

Spis treści

W 3. PRZEWODNICTWO ELEKTRYCZNE GAZÓW	2
W 3.1. (W-1) Przewodnictwo niesamoistne gazów.....	2
W 3.1.1. (W-4) Wizualizacja ruchu jonów obu znaków w polu elektrycznym	2
W 3.1.2. (W-2, W-3, W-5) Demonstracja skończonego czasu ruchu jonów, ich separacji oraz rekombinacji.....	3
W 3.1.3. (W-7) Wpływ jonów na kondensację pary wodnej.....	4
W 3.2. Przewodnictwo samoistne gazów.....	4
W 3.2.1. (W-9) Wyładowanie koronowe i iskrowe	5
W 3.2.2. (W-10) Wyładowanie łukowe	6
W 3.2.3. (W-12) Przewodnictwo elektryczne gazów rozrzedzonych	7
W 3.2.4. Promieniowanie katodowe	8
W 3.2.4.a. (W-14) Prostopadłość promieni katodowych do powierzchni katody	9
W 3.2.4.b. (W-13) Prostoliniowy bieg promieni katodowych	9
W 3.2.4.c. (W-17) Odchylenie promieni katodowych w polu elektrycznym i magnetycznym	10
W 3.2.4.d. (W-15) Luminescencja pod działaniem promieni katodowych	10
W 3.2.5. (W-18) Promieniowanie kanalikowe.....	10

W 3. PRZEWODNICTWO ELEKTRYCZNE GAZÓW

W 3.1. (W-I) Przewodnictwo niesamoistne gazów

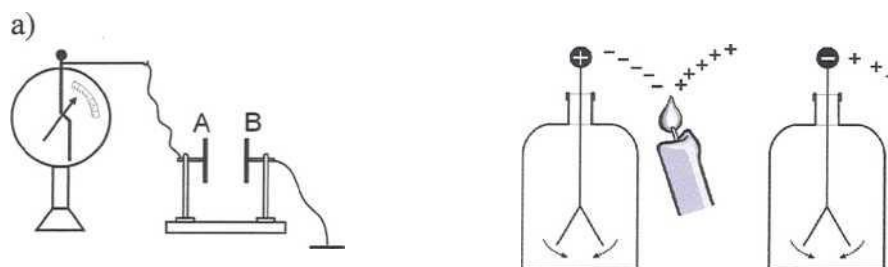
Na wstępie wykazujemy, że powietrze znajdujące się w polu elektrycznym nie przewodzi prądu elektrycznego, gdyż znajduje się w nim znikoma liczba nośników ładunku, tj. jonów.

W tym celu korzystamy z układu pokazanego na rys. W 3.1.a. Składa się on z kondensatora płaskiego, którego jedna okładka jest połączona przewodem z kulką elektrometru, a druga okładka jest uziemiona. Elektroskop oraz okładkę kondensatora ładujemy ładunkiem ujemnym poprzez dotknięcie go naelektryzowaną pałeczką ebonitową. Płytką uziemioną otrzymuje przez indukcję ładunek dodatni; w ten sposób między obu okładkami powstaje pole elektryczne. Obserwując listek elektroskopu stwierdzamy, że kąt jego wychylenia po naładowaniu praktycznie się nie zmienia.

Następnie w przestrzeń pomiędzy okładkami kondensatora wprowadzamy płomień świecy; obserwujemy wówczas bardzo szybkie opadanie listka elektroskopu wywołane rozładowaniem kondensatora przez jony powstające w płomieniu.

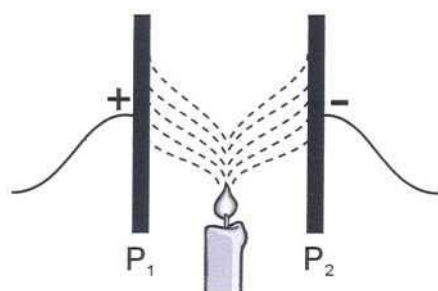
Jako czynnik jonizacyjny można użyć również silnego preparatu promieniotwórczego, promieni Rentgena lub UV.

