



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

FENIKS

Wykłady z pokazami, UJK, cz. V a

Elektryczność i magnetyzm

Marek Pajek

Instytut Fizyki

*Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy
Jana Kochanowskiego w Kielcach*

(pisemna wersja wykładu plenarnego z pokazami z V semestru zajęć)

Film z wykładu: www.feniks.ujk.edu.pl/index.php/pol/Multimedia/Filmy/UJK



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Cześć A

Wstęp

Zjawiska elektryczne i magnetyczne towarzyszyły ludzkości od czasów najdawniejszych, a pierwszy udokumentowany ich opis powstał już w starożytnej Grecji, skąd też pochodzą słowa *elektron* i *magnes*. Celem niniejszego wykładu jest wyjaśnienie istoty zjawisk elektrycznych i magnetycznych poprzez zademonstrowanie ich podstawowych własności. Pokażemy, że przyczyną tych zjawisk są ładunki elektryczne i ich oddziaływania, ale stwierdzimy również, że nie ma ładunków magnetycznych. Czym zatem jest oddziaływanie magnetyczne? Zobaczymy, że w istocie zjawiska elektryczne i magnetyczne są blisko ze sobą związane: elektryczność opisuje oddziaływania ładunków elektrycznych pozostających w spoczynku, podczas gdy magnetyzm jest opisem oddziaływania ładunków będących w ruchu. Tak więc całość tych zjawisk, zwana elektromagnetyzmem, ma dwa oblicza – elektryczność i magnetyzm - wynikające tylko z faktu spoczynku lub ruchu ładunków elektrycznych. Co więcej, zgodnie z teorią względności, nie ma ruchu absolutnego, a ruch i spoczynek są pojęciami względnymi, zależnymi od układu odniesienia. Podobnie, pola elektryczne i magnetyczne mają charakter względny, przechodząc w siebie wzajemnie w zależności od wyboru układu odniesienia. Tak więc elektryczność i magnetyzm są sobie bardzo bliskie!

Ładunki i oddziaływanie elektryczne

Starożytni Grecy zaobserwowali zadziwiające zjawisko polegające na przyciąganiu przez bursztyn potarty futrem drobnych kawałków materii. Zjawisko to nazwano później elektrycznością, od Greckiego słowa *elektron* (ελεκτρον) oznaczającego bursztyn. Co jest istotą elektryczności? Możemy się o tym przekonać wykonując proste doświadczenia z prętem ebonitowym pocieranym sukniem i prętem szklanym pocieranym papierem. W obu przypadkach stwierdzamy, że pocierane pręty przyciągają małe kawałki papieru, a więc **widzimy zjawisko elektryzowania materiałów w wyniku pocierania ich innym materiałem** tak, jak to zaobserwowali Grecy w przypadku bursztynu. Przyciąganie kawałków papieru w istocie wskazuje na istnienie oddziaływania przyciągającego między prętem i papierkami, które nazywamy oddziaływaniem elektrycznym. Zauważamy również, że w zależności od intensywności pocierania przyciąganie może być silniejsze lub słabsze. Obserwacje te możemy najprościej wyjaśnić zakładając, że w wyniku pocierania (elektryzowania) w materiałach pojawiają się tzw. ładunki elektryczne, które się wzajemnie przyciągają. Kolejne **doświadczenia dotyczące oddziaływania prętów**

naelektryzowanych, z których jeden jest umieszczony na czułym stoliku obrotowym, pokazują, że dwa takie same naelektryzowane pręty wzajemnie się odpychają (ebonit-ebonit lub szkło-szkło), a dwa różne pręty (ebonit-szkło) się przyciągają. Doświadczenia te wskazują, że w istocie istnieją dwa rodzaje ładunków elektrycznych, umownie nazwane dodatnimi i ujemnymi, przy czym ładunki jednoimienne się odpychają a ładunki różnoimienne się przyciągają. W ten sposób poznaliśmy jedną z podstawowych tajemnic Przyrody: istnienie dwóch rodzajów ładunków elektrycznych i ich oddziaływań.

Do mierzenia ilości ładunku elektrycznego służy prosty **przyrząd zwany elektroskopem**, który we wnętrzu cylindrycznej metalowej obudowy posiada ruchomą metalową wskazówkę zamocowaną na pionowym metalowym pręcie. Obudowa elektroskopu połączona jest z metalową tarczą służącą do zbierania ładunku. Dotykając tarczę elektroskopu naelektryzowanym (naładowanym) prętem powodujemy przepływ ładunku do elektroskopu, który staje się elektrycznie naładowany, co powoduje wychylenie się metalowej wskazówki elektroskopu (ładunki jednoimienne się odpychają!), proporcjonalnie do wielkości zgromadzonego ładunku. W ten sposób elektroskop mierzy wielkość ładunku elektrycznego. Wykorzystując elektroskop zauważamy, że wychyliła się on nawet wtedy gdy tylko zbliżamy do niego naładowany pręt, nie dotykając elektroskopu, po czym po oddaleniu pręta wskazówka wraca do położenia początkowego. Doświadczenie to demonstrowuje zjawisko elektryzowania na odległość, tj. w pobliżu innego ładunku elektrycznego, które zostało nazwane **elektryzowaniem przez wpływ** (indukcję). Zjawisko to świadczy o tym, że ładunki elektryczne w metalu (części elektroskopu) poruszają się w wyniku oddziaływań elektrycznych, reagując na obecność innych ładunków znajdujących się w pobliżu. Czym są zatem ładunki zawarte w materii które dodatkowo mogą się poruszać? Odpowiedź na to pytanie jest w istocie stwierdzeniem z czego zbudowana jest materia, co będziemy szczegółowo dyskutować w kolejnym wykładzie. Ale już teraz możemy powiedzieć, że materia zbudowana jest z „cegielek” zwanych atomami, które z kolei mają naturę

