Ogólne uwagi metodyczne do podręcznika *Z fizyką w przyszłość* *Część 2*

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

Rozdział 7. Drgania i fale mechaniczne

Opis ruchu harmonicznego należy rozpocząć od powtórzenia wiadomości, które na temat tego zjawiska uczniowie mają z gimnazjum. W tym celu najlepiej posłużyć się (dostępną dla nauczycieli korzystających z podręczników ZamKoru) aplikacją Whiteboard do rozdziału 9. *Drgania i fale sprężyste*, obejrzeć znajdujące się tam animacje i rozwiązać z uczniami interaktywne zadania.

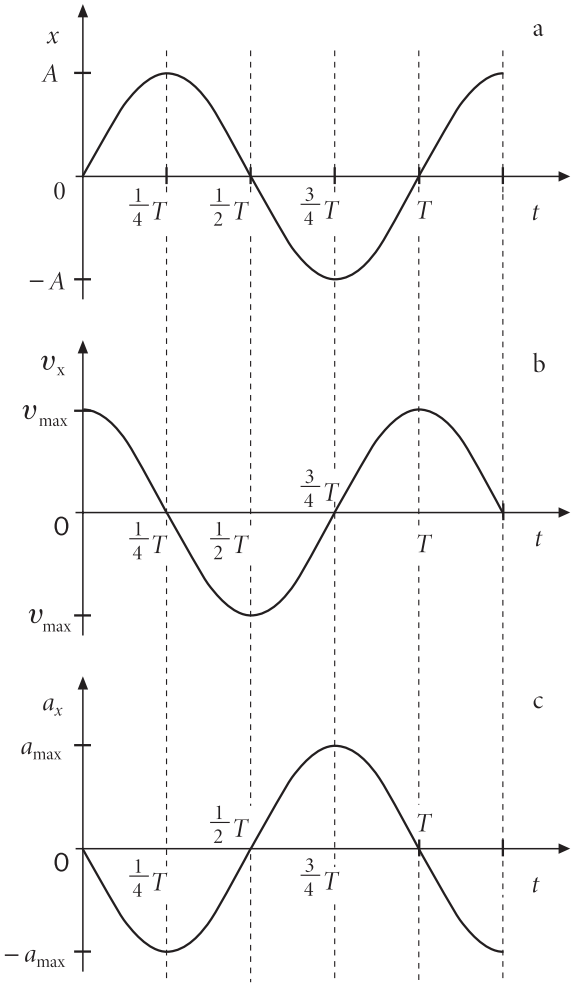
Gimnazjalna podstawa programowa nie zawiera hasła „siły sprężystości". Jednak trudno sobie wyobrazić omawianie mechaniki bez używania tego pojęcia. Na wszelki więc wypadek należy rozpocząć od wprowadzenia go. Można w tym celu rozważyć siły działające w układzie wygięty brzeszczot i naciskający na niego palec (rys. 1)[1].

Rys. 1

Przy odkształcaniu brzeszczota pojawiają się w nim siły wynikające z elektromagnetycznych oddziaływań międzycząsteczkowych. Siły te dążą do przywrócenia mu pierwotnego kształtu. Wskutek tego brzeszczot działa siłą na palec i tę siłę nazywamy siłą sprężystości.

Siły dążące do przywrócenia pierwotnego kształtu rozciągniętej sprężynie to także siły o naturze elektromagnetycznej wynikające z oddziaływań międzycząsteczkowych, ale siłą sprężystości będziemy nazywać siłę, którą sprężyna działa na przyczepiony do niej klocek.

Uczniowie klas o rozszerzonym programie fizyki powinni dostrzegać związek opisu matematycznego z przebiegiem i cechami zjawiska fizycznego, powinni umieć interpretować wyprowadzone wzory i wyciągać z nich wnioski. Jednak przed wprowadzeniem formalnego opisu, zawsze należy się starać, aby najpierw zostało wypowiedziane wszystko, co da się zauważyć podczas uważnej obserwacji zjawiska (jeśli potrzeba, wielokrotnie powtarzanej). Pożyteczne jest dokonanie analizy jakościowej: z cech siły wypadkowej w ruchu harmonicznym i z drugiej zasady dynamiki wynika, że przyspieszenie ciała drgającego jest stale zwrócone do położenia równowagi, a jego wartość ulega zmianie. Ta informacja pozwala z kolei wyciągnąć wnioski dotyczące zmiany prędkości i umiejscowić ruch harmoniczny w grupie ruchów niejednostajnie zmiennych.



Rys. 2

W trosce o dobre zrozumienie charakteru zmienności $v_x(t)$ i $a_x(t)$ należy bardzo starannie odróżniać wartości wektorów $\vec{v}$ i $\vec{a}$ (v i a) od współrzędnych tych wektorów (v_x i a_x). Zwrot osi x przyjęty do opisu ruchu nie ulega zmianie, więc zwrot każdego z wektorów $\vec{v}$ i $\vec{a}$ w niektórych przedziałach okresu jest zgodny z osią, a w innych przedziałach przeciwny, co oznacza zmianę znaku współrzędnych (a wartość wektora nie może być ujemna). Uczeń musi wiedzieć, że ujemny znak v_x lub a_x oznacza jedynie to, że zwrot odpowiedniego wektora jest przeciwny do zwrotu osi x, a nie informuje o tym, czy ruch jest przyspieszony, czy opóźniony. Jeśli nauczyciel, ucząc kinematyki rok lub dwa lata wcześniej, utrwalał w umysłach uczniów przekonanie, że w ruchu opóźnionym po linii prostej przyspieszenie „jest ujemne" lub „ma wartość ujemną", będzie miał tutaj nie lada kłopot z wykorzenieniem tej fałszywej wiedzy. Uczniowie, którzy przeanalizowali ruch klocka

[1] Zdjęcie pochodzi z filmu *Wytwarzanie fali dźwiękowej* zamieszczonego w *Portalu Ucznia* w zakładce *Animacje i sfilmowane doświadczenia dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych*.

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

zaczepionego na końcu sprężyny łatwo zauważą, że w drugiej ćwiartce okresu (rys. 2) ciało wraca do położenia równowagi ruchem przyspieszonym, podczas gdy a_x jest mniejsze od zera. Także stwierdzenie, że w ruchu opóźnionym a_x jest mniejsze od zera, nie jest zawsze prawdziwe (patrz trzecia ćwiartka okresu), na co już wielokrotnie zwracaliśmy uwagę.

Uczniowie zainteresowani fizyką mogą pytać o ruch odważnika zaczepionego na końcu pionowo zawieszonej sprężyny. W tym przypadku siła powodująca drgania nie jest równa jedynie sile sprężystej pochodzącej od sprężyny, lecz jest wypadkową (zmiennej) siły sprężystości i (stałej) siły ciężkości. Mogłoby się zatem wydawać, że ruch odważnika nie jest ruchem harmonicznym. Jednak i w tym przypadku wartość siły wypadkowej jest wprost proporcjonalna do wartości wychylenia odważnika z położenia równowagi, z tym, że wychylenie nie jest w tym przypadku równoznaczne z odkształceniem sprężyny (jak to jest w przypadku sprężyny ułożonej poziomo). Analiza tych drgań jest bardzo interesująca, bowiem może się zdarzyć, że w górnym skrajnym położeniu sprężyna działa na odważnik siłą zwróconą w górę, a więc nie jest zwrócona w stronę położenia równowagi! Zagadnienie to zostało opisane dokładnie w obu zbiorach zadań (J. Salach, *Zbiór zadań z fizyki dla uczniów klas licealnych o poszerzonym programie fizyki* i A. Bożek, K. Nessing, J. Salach, *Z fizyką w przyszłość. Zbiór zadań dla szkół ponadgimnazjalnych. Zakres rozszerzony. Cz. 2*). Warto także sięgnąć do internetowego *Multimedialnego kursu fizyki ZamKoru*.