Doświadczenie przedstawione na rys. W 3.1 .b pokazuje nam, że w płomieniu powstają jony obu znaków: dodatnie i ujemne, albowiem elektroskop wskutek zbliżenia płomienia do jego kulki zostaje szybko rozładowany niezależnie od tego, czy był naelektryzowany ujemnie, czy dodatnio.



Rys. W 3.1.

W 3.1.1. (W-4) Wizualizacja ruchu jonów obu znaków w polu elektrycznym



Rys. W3.1.1.

Ruch jonów obu znaków, wytworzonych w płomieniu świecy można demonstrować za pomocą następującego doświadczenia (rys. W 3.1.1): dwie płytki P_1 i P_2 dołączone są do biegunów maszyny elektrostatycznej. Strumień jonów dodatnich i ujemnych wytwarzanych przez płomień świecy umieszczonej między płytkami rozdławiają się na strugi dopływające do obu płytek.

Poruszające się jony pociągają za sobą warstwy nagrzanego powietrza unoszące się z nad świecy, dzięki czemu następuje rozdwojenie się prądów konwekcyjnych i ich ruch ku obu płytkom. Zjawisko to pokazujemy w projekcji cieniowej, korzystając z rzutnika, w którym należy wyjąć obiektyw, a otwór po nim przesłonić cienką blaszką z otworem kołowym o średnicy 2 mm.

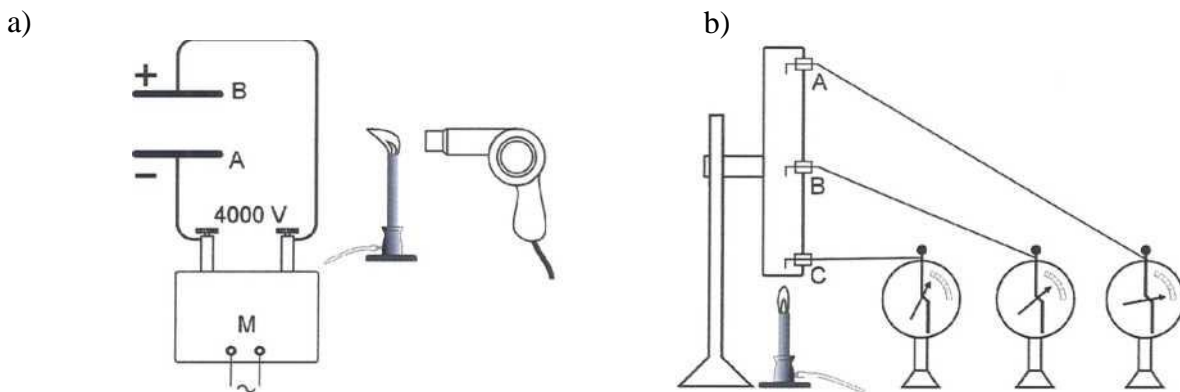
W 3.1.2. (W-2, W-3, W-5) Demonstracja skończonego czasu ruchu jonów, ich separacji oraz rekombinacji

Jony wytworzone w płomieniu uchodzą w powietrze i mogą istnieć przez pewien czas. Przekonuje nas o tym doświadczenie wykonane przy użyciu przyrządów opisanych w doświadczeniu W 3.1 i pokazanych na rys. W 3.1.a.

W tym celu powietrze z nad palnika gazowego umieszczanego w pewnej odległości od okładek naładowanego kondensatora wdmuchujemy przy pomocy suszarki do włosów pomiędzy płytki kondensatora. Obserwujemy w tym przypadku również opadanie listki elektroskopu.

