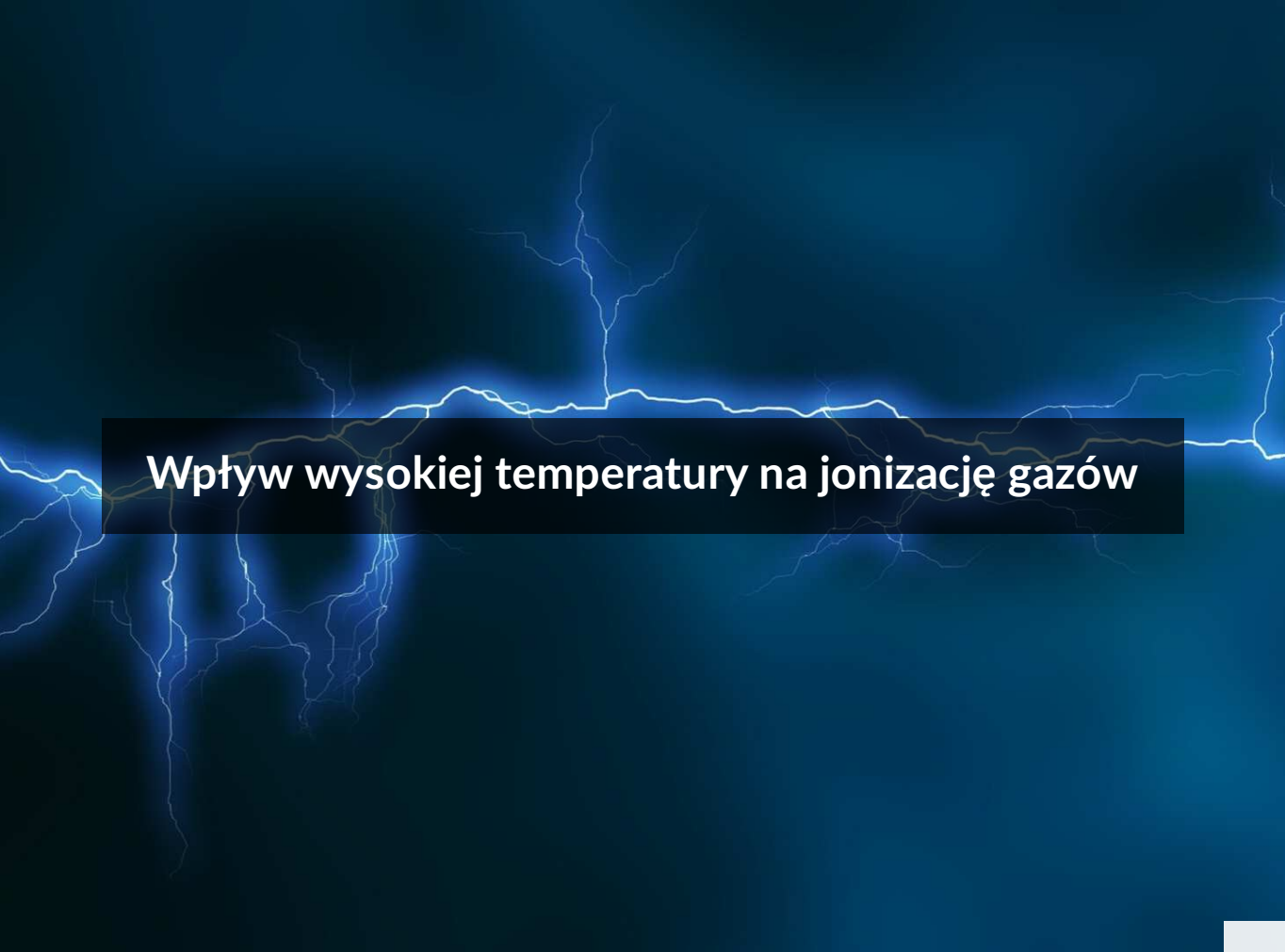




Wpływ wysokiej temperatury na jonizację gazów

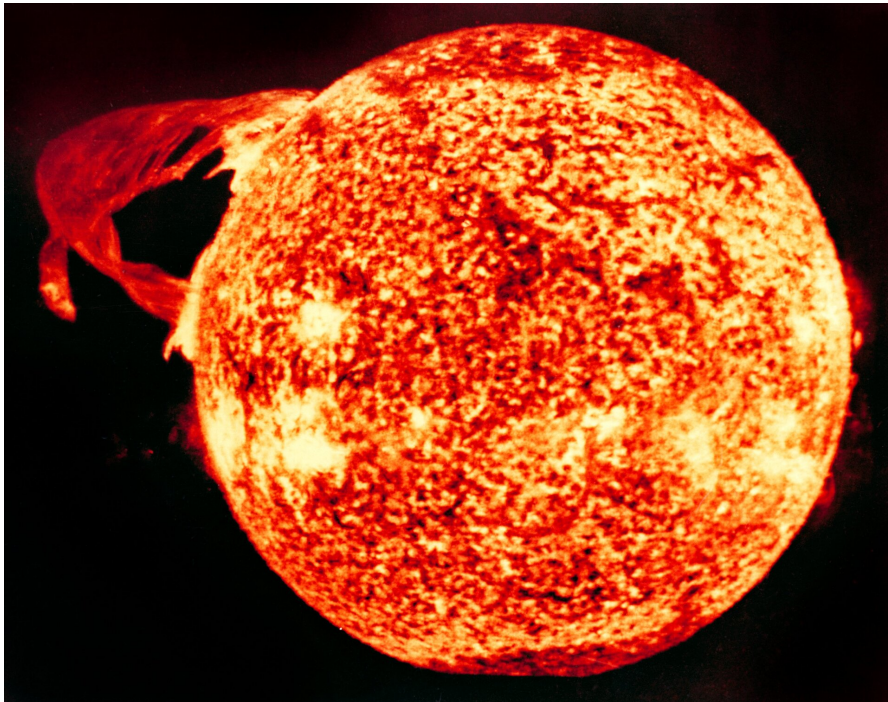
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Grafika interaktywna \(schemat\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Wpływ wysokiej temperatury na jonizację gazów

Czy to nie ciekawe?

Jonizacja to zjawisko, które powoduje, że gaz, który w naturalnym stanie jest izolatorem, zaczyna przewodzić prąd elektryczny. Gaz jest tym lepszym przewodnikiem, im wyższą ma temperaturę. Efekt ten wynika ze zjawiska jonizacji termicznej, czyli wywołanej przez zderzenia atomów lub cząsteczek gazu poruszających się swobodnie ruchami termicznymi. W bardzo niskich temperaturach, jonizacja występuje, pomimo że energia tych ruchów jest bardzo mała. W bardzo wysokich temperaturach, takich, jakie panują wewnątrz gwiazdy, jonizacja jest całkowita, czyli wszystkie atomy są zjonizowane w maksymalny możliwy sposób, a materia występuje w formie gorącej plazmy, złożonej z mieszaniny jąder atomowych i elektronów.



Rys. a. Protuberancja słoneczna - łuk plazmy łączący obszary o przeciwnych biegunach magnetycznych. Zdjęcie Słońca zostało wykonane w 1973 roku podczas ostatniej misji Skylab.

Twoje cele

- dowiesz się, jak przebiega jonizacja termiczna w gazach,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozpatrywania zjawisk towarzyszących jonizacji termicznej,
- wykorzystasz wiedzę i umiejętności z zakresu mechaniki i połączysz je z wiedzą o jonizacji, by wyciągać ciekawe wnioski dotyczące zjawisk fizycznych.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Gaz to zbiór cząsteczek lub atomów, między którymi nie działają żadne siły, poza przypadkami, kiedy zderzają się one ze sobą. Dla uproszczenia rozważań, w niniejszym e-materiale przyjmujemy, że mamy do czynienia z pojedynczymi atomami. Brak oddziaływań odróżnia ten stan skupienia materii od pozostałych i jest efektem bardzo dużej energii kinetycznej, którą mają atomy gazu. Prędkość, z jaką porusza się każdy z nich jest różna i ma wartość podlegającą rozkładowi statystycznemu, ale średnia prędkość wszystkich atomów jest ściśle powiązana z temperaturą gazu.

