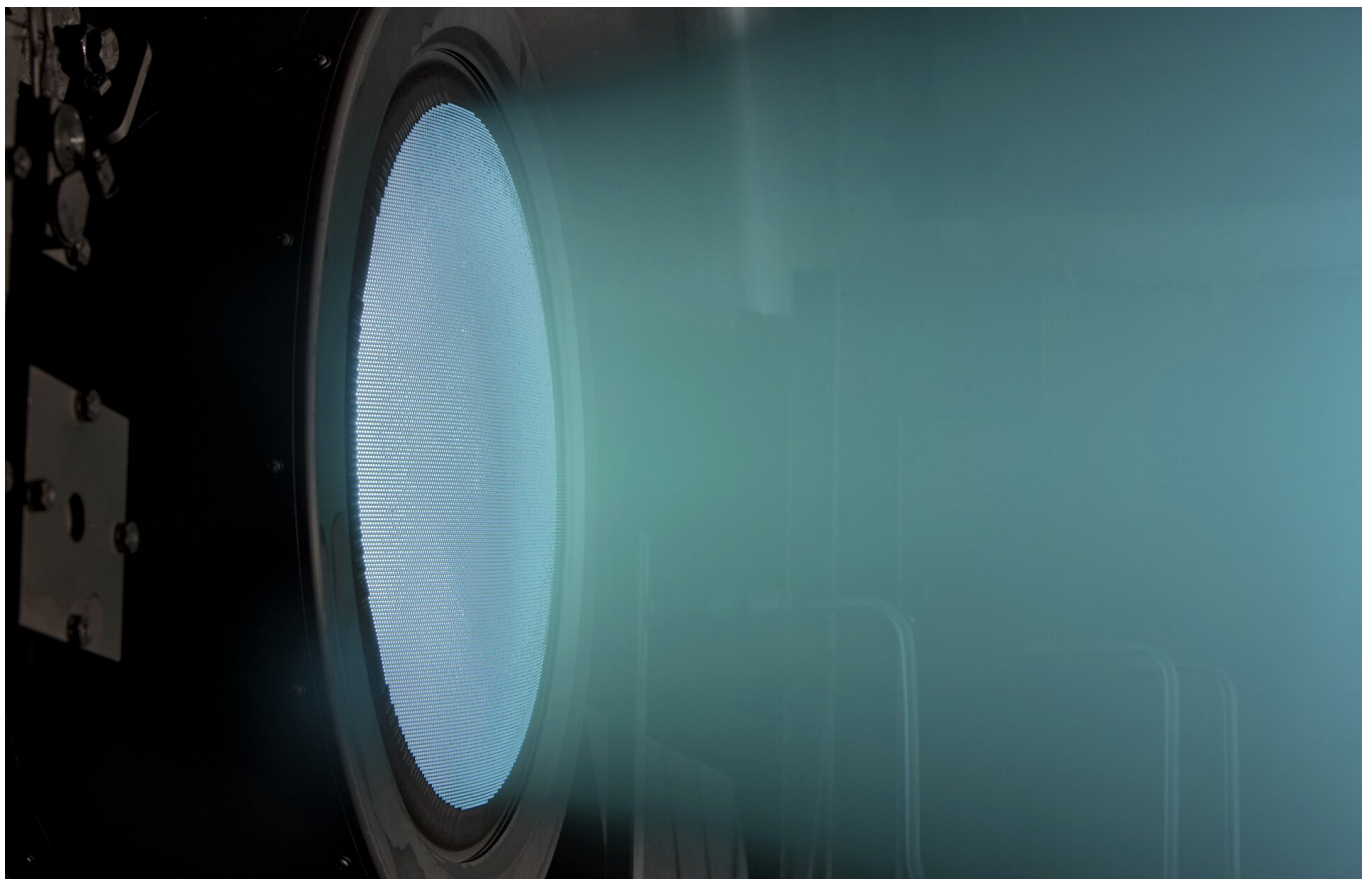