-15
elektryczną. Atomy składają się bowiem z centralnie umieszczonych malutkich (10⁻¹⁵ metra !), ale ciężkich jąder atomowych, zawierających dodatnio naładowane protony (ich liczba określa rodzaj pierwiastka) i elektrycznie obojętne neutrony, a wokół jądra atomowego krążą ujemnie naładowane bardzo lekkie i prawie punktowe elektrony, których jest w atomie tyle samo co protonów. Tak więc atomy są w efekcie elektrycznie obojętne (liczba protonów = liczbie elektronów), a elektrony ze względu na znacznie mniejszą masę łatwiej się poruszają. Podobnie zbudowane są metale, w których część elektronów, nazwanych swobodnymi, może się w nich poruszać bez ograniczeń. Znając te fakty rozumiemy teraz, że ujemne elektryzowanie materiałów polega na dopływie do nich elektronów, a z kolei dodatnie elektryzowanie wywołane jest odpływem z nich elektronów w wyniku czego pozostają nieskompensowane ładunki dodatnie. W zależności od rodzaju materiału, mechaniczne pocieranie może „obdzierać” lub też dostarczać elektrony do ciała.

Skoro wiemy już, co to są ładunki elektryczne i jak mierzyć ich ładunek, powstaje pytanie, jak je bardziej efektywnie wytwarzać. Dotąd znamy bowiem tylko bardzo „starą” metodę elektryzowania poprzez „pocieranie” materiałów. Okazuje się, że ładunki można wytwarzać jeszcze prościej. **Wysypując piasek z naczynia na tarczę elektroskopu** zauważamy systematyczne wychylenie się wskazówki wraz z rosnącą ilością wysypanego piasku! Czy to jest jakaś inna metoda elektryzowania ciał niż „pocieranie”? Otóż nie, to też jest pocieranie się wzajemne wielkiej ilości ziarenek piasku. Czy możemy jeszcze bardziej ulepszyć elektryzowanie przez pocieranie? Tak, do tego celu służy **maszyna elektrostatyczna**

posiadająca dużą tarczę z metalowymi elektrodami, którą szybko obracamy względem nieruchomych metalowych miotełek-elektrod, zbierających z tarczy ładunki elektryczne. Dla zgromadzenia dużego ładunku elektrycznego maszyna elektrostatyczna posiada cylindryczne **kondensatory** o dużej pojemności, połączone z ruchomymi kulistymi elektrodami. Gdy rozkręcimy maszynę elektrostatyczną, a następnie zbliżymy do siebie elektrody, następuje przeskok iskry między. Jest to w istocie **wyładowanie elektryczne** w powietrzu, polegające na raptownym przeskoku ładunku, a więc przepływie **prądu elektrycznego** w gazie (w powietrzu), który wzbudza do świecenia znajdujące się na drodze atomy. W ten sposób można efekty spowodowane ruchem ładunków elektrycznych zobaczyć, a nawet usłyszeć (trzask towarzyszący przeskokowi iskry). Znacznie ulepszoną maszyną elektrostatyczną jest **generator elektrostatyczny**, w którym zgromadzenie dużego ładunku elektrycznego, i w konsekwencji wytworzenie bardzo wysokiego napięcia, następuje w wyniku zbierania ładunku z szybko wirującego pasa napędzanego silnikiem elektrycznym. Takie generatory to znane **akcelaratory van de Graaffa**, wykorzystywane do przyspieszania naładowanych cząstek do energii milionów elektronowoltów (MeV). Elektronowolt jest użyteczną jednostką energii: jest to energia, jaką zyskuje cząstka o ładunku elementarnym (np. elektron lub proton), poruszając się w polu elektrycznym między punktami o różnicy potencjałów jednego wolta. Mały generator van de Graaffa wykorzystamy na wykładzie do demonstracji wybranych zjawisk elektrycznych.

Prawo Coulomba

Przedstawione doświadczenia z elektryzowaniem ciał (oddziaływanie naładowanych prętów na stoliku obrotowym) pokazały, że oddziaływanie elektryczne zależy zarówno od ilości zgromadzonych ładunków jak też ich wzajemnej odległości. Szczegółowy opis oddziaływania elektrycznego ładunków zawarty jest w **prawie Coulomba** stwierdzającym, że wielkość siły F oddziaływania dwóch ładunków elektrycznych q_1 i q_2 jest proporcjonalna do iloczynu tych ładunków i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu ich odległości r , a więc

$$F \sim q_1 q_2 / r^2,$$

a kierunek siły wyznacza prosta przechodząca przez oba ładunki. Dla ładunków jednoimiennych jest to siła odpychająca, a dla ładunków różnoimiennych siła przyciągająca. Jak się przekonać że siła Coulomba jest właśnie taka? Możemy wykonać **serie prostych doświadczeń z parą metalizowanych kulek zawieszonych na nici, które są naładowane takimi samymi ładunkami**. Kulki ładujemy maszyną elektrostatyczną, a wielkość ładunków możemy mierzyć elektroskopem. Po naładowaniu obserwujemy wzajemne odpychanie się kulek i równoczesne odchylenie się nici o pewien kąt od pionu, który jest miarą siły oddziaływania elektrycznego (dokładniej, nic wychyla się w kierunku działania wypadkowej siły ciężkości i siły elektrycznej). Mierząc zatem wielkość ładunków i odległość kulek możemy zweryfikować eksperymentalnie prawo Coulomba $F \sim q_1 q_2 / r^2$.

