryzator, gdy dany jest kąt α między płaszczyzną polaryzacji i wektorem pola elektrycznego (zobacz rys. obok). To, wraz z zależnością między amplitudą fali i natężeniem fali ($I \sim E_0^2$), daje narzędzia do obliczania zmiany natężenia fali świetlnej po przejściu przez polaryzator.



Zgodnie z wymaganiami doświadczalnymi (dla obu zakresów) przeprowadza się obserwacje zmiany natężenia światła przy przejściu przez polaryzatory, których kierunki polaryzacji są ustawione prostopadle lub równoległe. To doświadczenie można w piękny sposób poszerzyć, pokazując przejaw falowej natury światła (i wektorowego charakteru pola elektromagnetycznego): w tym celu obserwuje się przejście światła przez dwa

polaryzatory, których kierunki polaryzacji są ustawione prostopadłe, i pomiędzy które włożono trzeci polaryzator (o innym kierunku polaryzacji niż mają oba prostopadłe).

Efekt Dopplera to kolejne zjawisko – omawiane tylko w zakresie rozszerzonym – wynikające z własności falowych. W podstawie programowej mówi się o zjawisku Dopplera dla fal, gdy źródło lub obserwator poruszają się znacznie wolniej niż fala. Należy zatem przyjąć, że uczeń na podstawie odpowiednich wzorów ma analizować efekt Dopplera zarówno dla fal dźwiękowych, jak i fal elektromagnetycznych. To ostatnie jest niezwykle ważne w kontekście obserwacji rozszerzania się Wszechświata poprzez obserwację przesunięcia ku czerwieni widma oddalających się galaktyk. Wzór na efekt Dopplera dla światła, gdy $v_z \ll c$, jest analogiczny jak dla fal dźwiękowych:

$$\lambda_{obs (oddala)} = \lambda_0 \sqrt{\frac{c + v_z}{c - v_z}} \approx \lambda_0 \cdot \frac{c + v_z}{c}$$

Blok tematyczny *Fale i optyka* kończy omówienie przykładów zjawisk optycznych w przyrodzie. W zakresie rozszerzonym ponadto wymienia się te zjawiska: czerwony kolor zachodzącego słońca, miraże, efekt Tyndalla (warto też wspomnieć o efekcie niebieskiego nieba).

Fizyka atomowa

Treści nauczania w tym bloku tematycznym skupiają się na omówieniu dualizmu korpuskularno-falowego. Większość wymagań szczegółowych odnosi się do przejawów korpuskularnej natury światła, gdy dotychczas uczeń uczył się o zjawiskach odzwierciedlających falową naturę światła. Z kolei ostatnie wymagania dotyczą falowej natury elektronów oraz innych cząstek, w związku z czym są rewizją dotychczasowego wyobrażenia o cząstkach jako tylko molekułach.

Układ treści nauczania odzwierciedla mniej więcej chronologię, w jakiej dokonywano tych przełomowych odkryć.

W obu zakresach podstawy wymaga się analizy promieniowania termicznego ciał i jego zależności od temperatury. To bardzo ogólny zapis, którego interpretację nauczyciel może przyjąć, jak podajemy poniżej. Promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez każde ciało o niezerowej temperaturze określa się jako promieniowanie termiczne (nie wliczamy w to promieniowania odbitego od ciała). Po pierwsze zwracamy uczniom uwagę na ciągłość widma promieniowania termicznego – tzn. emitowanie energii zachodzi we wszystkich długościach fal. Następnie pokazujemy związek pomiędzy temperaturą a długością fali, dla której rozkład energii promieniowania ma maksimum (prawo Wiena). Na tej podstawie uczeń może analizować, w jakich zakresach temperatur

maksimum promieniowania przypada dla długości fali w zakresie światła widzialnego. Ponadto można omawiać zależność całkowitej mocy promieniowania z powierzchni ciała od temperatury powierzchni ciała (prawo Stefana-Boltzmann). Omawiając wyżej wymienione własności promieniowania termicznego ciał, można uczniom powiedzieć, że wyjaśnia się je (wyprowadza postać rozkładu Plancka) w oparciu o hipotezę dotyczącą korpuskularnej natury promieniowania elektromagnetycznego oraz dosyć zaawansowane metody fizyki statystycznej. Wprawdzie korpuskularna natura światła nie przejawia się tak spektakularnie jak w zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym, niemniej warto ją zaznaczyć już w tym momencie.

Kolejne wymagania dla obu zakresów dotyczą dualizmu korpuskularno-falowego światła. Uczeń obeznany już z falową naturą światła poznaje teraz korpuskularny charakter światła. Promieniowanie elektromagnetyczne traktuje jako wiązkę kwantów (porcji) energii – fotonów. Uczeń stosuje pojęcie fotonu, wiąże foton z częstotliwością światła monochromatycznego i wie, że jest on najmniejszą porcją energii tego światła. Następnie wprowadza się jeden z najważniejszych w fizyce wzorów, wiążący częstotliwość światła f z energią E_{fot} pojedynczego fotonu i jedną z fundamentalnych stałych przyrody – stałą Plancka h :

$$E_{\text{fot}} = hf$$

W zakresie rozszerzonym uczeń ma opisywać powstawanie promieniowania hamowania w oparciu o przemianę energii kinetycznych hamujących elektronów w energię fotonów. Uczeń rozumie, że ciągły rozkład widma promieniowania hamowania, licząc od pewnej najmniejszej granicznej długości fali, odzwierciedla fakt, że zmiana energii kinetycznej elektronu $\Delta E_{\text{kin } e}$ w energię fotonu może przyjmować dowolną wartość w przedziale od 0 (gdy elektron w ogóle nie hamuje) do energii kinetycznej elektronu E_{kin} (gdy elektron wyhamuje całkowicie).

W odróżnieniu od ciągłego widma promieniowania uczeń – w zakresie podstawowym i rozszerzonym – ma znać i rozróżniać liniowe widma emisyjne oraz absorpcyjne gazów. Fakt, że – przy pominięciu promieniowania termicznego – gazy emitują (lub absorbują) światło o ustalonych (a więc nie dowolnych!) długościach fal ma być interpretowany w kontekście przemiany energii elektronów w energię fotonów, na skutek przejść tych elektronów w atomie między poziomami energetycznymi, gdzie energie elektronów przyjmują określone (czyli nie dowolne) wartości. Przy okazji wprowadza się pojęcie stanu podstawowego i wzbudzonego atomu, a także analizuje się (w zakresie podstawowym tylko jakościowo) widmo emisyjne i absorpcyjne atomu wodoru.

W zakresie rozszerzonym wprowadza się wzór na pęd fotonu. Należy przy tym zwracać uwagę na fakt, że foton, chociaż nie ma masy, to ma pęd, który może przekazywać innym ciałom. To kolejny przejaw korpuskularnej natury światła. Uczeń ma rozumieć, że na poziomie elementarnym oddziaływania światła z materią – a więc w oddziaływaniu fotonu z cząstkami materii – spełniona jest zasada zachowania pędu oraz zasada zachowania

energii. Cząstka może przyjąć porcję energii i pędu niesioną przez foton (całkowitą lub część). Podobnie, gdy atom wyemituje foton, to – zgodnie z zasadą zachowania pędu – atom dozna odrzutu.

W kontekście przekazywania energii cząstkom materii przez promieniowanie elektromagnetyczne omawia się w obu zakresach zjawisko jonizacji, zjawisko fotoelektryczne oraz zjawisko fotochemiczne. Progowy charakter podobnych zjawisk – zachodzących powyżej pewnej częstotliwości granicznej promieniowania – wyjaśnia się koniecznością posiadania przez pojedynczy foton energii większej od energii oddziaływania elektronu z jądrem atomowym lub większej od pracy wyjścia elektronu z metalu.

W zakresie rozszerzonym wymaga się jakościowego opisu obrazu dyfrakcji i interferencji promieniowania rentgenowskiego na kryształach – tzn. na regularnej, przestrzennej sieci krystalicznej. Falowe własności cząstek najlepiej wprowadzić, omawiając wynik doświadczenia z rozpraszaniem elektronów także na kryształach. Oto odbita od kryształu wiązka elektronów – o których myślimy przecież jako o małych „kuleczkach” – zamiast zachowywać się jak strumień „kulek” w mechanice klasycznej, tworzy obraz podobny do tego, jaki zostałyby utworzone przez fale o pewnej długości. Ponadto obraz ten zależy od pędu elektronów. W naturalny sposób uczeń poznaje koncepcję, aby pęd cząstki powiązać z długością pewnej fali (fali de Broglie’a, fali prawdopodobieństwa). Jako klasyczny przykład przejawu korpuskularno-falowej natury cząstek należy omówić wynik doświadczenia z interferencją elektronów na dwóch szczelinach. Najbardziej przemawia do wyobraźni skrajna forma eksperymentu, gdy elektrony przechodzą przez obie szczeliny pojedynczo, a po przejściu przez nie padają na ekran w miejsca, które utworzą obraz interferencyjny.

Fizyka jądrowa (zakres podstawowy)

Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa (zakres rozszerzony)

W ostatnim bloku tematycznym wprowadzono do podstawy programowej w zakresie rozszerzonym elementy szczególnej teorii względności (fizyki relatywistycznej). Szczególna teoria względności jest filarem całej fizyki współczesnej: relatywistycznych teorii kwantowych i ogólnej teorii względności. Ponieważ powraca ona do podstawy programowej, to wymienionym w niej zagadnieniom poświęćmy więcej uwagi.

Zgodnie z wymaganiami, uczeń poznaje niezależność prędkości światła w próżni (względem układu inercjalnego) od ruchu źródła światła. Do tego fenomenu można było nawiązać przy okazji omawiania ostatnich treści w bloku tematycznym magnetyzm: konsekwencją praw elektromagnetyzmu jest zjawisko fali elektromagnetycznej rozchodzącej się w układzie inercjalnym w pustej przestrzeni z prędkością światła – niezależnie od prędkości jej źródła. Jeżeli zatem do zasady równoważności układów inercjalnych

ze względu na opis zjawisk mechanicznych dołączymy zjawiska elektromagnetyczne – jak to wprost postulował Einstein – to otrzymujemy mało intuicyjny wniosek, że prędkość światła ma tę samą wartość w każdym układzie inercyjnym. Prędkość światła jest niezmiennicza – tzn. nie zmienia swojej wartości, gdy jest mierzona w różnych inercjalnych układach odniesienia, które poruszają się względem siebie ruchem jednostajnym prostoliniowym. Ten czysto teoretyczny wniosek Einsteina został niezależnie potwierdzony doświadczalnie. Konsekwencją tego jest fakt, że nie istnieje układ spoczynkowy dla fotonu.

U podstaw kinematyki szczególnej teorii względności stoi tzw. procedura synchronizacji zegarów, równoważna einsteinowskiemu określeniu równoczesności zdarzeń. Uczeń ma zrozumieć, jak operacyjnie zdefiniowane są w układzie inercyjnym dwa zdarzenia równoczesne. Myślenie o absolutnym charakterze czasu jest bardzo silnie zakorzenione, dlatego uczniowie mogą być zdziwieni, po co w ogóle definiować niby tak oczywiste rzeczy. Do określenia zdarzeń równoczesnych używa się sygnałów elektromagnetycznych, korzystając z ich uniwersalnej własności – niezmienniczej prędkości. Po zdefiniowaniu zdarzeń równoczesnych należy pokazać względność równoczesności (względny charakter synchronizacji zegarów). Można w tym celu wykorzystać eksperyment myślowy Einsteina z pociągiem – obserwatorzy na peronie i w pociągu posługując się tymi samymi sygnałami uznają za równoczesne całkiem inne zdarzenia. Tak rewidujemy pogląd o absolutnym charakterze równoczesności.

Kolejne wymagania ze szczególnej teorii względności dotyczą dynamiki oraz energii. Uczeń posługuje się związkiem między energią całkowitą cząstki a jej masą i prędkością, a także posługuje się pojęciem energii spoczynkowej. W ten sposób pojawia się równoważność masy i energii spoczynkowej. Einsteinowską równoważność masy i energii, czyli słynny (także w popkulturze) wzór $E=mc^2$, należy omawiać w szerokim kontekście fizycznym, a także wspomnieć o historycznym.

Zgodnie z kolejnym wymaganiem, uczeń wskazuje na fakt, że prędkość światła jest maksymalną prędkością przekazywania energii oraz informacji (a nie tylko niezmienniczą prędkością). Po pierwsze, nie można przyspieszyć cząstki masywnej do prędkości światła. Jak wynika ze wzoru na energię całkowitą, przyspieszenie cząstki do prędkości światła wymagałoby dostarczenia cząstce nieskończenie wielkiej energii. Po drugie, nieznane są cząstki (np. jakieś nieposiadające masy), które po wykreowaniu miałyby prędkość większą od prędkości światła. Warto wspomnieć, że zgodnie ze szczególną teorią względności istnienie cząstek poruszających się szybciej niż światło łamałoby zasadę przyczynowości.

Pozostałe wymagania w tym bloku tematycznym dotyczą aspektów fizyki jądrowej, które były zawarte także w poprzedniej podstawie. W zakresie podstawowym i rozszerzonym uczeń ma posługiwać się pojęciem pierwiastka, jądra atomowego, izotopu, elektronu,

protonu, neutronu a także musi umieć opisać skład jądra atomowego na podstawie liczby masowej i atomowej. Wymaga się umiejętności zapisywania reakcji jądrowych z zastosowaniem zasady zachowania liczby nukleonów i ładunku elektrycznego. Uczeń ma też stosować zasadę zachowania energii do opisu wszelkich reakcji jądrowych (np. rozpadu, syntezy, egzoenergetycznych, endoenergetycznych), z uwzględnieniem energii spoczynkowej. Dalej uczeń ma posługiwać się pojęciami energii wiązania jądra atomowego, deficytu masy jądra atomowego, a także powinien umieć obliczać te wielkości dla dowolnego izotopu.

W zakresie podstawowym i rozszerzonym uczeń opisuje przemiany typu alfa i beta jąder atomowych, posługuje się pojęciem jądra stabilnego i niestabilnego oraz opisuje powstawanie promieniowania gamma. Z zapisów podstawy dotyczących równowagi masy i energii spoczynkowej należy przyjąć, że w zakresie rozszerzonym uczeń ma wiązać emisję (lub pochłonięcie) kwantu gamma przez jądro, z odpowiednimi zmianami masy i energii wiązania tego jądra.

Również w obu zakresach podstawy programowej wymaga się opisywania rozpadów izotopów promieniotwórczych z uwzględnieniem przypadkowego charakteru przemiany pojedynczego jądra. Uczeń musi rozumieć, że – dla danego rozpadu – prawdopodobieństwo rozpadu w jednostce czasu pojedynczego jądra jest ustalone (z czego dalej wynika prawo rozpadu dla bardzo dużej liczby jąder). Opisuując rozpady promieniotwórcze, uczeń musi posługiwać się pojęciem czasu T połowicznego rozpadu. Należy zatem przyjąć, że uczeń stosuje do obliczeń – niewymienione wprost – pierwsze prawo rozpadu:

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

W zakresie rozszerzonym uczeń ma znać metodę datowania substancji na podstawie proporcji zawartości promieniotwórczego izotopu ^{14}C w stosunku do trwałych izotopów ^{12}C i ^{13}C . Dalej, w obu zakresach wymienia się wpływ promieniowania jonizującego na organizmy żywe oraz zastosowanie promieniotwórczości w technice i medycynie.

Ważnym wymaganiem szczegółowym wspólnym dla obu zakresów jest umiejętność opisywania reakcji rozszczepienia jądra uranu ^{235}U na skutek pochłonięcia neutronu. W tym kontekście – pozyskiwania energii z rozpadów ciężkich jąder – uczeń ma znać zasadę działania elektrowni jądrowych.

Zgodnie z następnym wymaganiem – wspólnym dla obu zakresów – uczeń ma opisywać reakcję termojądrową przemiany wodoru w hel zachodzącą w gwiazdach. Przy okazji uczeń uświadamia sobie, że pozyskiwanie energii z reakcji jądrowych może zachodzić nie tylko na skutek rozpadów ciężkich jąder atomowych, ale też na skutek łączenia się (fuzji) lekkich jąder atomowych w cięższe.

Jedno z ostatnich wymagań podstawy dla obu zakresów dotyczy opisywania ewolucji gwiazd, opisywania supernowych i czarnych dziur. Ponieważ jest to zagadnienie wymagające wiedzy na najwyższym poziomie z fizyki kwantowej, ogólnej teorii względności i fizyki statystycznej, to wymagania trzeba ograniczyć do wymieniania poszczególnych etapów ewolucji gwiazd i podawania ich przyczyn. Czarne dziury z kolei uczeń powinien opisywać jako obiekty z tzw. osobliwością i horyzontem zdarzeń – powstałe po zapadnięciu się gwiazd o największych masach.

Ostatnie wymaganie w zakresie rozszerzonym dotyczy zjawiska kreacji lub anihilacji pary cząstka-antycząstka. W opisie tych reakcji uczeń stosuje – podobnie jak dla wszelkich procesów na poziomie fundamentalnym – zasadę zachowania ładunku elektrycznego, zasadę zachowania energii oraz zasadę zachowania pędu.

Wskazówki metodyczne

dr Lidia Skibińska, dr Marek Thomas, dr Marek Ludwiczak

I. Przykłady formułowania poleceń sprawdzających wybrane umiejętności określone w wymaganiach ogólnych i szczegółowych.

W opisie umiejętności zamieszczonych w wymaganiach szczegółowych podstawy programowej – właściwych dla danego zakresu – znajdują się często m.in. sformułowania dotyczące **posługiwania** się jakimś elementem fizyki, np.: uczeń posługuje się pojęciem/pojęciami [...]; uczeń posługuje się wielkością/wielkościami [...]; uczeń posługuje się prawem / zasadą [...]; uczeń posługuje się założeniami [...]; uczeń posługuje się zależnością / związkiem / wzorem [...]; uczeń posługuje się definicją [...]. Wymagane od ucznia umiejętności posługiwania się danym elementem fizyki utrwalamy oraz sprawdzamy w kontekście kompetencji opisanych w wymaganiach ogólnych. W związku z tym zadania sprawdzające umiejętność posługiwania się danym pojęciem lub **wielkością** albo prawem itp., będziemy formułowali **w różny sposób**, mając zawsze na względzie to, do którego wymagania ogólnego odnosi się sprawdzana umiejętność.

W kontekście I wymagania ogólnego wymagamy, aby uczeń posługiwał się pojęciem lub wielkością do opisu i wskazywania zjawisk w otaczającej rzeczywistości. Sprawdzamy więc rozumienie pojęcia na elementarnym poziomie, a więc to, czy uczeń: wyodrębnia pojęcie / wielkość w zjawisku fizycznym, czy potrafi nazwać dany aspekt zjawiska, czy odróżnia dane pojęcie / wielkość od innych z tej samej kategorii (np. pole elektryczne od magnetycznego, energię wewnętrzną od mechaniczną), czy potrafi zastosować pojęcie do opisu zjawiska, czy potrafi zilustrować (np. graficznie) dane pojęcie albo wielkość.

Z kolei w kontekście II wymagania ogólnego wymagamy posługiwania się pojęciem / wielkością / prawem do rozwiązywania problemów – zarówno w sposób ilościowy, jak i jakościowy. Tak więc posługiwanie się pojęciem jest tutaj na wyższym poziomie. Gdy dane pojęcie lub wielkość zdefiniowane są ilościowo, czyli odpowiednim wzorem, to posługiwanie się pojęciem oznacza wykorzystywanie tej definicji do obliczeń. Przykładowo, jeżeli uczeń „posługuje się pojęciem pojemności kondensatora i jej jednostką”, „posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką”, „posługuje się pojęciem momentu pędu punktu materialnego i bryły”, to rozumie się, że wykonuje obliczenia z wykorzystaniem ilościowych definicji tych wielkości albo wyznacza daną wielkość.

Podobnie posługiwanie się pojęciem lub wielkością może odnosić się do III, IV lub V wymagania ogólnego. Przy planowaniu doświadczeń lub budowaniu modeli uczeń – posługując się daną wielkością lub pojęciem – może opisywać np.: pomiar danej

wielkości, sposób sprawdzenia występowania czegoś, budowania modelu. Ponadto posługiwanie się pojęciem w kontekście II lub V wymagania ogólnego może oznaczać wyjaśnianie zjawiska lub jego przejawu albo udowadnianie jakiejś zależności.