Druga część rozdziału obejmuje fale sprężyste i elementy akustyki. Z istotą fali sprężystej uczniowie zapoznali się już w gimnazjum. Wiedzą zatem, że jeśli pewien fragment ośrodka sprężystego ulegnie odkształceniu, to odkształcenie to zaczyna się przenosić w ośrodku ze stałą szybkością, zależną od cech ośrodka (jego gęstości i sprężystości). Jest to tzw. impuls falowy. Przenosi się samo odkształcenie (przekazywana jest więc energia), zaś cząstki ośrodka (czyli grupy cząsteczek) wykonują drgania wokół swoich położeń równowagi, same nie przenoszą się wraz z falą. Jeśli źródło drga ruchem harmonicznym, w ośrodku rozchodzą się fale harmoniczne (sinusoidalne) o takim samym okresie jak okres drgań źródła. We wszystkich opisach zjawisk falowych w omawianym podręczniku pomijamy tłumienie fal. Tak więc w przypadku fali płaskiej uważamy, że jej amplituda nie zależy od odległości od źródła. W przypadku fali kulistej amplituda jest odwrotnie proporcjonalna do odległości. Oczywiście nie wynika to z tłumienia, lecz z faktu, że energia wysyłana przez źródło punktowe rozkłada się na powierzchnię kuli o coraz większym promieniu (natężenie fali jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości od źródła i wprost proporcjonalne do kwadratu amplitudy).

Funkcja $y(x,t)$ jest sinusoidalną funkcją dwóch zmiennych: czasu t i odległości od źródła x, bo faza fali $2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)$ jest ich funkcją liniową każdej z tych zmiennych. Omawiane są wnioski wynikające z funkcji falowej: dla ustalonej wartości x można narysować wykres $y(t)$ i na osi x odczytać długość fali; dla ustalonej odległości x od źródła można narysować wykres $y(t)$ i na osi t odczytać okres. Jeśli dwa punkty ośrodka są w zgodnej fazie drgań (czyli ich faza różni się o $2\pi n$), to ich wzajemna odległość jest równa $n\lambda$.

Interferencję dwóch fal o tych samych częstotliwościach (i równoległych wychyleniach) da się opisać matematycznie (stosując wzór na sumę sinusów dwóch kątów) i interpretując otrzymany wynik lub składając je graficznie, co też jest bardzo pouczające. Dokonując graficznego składania dwóch fal o różnych częstotliwościach można zauważyć, że w przypadku, gdy jedna z częstotliwości jest całkowitą wielokrotnością drugiej, powstaje fala niesinusoidalna, ale okresowa o częstotliwości równej mniejszej z częstotliwości fal składowych (tzw. częstotliwości podstawowej). Przypadek ten jest ważny w akustyce (powstawanie dźwięku przez nakładanie się tonu podstawowego i tonów wyższych harmonicznych).

Pełne zrozumienie zjawiska interferencji ułatwia:

1. graficzne składanie fal,
2. opis matematyczny,
3. analiza doświadczenia komputerowego pt. *Interferencja dwóch fal kolistych*, znajdującego się w portalu *ZamKor Laboratorium* w zakładce *Symulacje zjawisk i doświadczeń*.

Uczeń powinien umieć wypowiadać i stosować w praktyce warunki maksymalnego wzmocnienia i maksymalnego osłabienia nakładających się fal (rozchodzących się ze źródeł drgających w fazach zgodnych i przeciwnych), posługując się pojęciami różnicy faz oraz różnicy dróg fal od obu źródeł do danego punktu.

Warto już teraz zwrócić uwagę na pewną właściwość fal, którą muszą one posiadać, aby mogły z sobą interferować. W przypadku fal sprężystych zwrócenie uwagi na tę właściwość nie jest konieczne, bo we wszystkich doświadczeniach interferujące fale mają je w sposób naturalny. Chodzi o spójność fal. Fale są spójne, gdy ich różnica faz w danym (każdym!) punkcie ośrodka jest niezależna od czasu. Tylko wtedy obraz interferencji będzie „ustabilizowany", linie wzmocnień i osłabień nie będą się przesuwać. Źródła spójne, tzn. takie, których różnica faz

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

drgań jest dowolna, ale stała w czasie, wysyłają fale spójne. Źródła fal świetlnych często nie są spójne, dlatego do tej sprawy powrócimy jeszcze w dziale poświęconym optyce.

Niezwykle ważnym przypadkiem interferencji dwóch fal są fale stojące. Powstają one – jak wiadomo – gdy nałożą się dwie identyczne fale poruszające się w dwie przeciwne strony, np. padająca i odbita, jeśli fala odbita wraca wzdłuż tej samej prostej. Składając matematycznie dwie takie fale otrzymujemy w wyniku czynnik zależny tylko od położenia – to amplituda drgań i tzw. czynnik falowy, zależny od czasu. Możemy zrezygnować z matematycznego opisu fali stojącej, jednak uczeń powinien umieć to zjawisko opisać, a więc wiedzieć, że poszczególne cząstki środowiska, w którym wytworzono falę stojącą, wykonują drgania o tych samych częstotliwościach, ale o różnych amplitudach, przy czym fazy drgań wszystkich cząstek leżących między dwoma sąsiednimi węzłami są jednakowe. Składanie graficzne dwóch fal biegnących w przeciwne strony, tzn. znajdowanie na podstawie rysunku wypadkowego wychylenia jest bardzo pouczające, ale też bardzo czasochłonne. Można w tym celu użyć symulacji komputerowej *Fala stojąca* znajdującej się w portalu *ZamKor Laboratorium* lub odpowiednio przygotowanych foliogramów.

Jedynym hasłem dotyczącym akustyki jest w podstawie programowej zjawisko Dopplera. Pozostałe treści zamieszczone w podręczniku są krótkim przypomnieniem i uzupełnieniem wiedzy gimnazjalnej.

W akustyce omawiamy głównie cechy dźwięku. Nie powinno się wszystkich fal akustycznych nazywać dźwiękami, bowiem prócz dźwięków wśród wrażeń słuchowych rozróżniamy jeszcze tony i szmery. Tony powstają, gdy źródła fal (a zatem i cząstki ośrodka, w którym rozchodzą się fale) drgają dokładnie ruchem harmonicznym, dźwięki, gdy źródła drgają ruchem okresowym, ale nie harmonicznym. Tony i dźwięki są więc falami akustycznymi okresowymi. Szmery słyszymy, gdy źródła drgają ruchem nieokresowym.

Omawiając cechy dźwięku odróżniamy cechy obiektywne (fizyczne) od odpowiadających im cech subiektywnych. Obiektywne to: częstotliwość, natężenie i związany z nim poziom natężenia oraz tzw. widmo dźwięku, a więc tony składające się na dany dźwięk (ich liczba, amplitudy i częstotliwości). Cechy subiektywne to: wysokość, głośność i barwa.