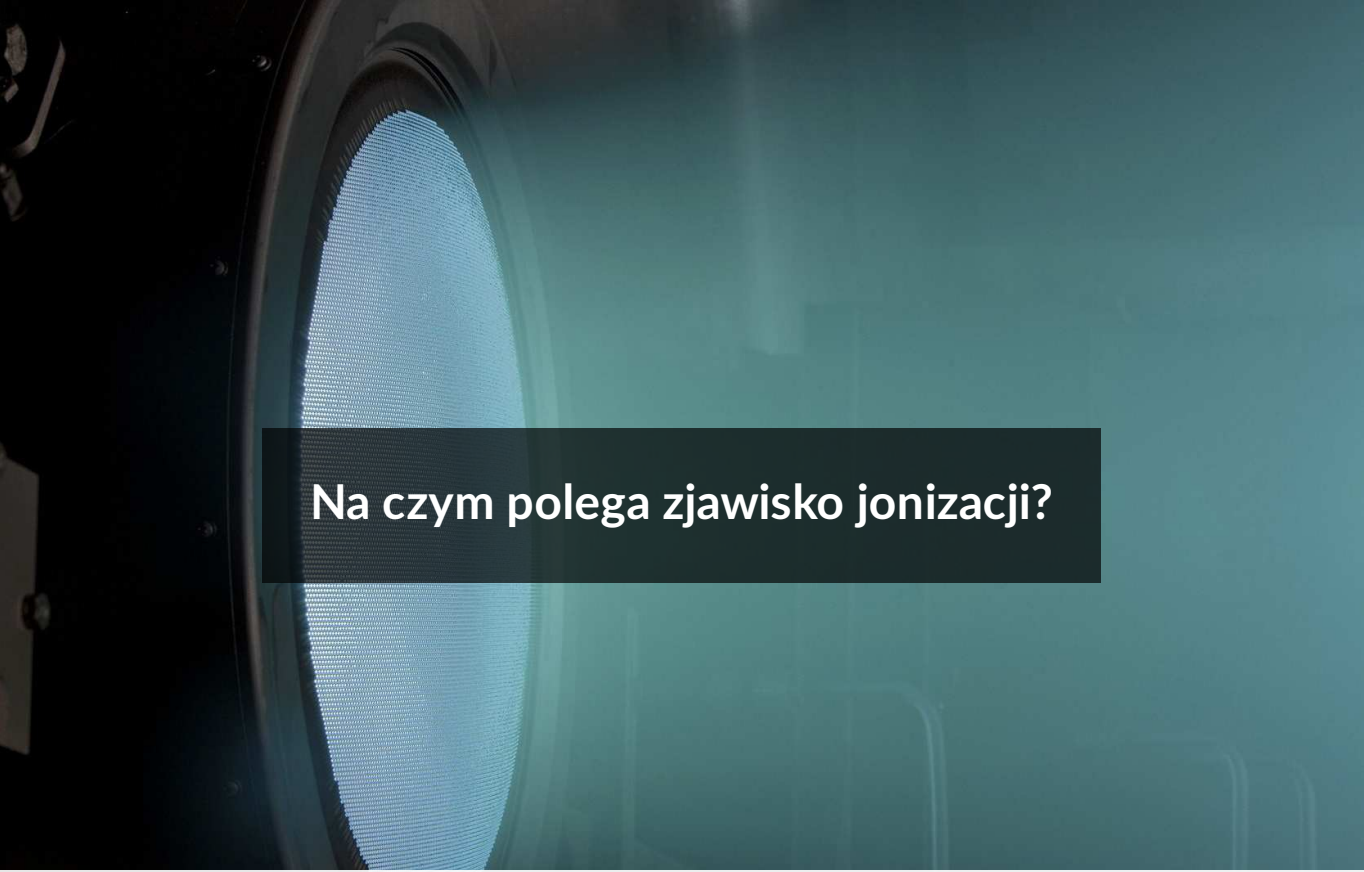




