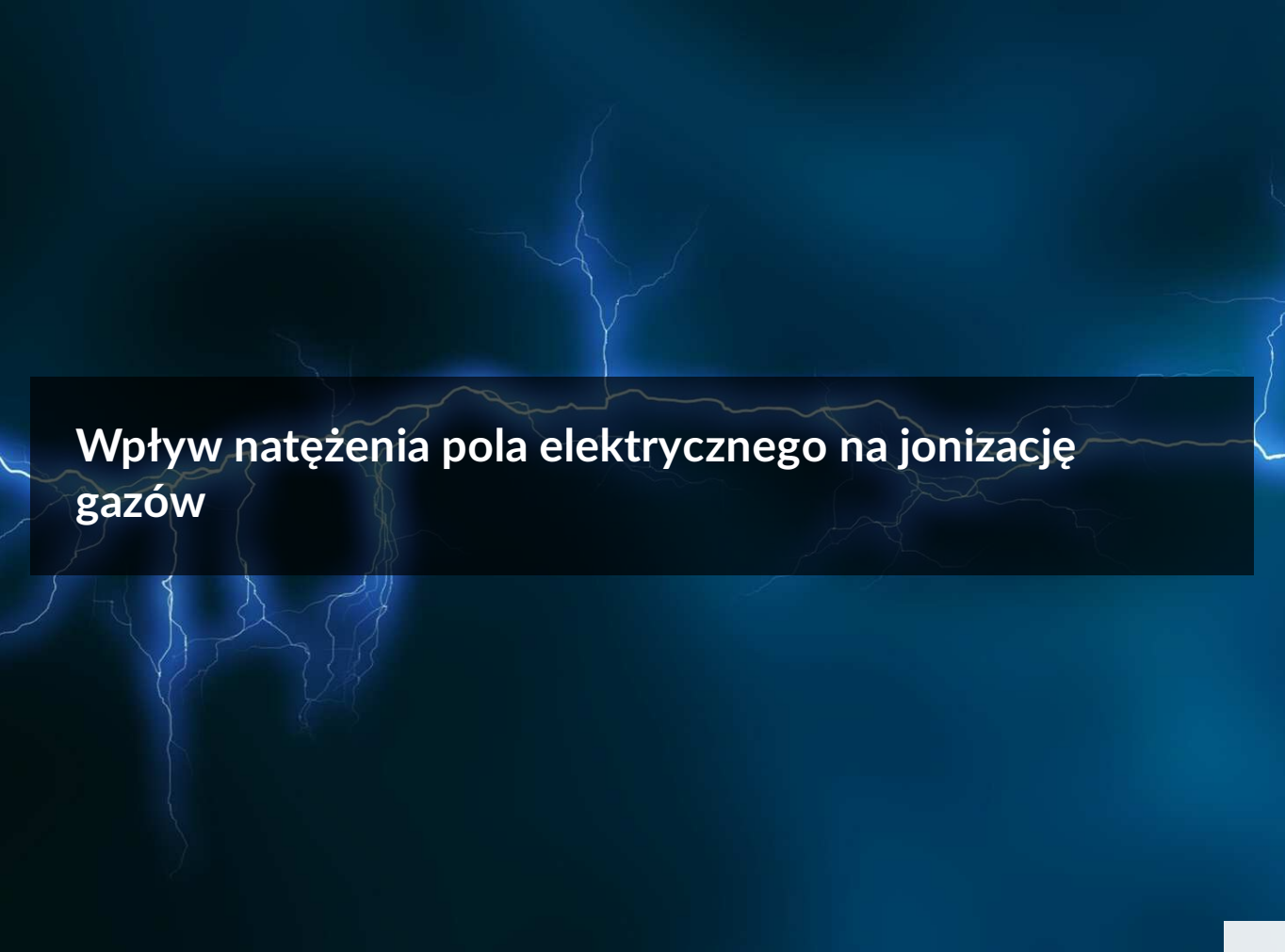




Wpływ natężenia pola elektrycznego na jonizację gazów

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



Wpływ natężenia pola elektrycznego na jonizację gazów

Czy to nie ciekawe?