Na koniec kilka refleksji dotyczących właściwego rozumienia zjawiska Dopplera. Często popełnia się tu pewne nadużycie słowne, prowadzące do niepotrzebnych nieporozumień. Mówi się mianowicie, że w przypadku gdy źródło zbliża się do spoczywającego obserwatora (słuchacza), to częstotliwość odbieranego przez niego dźwięku „zwiększa się", zamiast „jest większa od częstotliwości dźwięku wysyłanego przez źródło". Tylko to drugie sformułowanie jest poprawne (bo zawsze prawdziwe). Sam fakt, że częstotliwość odbierana jest większa od nadawanej nie przesądza jeszcze sprawy, czy pozostaje ona stała, czy też wzrasta lub maleje. Gdy szybkość zbliżania się źródła do słuchacza nie zmienia się, to odbierana częstotliwość także pozostaje stała. Gdy szybkość ta wzrasta, wzrasta także odbierana częstotliwość, gdy szybkość zbliżania się źródła maleje, częstotliwość odbieranego dźwięku także maleje, będąc w każdym z tych przypadków większą od częstotliwości dźwięku wysyłanego przez źródło. Podobnie jest w przypadku oddalania się źródła od obserwatora – częstotliwość odbierana może maleć, ale może też wzrastać, będąc w każdym przypadku mniejszą od częstotliwości dźwięku wysyłanego. Warto te przypadki przemyśleć (łącznie z tymi, w których obserwator zbliża się lub oddala od spoczywającego źródła), a także uświadomić sobie, że przypomniane tu fakty wynikają z wzoru opisującego zjawisko Dopplera.

Bywa on zapisywany w różny sposób w zależności od towarzyszącej mu interpretacji.

W naszym podręczniku ma on postać:

$$\nu' = \nu \frac{v_{\mathrm{f}} \pm v_{\mathrm{odb.}}}{v_{\mathrm{f}} \pm v_{\mathrm{z}}}$$

Jeśli prędkości ruchomych obiektów (źródła, odbiornika) mają takie same zwroty jak prędkość fali akustycznej, to we wzorze wybieramy znaki minus; jeśli prędkości te mają zwroty przeciwne niż prędkość fali akustycznej, to wybieramy znaki plus.

W podręczniku nie piszemy o dudnieniach, co nie oznacza, że nauczyciel nie może wspomnieć o tym ciekawym zjawisku, zwłaszcza że jest ono bardzo łatwe do zademonstrowania, jeśli mamy dwa kamertony lub gitarę.

Zachęcamy do skorzystania przy realizacji tego działu z multimedialnego kursu fizyki ZamKoru, który jest dostępny bezpłatnie dla każdego nauczyciela korzystającego z podręczników ZamKoru oraz z ogólnie dostępnej na platformie edukacyjnej aplikacji *Wybieram e-Fizykę*.

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

Rozdział 8. Zjawiska termodynamiczne

8.1. Ciśnienie gazu w naczyniu zamkniętym

W podręczniku zrezygnowałyśmy z wyprowadzenia wzoru na ciśnienie gazu w naczyniu zamkniętym, wypisujemy gotowy wzór na stronie 67; natomiast dużą wagę przywiązujemy do wyjaśnienia z punktu widzenia teorii kinetyczno-molekularnej, dlaczego gaz wywiera ciśnienie na ścianki naczynia, w którym się znajduje. Tak więc uczeń powinien sobie uświadamiać, że o tym ciśnieniu decydują dwa czynniki: liczba cząsteczek gazu w jednostce objętości (od niej zależy częstość uderzeń cząsteczek w ściankę) i średnia energia kinetyczna ich ruchu postępowego (translacji), z którą związana jest średnia siła uderzeń. Średnia siła wywierana przez pojedynczą cząsteczkę podczas zderzenia ze ścianką jest przeciwna do średniej siły wywieranej przez ściankę na cząsteczkę (III zasada dynamiki), a ta druga równa jest szybkości zmiany jej pędu (II zasada dynamiki).

Zdefiniowano średni kwadrat szybkości cząsteczek. Nie jest on równy średniej szybkości cząsteczek podniesionej do kwadratu; fakt, że taka równość nie zachodzi, wynika z definicji $\overline{v}$ i $\overline{v^2}$:

$$\overline{v} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i \qquad \overline{v^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i^2$$

Definicja średniego kwadratu szybkości umożliwia sformułowanie w paragrafie 8.4 zasady ekwipartycji energii.

Znając wzór na ciśnienia gazu w zbiorniku zamkniętym uczeń powinien umieć samodzielnie wyciągać z niego różne wnioski i przekształcać wzór do innych postaci.

8.2. Równanie stanu gazu doskonałego. Równanie Clapeyrona

Temat ten zawsze występował w programie szkoły średniej, jest więc dobrze znany. Niezmiernie ważną sprawą jest tutaj wprowadzenie temperatury bezwzględnej gazu (wielkości makroskopowej) jako wielkości wprost proporcjonalnej do średniej energii kinetycznej ruchu postępowego cząsteczek (wielkość mikroskopowa).

Po wprowadzeniu nowej stałej, tzn. stałej Boltzmanna k (jako ilorazu $\frac{R}{N_A}$), otrzymujemy dokładny związek między średnią energią kinetyczną ruchu postępowego cząsteczek gazu (ciała) a jego temperaturą bezwzględną: $\overline{E}_k = \frac{3}{2}kT$.

8.3. Szczególne przemiany gazu doskonałego

Prawa rządzące przemianami szczególnymi gazu doskonałego (izoprzemianami) wyprowadzamy dedukcyjnie z równania Clapeyrona, ustalając kolejno każdą z wielkości charakteryzujących stan fizyczny gazu (T, V i p).

Uczeń w każdym przypadku powinien umieć wyrazić wartości stałych pV (w prawie Boyle'a przez n, R, T), $\frac{p}{T}$ (w prawie Charles'a przez n, R, V) i $\frac{V}{T}$ (w prawie Gay-Lussaca przez n, R, p), aby prawidłowo interpretować wykresy ilustrujące przemiany szczególne. Tak np. w przemianie izobarycznej $\frac{V}{T} = \frac{nR}{p} = \text{const}$; izobary w układzie współrzędnych V,T przedstawiają półproste, których tangensy kątów nachylenia do osi T (współczynniki kierunkowe) są odwrotnie proporcjonalne do ciśnienia gazu. Jest tutaj okazja do powtórzenia kierunkowego równania prostej, którego znajomość przydaje się w różnych działach fizyki.

Każde ze wspomnianych praw odnoszących się do szczególnych przemian gazu doskonałego należy kojarzyć z ich interpretacją mikroskopową, która umożliwia ich głębsze zrozumienie. Uczeń musi zatem wiedzieć nie tylko „jak jest?" (o czym mówią prawa gazowe), lecz także „dlaczego tak jest?"; na to drugie pytanie odpowiadamy na podstawie teorii kinetyczno-molekularnej gazów. Interpretując z tego punktu widzenia każdą przemianę gazu, dobrze jest powołać się na zgodność tej interpretacji z wnioskami wynikającymi ze wzoru na ciśnienie gazu w zbiorniku zamkniętym. Na przykład omawiając przemianę izobaryczną, warto zapytać, jak muszą się zmienić wielkości $\frac{N}{V}$ i $\overline{E}_k$, aby możliwe było utrzymanie stałego ciśnienia gazu.

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

8.4. Energia wewnętrzna gazu. Stopnie swobody

Pojęcie energii wewnętrznej ciała jest pojęciem kluczowym w termodynamice. Energia wewnętrzna stanowi sumę wszystkich rodzajów energii cząsteczek ciała, przy czym energię kinetyczną liczymy tutaj względem ścianek zbiornika lub ogólniej w układzie środka masy. W fizyce składnikami energii wewnętrznej są tylko takie rodzaje energii cząsteczek, które w procesach fizycznych ulegają zmianie, a więc energia kinetyczna wszystkich rodzajów ich ruchów i energia potencjalna ich wzajemnego oddziaływania. W gazie doskonałym brak oddziaływań międzycząsteczkowych, więc energia potencjalna cząsteczek jest równa zeru.

Aby sformułować zasadę ekwipartycji energii, wprowadzamy pojęcie liczby stopni swobody *i* (na każdy stopień swobody cząsteczki przypada taka sama średnia energia kinetyczna $\frac{1}{2}kT$).