W tej części vademecum zaprezentujemy przykłady zadań sprawdzających umiejętność posługiwania się podstawowymi pojęciami i wielkościami w elektrostatyce, w kontekście różnych wymagań ogólnych i dla różnych zakresów. Zaczniemy od zadań sprawdzających umiejętność posługiwania się pojęciem lub wielkością na elementarnym poziomie (I cel ogólny), po czym przejdziemy do zadań sprawdzających tę umiejętność na wyższym poziomie (II, III oraz V cel kształcenia), a do tego będziemy to wymaganie łączyli z innymi – w tym z przekrojowymi. Pod treścią każdego z zadań zamieszczamy tabelę z odpowiednimi wymaganiami zakresu podstawowego (P) lub rozszerzonego (R).

Przykłady zadań dla zakresu podstawowego

Sprawdzamy umiejętność posługiwania się pojęciem pola elektrycznego w kontekście I i III wymagania ogólnego.

Zadanie I.1.

Analizowano zachowanie się ładunku elektrycznego w dwóch obszarach przestrzeni: A i B. Stwierdzono, że w każdym punkcie obszaru A na ładunek q działa siła elektryczna – tzn. zależąca od wartości ładunku i niezależąca od stanu ruchu ładunku, natomiast w żadnym punkcie obszaru B nie stwierdzono działania siły elektrycznej.

Nazwij, co występuje w całym obszarze A, czego nie ma w całym obszarze B.

Wymagania ogólne (P)	Wymagania szczegółowe (P)
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	VI. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się pojęciem pola elektrycznego; [...].

Poprawna odpowiedź / komentarz

W obszarze A występuje pole elektryczne.

Warto podkreślić, że siła elektryczna nie zależy od stanu ruchu ładunku elektrycznego, w odróżnieniu od siły działającej na poruszający się ładunek w polu magnetycznym.

Zadanie I.2.

Ciało o masie m i ładunku elektrycznym q porusza się w polu elektrycznym. Załóż, że rozmiary tego ciała są bardzo małe.

Uzupełnij zdanie. Wybierz i zaznacz właściwą odpowiedź wybraną spośród A–B oraz wybraną spośród 1–4.

Siła działająca na opisane ciało i pochodząca jedynie od pola elektrycznego ma tę własność, że **A B**, a ponadto **1 2 3 4**.

A. Zależy od q. B. Nie zależy od q.	1. Zależy od m oraz zależy od prędkości ciała w polu. 2. Zależy od m, ale <u>nie</u> zależy od prędkości ciała w polu. 3. <u>Nie</u> zależy od m oraz <u>nie</u> zależy od prędkości ciała w polu. 4. <u>Nie</u> zależy od m, ale zależy od prędkości ciała w polu.	
Wymagania ogólne (P)	Wymaganie szczegółowe (P)	
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	VI. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się pojęciem pola elektrycznego; [...].	

Poprawna odpowiedź / komentarz

A3

Można, jako kontrapunkt, nawiązać do pola magnetycznego, w którym na poruszający się ładunek działa siła zależąca zarówno od ładunku, jak i jego prędkości.

Zadanie I.3.

Opisz krótko sposób sprawdzenia, czy w zadanym obszarze przestrzeni występuje pole elektryczne.

Wymagania ogólne (P)	Wymaganie szczegółowe (P)
III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.	VI. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się pojęciem pola elektrycznego; [...].

Przykładowa odpowiedź / komentarz

W ogólności należy sprawdzić – badając zachowanie się ładunków – czy na ładunki elektryczne działa siła zależąca od ładunku niezależnie od stanu ruchu tych ładunków.

Przykłady zadań dla zakresu rozszerzonego

Sprawdzamy umiejętność posługiwania się wektorem natężenia pola elektrycznego w kontekście II oraz V wymagania ogólnego.

Zadanie I.4.

Zmierzono, że wartość siły działającej na spoczywający w punkcie A ładunek elektryczny q_1 wynosi F_{1A} , a wartość siły działającej na spoczywający w punkcie B ładunek elektryczny q_2 wynosi F_{2B} . Stosunek wartości ładunków wynosi $q_1 : q_2 = 0,5$, a stosunek wartości sił jest równy $F_{1A} : F_{2B} = 3$. Załóż, że siła grawitacji działająca na oba ładunki jest pomijalnie mała w stosunku do sił F_{1A} i F_{2B} .

Nazwij wektorową wielkość fizyczną opisującą pole elektryczne w punkcie A oraz w punkcie B, a następnie wyznacz stosunek wartości tej wielkości w punkcie A do wartości w punkcie B.

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	VII. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką; [...].

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

Pole elektryczne w punktach A i B opisują wektory natężenia pola elektrycznego odpowiednio: $\vec{E}_A$ oraz $\vec{E}_B$.

Wykorzystamy definicję wektora natężenia pola elektrycznego do wyrażenia sił działających na odpowiednie ładunki we wskazanych punktach:

$$\vec{F}_{1A} = q_1 \vec{E}_A \quad \vec{F}_{2B} = q_2 \vec{E}_B \quad \rightarrow \quad \frac{F_{1A}}{F_{2B}} = \frac{q_1 E_A}{q_2 E_B}$$

Wykorzystamy dane zadania:

$$\frac{F_{1A}}{F_{2B}} = \frac{q_1 E_A}{q_2 E_B} \quad \rightarrow \quad 3 = 0,5 \cdot \frac{E_A}{E_B} \quad \rightarrow \quad \frac{E_A}{E_B} = 6$$

Zadanie I.5.

Natężenie pola elektrostatycznego w każdym punkcie danego obszaru przestrzeni można wyznaczyć z definicji natężenia, prawa Coulomba i zasady superpozycji – gdy znany jest rozkład ładunków wytwarzających to pole. Czasem rozkład ładunków może być albo nieznany, albo taki, że obliczenie natężenia wymaga użycia zaawansowanych metod

matematycznych. Wtedy model pola elektrycznego można zbudować doświadczalnie – mierząc wartości sił działających na próbny ładunek elektryczny o znanej wartości q w różnych punktach badanego obszaru przestrzeni.

- a) **Opisz doświadczalny – bez wykorzystywania informacji o źródłach pola – sposób wyznaczania natężenia pola elektrycznego w różnych punktach badanego obszaru przestrzeni oraz wyjaśnij, dlaczego wartość ładunku q powinna być odpowiednio mała.**

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	VII. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką; [...].

- b) **Opisz teoretyczny – bez wykonywania pomiarów – sposób określenia natężenie pola elektrycznego w dowolnym punkcie badanego obszaru, gdy zadany jest rozkład ładunków wytwarzających to pole. Załóż, że ciągły rozkład ładunków można modelować podziałem na małe części, takie, że i -ty element tego podziału można potraktować jak ładunek punktowy Q_i .**

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	VII. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką [...]; 4) analizuje natężenie pola wytwarzanego przez układ ładunków punktowych i oblicza jego wartość. I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 5) [...] wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie [...]).

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

a)

1. Mierzymy wartości sił działających na ładunek próbny q w różnych punktach pola.
2. Określamy kierunki i zwroty sił działających na ładunek próbny q w różnych punktach pola.
3. Określamy natężenie pola w dowolnym punkcie x ze wzoru:

$$\vec{E}(x) = \frac{\vec{F}(x)}{q}$$

Wartość ładunku próbnego q powinna być mała, aby pole ładunku próbnego nie zmieniło ustalonego rozkładu ładunków wytwarzających badane pole. Rozkład ładunków wytwarzających pole (a więc i samo pole) mógłby się zmienić, gdyby ładunki źródłowe mogły się przemieszczać (np. w bryle metalu).

b)

1. Określamy przestrzenny rozkład ładunków $Q_1, \dots, Q_n$, będących źródłem pola (w przypadku rozkładu ciągłego – zgodnie z informacją o podziale na części) oraz określamy odległość r_i ładunku Q_i od wybranego punktu x pola.
2. Określamy w punkcie x kierunki, zwroty i wartości wektorów natężenia pochodzących odpowiednio od źródeł $Q_1, \dots, Q_n$:

$$\vec{E}_1(x), \dots, \vec{E}_n(x), \text{ gdzie } E_i(x) = \frac{kQ_i}{r_i^2}$$

3. Określamy w punkcie x wypadkowy wektor natężenia pola elektrycznego:

$$\vec{E}(x) = \vec{E}_1(x) + \dots + \vec{E}_n(x)$$

Przykłady zadań dla zakresu podstawowego

Sprawdzamy umiejętności złożone polegające na posługiwaniu się pojęciem pola elektrycznego w kontekście I wymagania ogólnego łącznie z wymaganiami przekrojowymi.

Zadanie I.6.

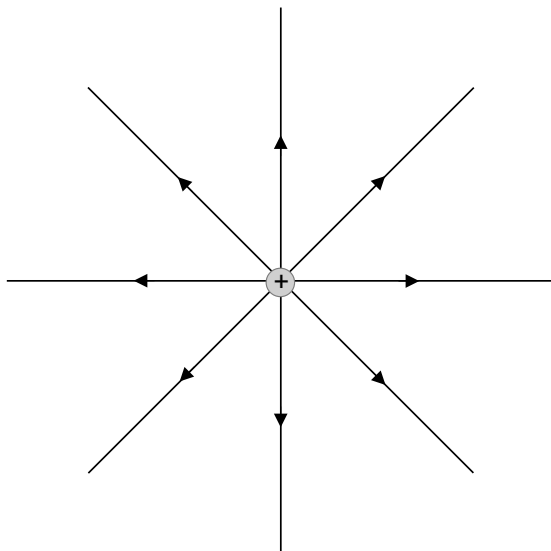
Zilustruj graficznie za pomocą linii pola:

- a) pole elektryczne wokół punkowego ładunku dodatniego,
- b) pole elektryczne wokół ujemnego ładunku punkowego,
- c) jednorodne pole elektryczne pomiędzy dwoma równoległymi płytkami naładowanymi różnoimiennie (na ilustracji płytki widziane są z boku) – pominąć efekty brzegowe.

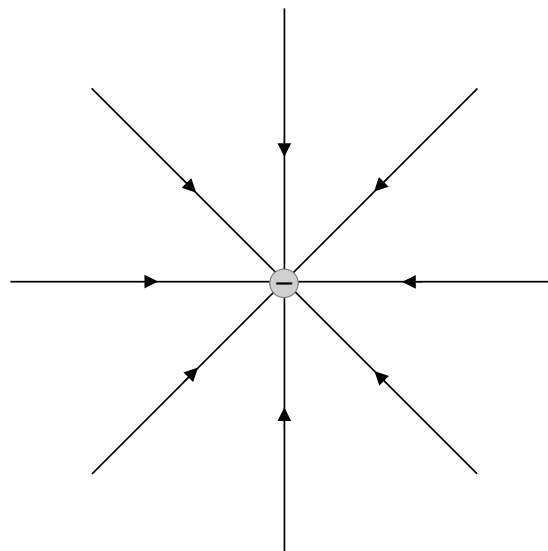
Wymagania ogólne (P)	Wymagania szczegółowe (P)
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 6) tworzy [...] rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu [...]. VI. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się pojęciem pola elektrycznego; ilustruje graficznie pole elektryczne za pomocą linii pola; opisuje pole jednorodne.

Poprawne rozwiązania

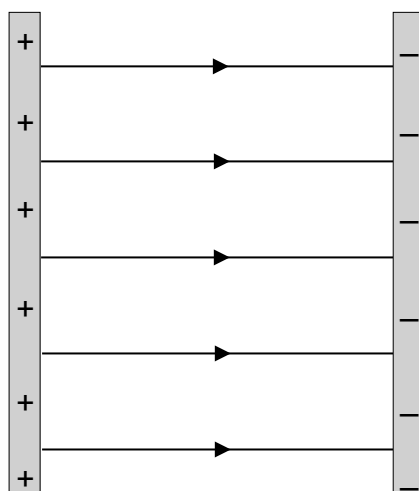
a)



b)



c)



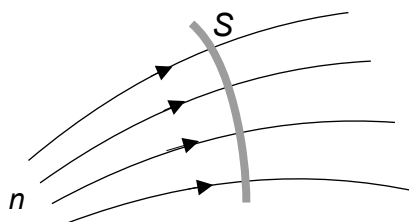
Przykłady zadań dla zakresu rozszerzonego

Sprawdzamy umiejętności złożone posługiwania się pojęciem pola elektrycznego w kontekście V wymagania ogólnego łącznie z wymaganiami przekrojowymi.

Informacja dotycząca pojęcia wymienionego w wymaganiu szczegółowym VII.3).

Zagęszczenie Z linii pola elektrycznego na jednostkę powierzchni S prostopadłej do tych linii zdefiniujemy jako stosunek liczby n linii pola elektrycznego przecinających tę powierzchnię do pola S tej powierzchni (na rysunku powierzchnia S narysowana jest w widoku z boku):

$$Z = \frac{n}{S}$$



Zadanie I.7.

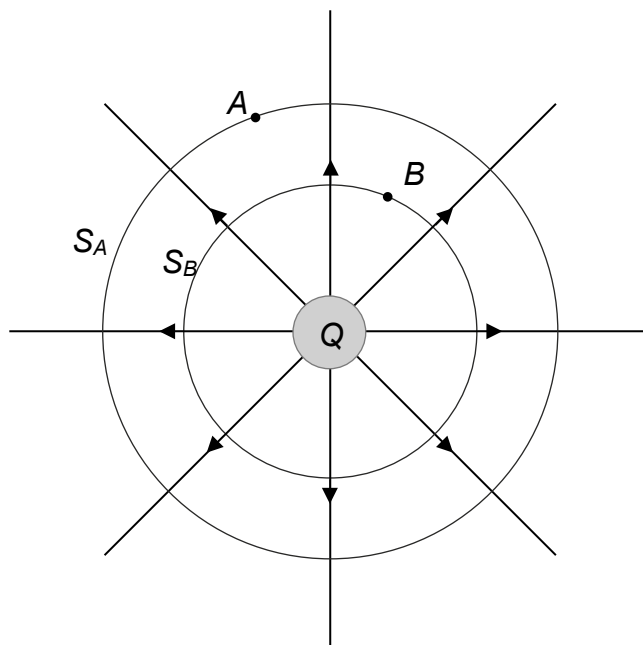
Niech E_A i E_B oznaczają wartości natężenia pola elektrycznego w jakichś punktach A i B na zewnątrz sferycznie symetrycznego, dodatniego rozkładu ładunków. Poprzez Z_A i Z_B oznaczmy zagęszczenia linii pola elektrycznego odpowiednio: na pomyślanej powierzchni zawierającej punkt A oraz na powierzchni zawierającej punkt B (obie powierzchnie są prostopadłe do linii pola).

Wyznacz stosunek Z_A/Z_B i wyraż go tylko za pomocą E_A oraz E_B . Na podstawie wyniku odpowiedz, czy zagęszczenie linii pola elektrycznego może być umowną miarą natężenia pola elektrycznego.

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 20) tworzy modele fizyczne lub matematyczne wybranych zjawisk i opisuje ich założenia; ilustruje prawa i zależności fizyczne z wykorzystaniem tych założeń. VII. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką; ilustruje graficznie pole elektryczne za pomocą linii pola; interpretuje zagęszczenie linii pola jako miarę natężenia pola; rozróżnia pole centralne i pole jednorodne; 5) opisuje pole na zewnątrz sferycznie symetrycznego układu ładunków.

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

Wykorzystamy pojęcie zagęszczenia linii pola. Niech S_A i S_B będą pomyślanymi sferami o promieniach odpowiednio r_A i r_B , współśrodkowymi z centrum pola i zawierającymi odpowiednio punkt A i punkt B (zobacz rysunek poniżej).



Ponieważ liczba n linii pola wychodzących ze sferycznego źródła nie zmienia się (na rysunku – dla ustalenia uwagi – narysowano ich 8), to:

$$Z_A = \frac{n}{4\pi r_A^2} \quad Z_B = \frac{n}{4\pi r_B^2} \quad \rightarrow \quad \frac{Z_A}{Z_B} = \frac{r_B^2}{r_A^2}$$

Z drugiej strony, wartość pola elektrycznego w punktach A i B wynosi:

$$E_A = \frac{kQ}{r_A^2} \quad E_B = \frac{kQ}{r_B^2} \quad \rightarrow \quad \frac{E_A}{E_B} = \frac{r_B^2}{r_A^2}$$

Łącząc oba powyższe równania, otrzymujemy ostatecznie:

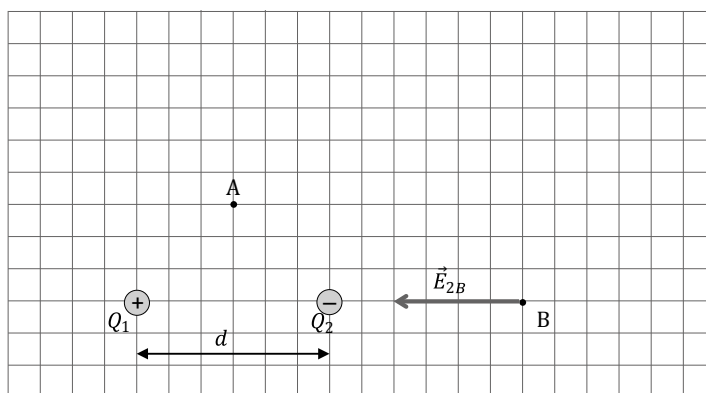
$$\frac{Z_A}{Z_B} = \frac{E_A}{E_B}$$

Otrzymane równanie oznacza, że zagęszczenie linii pola może być umowną miarą wartości natężenia pola elektrycznego. Miara ta określona jest z dokładnością do stałej.

Zadanie I.8.

Dany jest układ dwóch nieruchomych ładunków punktowych Q_1, Q_2 o różnych znakach i tej samej wartości Q . Oznaczone na rysunku punkty A, B oraz ładunki leżą w jednej płaszczyźnie. Relacje geometryczne między położeniami Q_1, Q_2, A, B są określone i oznaczone na rysunku. Wartości natężenia pola elektrycznego w punkcie A, pochodzącego tylko od ładunku Q_1 lub tylko od ładunku Q_2 oznaczmy odpowiednio E_{1A} i E_{2A} , natomiast wartość pola wypadkowego w punkcie A od obu ładunków oznaczmy E_A . Analogicznie oznaczmy wartości natężenia pola w punkcie B.

Wiadomo, że wartość E_{2B} – natężenia pola elektrycznego w punkcie B pochodzącego tylko od ładunku Q_2 – wynosi E .



- a) **Wyznacz** wartości: $E_{1A}, E_{2A}, E_{1B}, E_A, E_B$. Wynik **wyraż jedynie** za pomocą wartości E pomnożonej przez odpowiednią liczbę.
- b) Na rysunku powyżej **narysuj i oznacz** wektory natężenia pola elektrycznego: $\vec{E}_{1A}, \vec{E}_{2A}, \vec{E}_{1B}, \vec{E}_A, \vec{E}_B$. **Uwzględnij** odpowiednie proporcje między wartościami wektorów, wynikające z obliczeń w punkcie a). **Wyróżnij graficznie** wektory natężeń wypadkowych.

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z [...] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach; 5) [...] wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie [...]). VII. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką [...]; 4) analizuje natężenie pola wytwarzanego przez układ ładunków punktowych i oblicza jego wartość.