Pole elektryczne

Działanie siły elektrycznej możemy też opisać wprowadzając użyteczne pojęcie **natężenia pola elektrycznego**, które podobnie jak siła ma określony kierunek, a więc jest wielkością **wektorową**. Natężenie pola elektrycznego jest stosunkiem siły działającej na ładunek do wielkości ładunku w danym punkcie pola, tzn. $E = F/q$. Tak więc pole elektryczne **E** jednoznacznie opisuje siły elektryczne w przestrzeni wokół ładunków. O tym, jak wygląda pole elektryczne wokół ładunku zgromadzonego na powierzchni metalowej kulki możemy się przekonać **obserwując, co się dzieje z „anielskimi włosami” przymocowanymi do kulki po jej naładowaniu**. Wszystkie „włosy” rozciągają się promieniście w przestrzeni, obrazując rozkład pola elektrycznego wokół naładowanej kulki. Zjawisko wynika z faktu, że część ładunków z kulki przepływa na włosy. Jako różnoimienne, odpychają się, w ten sposób układając włosy wzdłuż kierunku siły, czy też linii pola elektrycznego. Podobny efekt nastroszonych włosów możemy bardziej spektakularnie zaobserwować **zakładając na głowę perukę ze sztucznych włosów i dotykając ręką naładowanej maszyny elektrostatycznej**.

Powróćmy do naszych kulek. Jeśli drugą taką samą kulkę naładujemy przeciwnym ładunkiem i zbliżymy do pierwszej, to **obserwujemy przyciąganie się „włosów” wzdłuż linii mających początek w jednej a koniec w drugiej kulce** i tworzących specyficzny, wrzecionowaty kształt. Obserwujemy w ten sposób **rozkład pola elektrycznego** wokół tzw. **dipola elektrycznego**, czyli układu dwóch różnoimiennych ładunków o takiej samej wartości bezwzględnej, oddalonych od siebie o pewną odległość. Pojęcie dipola elektrycznego jest bardzo ważne dla wyjaśnienia wielu zjawisk elektrycznych, o czym przekonamy się wkrótce.

A jak wygląda pole elektryczne wytworzone przez bardziej złożony rozkład ładunków, na przykład w obszarze zawartym między dwoma płaskimi płytami metalowymi, naładowanymi różnoimiennymi ładunkami wytworzonymi w maszynie elektrostatycznej. Przekonujemy się o tym **umieszczając między płytami lekką metalizowaną piłeczkę zawieszoną na nici**. Okazuje się, że natychmiast zaczyna ona szybko oscylować między płytami odbijając się głośno od każdej z nich. Jest to więc swoisty „dzwonek” którego działanie wyjaśnia prawo Coulomba: w początkowej fazie przemieszczanie się elektronów w metalizowanej, ale początkowo elektrycznie obojętnej kulce powoduje, że jest ona przyciągana do bliższej płytki. W momencie zderzenia się z płytką ładuje się takim samym ładunkiem, jakim naładowana jest ta płytka. Wtedy rozpoczyna się ruch kulki w kierunku drugiej płytki, ponieważ kulka jest odpychana przez płytę o tym samym ładunku (ładunki jednoimienne), a przyciągana przez drugą płytę o ładunku przeciwnym (ładunki różnoimienne). Ruch trwa aż do momentu zderzenia z drugą płytką, gdzie następuje kolejne przeładowanie ładunku, a następnie ruch w drugą stronę. Zjawisko powtarza się cyklicznie. W taki sposób działa nasz „dzwonek” elektrostatyczny! Obserwując dokładniej ruch kulki zauważamy, że między płytami porusza się ona prostopadle do powierzchni płyt, po liniach prostych. Tak zatem wygląda pole elektryczne w przestrzeni między płytami (z wyjątkiem obszarów na brzegach): natężenie pola jest stałe a linie pola są do siebie równoległe – takie pole nazywamy polem

jednorodnym. Jak się później dowiemy, układ dwóch równoległych płyt metalowych różnoimiennie naładowanych jest kondensatorem płaskim. Teraz **zobaczyliśmy, że pole elektryczne w kondensatorze płaskim jest polem jednorodnym.**

Prawo Coulomba pozwala nam również wyjaśnić zaskakujące **zjawisko odchylenia cienkiej strużki wody ciekącej z kranu naładowanym elektrycznie przedmiotem**, na przykład naelektryzowanym prętem ebonitowym lub nawet grzebieniem! Dlaczego strumień wody się odchyła pomimo, że woda nie jest elektrycznie naładowana i nie zawiera swobodnych elektronów, jak metale? Odpowiedź na to pytanie mówi nam dużo o budowie cząsteczek wody H_2O , które w istocie są małymi dipolami elektrycznymi. Dipole te w obecności zewnętrznego pola elektrycznego obracają się (jednoimiennie ładunki się oddalają a różnoimiennie się przyciągają), powodując przyciąganie strumienia wody gdyż wtedy różnoimiennie ładunki są w efekcie bliżej siebie, a więc to oddziaływanie dominuje zgodnie z prawem Coulomba.

Wiemy już, co to jest ładunek elektryczny oraz natężenie pola elektrycznego. Ważnym innym pojęciem w elektryczności jest potencjał elektryczny i napięcie elektryczne, będące po prostu różnicą potencjałów. Ujmując najprościej, potencjał elektryczny V w pewnym punkcie w przestrzeni jest równy pracy W wykonanej przy przemieszczaniu małego ładunku q z pewnego wybranego punktu odniesienia do rozważanego, punktu podzielonej przez wartość tego ładunku. Tak więc potencjał elektryczny wyraża się prostym wzorem $V=W/q$. Punkt odniesienia wybieramy dowolnie, a ze względu na ciągłość w praktycznych często w nieskończoności, tam gdzie siła elektryczna wynosi zero. Widzimy więc, że w przypadku, gdy między dwoma punktami występuje różnica potencjałów $\Delta V \neq 0$, pole elektryczne będzie działać na ładunki elektryczne powodując ich przemieszczanie od potencjału wyższego do niższego. Zupełnie analogicznie kulka spada w polu grawitacyjnym w kierunku niższego potencjału grawitacyjnego! Różnicę potencjałów nazywamy napięciem elektrycznym $U=\Delta V$. Widzimy, że jego niezerowa wartość wymusza przepływ ładunków, nazwany prądem elektrycznym, którym zajmiemy się niebawem.

Teraz możemy się zastanowić i zademonstrować jak wygląda pole elektryczne i potencjał w naładowanych przewodnikach metalowych, w których elektrony swobodne mogą się przemieszczać bez ograniczeń. Szybko dochodzimy do wniosku że w naładowanych kawałkach metalu ładunek się tak rozplywa, że pole elektryczne wewnątrz przewodnika wynosi zawsze zero (gdyby pole było niezerowe to ładunek dalej się przemieszczał aż do momentu wyzerowania pola) a potencjał elektryczny w konsekwencji jest stały (gdy $E=0$ to nie wykonujemy pracy!). Zatem w przewodnikach ładunek elektryczny gromadzi się na powierzchni ! Możemy się o tym przekonać w atrakcyjnej **demonstracji z klatką Faradaya**, w której siedzący asystent lub słuchacz w peruce dotyka naładowanej elektrody generatora van de Graaffa nie dotykając klatki. Wtedy, podobnie jak we wcześniejszym eksperymencie z elektryzowaniem peruki, włosy się „nastroszą”. Natomiast gdy dotkniemy jednocześnie klatki „nastroszenie” znika bo ładunki odpływają na powierzchnię układu, w tym wypadku klatkę Faradaya. Tak więc pole elektryczne w klatce zawsze znika ($E=0$), co wykorzystujemy w praktyce do izolowania się od pola elektrycznego. Widzimy więc, że klatki lub pudła metalowe ekranują/zabezpieczają wewnątrz od niepożądanych efektów zewnętrznego pola elektrycznego.

Prąd elektryczny

Wiemy już, że metale dobrze przewodzą prąd elektryczny, który jest w istocie kolektywnym przemieszczaniem się ładunków (w metalach jest to ruch swobodnych elektronów) pod wpływem przyłożonego napięcia. Wielkość prądu elektrycznego wyrażamy jego natężeniem, będącym stosunkiem wielkości przemieszczanego ładunku do czasu, w którym to przemieszczenie nastąpiło. Aby zobaczyć, jaki jest związek między przyłożonym napięciem (przyczyna) i natężeniem prądu (skutek) w przewodniku metalicznym wykonujemy proste **doświadczenie mierząc napięcie i natężenie w obwodzie elektrycznym** składającym się z zasilacza napięcia i żarówki oraz dwóch mierników: woltomierza i amperomierza. Zmieniając napięcie zasilania stwierdzamy, że natężenie I jest zawsze proporcjonalne do napięcia U , co oznacza że U/I jest wielkością stałą, co jest istotą prawa Ohma, a wielkość $R=U/I$ nazywamy **oporem elektrycznym**. W alternatywnym sformułowaniu, prawo Ohma stwierdza, że strumień elektronów tworzących prąd elektryczny jest proporcjonalny do pola elektrycznego, co może nieco zaskakiwać, gdyż w stałym polu elektrycznym ładunki powinny się poruszać cały czas ruchem kolektywnym jednostajnie przyspieszonym. W istocie tak nie jest ze względu na częste losowe zderzenia termiczne w metalach, w wyniku czego elektrony poruszają się ruchem przyspieszonym tylko pomiędzy kolejnymi zderzeniami termicznymi. Efektywnie, zderzenia te pełnią rolę tarcia i uśredniony ruch elektronów w przewodniku w stałym polu elektrycznym przebiega ze stałą prędkością. Efekt ten wyjaśnia obserwowane prawo Ohma. W dyskutowanym doświadczeniu **podgrzewając znacznie metalowy opornik** (włókno żarówki) pokazujemy, że opór przewodnika wzrasta z temperaturą, co wyjaśniamy zwiększoną częstością zderzeń termicznych w wyższych temperaturach.

Wiedząc, że warunkiem przewodnictwa elektrycznego jest istnienie ładunków mogących się poruszać w materiale, możemy się zastanowić jak inne materiały przewodzą prąd elektryczny. Początkowo możemy sądzić, że materiały zbudowane z obojętnych elektrycznie atomów lub cząsteczek (gazy, ciecze, ciała stałe-niemetale) nie przewodzą prądu elektrycznego, ale doświadczenia temu przeczą. Obserwowaliśmy już **przeskok świecącej „iskry” między elektrodami naładowanej maszyny elektrostatycznej**, będący w istocie pokazem przepływu prądu elektrycznego w gazach (powietrze). Zjawisko to tłumaczymy następująco: silne pole elektryczne wokół elektrod powoduje **jonizację** neutralnych elektrycznie cząsteczek powietrza, rozbijając je na elektrony i dodatnio naładowane jony, które poruszając się dalej w polu elektrycznym wzbudzają (w zderzeniach) do świecenia inne atomy. Wniosek z tego doświadczenia jest taki, że jeżeli potrafimy w dowolnej substancji wytworzyć swobodne cząstki naładowane rozbijając neutralne atomy/cząsteczki na elektrony i jony, to substancja ta będzie przewodzić prąd elektryczny. Potwierdza to **doświadczenie z próbą przewodzenia prądu w wodzie**, w której umieszczamy dwie elektrody połączone w szereg z baterijką i żaróweczką. W przypadku wody czystej (destylowanej) żarówka nie świeci, co oznacza, że czysta woda nie przewodzi prądu elektrycznego. Posolenie wody i jej późniejsze podgrzewanie palnikiem powoduje coraz mocniejsze świecenie żarówki wskazujące na przepływ prądu. Tłumaczymy to pojawieniem się jonów w wodzie, w wyniku znanego z chemii zjawiska dysocjacji soli w roztworach wodnych. Cząsteczki soli rozpadają się na ujemne **aniony** i dodatnie **kationy**, mogące przenosić ładunek w roztworze. Co więcej, wraz ze wzrostem temperatury roztworu rośnie rozpuszczalność soli, a w konsekwencji stężenie anionów i kationów, co potwierdzone jest przez silniejsze świecenie żarówki w rozważanym obwodzie demonstracyjnym.

Metale są bardzo dobrymi przewodnikami, gdyż posiadają elektrony swobodne będące nośnikami prądu elektrycznego. Materiałami znacznie słabiej przewodzącymi prąd są półprzewodniki, w których nośnikami prądu są zarówno ujemne elektrony jak i dodatnie „dziury”, będące pustymi miejscami w pasmach po wzbudzeniu elektronów do pasma przewodnictwa. W **doświadczeniu z podgrzewaną diodą półprzewodnikową** pokazujemy, jak silnie prąd przewodzenia diody zależy od temperatury. Okazuje się, że rośnie on ze wzrastającą temperaturą, co tłumaczymy wzrostem liczby wzbudzonych par elektron-dziura w wyższych temperaturach. Dotychczas pokazaliśmy, że prawie wszystkie materiały (gazy, ciecze, metale, półprzewodniki) mogą przewodzić prąd elektryczny. Ale znamy materiały, zwane izolatorami, które nie przewodzą prądu, tak jak na przykład szkło. W doświadczeniu dotyczącym **przewodnictwa prądu w podgrzanym szkłe** pokazujemy że nawet izolatory mogą przewodzić prąd elektryczny w bardzo wysokich temperaturach. Prezentowane pokazy przekonują nas że w istocie wszystkie materiały mogą przewodzić prąd elektryczny, a ich opór lub jego odwrotność – przewodnictwo, zależy od ilości wytworzonych ładunków będących nośnikami prądu elektrycznego.

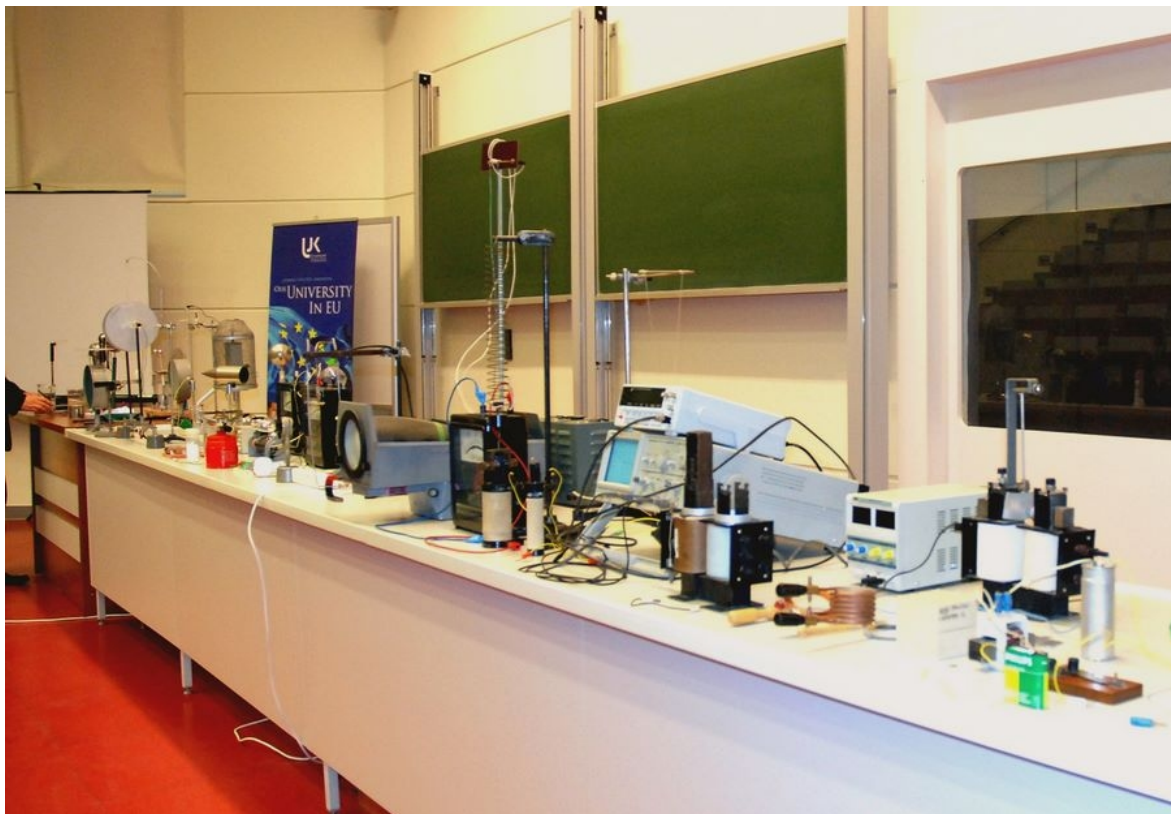
Wykaz pokazów

Część A - elektryczność

- 1) elektryzowania materiałów w wyniku pocierania ich innym materiałem
- 2) oddziaływanie przyciągające i odpychające prętów naelektryzowanych na stoliku obrotowym
- 3) działanie elektroskopu
- 4) elektryzowanie elektroskopu przez indukcję
- 5) ładowanie elektroskopu poprzez sypanie piasku
- 6) maszyna elektrostatyczna: wytwarzanie ładunków i przeskoc iskry elektrycznej
- 7) generator elektrostatyczny
- 8) oddziaływanie elektrostatyczne naładowanych kulek
- 9) pokaz pola elektrycznego naładowanej kulki (pole centralne)
- 10) pokaz elektryzowania włosów
- 11) pokaz pola elektrycznego układu dwóch ładunków (pole dipola elektrycznego)
- 12) oscylacje metalizowanej kulki między naładowanymi płytami
- 13) wizualizacja pola elektrycznego w kondensatorze płaskim
- 14) efekt odchylenia stróżki wody naładowanym prętem
- 15) ekranowanie pola elektrycznego w klatce Faraday'a
- 16) demonstracja prawa Ohma w prostym obwodzie elektrycznym
- 17) pokaz wzrostu oporu elektrycznego w podgrzewanym przewodniku
- 18) wyładowanie elektryczne jako pokaz przepływu prądu w gazach
- 19) demonstracja przewodnictwa elektrycznego w posolonej i podgrzewanej wodzie
- 20) pokaz malenia oporu podgrzewanej diody półprzewodnikowej
- 21) pokaz przewodnictwa elektrycznego podgrzanego szkła



Czas rozpocząć wykład „Elektryczność i magnetyzm”



Wszystkie przyrządy gotowe do demonstracji



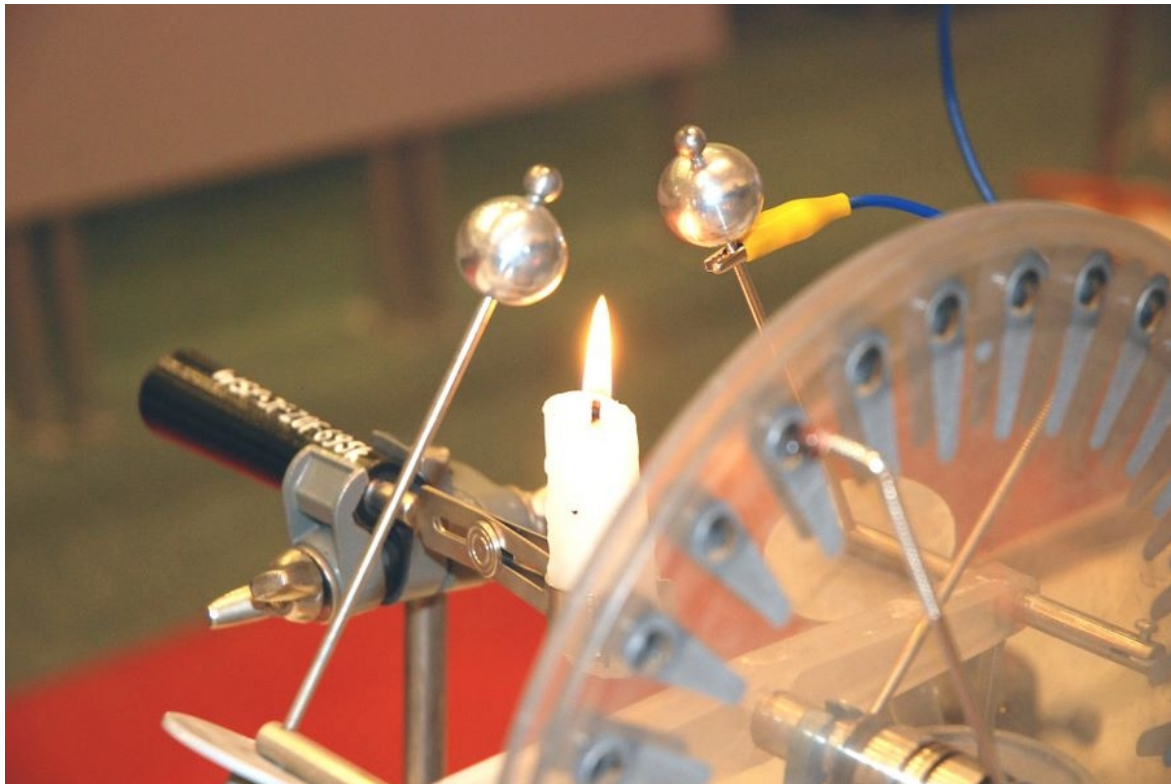
Naelektryzowane pręty ebonitowe wyraźnie się przyciągają



Ładunki elektryczne możemy też gromadzić przesypując piasek!



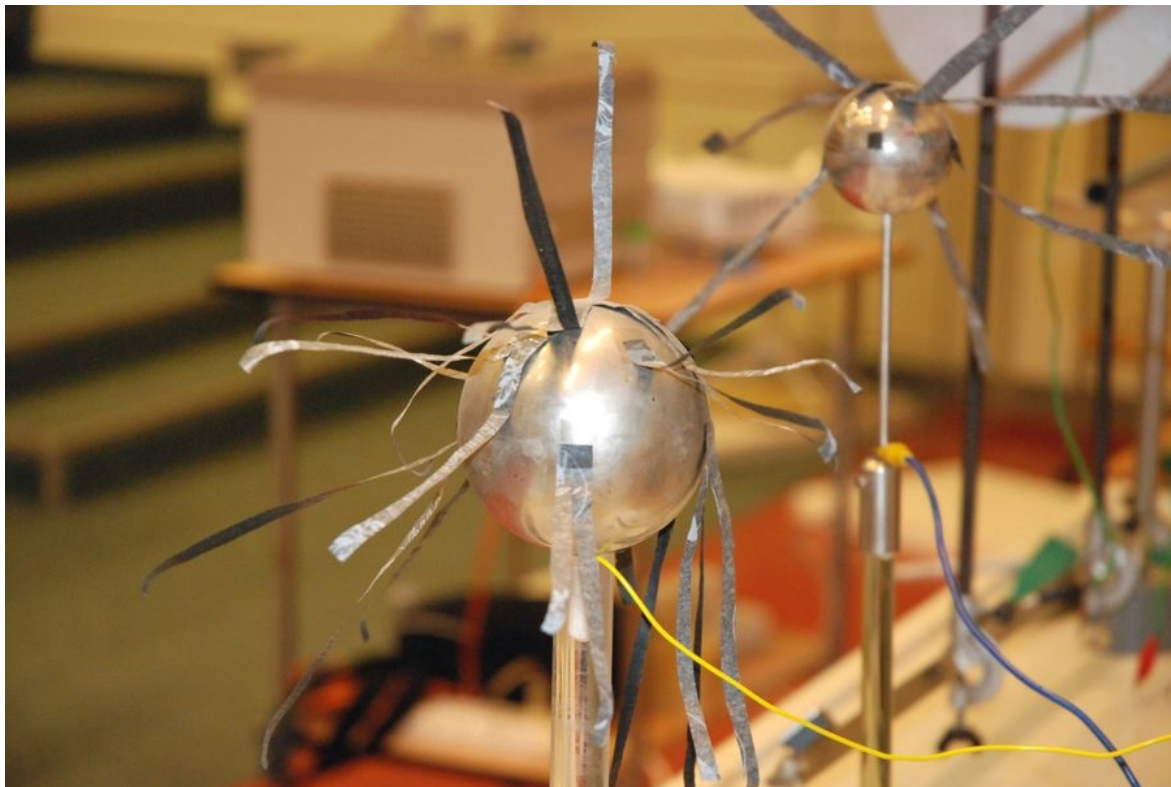
Naelektryzowany pręt ebonitowy silnie odchyła strumień wody



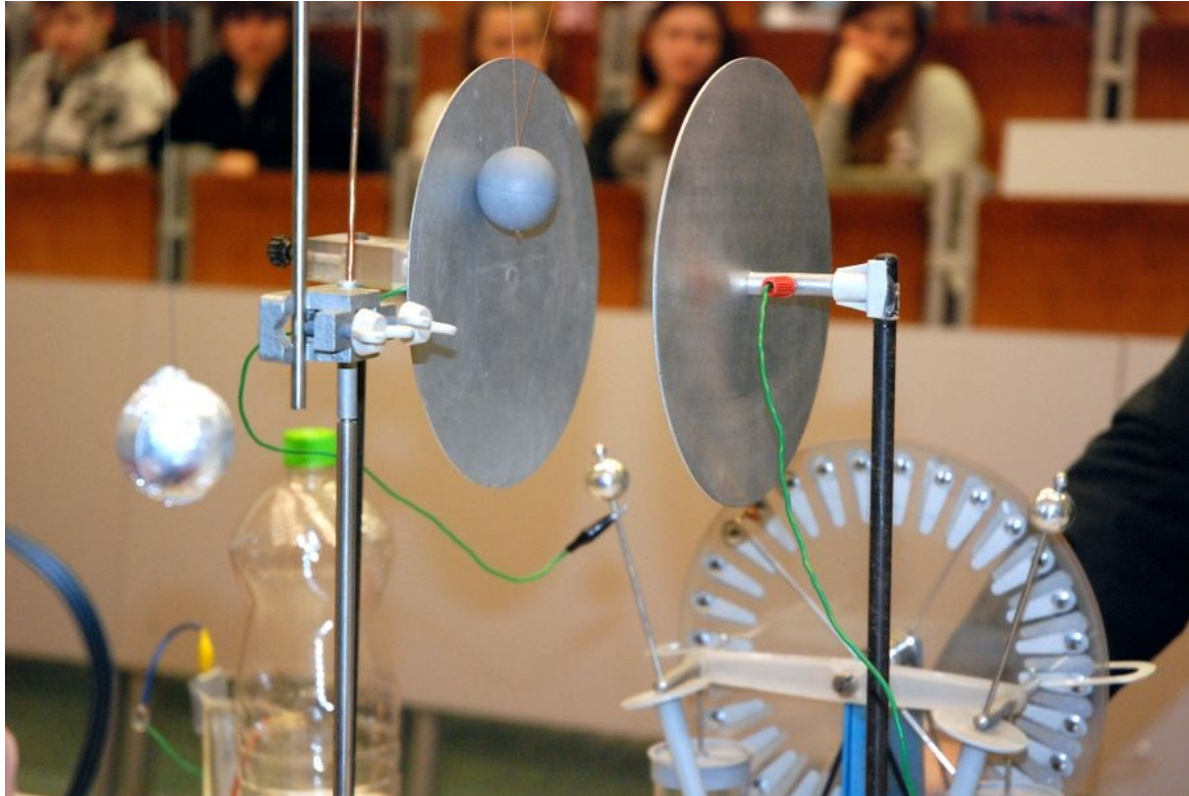
Jaki wpływ ma płonąca świeczka na przeskok iskry w maszynie elektrostatycznej?



Pola elektryczne naładowanych kulek dobrze obrazują przyklejone cienkie paski folii



Nastroszone radialnie paski mówią że pole elektryczne jest centralne



Ruch metalizowanej piłeczki między dwoma naładowanymi płytami dobrze obrazuje rozkład pola elektrycznego



Klatka Faraday'a rzeczywiście ekranuje pole elektryczne – włosy nie stroszą się



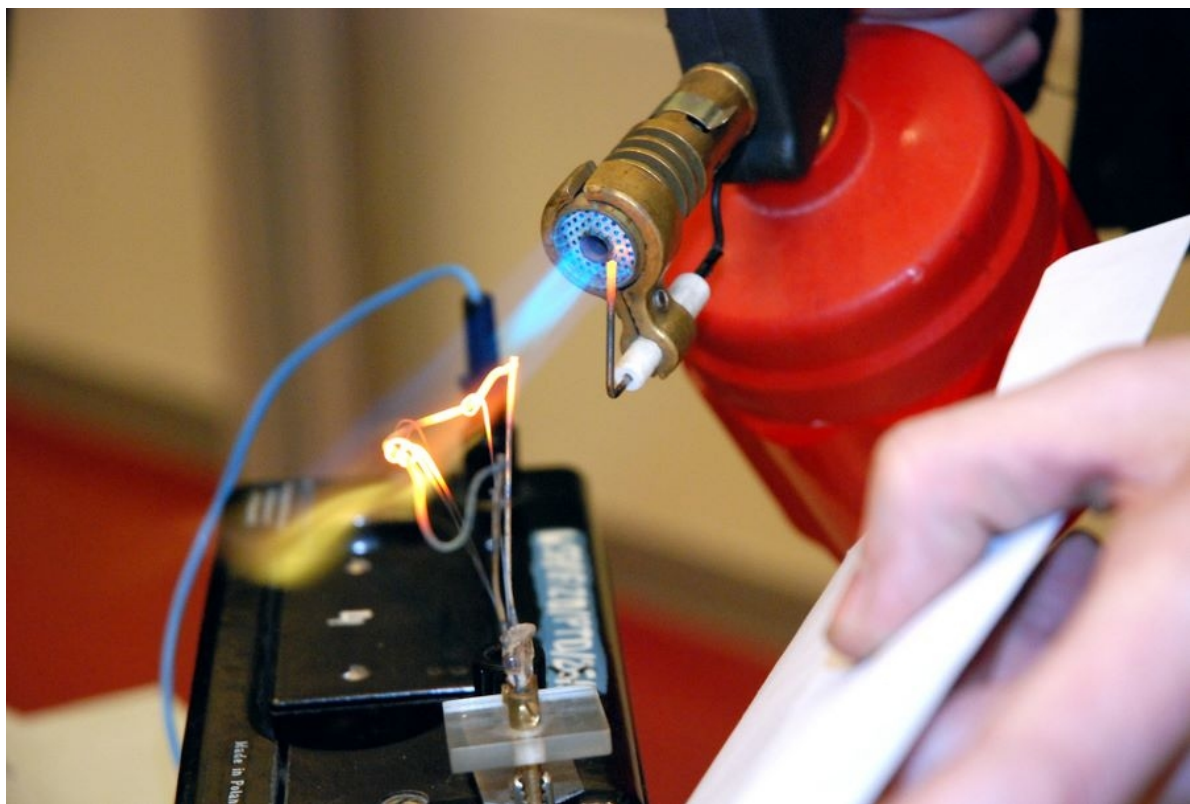
Włosy naelektryzowane poprzez dotknięcie generatora elektrostatycznego



Chłopakom elektryzowanie włosów też się podoba!



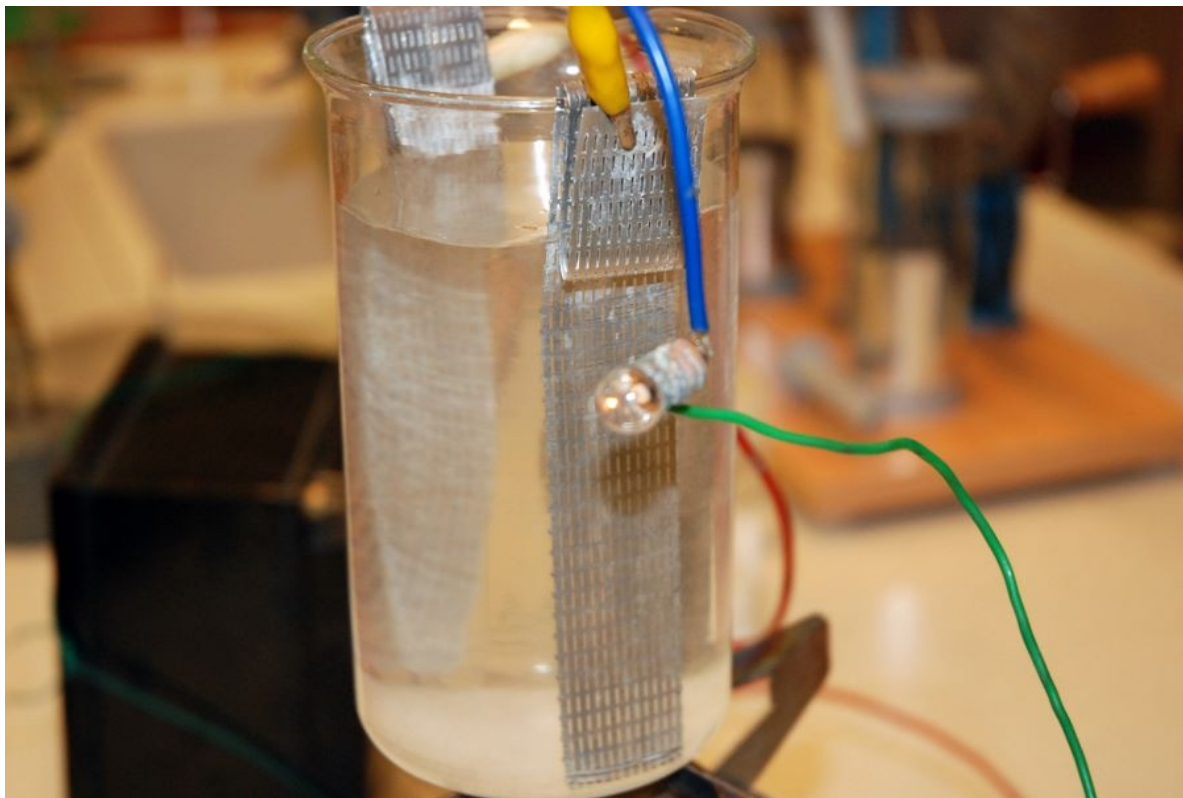
Maszyna elektrostatyczna wzbudza zawsze zainteresowanie...



Podgrzewając palnikiem włókno żarówki stwierdzamy wzrost jego oporu elektrycznego



W przypadku diody półprzewodnikowej jest odwrotnie – podgrzewanie zmniejsza jej opór



Żaróweczka się świeci, co oznacza że posolona woda przewodzi prąd elektryczny



Szkło trzeba podgrzać do wysokiej temperatury aby zaczęło przewodzić prąd