Na czym polega zjawisko jonizacji?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Na czym polega zjawisko jonizacji?

Źródło: dostępny w internecie:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NASA_NEXT_Ion_thruster.712983main_NEXT_LDT_Thrusterhi-res_full.jpg

[dostęp 10.07.2022], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe?

Zjawisko jonizacji wykorzystujemy na co dzień – umożliwia ono m.in. świecenie lamp neonowych. Obserwujemy je także podczas burzy, kiedy dochodzi do wyładowania elektrycznego i przejścia błyskawicy od chmury do ziemi. W tym e-materiale poznasz podstawowe mechanizmy jonizacji, a następnie wykorzystasz zdobytą wiedzę do zrozumienia, w jaki sposób działa lampa neonowa i dzięki czemu mogą przeskakiwać błyskawice.



Rys. a. Powietrze jest izolatorem elektrycznym. Z drugiej strony, błyskawica jest miejscem przepływu prądu elektrycznego o bardzo wysokim natężeniu. Co zatem sprawia, że prąd ten może przepłynąć?

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Twoje cele

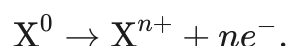
- dowiesz się, czym jest jonizacja,
- dowiesz się, jak działa lampa neonowa,
- zrozumiesz różne mechanizmy jonizacji atomów,
- zrozumiesz, jaki mechanizm jonizacji występuje przy przeskoku błyskawicy,
- dowiesz się, jak zapisuje się równania jonizacji,
- przeanalizujesz proces jonizacji atomu helu.

Przeczytaj

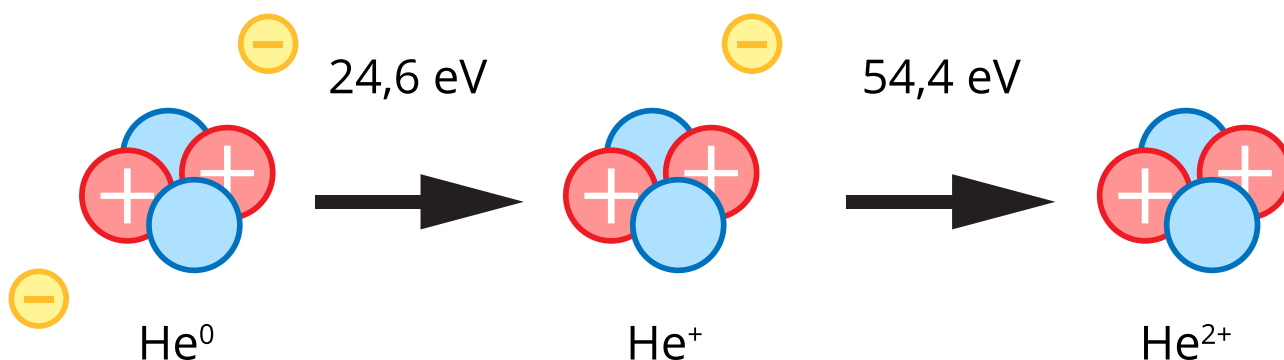
Warto przeczytać

Jonizacja jest zjawiskiem tworzenia jonu z elektrycznie obojętnego atomu. Atomy składają się z jądra atomowego (zawierającego protony i neutrony) oraz z krążących wokół jądra elektronów. Atomy są obojętne elektrycznie, gdyż liczba protonów (o ładunku elementarnym dodatnim) jest równa liczbie elektronów (o ładunku elementarnym ujemnym). Ładunek elementarny ma wartość $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Protony i neutrony w jądrze są związane za pomocą silnych [oddziaływań jądrowych](#), przewyższających elektryczne odpychanie między protonami. Nie jest zatem możliwe zjonizowanie atomu przez usunięcie protonu z jądra. Z drugiej strony, względnie proste jest usunięcie elektronu, utrzymywanego na orbicie wokół jądra tylko siłami elektrycznymi. W zjawisku jonizacji dochodzi zatem do usunięcia części elektronów z atomu. W efekcie powstają elektrony swobodne i dodatnio naładowany jon (kation). Równanie reakcji jonizacji atomu pierwiastka X, w sytuacji, gdy usuwane jest z niego n elektronów (dochodzi do n aktów jonizacji), można zapisać następująco:



Na Rys. 1. przedstawiamy proces jonizacji, na przykładzie atomu helu. Najczęściej występujący izotop helu składa się z jądra atomowego, w którym występują dwa protony i dwa neutrony oraz dwóch elektronów krążących wokół jądra. Aby oderwać jeden elektron i otrzymać kation helu He^+ o pojedynczym ładunku dodatnim należy dostarczyć do elektronu energię wynoszącą przynajmniej 24,6 eV (elektronowoltów). Oderwanie drugiego elektronu wymaga już prawie dwukrotnie większej energii, wynoszącej ok. 54,4 eV.