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

a) Zapišemy wartości (bezwzględne) wektora natężenia pola elektrycznego pochodzącego od poszczególnych ładunków, wyrażone przez Q oraz d :

$$|E_{2B}| = \frac{kQ}{d^2} = E \quad |E_{1B}| = \frac{kQ}{(2d)^2} = \frac{kQ}{4d^2} \quad |E_{1A}| = |E_{2A}| = \frac{kQ}{\left(\frac{d}{\sqrt{2}}\right)^2} = \frac{2kQ}{d^2}$$

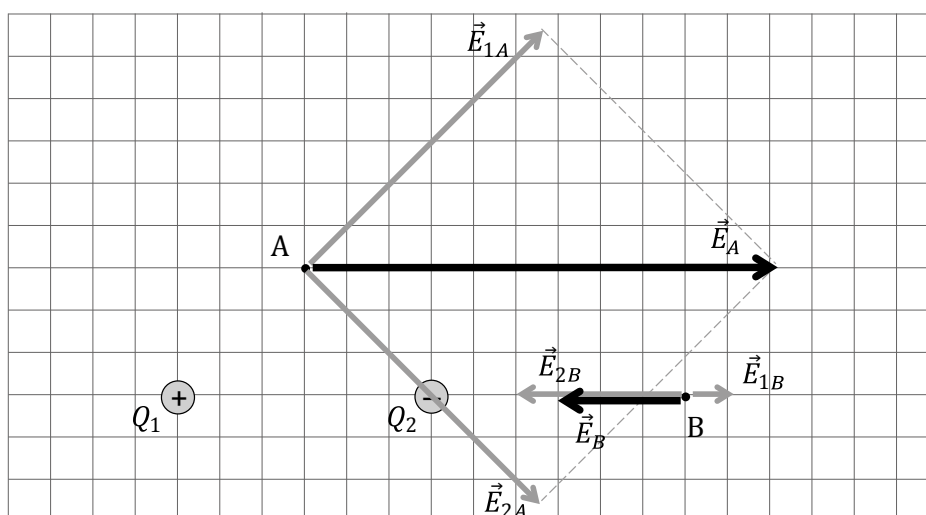
Wyrazimy zapisane wartości poprzez E :

$$|E_{2B}| = E \quad |E_{1B}| = \frac{E}{4} \quad |E_{1A}| = 2E \quad |E_{2A}| = 2E$$

Obliczymy wartości natężeń wypadkowych, uwzględniając znaki ładunków oraz ich konfigurację:

$$|E_B| = |E_{2B}| - |E_{1B}| = \frac{3}{4}E \text{ (zwrot w lewo)} \quad E_A = \frac{E_{1A}}{\cos 45^\circ} = 2\sqrt{2}E \text{ (zwrot w prawo)}$$

b)

**Przykłady zadań dla zakresu podstawowego**

Sprawdzamy, czy uczeń rozumie opis kondensatora jako układu dwóch przeciwnie naładowanych przewodników pomiędzy którymi jest napięcie oraz jako urządzenia magazynującego energię. Zwracamy uwagę na pkt b) i komentarz do zadania. Oprócz tego sprawdzamy wymaganie doświadczalne.

Wymagania ogólne (P)	Wymagania szczegółowe (P)
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.	VI. Elektrostatyka. Uczeń:
III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.	5) opisuje kondensator jako układ dwóch przeciwnie naładowanych przewodników, pomiędzy którymi istnieje napięcie elektryczne oraz jako urządzenie magazynujące energię;
	6) doświadcza: b) demonstruje przekaz energii podczas rozładowania kondensatora (np. lampa błyskowa, przeskok iskry).

Zadanie I.9.

Za pomocą woltomierza dwukrotnie zmierzono napięcie elektryczne pomiędzy dwoma metalowymi płytkami. Pomiar wykonano dwukrotnie, przy czym stan naładowania obu płytek był za każdym razem inny. W pierwszym przypadku zmierzone napięcie wynosiło zero, a w drugim przypadku napięcie pomiędzy płytkami było różne od zera.

- a) **Wskaż, w którym z tych dwóch przypadków układ płytek tworzy kondensator magazynujący energię elektryczną oraz omów sposób zademonstrowania przekazywania tej energii do lampy błyskowej.**
- b) **Podaj możliwą przyczynę tego, że w pierwszym przypadku zmierzone napięcie pomiędzy płytkami było równe zero.**

Przykładowe odpowiedzi z komentarzem

- a) Układ płytek tworzy kondensator magazynujący energię elektryczną w drugim przypadku, tzn. gdy pomiędzy płytkami jest napięcie elektryczne. Przekazanie energii do lampy błyskowej można zademonstrować następująco. Dwa końce przewodników – do których podłączona jest szeregowo lampa błyskowa – dotykamy każdy do innej płytki. Na skutek zaistnienia napięcia na końcach tak utworzonego układu przewodników z lampą nastąpi chwilowy przepływ ładunków ujemnych w stronę płytki naładowanej dodatnio – aż do momentu zaniku napięcia pomiędzy płytkami i na całym układzie przewodników. Chwilowy przepływ prądu spowoduje błysk w lampie.
- b) Przyczyną zerowego napięcia w pierwszym przypadku mógł być fakt, że obie płytki nie były naładowane elektrycznie albo fakt, że obie identyczne rozmiarami płytki były naładowane ładunkiem o tym samym znaku i tej samej wartości.

Komentarz

W drugim przypadku, gdy obie identyczne płytki są naładowane ładunkiem o tej samej wartości i tym samym znaku, to nie ma napięcia pomiędzy płytkami, ale pole elektryczne istnieje i rozciąga się w obszarze dookoła płytek (a nie tylko w ograniczonym obszarze przestrzeni pomiędzy płytkami, gdy są one naładowane przeciwnie). Z istnieniem pola

elektrycznego o natężeniu E w jakimś obszarze przestrzeni związana jest energia – ilość energii w jednostce objętości V przestrzeni wypełnionej polem, jest proporcjonalna do E^2 . Energia tak naładowanych płytek przejawia się choćby tym, że płytki odpychają się. Inną natomiast sprawą jest fakt, że owej energii elektrycznej – w omawianym przypadku płytek naładowanych tak samo – nie prześlemy w sposób opisany w zadaniu, tzn. nie wywołamy przepływu prądu w przewodniku dotykającym płytek.

Przykłady zadań dla zakresu rozszerzonego

Sprawdzamy umiejętność posługiwania się pojęciem pojemności kondensatora oraz obliczania zmagazynowanej w nim energii. Oprócz tego sprawdzamy wymagania doświadczalne.

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.	VII. Elektrostatyka. Uczeń: 11) posługuje się pojęciem pojemności kondensatora i jej jednostką; posługuje się zależnością pojemności kondensatora płaskiego od jego wymiarów; oblicza energię zmagazynowaną w kondensatorze; 13) doświadczalnie: b) demonstruje przekaz energii podczas rozładowania kondensatora (np. lampa błyskowa, przeskoc iskry).

Zadanie I.10.

Za pomocą woltomierza dwukrotnie zmierzono napięcie elektryczne pomiędzy dwoma równoległymi, identycznymi, metalowymi płytkami tworzącymi kondensator płaski. Pomiar wykonano dwukrotnie, przy czym za każdym razem zmieniano ładunek na obu płytkach oraz odległość pomiędzy płytkami. W pierwszym przypadku zmierzone napięcie było trzykrotnie większe niż w przypadku drugim. Po każdym pomiarze napięcia na kondensatorze obserwowano jego rozładowanie poprzez lampę błyskową. W obu przypadkach podczas rozładowania kondensatora energia wyemitowanego przez lampę błysku była taka sama.

- Oblicz stosunek d_1/d_2 odległości pomiędzy płytkami kondensatora w pierwszym przypadku do odległości pomiędzy płytkami kondensatora w drugim przypadku.**
- Oblicz stosunek Q_1/Q_2 wartości ładunku na jednej z płytek kondensatora w pierwszym przypadku do wartości ładunku na jednej z płytek kondensatora w drugim przypadku.**

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

- a) Ponieważ lampa opisana w zadaniu podczas obu rozładowań wyemitowała tyle samo energii, to i energie zmagazynowane w obu kondensatorach były takie same. Korzystamy ze wzorów na energię W zmagazynowaną w kondensatorze i obliczamy stosunek pojemności:

$$W_1 = W_2 \rightarrow \frac{1}{2} C_1 U_1^2 = \frac{1}{2} C_2 U_2^2 \rightarrow \frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{C_2}{C_1} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = 3^2 = 9$$

Korzystamy ze wzoru na pojemność próżniowego kondensatora płaskiego i obliczamy stosunek d_1/d_2 :

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{d_1} \quad C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d_2} \rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{d_1}{d_2} \rightarrow \frac{d_1}{d_2} = 9$$

- b) Korzystamy z wyników poprzedniego punktu oraz ze wzoru na pojemność kondensatora:

$$Q_1 = C_1 U_1 \quad Q_2 = C_2 U_2 \rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1 U_1}{C_2 U_2} = \frac{1}{9} \cdot \frac{3}{1} \rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1}{3}$$

II. Przykłady realizowania wymagań doświadczalnych

II.1. Wymagania doświadczalne w podstawie programowej

Wymagania podstawy programowej związane z przeprowadzaniem i analizą wyników obserwacji i doświadczeń zawarte są: w III wymaganiu ogólnym oraz w wymaganiach szczegółowych, w tym: wymaganiach doświadczalnych zamieszczonych na końcu bloków tematycznych i wymaganiach przekrojowych.

III wymaganie ogólne jest wspólne dla obu zakresów i opisuje następujące umiejętności:

Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.

Wymagania doświadczalne zamieszczone na końcu bloków tematycznych opisują umiejętności w kontekście wybranych i reprezentatywnych dla danej tematyki zjawisk fizycznych. Wymagania doświadczalne dla obu zakresów sformułowane są za pomocą następujących czasowników operacyjnych:

Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
Uczeń doświadczalnie: • obserwuje [...]; • ilustruje [...]; • demonstruje [...]; • bada związek [...]; bada zależność [...]; bada [...]; • wyznacza (jedno wymaganie).	Uczeń doświadczalnie: • obserwuje [...]; • ilustruje [...]; • demonstruje [...]; • bada związek [...]; bada zależność [...]; bada [...]; • wyznacza [...].

W tabeli wyróżniono przeważające sformułowania wymagań doświadczalnych dla danego zakresu. W zakresie podstawowym skupia się na jakościowym opisie obserwacji lub doświadczeń albo na badaniu elementarnych związków pomiędzy wielkościami, takich jak: określanie monotoniczności zależności między wielkościami lub sprawdzanie wpływu/braku wpływu jednej wielkości na drugą. Tylko jedno wymaganie doświadczalne w zakresie podstawowym dotyczy wyznaczania wielkości. W zakresie rozszerzonym natomiast ujęte są wszystkie wymagania zawarte w zakresie podstawowym, które są dodatkowo poszerzone o nowe treści lub umiejętności bardziej złożone albo opis ilościowy.

Sformułowania wymagań doświadczalnych pozwalają klasyfikować ujęte w III celu „przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń” na:

- przeprowadzanie **pokazów** (uczeń obserwuje [...], uczeń ilustruje [...]),

- przeprowadzanie **demonstracji** (uczeń demonstruje [...], uczeń bada [jakościowo podstawowe związki między wielkościami]),
- przeprowadzanie **doświadczeń** (uczeń bada [jakościowo oraz ilościowo], uczeń wyznacza [...]).

Wymagania przekrojowe określają zakres elementów przeprowadzenia i analizy wyników obserwacji lub doświadczenia. Tabela poniżej zestawia te wymagania dla zakresu podstawowego i rozszerzonego z wyróżnieniem elementów właściwych tylko dla zakresu rozszerzonego.

Tabela z wymaganiami przekrojowymi dotyczącymi doświadczeń i obserwacji.

Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia, korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość; 12) wyznacza średnią z kilku pomiarów jako końcowy wynik pomiaru powtarzanego; 13) posługuje się pojęciem niepewności pomiaru wielkości prostych; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności.	I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia, korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji; 11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość; 13) rozróżnia błędy przypadkowe i systematyczne; 14) wyznacza średnią z kilku pomiarów jako końcowy wynik pomiaru powtarzanego; 15) posługuje się pojęciem niepewności pomiaru wielkości prostych i złożonych; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności; uwzględnia niepewności przy sporządzaniu wykresów.

II.2. Przykład przeprowadzenia i omówienia pokazu

Celem **pokazu** jest w ogólności ilustracja zjawiska, zagadnienia albo wprowadzenie do nowych treści. Pokaz może być prowadzony na bieżąco w trakcie lekcji i może wykorzystywać materiały z różnych źródeł (np. symulacje komputerowe, filmy). Podczas pokazu zwraca się uwagę na te elementy i aspekty obserwacji, które są istotne z punktu widzenia fizycznego opisu zjawiska. Ponadto wskazuje się najbardziej istotne czynniki mające wpływ na zjawisko. Przeprowadzając pokaz, nie wykonuje się pomiarów ani nie opisuje się ewentualnie użytej aparatury.

Temat lekcji: Dyfrakcja fal na przeszkodzie.

Na zajęciach przeprowadzamy pokaz zjawiska dyfrakcji fal mechanicznych w zakresie podstawowym oraz ilustrację zjawiska dyfrakcji fal świetlnych w zakresie rozszerzonym. Tabela poniżej przedstawia wymagania szczegółowe przypisane do omawianego pokazu dyfrakcji w zakresie podstawowym i rozszerzonym. Ze względu na wymaganie doświadczalne w zakresie rozszerzonym, pokaz dyfrakcji fali na szczelinie jest obligatoryjny.

Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
IX. Fale i optyka. Uczeń: 1) opisuje rozchodzenie się fal na powierzchni wody i dźwięku w powietrzu na podstawie obrazu powierzchni falowych; 2) opisuje jakościowo dyfrakcję fali na szczelinie.	X. Fale i optyka. Uczeń: 8) opisuje jakościowo związek pomiędzy dyfrakcją na szczelinie a szerokością szczeliny i długością fali; 20) doświadcza: b) obserwuje zjawisko dyfrakcji fali na szczelinie.

Pokaz A w zakresie podstawowym

Pokaz ilustruje zjawisko ugięcia się fali mechanicznej po przejściu przez przeszkodę, na przykładzie fal płaskich na powierzchni wody, przechodzących przez szczelinę w przegrodzie ustawionej prostopadle do biegu fali. Uczeń musi umieć opisać zmianę czoła fali płaskiej po przejściu przez szczelinę. Zwracamy uwagę na to, że fala ugina się na krawędziach szczeliny/przeszkody.

Realizacja pokazu A

Nauczyciel przeprowadza pokaz ugięcia fali płaskiej na powierzchni wody po przejściu przez szczelinę w przegrodzie. W tym celu może wykorzystać film, animację albo zestaw generujący fale płaskie na powierzchni wody z przegrodą posiadającą jedną szczelinę. Po przeprowadzeniu pokazu uczniowie wykonują ćwiczenia.

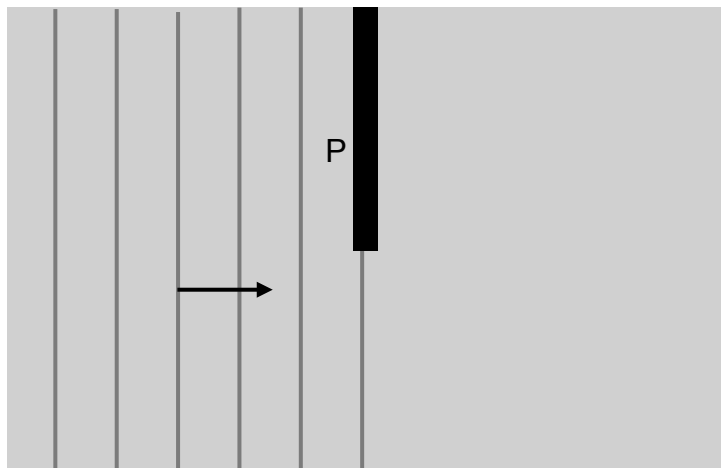
Ćwiczenie II.2.1.

Omów jakościowo zjawisko dyfrakcji fali mechanicznej na szczelinie.

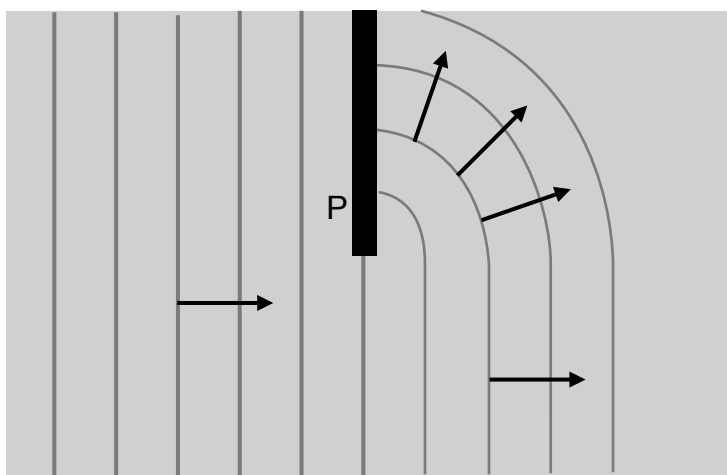
Ćwiczenie II.2.2.

Na rysunku poniżej liniami pionowymi oznaczono powierzchnie falowe fali płaskiej propagującej się w jednorodnym ośrodku. Rysunek przedstawia moment, gdy fala dociera do przeszkody P. Przeszkodę oznaczono czarnym prostokątem. Przed i za przeszkodą znajduje się ten sam ośrodek. Przeszkoda jest prostopadła do początkowego kierunku biegu fali.

Dorysuj 3 lub 4 powierzchnie falowe po przejściu przez przeszkodę. Zachowaj na rysunku przybliżony kształt tych powierzchni falowych po przejściu przez przeszkodę oraz zachowaj długość fali.



Poprawne rozwiązanie



Pokaz B w zakresie podstawowym

Pokaz B ilustruje zjawisko dyfrakcji fali mechanicznej na przykładzie fali dźwiękowej.

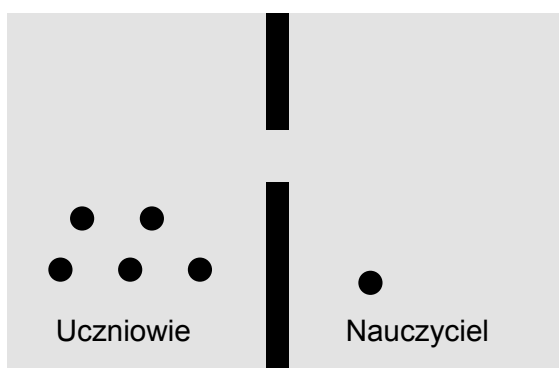
Realizacja pokazu B

Nauczyciel wychodzi na korytarz i staje za otwartymi drzwiami sali tak, żeby uczniowie go nie widzieli (tzn. żeby nauczyciela i uczniów w linii prostej dzieliła ściana). Gdy nauczyciel mówi, to jego głos jest słyszany przez uczniów pomimo tego, że pomiędzy nimi w linii prostej znajduje się ściana.

Uczniowie wykonują ćwiczenie.

Ćwiczenie II.2.3.

- Wyjaśnij fakt, że podczas pokazu B głos nauczyciela jest słyszany przez uczniów, pomimo tego, że w linii prostej pomiędzy nimi jest ściana. Pomiń zjawisko odbicia fali.
- Na rysunku poniżej naszkicuj bieg powierzchni falowych fali dźwiękowej od nauczyciela do uczniów. Załóż, że nauczyciel jest źródłem fali, której powierzchnia falowa ma kształt sferyczny. Pomiń zjawisko odbicia fali.

**Pokaz C w zakresie rozszerzonym**

W zakresie rozszerzonym rozważamy zjawisko dyfrakcji w kontekście fali świetlnej. Opis zjawiska nadal jest jakościowy, ale zwraca się uwagę na zależność dyfrakcji od szerokości szczeliny i długości fali.

Realizacja pokazu C

Nauczyciel kieruje wiązkę światła monochromatycznego ze wskaźnika laserowego na ekran, po czym powtarza czynność z tą różnicą, że na drodze wiązki światła zostaje umieszczona przeszkoda z wąską szczeliną. Podczas obserwacji zjawiska zwraca się uwagę na istotne elementy obrazu, który powstaje na ekranie po przejściu światła przez szczelinę. Porównuje się ten obraz z obrazem plamki, gdy na drodze wiązki światła nie stała przeszkoda ze szczeliną.

Uczniowie wykonują ćwiczenie.

Ćwiczenie II.2.4.

Wskaż różnice pomiędzy obrazem plamki na ekranie po przejściu wiązki światła laserowego przez szczelinę a obrazem plamki, gdy na drodze wiązki światła nie stoi przeszkoda ze szczeliną.

Przykładowe odpowiedzi

Rozmiar plamki wzdłuż szczeliny pozostaje niezmienny, natomiast jest on rozciągnięty w kierunku prostopadłym do szczeliny i jest szerszy od samej szczeliny. Ponadto po bokach tej centralnej plamki znajdują się słabsze i też rozciągnięte plamki o mniejszej szerokości niż plamka centralna. *Przy tej okazji nauczyciel może napomknąć, że to ostatnie jest przejawem interferencji fal.*

Opisany pokaz uzupełniamy o obserwację dyfrakcji tej samej wiązki na szczelinach o różnych szerokościach oraz o obserwację dyfrakcji wiązek światła o różnych długościach fal na zadanej szczelinie. Szerokości szczelin i długości fal powinny być tak dobrane, aby efekt większego kąta dyfrakcji dla węższej szczeliny i ustalonej długości fali oraz analogiczny efekt dla fal dłuższych na szczelinie o ustalonej szerokości był widoczny bez dokonywania pomiarów. Ekran powinien znajdować się dostatecznie daleko. Nie jest wymagana od ucznia znajomość zależności ilościowej pomiędzy badanymi wielkościami, dlatego nie trzeba dokonywać jakichkolwiek pomiarów w tym pokazie.