W tym rozdziale zajmujemy się tylko energią wewnętrzną gazu doskonałego. Ważne elementy wiedzy ucznia (umożliwiające prawidłowe rozwiązywanie zadań z termodynamiki) są następujące informacje:

- Wpływ na ciśnienie gazu w zbiorniku ma tylko średnia energia kinetyczna ruchu postępowego cząsteczek (3 stopnie swobody). Temperatura gazu (ogólnie ciała) również związana jest tylko z tą energią.
- W przypadku gazu doskonałego o cząsteczkach jednoatomowych suma średnich energii kinetycznych ich ruchu postępowego jest zarazem jego energią wewnętrzną $U = \frac{3}{2}kT \cdot N$.
- Energia wewnętrzna gazu doskonałego, składającego się z cząsteczek dwu i więcej atomowych, jest sumą energii wewnętrznych przypadających na wszystkie stopnie swobody cząsteczki, a wiec $U = \frac{i}{2}kT \cdot N$.
- Z obu wzorów wynika, że energia wewnętrzna gazu doskonałego jest tylko funkcją jego temperatury i liczby cząsteczek, a zmiana energii wewnętrznej danej masy gazu jest funkcją tylko jego temperatury.
- Energia wewnętrzna innych ciał, w tym także gazów rzeczywistych, jest także funkcją ich objętości, bo w tych ciałach energia potencjalna cząsteczek jest różna od zera (występują oddziaływania międzycząsteczkowe), a energia potencjalna zależy od wzajemnej odległości cząsteczek.

Okazuje się, że przypomniane tu informacje są na ogół niewystarczająco utrwalone, co znajduje wyraz w słabych wynikach sprawdzianów, a także zadań maturalnych z termodynamiki.

Rozdział 9. Pole elektrostatyczne

Rozpoczynając omawianie elektrostatyki, warto sprawdzić, co uczniowie pamiętają z gimnazjum. Najlepiej posłużyć się w tym celu aplikacją Whiteboard. Zawiera ona treści obejmujące sposoby elektryzowania ciał, oddziaływania ciał naelektryzowanych, cechy przewodników i izolatorów, zasadę zachowania ładunku i elementarne spojrzenie na pole elektrostatyczne. Obejrzenie znajdujących się w aplikacji filmów, animacji i rozwiązanie z uczniami interaktywnych zadań da podstawę do dalszej pracy.

Elektrostatyka w nowej podstawie programowej dla szkół ponadgimnazjalnych zawiera 12 haseł. Są one sformułowane tak ogólnie, że pozwalają na dowolnie głęboką ich interpretację.

Autorki wybrały drogę pośrednią i wyważoną.

W porównaniu z opracowaniami tego działu w poprzednich podręcznikach ZamKoru elektrostatyka w podręczniku *Z fizyką w przyszłość* jest znacznie łatwiejsza.

Nie ma w nim usuniętego z podstawy obliczenia momentu magnetycznego dipola, prawa Gaussa i wynikających z niego wniosków, związanych z przeprowadzaniem dość trudnych obliczeń, np. natężenia pola elektrostatycznego nieskończenie wielkiej, cienkiej metalowej płyty czy natężenia pola między okładkami kondensatora $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$. Ale to z kolei spowodowało konieczność zapisania bez wyprowadzenia wzoru wyrażającego zależność pojemności kondensatora płaskiego od powierzchni płytek i odległości między nimi. W zamian proponujemy proste doświadczenie, w którym te zależności można zaobserwować jakościowo.

Wielkości opisujące pole elektryczne oraz wykonywaną w nim pracę i energię potencjalną wprowadzono na zasadzie analogii do pola grawitacyjnego. Przysłuży się to utrwaleniu wiedzy ucznia o polu grawitacyjnym, poszerzy zrozumienie pól zachowawczych i pomoże uczniowi w zapamiętaniu wzorów.

Mimo że podstawa programowa nie zawiera pojęcia potencjału, autorki wprowadzają je jako ich zdaniem niezbędne np. do zdefiniowania pojemności przewodnika czy wprowadzenia pojęcia napięcia elektrycznego.

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

Usunięto, nieobecne w podstawie programowej, wyprowadzenie związku między natężeniem pola i różnicą potencjałów, wskutek czego przy omawianiu kondensatora nie można było wykorzystać tego związku do wprowadzenia wzoru $E = \frac{U}{d}$.

Inne tradycyjnie opracowywane w liceum treści, nieobecne w nowej podstawie programowej, np. łączenie kondensatorów, umieszczono na kolorowym tle z informacją, że jest to materiał uzupełniający. Podobnie postąpiono z elementarną wiedzą na temat roli dielektryka w kondensatorze. Nauczyciel sam zdecyduje o realizacji tych treści.

W tym rozdziale proponujemy 11 doświadczeń, których wykonanie nie wymaga skomplikowanego i niedostępnego sprzętu.

Wielkim ułatwieniem w pracy nauczyciela będzie korzystanie z multimedialnego kursu fizyki. W dziesięciu lekcjach zawarto poszerzoną wiedzę z elektrostatyki, opracowaną z użyciem filmów, animacji, gotowych wyprowadzeń wzorów i zadań interaktywnych.

Rozdział 10. Prąd stały

Podobnie jak w przypadku innych rozdziałów na początku należy sprawdzić, co uczniowie pamiętają z gimnazjum, w którym były omawiane zagadnienia dotyczące prądu stałego. W tym celu najlepiej wykorzystać rozdział 10. aplikacji gimnazjalnej Whiteboard.

Uczniowie byli także zobowiązani do wykonania trzech doświadczeń. Można je powtórnie wykonać lub przynajmniej obejrzeć w wersji sfilmowanej, korzystając z *Portalu Ucznia* (zakładka: *Nowy egzamin gimnazjalny*, *Obowiązkowe doświadczenia fizyczne*).

10.1. Podstawowe prawa prądu stałego

Rozdział 10 zatytułowany *Prąd stały* zawiera wszystkie te tematy, które tradycyjnie znajdowały się w nim od lat. Zgodnie z podstawą programową w rozdziale tym nie ma elektrochemii (elektrolizy oraz szczegółowej budowy i działania ogniw galwanicznych).

W pierwszym paragrafie zamieszczono tylko wzmiankę o tym, że nośnikami ładunku w metalach są swobodne elektrony uzyskujące dodatkowo prędkość wzdłuż przewodnika pod wpływem przyłożonego napięcia. Szczegółowe informacje na temat przewodnictwa elektrycznego metali zostały przesunięte do ostatniego rozdziału.

Pierwsze prawo Kirchhoffa przedstawiono w podręczniku jako wniosek z zasady zachowania ładunku. Na podstawie prawa Ohma (sformułowanego na podstawie doświadczenia) zdefiniowano opór elektryczny odcinka obwodu; przedstawiono charakterystyki prądowo-napięciowe dla różnych odbiorników. Wspomniano o rosnącej zależności oporu metali od temperatury (zadanie), pozostawiając wyjaśnienie tego zjawiska do rozdziału 14.

Jak to się zwykle robi, wzory na opory zastępcze połączenia szeregowego i równoległego wyprowadzono na podstawie prawa Ohma i pierwszego prawa Kirchhoffa. Zauważono, że w przypadku dwóch odbiorników połączonych równolegle związek między ich oporami a natężeniami płynących w nich prądów stanowi drugie prawo Kirchhoffa w postaci uproszczonej.

Sposoby włączania do obwodu amperomierza i woltomierza znane są uczniom z gimnazjum; tutaj omówiono skutki włączania tych mierników, tzn. zmiany natężenia prądu w obwodzie i napięcia mierzonego na danym odcinku spowodowane oporami własnymi tych przyrządów. W związku z tym zwrócono także uwagę na fakt, że wyniki pomiaru oporu metodą techniczną zawsze obarczone są pewnym błędem, jeśli nie stosujemy poprawek.

Zależność oporu od długości przewodnika i jego poprzecznego przekroju wydedukowano, wychodząc ze wzorów na opory zastępcze jednakowych przewodników połączonych szeregowo i równolegle, ale zależność można sprawdzić doświadczalnie (opis zamieszczono w książce M. Godlewskiej, D. Szot-Gawlik i M. Godlewskiego *Zadania doświadczalne z fizyki, poziom maturalny*). Zestaw do wykonania doświadczenia w najbliższym czasie znajdzie się w ofercie zestawów doświadczalnych ZamKoru. W podręczniku zadaje się ważne pytania dotyczące metodologii postępowania w przypadku, gdy chcemy wyznaczyć zależność wielkości fizycznej od dwóch innych wielkości, a jeśli zależność jest odwrotnie proporcjonalna, to jak postąpić, aby na wykresie otrzymać linię prostą.

W paragrafie 10.5 na temat pracy i mocy zwracamy uwagę, że trzy wzory na pracę i moc prądu nie zawsze są sobie równoważne (ta sprawa rzadko jest wyjaśniana w podręcznikach). Zwracamy uczniom uwagę, że w przypadku, gdy obwód zawiera elementy, w których dostarczana energia elektryczna zostaje w części zamieniona na energię mechaniczną lub chemiczną, nie można korzystać z dowolnego z tych wzorów. Dokładnie omawiamy to zagadnienie dopiero w przykładzie ilościowym w paragrafie 10.9, gdy możemy już operować pojęciem siły elektromotorycznej. Energię przekształconą w energię wewnętrzną dowolnego odbiornika o oporze R (a następnie na ciepło rozproszone w otoczeniu) obliczamy zawsze ze wzoru $W = I^2Rt$ (wzór na tzw. ciepło Joule'a).

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

10.2. Prawo Ohma dla zamkniętego obwodu i drugie prawo Kirchhoffa

Pojęcie siły elektromotorycznej źródła energii elektrycznej definiujemy jako stosunek pracy wykonanej przez źródło przy przesuwaniu ładunku między jego biegunami wbrew siłom pola elektrycznego do tego ładunku (potem pokazujemy, że siłę elektromotoryczną wskazuje woltomierz o bardzo dużym oporze dołączony do źródła, gdy nie czerpiemy z niego prądu). Praca ta zostaje następnie oddana i zamieniona na energię wewnętrzną w całym obwodzie. Na tej podstawie otrzymujemy wzór $\mathcal{E} = I(R + r)$. Dużą część paragrafu 10.2 poświęcamy interpretacji tego wzoru, bo – jak się okazuje – sprawia ona uczniom duże trudności. Prawo Ohma dla całego obwodu i drugie prawo Kirchhoffa dla oczka sieci są to zagadnienia dla ucznia nowe; wszystkie pozostałe są mu właściwie znane z gimnazjum.

Uczeń musi sobie przede wszystkim uświadamiać, że w istocie wzór ten jest funkcją $I(R)$. Siła elektromotoryczna i opór wewnętrzny są w nim stałymi współczynnikami zależnymi od źródła. Z tego wzoru wyprowadzamy malejącą liniowo zależność napięcia pomiędzy biegunami od natężenia prądu czerpanego ze źródła. Badamy także zależności natężenia prądu i napięcia między biegunami od oporu zewnętrznego. Uczeń powinien w każdym przypadku umieć znaleźć wzór odpowiedniej funkcji (w której oprócz zmiennej niezależnej i zmiennej zależnej występują tylko stałe współczynniki) i naszkicować wykres. Woltomierz dołączony jest równolegle do źródła mającego opór wewnętrzny i do odbiornika, dlatego wskazuje napięcie na oporze zewnętrznym i zarazem siłę elektromotoryczną źródła pomniejszoną o napięcie na oporze wewnętrznym.

W celu dobrego zrozumienia drugiego prawa Kirchhoffa w ogólnej postaci warto prześledzić diagramy wzrostów i spadków potencjału w obwodzie zamkniętym. W tym paragrafie zawarty jest przykład 10.2 dotyczący bilansu energii w obwodzie zawierającym tzw. elementy czynne, jak źródła sił elektromotorycznych lub silniki.

W ostatnim paragrafie rozdziału 10 zamieszczone są trzy przykłady zastosowania drugiego prawa Kirchhoffa pokazujące, jak obliczyć natężenia prądów w przypadku równoległego połączenia dwóch różnych ogniw (przykład 10.2), jak obliczyć siłę elektromotoryczną takiej baterii, w przypadku gdy $\mathcal{E}_1 \neq \mathcal{E}_2$ i $r_1 \neq r_2$ (przykład 10.3), i jak obliczyć opór zastępczy takiego połączenia odbiorników, które nie jest ani połączeniem szeregowym, ani równoległym (przykład 10.4).

Rozdział zawiera w sumie 34 zadania rachunkowe do samodzielnego rozwiązania, które pomagają zrozumieć i utrwalić przestudiowany materiał.

Dużym ułatwieniem dla nauczyciela będzie wykorzystanie *Multimedialnego kursu fizyki ZamKoru* oraz ogólnie dostępnych treści dodatkowych w *Wybieram e-Fizykę*. Obie aplikacje znajdują się na *Platformie edukacyjnej*.

Rozdział 11. Pole magnetyczne. Elektromagnetyzm

1. Opis pola magnetycznego

Ilościowy opis pola magnetycznego rozpoczynamy (zgodnie z podstawą programową) od jego oddziaływania na przewodnik z prądem; możemy zatem bazować na realnych i prostych doświadczeniach, zamiast opisywać abstrakcyjne doświadczenie myślowe, dotyczące zachowania się cząstki naładowanej poruszającej się w polu magnetycznym. Badamy więc działanie magnesu podkowiastego na odcinek przewodnika w różnych przypadkach i ustalamy zależność zwrotu siły elektrodynamicznej od kierunku prądu i zwrotu linii pola. Zwrot linii pola magnetycznego został uprzednio przyjęty umownie i jest rozpoznawany za pomocą małych igiełek magnetycznych. Wartość wektora indukcji magnetycznej $\vec{B}$ została w podręczniku zdefiniowana na podstawie stwierdzonego doświadczalnie faktu, że wartość maksymalnej siły działającej w polu magnetycznym na odcinek przewodnika o długości Δl, w którym płynie prąd o natężeniu I, jest wprost proporcjonalna do iloczynu $\Delta l \cdot I$. Następnie przyjęto umownie jedną z dwóch możliwości zwrotu wektora $\vec{B}$ (pseudowektor). Uświadomienie uczniom, że wszystkie cechy siły elektrodynamicznej wynikają ze wzoru

$$\vec{F} = I\Delta\vec{l} \times \vec{B}$$

jest dobrą okazją do utrwalenia sprawności posługiwania się iloczynem wektorowym, z którym uczniowie zetknęli się już w rozdziale poświęconym dynamice bryły sztywnej.

Po przejściu do wzoru na siłę Lorentza omawiamy rodzaje ruchów cząstki naładowanej w jednorodnym polu magnetycznym i zastosowania siły magnetycznej (cyklotron i silnik elektryczny prądu stałego).

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

Wzory na wartość wektora indukcji pól magnetycznych, wytworzonych przez przewodniki z prądem o różnych kształtach (przewodnik prostoliniowy, pętla oraz długa i gęsto nawinięta zwojnica), wypisujemy bez wyprowadzenia, bo – jak wiadomo – podstawa programowa nie przewiduje prawa Biote'a-Savarta i prawa Ampère'a.

Rozdział zawiera podstawowe informacje o własnościach magnetycznych materii (opis makroskopowy) i zastosowaniach elektromagnesów.

Cały paragraf *Wzajemne oddziaływanie przewodników z prądem* jest nadobowiązkowy. Jednak w grupie zainteresowanych uczniów zjawisko to nie jest trudne do samodzielnego odkrycia. Można na przykład postawić problem: Co powinniśmy zaobserwować, umieszczając w niewielkiej wzajemnej odległości dwa równoległe przewodniki z prądem? Uczniowie na podstawie rozumowania dedukcyjnego mogą sformułować hipotezę, a następnie zweryfikować ją doświadczalnie (typowy przykład „tworzenia nowych informacji na podstawie posiadanej wiedzy").

2. Indukcja elektromagnetyczna

1. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej od zawsze znajduje się w programie szkoły średniej, jest więc dobrze znane i w większości pracowni fizycznych znajdują się przyrządy umożliwiające wykonanie doświadczeń 11.11–11.13 omówionych w podręczniku. Lekcję, podczas której zapoznajemy uczniów z tym zjawiskiem, oraz lekcję poświęconą regule Lenza można uatrakcyjnić, wykonując doświadczenia z użyciem *Zestawu nr 1 do efektownej demonstracji zjawiska indukcji elektromagnetycznej* (do nabycia w sklepie ZamKoru).

   Zestaw służy do nietypowej demonstracji zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Składa się z trzech rurek (miedzianej, aluminiowej, plastikowej), trzech magnesów neodymowych oraz trzech pręcików wykonanych z mosiądzu. Czas spadania magnesów w ustawionych pionowo metalowych rurkach jest znacznie dłuższy niż w rurce plastikowej, jest również dłuższy od czasu spadania pręcików mosiężnych. Spadający w metalowej rurce magnes wzbudza w niej prądy indukcyjne (wirowe), a powstałe pole magnetyczne hamuje ruch magnesu. Nauczycielom, którzy nie będą dysponowali tym zestawem, proponujemy rozwiązanie z uczniami zadania nr 1 znajdującego się w podręczniku na stronie 277.
2. W paragrafie 11.9 zamieszczono tzw. doświadczenie pomyślane, umożliwiające szybkie i nieskomplikowane matematycznie wyprowadzenie wzoru na siłę elektromotoryczną indukcji $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Wynika z niego, że siła elektromotoryczna indukcji **zależy** od szybkości zmian strumienia magnetycznego. Natomiast **wprost proporcjonalna do szybkości zmian strumienia magnetycznego jest bezwzględna wartość siły elektromotorycznej**.
3. Zwracamy uwagę na przykład 11.11 (paragraf 11.12), w którym obliczono natężenie skuteczne i natężenie średnie prądu niesinusoidalnie zmiennego. Warto omówić ten przykład na lekcji, gdyż często się zdarza, że uczniowie stosują bez zastanowienia wzory na natężenie i napięcie prądu przemiennego w przypadku niesinusoidalnie zmiennego prądu, zamiast korzystać z definicji I_s. Należy też uświadomić uczniom, że natężenie średnie prądu zmiennego nie jest na ogół równe natężeniu skutecznemu.
4. W paragrafie 11.13 omówiono budowę i zasadę działania transformatora oraz jego zastosowanie przede wszystkim do przesyłania energii elektrycznej na duże odległości liniami wysokiego napięcia. Sygnalizujemy tu Państwu problem, z którym zetknęli się wielokrotnie fizycy pracujący w ZamKorze odpowiadający na listy uczniów. Okazało się, że wielu uczniów sądzi, iż w liniach przesyłowych wysokie napięcie panuje między punktami A i C oraz D i B (rys.11.74)! Sugerujemy przedyskutowanie tego tematu na lekcji, omówienie przykładu 11.12 i rozwiązanie zadania 2 (str. 301).

   Uwaga: W multimedialnym kursie fizyki ZamKoru w rozdziale 13 zawierającym cztery lekcje:
   - Zjawisko indukcji elektromagnetycznej
   - Siła elektromotoryczna indukcji. Reguła Lenza
   - Zjawisko samoindukcji
   - Prąd zmienny

znajdują się m.in. animacje doświadczeń 11.11–11.13 i doświadczenia przedstawionego na rysunku 11.38, animowane przykłady zastosowania reguły Lenza, symulacja umożliwiająca zbadanie zależności $\Phi(t)$ i $\mathcal{E}(t)$ dla różnych ramek podczas ich wchodzenia do pola i wychodzenia z niego, uzupełnione animacjami wyprowadzenia wzorów, animacja przedstawiająca zasadę działania generatora prądu przemiennego oraz interaktywne zadania. Można z nich skorzystać podczas lekcji lub polecić uczniom powtórzenie i utrwalenie wiadomości w atrakcyjny sposób.

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

Rozdział 12. Optyka

Realizacja zagadnień omówionych w tym rozdziale nie powinna stwarzać trudności, gdyż większość z nich (odbicie, załamanie i rozszczepieniem światła oraz powstawanie obrazów w zwierciadłach i soczewkach) uczniowie poznali jakościowo w gimnazjalnym kursie fizyki. Przedstawione (na wyróżnionym kolorystycznie tle) wiadomości o zwierciadłach uzupełniono o wyprowadzenia:

- związku między ogniskową a promieniem krzywizny zwierciadła kulistego i kątem padania promieni na zwierciadło,
- równania zwierciadła,
- związku powiększenia z odległościami od zwierciadła przedmiotu i jego obrazu.

Przedyskutowano też wykres funkcji $y = \frac{fx}{x-f}$, zwracając uwagę na fakt, że y<0 nie jest odległością.

Omówienie biegu promieni świetlnych przez płytkę równoległościenną i pryzmat (pominięte w podstawie programowej) zamieszczono w podręczniku jako (wyróżnione graficznie) uzupełnienie. Wyprowadzono tam przybliżony wzór na kąt odchylenia (ε) promieni w wyniku przejścia przez pryzmat. Należy zwrócić uczniom uwagę, że wzór $\varepsilon = (n-1)\varphi$ ma zastosowanie tylko dla pryzmatu o bardzo małym kącie łamiącym φ i bardzo małych kątów padania. W podręczniku korzystamy z tego wzoru, wyprowadzając w paragrafie 12.3 związek między ogniskową soczewki a jej promieniami krzywizny (wzór soczewkowy).

Warto poświęcić trochę czasu na przedyskutowanie z uczniami wzoru soczewkowego, aby uzmysłowić im, że soczewki wypukłe nie zawsze są skupiające, a soczewki wklęsłe – rozpraszające, a także aby zapobiec popełnianiu bardzo częstego błędu polegającego na zaznaczaniu na osi soczewki punktu O w odległości $2f$ od jej środka. Stosując wzór soczewkowy, można łatwo wykazać, że np. dla znajdującej się w powietrzu dwuwypukłej soczewki szklanej o jednakowych promieniach krzywizn r ogniskowa soczewki jest równa promieniowi krzywizny ($f = r$), a dla szklanej soczewki płaskowypukłej (w powietrzu) $f = 2r$! Uczniowie powinni wiedzieć, że znajomość położenia środków krzywizn soczewki nie jest potrzebna do konstruowania obrazów.

Zachęcamy do korzystania z symulacji zjawisk i doświadczeń z optyki dostępnych w *Portalu Nauczyciela* lub w *ZamKor Laboratorium*, a także w multimedialnym kursie fizyki. Dzięki nim uczniowie mogą obserwować i badać zjawiska odbicia, załamania i całkowitego wewnętrznego odbicia, prześledzić powstawanie i konstruowanie obrazów w zwierciadłach płaskich i kulistych oraz w soczewkach.