Mówiąc dokładniej, **temperatura** określana jest właśnie jako miara średniej energii kinetycznej ruchu atomów. W ciałach stałych i cieczech, to drgania wokół położenia równowagi, w gazach swobodne ruchy w całej dostępnej objętości naczynia. Im wyższa temperatura, tym większa średnia energia ruchów termicznych. Wyraża to wzór, który wyprowadzono w e-materiale pod tytułem „Teoria kinetyczno-molekularna [gazu doskonałego](#)”:

$$E_{k \text{ } \acute{s}r} = \frac{3}{2}kT$$

gdzie k jest stałą Boltzmanna, której wartość liczbowa wynosi $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

W [warunkach normalnych](#) gaz występuje w postaci obojętnych elektrycznie atomów. Każdy atom składa się z dodatnio naładowanego jądra i ujemnych elektronów, znajdujących się wokół jądra na powłokach elektronowych. Jeżeli elektron zostanie wybity z atomu na zewnątrz, atom staje się naładowanym dodatnio jonem, zwanym [kationem](#). Zjawisko to nazywa się **jonizacją** atomu.

Aby doszło do [jonizacji](#), elektron musi uzyskać wystarczającą energię kinetyczną, by pokonać przyciąganie elektrostatyczne z jądrem atomowym. Minimalna przekazana energia, która wystarcza do zjonizowania atomu, nazywa się **energią jonizacji**. Wyraża się ją najczęściej w jednostkach zwanych **elektronowoltami (eV)**, ze względu na wygodę często używanymi w fizyce mikroświata. 1 **eV** to energia, jaką uzyska elektron przyspieszany różnicą potencjałów równą 1 woltowi, czyli w przybliżeniu $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Zastanówmy się, skąd może pochodzić energia potrzebna do [jonizacji](#)? Jej źródło może być zewnętrzne lub wewnętrzne. Zewnętrzne, to zderzenia wpadających w obszar gazu protonów lub cząstek promieniowania jonizującego ([alfa](#), [beta](#), [gamma](#)) z atomami. Wewnętrzne, to zderzenia atomów, poruszających się bezładnymi ruchami termicznymi.

Możemy sobie je w przybliżeniu wyobrażać jako zderzenia dwóch kul. Ważna jest więc łączna energia kinetyczna obu zderzających się atomów oraz kierunki, w jakich poruszają się przed zderzeniem. Należy zaznaczyć, że jeżeli dojdzie do jonizacji, suma energii kinetycznych atomów po zderzeniu nie będzie równa sumie energii kinetycznych przed zderzeniem, gdyż część energii potrzebna jest, by zjonizować atom. Zderzenie takie jest więc niesprężyste i nie można traktować go jak zderzenie kul bilardowych.

Prawdopodobieństwo zajścia jonizacji termicznej rośnie wraz z temperaturą, gdyż rośnie średnia energia kinetyczna ruchu atomów. Pamiętajmy jednak, że mówimy tu o średniej, co oznacza, że niektóre atomy mogą mieć bardzo dużą, a niektóre bardzo małą energię. A więc nawet w bardzo małej temperaturze może dojść do pojedynczych zdarzeń jonizacji termicznej atomów gazu. Zdarzeń tych będzie jednak bardzo mało. Rozkład prędkości poszczególnych atomów wokół średniej jest bowiem nieliniowy. Najwięcej atomów ma prędkość zbliżoną do średniej. Im większe odchylenie od średniej, tym mniej jest atomów, które taką prędkość posiadają. Wzór statystyczny określający tę zależność nosi nazwę **rozkładu Maxwella**.

Zauważmy, że im większa temperatura, tym gaz lepiej przewodzi prąd elektryczny – odwrotnie, niż metale.

Gdy temperatura gazu rośnie do wartości milionów kelwinów, gaz osiąga stan jonizacji całkowitej. Jest to tak zwana **gorąca plazma**, mieszanina jąder atomowych i elektronów. Plazma taka tworzy gwiazdy.

Słowniczek

Elektronowolt (eV)

(*ang.: electronvolt*) jednostka energii używana w fizyce atomowej, równa energii, jaką uzyska elektron przyspieszany różnicą potencjałów równą 1 woltowi. $1\text{eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$

Energia jonizacji

(*ang.: ionization energy*) najmniejsza energia, wystarczająca do oderwania elektronu od atomu, charakterystyczna dla danego pierwiastka.

Gaz

(*ang.: gas*) stan skupienia materii, w którym cząsteczki lub atomy nie oddziałują ze sobą (poza zderzeniami) i mają pełną swobodę ruchu.