Uczniowie podczas pokazów notują obserwowane aspekty zjawiska, po czym wykonują ćwiczenie.

Ćwiczenie II.2.5.

Uzupełnij zdania dotyczące obserwowanego pokazu C dyfrakcji. Podkreśl właściwe określenia wybrane spośród wymienionych w nawiasach.

1. Gdy zwiększymy szerokość szczeliny, a długość fali wiązki światła pozostawimy bez zmian, to rozmiar kątowy obrazu obserwowanego na ekranie (zmniejszy się / pozostanie bez zmian / zwiększy się).
2. Gdy zwiększymy długość fali wiązki światła, a szerokość szczeliny pozostawimy bez zmian, to rozmiar kątowy obrazu obserwowanego na ekranie (zmniejszy się / pozostanie bez zmian / zwiększy się).

II.3. Przykład przeprowadzenia i analizy demonstracji

Demonstracja oprócz pokazania zjawiska zawiera opis aparatury, określenie wielkości badanych w zjawisku z uwzględnieniem zmiennych niezależnych i zależnych, analizę wyników i wnioskowanie. W demonstracji analiza wyników ogranicza się do opisu jakościowego – istotnym jest pokazanie tendencji zmian badanej wielkości w zależności od innych wielkości (zależność rosnąca, malejąca, brak zależności). Niektóre wymagania doświadczalne podstawy programowej są realizowane tylko w postaci demonstracji (np. ze względu na trudność pomiaru). Inne z kolei ograniczają się do demonstracji w zakresie podstawowym, podczas gdy w zakresie rozszerzonym przeprowadza się doświadczenie z jego ilościową analizą.

Przeprowadzenie całości demonstracji i analiza jej wyników powinna uwzględniać poniższe etapy, przy czym zawsze należy brać pod uwagę odpowiednie wymagania szczegółowe, w tym wymagania przekrojowe i doświadczalne dla danego zakresu.

1. Elementy składowe planowania demonstracji:*opis i zakres demonstracji, w tym:*

- a) temat demonstracji;
- b) sformułowanie problemu badawczego;
- c) postawienie hipotezy w oparciu o model;
- d) określenie warunków stosowalności modelu.

warunki przeprowadzenia demonstracji, a w tym:

- e) analizę zmiennych (wielkości niezależne, zależne, stałe, kontrolowane/niekontrolowane, niekontrolowane);
- f) omówienie zestawu doświadczalnego;
- g) spodziewane i wymagane wartości zmiennych.

W zakresie podstawowym uczeń nie wykonuje planowania (zobacz wymagania przekrojowe w tabeli na str. 84) demonstracji a jedynie otrzymuje od nauczyciela odpowiedni jej opis i powinien w tym opisie umieć wskazać kluczowe kroki oraz rolę zastosowanych przyrządów – wymaganie przekrojowe I.10). Podobnie rzecz ma się ze stawianiem hipotez – w zakresie podstawowym, w zależności od wymagań szczegółowych, uczeń może sprawdzać podaną hipotezę, natomiast w zakresie rozszerzonym ma ją formułować w oparciu o model zjawiska.

Poprzez zmienne niezależne w demonstracji należy rozumieć te parametry (wielkości), które dobieramy i zmieniamy podczas wykonywania demonstracji. Zmienną zależną jest parametr / wielkość fizyczna, którą określamy dla kolejnych wartości dobieranej zmiennej niezależnej. Zależność zmiennej zależnej od zmiennej niezależnej omawiamy w demonstracji jakościowo.

2. Elementy przeprowadzenia demonstracji:

- a) procedura pomiarowa (kolejność czynności wraz z wyjaśnieniem, przewidywany zakres mierzonych wartości, sposób gromadzenia i zapisu danych);
- b) wykonanie demonstracji, zapisanie obserwowanych aspektów zjawiska (np. określenie co i jak zmienia się w zjawisku).

W zakresie podstawowym procedury pomiarowe muszą być uczniom podane i omówione – wymaganie przekrojowe I.10).

3. Elementy przetwarzania wyników demonstracji:

- a) analiza przebiegu zjawiska, wyodrębnienie zachodzących zmian w zjawisku i powiązanie ich ze sobą;
- b) jakościowe określenie związków pomiędzy zmiennymi zależnymi i niezależnymi.

4. Elementy analizy wyników demonstracji:

- a) porównanie otrzymanych przebiegów zależności z zależnościami przewidywanymi w modelu zjawiska;

- b) wnioski (słabe i mocne strony pomiarów, zgodność z hipotezą / modelem, możliwe modyfikacje eksperymentu na przyszłość, proponowane ewentualne/ możliwe dodatkowe pomiary w celu potwierdzenia wniosków).

Temat lekcji: Zjawisko indukcji elektromagnetycznej.

Na zajęciach wykonamy demonstrację realizującą wymagania szczegółowe (w tym doświadczalne) dla zakresu podstawowego i rozszerzonego. W tabeli poniżej przedstawiono wymagania szczegółowe przypisane do tej demonstracji z wyróżnieniem różnic w obu zakresach. Kluczowe wymagania wyróżniono pogrubioną czcionką.

Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
VIII. Magnetyzm. Uczeń: 1) posługuje się pojęciem pola magnetycznego; rysuje linie pola magnetycznego w pobliżu [...] przewodników z prądem ([...], zwojnica); 3) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jej związek ze względnym ruchem magnesu i zwojnicy lub zmianą natężenia prądu w elektromagnesie [...]. 6) doświadczalnie: b) demonstruje zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jego związek ze względnym ruchem magnesu i zwojnicy oraz ze zmianą natężenia prądu w elektromagnesie.	IX. Magnetyzm. Uczeń: 2) posługuje się pojęciem wektora indukcji magnetycznej [...]; 8) oblicza strumień pola magnetycznego przez powierzchnię [...]; 9) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej; stosuje regułę Lenza; [...] 10) oblicza siłę elektromotoryczną indukcji jako szybkość zmiany strumienia; 15) doświadczalnie: b) demonstruje zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jego związek ze względnym ruchem magnesu i zwojnicy oraz ze zmianą natężenia prądu w elektromagnesie.

Wszystkie elementy wykonania demonstracji powinny uwzględniać wymagania przekrojowe właściwe dla danego zakresu (zobacz tabelę na str. 84 z wymaganiami przekrojowymi dotyczącymi doświadczeń i obserwacji).

Realizacja demonstracji z uwzględnieniem jej etapów 1.–4.

1.a) *Nauczyciel formułuje i przedstawia uczniom temat demonstracji:*

Demonstracja: Zjawisko indukcji elektromagnetycznej na przykładzie względnego ruchu magnesu i zwojnicy.

1.b) *Nauczyciel formułuje dla uczniów problem badawczy, z którym zmierzają się podczas demonstracji:*

Zakres podstawowy

Badanie związku pomiędzy cechami stanu ruchu magnesu względem zwojnicy (zbliża się / oddala się / nie porusza się / porusza się szybciej / porusza się wolniej) i cechami natężenia prądu indukowanego w zwojnicy (rośnie / maleje / wynosi zero).

Zakres rozszerzony

Badanie związku pomiędzy cechami stanu ruchu magnesu względem zwojnicy (zbliża się / oddala się / nie porusza się / porusza się szybciej / porusza się wolniej) i cechami natężenia prądu indukowanego w zwojnicy (rośnie / maleje / wynosi zero / ma **kierunek** związany ze zwrotem prędkości magnesu, określony regułą Lenza).

1.c) Zakres podstawowy

Nauczyciel formułuje i omawia z uczniami hipotezy w oparciu o model zjawiska:

- H1. Prąd w zwojnicy pojawia się tylko wtedy, gdy magnes się porusza względem zwojnicy. Gdy magnes spoczywa, prąd nie płynie, niezależnie od odległości magnesu od zwojnicy – a zatem niezależnie od wartości ustalonego pola magnetycznego przenikającego zwojnicę. Pojawienie się prądu w zwojnicy jest skutkiem zmian pola magnetycznego przenikającego zwojnicę, a nie samego pola.
- H2. Natężenie prądu jest większe wtedy, gdy prędkość przemieszczania się magnesu względem zwojnicy jest większa – czyli gdy pole przenikające zwojnicę zmienia się szybciej.
- H3. Kierunek przepływu prądu zależy od kierunku (zwrotu) przemieszczania się magnesu względem zwojnicy oraz od ustawienia biegunów magnesu – a zatem kierunek przepływu prądu zależy od kierunku zmian pola magnetycznego przenikającego zwojnicę.

Komentarz

W zakresie podstawowym nie posługujemy się pojęciem wektora indukcji magnetycznej $\vec{B}$, dlatego nie możemy mówić o kierunku wektora $\Delta\vec{B}$ opisującego zmiany tego pola. Ponadto nie posługujemy się pojęciem strumienia indukcji magnetycznej przez powierzchnię ani regułą Lenza. Zamiast tego posługujemy się pojęciem pola magnetycznego, a jego zmiany możemy opisywać jakościowo, np. odwołując się do linii tego pola. W związku z powyższym, w zakresie podstawowym nie wyznaczamy kierunku prądu indukowanego.

1.c) Zakres rozszerzony

Uczniowie wykonują ćwiczenie – zostają podzieleni na 3 grupy, a każda z nich formułuje jedną spośród hipotez H1–H3 dotyczących problemu badawczego.

Ćwiczenie II.3.1.

W oparciu o model zjawiska, sformułuj hipotezy dotyczące problemu badawczego:

- H1. Określ, kiedy w zwojnicy powinien pojawić się prąd i wyjaśnij, dlaczego.
- H2. Określ oczekiwany związek (jakościowy) pomiędzy prędkością magnesu i natężeniem indukowanego prądu elektrycznego i uzasadnij ten związek w oparciu o odpowiednie prawo fizyczne.
- H3. Określ związek (jakościowy) między oczekiwanym kierunkiem prądu indukowanego a ruchem magnesu i zmianami pola magnetycznego.

Po wykonaniu ćwiczenia przez uczniów następuje wspólne podsumowanie i zapisanie hipotez:

- H1. Prąd w zwojnicy pojawia się tylko wtedy, gdy magnes się porusza względem zwojnicy. Gdy magnes spoczywa, prąd nie płynie, niezależnie od odległości magnesu od zwojnicy – a zatem niezależnie od wartości wektora indukcji magnetycznej wewnątrz zwojnicy. Pojawienie się prądu w zwojnicy jest skutkiem zmian strumienia indukcji magnetycznej przez powierzchnie zwojów tej zwojnicy.
- H2. Natężenie prądu jest większe wtedy, gdy prędkość przemieszczania się magnesu względem zwojnicy jest większa – czyli gdy strumień pola magnetycznego przechodzący przez powierzchnie zwojów zmienia się szybciej.
- H3. Podczas ruchu magnesu w zwojnicy powstaje prąd indukowany o takim kierunku, że pole magnetyczne indukowane $\vec{B}_{ind}$ wytwarzane przez ten prąd przeciwdziała zmianom pola $\Delta\vec{B}$ magnesu, zachodzącym w obrębie zwojnicy. To oznacza, że wektory $\Delta\vec{B}$ oraz $\vec{B}_{ind}$ mają przeciwne zwroty.

Komentarz

Punkt H3. hipotezy oznacza, że podczas ruchu magnesu w zwojnicy powstaje taki prąd indukowany, który przeciwdziała zmianom strumienia indukcji magnetycznej przez powierzchnię zwoju. Zatem indukowane pole magnetyczne spowoduje odpychanie zbliżającego się magnesu oraz przyciąganie oddalającego się magnesu.

1.d) Tylko w zakresie rozszerzonym

Nauczyciel omawia warunki stosowalności modelu: demonstracja powinna przebiegać zgodnie z modelem, jeżeli tylko w przestrzeni, gdzie przeprowadzana jest demonstracja nie ma dużych zmian pola elektromagnetycznego. Zmienne pola elektromagnetyczne wypełniające salę: światło widzialne, fale radiowe, fale z zakresu telefonii komórkowej, Wi-Fi, TV itp. – można pominąć.

1.e) Uczniowie wykonują ćwiczenie:**Ćwiczenie II.3.2.**

W oparciu o problem badawczy i hipotezy wypisz zmienne niezależne oraz zmienne zależne w demonstracji.

Po wykonaniu ćwiczenia następuje podsumowanie i opisanie zmiennych:

- zmienne niezależne – zwrot prędkości przesuwania magnesu, wartość prędkości przesuwania magnesu, ustawienie biegunów magnesu;
- zmienna zależna – natężenie prądu indukowanego; kierunek prądu indukowanego;
- stałe – własności użytego magnesu.

1.f) Nauczyciel omawia zestaw demonstracyjny: wymienia przyrządy oraz ich rolę w demonstracji. Uczniowie zapisują.

W zestaw doświadczalny wchodzi: zwojnica podłączona do miliamperomierza lub czułego woltomierza oraz magnes sztabkowy. Mierniki prądu powinny wskazywać poza wartością kierunek przepływu prądu. W przypadku mierników analogowych wskazówka miernika odchyła się w prawo lub lewo. W przypadku mierników cyfrowych powinny wskazywać „+” lub „-” w zależności od kierunku przepływu prądu. Z punktu widzenia przejrzystości demonstracji wskazane jest raczej używanie miernika analogowego.

W zakresie rozszerzonym będą dodatkowo użyte: bateria / ogniwo z zaznaczoną biegunowością, opornik ograniczający natężenie prądu, zasilacz prądu stałego oraz igiełka magnetyczna – posłużą one do ustalenia związku między kierunkiem przepływu prądu w zwojnicy a kierunkiem pola indukowanego przez ten prąd.

Po tym uczniowie wykonują krótkie ćwiczenie sprawdzające znajomość roli elementów zestawu w kontekście demonstracji.

Ćwiczenie II.3.3.

Opisz, w jaki sposób za pomocą analogowego miernika prądu porównać ze sobą wartości natężenia prądu w zwojnicy przy okazji różnych pomiarów oraz w jaki sposób zidentyfikować różne kierunki przepływu prądu przy okazji różnych pomiarów.

2.a) Zakres podstawowy

Nauczyciel omawia z uczniami procedurę pomiarową demonstracji w kontekście problemu badawczego.

2.a) Zakres rozszerzony

Uczniowie wykonują ćwiczenie sprawdzające umiejętność planowania demonstracji w kontekście problemu badawczego.

Ćwiczenie II.3.4.

Zaplanuj demonstrację w kontekście problemu badawczego tak, aby można było zwerifikować hipotezy H1–H3.

Po wykonaniu ćwiczenia przez uczniów następuje podsumowanie procedury pomiarowej i przeprowadzenie demonstracji. Wykonujemy następujące czynności:

1. Łączymy cewkę z miernikiem i ustawiamy w taki sposób, aby można było swobodnie wsuwać w nią i wysuwać z niej magnes z różną szybkością (a także zbliżać i oddalać magnes od zwojnicy).
2. Ustawiamy magnes wzdłuż osi zwojnicy w niezbyt dużej odległości od niej, a następnie powoli zbliżamy magnes do cewki, z taką szybkością, aby miernik wskazał niewielką wartość indukowanego prądu.
3. Gdy magnes znajdzie się wewnątrz zwojnicy, zatrzymujemy go (przestajemy przesuwąć), a następnie w takim samym tempie jak w punkcie 2 oddalamy go od cewki.
4. Powtarzamy punkty 2 i 3 procedury, przesuwając magnes znacznie szybciej.
5. Powtarzamy punkty 2, 3 i 4 procedury przy przeciwnym ustawieniu biegunów magnesu.

Poszerzenie procedury w przypadku demonstracji w zakresie rozszerzonym.

6. Podłączamy do miernika ogniwo z połączonym szeregowo opornikiem zabezpieczającym i określamy kierunek odchylenia wskazówki miernika w zależności od kierunku podłączenia ogniwa. Np. gdy wskazówka wychyla się w prawo przypisujemy „+” i „-” na końcach miernika. Stosowanie opornika zabezpieczającego (ograniczającego natężenie prądu) jest konieczne, ponieważ w układzie stosuje się mierniki dostosowane do małych prądów (stosunkowo czułe).
7. Na podstawie wyników obserwacji w punkcie 6 określamy znak różnicy potencjałów na końcach cewki przy jednym i drugim (przeciwnym) wychyleniu miernika. Wyznaczone biegunowości „+” i „-” w punkcie 6 procedury odpowiadają wyższemu i niższemu potencjałowi na końcach cewki podłączonej do miernika zgodnie z opisem w punktach 1, 2, 3, 4 i 5 procedury. W ten sposób wiążemy kierunek przepływu prądu z obserwowanym wychyleniem wskazówki miernika.
8. Ustawiamy cewkę tak, że koniec cewki znajduje się obok igiełki magnetycznej i oś cewki jest prostopadła do kierunku ustawienia igiełki (igiełka ustawia się odpowiednio do pola magnetycznego Ziemi).
9. Podłączamy do cewki źródło prądu stałego (zasilacz lub bateria) tak aby znać jego biegunowość i obserwujemy, który biegun igiełki odchyła się w kierunku

cewki. W ten sposób wiążemy kierunek prądu w zwojnicy z kierunkiem pola wytwarzanego przez zwojnicę.

10. Powtarzamy punkt 9 procedury, zmieniając biegunowość zasilania cewki.

2.b) *Podczas wykonywania demonstracji uczniowie zapisują wyniki.*

Ćwiczenie II.3.5.

Zanotuj, kiedy – tzn. przy jakim stanie ruchu magnesu – wskaźnik miernika prądu wychyla się, a także określ, w którą stronę i w jakim stopniu się on wychyla podczas przeprowadzania demonstracji według punktów 1.–5. procedury pomiarowej.

3.–4. *W przypadku tej demonstracji przetwarzanie wyników demonstracji jest praktycznie analizą tych wyników. W ramach tego uczniowie wykonują poniższe ćwiczenie.*

Ćwiczenie II.3.6.

Omów wyniki demonstracji i sformułuj wnioski w kontekście weryfikacji hipotez H1–H3.

Po omówieniu przez uczniów wyników demonstracji następuje ich podsumowanie:

- Przy nieruchomym magnecie wskazówka miernika znajduje się w położeniu zerowym. To oznacza, że prąd nie płynie, gdy magnes jest nieruchomy.
- Powolne zbliżanie magnesu powoduje niewielkie odchylenie wskazówki w jedną stronę. Po zatrzymaniu ruchu magnesu wskazówka wraca do położenia zerowego. Powolne oddalanie magnesu powoduje niewielkie wychylenie wskazówki miernika w przeciwną stronę. Szybkie zbliżanie lub oddalanie powoduje odchylenia wskazówki odpowiednio w te same strony jak to było przy ruchu powolnym, jednak przy szybszym ruchu magnesu wychylenia wskazówki są znacznie większe. To oznacza, że kierunek przepływu prądu związany jest ze zwrotem prędkości magnesu, a wartość natężenia prądu zależy od wartości prędkości magnesu.
- **Zakres rozszerzony:** natężenie prądu zależy od szybkości zmian pola magnetycznego przenikającego zwojnicę, a kierunek prądu zależy od kierunku zmian pola magnetycznego.
- Po zmianie kierunków biegunów magnesu odchylenia wskazówki są małe przy powolnym i duże przy szybkim przesuwaniu magnesu – jak poprzednio – jednak kierunki wychyleń odpowiednio podczas zbliżania lub oddalania magnesu są przeciwne niż poprzednio.
- **Zakres rozszerzony:** kierunek przepływu prądu jest związany z kierunkiem zmian pola, a te zmiany są zależne od zwrotu prędkości magnesu i ustawienia biegunów.
- **Zakres rozszerzony:** po porównaniu kierunku i zwrotu pola indukowanego $\vec{B}_{ind}$ pochodzącego od zwojnicy ze zmianami pola $\Delta\vec{B}$ w obrębie zwojnicy

a pochodzącymi od ruchomego magnesu, stwierdzamy zgodnie z regułą Lenza, że $\vec{B}_{ind}$ i $\Delta\vec{B}$ są przeciwne.

Komentarz

Wychylenie miernika prądu powiązane jest z kierunkiem prądu indukowanego (procedura rozszerzona), a z kolei kierunkowi prądu indukowanego (czyli prądowi zwojnicy) przyporządkowuje się kierunek i zwrot pola wytwarzanego przez ten prąd (zgodnie z procedurą rozszerzoną).