Jony, dostawszy się pomiędzy płytki A i B kondensatora, zostają przez nie przyciągnięte: dodatnie do płytki ujemnej, ujemne do dodatniej. W ten sposób rozbrajają kondensator, a same zamieniają się w obojętne molekuly (O_2 , N_2 , itd.). Jeśli pole elektryczne między płytkami A i B jest dostatecznie silne, to „wyłowi” ono ze strumienia powietrza wszystkie jony, tak że powietrze opuszczające kondensator będzie całkowicie pozbawione jonów.

Przekonać się o tym możemy korzystając z układu pokazanego na rys. W 3.1.2.a. Do płytek A i B przykładamy wysokie napięcie (około 4000 V) z zasilacza wysokonapięciowego lub maszyny elektrostatycznej M. Powietrze z nad palnika gazowego wdmuchujemy w obszar pola elektrycznego pomiędzy płytkami A i B, a w jego strumieniu, na zewnątrz płytek, umieszczamy naładowany elektroskop E. Okazuje się, że listki elektroskopu nie opadają, co dowodzi, że powietrze pozbawione jest jonów. Jeśli płytki odłączymy od źródła napięcia, listki elektroskopu umieszczonego w strumieniu powietrza natychmiast opadną.



Rys. 3.1.2.

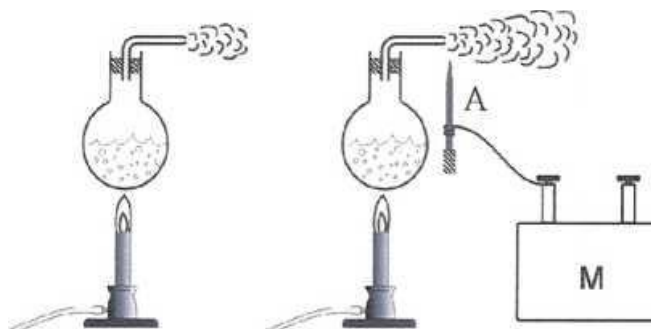
Do demonstracji rekombinacji jonów używamy rurę metalową, w ściankach której wywiercone są otwory. W otwory wstawione są tulejki izolacyjne, przez które poprowadzone są druty miedziane. Zewnętrzne końce drutów łączymy z trzema demonstracyjnymi elektroskopami (rys. 3.1.2.b). Pod dolnym końcem rury ustawionej pionowo i umocowanej na statywie umieszczamy płomień palnika gazowego. Powietrze razem z produktami spalania

unoszą się do góry wzdłuż rury. Znajdujące się w nim jony przy zderzeniach z jonami przeciwnego znaku ulegają rekombinacji, przechodząc w obojętne cząsteczki. Z tego względu liczba jonów w strumieniu wznoszącego się powietrza zmniejsza się z wysokością i rozładowanie elektroskopów

połączonych z drutami będzie zachodziło z różną prędkością: elektroskop połączony z najniższym drutem rozładowuje się najszybciej; listek elektroskopu dołączonego do drutu najwyższego opada najwolniej. Doświadczenie to można również przeprowadzić korzystając z jednego elektroskopu, który ładujemy do maksymalnego potencjału i łączymy do kolejnych drutów. Elektroskop połączony do dolnego przewodu rozładowuje się w ciągu niecałej sekundy, do drugiego w czasie kilku sekund, a połączony do górnego przewodu traci ładunek po upływie ok. 30 s.

W 3.1.3. (W-7) Wpływ jonów na kondensację pary wodnej

Jony gazowe dzięki swemu polu elektrycznemu przyciągają ku sobie cząsteczki otaczającej je pary wodnej, stając się w ten sposób ośrodkami kondensacji, na których gromadzi się para wodna. Zjawisko to demonstrujemy w sposób przedstawiony na rys. W 3.1.3. Para wodna wychodząca z kolby w warunkach normalnych daje słaby obłok mgły. Jeśli jednak do strumienia tej pary wprowadzimy jony wytworzone w pobliżu zaostrej elektrody A, połączonej z jednym biegunem jakiegokolwiek źródła wysokiego napięcia M, to zauważymy powstawanie bardzo gęstego obłoku. Zamiast stosowania specjalnej elektrody A wylot rurki owijamy cienkim drucikiem, którego koniec wprowadzamy w strumień pary.