Rys. 1. Proces jonizacji atomu helu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Jak można dostarczyć elektronom energię niezbędną do oderwania się od atomu? Możemy to zrobić na kilka sposobów.

Sposób 1. Oświetlenie atomów światłem o odpowiedniej długości fali

Światło może wybijać elektrony z atomów, a zjawisko to nazywamy fotojonizacją. Fotojonizacja może zachodzić zarówno dla gazów, cieczy, jak i ciał stałych. W tym procesie, fotony światła mogą przekazywać swoją energię elektronom podczas zderzenia, doprowadzając do ich wybijania z atomów.

Energia fotonu E_f związana jest z długością fali promieniowania λ następującą relacją:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda},$$

gdzie $c = 3 \cdot 10^8$ m/s jest prędkością światła w próżni, a $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s to stała Plancka.

W przypadku gazów, mamy do czynienia z izolowanymi atomami. Aby oderwać elektron od atomu, należy dostarczyć do niego energię większą niż energia jonizacji E_j . Innymi słowy, by doszło do fotojonizacji, spełniony musi być warunek:

$$E_f \geq E_j \rightarrow \frac{hc}{\lambda} \geq E_j.$$

Możemy wprowadzić graniczną długość fali promieniowania λ_g , która jeszcze powoduje jonizację:

$$\frac{hc}{\lambda_g} = E_j \rightarrow \lambda_g = \frac{hc}{E_j}.$$

W przypadku cieczy i ciał stałych atomy nie są izolowane, lecz oddziałują ze sobą – istnieją wiązania chemiczne między nimi. Ciecze i ciała stałe mają również określone wymiary przestrzenne, czego nie można powiedzieć o gazach. W przypadku jonizacji cieczy lub ciała stałego, możemy mówić o dwóch jej rodzajach:

1. Oderwanie elektronu od atomu wewnątrz materiału;
2. Wyjście elektronu z materiału.

W pierwszym przypadku mówimy o zjawisku fotoelektrycznym wewnętrznym, a energia niezbędna do oderwania elektronu jest równa odpowiedniej energii jonizacji. W drugim przypadku mówimy o zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym – w tym przypadku niezbędną ilość energii nazywamy pracą wyjścia W . Wartość pracy wyjścia związana jest z koniecznością oderwania elektronu od atomu i wyprowadzenia go na powierzchnię materiału.

Sposób 2. Umieszczenie atomów w odpowiednio silnym polu elektrycznym

Pole elektryczne może doprowadzić do rozdzielenia jądra i elektronów w atomach. Ładunki jądra i elektronów posiadają przeciwne znaki, więc w zewnętrznym polu elektrycznym będą działać na nie siły o przeciwnych zwrotach. Dla odpowiednio silnych pól elektrycznych, wartości sił rozdzielających ładunki staną się większe niż siły elektrycznego przyciągania między jądrem i elektronami. Jeśli dane pole elektryczne wytwarza różnicę

potencjałów U , a energia niezbędna do jonizacji atomu wynosi E_j , to aby doszło do jonizacji, musi być spełniona relacja:

$$eU \geq E_j.$$

Zjawisko jonizacji w polu elektrycznym jest wspólne dla gazów, cieczy i ciał stałych. Przy odpowiednio wysokich wartościach napięcia może dojść do tzw. wyładowania kaskadowego. Powstałe jony i elektrony są przyspieszane w polu elektrycznym – nabywają więc wysokiej energii kinetycznej. Gdy dojdzie do zderzenia cząstek z innymi atomami, przekazana energia może doprowadzić do ich jonizacji, powstania nowych jonów i swobodnych elektronów, które następnie ulegają przyspieszeniu... Jest to przykład samonapędzającej się reakcji, a ilość zjonizowanych cząstek szybko rośnie z czasem.

Sposób 3. Podgrzanie materiału do bardzo wysokich temperatur, rzędu 1000°C

Metoda ta jest typowa dla ciał stałych. W tak wysokich temperaturach, elektrony uzyskują dostateczną **energię termiczną**, by oderwać się od swoich macierzystych atomów. Gęstość prądu elektronowego j płynącego z materiału rozgrzanego do temperatury T można opisać za pomocą prawa Richardsona:

$$j = A_R \frac{4\pi m k_B^2 e}{h^3} T^2 e^{-\frac{W}{k_B T}},$$

gdzie A_R jest pewną bezwymiarową stałą, typową dla danego materiału, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg jest masą elektronu, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K oznacza stałą Boltzmanna, a W – pracę wyjścia elektronu.