Powyższe wnioski potwierdzają hipotezy.

Po zakończeniu demonstracji w zakresie rozszerzonym uczniowie powinni zilustrować model zjawiska. W tym celu uczniowie robią poniższe zadanie.

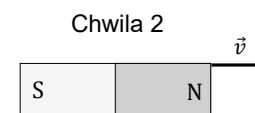
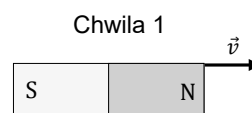
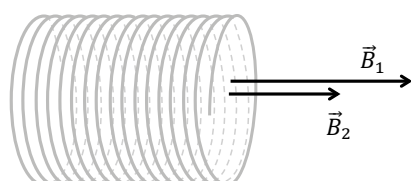
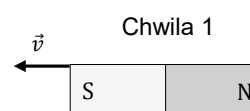
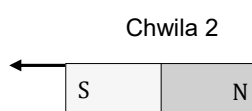
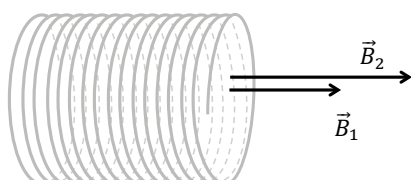
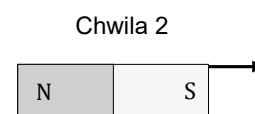
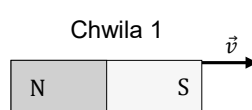
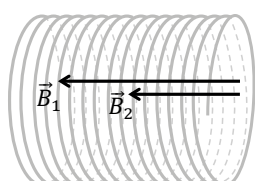
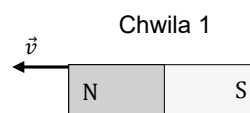
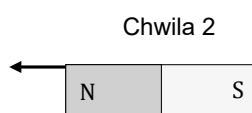
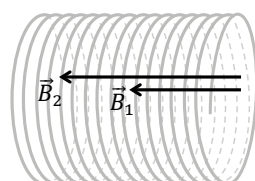
Ćwiczenie II.3.7.

Na każdej z poniższych czterech ilustracji przedstawiono fragment zwojnicy i magnes w dwóch różnych chwilach, gdy magnes zbliża się do zwojnicy lub oddala się od niej, oraz gdy jest zwrócony do zwojnicy biegunem północnym albo południowym. Wektory $\vec{B}_1$ i $\vec{B}_2$ oznaczają pole magnetyczne odpowiednio w chwilach 1 i 2, pochodzące od magnesu, określone w wybranym punkcie powierzchni wybranego zwoju. Wektor opisujący zmiany pola od chwili 1 do 2, który jest różnicą wymienionych wektorów, oznaczmy jako $\Delta\vec{B}_{12}$, a wektor opisujący pole indukowane oznaczmy jako $\vec{B}_{ind}$.

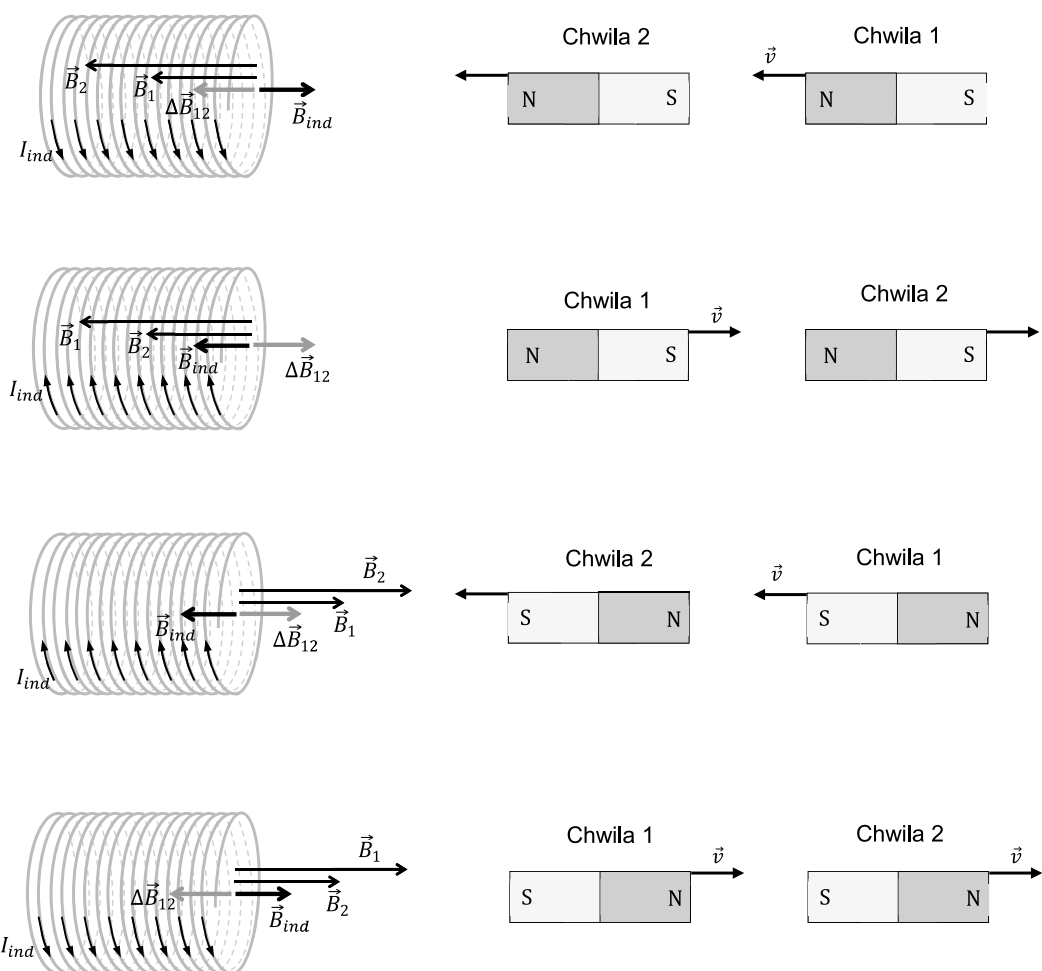
- a) **Na rysunku poniżej narysuj i oznacz wektory: $\Delta\vec{B}_{12}$ oraz $\vec{B}_{ind}$. Zachowaj odpowiednie relacje między wartościami wektorów na rysunku. Uwzględnij regułę Lenza. Narysowane wektory zaczep w punktach obszaru powierzchni pierwszego zwoju (jak narysowane wektory indukcji magnetycznej).**
- b) **Oznacz strzałką wzdłuż zwoju kierunek prądu indukowanego w zwojnicy.**

Wymagania ogólne	Wymaganie szczegółowe
V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 5) [...] wykonuje graficznie działania na wektorach ([...] odejmowanie, [...]); 7) wyodrębnia z [...] rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu [...]. IX. Magnetyzm. Uczeń: 1) rysuje linie pola magnetycznego w pobliżu magnesów stałych i przewodników z prądem ([...], zwojnica); 2) posługuje się pojęciem wektora indukcji magnetycznej [...]; 9) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej; stosuje regułę Lenza [...].

Karta pracy do zadania



Poprawne rozwiązanie



II.4. Przykłady przeprowadzenia i analizy doświadczenia

Doświadczenie oprócz pokazania zjawiska zawiera opis aparatury, określenie wielkości badanych w zjawisku z uwzględnieniem zmiennych niezależnych i zależnych, analizę wyników i wnioskowanie. W doświadczeniu analizę wyników przeprowadza się w sposób ilościowy łącznie z ewentualną analizą niepewności, a weryfikację hipotezy uzyskuje się, badając ilościowo zależności określone konkretnymi funkcjami (wynikającymi z modelu), albo wyznacza się te funkcje.

Przeprowadzenie całości doświadczenia i analiza jego wyników powinny odbywać się etapami, przy czym zawsze należy uwzględnić odpowiednie wymagania szczegółowe, w tym wymagania przekrojowe i doświadczalne dla danego zakresu.

1) Elementy składowe planowania doświadczenia:

opis i zakres doświadczenia, w tym:

- a) temat doświadczenia;
- b) sformułowanie problemu badawczego;
- c) postawienie hipotezy w oparciu o model;
- d) określenie warunków stosowalności modelu.

warunki przeprowadzenia eksperymentu, a w tym:

- e) analiza zmiennych (wielkości niezależne, zależne, stałe, kontrolowane/mierzone, niekontrolowane);
- f) omówienie zestawu doświadczalnego;
- g) spodziewane i wymagane wartości zmiennych.

W zakresie podstawowym uczeń nie wykonuje planowania doświadczenia a jedynie otrzymuje od nauczyciela odpowiedni opis doświadczenia i powinien w tym opisie umieć wskazać kluczowe kroki oraz rolę zastosowanych przyrządów – wymaganie przekrojowe I.10). Podobnie rzecz ma się ze stawianiem hipotez – w zakresie podstawowym, w zależności od wymagań szczegółowych, uczeń może sprawdzać podaną hipotezę, natomiast w zakresie rozszerzonym ma ją formułować w oparciu o model zjawiska.

Poprzez zmienne niezależne doświadczenia należy rozumieć te parametry (wielkości), które dobieramy i zmieniamy podczas doświadczenia. Zmienną zależną jest parametr / wielkość fizyczna, którą mierzymy dla kolejnych wartości dobieranej zmiennej niezależnej. Zależność zmiennej zależnej y od zmiennej niezależnej x opisuje jakaś funkcja $f(x)$.

2) Elementy przeprowadzenia doświadczenia:

- a) procedura pomiarowa (kolejność czynności wraz z wyjaśnieniem, przewidywany zakres mierzonych wartości, sposób gromadzenia i zapisu danych),

- b) wykonanie pomiarów i zapisanie wyników,
- c) przetworzenie i przedstawienie wyników w celu ich analizy.

W zakresie podstawowym procedury pomiarowe muszą być uczniom podane i omówione – wymaganie przekrojowe I.10).

3) Elementy przetwarzania wyników:

- a) uśrednianie wyników powtarzalnych,
- b) obliczenia wymagane w celu dostosowania do hipotezy i stosowanego modelu,
- c) uzgodnienie jednostek,
- d) wyznaczenie lub oszacowanie niepewności.

Wyznaczenie lub szacowanie niepewności pomiarowych (tylko w zakresie rozszerzonym) rekomenduje się przeprowadzać w sposób opisany w komentarzu do podstawy programowej, zgodnie z rekomendacją PTF. Ponadto szacowanie niepewności współczynnika kierunkowego prostej najlepiej dopasowanej do wszystkich punktów pomiarowych powinno być oparte o analizę współczynników kierunkowych dwóch prostych dopasowanych do punktów pomiarowych w sposób „nie najlepszy” – tzn. prostych o największym i najmniejszym akceptowalnym (subiektywnie) nachyleniu.

4) Elementy analizy wyników doświadczenia i formułowania wniosków:

- a) porównanie otrzymanych przebiegów zależności i wartości z przewidywanymi,
- b) ewentualne wyznaczenie innych parametrów np. stałych,
- c) analiza niepewności, ich wpływ na wyniki (wartości i przebieg zmian – otrzymane i możliwe do zaakceptowania),
- d) wnioski (słabe i mocne strony pomiarów, zgodność z hipotezą / modelem, możliwe modyfikacje eksperymentu na przyszłość, proponowane ewentualne/ możliwe dodatkowe pomiary w celu potwierdzenia wniosków).

Przechodzimy do scenariusza dwóch związanych ze sobą doświadczeń A i B. Proponowane doświadczenia, ze względu na potrzebny do ich wykonania czas – można przeprowadzić na dwóch oddzielnych, kolejnych lekcjach. Doświadczenie nie musi zajmować całych zajęć (ale może).

Temat lekcji 1: Własności sprężyste ciał.

Doświadczenie A może być realizowane na podstawie wymagań dla obu zakresów. To doświadczenie nie jest obligatoryjne, tzn. nie jest ono zamieszczone w wymaganiach doświadczalnych bloku *Drgania* dla żadnego z zakresów. W obu zakresach jest natomiast opis własności sprężyny. W tabeli poniżej przedstawiono wymagania szczegółowe, których realizację wspomaga m.in. przeprowadzenie doświadczenia. Wymagania te są identyczne dla obu zakresów.

Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
IV. Drgania. Uczeń: 1) opisuje proporcjonalność siły sprężystości do wydłużenia; posługuje się pojęciem współczynnika sprężystości i jego jednostką.	V. Drgania. Uczeń: 1) opisuje proporcjonalność siły sprężystości do wydłużenia; posługuje się pojęciem współczynnika sprężystości i jego jednostką;

Mimo identycznych zapisów w tabeli powyżej, elementy wykonania doświadczenia powinny uwzględniać wymagania przekrojowe właściwe dla danego zakresu (zobacz tabelę na str. 84. z wymaganiami przekrojowymi dotyczącymi doświadczeń i obserwacji).

Realizacja doświadczenia A z uwzględnieniem jego etapów 1.–4.

1.a) *Nauczyciel formułuje i przedstawia uczniom temat doświadczenia A:*

Doświadczenie A: Badanie własności sprężystych sprężyny oraz wyznaczanie jej współczynnika sprężystości.

1.b) *Nauczyciel formułuje dla uczniów problem badawczy, z którym zmierzają się podczas doświadczenia A.*

Należy zbadać własności sprężyste sprężyny. W tym celu sprawdzimy, czy istnieje taki zakres wydłużenia sprężyny, dla którego rozciągnięcie sprężyny jest proporcjonalne do wartości siły rozciągającej. Jeśli tak, to dla tego zakresu proporcjonalności należy wyznaczyć współczynnik sprężystości sprężyny k .

1.c) Zakres podstawowy

Nauczyciel omawia z uczniami i podaje hipotezę w oparciu o model zjawiska.

1.c) Zakres rozszerzony

Uczniowie wykonują ćwiczenie w ramach wymagania umiejętności tworzenia hipotez dla danego problemu badawczego w oparciu o model zjawiska.

Ćwiczenie II.4.1.

Sformułuj hipotezę dotyczącą własności sprężystych sprężyny.

Uczniowie w obu zakresach zapisują hipotezę:

Twierdzimy, że istnieje taki zakres rozciągnięcia sprężyny, że: wartość siły F rozciągającej sprężynę jest wprost proporcjonalna do wartości wydłużenia tej sprężyny ponad jej długość swobodną: $F = k\Delta y$

1.d) Tylko w zakresie rozszerzonym

Nauczyciel omawia założenia modelu opisującego doświadczenie.

Ze względu na to, że sprężyna posiada masę, to zwisając swobodnie rozciąga się nieco pod własnym ciężarem, a rozkład naprężenia w zwisającej sprężynie nie jest jednorodny. Opis takiego zagadnienia jest skomplikowany. Z tego względu należy użyć sprężyny o masie dużo mniejszej od masy zawieszonego na niej ciężarka. W modelu natomiast pomijamy masę sprężyny.

1.e) Uczniowie wykonują poniższe ćwiczenie.**Ćwiczenie II.4.2.**

W oparciu o problem badawczy i hipotezy wypisz zmienne niezależne oraz zmienne zależne w doświadczeniu.

Po wykonaniu ćwiczenia i podsumowaniu, uczniowie zapisują:

- zmienna niezależna – masa m ciężarka zawieszonego na sprężynie;
- zmienna zależna – długość y rozciągniętej sprężyny;
- stałe – przyspieszenie grawitacyjne g , własności sprężyste sprężyny (współczynnik sprężystości k w odpowiednim zakresie wydłużenia) masa sprężyny (pomijalnie mała).

1.f)–g)

Nauczyciel omawia zestaw doświadczalny: wymienia i opisuje przyrządy oraz omawia zakres zmiennych.

Zakres zmiennych zależnych i niezależnych:

- Ciężarki, których użyjemy w doświadczeniu będą miały masy około 50 g każdy.
- Dobieramy taką sprężynę, aby pod wpływem jednego ciężarka (siła około 0,5 N) rozciągała się o od około 1 cm do około 2 cm. Wówczas przy 10 ciężarkach rozciągnięcie będzie w granicach od 10 cm do 20 cm.
- Długość sprężyny nierozciągniętej powinna być taka, żeby podczas eksperymentu jej rozciągnięcie nie przekraczało 100% (dla większości sprężyn jest to wartość, przy której stosuje się prawo Hooke'a).
- Przewidywana stała sprężystości wynosi wówczas od 25 N/m do 50 N/m.

Zestaw pomiarowy:

- Sprężyna zawieszona na statywie tak, aby jej górny koniec się nie przemieszczał, a na dolnym możliwe było podwieszanie ciężarków.
- Zestaw ciężarków o znanej masie (co najmniej 5 ciężarków).

- Przymiar liniowy ustawiony pionowo z możliwością pomiaru położenia górnego i dolnego końca sprężyny w całym zakresie rozciągania sprężyny. Dokładność pomiaru powinna wynosić co najmniej 0,5 cm. Masy ciężarków powinny być tak dobrane, żeby sprężyna rozciągała się w zakresie od ok. 2 cm do ok. 20 cm.

Po tym uczniowie wykonują krótkie ćwiczenie sprawdzające znajomość roli elementów zestawu i zakresu zmiennych w kontekście doświadczenia.

Ćwiczenie II.4.3.

Opisz rolę elementów zestawu doświadczalnego: ciężarków, sprężyny oraz przyrządu pomiarowego – przymiaru liniowego. Podaj zakres wartości zmiennych zależnych i niezależnych.

2.a) Zakres podstawowy

Nauczyciel omawia z uczniami procedurę pomiarową doświadczenia w kontekście problemu badawczego.

2.a) Zakres rozszerzony

Uczniowie wykonują ćwiczenie sprawdzające umiejętność planowania doświadczenia w kontekście problemu badawczego i w celu weryfikacji hipotezy, dysponując opisanym zestawem doświadczalnym.

Ćwiczenie II.4.4.

Dysponując danym zestawem doświadczalnym, zaplanuj doświadczenie w kontekście problemu badawczego tak, aby można było zweryfikować hipotezę.

Po wykonaniu ćwiczenia przez uczniów następuje podsumowanie procedury pomiarowej i przeprowadzenie pomiarów. W tym czasie uczniowie zapisują wyniki pomiarów w tabeli. Wykonujemy następujące czynności pomiarowe:

2.a)–b)

1. Mocujemy sprężynę na statywie.
2. Mocujemy przymiar pionowo przy sprężynie tak, aby można było odczytać położenia końców sprężyny oraz żeby podwieszane ciężarki nie zahaczały / dotykały przymiaru.
3. Odczytujemy położenie x górnego końca sprężyny oraz położenie y_0 jej dolnego swobodnego końca. Przymiar liniowy ustawiamy najlepiej tak, aby $x = 0$.
4. Ważymy ciężarki. Najlepiej jeden, dwa, trzy itd. a nie każdy oddzielnie ze względu na mniejszą niepewność określenia masy.

5. Podwieszamy kolejno ciężarki, odczytując położenia y dolnego końca sprężyny przy podwieszonych odpowiednio: jednym, dwóch, trzech itd. ciężarkach, zachowując niezmienną położenie górnego końca sprężyny.
6. Zapisujemy w tabeli wyniki pomiarów wraz z jednostkami i niepewnościami (dokładnością pomiaru).

nr pomiaru	0	1	2	3	4	5	
podwieszona masa m , g	0	50,05	100,14	150,70	200,82	250,75	
położenie końca y , cm	23,5	24,6	25,8	27,0	28,2	29,5	
nr pomiaru	6	7	8	9	10	11	12
podwieszona masa m , g	300,54	350,47	400,08	450,20	500,30	550,12	599,99
położenie końca y , cm	30,7	31,8	33,2	34,4	35,6	36,9	38,1
niepewności pomiarowe: $\Delta m = 0,01$ g, $\Delta y = 0,5$ cm							

2.c) W celu przetworzenia i analizy wyników uczniowie wykonują kluczowe w doświadczeniu ćwiczenie.