Gorąca plazma

(*ang.: hot plasma*) stan całkowitego zjonizowania gazu, w którym materia jest mieszaniną jąder atomowych i elektronów.

Jonizacja

(*ang.: ionization*) zjawisko powstawania atomu (lub cząsteczki) naładowanego z obojętnego.

Jonizacja lawinowa

(*ang.: avalanche*) proces zachodzący w gazach, w którym elektrony uwolnione wskutek pierwotnej jonizacji i przyspieszane polem elektrycznym mają na tyle dużą energię, by doprowadzić do jonizacji kolejnych napotkanych na swej drodze atomów.

Kation

(*ang.: cation*) jon o ładunku dodatnim, w którym występuje nadmiar protonów w stosunku do elektronów.

Powłoka elektronowa

(*ang.: electron shell*) obszar wokół jądra atomowego, w którym mogą przebywać elektrony o tej samej głównej liczbie kwantowej.

Promieniowanie alfa

(*ang.: alpha ray, alpha radiation*) strumień jąder helu, rodzaj promieniowania jonizującego, emitowanego przez rozpadające się jądra atomowe.

Promieniowanie beta

(*ang.: beta ray, beta radiation*) strumień elektronów, rodzaj promieniowania jonizującego emitowanego przez rozpadające się jądra atomowe.

Promieniowanie gamma

(*ang.: gamma ray, gamma radiation*) promieniowanie elektromagnetyczne, rodzaj promieniowania jonizującego, emitowanego między innymi przez rozpadające się jądra atomowe.

Rozkład Maxwella

(*ang.: Maxwell-Boltzmann distribution*) wzór statystyczny, określający, ile jest w danej temperaturze cząsteczek gazu doskonałego, które mają konkretną wartość prędkości.

Temperatura

(*ang.: temperature*) miara średniej energii kinetycznej ruchów termicznych atomów i cząstek substancji. W temperaturze zera bezwzględnego ruchy termiczne zanikają.

Warunki normalne

(*ang.: normal conditions*) – warunki, w których ciśnienie jest równe 101 325 Pa (<https://pl.wikipedia.org/wiki/Paskal>) = 1013,25 hPa, a temperatura równa 273,15K, czyli 0°C.

Gaz doskonały

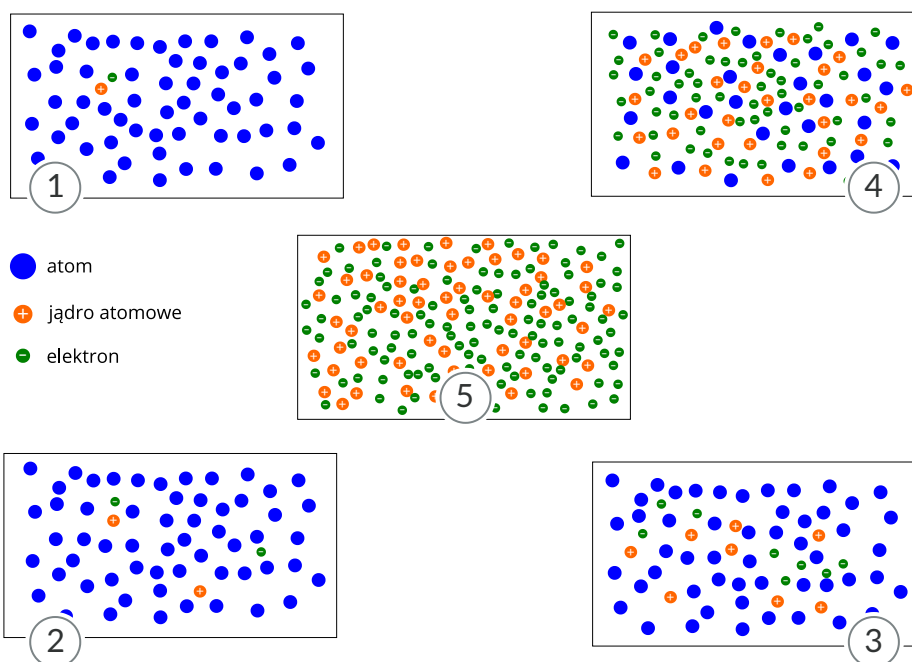
(*ang.: ideal gas*) – model gazu, oparty na założeniach, że cząsteczki gazu to identyczne punkty materialne, poruszające się chaotycznie, zderzające się sprężysto między sobą

i ze ściankami naczynia; poza zderzeniami cząsteczki nie oddziałują wzajemnie.