Rozdział 13. Dualna natura promieniowania i materii

Treści zawarte w tym rozdziale odzwierciedlają rozwój fizyki w pierwszej połowie XX wieku. Teoria kwantów narodziła się 14 grudnia 1900 roku, w dniu, w którym Max Planck przedstawił hipotezę o kwantowym charakterze emisji i absorpcji światła, opisującą rozkład widmowy promieniowania ciała doskonale czarnego. Fizyka kwantowa wprowadziła wprawdzie nowy sposób opisu atomów i ich składników, ale nie ma osobnych teorii mikro- i makroświata, z czego uczniowie powinni zdawać sobie sprawę po zapoznaniu się z zagadnieniami omawianymi w tym rozdziale. Prawa fizyki kwantowej opisują wszystkie zjawiska w przyrodzie, ale dla ciał makroskopowych opis kwantowy nie wprowadza zwykle istotnych zmian do teorii klasycznej. Idea dualizmu korpuskularno-falowego, która okazała się słuszna nie tylko w przypadku promieniowania elektromagnetycznego, ale i całej materii, jest tego dobrym przykładem.

Uwaga: Realizując kolejne tematy z tego rozdziału, warto skorzystać z:

- kursu *Wybieram e-fizykę* dostępnego bezpłatnie po zalogowaniu na platformie edukacyjnej (platforma.edu.pl),
- multimedialnego kursu fizyki przygotowanego przez ZamKor,
- interaktywnej aplikacji Whiteboard (do pobrania w *Portalu Nauczyciela*) stanowiącej obudowę do podręcznika *Świat fizyki dla szkół ponadgimnazjalnych*, ułatwiającej powtórzenie i utrwalenie treści z kursu podstawowego,
- symulacji dostępnych w *ZamKor Laboratorium*.

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

13.1. Fale elektromagnetyczne

W podstawie programowej nie przewidziano omawiania obwodów LC, co jest, naszym zdaniem, poważnym niedopatrzeniem. Zatem w podręczniku w paragrafie 13.1 omówiono zjawiska zachodzące w idealnym obwodzie drgającym. W kursie *Wybieram e-fizykę* w lekcji r13_l02_3 (*Elektryczne obwody drgające*) znajdują się m.in. animacje przedstawiające:

- zjawiska zachodzące w obwodzie zawierającym idealną zwojnicę i kondensator,
- przemiany energii w obwodzie LC,
- obrazową analogię pomiędzy drganiami elektrycznymi i magnetycznymi,
- zmiany energii w obwodzie LC w czasie jednego okresu drgań.

Natomiast lekcja r13_l02_4 ułatwi poszerzenie wiadomości uczniów na temat fal elektromagnetycznych. Znajdziemy w niej m.in. prawa Maxwella i wynikające z nich wnioski, definicję fali elektromagnetycznej i jej właściwości, sposób powstawania fal elektromagnetycznych i zasadę działania anteny dipolowej.

13.2. Światło jako fala elektromagnetyczna

W tym paragrafie omówiono metodę Foucaulta pomiaru wartości prędkości światła oraz zjawiska, w których światło przejawia falową naturę: dyfrakcję, interferencję i polaryzację.

1. W ugruntowaniu wiadomości na temat dyfrakcji i interferencji mogą pomóc uczniom symulacje pt. *Doświadczenie Younga* i *Dyfrakcja światła na pojedynczej szczelinie* (*ZamKor Laboratorium*) oraz animacje i symulacje zamieszczone w lekcji r18_l02 w multimedialnym kursie fizyki. Dają one możliwość zaobserwowania, jak zmiana długości fali (przy stałej odległości źródeł światła) i zmiana odległości źródeł (przy stałej długości fali) wpływają na obraz interferencyjny. Uczniowie mogą łatwo zauważyć, że miejsca, w których następują maksymalne wzmocnienia, leżą na regularnie rozłożonych liniach – dla wszystkich punktów danej linii różnica odległości od źródeł jest stała i równa zeru lub całkowitej wielokrotności długości fali. Należy zwrócić uczniom uwagę, że ogólnym warunkiem otrzymania maksymalnego wzmocnienia jest zgodność faz (w danym punkcie) interferujących ze sobą fal.
   Jeśli w danym ośrodku spotykają się dwie fale kuliste, wysyłane przez dwa źródła punktowe o **zgodnych fazach**, to warunek maksymalnego wzmocnienia w danym punkcie można wyrazić przez odległości x_1 i x_2 tego punktu od źródeł:
   $$|\Delta x| = |x_2 - x_1| = n\lambda, \quad \text{gdzie} \quad n = 0, 1, 2, 3\ldots$$

Fale świetlne wysyłane przez dwa różne źródła światła nie są spójne, tzn. ich różnica faz nie jest stała w czasie. Badając doświadczalnie zjawisko interferencji używamy więc wskaźnika laserowego, który jest źródłem fali spójnej, lub wydzielamy niewielki fragment wiązki światła (za pomocą przegrody ze szczeliną), a następnie rozdzielamy ją na dwie wiązki (za pomocą przegrody z dwiema szczelinami).

2. Omawiając w podręczniku zjawisko polaryzacji, nie posługujemy się pojęciem płaszczyzny polaryzacji, która w różnych źródłach jest różnie definiowana: w nowszych akademickich podręcznikach nazywa się na ogół umownie płaszczyzną polaryzacji płaszczyznę drgań wektora elektrycznego, ale nietrudno natrafić na źródła, w których płaszczyzną polaryzacji nazywa się płaszczyznę prostopadłą do płaszczyzny drgań wektora elektrycznego. Aby uniknąć nieporozumień, mówimy więc o płaszczyźnie drgań wektora elektrycznego i o kierunku polaryzacji.
   Podczas lekcji poświęconej polaryzacji światła wskazane jest wykonanie doświadczeń z użyciem polaryzatorów zazwyczaj dostępnych w pracowni fizycznej. Jeśli dobiegające do naszych oczu światło jest liniowo spolaryzowane, to patrząc na nie przez polaryzator (pełniący funkcję analizatora) obracany wokół osi prostopadłej do jego powierzchni, zaobserwujemy zmianę natężenia światła zgodnie z prawem Malusa. Proste doświadczenia pozwolą uświadomić uczniom, że ze światłem spolaryzowanym mamy do czynienia na co dzień, choć nie dostrzegamy tego gołym okiem, ponieważ oko ludzkie nie rozróżnia światła spolaryzowanego i niespolaryzowanego. Można łatwo sprawdzić, że liniowo spolaryzowane jest zarówno światło odbite od powierzchni dielektryków, jak i docierające do nas światło słoneczne rozproszone w atmosferze. Obserwując w pogodny dzień niebieskie niebo i białe obłoki przez polaryzator obracany wokół osi prostopadłej do jego płaszczyzny zauważymy zmiany barwy i jasności nieba, a kolor chmur nie będzie się zmieniał. Zmiany barwy nieba są najlepiej widoczne, gdy patrzymy na nie w kierunku prostopadłym do kierunku promieni słonecznych.

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

13.3. Zjawisko fotoelektryczne

Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne jest już uczniom znane z kursu podstawowego. W interaktywnej aplikacji Whiteboard w rozdziale 3, w lekcji 1, znajdują się m.in.:

- film pokazujący doświadczenie, w którym promieniowanie ultrafioletowe wybija elektrony z płytki cynkowej,
- dwie animacje: zasada działania fotokomórki i zastosowanie fotokomórki w systemie alarmowym,
- dwie symulacje: badanie zależności $I(U)$ dla światła o różnych natężeniach i badanie zależności maksymalnej energii kinetycznej fotoelektronów od częstotliwości promieniowania dla dwóch metali oraz promieniowania o różnych natężeniach,
- zadania kontrolne.

Skorzystanie z aplikacji pozwoli na szybkie powtórzenie i utrwalenie wiadomości.

13.4. Emisja i absorpcja promieniowania elektromagnetycznego

W podstawowym kursie fizyki omówiono widma ciągłe i widma liniowe, model Bohra atomu wodoru i mechanizm powstawania widma liniowego (do powtórzenia tych wiadomości również przydatna będzie interaktywna aplikacja Whiteboard – rozdział 3, lekcje 2 i 3). W tym paragrafie uzupełniamy wiadomości uczniów, wprowadzając pojęcie ciała doskonale czarnego oraz formułując prawo Stefana–Boltzmana i prawo Wiena.

13.5. Promieniowanie rentgenowskie

W tym paragrafie omawiamy kolejno odkrycie promieni X i ich właściwości, sposoby powstawania promieniowania o widmie ciągłym i promieniowania charakterystycznego, dyfrakcję i interferencję promieniowania X, zjawisko Comptona oraz, jako podsumowanie wiadomości o świetle i promieniowaniu rentgenowskim, dualną naturę promieniowania elektromagnetycznego.

1. Omawiając sposób powstawania promieniowania hamowania, wyprowadza się wzór na λ_{min}, czyli krótkofalową granicę widma ciągłego. Jak wynika z tego wzoru λ_{min} zależy tylko od napięcia między katodą i anodą lampy rentgenowskiej. Natomiast wyjaśniając sposób powstawania promieniowania charakterystycznego, podkreśla się, że położenie linii w widmie tego promieniowania zależy tylko od rodzaju pierwiastka, z którego wykonano anodę lampy. Czy napięcie między katodą i anodą nie ma więc związku z widmem charakterystycznym? Warto rozwiązać z uczniami na lekcji zadanie 2* (str. 379), aby uświadomić im, że energia elektronów uderzających w anodę musi być odpowiednio duża, by mogło powstać promieniowanie o widmie liniowym. Odpowiednio duże musi być więc napięcie przyłożone do elektrod w lampie.
2. Podany bez wyprowadzenia wzór na długość fali promieniowania rentgenowskiego rozproszonego na graficie może być podstawą do przedyskutowania zjawiska rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego przez materię. Ze wzoru tego wynika, że przyrost długości fali zależy od kąta rozpraszania; dla kąta $\Theta = \pi/2$ $\Delta\lambda = \frac{hc}{E_{0\ \text{elektronu}}} = 2{,}43 \cdot 10^{-3}\,\text{nm}$. Można zadać pytanie, dlaczego obserwuje się zmianę długości fali rozpraszanego promieniowania X, a nie obserwuje się zmiany długości fali rozpraszanego przez materię światła widzialnego? Długości fal promieniowania rentgenowskiego są rzędu setnych części nanometra, więc zmiana rzędu tysięcznych części nanometra jest zmianą o kilka procent, możliwą do wykrycia w doświadczeniu. Natomiast dla światła widzialnego o długości fali rzędu setek nanometrów zmiana rzędu tysięcznych części jest niewykrywalna doświadczalnie.

Uwaga: Realizując treści zawarte w tym rozdziale podręcznika, warto skorzystać z multimedialnego kursu fizyki. W lekcji r18_l06 rozdziału 18, zatytułowanego *Korpuskularno-falowa natura promieniowania elektromagnetycznego i materii*, znajdują się m.in. animacje przedstawiające:

- powstawanie promieniowania hamowania,
- promieniowania charakterystycznego,
- wyprowadzenie wzoru Bragga,
- efekt Comptona.

© Copyright by ZamKor spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
Spółka komandytowo-akcyjna
ul. Tetmajera 19, 31-352 Kraków, tel. +48 12 623 25 00, faks +48 12 623 25 24
e-mail: zamkor@zamkor.pl, www.zamkor.pl

13.6. Fale materii

Pojęcie fal materii i zrozumienie zjawisk interferencyjnych obserwowanych w rozpraszaniu cząstek może sprawiać uczniom trudności. Powstawanie maksimów interferencyjnych podczas rozpraszania wiązek złożonych z bardzo dużej liczby elektronów można sobie stosunkowo łatwo wyobrazić jako efekt nakładania się odpowiadających różnym elektronom fal odbitych od różnych atomów. Znacznie trudniej zrozumieć, w jaki sposób powstaje obraz interferencyjny dla bardzo słabych wiązek, w których elektrony lecą jeden za drugim i w każdej chwili na układ atomów trafia tylko jeden z nich. Wbrew zdrowemu rozsądkowi elektron zachowuje się tak, jakby w tajemniczy sposób odbił się od wielu atomów naraz i interferował sam ze sobą! Wielu wybitnych fizyków z Einsteinem na czele uważało, że sprzeczność teorii kwantowej ze zdrowym rozsądkiem musi dać się usunąć. Jednak próby skonstruowania nowej, lepszej teorii nie się powiodły. Wszelkie dane doświadczalne od lat potwierdzają, że teoria kwantowa doskonale opisuje zjawiska zachodzące w mikroświecie, chociaż jest zupełnie niezgodna z intuicją, której nabywamy, obserwując zjawiska w makroświecie.

Symulacja, w której uczniowie mogą zaobserwować, jak otrzymany na ekranie obraz interferencyjny zmienia się w zależności od liczby elektronów w wiązce rozpraszanej na krysztale, znajduje się w multimedialnym kursie fizyki w lekcji r18_l07.

Rozdział 14. Modele przewodnictwa elektrycznego

W tym rozdziale są zawarte treści mieszczące się w dwóch wymaganiach szczegółowych podstawy programowej, wymienione w działach 8 i 9, a mianowicie: „Opisuje wpływ temperatury na opór metali i półprzewodników" i „Opisuje działanie diody jako prostownika".

Uznajemy, że skoro jest mowa o zależności oporu metali i półprzewodników od temperatury, to zagadnienie należy potraktować szerzej (a nie tylko stwierdzić istnienie takiej zależności) i dla porównania połączyć je w jednym rozdziale. Wyjaśniamy, że zależność oporu właściwego metali od temperatury jest związana z ruchliwością jonów, która ze wzrostem temperatury maleje z powodu wzrostu amplitudy drgań jonów sieci. Natomiast opór właściwy półprzewodników ze wzrostem temperatury maleje głównie dlatego, że zwiększa się liczba nośników (elektronów i dziur).

Aby zrozumieć działanie diody, uczeń musi coś wiedzieć o półprzewodnikach domieszkowanych typu n i p. Temu zagadnienia poświęcono w rozdziale 14 dość dużo uwagi.

Opory właściwe półprzewodników są mniejsze od oporu właściwego metali, gdyż liczba nośników w jednostce objętości w półprzewodnikach jest znacznie mniejsza od liczby elektronów swobodnych w metalach (a ściśle mówiąc od ich koncentracji). W półprzewodnikach domieszkowanych liczba nośników większościowych zależy także od liczby atomów domieszki.

Dla kompletu w rozdziale 14 znalazły się informacje dotyczące przewodnictwa cieczy (elektrolitów), ale jest to część całkowicie nadobowiązkowa.

Wymienione wyżej treści zostały opracowane w *Multimedialnym kursie fizyki* w lekcji 4 pt. *Mikroskopowy obraz prądu w przewodnikach* w rozdziale *Prąd stały* oraz w rozdziale *Fizyczne podstawy mikroelektroniki i telekomunikacji* w dodatkowej, ogólnodostępnej części kursu zatytułowanej *Wybieram e-Fizykę*.