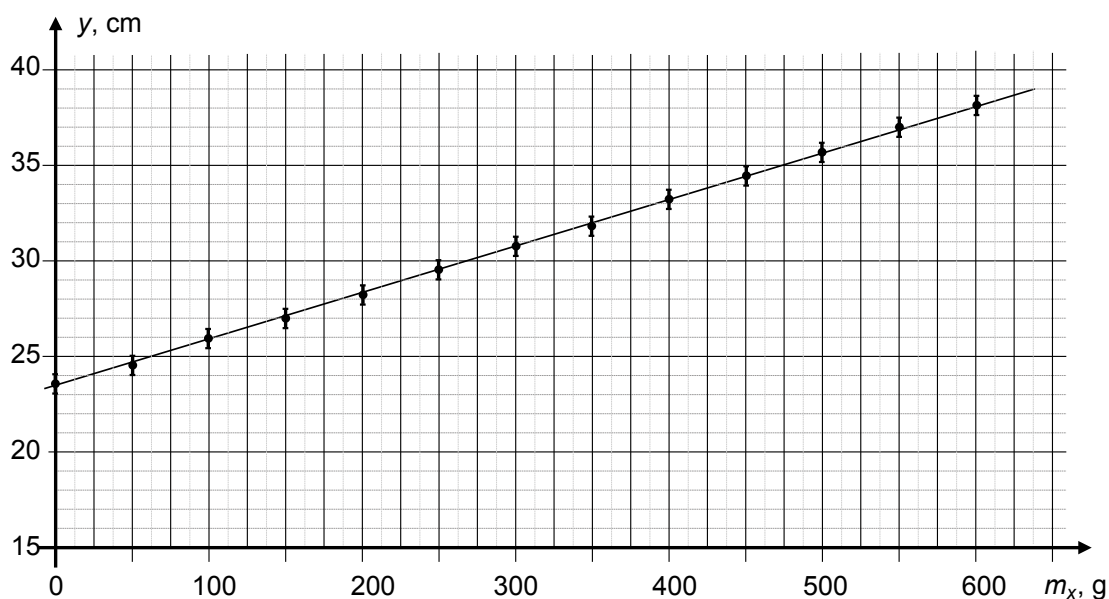
Ćwiczenie II.4.5.

Sporządź wykres zależności położenia y dolnego końca sprężyny od wartości podwieszanej masy m . W tym celu nanieś punkty pomiarowe wraz z niepewnościami na diagramie współrzędnych (m, y) , oceń tendencję ich zależności w mierzonym zakresie i poprowadź krzywą najlepiej dopasowaną do punktów pomiarowych.

Uwaga: W zakresie podstawowym nie posługujemy się niepewnościami na wykresie.

Przykładowe rozwiązanie

1. Nanosimy punkty pomiarowe wraz z niepewnościami w diagramie współrzędnych (m, y) . Pomiar masy uważamy za dokładny.
2. Oceniamy, że punkty układają się w zależność liniową w całym mierzonym zakresie.
3. Prowadzimy prostą najlepiej dopasowaną do otrzymanych punktów pomiarowych w mierzonym zakresie. Prosta powinna przechodzić blisko punktów pomiarowych ułożonych przypadkowo po obu stronach krzywej.



Uczniowie w zakresie rozszerzonym dalej ilościowo przetwarzają wyniki – łącznie z szacowaniem niepewności – wykonując w tym celu odpowiednie obliczenia. W zakresie podstawowym natomiast uczniowie formułują hipotezę już na tym etapie.

3.a)–d) Tylko zakres rozszerzony

Uczniowie wykonują kolejne ćwiczenia związane przetwarzaniem wyników.

Ćwiczenie II.4.6.

Wyznacz współczynnik kierunkowy A narysowanej prostej najlepszego dopasowania.

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

Na podstawie analizy wykresu stwierdzamy, że zależność $y(m)$ jest liniowa, tzn.:

$$y = Am + B$$

dla pewnych współczynników rzeczywistych A i B . Do obliczenia A wybieramy dwa punkty na prostej (niekoniecznie punkty pomiarowe) i odczytamy ich współrzędne:

$$P_1 = (150 \text{ g}, 27 \text{ cm}), P_2 = (600 \text{ g}, 38 \text{ cm}).$$

Z tych punktów obliczamy współczynnik kierunkowy:

$$A = \frac{y_2 - y_1}{m_2 - m_1} = \frac{38 \text{ cm} - 27 \text{ cm}}{600 \text{ g} - 150 \text{ g}} = 0,0244 \frac{\text{cm}}{\text{g}} = 0,244 \frac{\text{m}}{\text{kg}}$$

Ćwiczenie II.4.7.

Wyznacz współczynnik sprężystości k sprężyny.

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

Powiązemy współczynnik kierunkowy A prostej ze współczynnikami sprężystości k na podstawie modelu. Siła sprężystości sprężyny $\vec{F}_s$ działająca na ciężarek równoważy siłę rozciągającą sprężynę, czyli ciężar odważników: $\vec{Q} = m\vec{g}$ ($\vec{g}$ jest przyspieszeniem ziemskim). Zatem:

$$\vec{Q} = -\vec{F}_s \rightarrow Q = F_s \rightarrow mg = k(y - y_0) \rightarrow y = \frac{g}{k} m + y_0$$

Ponieważ $y = Am + B$ to:

$$A = \frac{g}{k} \rightarrow k = \frac{g}{A}$$

Wykorzystujemy wynik z poprzedniego ćwiczenia i obliczamy k :

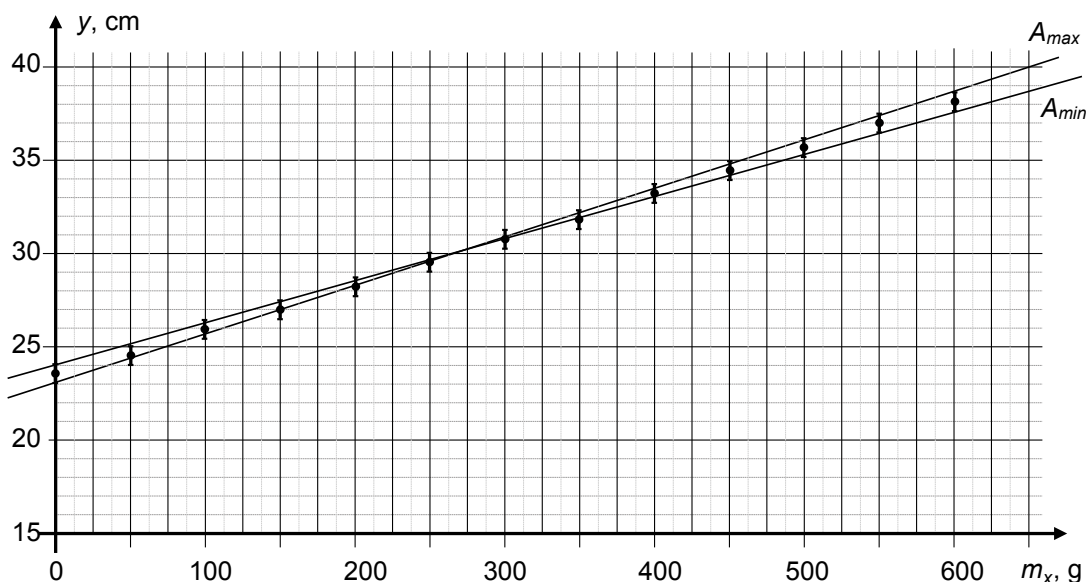
$$k = \frac{g}{A} \rightarrow k = \frac{9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{0,244 \frac{\text{m}}{\text{kg}}} = 40,2 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Ćwiczenie II.4.8.

Oszacuj niepewność wyznaczenia współczynnika kierunkowego A prostej.

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

Aby oszacować niepewność niezależnie od wybranych do obliczeń punktów prostej, musimy oszacować współczynniki dwóch prostych dopasowanych akceptowalnie o największym i najmniejszym współczynniku kierunkowym (dopuszcza się, że dla ok. 30% punktów pomiarowych odcinki niepewności nie przecinają prostej).



Współczynniki A_{max} i A_{min} obliczamy analogicznie jak A , z tym, że wybierzemy odpowiednio następujące punkty:

$P_{1max} = (0 \text{ g}, 23 \text{ cm})$, $P_{2max} = (600 \text{ g}, 38,5 \text{ cm})$ oraz $P_{1min} = (0 \text{ g}, 24 \text{ cm})$, $P_{2min} = (600 \text{ g}, 37,5 \text{ cm})$.

$$A_{max} = \frac{38,5 \text{ cm} - 23 \text{ cm}}{600 \text{ g} - 0 \text{ g}} = 0,0258 \frac{\text{cm}}{\text{g}} = 0,258 \frac{\text{m}}{\text{kg}}$$

$$A_{min} = \frac{37,5 \text{ cm} - 24 \text{ cm}}{600 \text{ g} - 0 \text{ g}} = 0,0225 \frac{\text{cm}}{\text{g}} = 0,225 \frac{\text{m}}{\text{kg}}$$

Niepewność A obliczamy ze wzoru:

$$\Delta A = \frac{1}{2} |A_{max} - A_{min}| \approx 0,017 \frac{\text{m}}{\text{kg}}$$

Ćwiczenie II.4.9.

Oszacuj niepewność wyznaczenia współczynnika sprężystości k .

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

Niepewność wyznaczenia współczynnika k obliczymy zgodnie z rekomendacją opisaną w komentarzu:

$$\Delta k = \frac{1}{2} \left| \frac{g}{A + \Delta A} - \frac{g}{A - \Delta A} \right| = \frac{9,81}{2} \left| \frac{1}{0,244 + 0,017} - \frac{1}{0,244 - 0,017} \right| \approx 2,8 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Zapiszemy ostateczny wynik z uwzględnieniem niepewności.

Ćwiczenie II.4.10.

Zapisz wartość wyznaczonego doświadczalnie współczynnika sprężystości k łącznie z uwzględnieniem niepewności jego pomiaru.

Przykładowe rozwiązanie

$$k = (40,2 \pm 2,8) \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{ lub po zaokrągleniu } k = (40 \pm 3) \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

4. a)–d)

Uczniowie omawiają wnioski z doświadczenia. W tym celu wykonują ćwiczenie.

Ćwiczenie II.4.11.

Omów wyniki doświadczenia i sformułuj wnioski w kontekście weryfikacji hipotezy.

Po omówieniu przez uczniów wyników doświadczenia następuje ich podsumowanie:

Zakres podstawowy i rozszerzony

- Wykazaliśmy, że istnieje taki zakres rozciągnięcia sprężyny, że: wartość siły F rozciągającej sprężynę jest wprost proporcjonalna do wartości Δy wydłużenia tej sprężyny ponad jej długość swobodną. A zatem hipoteza postawiona na podstawie modelu wynikającego z prawa Hooke'a: $F = k\Delta y$, została zweryfikowana pozytywnie.

Zakres rozszerzony

- Współczynnik sprężystości wyznaczony doświadczalnie wynosi:

$$k = (40 \pm 3) \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

- Największy wpływ na niepewność pomiaru miała niepewność wyznaczenia położenia.

Temat lekcji 2: Ruch drgający pod wpływem siły sprężystości.

Doświadczenie B ma być realizowane na podstawie wymagań szczegółowych dla obu zakresów (w tym doświadczalnych) oraz na podstawie III wymagania ogólnego. To doświadczenie jest obligatoryjne, ponieważ w wymaganiach doświadczalnych bloku *Drgania* jest wymienione w każdym z zakresów. W tabeli poniżej przedstawiono wymagania szczegółowe właściwe dla danego zakresu z **oznaczeniem** ich różnic.

Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
IV. Drgania. Uczeń: 2) analizuje ruch drgający pod wpływem siły sprężystości, posługując się pojęciami wychylenia, amplitudy oraz okresu drgań; podaje przykłady takiego ruchu; 5) doświadczalnie: b) bada zależność okresu drgań ciężarka na sprężynie od jego masy;	V. Drgania. Uczeń: 2) analizuje ruch pod wpływem siły sprężystości; posługuje się pojęciem ruchu harmonicznego; podaje przykłady takich ruchów; 3) opisuje ruch harmoniczny, posługując się pojęciami wychylenia, amplitudy, częstości kołowej [...]; 5) stosuje do obliczeń zależność okresu małych drgań wahadła matematycznego i ciężarka na sprężynie od ich parametrów; 8) doświadczalnie: c) bada zależność okresu drgań ciężarka od jego masy i od współczynnika sprężystości sprężyny.

Oprócz różnic w powyższych wymaganiach, elementy wykonania doświadczenia powinny uwzględniać wymagania przekrojowe właściwe dla danego zakresu (zobacz tabelę z wymaganiami przekrojowymi dotyczącymi doświadczeń i obserwacji).

Realizacja doświadczenia B z uwzględnieniem jego etapów 1.–4.

1.a) *Nauczyciel formułuje i przedstawia uczniom temat doświadczenia B odpowiednio w zakresie podstawowym i rozszerzonym:*

Zakres podstawowy

Doświadczenie B: Badanie zależności okresu drgań ciężarka na sprężynie od jego masy.

Zakres rozszerzony

Doświadczenie B: Badanie zależności okresu drgań ciężarka na sprężynie od jego masy i od współczynnika sprężystości sprężyny.

1.b) *Nauczyciel formułuje dla uczniów problem badawczy, z którym zmierzają się podczas doświadczenia B.*

Zakres podstawowy

Należy zbadać zależność okresu drgań układu od masy zawieszonego na sprężynie ciężarka.

Zakres rozszerzony

Należy zbadać zależność okresu drgań układu od masy zawieszonego na sprężynie ciężarka. Następnie należy wyznaczyć współczynnik sprężystości k , wykorzystując wzór na okres i porównać ze współczynnikiem wyznaczonym w doświadczeniu A.

1.c) Zakres podstawowy

Nauczyciel omawia z uczniami i podaje hipotezę w oparciu o model zjawiska.

1.c) Zakres rozszerzony

Uczniowie wykonują ćwiczenie w ramach wymagania umiejętności tworzenia hipotez dla danego problemu badawczego w oparciu o model zjawiska.

Ćwiczenie II.4.12.

Sformułuj hipotezę dotyczącą własności sprężystych sprężyny.

Uczniowie w obu zakresach zapisują hipotezę:

Zakres podstawowy

Kwadrat okresu drgań ciężarka zawieszonego na sprężynie jest wprost proporcjonalny do masy tego ciężarka:

$$T^2 \sim m$$

Zakres rozszerzony:

Okres drgań ciężarka zawieszonego na sprężynie dany jest wzorem:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m$$

gdzie m oznacza masę drgającego ciała, a k jest współczynnikiem sprężystości sprężyny.

1.d) Tylko w zakresie rozszerzonym

Nauczyciel omawia założenia modelu opisującego doświadczenie.

Model zjawiska: ruch drgający ciężarka zawieszonego na sprężynie odbywa się pod wpływem siły harmoniczej tzn. proporcjonalnej do wychylenia z położenia równowagi i przeciwnie skierowanej do tego wychylenia. Rolę siły harmoniczej pełni siła wypadkowa z siły grawitacji działającej na ciężarek i siły sprężystości sprężyny. W modelu zjawiska pomijamy wpływ innych sił na ciężarek, np. sił oporu ruchu, a także pomijamy masę sprężyny.

1.e) *Uczniowie wykonują poniższe ćwiczenie.*

Ćwiczenie II.4.13.

W oparciu o problem badawczy i hipotezy wypisz zmienne niezależne oraz zmienne zależne w doświadczeniu.

Po wykonaniu ćwiczenia i podsumowaniu, uczniowie zapisują:

- zmienna niezależna – masa m ciężarka zawieszonego na sprężynie;
- zmienna zależna – okres T drgań ciężarka, kwadrat okresu drgań;
- stałe – własności sprężyste sprężyny (współczynnik sprężystości k w odpowiednim zakresie wydłużenia), amplituda drgań, przyspieszenie grawitacyjne g .

1.f)–g)

Nauczyciel omawia zestaw doświadczalny: wymienia i opisuje przyrządy oraz omawia zakres zmiennych.

Zakres zmiennych zależnych i niezależnych:

- Ciężarki, których użyjemy w doświadczeniu, będą miały masy około 50 g każdy.

- Dobieramy taką sprężynę, aby pod wpływem jednego ciężarka (siła około 0,5 N) rozciągała się o od około 1 cm do około 2 cm. Wówczas przy 10 ciężarkach rozciągnięcie będzie w granicach od 10 cm do 20 cm.
- Długość sprężyny nierozciągniętej powinna być taka, żeby podczas eksperymentu jej rozciągnięcie nie przekraczało 100% (dla większości sprężyn jest to wartość, przy której stosuje się prawo Hooke'a).
- Przewidywana stała sprężystości wynosi wówczas od 25 N/m do 50 N/m.
- Zgodnie z równaniem przewidywany zakres okresu drgań będzie wynosił od ok. 0,2 s do ok. 0,9 s.

Zestaw pomiarowy:

- Sprężyna zawieszona na statywie tak, aby jej górny koniec się nie przemieszczał, a na dolnym możliwe było podwieszanie ciężarków.
- Zestaw ciężarków o znanej masie (co najmniej 5 ciężarków).
- Przysmarowany pionowo z możliwością pomiaru położenia górnego i dolnego końca sprężyny w całym zakresie rozciągania sprężyny. Dokładność pomiaru powinna wynosić co najmniej 0,5 cm. Masy ciężarków powinny być tak dobrane, żeby sprężyna rozciągała się w zakresie od ok. 2 cm do ok. 20 cm.
- Stoper lub inny czasomierz. Wystarczająca jest dokładność 0,1 s.

Po tym uczniowie wykonują krótkie ćwiczenie sprawdzające znajomość roli elementów zestawu i zakresu zmiennych w kontekście doświadczenia.

Ćwiczenie II.4.14

Opisz rolę elementów zestawu doświadczalnego: ciężarków, sprężyny oraz przyrządu pomiarowego – stopera. Podaj zakres wartości zmiennych zależnych i niezależnych.

2.a) Zakres podstawowy

Nauczyciel omawia z uczniami procedurę pomiarową doświadczenia w kontekście problemu badawczego.

2.a) Zakres rozszerzony

Uczniowie wykonują ćwiczenie sprawdzające umiejętność planowania doświadczenia w kontekście problemu badawczego i w celu weryfikacji hipotezy, dysponując opisanym zestawem doświadczalnym.

Ćwiczenie II.4.15.

Dysponując danym zestawem doświadczalnym, zaplanuj doświadczenie w kontekście problemu badawczego tak, aby można było zweryfikować hipotezę.

Po wykonaniu ćwiczenia przez uczniów następuje podsumowanie procedury pomiarowej i przeprowadzenie pomiarów. Podczas tego uczniowie zapisują „surowe” wyniki pomiarów w tabeli. Wykonujemy następujące czynności pomiarowe:

2.a)–b)

Procedura pomiarowa i zapis wyników.

1. Mocujemy sprężynę na statywie.
2. Mocujemy przymiar pionowo przy sprężynie tak, aby można odczytać położenia końców sprężyny oraz żeby podwieszane ciężarki nie zahaczały / dotykały przymiaru.
3. Odczytujemy położenie x górnego końca sprężyny oraz położenie y_0 jej dolnego swobodnego końca. Przymiar liniowy ustawiamy najlepiej tak, aby $x = 0$.
4. Ważymy ciężarki.
5. Podwieszamy ciężarek i mierzymy położenie y dla stanu równowagi.
6. Odcinamy delikatnie ciężarek pionowo w dół i puszczamy. Tym samym wprawiamy go w ruch harmoniczny. Odchylenie od położenia równowagi, które będzie amplitudą drgań, nie powinno być zbyt duże, a w szczególności nie powinno przekraczać rozciągnięcia $(y - y_0)$ sprężyny od stanu równowagi oraz takie, żeby nie wychodzić poza zakres liniowy określony w etapie A.
7. Mierzmy czas t trwania 10 pełnych cykli drgań.
8. Powtarzamy kolejno od 5 do 7 punktu procedury dla różnych mas podwieszonych na sprężynie.
9. Zapisujemy w tabeli wyniki pomiarów wraz z jednostkami i niepewnościami.

W zakresie rozszerzonym uczniowie dodatkowo wykonują krótkie ćwiczenie.

Ćwiczenie II.4.16.

Uzasadnij, dlaczego wykonujemy pomiar czasu 10 pełnych cykli drgań.