Grafika interaktywna (schemat)

Jaki wpływ na jonizację gazów ma wysoka temperatura?

W naczyniach znajduje się 60 atomów gazu w różnych temperaturach. Sprawdź, jak temperatura wpływa na stopień jonizacji gazu. Zwróć uwagę na liczbę elektronów uwolnionych podczas jonizacji w różnych temperaturach.



1

90 K

temperatura ciekłego tlenu

liczba obojętnych atomów - 59

liczba zjonizowanych atomów - 1

liczba elektronów - 1

średnia prędkość atomów - 200 m/s

2

300 K

temperatura pokojowa

liczba obojętnych atomów - 58

liczba zjonizowanych atomów - 2

liczba elektronów - 2

średnia prędkość - 400 m/s

3

3 000 K

temperatura palnika spawalniczego

liczba obojętnych atomów - 52

liczba zjonizowanych atomów - 8

liczba elektronów - 8

średnia prędkość - 1200 m/s

4

30 000 K

temperatura zimnej plazmy

liczba obojętnych atomów - 30

liczba zjonizowanych atomów - 30

liczba elektronów - 60

średnia prędkość - 4000 m/s

5

10 000 000 K

temperatura gorącej plazmy

liczba obojętnych atomów - 0

liczba zjonizowanych atomów - 60

liczba elektronów - 120

średnia prędkość - bardzo duża, ale trudna do określenia (brak równowagi termicznej)

Polecenie 1

Wraz ze wzrostem temperatury stopień jonizacji gazu

☐ maleje

☐ nie ulega zmianie

☐ rośnie

Polecenie 2

Czy liczba elektronów uwolnionych podczas jonizacji w różnych temperaturach jest równa liczbie jonów? Wyjaśnij, z czego to wynika?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż wszystkie prawidłowe stwierdzenia odnoszące się do jonizacji termicznej.

- ☐ Jonizacja termiczna gazu zachodzi w każdej temperaturze.
- ☐ Zjawisko jonizacji termicznej polega na zderzeniach wysokoenergetycznych cząstek wpadających w obszar gazu z obojętnymi atomami, wskutek czego powstaje jon dodatni (kation) i elektron swobodny.
- ☐ Temperatura jest określana jako miara stopnia jonizacji termicznej gazu doskonałego.
- ☐ Jonizacja termiczna jest istotnym mechanizmem jonizacji zachodzącym w atmosferach gwiazd (również Słońca).

Ćwiczenie 2



W jaki sposób zmienia się zdolność gazu do przewodzenia prądu elektrycznego wraz ze wzrostem jego temperatury?

- ☐ maleje
- ☐ początkowo rośnie, a potem maleje
- ☐ nie zmienia się
- ☐ rośnie

Ćwiczenie 3



Dlaczego liczba jonów w gazie rośnie wraz ze wzrostem jego temperatury?

a) Dlatego, że wzrasta liczba atomów, a więc częściej może dochodzić do zderzeń. [

PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

b) Dlatego, że atomy poruszają się coraz szybciej, a więc zwiększa się liczba zderzeń, które potencjalnie mogą doprowadzić do jonizacji. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

c) Dlatego, że wskutek ruchów termicznych zmniejsza się energia jonizacji atomów, a więc łatwiej dochodzi do jonizacji. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

d) Dlatego, że atomy mają coraz większą energię kinetyczną, coraz częściej przekraczającą energię jonizacji. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