Zjawisko emitowania elektronów z powierzchni rozgrzanego materiału nazywamy termoemisją. Co jest istotne – widzimy, że ilość emitowanych elektronów bardzo silnie wzrasta ze wzrostem temperatury. W prawie Richardsona występuje iloczyn kwadratu temperatury i funkcji wykładniczej, w której wykładniku jest temperatura. Dlatego zjawiska termoemisji stają się istotne dopiero dla wysokich temperatur.

Jak widzisz, istnieją trzy podstawowe sposoby jonizacji atomów. Jonizację gazu możemy obserwować na co dzień – przykładowo, zasada działania popularnych lamp neonowych polega na świeceniu zjonizowanego gazu. W tym przypadku, jonizacja zachodzi przez umieszczenie gazu w silnym polu elektrycznym. Powstałe w wyniku jonizacji swobodne elektrony i kationy gazu są przyspieszane w polu elektrycznym i mogą przekazywać nabytą w ten sposób energię innym atomom. Podczas zderzenia może dojść do jonizacji kolejnych atomów lub ich wzbudzenia. Wzbudzony atom będzie oddawał nadmiar energii poprzez emisję promieniowania świetlnego.



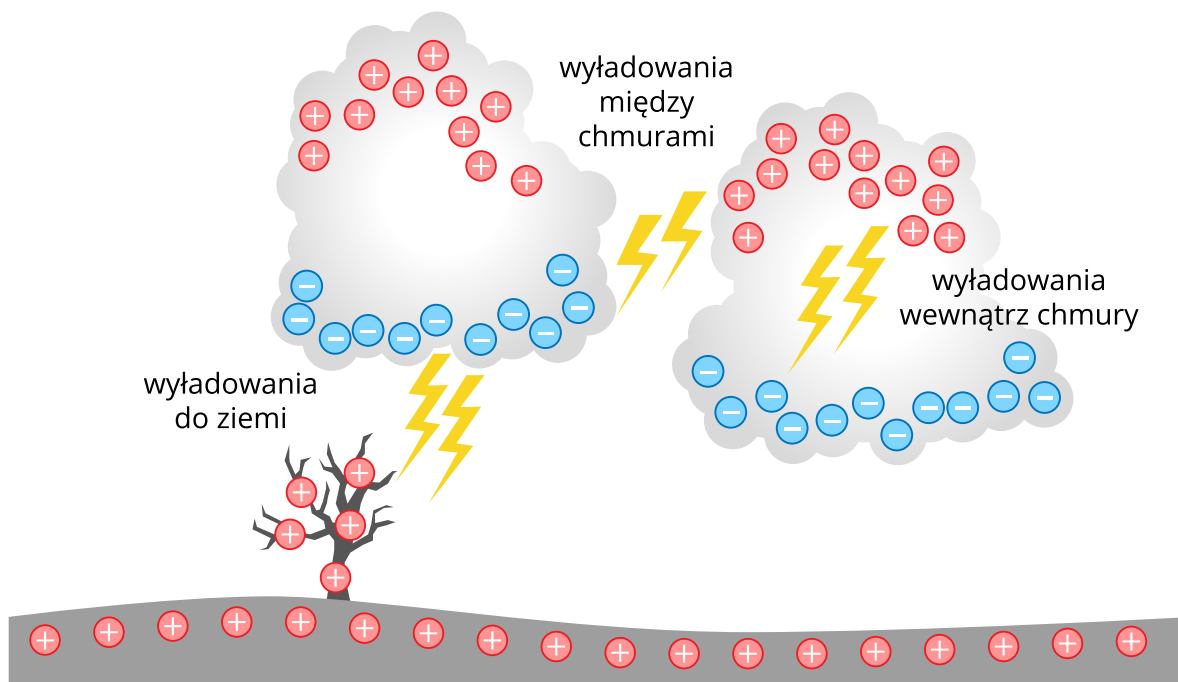
Rys. 2. Lampy neonowe wykorzystują zjawisko świecenia zjonizowanego gazu.