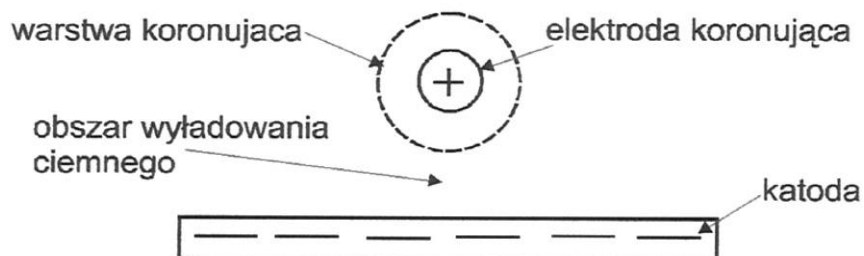
Rys. W 3.1.3.

W 3.2. Przewodnictwo samoistne gazów

Przez przewodnictwo samoistne gazów należy rozumieć przewodnictwo gazów odbywające się bez udziału czynnika jonizującego. Możemy wyróżnić następujące rodzaje przewodnictwa samoistnego gazów: wyładowanie koronowe, wyładowanie iskrowe oraz łuk elektryczny.

W 3.2.1. (W-9) Wyładowanie koronowe i iskrowe

Wyładowanie koronowe, zwane też ulotowym, powstaje w gazie pod normalnym ciśnieniem, jeżeli znajduje się on w silnie niejednorodnym polu elektrycznym, np. w pobliżu elektrod o małym promieniu krzywizny (ostrzy, cienkich drutów itp.). W wyładowaniu koronowym jonizacja gazu i jego świecenie zachodzi tylko w niewielkim obszarze przylegającym do elektrody o małym promieniu krzywizny, nazwanym warstwą koronującą.



Rys. W 3.2.1.

Obszar przestrzeni międzyelektrodowej, leżący poza warstwą koronującą, nazywamy zewnętrznym lub ciemnym obszarem wyładowania koronowego (rys. W 3.2.1). Wzrost napięcia międzyelektrodowego powoduje wzrost prądu wyładowania i wzrost objętości warstwy koronującej. Wyładowanie koronowe zaczyna się dopiero przy wartości napięcia międzyelektrodowego, które zapewnia wytworzenie pola elektrycznego w pobliżu elektrody koronującej wystarczająco silnego do zapoczątkowania jonizacji cząstek gazu przez rozprężone polem elektrony.

Ponieważ pole to jest silnie niejednorodne, już w niewielkiej odległości od elektrody koronującej ustaje jonizacja i wzbudzenie cząsteczek gazu. W przypadku przyłożenia ujemnego potencjału do elektrody koronującej przyspieszone polem jony dodatnie wytworzone w warstwie koronującej bombardują katodę i wybijają z niej elektrony, które z kolei jonizują gaz w warstwie koronującej.

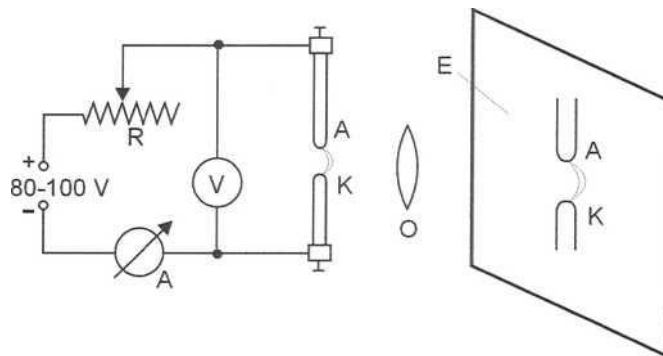
W konsekwencji prowadzi to do wytworzenia się równowagi dynamicznej. W strefie zewnętrznej wyładowania koronowego pole jest słabe i elektrony, które przechodzą, tam, dryfują do anody, nie wywołując już jonizacji zderzeniowej. Występujący w warstwie tej ujemny ładunek przestrzenny ogranicza prąd w obszarze wyładowania. Ponieważ warunki potrzebne do przebicia istnieją tylko w obszarze warstwy koronującej, można uważać, że wyładowanie koronowe stanowi niedokończone, niepełne przebicie warstwy wyładowczej.

Dla demonstracji wyładowania koronowego i iskrowego można posłużyć się maszyną elektrostatyczną lub cewką Ruhmkorfa. Do jednej z kulek (konduktorów) maszyny elektrostatycznej mocujemy bardzo cienki, zaostriżony drucik i umieszczamy go naprzeciw drugiej kulki w odległości kilku centymetrów. Wolno obracamy tarczę maszyny aż do pojawienia się świecenia wokół ostrza.

W 3.2.2. (W-10) Wyładowanie łukowe

Wyładowanie łukowe jest jednym z przykładów wyładowań w gazach, w którym istotną rolę odgrywają procesy zachodzące na elektrodach. Wyładowania łukowe możemy podzielić na wyładowanie łukowe temperaturowe oraz wyładowanie łukowe wysokopolowe.

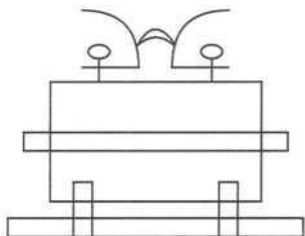
Najpierw omówione zostanie pierwsze z nich, czyli wyładowanie łukowe temperaturowe. W celu demonstracji tego wyładowania należy posłużyć się układem pokazanym na rys. W 3.2.2.a.



Rys. W 3.2.2.a.

Dwie elektrody grafitowe A i K dołączamy do źródła prądu stałego o napięciu 80-100 V w szereg z oporem regulacyjnym R i amperomierzem A. Elektrody umieszczamy w odległości około 10-15 mm. Stwierdzamy, że mimo niewielkiej odległości między elektrodami iskra nie przeskakuje, co tłumaczymy bardzo niewielkim napięciem pola elektrycznego. Jeżeli jednak na chwilę zetkniemy elektrody i następnie rozsuniemy je na tę samą, co poprzednio odległość, stwierdzimy, że między elektrodami przebiega intensywne wyładowanie wygięte w kształt łuku, a same elektrody rozgrzane są do temperatury jasnego żaru. Ten typ przewodnictwa nazywamy przewodnictwem łukowym lub łukiem elektrycznym. Ze względu na duże nasilenie światła łuk należy osłonić i obserwować go przez ochronne szkło spawalnicze. Dla ułatwienia obserwacji łuku i omawiania zjawisk, związanych z jego powstawaniem i przebiegiem, odtwarzamy jego obraz na ekranie E za pomocą obiektywu O lub posługujemy się kamerą video. Widzimy wówczas doskonale anodę A z kraterem, katodę K z plamką katodową oraz obszar samego łuku utworzonego przez świecące jony powietrza.

Łuk taki jest bardzo efektowny i można go łatwo zademonstrować. W tym celu wystarczy posłużyć się cewką Ruhmkorfa oraz autotransformatorem. Do zacisków wtórnego uzwojenia cewki Ruhmkorfa dołączamy wygięte w kształcie rożków kawałki drutu miedzianego lub miedzianego (rys. W 3.2.2.b).



Rys. W 3.2.2.b.

To zjawisko zapalania

Demonstrację należy przeprowadzać z wielką ostrożnością pamiętając, że na elektrodach wtórnego uzwojenia panuje napięcie kilkunastu tysięcy woltów, a natężenie prądu może wynosić kilka lub kilkanaście miliamperów, co stanowi niebezpieczeństwo dla życia.

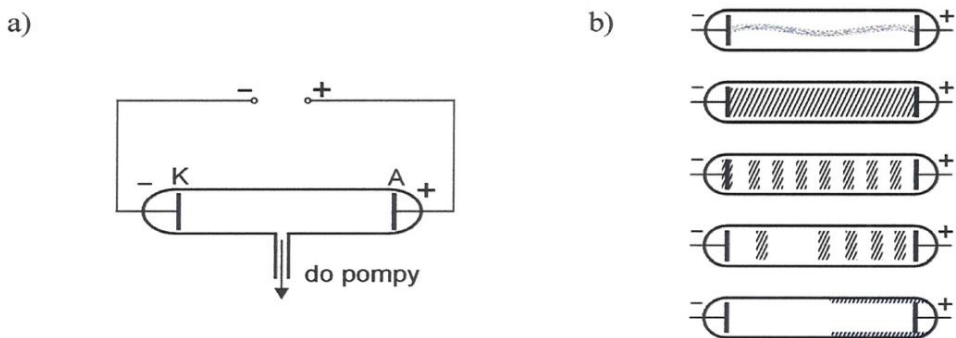
Gdy między elektrodami wytworzymy różnicę potencjałów nieco niższą od wymaganej do wytworzenia łuku i między elektrody wstawimy palące się luczywko, to zapoczątkuje ono trwałe wyładowanie łukowe.

Do uzwojenia pierwotnego cewki Ruhmkorfa dołączamy, z pominięciem przerywacza, napięcie zmienne z autotransformatora. Po włączeniu prądu do obwodu pierwotnego, we wtórnym powstaje tak wysokie napięcie, że między elektrodami rozwija się wysokonapięciowy łuk elektryczny, który silnie nagrzewa otaczające powietrze. Dzięki strumieniom nagrzanego powietrza łuk podnosi się wyżej, a gdy przestrzeń iskrowa staje się zbyt wielka - łuk przerywa się, po czym zapala się na nowo w dolnej części elektrod i znów unosi się ku górze, gaszenia łuku elektrycznego jest bardzo efektowne.

W 3.2.3. (W-12) Przewodnictwo elektryczne gazów rozrzedzonych

W przypadku gazów rozrzedzonych średnia droga swobodna jonów wzrasta wraz z obniżeniem ciśnienia, w związku z tym do wywołania jonizacji zderzeniowej kolejnych cząsteczek powietrza wystarczy przyłożenie do elektrod niższego napięcia, niż w przypadku wyładowania pod normalnym ciśnieniem. Pierwotne jony zapoczątkowujące jonizację wytwarzane są przez promieniowane jonizujące pochodzące od śladowej ilości materiałów promieniotwórczych oraz przez promieniowanie kosmiczne. Średnia ich gęstość wynosi około 1000 na cm^3 powietrza.

Do demonstracji przewodnictwa elektrycznego gazów pod obniżonym ciśnieniem należy posłużyć się rurą szklaną z wtopionymi elektrodami, podłączoną do pompy rotacyjnej. Źródłem wysokiego napięcia może być cewka Ruhmkorfa lub transformator wysokonapięciowy (rys. W 3.2.3.a).



Rys. W 3.2.3.

Doświadczenie rozpoczynamy od ciśnienia normalnego panującego w rurze. Włączamy najpierw cewkę indukcyjną, a następnie pompę rotacyjną. Na początku stwierdzamy, że iskra w rurze nie przeskakuje, przewodnictwo gazu nie istnieje, bo jony śladowe (niewielka ilość jonów zawsze obecna) nie mogą ulec dostatecznemu rozpędzeniu ze względu na krótką drogę swobodną. Przy ciśnieniu 100-50 mm Hg rozpoczyna się w rurze wyładowanie w postaci grubej, falistej iskry o fioletowym zabarwieniu. Przy obniżaniu ciśnienia iskra grubieje i przy ciśnieniu około 10 mmHg cała przestrzeń rury wypełniona jest świecącym różowo powietrzem. Następnie pojawiają się w pobliżu katody ciemne pasy - ciemnia Faradaya i ciemnia Crookesa, a przy ciśnieniu około 1 mm słup świecącego powietrza dzieli się na warstewki (podobne do plasterków). Przy ciśnieniu około 0,01 mmHg, odległość między świecącymi warstewkami osiąga wielkość 2-3 cm. Przy ciśnieniu 0,001 mm Hg obserwujemy zieloną luminescencję szkła, występującą wskutek bombardowania szkła elektronami wybiegającymi z katody. Przy jeszcze większych rozrzedzeniach powietrza świecenia w rurze w ogóle nie obserwujemy. Przybliżony wygląd poszczególnych faz wyładowania w gazach rozrzedzonych mamy przedstawiony na rys. W 3.2.3.b.

Gdy zastosowany układ próżniowy nie zapewnia odpowiednio wysokiej próżni, należy dalsze fazy przewodnictwa gazów o coraz wyższej próżni zademonstrować, korzystając z gotowego zestawu zatopionych na stałe rurek o określonych stanach rozrzedzenia. Należy jednak pamiętać, że z biegiem czasu stany rozrzedzenia w rurkach zmieniają się: występuje pochłanianie gazu przez ścianki szklane, co powoduje zwiększanie się stopnia rozrzedzenia gazu, nazywane twardnieniem rurki.

W 3.2.4. Promieniowanie katodowe

Promienie katodowe stanowią strumień elektronów wybiegających z katody pod wpływem bombardowania jej powierzchni dodatnimi jonami w rurkach o ciśnieniu poniżej 0,01 mmHg. Promienie te rozchodzą się po liniach prostych i przenoszą nie tylko ładunek, ale również pęd i energię.

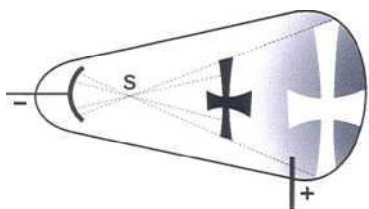
Własności promieni katodowych możemy demonstrować posługując się gotowymi, zatopionymi rurkami o odpowiednim stanie próżni i odpowiednio ukształtowanych elektrodach, do których przykładą się wysokie napięcie z cewki Ruhmkorfa lub transformatora wysokonapięciowego.

W 3.2.4.a. (W-14) Prostotałość promieni katodowych do powierzchni katody

Promienie katodowe nie wybiegają z katody pod dowolnymi kątami, lecz biegną prostopadle do jej powierzchni. Jeżeli katodzie nadamy kształt czaszy kulistej i w jej środku krzywizny umieścimy kawałek blachy platynowej, to promienie katodowe skupią się na powierzchni blachy i zostaną w tej blaszce zatrzymane tracąc swą energię kinetyczną, która ulega przemianie w ciepło, blacha zaś rozżarza się. Widzimy więc, że strumień rozprężonych elektronów może być użyty do obróbki materiałów.

W 3.2.4.b. (W-13) Prostoliniowy bieg promieni katodowych

Promienie katodowe po opuszczeniu katody poruszają się dalej po liniach prostych niezależnie od położenia anody. Promienie te, padając na szklane ścianki naczynia, powodują ich świecenie. Gdy po drodze natrafiają one na przeszkodę, na ściance naczynia pojawi się cień przeszkody. W eksperymencie pokazanym na rys W 3.2.4.b promienie katodowe wybijane z elektrody w kształcie czaszy kulistej, której środek krzywizny znajduje się w punkcie S, w dalszym swym biegu zachowują się tak, jakby wychodziły ze źródła punktowego S. Anoda w postaci niewielkiego pręta znajduje się w dolnej części rurki. Naprzeciwko katody znajduje się nieprzenikliwy dla elektronów przedmiot z blaszki aluminiowej, który przymocowany jest na osi tak, że może przyjmować położenie poziome lub pionowe.



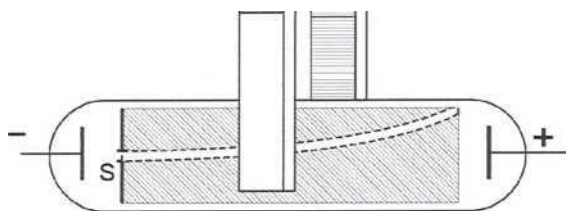
Rys. W

Na początku doświadczenia włączamy cewkę indukcyjną zasilającą rurkę przy odchylonej w położenie poziome pozycji krzyża. Na przedniej ściance rurki, zwróconej ku audytorium, obserwujemy wówczas równomierne zielone świecenie szkła bombardowanego elektronami. Po wyłączeniu cewki indukcyjnej ustawiamy krzyż w pozycji pionowej i na nowo włączamy cewkę.

Tym razem na przedniej ściance rurki spostrzegamy ostry cień krzyża, co świadczy o prostoliniowym biegu promieni katodowych oraz o nieprzenikliwości dla nich metalowych warstw.

W 3.2.4.c. (W-17) Odchylenie promieni katodowych w polu elektrycznym i magnetycznym

Do demonstracji odchylenia promieni katodowych w polu elektrycznym lub magnetycznym należy posłużyć się rurką pokazaną na rys. W 3.2.4.c. Wzdłuż osi rurki w płaszczyźnie wertykalnej znajduje się ekran fluorescencyjny, wzdłuż którego biegnie wąska wiązka elektronów (promieni katodowych) ukształtowana przez szczelinę wejściową. Wiązka ta ślizga się po powierzchni ekranu znacząc na nim ślad. Rurkę zasilamy cewką Ruhmkorfa, przy czym należy zwrócić uwagę na biegunowość połączeń. W celu odchylenia wiązki elektronów za pomocą pola magnetycznego zbliżamy do rurki magnes sztabkowy lub podkowiasty tak jak na rysunku. Odwróciwszy magnes o 180° otrzymujemy odchylenie wiązki w kierunku przeciwnym.



Rys. W3.2.4.c

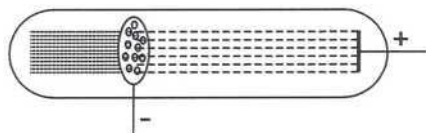
Gdy do rurki zbliżamy naelektryzowaną pałeczkę ebonitową lub szklaną możemy zademonstrować odchylenie strumienia elektronów w polu elektrycznym. Zamiast zbliżania naelektryzowanych pałeczek, można umieścić rurę między dwoma płaskimi płytkami podłączonymi do maszyny elektrostatycznej.

W 3.2.4.d. (W-15) Luminescencja pod działaniem promieni katodowych

Wiele materiałów wykazuje luminescencję pod wpływem promieni katodowych. W celu demonstracji tego efektu należy na początku pokazać rurki zawierające różne minerały świecące pod wpływem promieni katodowych, a następnie zademonstrować świecenie ekranu w lampie oscylograficznej i kineskopowej i zwrócić uwagę na różne barwy świecenia różnych materiałów, które zapewniają całą gamę kolorów w monitorach komputerowych, czy ekranach telewizorów.

W 3.2.5. (W-18) Promieniowanie kanalikowe

Promieniowanie kanalikowe jest to strumień rozprędzonych jonów dodatnich, które przelatują przez otwory (kanały) wykonane w katodzie.



Rys. W 3.2.5.

Do demonstracji promieni kanalikowych stosujemy rurkę, której wygląd schematyczny przedstawiony jest na rys. W 3.2.5. Katoda umieszczona mniej więcej w połowie rurki ma postać tarczy z szeregiem otworków (kanałów). Przez otwory te przelatują rozprędzone jony dodatnie gazu wypełniającego rurę.

Przechodząc na drugą stronę katody jony dają świecące strugi promieni kanalikowych. Aby świecenie gazu wywołane przez promienie katodowe nie przeszkadzało w obserwacji słabego świecenia promieni kanalikowych, odpowiednią część rurki należy osłonić czarnym papierem.