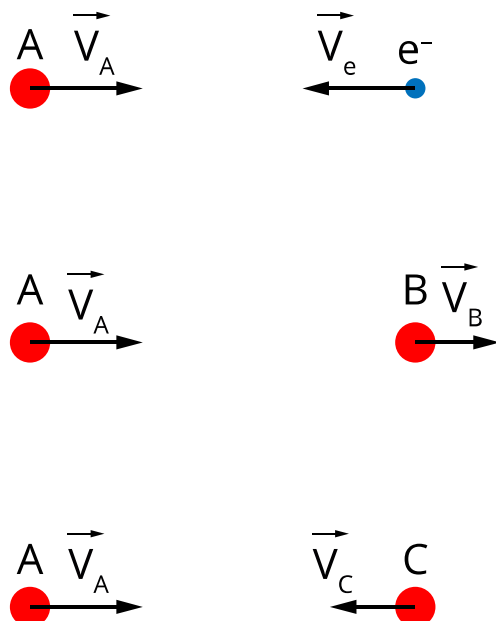
Ćwiczenie 4



Dwa obojętne atomy gazu o energii kinetycznej 10 eV każdy, zderzyły się centralnie. Po zderzeniu ich kierunek ruchu zmienił się na przeciwny, a energia każdego z nich wynosiła 3 eV. Ile wynosi energia jonizacji atomów tego gazu? Załóż, że energia kinetyczna elektronu wybitego z atomu jest pomijalnie mała.

Odp.: eV

Ćwiczenie 5



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Poruszający się atom gazu (A) o energii kinetycznej równej $0,9E_j$ (gdzie E_j jest jego energią jonizacji) zderza się z poruszającymi się wzdłuż tej samej prostej: w pierwszym przypadku z elektronem o prędkości takiej samej, jak atom lecz skierowanej przeciwnie, w drugim z innym atomem (B) o energii kinetycznej równej $0,5E_j$ i prędkości skierowanej zgodnie, a w trzecim przypadku z atomem (C) o energii $0,5E_j$ i prędkości skierowanej przeciwnie. W której sytuacji nastąpi jonizacja?

- ☐ Przy zderzeniu z drugim atomem (C)
- ☐ Przy zderzeniu z elektronem
- ☐ Przy obu zderzeniach z atomami
- ☐ Przy zderzeniu z pierwszym atomem (B)

Ćwiczenie 6



Z jaką minimalną prędkością musi uderzyć atom helu w inny, nieruchomy atom, aby doszło do jego jonizacji? Masa atomu helu wynosi $6,5 \cdot 10^{-27}$ kg, a jego energia jonizacji 25 eV. Uzyskany wynik podaj z dokładnością do tysięcy m/s.

Odp.: m/s.

Ćwiczenie 7



Dwa atomy gazu poruszają się wzdłuż jednej prostej, w tym samym kierunku, jak na rysunku poniżej. Ich energie kinetyczne oznaczono odpowiednio: E_1 i E_2 . E_j oznacza energię jonizacji. Jaki warunek musi być spełniony, aby doszło do jonizacji jednego z atomów?



☐ $E_1 < E_2 + E_j$

☐ $E_2 - E_1 > E_j$

☐ $E_1 > E_2 + E_j$

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 8



Wiadomo, że do jonizacji termicznej może dojść nawet w niskiej temperaturze, gdy średnia energia kinetyczna poruszających się atomów gazu jest mniejsza od energii jonizacji. Jednak liczba tych zdarzeń jest bardzo mała. Jaki jest wobec tego statystyczny rozkład prędkości atomów w gazie? Które z poniższych stwierdzeń opisują go prawidłowo?

a) Skoro liczba atomów poruszających się tak szybko, że mogą jonizować jest mała, to liczba atomów poruszających się dużo wolniej niż średnia musi być duża. [PRAWDA ☐ /

FAŁSZ ☐]

b) W danej temperaturze rozkład prędkości atomów jest taki, że im większa prędkość, tym więcej atomów ją posiada. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

c) Skoro nawet przy niskiej prędkości średniej są atomy, które poruszają się szybko, to muszą być też atomy, które poruszają się dużo wolniej, niż średnia. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

d) Skoro liczba atomów poruszających się szybciej, niż średnia jest mała, to liczba atomów poruszających się wolniej też musi być mała. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Sobiepan
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jonizacja termiczna gazów
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia - wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania - wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu; 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.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie 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. dowie się, jak przebiega jonizacja termiczna w gazach. 2. pozna zależność stopnia jonizacji gazu od temperatury. 3. zrozumie, dlaczego zależność ta jest właśnie taka. 4. zastosuje zdobytą wiedzę do rozpatrywania zjawisk towarzyszących jonizacji termicznej. 5. dokona syntezy wiedzy dotyczącej jonizacji z wiedzą z zakresu mechaniki, by wyciągać wnioski dotyczące rozważanych zjawisk fizycznych.
Strategie nauczania:	blended-learning
Metody nauczania:	- burza mózgów, - dyskusja dydaktyczna.
Formy zajęć:	praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	Dla każdego ucznia: komputer z dostępem do Internetu, z zainstalowanym systemem konferencyjnym zawierającym wspólny czat i tablicę (np. Teams, Zoom).
Materiały pomocnicze:	niniejszy e-materiał
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Zaciekawienie uczniów: wyświetlenie przez nauczyciela kilku zdjęć płomieni i gwiazd – wszędzie tam znajduje się gaz, który został zjonizowany dzięki bardzo wysokiej temperaturze.

Przedstawienie celów do osiągnięcia na lekcji: nauczyciel wyświetla na tablicy swoją propozycję celów do osiągnięcia (cele operacyjne, podane powyżej). Jeśli uczniowie chcą coś do niej dodać, zapisują to, a ekran zostaje zachowany do późniejszego wykorzystania.

Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów: nauczyciel prosi, by przez 5 minut uczniowie, wykorzystując dowolne sposoby (np. dyskusję, wyszukiwanie informacji w Internecie, przegląd notatek), przypomnieli sobie, co to jest gaz oraz na czym polega zjawisko jego jonizacji.

Przykładowe odpowiedzi uczniów:

Gaz – stan skupienia materii, w którym cząsteczki lub atomy mają największą swobodę ruchu, słabo oddziałują ze sobą; gaz zajmuje całą objętość naczynia, ma mniejszą gęstość niż ciecz i ciało stałe;

Jonizacja – zjawisko powstawania jonu z obojętnego atomu lub cząsteczki.

Faza realizacyjna:

Nauczyciel ogłasza burzę mózgów na czacie: w jaki sposób wzrost temperatury wpływa na zmianę przebiegu procesu jonizacji atomów w gazie.

Faza porządkowania: uczeń, który został wybrany sekretarzem burzy mózgów, zapisuje uzgodnione stwierdzenia na tablicy i wersję ostateczną udostępnia wszystkim, by mieli do niej wgląd w każdej chwili.

Jako podsumowanie tej części lekcji uczniowie przeglądają grafikę interaktywną i wykonują powiązane z nią polecenia.

Uczniowie rozwiązują samodzielnie zadania nr: 1, 4, 5, 6 z części „Sprawdź się”. Mogą zadawać nauczycielowi pytania na czacie, nie mogą zamieszczać tam rozwiązań zadań. Odpowiedzi na pytania udziela nauczyciel lub wybrany uczeń, na prośbę nauczyciela.

Nauczyciel służy wsparciem uczniom, podchodząc do ich stanowisk pracy (dla zachowania dyskrecji, gdy wspiera to uczenie się ucznia).

Faza podsumowująca:

Uczniowie po kolei wpisują na tablicy, czego nauczyli się na dzisiejszej lekcji – każdy po jednym stwierdzeniu, innym, niż już zgłoszone. Na przykład: zrozumiałem, na czym polega jonizacja termiczna; nauczyłem się, jak wyjaśnić wpływ wysokiej temperatury na jonizację gazów; nauczyłem się stosować poznane prawa do rozwiązywania zadań; nauczyłem się współpracy na czacie przy uczeniu się nowych zagadnień. W ostatniej fazie, gdy trudno wymyśleć coś nowego, dopisywać mogą dowolni zgłaszający się uczniowie (otrzymują wtedy pochwały i nagrody od nauczyciela, w wybranej przez niego formie – np. „plusy” za aktywność na lekcji).

Nauczyciel uzgadnia z uczniami stopień realizacji celów lekcji, robiąc notatki na ekranie, na którym cele te zostały zapisane.

Każdy uczeń zapisuje jedną rzecz, którą chce lub potrzebuje jeszcze zrobić, z zakresu tematu i przesyła to w informacji prywatnej do nauczyciela.

Praca domowa:

Uczniowie utrwalają wiedzę i umiejętności zdobyte w czasie lekcji przez rozwiązanie w domu zadań nr: 2, 3, 7, 8 oraz realizują zadania, które sami sobie postavili.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Grafikę interaktywną można wykorzystać także jako wstęp do tematu przed lekcją (np. w strategii odwróconej klasy) lub jako materiał dodatkowy, także dla uczniów z klas z podstawowym zakresem kształcenia.