Źródło: Pomeranian, dostępny w internecie:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5e/Neon_lamps_with_name_of_Hotel_Gdynia_on_roof_Hotel_Gdynia.jpg

[dostęp 10.07.2022], licencja: CC BY-SA 4.0.

Zjawisko jonizacji występuje również podczas burzy i umożliwia przeskok błyskawicy. W normalnych warunkach powietrze jest izolatorem elektrycznym i uniemożliwia przepływ prądu. Z kolei błyskawica jest obszarem, w którym płynie prąd o gigantycznym natężeniu. Jak jest to zatem możliwe? W chmurach burzowych występują silne prądy powietrzne, które powodują ruch kropeł wody w górę i dół chmury. W wyższych partiach chmur temperatura powietrza wynosi mniej niż $^{\circ}\text{C}$, więc krople zamarzają. Podczas ruchu krople wody i kryształki lodu trą o siebie wzajemnie. Kryształki znajdujące się w górnych częściach chmury uzyskują ładunek dodatni, a krople wody znajdujące się w częściach niższych – ujemny. Ujemny ładunek zgromadzony przy podstawie chmury powoduje przyciągnięcie z ziemi ładunku dodatniego. Zarówno pomiędzy górną i dolną częścią chmury, jak i między dolną częścią chmury a ziemią, wytwarzają się zatem bardzo silne pola elektryczne. Pola te powodują jonizację powietrza, zgodnie z mechanizmem opisanym powyżej. Zjonizowane powietrze zawiera swobodne elektrony oraz jony azotu, tlenu i innych pierwiastków obecnych w powietrzu. To sprawia, że powietrze przestaje być izolatorem elektrycznym. Umożliwia to powstawanie wyładowań elektrycznych (błyskawic) zarówno między chmurą a ziemią, jak i między dwiema chmurami. Schemat powstawania błyskawicy przedstawia Rys. 3.



Rys. 3. Jonizacja chmur i ziemi podczas burzy.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Słowniczek

Energia termiczna, energia drgań termicznych

(ang.: *thermal energy*) – rodzaj energii kinetycznej związanej z ruchem atomów i innych cząstek. W przypadku atomów w cieczy i gazach mówimy o swobodnym ruchu, w przypadku atomów w ciałach stałych i elektronów w atomach – o drganiach. Przykładowo, przejście ze stanu stałego do cieczy polega na podgrzaniu ciała do takiej temperatury, w której energia drgań termicznych atomów stanie się większa niż energia wiązań je utrzymujących.

