

GENERATOR VAN DE GRAAFFA

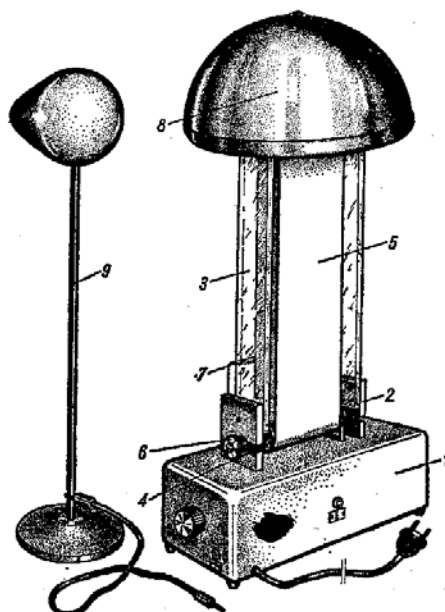
V 5 – 100

Generator elektrostatyczny Van de Graaffa (podobnie jak cyklotron, generator kaskadowy Cockrofta) służy w technice do wytwarzania niezwykle wysokich napięć rzędu kilku MV. Napięcia te potrzebne są do nadawania dużych prędkości pociskom nukleonowym rozbijającym jądra atomowe.

Urządzenie stanowi gigantyczną maszynę elektrostatyczną. Budowa generatora przedstawia się następująco: wewnątrz pustej kolumny, wykonanej z materiału izolacyjnego, biegnie pas jedwabny między dwoma wałami, z których jeden znajduje się u dołu kolumny, a drugi u góry wewnątrz olbrzymiej metalowej kuli. W dolnej części kolumny jest umieszczone źródło wysokiego napięcia rzędu 10^4 V (np. transformator i prostownik). Z nieuziemionego bieguna tego źródła prądu wypływają ładunki np. ujemne i osadzają się na pasie, który przenosi je ku górze do kuli. Tam gromadzą się na licznych kolcach, które są połączone z kulą. Kula zatem ładuje się ładunkiem jednego znaku, a pas pozbawiony ładunków biegnie dalej ku dołowi po nowe ładunki. Często stosuje się osadzoną na sąsiedniej kolumnie drugą kulę, na której zbierają się ładunki o znaku przeciwnym. Między kulami powstaje napięcie rzędu kilku milionów woltów.

Przyrząd pod nazwą generator Van de Graaffa jest uproszczonym modelem działającym opisanego wyżej urządzenia.

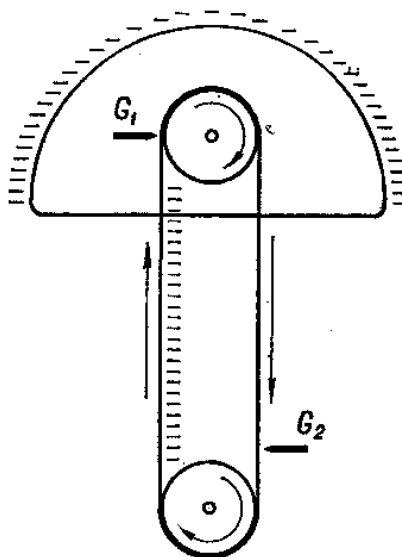
Na metalowej, prostopadłościennej podstawie (1) są umocowane za pomocą wsporników (2) pleksiglasowe słupki (3). Między słupkami na dwóch stalowych rolkach (4) jest naciągnięta gumowa taśma (5) z regulacją naciągu przy pomocy 2 nakrętek umieszczonych we wspornikach. Osie rolek (w celu zmniejszenia tarcia) obracają się w łożyskach, których oprawy są umocowane we wspornikach za pośrednictwem nakrętek zaciskowych (6). W dolnej części przyrządu jest przymocowany do wsporników grzebień dolny (7) w kształcie paska z blachy aluminiowej o ząbkowanej krawędzi, zaś w górnej części pasa znajduje się grzebień górny do zbierania ładunków elektrycznych. W podstawie przyrządu jest zmontowany silnik elektryczny 32 W, 220 V. Przyrząd ma kopułę (8) z sita tkanego, którą można ustawić na słupkach przy pomocy wsporników. W skład wyposażenia przyrządu wchodzi konduktor stożkowy (9) na pręcie z otworem do wkładania wtyczki przewodu uziemiającego.



rys. 1

Zasada działania przyrządu

Przyrząd działa na zasadzie podobnej jak maszyna elektrostatyczna Whimshursta (rys.2).