W gazie, który składa się z obojętnych elektrycznie atomów i wobec tego nie przewodzi prądu elektrycznego, silne pole elektryczne może wywołać jonizację, czyli oderwanie elektronu od atomu. Na powstające w wyniku jonizacji naładowane obiekty (jon i elektron) działa siła pochodząca od pola elektrycznego, powodując ich ruch, czyli przepływ prądu. Jeśli to pole jest bardzo silne, może dojść do różnych widowiskowych zjawisk, jakie obserwujemy podczas burzy, w lampach wyładowczych lub kulach plazmowych. Wyjaśnienie tych zjawisk prezentujemy w tym e-materiale.

Twoje cele

- przeanalizujesz, w jaki sposób przebiega jonizacja w gazach pod działaniem różnych czynników,
- scharakteryzujesz wpływ pola elektrycznego na przebieg procesu jonizacji gazów,
- wyjaśnisz zjawisko tworzenia się łuku elektrycznego, iskry i pioruna a także zasadę działania kuli plazmowej,
- powiążesz wiedzę z innych działów fizyki z wiedzą o jonizacji po to, by głębiej zrozumieć fascynujące zjawiska fizyczne zachodzące w przyrodzie.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Jeśli przyjrzeć się uważnie fotografii burzy poniżej (Fot. 1.) widać, że wyładowanie elektryczne nie przebiega regularnie.



Fot. 1. Piorun podczas burzy.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/lampa-b%c5%82yskowa-burza-z-piorunami-1455285/> [dostęp 7.07.2022], domena publiczna.

Linia często skręca, a czasem nawet zawraca, rozgałęzia się, kończy się niespodziewanie... w tym materiale wyjaśnimy, dlaczego tak się dzieje.

Wstęp o jonizacji

Temat, który będziemy rozważać dotyczy gazów, czyli zbioru atomów lub cząsteczek poruszających się swobodnie w całej dostępnej objętości. W dalszej części tego materiału, dla uproszczenia, będziemy zakładać, że mamy do czynienia z gazem jednoatomowym, którego atomy, poza momentami zderzeń, nie oddziałują ze sobą.

Pojedyncze atomy są elektrycznie obojętne. Składają się one z dodatniego jądra atomowego oraz ujemnych elektronów, poruszających się po ściśle określonych orbitach – powłokach elektronowych. Pod wpływem energii dostarczonej z zewnątrz, elektron może oderwać się od atomu i potem, już jako swobodna naładowana cząstka, może swobodnie poruszać się w całej objętości gazu. Pozbawiony elektronu atom staje się **jonem**, czyli atomem naładowanym elektrycznie. Przy odpowiednio dużej energii takich oderwanych od atomu elektronów może być więcej lub mogą one pochodzić z wewnętrznych powłok

elektronowych. Opisany proces nosi nazwę **jonizacji**. Jony mogą być, tak jak w tym przypadku, naładowane dodatnio – wtedy nazywamy je **kationami**. Po podłączeniu elektrod o różnych potencjałach kationy są przyciągane przez ujemnie naładowaną katodę. Jony ujemne, poruszające się w kierunku dodatnio naładowanej anody, nazywamy **anionami**.

Aby doszło do procesu jonizacji, dostarczona energia powinna być na tyle duża, by pokonać przyciąganie elektronu przez dodatnio naładowane jądro atomowe. Najmniejsza taka energia nazywa się **energią jonizacji**. Jej wartość zależy od szczegółów budowy atomu każdego z pierwiastków i wynosi od kilku do kilkudziesięciu **elektronowoltów**.

Elektronowolt, to taka ilość energii, jaką uzyska elektron przyspieszany różnicą potencjałów 1 wolta ($1 \text{ eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$).

Energia potrzebna do zjonizowania atomu może pochodzić z różnych źródeł. Jak powiedzieliśmy na początku, atomy gazu poruszają się swobodnie ale mogą się ze sobą zderzać. Jeśli ich energia kinetyczna jest wystarczająco duża, dochodzi do jonizacji jednego z nich. W takiej sytuacji mamy do czynienia z tzw. **jonizacją termiczną** (energia kinetyczna atomów gazu jest proporcjonalna do temperatury, zob. e-materiał pt. *Jaki jest związek między temperaturą w skali Kelvina a średnią energią ruchu cząsteczek gazu doskonałego i jego energią wewnętrzną?*). Z obojętnym atomem gazu może się też zderzyć inna cząstka, np.: proton, **cząstka promieniowania alfa**, **beta** lub **gamma**, pochodzące z samoistnych reakcji jądrowych lub promieniowania kosmicznego.