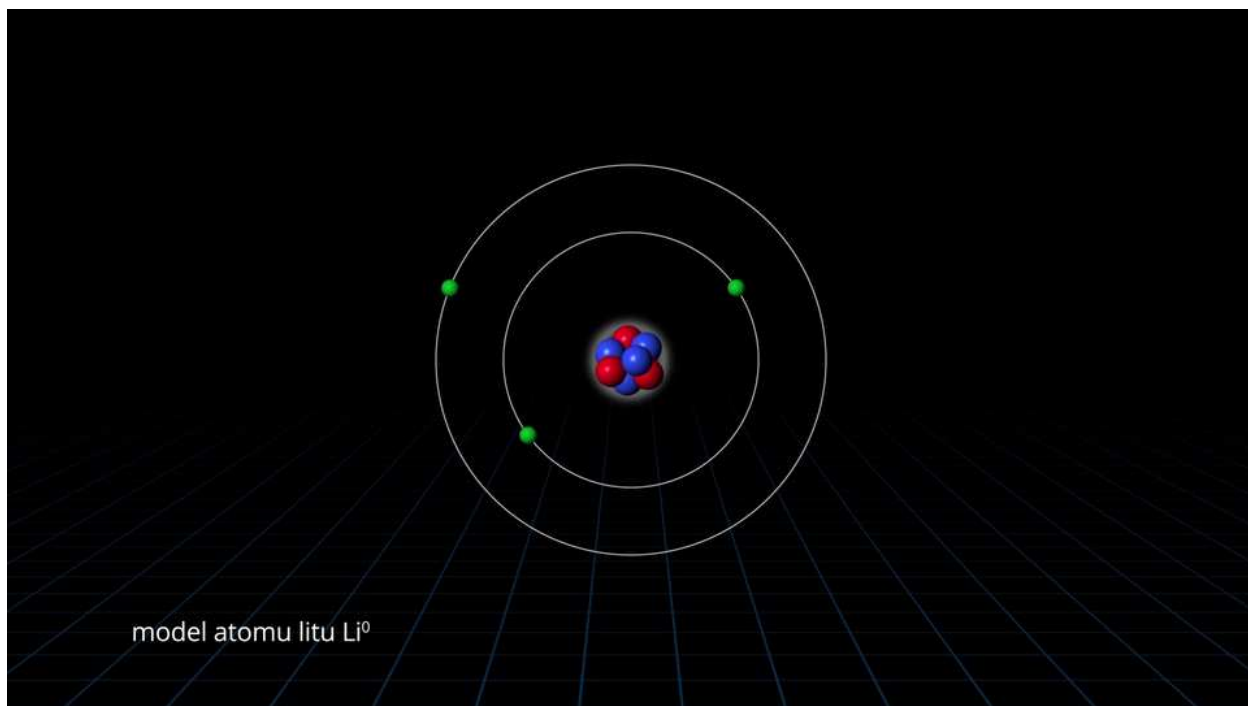
Siły jądrowe

(ang.: *nuclear forces*) – siły przyciągające, działające między składnikami jądra atomowego – protonami i neutronami. Mają one ponad stukrotnie wyższą wartość niż odpychające siły elektryczne działające między protonami. Zasięg działania sił jądrowych jest jednak bardzo krótki i szybko zanikają one w obszarze poza jądrem atomowym. Gdyby siły jądrowe nie istniały, niemożliwe byłoby stworzenie pierwiastków innych niż wodór, ze względu na odpychanie się protonów w jądrze. Nie powstałoby wtedy życie w znanej przez nas formie.

Animacja

Na czym polega zjawisko jonizacji?

Animacja prezentuje zjawisko fotojonizacji na uproszczonym modelu atomu litu. W pewnym momencie, do atomu dostarczana jest energia w postaci kwantu światła – fotonu. Przedstawione są dwie sytuacje odpowiadające różnym energiom fotonu.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RsUfvI1DxaEYk>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji.

Polecenie 1

Energia jonizacji pierwszego elektronu z atomu litu wynosi 5,4 eV. Jonizację atomu litu mogą spowodować fotony o energii:

☐ 7,2 eV

☐ 5,4 eV

☐ 5,0 eV

☐ 4,8 eV

☐ 6,1 eV

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż zdanie prawdziwe.

- ☐ Atom, który uległ jonizacji nazywamy anionem.
- ☐ Po jonizacji, atom posiada wypadkowy ujemny ładunek elektryczny.
- ☐ Jonizacja to oderwanie protonu od atomu.
- ☐ Podczas jonizacji od atomu odrywany jest elektron.

Ćwiczenie 2



Wskaż zdanie prawdziwe.

- ☐ Fotojonizacja to oderwanie elektronu od atomu pod wpływem światła.
- ☐ Zjawisko fotojonizacji wymaga zastosowania silnego zewnętrznego pola elektrycznego.
- ☐ Aby zjonizować gaz atomów, należy umieścić go w silnym polu magnetycznym.
- ☐ Zjawisko jonizacji może zajść po silnym ochłodzeniu materiału.

Ćwiczenie 3



Wskaż zdania prawdziwe.

☐

Im większa jest energia wiązania między jądrem i elektronem, tym silniejszego zewnętrznego pola elektrycznego należy użyć, by oderwać elektron.

☐

Wraz ze zwiększaniem temperatury danego materiału, jego jonizacja będzie zachodziła coraz wolniej.

☐

Silne zewnętrzne pole elektryczne utrudnia jonizację atomów, gdyż na elektrony działa wtedy większa siła przyciągająca je do jądra.

☐

Bardziej prawdopodobne jest, że uda się zjonizować dany atom za pomocą wiązki promieniowania rentgenowskiego niż wiązki promieniowania ultrafioletowego.

Ćwiczenie 4



Wskaż zdania prawdziwe.

☐

Atom helu nie może ulec jonizacji, gdyż ma wypełnioną powłokę elektronową.

☐

W wyniku jonizacji może powstać jon litu Li^{4+} .

☐

Efektom jonizacji atomu wodoru jest swobodny proton.