Rys. 2.

Ładunek ujemny powstający skutkiem tarcia lewej części pasa o dolną rolkę jest przenoszony w czasie ruchu obrotowego pasa do grzebienia górnego G_1 , skąd przechodzi na powierzchnię kuli przyrządu. Grzebień dolny G_2 służy do odprowadzania ładunków z prawej części pasa.

Potencjał uzyskany na powierzchni kuli przyrządu

Zgodnie ze wzorem (1) potencjał uzyskany na kuli przyrządu zależy od wielkości naboju wprowadzonego na powierzchnię kuli oraz pojemności kuli.

$$V = \frac{Q}{C} \quad (1)$$

gdzie: Q – ładunek,
 V – potencjał,
 C – pojemność.

Potencjał jest wprost proporcjonalny do ładunku elektrycznego, a odwrotnie proporcjonalny do pojemności przewodnika.

W naszym przyrządzie uzyskamy duży potencjał wprowadzając na powierzchnię kopuły możliwie duży ładunek. Należy w tym celu ładować przyrząd ponad minutę.

Wielkość otrzymanego na kuli potencjału można określić w przybliżeniu po długości iskry, jaką otrzymamy przy rozbijaniu kuli. (Między kulami o niewielkiej średnicy przy średnim stopniu jonizacji powietrza na każdy milimetr długości iskry przypada różnica potencjałów odpowiadająca napięciu $U \approx 3000$ V).

Pole elektryczne wokół kopuły przyrządu

Ilość elektryczności przypadająca na 1 cm^2 powierzchni przewodnika nazywamy gęstością powierzchniową. Na przewodnikach kulistych gęstość powierzchniowa jest rozłożona równomiernie.

Gęstość powierzchniową oznaczamy literą δ

$$\delta = \frac{Q}{S} \quad (2)$$

gdzie: Q – ładunek
 S – powierzchnia ładowana.

Stąd łatwo jest wyprowadzić wniosek, że powiększając ładunek na półkuli, powiększamy gęstość powierzchniową. Przestrzeń otaczającą przewodnik naelektryzowany, w której działają siły elektryczne, nazywamy polem elektrycznym.

Natężenie pola (E), tj. siła, z jaką pole oddziałuje na ładunek próbny umieszczony w polu, zależy od gęstości powierzchniowej i jest największa przy powierzchni czasy

$$E = 4\pi\delta \quad (3)$$

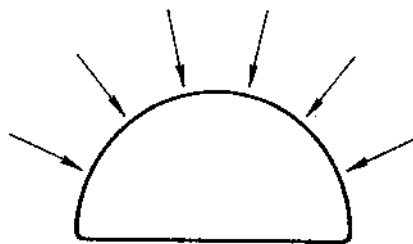
gdzie: E – natężenie pola
 δ – gęstość powierzchniowa

Natężenia pola maleje ze wzrostem odległości od powierzchni czasy (jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości).

Linie sił natężenia pola elektrostatycznego wytworzonego wokół kopuły przyrządu przebiegają w sposób przedstawiony na rys. 3.

Łatwo wyprowadzić wnioski, że elektryzowanie ciał przez indukcję należy wykonywać możliwie blisko kopuły (w takiej jednak odległości, by nie przeskakiwała iskra).

Bezpośrednie elektryzowanie ciał powinno być wykonane przez zetknięcie ciała elektryzowanego z kopułą przyrządu.



Rys. 3.