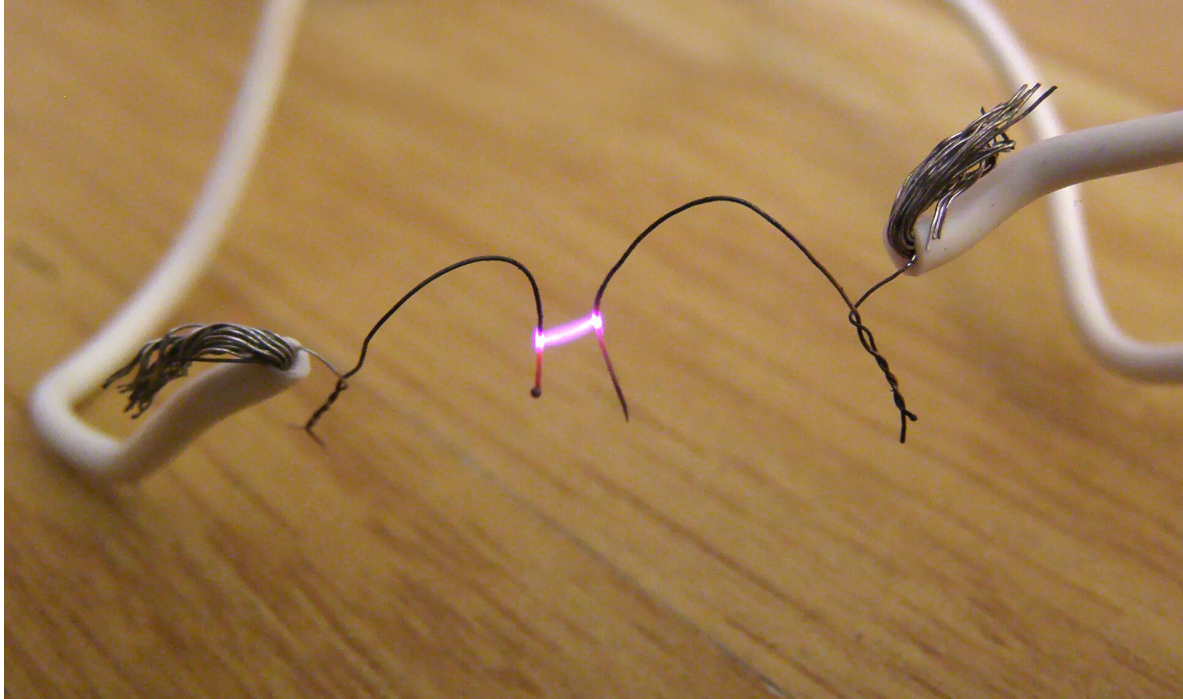
Czynnikiem jonizującym gazy jest też silne pole elektryczne. Po pierwsze, przy odpowiednio dużym jego natężeniu, przeciwnie skierowane siły, które działają na dodatnio i ujemnie naładowane elementy atomu, mogą spowodować oderwanie elektronu. Po drugie (i ten efekt ma największe znaczenie), elektrony wybite wskutek jonizacji jednych atomów mogą zostać przyspieszone przez to pole do prędkości wystarczających, by zderzając się z kolejnymi atomami zjonizować je, czyli wybić następne elektrony, które będąc przyspieszone do wystarczających prędkości jonizują kolejne atomy i tak dalej Opisane zjawisko nazywa się **jonizacją lawinową**.

Warunki wystarczające do zajścia zjawiska **jonizacji lawinowej** mogą zostać wytworzone na dwa sposoby. Jednym z nich jest działanie odpowiednio silnego pola elektrycznego (tak, jak w przypadku błyskawicy), a drugim – zmniejszenie ciśnienia gazu (rozrzedzenie go, tak jak w lampach jarzeniowych lub komorach jonizacyjnych). W wyniku zmniejszenia gęstości gazu średnia droga elektronów, jaką przebywają one między zderzeniami, jest wystarczająco długa, by zostały one rozpędzone do odpowiednio dużych energii.

Jak wytworzyć łuk elektryczny?

Aby wystarczająco przyspieszyć elektrony, nie trzeba dużych napięć. Jeżeli energia jonizacji wynosi kilkanaście eV, to do wywołania jonizacji lawinowej wystarcza napięcie rzędu kilkudziesięciu woltów. Fakt ten ma znaczenie przy zapoczątkowaniu **łuku elektrycznego**. Jeżeli elektrody znajdują się blisko siebie, dochodzi do lawinowej jonizacji gazu

znajdującego się między nimi. Powstające ładunki zmniejszają różnicę potencjałów i proces może wygasnąć. Jeżeli jednak źródło zasilania ma dużą moc, proces będzie trwał. Znaczne zmniejszenie oporu elektrycznego gazu wskutek jonizacji powoduje, że natężenie płynącego prądu elektrycznego osiąga bardzo dużą wartość. Powoduje to wzrost temperatury do 5000 – 6000 K. W takich warunkach gaz między elektrodami tworzy **plazmę**, czyli mieszaninę silnie zjonizowanych atomów i elektronów. Wyładowanie elektryczne trwa w sposób ciągły, nawet po oddaleniu elektrod. Łuk elektryczny wykorzystuje się do spawania i w lampach łukowych.



Fot. 2. Wytworzenie łuku elektrycznego w laboratorium.

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electric_arc.jpg [dostęp 7.07.2022], domena publiczna.

Iskry małe i duże

Inaczej przebiega zjawisko wyładowania elektrycznego, które nazywamy **wyładowaniem iskrowym**. Zachodzi ono pod wpływem bardzo wysokich wartości natężenia pola elektrycznego i ma charakter impulsowy. Z powodu opisaną na wstępie jonizacji zderzeniowej, w gazie zawsze znajduje się pewna liczba elektronów uwolnionych z atomów. Wyładowanie iskrowe rozpoczyna się od jonizacji lawinowej, która jest wywołana przyspieszaniem elektronów siłami elektrostatycznymi i przebiega w wąskim kanale gazu. Kształt takiego kanału jest przypadkowy i zależy od tego, gdzie akurat zgromadziło się najwięcej elektronów zdolnych do wywołania dalszej jonizacji lawinowej. Obecność lawiny elektronów różnie wpływa też na wartość natężenia pola elektrycznego w jej bliskim sąsiedztwie. Tworzące ją ładunki elektryczne powodują powstanie dodatkowego, wytworzonego przez te ładunki, pola elektrycznego. W niektórych miejscach wypadkowe pole może mieć większe, a w niektórych mniejsze natężenie, niż pierwotne pole wytworzone przez chmurę. Umożliwia to powstanie nowych lawin, tam gdzie natężenie pola przekracza wartość progową, ale może też spowodować zakończenie procesu

jonizacji lawinowej. To dlatego linia pioruna często skręca, rozgałęzia się i kończy się niespodziewanie.

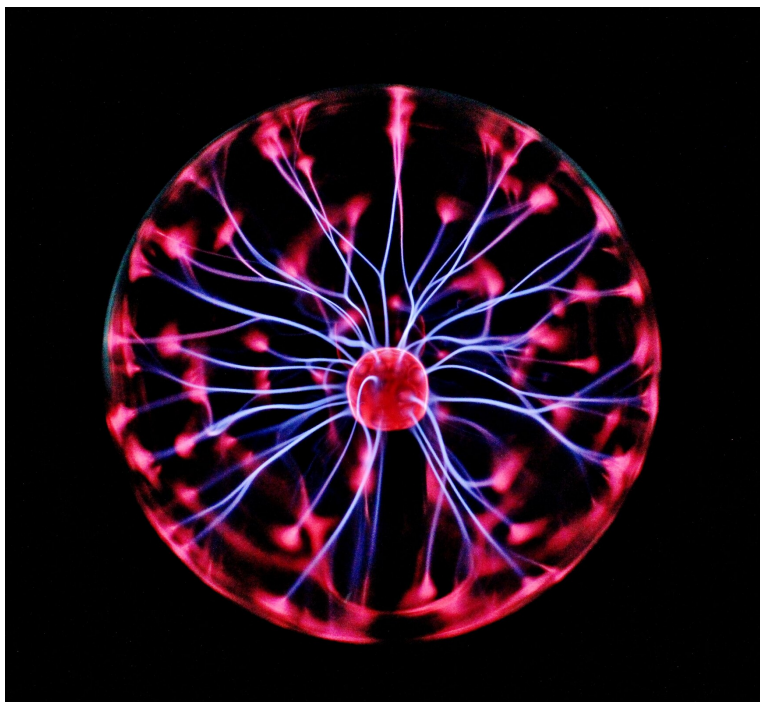
Z reguły przeskok iskry jest więc zjawiskiem przebiegającym nieregularnie i przypadkowo. Z elektrostatyki pamiętamy jednak, że wartość natężenia pola elektrycznego jest największa wokół naładowanych przewodników o bardzo małym promieniu krzywizny, czyli np. ostro zakończonych przedmiotów. W takich miejscach panują najlepsze warunki do jonizacji lawinowej, czyli powstania kanałów, wzdłuż których przebiega wyładowanie iskrowe.

Wskutek przepływu dużej liczby elektronów, wewnątrz kanału wytwarza się wysoka temperatura (nawet do 10 000 K). Wywołuje to procesy jonizacji termicznej, które zwielokrotniają liczbę elektronów zdolnych do przewodzenia prądu. W kanale powstaje **plazma**, czyli niemal całkowicie zjonizowana materia. Ponadto, nagły wzrost temperatury w kanale powoduje skokowy wzrost ciśnienia gazu do kilkuset atmosfer, objawiający się charakterystycznym trzaskiem lub grzmotem.

Przykładem takiego wyładowania może być zarówno przeskok iskry podczas zdejmowania swetra przez głowę, jak i piorun w czasie burzy. To samo zjawisko zachodzi także w samochodowych świecach zapłonowych oraz podczas pracy maszyny elektrostatycznej w szkolnej pracowni fizyki.

Jak działa kula plazmowa?

Ciekawym przykładem jonizacji gazu wskutek działania pola elektrycznego jest wynaleziona przez Teslę zabawka, zwana kulą plazmową. Jest ona szklaną bańką wypełnioną rozrzedzonym gazem, z elektrodą znajdującą się w środkowej części, która jest zasilana napięciem ok. 10 000 V. Wokół elektrody zachodzi jonizacja lawinowa i powstają kanały plazmowe, widoczne jako jasne włókna. Opisana wyżej przypadkowość procesu lawinowej jonizacji gazu powoduje, że kształt włókien jest nieregularny. Obniżone ciśnienie gazu ułatwia tworzenie się takich włókien i ich docieranie do powierzchni bańki.



Fot. 3. Kula plazmowa.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/pi%c5%82ka-w-osoczu-elektryczny-2282449/> [dostęp 7.07.2022], domena publiczna.

Dotknięcie palcem powierzchni kuli sprawia, że w tym miejscu potencjał spada do zera (uziemiamy to miejsce), a więc różnica potencjałów między nim a elektrodą jest znacznie większa, niż w innych punktach. Wzrost natężenia pola elektrycznego w pobliżu palca znacznie ułatwia wywołanie jonizacji lawinowej i powoduje zwiększenie koncentracji włókien plazmowych.

Słowniczek

Anion

(ang.: *anion*) jon naładowany ujemnie, dążący do dodatniej anody (z j. greckiego: *ánodos* – w górę)

Cząstka alfa

(ang.: *alpha particle*) jądro helu, rodzaj promieniowania jonizującego.

Cząstka beta

(ang.: *beta particle*) elektron, rodzaj promieniowania jonizującego.

Cząstka gamma

(ang.: *gamma particle, gamma ray*) **foton**, kwant promieniowania elektromagnetycznego o dużej energii, większej niż 50 keV, rodzaj promieniowania jonizującego.

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.

Foton

(ang.: *photon*) cząstka elementarna, kwant pola elektromagnetycznego, np. światła (z j. greckiego: *phôs* – światło).

Jonizacja

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

Jonizacja lawinowa

(ang.: *avalanche ionization*) 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.

Jonizacja termiczna

(ang.: *thermal ionization*) jonizacja następująca wskutek zderzeń atomów o dużej energii kinetycznej, wynikającej z ruchów termicznych.

Łuk elektryczny

(ang.: *electric arc, arc discharge*) ciągłe wyładowanie elektryczne w gazie pod ciśnieniem normalnym, zachodzące między elektrodami wskutek jonizacji cząsteczek gazu wywołanej elektronami przyspieszonymi przez pole elektryczne. W obszarze łuku elektrycznego gaz jest bardzo silnie zjonizowany a temperatura bardzo wysoka (5000 – 6000 K).

Kation

(ang.: *cation*) jon naładowany dodatnio, dążący do ujemnej katody (z j. greckiego: *katin* – w dół).

Komora jonizacyjna

(ang.: *ionization chamber*) urządzenie do pomiaru promieniowania, wykorzystujące zjawisko jonizacji gazu.

Plazma

(ang.: *plasma*) stan materii, w którym niemal wszystkie lub wszystkie atomy są zjonizowane, nazywany czasem czwartym stanem skupienia (z j. greckiego: *plásma*).

Powłoka elektronowa

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

Wyładowanie iskrowe

(ang.: *electric spark*) impulsowe wyładowanie elektryczne w gazie pod ciśnieniem normalnym, przebiegające dzięki jonizacji lawinowej.

Film samouczek

Jak pole elektryczne wpływa na jonizację gazów

Film samouczek przedstawia mechanizm powstawania pioruna, począwszy od etapu formowania się chmury burzowej. W trakcie wyjaśniane są różne zjawiska związane z jonizacją powietrza i wpływem pola elektrycznego na ten proces.

Polecenie 1

Wyjaśnij, w jaki sposób piorunochrony, które są umieszczane na dachach budynków chronią je przed skutkami uderzenia pioruna.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



W poniższych zdaniach należy wstawić poprawne stwierdzenie wybrane z dostępnych możliwości.

Proces jonizacji atomów gazu polega na uwolnieniu [tylko jednego z ☐ / kilku ☐ / jednego lub kilku ☐] elektronów z atomu wskutek zderzenia. Może też nastąpić poprzez przyłączenie elektronu do [dodatniego jonu ☐ / ujemnego jonu ☐ / obojętnego atomu ☐]. Powstaje wtedy [kation ☐ / anion ☐ / obojętny atom ☐].

Ćwiczenie 2



Dlaczego piorun uderza zawsze w ostro zakończone elementy na ziemi?

- ☐ Dlatego, że siły oddziaływania elektrostatycznego na elektrony są tam najmniejsze.
- ☐ Dlatego, że natężenie pola elektrycznego jest tam największe, co ułatwia jonizację lawinową.
- ☐ Dlatego, że znajdują się one zazwyczaj najwyżej, a więc droga pioruna jest najkrótsza.
- ☐ Dlatego, że ich potencjał elektryczny jest tam największy, a więc różnica potencjałów pomiędzy ziemią a chmurą – najwyższa.

Ćwiczenie 3



Ułóż poniższe kafelki w kolejności do największego do najmniejszego oporu elektrycznego warstwy gazu między elektrodami.

Jonizacja lawinowa



Stan plazmy



Brak procesów jonizacji



Ćwiczenie 4



Do jakiej minimalnej prędkości należy rozpędzić elektron, by mógł on zjonizować atom azotu, którego energia jonizacji wynosi 15 eV? Masa elektronu wynosi $9 \cdot 10^{-31}$ kg. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odp.: $\cdot 10^6$ m/s

Ćwiczenie 5



Jakie warunki muszą zostać spełnione, by zaszła jonizacja lawinowa? Które z poniższych stwierdzeń są prawdziwe?

Elektrony rozpędzane polem elektrycznym muszą przed zderzeniem z atomem osiągnąć energię kinetyczną równą co najmniej energii jonizacji. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

Cięśnienie gazu musi być na tyle duże, by przy danym napięciu między elektrodami elektrony rozpędzały się na tyle długo, by w chwili zderzenia mieć wystarczającą energię. [

PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

Pole elektryczne musi mieć na tyle duże natężenie, by przed zderzeniem rozpędzić elektrony do prędkości, przy której powodują one jonizację. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

Ćwiczenie 6



Wpisz do tabeli informacje, jaki jest stopień jonizacji gazu we wskazanych warunkach. Zadanie potraktuj jakościowo, wybierając i wstawiając do tabeli jedną spośród możliwości: x (mały), xx (duży), xxx (bardzo duży).

	Małe ciśnienie gazu	Duże ciśnienie gazu	Mała temperatura gazu	Duża temperatura gazu
Małe pole elektryczne				
Duże pole elektryczne				

Ćwiczenie 7



Oblicz przyspieszenie, z jakim porusza się elektron między zderzeniami w komorze jonizacyjnej, jeżeli elektrody, do których przyłożono napięcie 2000 V odległe są o 20 cm, wytwarzają pole elektryczne, które można uznać za jednorodne. Masa elektronu wynosi $9 \cdot 10^{-31}$ kg, a wartość jego ładunku elektrycznego równa jest $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odp.: $\cdot 10^{14}$ m/s²

Ćwiczenie 8



Co by się stało, gdyby w kuli plazmowej zwiększono ciśnienie do atmosferycznego? W puste miejsca należy wstawić określenie wybrane z dostępnych.

Jeśli ciśnienie gazu w kuli plazmowej zwiększyć do atmosferycznego, kula działałaby [/], gdyż [/] to jonizację lawinową. Zamiast włókien w takiej postaci, jak przy małym ciśnieniu, wewnątrz kuli pojawiałyby się [/]. Dotknięcie palcem powierzchni kuli [/], że wyładowanie kierowałoby się w to miejsce.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Sobiepan
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Wpływ natężenia pola elektrycznego na jonizację gazów
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa	Cele kształcenia – wymagania ogólne I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. 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. wyjaśnia przebieg zjawiska jonizacji w gazach pod działaniem różnych czynników, 2. analizuje wpływ natężenia pola elektrycznego na przebieg procesu jonizacji gazów, 3. wyjaśnia zjawisko tworzenia się łuku elektrycznego, iskry i pioruna a także zasadę działania kuli plazmowej; 4. syntezuje wiedzę z innych działów fizyki z wiedzą o jonizacji po to, by lepiej rozumieć fascynujące zjawiska fizyczne zachodzące w przyrodzie.
Strategie nauczania	metoda projektu i odwróconej klasy
Metody nauczania	burza mózgów
Formy zajęć:	praca w grupach
Środki dydaktyczne:	tablica
Materiały pomocnicze:	e-materiał „Wpływ natężenia pola elektrycznego na jonizację gazów”, zdjęcia (piorunów, iskier, łuków eklektycznych), kula plazmowa
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Przygotowanie uczniów do lekcji: Przed lekcją nauczyciel zadaje uczniom pracę domową: „Zapoznaj się częścią Przeczytaj niniejszego e-materiału oraz z filmem samoucziem i upewnij się, że rozumiesz opisane tam zjawiska” Zaciekawienie uczniów: „Na dzisiejszej lekcji wyjaśnimy, jak powstaje piorun, iskra, łuk elektryczny oraz jak działa kula plazmowa. Wszystkie te zjawiska dotyczą jonizacji gazu pod wpływem pola elektrycznego.” Podanie uczniom celów do osiągnięcia na lekcji. Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów i nawiązanie do tej wiedzy: Co to jest: jonizacja, natężenie i potencjał pola elektrycznego.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel dzieli klasę na czteroosobowe grupy i wyklada kartki z tytułami zadań: piorun, iskra, łuk elektryczny, włókno światłne w kuli plazmowej.

Zadaniem każdej z grup jest przygotować plakat z wyjaśnieniem, jak powstaje ... (to, co wylosowali). Na koniec lekcji sąsiednia grupa opisuje zjawisko na podstawie plakatu kolegów i koleżanek (za prawidłowe i ciekawie przedstawione wypowiedzi wyróżnia się obie grupy).

Podczas pracy nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje pracę uczniów i w razie potrzeby udziela wskazówek i podpowiedzi oraz pilnuje, by uczniowie stosowali reguły efektywnej pracy w grupie.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel w razie potrzeby porządkuje wiadomości wynikające z plakatów. 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 informację zwrotną kształtującą.

Praca domowa:

Uczniowie utrwalają wiedzę i umiejętności zdobyte w czasie lekcji przez rozwiązanie w domu zadań 1 – 8.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Multimedium może być wykorzystane przez uczniów na lekcji w fazie wprowadzającej lub jako materiał przygotowujący do lekcji.