Uzasadnienie

Pomiar czasu 10 pełnych cykli drgań zwiększa precyzję pomiarów (niepewność pomiaru stoperem jest stała, a na jeden cykl przypada 1/10 tej niepewności). Poza tym zmniejsza się ewentualny wpływ błędu związanego z włączaniem i wyłączaniem stopera.

nr pomiaru	0	1	2	3	4	5
podwieszona masa m , g	0	50,05	100,14	150,7	200,82	250,75
czas 10 cykli t , s	–	–	3,25	4,1	4,7	3,25
okres oscylacji T , s	–	–	0,325	0,41	0,47	0,515
$(T)^2$, s^2	–	–	0,11	0,17	0,22	0,27

$\Delta(T)^2, s^2$				0,010	0,012	0,014	0,015
nr pomiaru	6	7	8	9	10	11	12
podwieszona masa m, g	300,54	350,47	400,08	450,20	500,30	550,12	599,99
czas 10 cykli t, s	5,15	5,6	6,0	6,3	6,75	7,1	7,4
okres oscylacji T, s	0,56	0,6	0,63	0,675	0,71	0,74	0,78
$(T)^2, s^2$	0,31	0,36	0,40	0,46	0,50	0,55	0,61
$\Delta(T)^2, s^2$	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023
niepewności pomiarowe: $\Delta m = 0,01 g$, $\Delta t = 0,15 s$, $\Delta T = 0,015 s$							

2.c) W celu przetworzenia i analizy wyników uczniowie wykonują kolejne ćwiczenia.

Ćwiczenie II.4.17.

Uzupełnij tabelę. Wpisz wartości okresów drgań oraz kwadraty tych okresów dla każdego z pomiarów 1–12.

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

Obliczamy okresy T z pomiaru czasu 10 pełnych cykli, następnie obliczamy T^2 i uzupełniamy tabelę:

$$T = \frac{t}{10}$$

W zakresie rozszerzonym uczniowie dodatkowo szacują niepewności.

Ćwiczenie II.4.18.

Uzasadnij, że niepewność pomiaru T wynosi ok. 0,015 s. Następnie wyznacz wzór pozwalający na obliczenie niepewności $\Delta(T^2)$, oblicz te niepewności dla każdego z pomiarów i uzupełnij tabelę (w szarych polach).

Opracowanie i przedstawienie wyników

Szacujemy niepewności ΔT oraz $\Delta(T^2)$ z odpowiednich wzorów (patrz komentarz i rekomendacja):

$$T = \frac{t}{10} \rightarrow \Delta T = \frac{1}{10} \Delta t = \frac{0,15 s}{10} = 0,015 s$$

$$\Delta(T^2) = \frac{1}{2} |(T + \Delta T)^2 - (T - \Delta T)^2| = 2T\Delta T$$

Wpisujemy do tabeli wyniki obliczeń $\Delta(T^2)$ dla każdego pomiaru (niepewność $\Delta(T^2)$ zaokrąglamy tyczasem do części tysięcznych, żeby zaobserwować wzrost tej niepewności).

Ćwiczenie II.4.19.

Sporządź wykres zależności T^2 kwadratu okresu drgań od wartości podwieszanej masy m . W tym celu nanieś punkty pomiarowe wraz z niepewnościami na diagramie współrzędnych (m, T^2) , oceń tendencję ich zależności w mierzonym zakresie i poprowadź krzywą najlepiej dopasowaną do punktów pomiarowych.

Uwaga: W zakresie podstawowym nie posługujemy się niepewnościami na wykresie.

Przykładowe rozwiązanie

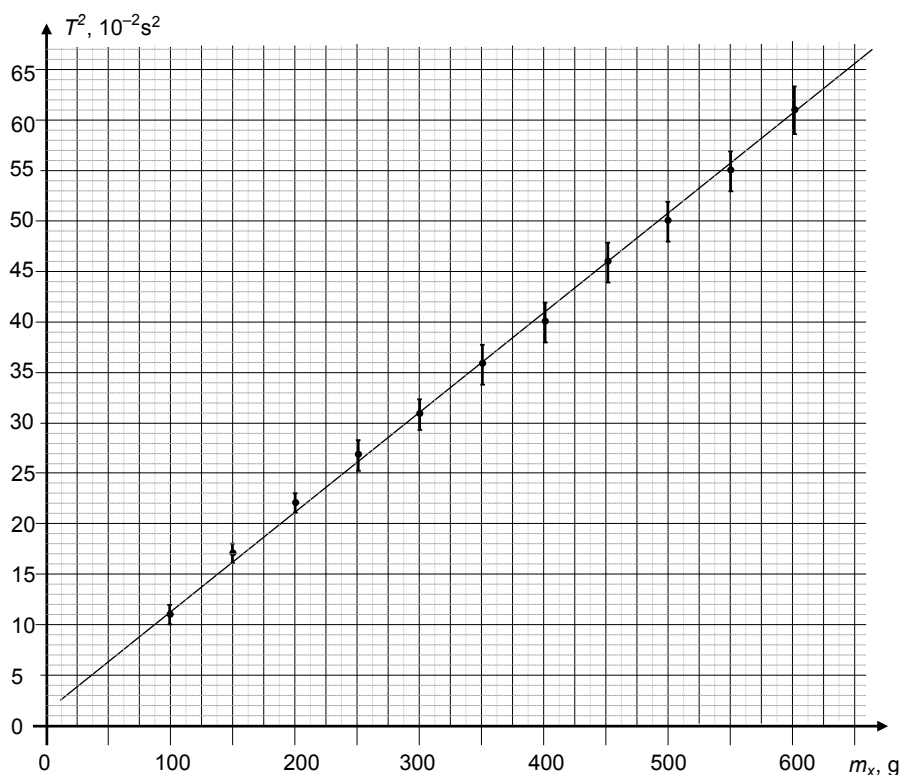
1. Nanosimy punkty pomiarowe w diagramie współrzędnych (m, T^2) . W zakresie rozszerzonym nanosimy niepewności, a w zakresie podstawowym nie.

Uwaga: W zakresie rozszerzonym niepewności można tutaj dla ułatwienia zaokrąglić do: $0,01 \text{ s}^2$, $0,015 \text{ s}^2$, $0,02 \text{ s}^2$, $0,025 \text{ s}^2$ (tak zaokrąglone nanosimy na wykres). Pomiar masy uważamy za dokładny.

2. Oceniamy (zgodnie z modelem), że punkty pomiarowe układają się w zależność liniową wprost proporcjonalną dla pewnego współczynnika proporcjonalności A :

$$T^2 = Am$$
3. Prowadzimy prostą najlepiej dopasowaną do otrzymanych punktów pomiarowych. Prosta powinna przechodzić blisko punktów pomiarowych ułożonych przypadkowo po obu stronach krzywej.

Uwaga: W zakresie rozszerzonym dopasowanie prostej powinno uwzględniać niepewności $\Delta(T^2)$.



Uczniowie w zakresie rozszerzonym dalej ilościowo przetwarzają wyniki – łącznie z szacowaniem niepewności – wykonując w tym celu odpowiednie obliczenia. W zakresie podstawowym natomiast uczniowie formułują hipotezę już na tym etapie.

3.a)–d) Tylko zakres rozszerzony

Uczniowie wykonują kolejne ćwiczenia związane przetwarzaniem wyników.

Ćwiczenie II.4.20.

Wyznacz współczynnik k sprężystości sprężyny, korzystając z wyników doświadczenia oraz modelu zjawiska.

Przykładowe rozwiązanie

Na podstawie modelu zjawiska i wyników doświadczenia określamy związek współczynnika proporcjonalności A ze współczynnikiem sprężystości sprężyny k :

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m \text{ (model)} \quad T^2 = Am \text{ (doświadczenie)}$$

$$A = \frac{4\pi^2}{k} \quad \rightarrow \quad k = \frac{4\pi^2}{A}$$

Obliczymy współczynnik proporcjonalności A z wykresu prostej. W tym celu wybierzemy dwa punkty na prostej i odczytamy ich współrzędne:

$$P_1 = (75 \text{ g}, 9 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2), P_2 = (625 \text{ g}, 63 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2).$$

Z punktów prostej obliczamy współczynnik kierunkowy:

$$A = \frac{63 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2 - 9 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2}{625 \text{ g} - 75 \text{ g}} = 0,0982 \cdot 10^{-2} \frac{\text{s}^2}{\text{g}} = 0,982 \frac{\text{s}^2}{\text{kg}}$$

Obliczamy współczynnik k sprężystości sprężyny:

$$k = \frac{4\pi^2}{A} \quad \rightarrow \quad k = \frac{4 \cdot 9,87 \text{ kg}}{0,982 \text{ s}^2} = 40,2 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

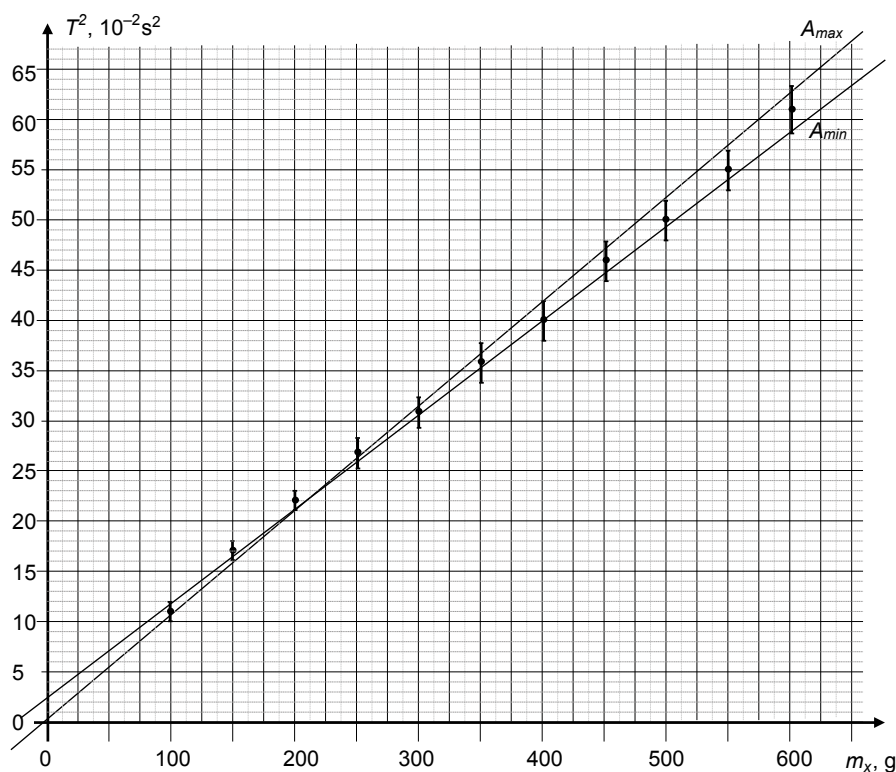
Ćwiczenie II.4.21.

Oszacuj niepewność wyznaczenia współczynnika k sprężystości sprężyny.

Przykładowe rozwiązanie

Oszacowanie niepewności wyznaczenia k wymaga najpierw oszacowania wyznaczenia współczynnika proporcjonalności A . Aby oszacować tę niepewność niezależnie od wybranych do obliczeń punktów prostej, musimy oszacować współczynniki dwóch

prostych dopasowanych akceptowalnie o największym i najmniejszym współczynniku kierunkowym (dopuszcza się, że dla ok. 30% punktów pomiarowych odcinki niepewności nie przecinają prostej).



Współczynniki A_{max} i A_{min} (prostych na poniższym wykresie) obliczamy analogicznie jak A . Wybierzemy odpowiednio następujące punkty: $P_{1max} = (25 \text{ g}, 3 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2)$, $P_{2max} = (625 \text{ g}, 65 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2)$ oraz $P_{1min} = (25 \text{ g}, 5 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2)$, $P_{2min} = (625 \text{ g}, 61 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2)$.

$$A_{max} = \frac{65 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2 - 3 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2}{625 \text{ g} - 25 \text{ g}} = 0,103 \cdot 10^{-2} \frac{\text{s}^2}{\text{g}} = 1,03 \frac{\text{s}^2}{\text{kg}}$$

$$A_{min} = \frac{61 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2 - 5 \cdot 10^{-2} \text{ s}^2}{625 \text{ g} - 25 \text{ g}} = 0,093 \cdot 10^{-2} \frac{\text{s}^2}{\text{g}} = 0,93 \frac{\text{s}^2}{\text{kg}}$$

Niepewność A obliczamy ze wzoru:

$$\Delta A = \frac{1}{2} |A_{max} - A_{min}| \approx 0,05 \frac{\text{s}^2}{\text{kg}}$$

Niepewność wyznaczenia współczynnika k obliczymy zgodnie z rekomendacją opisaną w komentarzu:

Obliczamy niepewność wyznaczenia k :

$$\Delta k = \frac{1}{2} \left| \frac{4\pi^2}{A + \Delta A} - \frac{4\pi^2}{A - \Delta A} \right| = \frac{4 \cdot 9,87}{2} \left| \frac{1}{0,982 + 0,05} - \frac{1}{0,982 - 0,05} \right| \approx 2,1 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Zapiszemy ostateczny wynik z uwzględnieniem niepewności:

$$k = (40,2 \pm 2,1) \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{ lub po zaokrągleniu } k = (40 \pm 2) \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

4. a)–d)

Uczniowie omawiają wnioski z doświadczenia. W tym celu wykonują ćwiczenie.

Ćwiczenie II.4.22.

Omów wyniki doświadczenia i sformułuj wnioski w kontekście weryfikacji hipotezy.

Po omówieniu przez uczniów wyników doświadczenia następuje ich podsumowanie:

Zakres podstawowy

Wyniki doświadczenia wskazują, że kwadrat okresu drgań jest wprost proporcjonalny do masy zawieszonego ciężarka. W związku z tym hipoteza została potwierdzona.

Zakres rozszerzony

Współczynnik k wyznaczony wraz z niepewnościami w doświadczeniu B i A wychodzi odpowiednio:

$$k_B = (40 \pm 2) \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad k_A = (40 \pm 3) \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Szacowane zakresy wartości współczynnika k wyznaczonego w etapie B doświadczenia na podstawie modelu drgania sprężyny pokrywają się z szacowanymi zakresami wartości tego współczynnika wyznaczonego z własności sprężystych sprężyny. To oznacza, że hipoteza – wzór na okres drgań – została zweryfikowana.

Mankamentem doświadczenia wydaje się być wpływ masy sprężyny na okres drgań. Wnioskujemy to po tym, że prosta najlepiej dopasowana do punktów pomiarowych nie przecina dokładnie początku układu współrzędnych – ale w zakresie niepewności, w skrajnym przypadku przecina (zobacz prostą A_{max}). Podczas analizy wyników doświadczenia pominęliśmy wyraz wolny B zależności liniowej $T^2 = Am + B$, jako mały. Jego uwzględnienie nie byłoby zgodne z modelem. Pominięcie masy sprężyny mieści się w zakresie niepewności wyznaczenia k .

III. Jakościowa analiza zjawiska na przykładzie niejednostajnego ruchu planety po orbicie eliptycznej

Do podstawy programowej fizyki w zakresie rozszerzonym wprowadzono wymagania (szczegółowe) dotyczące ruchu planet po orbitach eliptycznych. W tej części przeanalizujemy niejednostajny ruch planety (lub innego ciała niebieskiego) po orbicie eliptycznej dookoła Słońca (lub jakiegoś innego centrum grawitacyjnego o dużo większej masie od okrążającego je ciała niebieskiego). Analizę takiego ruchu przeprowadzimy po pierwsze w sposób jakościowy – zgodnie z wymaganiem szczegółowym: *Uczeń: analizuje jakościowo wpływ siły grawitacji Słońca na niejednostajny ruch planet po orbitach eliptycznych i siły grawitacji planet na ruch ich księżyców*. Oprócz analizy jakościowej wpływu sił grawitacji na niejednostajny ruch po orbicie eliptycznej, pokażemy analizę półilościową wykorzystującą umiejętności opisane w innych wymaganiach, takie jak: wykorzystywanie zasady zachowania energii, wykorzystywanie zasady zachowania momentu pędu lub II prawa Keplera.

Dla każdego sposobu analizy zagadnienia przyporządkujemy wymagania ogólne i szczegółowe, łącznie z wyróżnieniem kluczowego wymagania szczegółowego.

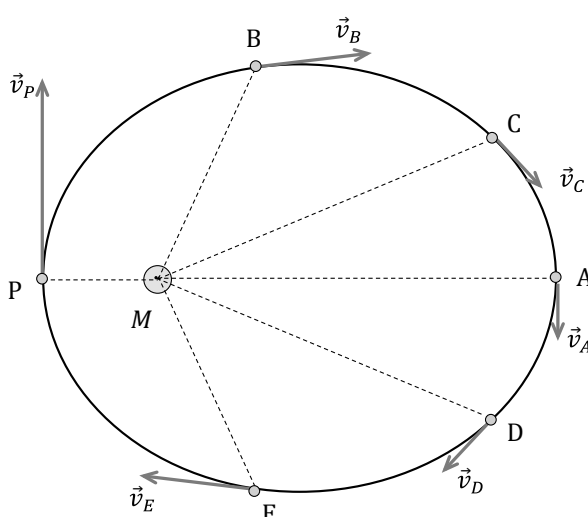
Po przeprowadzeniu analizy niejednostajnego ruchu po orbicie eliptycznej określimy w sposób jakościowy zakres wartości prędkości, jakie może przyjmować ciało niebieskie w ruchu po orbicie eliptycznej w punktach *peryhelium* (w ogólności *perycentrum*) i *aphelium* (w ogólności *apocentrum*).

Jakościowa analiza zmian wartości prędkości ciała na orbicie eliptycznej

Na rysunku obok przedstawiono położenia ciała w wybranych punktach (i chwilach): P, B, C, A, D, E – podczas jego ruchu po orbicie eliptycznej.

Rysunek 1.

W każdym z oznaczonych punktów narysowano wektor prędkości planety, który jest styczny do toru ruchu. Na rysunku zostały zachowane realne proporcje pomiędzy wartościami prędkości w oznaczonych punktach – wynikające z geometrii elipsy oraz np. z zasady zachowania momentu pędu. Dla ustalenia uwagi, elipsa na rysunku ma mimośród ok. $e = 0,55$.



Masa M centrum grawitacyjnego jest dużo większa od masy okrążającego je ciała, zatem środek masy układu przypada praktycznie w środku M .

Zadanie III.1.

Wykaż, że wartość prędkości v planety w ruchu po orbicie eliptycznej maleje – gdy planeta oddala się od Słońca (czyli zbliża się do punktu aphelium A, oddalając się od punktu peryhelium P) oraz rośnie – gdy planeta zbliża się do Słońca (czyli zbliża się do punktu peryhelium P, oddalając się od punktu aphelium A).

Dowód jakościowy albo pólnościowy powyższego twierdzenia przeprowadź niezależnie w oparciu o:

- analizę sił działających na planetę oraz zasady dynamiki,
- analizę zasady zachowania energii,
- analizę zasady zachowania momentu pędu,
- II prawo Keplera.

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
a) II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 5) [...] wykonuje graficznie działania na wektorach ([...] rozkładanie na składowe). II. Mechanika. Uczeń: 13) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał. IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 1) posługuje się prawem powszechnego ciążenia do opisu oddziaływania grawitacyjnego [...]; 3) analizuje jakościowo wpływ siły grawitacji Słońca na niejednostajny ruch planet po orbitach eliptycznych i siły grawitacji planet na ruch ich księżyców.
b) II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	II. Mechanika. Uczeń: 20) posługuje się pojęciami [...] energii kinetycznej, energii potencjalnej wraz z ich jednostkami; stosuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń. IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 7) oblicza zmiany energii potencjalnej grawitacji [...].

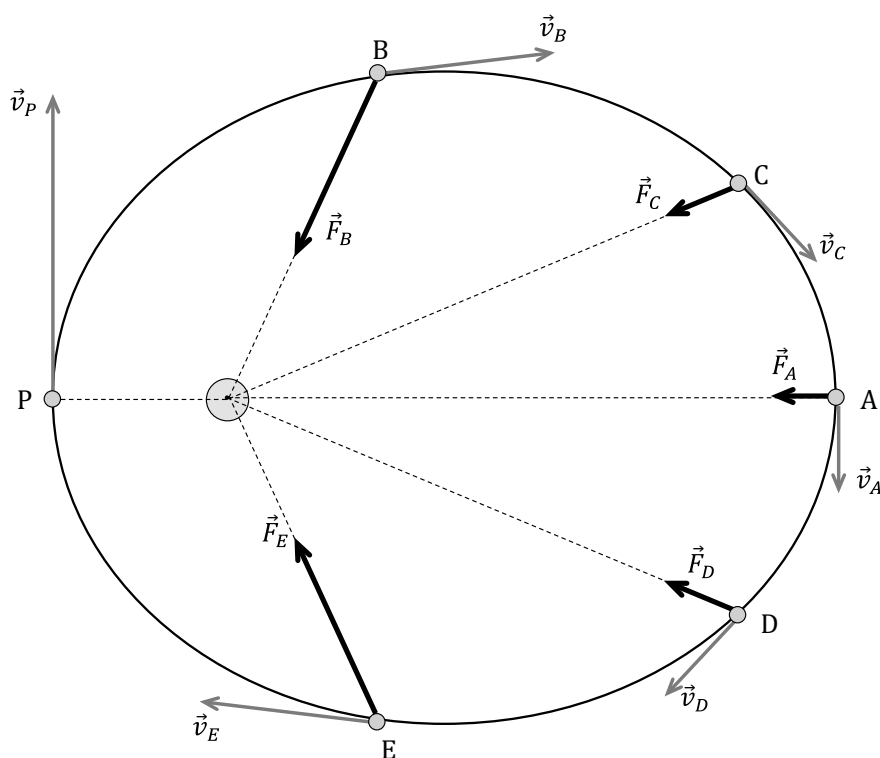
c) II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych. Komentarz: zjawisko ruchu planety po orbicie eliptycznej modelowane jest jako ruch punktu materialnego pod wpływem siły centralnej.	I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 20) tworzy modele fizyczne lub matematyczne wybranych zjawisk i opisuje ich założenia; ilustruje prawa i zależności fizyczne z wykorzystaniem tych założeń. III. Mechanika bryły sztywnej. Uczeń 6) posługuje się pojęciem momentu pędu punktu materialnego [...]; 7) stosuje zasadę zachowania momentu pędu.
d) II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 6) interpretuje II prawo Keplera jako konsekwencję zasady zachowania momentu pędu.

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

a) Analiza sił i zasad dynamiki.

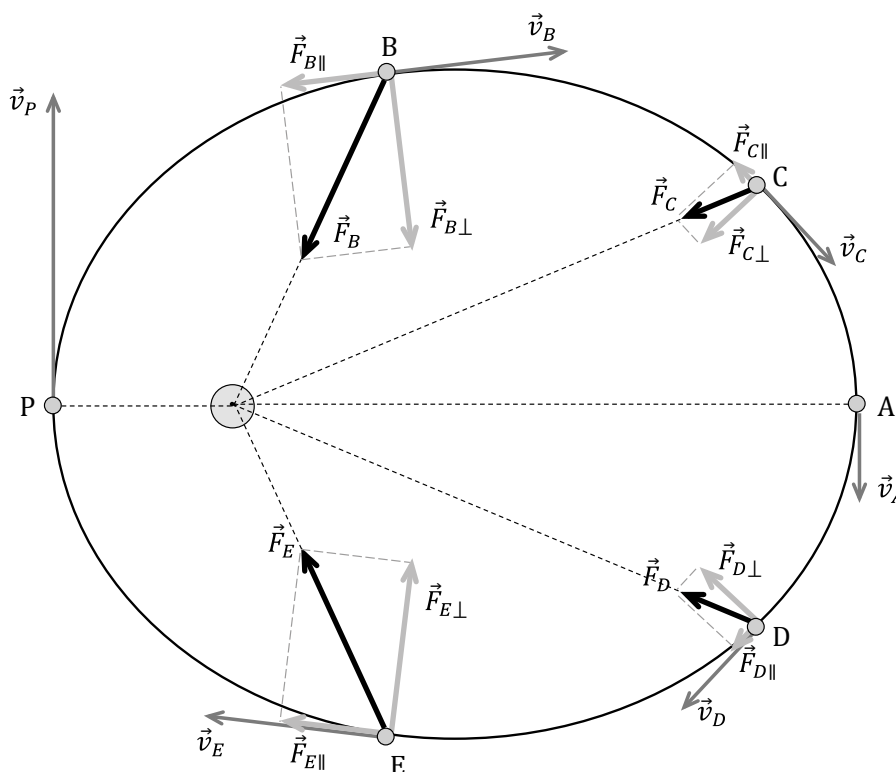
1. Na ciało niebieskie poruszające się po orbicie eliptycznej dookoła Słońca działa siła grawitacji skierowana do środka Słońca. Siła grawitacji jest siłą centralną. Rysunek 2. poniżej jest uzupełnieniem rysunku 1. o siły grawitacji działające na ciało w wybranych punktach: B, C, A, D, E. *Na rysunku zachowano proporcje między siłami wynikające z prawa odwrotnych kwadratów (ale nie oznaczono siły działającej w P ze względu na jej dużą wartość, zasłaniającą elementy rysunku).*

Rysunek 2.



2. Dokonujemy spostrzeżenia, że siła grawitacji – poza punktami P i A – nie jest prostopadła do prędkości, a zatem posiada składową styczną do elipsy w danym punkcie. Na rysunku 3. zilustrowano rozkład sił grawitacji w punktach B, C, D, E na składowe: styczną do elipsy i prostopadłą do tej stycznej.

Rysunek 3.



3. Gdy ciało porusza się od P do A, to styczna do elipsy składowa siły grawitacji ma przeciwny zwrot do wektora prędkości ciała poruszającego się po orbicie eliptycznej. Zgodnie z II zasadą dynamiki, w takim przypadku ciało posiada przyspieszenie (opóźnienie) w kierunku stycznym przeciwnie do zwrotu prędkości. W związku z tym wartość prędkości od P do A maleje.

Gdy ciało porusza się od A do P, to styczna do elipsy składowa siły grawitacji ma taki sam zwrot jak wektor prędkości ciała poruszającego się po orbicie eliptycznej. Zgodnie z II zasadą dynamiki, w takim przypadku ciało posiada przyspieszenie w kierunku stycznym zgodne ze zwrotem prędkości. W związku z tym wartość prędkości od A do P rośnie.

Uwaga: Podkreślamy, że składowa siły grawitacji styczna do elipsy powoduje niejednostajny ruch po orbicie eliptycznej, natomiast składowa prostopadła do tej stycznej odpowiada za zakrzywienie toru ruchu.

b) Analiza z wykorzystaniem zasady zachowania energii.

Całkowita energia mechaniczna E ciała poruszającego się jedynie pod wpływem siły grawitacji jest zachowana podczas ruchu:

$$E = E_{kin} + E_{pot} = \text{const}$$

Energia kinetyczna ciała o masie m i energia potencjalna grawitacji w polu centralnym, którego źródłem jest masa M , mają postać:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_{pot} = -\frac{GmM}{r}$$

Gdy podczas oddalania się od centrum grawitacyjnego promień wodzący r ciała na orbicie eliptycznej rośnie, to zgodnie ze wzorem energia potencjalna rośnie (wzrost następuje w przedziale ujemnych wartości energii potencjalnej). Ponieważ energia mechaniczna pozostaje stała, to wzrost energii potencjalnej oznacza, że energia kinetyczna maleje, w związku z czym maleje wartość prędkości ciała. Analogicznie dowodzimy wzrostu prędkości, gdy r maleje.

c) Analiza z wykorzystaniem zasady zachowania momentu pędu.

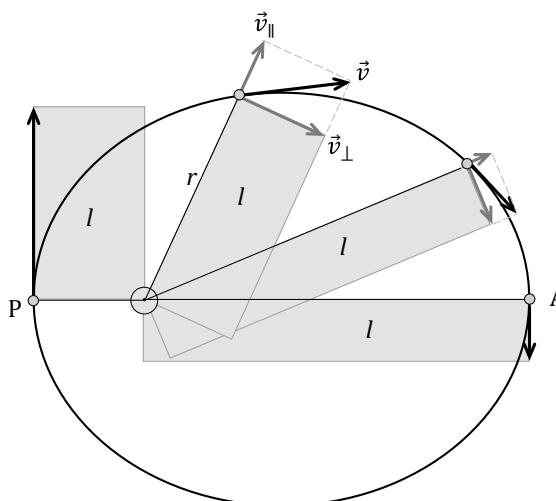
Moment pędu ciała poruszającego się pod wpływem siły centralnej jest zachowany:

$$L = mv_{\perp}r = \text{const1} \quad \rightarrow \quad l = \frac{L}{m} = v_{\perp}r = \text{const2}$$

gdzie $v_{\perp}$ oznacza wartość składowej prędkości prostopadłej do promienia wodzącego r , łączącego ciało z punktem centrum, do którego skierowana jest siła. Siła grawitacji jest siłą centralną. Z powyższego wzoru wynika, że gdy r rośnie (podczas oddalania się od centrum siły), to $v_{\perp}$ maleje. Ponieważ maleje składowa prędkości $v_{\perp}$, to także sama prędkość w tym przypadku maleje. Analogicznie dowodzimy wzrostu prędkości, gdy r maleje.

Rysunek 4.

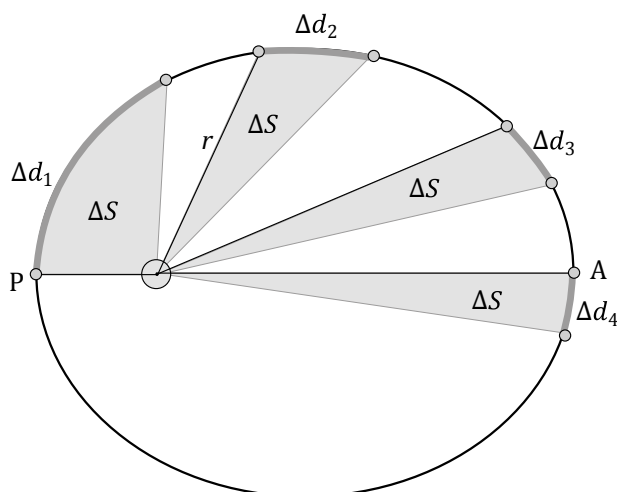
Na rysunku 4. przedstawiono interpretację geometryczną zasady zachowania momentu pędu. Zgodnie z podanym wyżej wzorem, wielkość $l = L/m$ można na rysunku utożsamić z polem abstrakcyjnego prostokąta o bokach $v_{\perp}$ i r . Zachowanie momentu pędu oznacza, że pole prostokąta nie zmienia się – gdy jeden bok rośnie (np. r), to drugi maleje (np. $v_{\perp}$).



d) Analiza z wykorzystaniem II prawa Keplera

Drugie prawo Keplera mówi, że promień wodzący r , łączący planetę ze środkiem Słońca, zakreśla w jednakowych odstępach czasu Δt powierzchnie o równych polach. Geometryczną ilustrację II prawa Keplera przedstawia rysunek poniżej.

Rysunek 5.



Z tego prawa wnioskujemy, że gdy r rośnie, to z równości pól wynika, że planeta zakreśla w jednakowych odstępach czasu coraz mniejsze łuki na orbicie eliptycznej: $\Delta d_1 > \Delta d_2 > \Delta d_3 > \Delta d_4$. To oznacza, że wartość prędkości wzdłuż kolejnych łuków jest coraz mniejsza. Analogicznie dowodzimy wzrostu prędkości, gdy r maleje.

Uwaga: Analiza rysunków 4.–5. może pomóc w realizacji wymagania *Uczeń: 6) interpretuje II prawo Keplera jako konsekwencję zasady zachowania momentu pędu.*

Jakościowa analiza zakresu wartości prędkości w skrajnych punktach elipsy.

Dalej przeanalizujemy (jakościowo), jaki może być zakres wartości prędkości ciała na orbicie eliptycznej w punkcie perycentrum P, gdy zadana jest odległość r_p od P do punktu centrum grawitacyjnego, oraz analogicznie – jaki może być zakres wartości prędkości w punkcie apocentrum A, gdy dana jest odległość r_A od A do centrum grawitacyjnego.

Zadanie III.2.

Ciało niebieskie porusza się po orbicie eliptycznej pod wpływem siły grawitacji dookoła sferycznego ciała o dużo większej masie M . Odległość od środka M do najbliższego punktu P orbity wynosi r_p . Wektor prędkości w punkcie P jest prostopadły do promienia wodzącego – łączącego ciało ze środkiem M .

Określ zakres wartości prędkości, jakie może mieć to ciało w punkcie P.

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 3) analizuje jakościowo wpływ siły grawitacji Słońca na niejednostajny ruch planet po orbitach eliptycznych [...]; 4) wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej, oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu; [...] 7) oblicza zmiany energii potencjalnej grawitacji i stosuje zasadę zachowania energii do ruchu orbitalnego; posługuje się pojęciem drugiej prędkości kosmicznej (prędkości ucieczki).

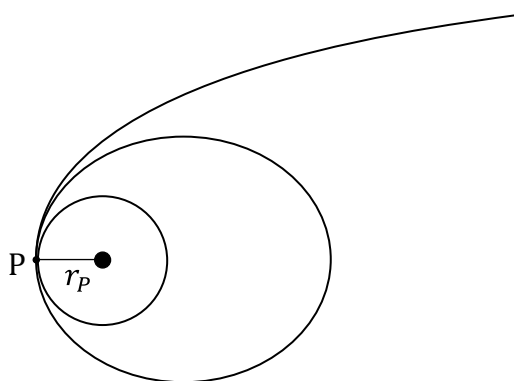
Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

Wartość prędkości v_P ciała na orbicie eliptycznej w punkcie P powinna spełniać następujące warunki:

1. Musi być większa od wartości prędkości $v_{p(orb)}$, jaką miałyby ciało w ruchu po orbicie kołowej o promieniu r_P – większa, gdyż począwszy od punktu P ciało oddala się od M.
2. Musi być mniejsza od wartości prędkości ucieczki $v_{p(uc)}$ z punktu P – mniejsza, ponieważ w innym przypadku ciało oddaliłoby się nieskończenie daleko po torze otwartym, który nie może być elipsą.

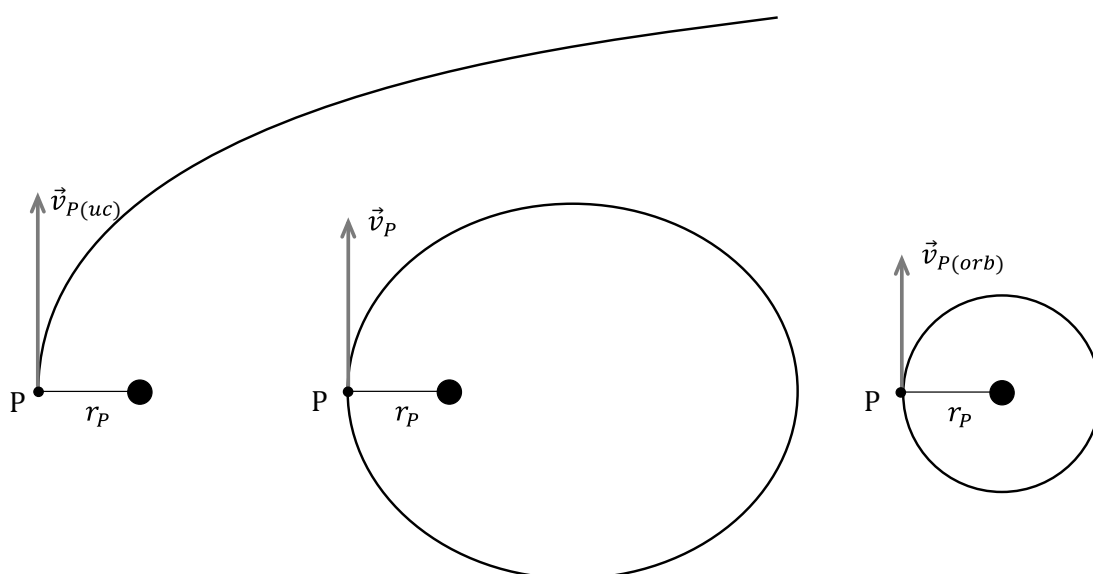
Warunki 1. i 2. określają nam zakres wartości prędkości na orbicie eliptycznej w P.

$$v_{P(uc)} > v_P > v_{P(orb)} \rightarrow \sqrt{\frac{2GM}{r_P}} > v_P > \sqrt{\frac{GM}{r_P}}$$



Rysunek 6. jest ilustracją omówionego zagadnienia.

Rysunek 6.

**Zadanie III.3.**

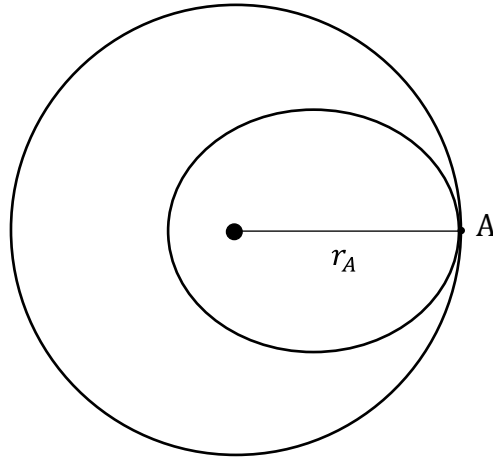
Ciało niebieskie porusza się po orbicie eliptycznej pod wpływem siły grawitacji dookoła sferycznego ciała o dużo większej masie M . Odległość od środka M do najdalszego punktu A orbity wynosi r_A . Wektor prędkości w punkcie A jest prostopadły do promienia wodzącego – łączącego ciało ze środkiem M .

Określ zakres wartości prędkości, jakie może mieć to ciało w punkcie A.

Wymagania ogólne (R)	Wymagania szczegółowe (R)
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 3) analizuje jakościowo wpływ siły grawitacji Słońca na niejednostajny ruch planet po orbitach [...]; 4) wskazuje siłę grawitacji jako siłę dośrodkową w ruchu po orbicie kołowej, oblicza wartość prędkości na orbicie kołowej o dowolnym promieniu [...].

Przykładowe rozwiązanie z komentarzem

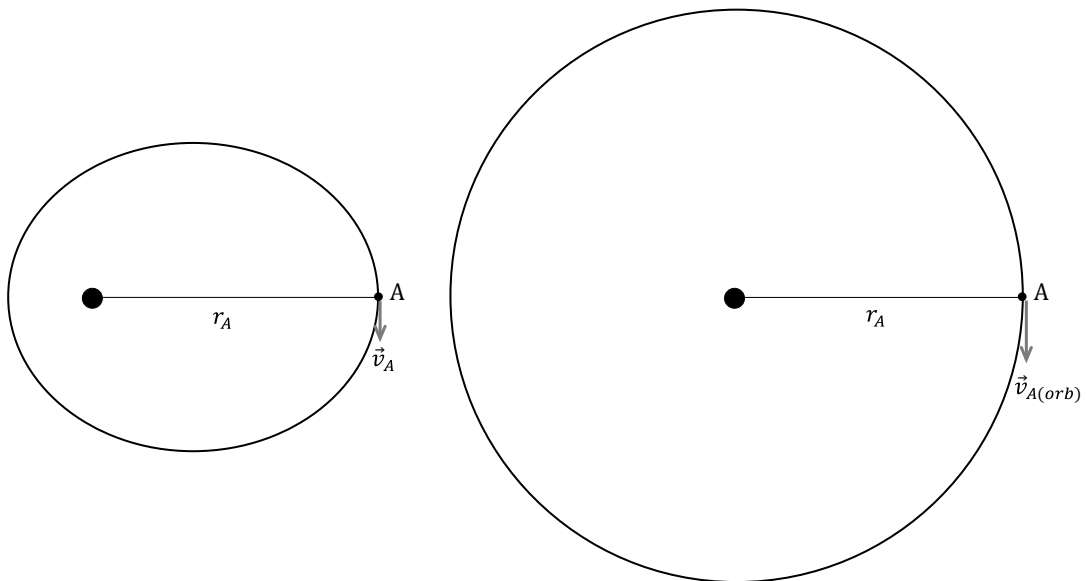
Wartość prędkości v_A ciała na orbicie eliptycznej w punkcie A musi być mniejsza od prędkości $v_{A(orb)}$, jaką miałoby ciało w ruchu po orbicie kołowej o promieniu r_A – mniejsza, gdyż po wyminięciu punktu A ciało zbliża się do M („spada pod orbitę kołową”). Jednocześnie, żeby od punktu A nie odbywał się spadek radialny ciała na centrum grawitacyjne M , to v_A musi być różne od zera.



$$0 < v_A < v_{A(orb)} \rightarrow 0 < v_A < \sqrt{\frac{GM}{r_A}}$$

Rysunek 7. jest ilustracją omówionego zagadnienia.

Rysunek 7.



Uwaga: Gdy ustalone są r_p oraz r_A to wartości prędkości w punktach A i P przyjmują konkretne wartości – wynikające z zasady zachowania energii oraz z zasady zachowania momentu pędu. Przykładowe rysunki 6. i 7. wykonano konsekwentnie z zachowaniem proporcji pomiędzy wszystkimi wartościami prędkości zgodnie ze wspomnianymi zasadami zachowania i geometrią przedstawionej elipsy.

vademecum.ore.edu.pl