Moc generatora

Moc generatora można określić w przybliżeniu w następujący prosty sposób. Ponieważ natężenie prądu otrzymanego z generatora wynosi około $2 \mu\text{A}$, w celu obliczenia mocy mnożymy natężenie przez napięcie uzyskane na kuli przyrządu. Np. dla iskry o długości około 5 cm napięcie wynosi około 150 kV, a moc modelu generatora:

$$M = U \cdot I = 150\,000 \text{ V} \cdot 0,000002 \text{ A} = 0,3 \text{ W}$$

Jest to oczywiście moc znikomo mała w porównaniu z mocą wytwarzaną przez generatory stosowane w technice. (Np. zbudowany przez Van de Graaffa generator w Round Hill wytwarzał napięcie 5,1 MV, natężenie uzyskanego prądu wynosiło 1,1 mA, a moc 5,6 kW).

Przykłady doświadczeń, jakie można wykonać za pomocą modelu generatora Van de Graaffa

Przed doświadczeniem należy przyrząd dokładnie wytrzeć z kurzu. Działanie generatora jest zależne od stopnia wilgotności powietrza, a także od tego, w jakim stanie znajduje się pas przyrządu. Nie może on być zabrudzony lub wilgotny. Jeżeli jest brudny, trzeba go umyć wodą z mydłem i dobrze osuszyć, np. suszarką, a następnie przesypać suchym talkiem. Pas nie może być zbyt mocno naciągnięty, bo przyrząd daje wtedy krótką iskrę, a gdy jest za luźny, zawadza o grzebień.

Przykłady doświadczeń:

Rozmieszczenie ładunków na powierzchni przewodnika:

Łączymy jeden z grzebieni (np. grzebień górny generatora) z siatką Faraday'a (Katalog Pomocy Nauk. str. 98) z ponaklejanymi wewnątrz i z zewnątrz paskami bibuły. Siatkę ustawiamy na płycie izolacyjnej. Podczas pracy generatora zewnętrzne paski odchylają się od siatki, a wewnętrzne nie odchylają się. Stwierdzamy, że ładunki zbierają się na powierzchni zewnętrznej przewodnika.

Linie sił pola elektrycznego

Końce rozbrajacza (Kat. Pom. Nauk. str. 98) łączymy nitką z prawdziwego jedwabiu i na środku jej zawieszamy poziomo również na nitce jedwabnej drucik zakończony na obu końcach kuleczkami z rdzenia bżowego, tworząc tzw. igiełkę elektryczną. Zbliżamy tę igiełkę do kopuły przyrządu. Położenie igiełki wskaże kierunek linii sił pola.

Działanie ostrzy

Do jednego grzebienia generatora przyłączamy młynek Franklina (Kat. Pom. Nauk. str. 97). Obracać się on będzie w stronę przeciwną względem kierunku wypływających z jego ostrzy ładunków. Doświadczenie można również przeprowadzić w nieco odmienny sposób. Przyłączamy do generatora konduktor kulisy z ostrzem, umocowany na szklanym statywie (Kat. Pom. Nauk. str. 97). Zbliżamy rękę do ostrza. Ręka ładuje się, co można stwierdzić elektroskopem. (Obserwator trzymający elektroskop powinien stać na podstawie izolacyjnej).

Działanie cieplne iskry

Na drodze iskry między uziemionym konduktorem kulistym, a kulą generatora umieszczamy watę osadzoną na drewnienku i zwilżoną benzyną. Iskra zapala watę.

Efekty świetlne wyładowań

Generator umieszczamy w zaciemnionym pomieszczeniu. Do powierzchni kuli generatora zbliżamy konduktor na podstawie. Obserwujemy wyładowania elektryczne, które mają postać wiotkich miotełek fioletowego światła.

Doświadczenie z neonówką

Bardzo ciekawe są doświadczenia, jakie możemy wykonać za pomocą neonówki. Neonówkę (uziemioną) zbliżamy do powierzchni kuli generatora. W miarę zbliżania świeci coraz intensywniej.

Źródło: ze zbiorów Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego