

Jak wykorzystać zasadę zachowania energii do wyznaczenia częstotliwości emitowanego i absorbowanego promieniowania?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Jak wykorzystać zasadę zachowania energii do wyznaczenia częstotliwości emitowanego i absorbowanego promieniowania?

Czy to nie ciekawe?

Zasada zachowania energii, która stwierdza, że w układzie izolowanym suma wszystkich rodzajów energii jest stała w czasie, została sformułowana przez Emilie du Châtelet (Rys. a.) już w XVIII wieku, gdy jeszcze nikt nie słyszał o istnieniu atomów.



Rys. a. Emilie du Châtelet (1706-1749) była jedną z nielicznych, znanych do XIX wieku, kobiet-uczonych, zajmujących się naukami ścisłymi. [źr.: wikipedia.org]

Czy to nie ciekawe, że ta uniwersalna zasada spełniona jest zarówno w skali kosmicznej, jak i w skali mikroświata?

W tym materiale zajmiemy się zastosowaniem zasady zachowania energii do analizy emisji i absorpcji promieniowania przez atomy.

Twoje cele

- poznasz budowę atomu,
- zrozumiesz mechanizm emisji i absorpcji fotonów przez atomy,
- przeanalizujesz procesy związane ze zmianą energii atomu wodoru,
- zastosujesz zasadę zachowania energii do analizy atomowych widm emisyjnych i absorpcyjnych.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Zasada zachowania energii

Zasada zachowania energii mówi, że w całkowita energia układu zamkniętego nie zmienia się w czasie.

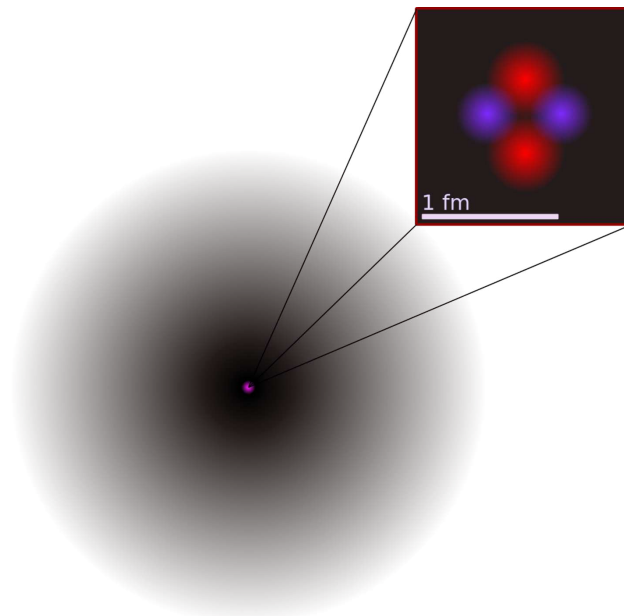
Jest to zasada empiryczna, czyli oparta na doświadczeniu. Nigdy, w żadnym eksperymencie czy obserwacji, nie stwierdzono złamania tej zasady. Z zasady zachowania energii wynika, że energia nie może zniknąć, ani pojawiać się, a tylko jedna jej forma przemienia się w inną.

Jedną z form energii jest energia promieniowania elektromagnetycznego, które ma dwoistą naturę – jest jednocześnie falą i zbiorem fotonów. Energia promieniowania jest skwantowana. Najmniejsza porcja energii promieniowania, **kwant** energii, jest energią jednego fotonu. Fotony mogą zniknąć lub pojawiać się, ale jest to zawsze związane ze zmianą energii innego obiektu. Przykładem jest emisja lub absorpcja fotonu przez atom.

W procesach tych zmienia się energia atomu, ale dzieje się to w taki sposób, że energia całkowita układu: atom + foton jest zachowana. Aby zrozumieć mechanizm emisji i absorpcji promieniowania przez atomy, trzeba poznać budowę atomu.

Budowa atomu

Atom składa się z protonów i neutronów tworzących jądro atomowe o dodatnim ładunku, które otaczają ujemnie naładowane elektrony. Średnica jądra atomowego jest około 100 tysięcy razy mniejsza od średnicy atomu, ale prawie cała masa atomu skupiona jest w jądrze (Rys. 1.). Atomu nie można opisać pojęciami fizyki klasycznej. Do opisu mikroświata stosuje się mechanikę kwantową, która traktuje poruszające się cząstki jako fale, których częstotliwość jest wprost proporcjonalna do energii cząstki. Wiemy, że w ograniczonej przestrzeni mogą powstawać tylko fale stojące. Na przykład w strunie gitary powstaje fala stojąca o określonych częstotliwościach, zależnych od długości struny (zob. materiał pt. *Fale stojące*). Podobnie jest z elektronem uwięzionym w atomie. Z równań mechaniki kwantowej wynika, że energia elektronu w atomie może przybierać tylko pewne określone wartości. Nazywamy je **dozwolonymi poziomami energetycznymi**.



$$1 \text{ \AA} = 100,000 \text{ fm}$$

Rys. 1. Atom helu, którego jądro jest zbudowane z dwóch protonów i dwóch neutronów. [źr.: wikipedia.org]

Ciekawostka

Co to oznacza, że jądro atomowe jest sto tysięcy razy mniejsze od średnicy całego atomu? Aby uzmysłowić sobie różnice w wielkościach różnych składników atomu posłużymy się nieco żartobliwym, ale bardzo pouczającym, „sportowym modelem atomu”. Przyjmijmy, że stadion ma długość jednego kilometra, czyli jest to stadion-gigant (długość Stadionu Narodowego w Warszawie nie przekracza 500 m). Coś, co jest sto tysięcy razy mniejsze ma wtedy średnicę 1 cm. Jeśli więc atom zostałby powiększony do rozmiarów takiego gigantycznego stadionu, to jego jądro atomowe miałyby rozmiar ... drażetki M&M'sa (Rys. 2.).



Rys. 2. Jeśli powiększymy atom do rozmiarów stadionu, to jego jądro będzie miało wielkość zbliżoną do kulki w gwizdka sędziego. [źr.: pixabay.com]

Elektron przechodzi z jednego poziomu energetycznego na inny skokowo. Jego energia nie zmienia się w sposób ciągły, podobnie jak człowiek wchodzący lub schodzący po drabinie

zmienia swoją energię potencjalną grawitacji skokowo (nie może zatrzymać się między szczeblami).

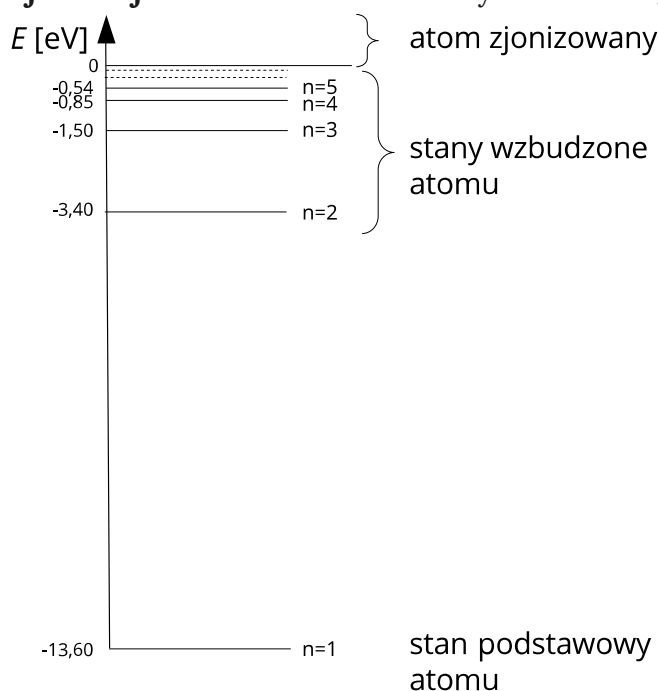
Atom wodoru

Najprostszym atomem jest atom wodoru, który składa się z jednego protonu w jądrze atomowym i jednego elektronu na orbicie. Dozwolone energie elektronu w atomie wodoru wyrażają się wzorem

$$E_n = \frac{-13,6 \text{ eV}}{n^2}, \quad (1)$$

gdzie n to liczba naturalna ($n = 1, 2, 3, 4, \dots \infty$).

Liczbę n nazywa się też **główną liczbą kwantową**, która wyznacza kolejne **powłoki elektronowe**. Każdej powłoce elektronowej odpowiada inny **poziom energetyczny**. Poziomy energetyczne elektronu w atomie wodoru przedstawione są na Rys. 3. Energie elektronu w atomie przyjmują wartości ujemne. Gdy atom ma najmniejszą możliwą energię, jest **w stanie podstawowym**, wszystkie wyższe poziomy energetyczne to **stany wzbudzone**. Energia stanu podstawowego atomu wodoru wynosi $-13,6 \text{ eV}$. Aby oderwać elektron od atomu, znajdującego się w stanie podstawowym, trzeba dostarczyć mu energię wystarczającą na to, aby energia elektronu zwiększyła się co najmniej do zera. Elektron o energii większej lub równej zero jest już elektronem swobodnym i jego energia może zmieniać się w sposób ciągły. Najmniejsza energia, która powoduje oderwanie elektronu od atomu nosi nazwę **energii jonizacji**. Dla atomu wodoru wynosi ona $13,6 \text{ eV}$.



Rys. 3. Dozwolone stany energetyczne, czyli wartości energii, elektronów w atomie wodoru. Elektrony, które krążą po orbitach położonych bliżej jądra atomowego, o małych wartościach liczb kwantowych, mają energie mniejszą od energii tych, które krążą po orbitach bardziej oddalonych od jądra.

Zasada zachowania energii dla atomu wodoru

Gdy elektron przeskakuje z wyższego poziomu energetycznego na niższy, jego energia zmniejsza się. Utracona przez elektron energia zamienia się na energię fotonu, który jest emitowany przez atom. Energia wyemitowanego fotonu E_f jest równa różnicy między energią początkową i końcową elektronu (Rys. 4. A).

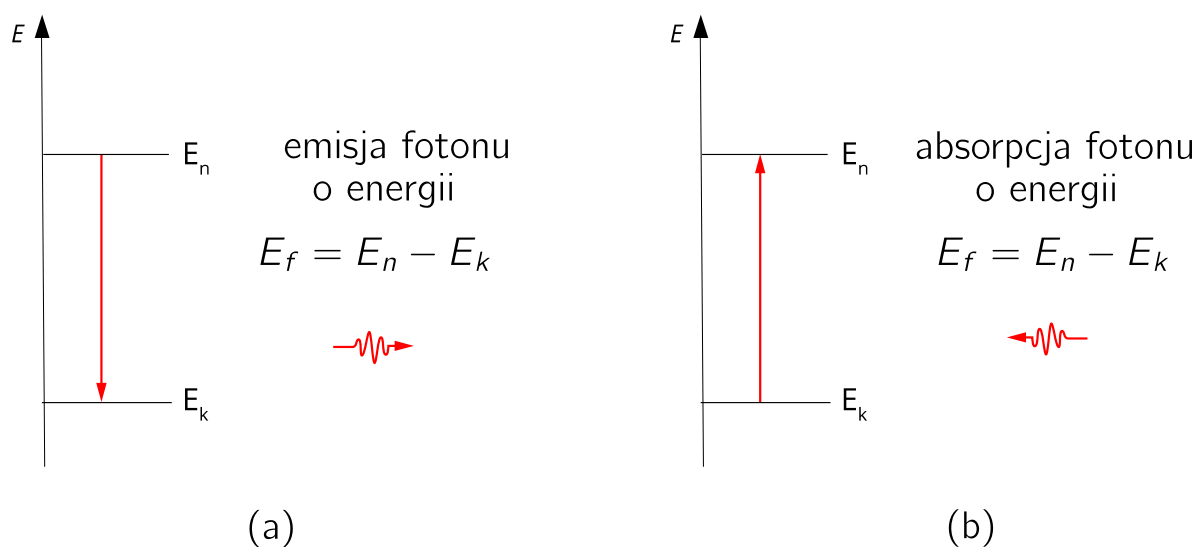
Możliwy jest także odwrotny proces. Jeśli do atomu zbliży się foton o energii dokładnie równej różnicy między energiami poziomów energetycznych, może on zostać pochłonięty przez ten atom. W takiej sytuacji foton znika, a jego energia, zgodnie z zasadą zachowania energii, zwiększa energię elektronu w atomie – elektron przeskakuje na wyższy poziom energetyczny (Rys. 4. B).

Zarówno podczas emisji, jak i absorpcji fotonu przez atom, spełniona jest zasada zachowania energii, wyrażona wzorem:

$$E_f = E_n - E_k,$$

(2)

gdzie E_f jest energią fotonu wyemitowanego lub pochłoniętego przez atom, E_n – wyższą energią elektronu, E_k – niższą energią elektronu podczas przejścia między poziomami energetycznymi.



Rys. 4. (a) Przeskokowi elektronu z poziomu o wyższej energii E_n na poziom o niższej energii E_k , towarzyszy emisja fotonu o energii $E_f = E_n - E_k$. (b) Aby elektron przeskoczył z niższego poziomu energetycznego E_k na wyższy poziom E_n , musi pochłoniąć foton o energii $E_f = E_n - E_k$.