☐

W praktyce, ciężko jest oderwać od atomu więcej niż jeden elektron, bo energia jonizacji kolejnych elektronów szybko wzrasta.

Ćwiczenie 5



Uzupełnij równanie, które poprawnie opisuje akt jonizacji kationu wapnia, z którego poprzednio usunięto jeden elektron.

$1e^{-}$

Ćwiczenie 6



Lampa neonowa zaczyna świecić, gdy wartość napięcia zasilającego wynosi 100 V. Wykorzystując równanie $eU \geq E_j$ (podane w części „Warto przeczytać”), określ wartość energii jonizacji gazu w lampie i wyraż ją w eV (elektronowoltach). Zastanów się, czy otrzymana wartość jest przeszacowana czy niedoszacowana?

Ćwiczenie 7



Energia jonizacji atomu wodoru wynosi 13,6 eV. Oblicz graniczną długość fali światła, która spowoduje jonizację. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, prędkość światła w próżni $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, a stała Plancka $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

Wynik podaj w nanometrach, zaokrąglając go do trzech miejsc znaczących. Jakiej części widma promieniowania elektromagnetycznego odpowiada ta długość fali?

Odpowiedź: $\lambda_g =$ nm.

Ćwiczenie 8



Przeanalizuj zależność gęstości prądu elektronowego od temperatury ciała, wynikającą z prawa Richardsona. Określ, ile wyniesie gęstość prądu w temperaturze 950°C, jeśli w temperaturze 900°C wynosiła ona $j = 500 \text{ nA/m}^2$. Praca wyjścia wynosi 5 eV. Wynik zaokrąglaj do dwóch cyfr znaczących.

Stała Boltzmannna $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Odpowiedź: $j =$ nA/m^2 .

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Przemysław Michalski
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	Jak powstają błyskawice?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych. Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 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. X. Fizyka atomowa. Uczeń: 5) opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 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. XI. Fizyka atomowa. Uczeń: 7) opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej.
------------------------------------	--

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • 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:	Uczeń: 1. wyjaśnia, czym jest jonizacja; 2. omawia działanie lampy neonowej; 3. opisuje i rozróżnia mechanizmy jonizacji w gazach i ciałach stałych; 4. wyjaśnia mechanizm powstawania błyskawicy; 5. podaje przykłady zastosowania zjawiska jonizacji.
Strategie nauczania:	blended learning
Metody nauczania:	wykład, pokaz interaktywny
Formy zajęć:	praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer, projektor, tablica
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel prosi uczniów o przypomnienie, na czym polega zjawisko jonizacji. Następnie pyta uczniów o przykłady zjawisk, w których występuje jonizacja. Przyciąga ich uwagę informacją, że zjawiska te obecne są w procesie wyładowania atmosferycznego (błyskawic) lub podczas pracy lamp neonowych.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel podczas lekcji omawia zjawiska jonizacji dla gazów – fotojonizację oraz jonizację w polu elektrycznym. Uczniowie oglądają animację prezentującą zjawisko fotojonizacji i udzielają odpowiedzi na postawione tam pytania. Aby omówić jonizację w polu elektrycznym, nauczyciel opisuje działanie lamp neonowych, a następnie przechodzi do głównego zagadnienia, jakim jest wyjaśnienie zjawiska powstawania błyskawic na drodze jonizacji powietrza.	

Faza podsumowująca:

Czas na wyjaśnienie dodatkowych pytań i wątpliwości zgłaszanych przez uczniów. W ramach zweryfikowania zdobytej wiedzy, uczniowie rozwiązują zadania 1 – 5 z zestawu ćwiczeń.

Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy, jakiej i kiedy. W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informacje zwrotną kształtującą.

Praca domowa:

Nauczyciel dzieli uczniów na grupy i prosi ich o przygotowanie prezentacji/plakatów omawiających zjawiska jonizacji w ciałach stałych, wraz z ich omówieniem i przykładami zastosowań. Może to być np. termoemisja wykorzystywana w mikroskopach elektronowych, zjawiska fotoelektryczne czy jonizacja w silnym polu elektrycznym, wykorzystywana np. w „jonowych” suszarkach do włosów (wyładowanie koronowe).

**Wskazówki metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Multimedium można wykorzystać także do pracy w strategii flipped classroom – zlecić je do samodzielnej analizy uczniom.