Energia fotonu związana jest z częstotliwością i długością fali promieniowania elektromagnetycznego wzorem

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda},$$

gdzie f jest częstotliwością fali, λ jej długością, $c = 2,997 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ oznacza prędkość światła, a $h = 4,137 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ jest stałą Plancka.

Korzystając z równań (2) i (3) możemy wyznaczyć częstotliwość promieniowania emitowanego lub absorbowanego przez atom:

$$hf = E_n - E_k, \quad (4)$$

czyli

$$f = \frac{E_n - E_k}{h}. \quad (5)$$

Przykład 1

Wyznamy częstotliwość promieniowania, emitowanego przez atom wodoru podczas przeskoku elektronu z poziomu energetycznego $n = 5$ na poziom $n = 1$, oraz z poziomu $n = 5$ na $n = 4$.

Korzystając ze wzoru (1) na energię elektronu w atomie wodoru otrzymujemy:

$$E_1 = -13,60 \text{ eV}, E_4 = -0,85 \text{ eV} \text{ oraz } E_5 = -0,54 \text{ eV}.$$

Podczas przeskoku elektronu z poziomu energetycznego $n = 5$ na poziom $n = 1$, częstotliwość wyemitowanego fotonu wynosi:

$$f = \frac{-0,54 \text{ eV} - (-13,6 \text{ eV})}{4,137 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}} \simeq 3,16 \cdot 10^{15} \text{ Hz}.$$

Promieniowanie to leży w zakresie nadfioletu, którego częstotliwość zawiera się w granicach $(10^{15} - 8 \cdot 10^{15}) \text{ Hz}$.

Podczas przeskoku elektronu z poziomu energetycznego $n = 5$ na poziom $n = 4$, częstotliwość wysłanego promieniowania wynosi:

$$f = \frac{-0,54 \text{ eV} - (-0,85 \text{ eV})}{4,137 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}} \simeq 7,5 \cdot 10^{13} \text{ Hz}.$$

Promieniowanie o takiej częstotliwości leży w podczerwieni $(6,7 \cdot 10^9 - 4,3 \cdot 10^{14}) \text{ Hz}$.

Z tego przykładu widać, że atom wodoru emituje, a także absorbuje, fotony w bardzo szerokim zakresie częstotliwości od podczerwieni do nadfioletu. Większe atomy, których jądra zawierają wiele protonów wytwarzają silniejsze pole elektryczne niż atom wodoru z jednym protonem w jądrze. W takich atomach elektrony wewnętrznych powłok elektronowych są silniej związane, co oznacza, że ich energia ma mniejszą wartość, niż w przypadku elektronu w atomie wodoru. Dlatego przeskoki elektronów na wewnętrzne powłoki elektronowe w dużych atomach powodują emisję fotonów z zakresu

promieniowania rentgenowskiego, o częstotliwości jeszcze większej niż częstotliwość fotonów w nadfiolecie.

Jeśli atomy oświetlimy promieniowaniem o różnych częstotliwościach, pochłonięte mogą być tylko te fotony, których energie równe są różnicom między stanami energetycznymi w atomach. Pozostałe fotony przelecą bez przeszkód, atomy są dla nich przezroczyste, ponieważ nie istnieją stany energetyczne atomów, które mogłyby być stanem końcowym po absorpcji takich fotonów. Dotyczy to jednak tylko fotonów o energii mniejszej od energii jonizacji. Gdy energia fotonów padających na atom przewyższa energię jonizacji, każdy z nich może być zaabsorbowany przez atom. W takim przypadku energia pochłoniętego fotonu zamienia się na pracę potrzebną do wyrwania elektronu z atomu (równą energii jonizacji) oraz na energię kinetyczną, z jaką elektron oddala się od atomu:

$$hf = E_{\text{jonizacji}} + E_{\text{kin}} .$$

Słowniczek

elektronowolt (eV)

(ang.: *electronvolt*) – jednostka energii spoza układu SI używana w fizyce mikroświata. 1 eV to energia, jaką uzyskuje elektron przyspieszany w polu elektrycznym o różnicy potencjałów równej 1 wolt. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

kwant

(ang.: *quantum*) – najmniejsza porcja danej wielkości fizycznej. Kwantem promieniowania elektromagnetycznego jest foton. O wielkości fizycznej mówimy, że jest skwantowana, jeśli może przyjmować tylko określone wartości.

Film samouczek

Jak wykorzystać zasadę zachowania energii do wyznaczenia częstotliwości emitowanego i absorbowanego promieniowania?

Obejrzyj film samouczek, w którym sprawdzamy, jakie fotony mogą być zaabsorbowane przez atom wodoru.

Polecenie 1

Oblicz dwie, inne niż na filmie, częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego, które może zostać zaabsorbowane przez atom wodoru, w wyniku czego przejdzie on ze stanu podstawowego do stanu wzbudzonego.

Polecenie 2

Jakie są częstotliwości promieniowania emitowanego przez atom, gdy powraca on do stanu podstawowego?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



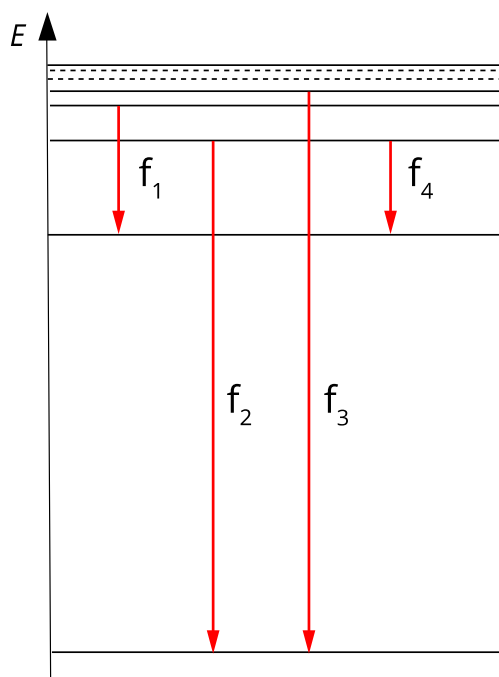
Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6

Ćwiczenie 7

Ćwiczenie 8

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak wykorzystać zasadę zachowania energii do wyznaczenia częstotliwości emitowanego i absorbowanego promieniowania?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>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;</p> <p>XI. Fizyka atomowa. Uczeń:</p> <p>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;</p> <p>5) analizuje seryjny układ linii widmowych na przykładzie widm atomowych wodoru; posługuje się wzorem Rydberga;</p> <p>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.</p>

Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. opisuje budowę atomu, 2. wyjaśnia mechanizm emisji i absorpcji fotonów przez atomy, 3. analizuje procesy związane ze zmianą energii atomu wodoru, 4. stosuje zasadę zachowania energii do analizy emisji i absorpcji promieniowania przez atomy.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiał: „Na czym polega stan podstawowy atomu”, „Na czym polega stan wzbudzony atomu”, „Emisja i absorbcja promieniowania przez swobodne atomy”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	<p>Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”.</p> <p>Odwołanie do wiedzy uczniów o zasadzie zachowania energii.</p>
Faza realizacyjna:	

Uczniowie przypominają zasadę zachowania energii. Nauczyciel wyjaśnia falowo-korpuskularną naturę promieniowania elektromagnetycznego i pojęcie kwantu energii promieniowania.

Nauczyciel omawia budowę atomu, odwołując się do wiedzy uczniów w tym zakresie. Następnie nauczyciel tłumaczy ideę skwantowania energii elektronu w atomie i wyjaśnia, czym jest stan podstawowy i stany wzbudzone. Wyjaśnia, że emisja i absorpcja fotonów przez atomy związana jest z przeskokiem elektronu z jednego poziomu energetycznego na inny. Uczniowie w dyskusji starają się wyjaśnić, jak zastosować zasadę zachowania energii w procesie emisji i absorpcji fotonu przez atom. Dyskusja powinna doprowadzić do wniosku, jak energia fotonu emitowanego przez atom powiązana jest z energią początkową i końcową atomu. Uczniowie w grupach obliczają częstotliwość promieniowania emitowanego przez atom wodoru przy przeskoku elektronu z poziomu $n = 5$ na poziom $n = 1$ oraz z poziomu $n = 5$ na poziom $n = 4$, a następnie określają do jakiego zakresu fal elektromagnetycznych należy to promieniowanie.

Uczniowie oglądają film-samouczek, w którym analizowany jest proces absorpcji promieniowania przez atom wodoru. Następnie rozwiązują w grupach polecenia aktywizujące towarzyszące filmowi.

Faza podsumowująca:

Aby sprawdzić stopień przyswojenia materiału, uczniowie w grupach przy pomocy nauczyciela rozwiązują zadania 7 i 8 z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Zadania z zestawu ćwiczeń, 1 - 3 obowiązkowo, do wyboru jedno z pozostałych zadań.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania
danego
multimedium**

Multimedium bazowe może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.