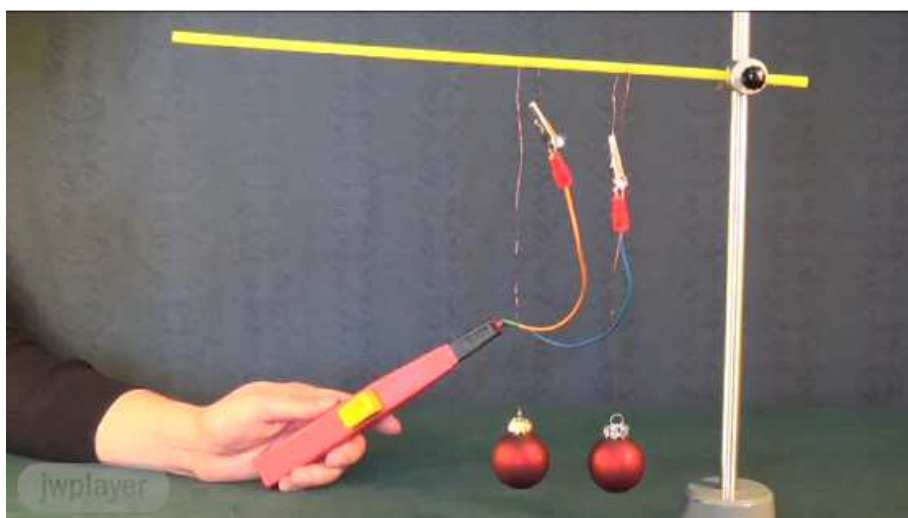


10.2. Doświadczenie choinkowe¹

Cel: demonstracja oddziaływania pomiędzy ładunkami punktowymi.

Środki dydaktyczne:

- rurka lub patyk z plastiku,
- dwie bombki choinkowe,
- zapalacz piezoelektryczny do gazu,
- statyw,
- dwa cienkie (im cieńsze, tym lepiej) druty miedziane o długości ok. 30 cm,
- dwa krokodylki.



Fot. 10.4. Pomoce dydaktyczne potrzebne do wykonania doświadczenia.

Wykonanie:

Do statywu przymocuj poziomo rurkę lub patyk z plastiku, który jest izolatorem elektrycznym (zdjęcie 1). Zdejmij (zeskrob) izolację z drutów miedzianych na jego końcach. Następnie zawieś dwie bombki na drutach i przymocuj druty do poziomej poprzeczki statywu tak, aby bombki były oddalone od siebie na odległość około 1 cm. Do odizolowanych końców drutów podłącz różne bieguny zapalacza piezoelektrycznego za pomocą krokodylków. W zapalaczu należy zdjąć metalowy czubek, aby nie przeskaکیwała iskra; po zdjęciu kapturka łatwiej jest też podłączyć miedziane druty. Gdy bombki są nieruchome naciśnij przycisk zapalacza i obserwuj zachowanie się bombek.

Wyjaśnienie:

Gdy podłączymy bombki choinkowe do różnych biegunów, naciskamy przycisk zapalacza i obserwujemy zbliżanie się bombek, a właściwie ich szybkie zderzenie. Bombki naładowały się różnoimiennie i przyciągały się wzajemnie siłą elektrostatyczną Coulomba. W przypadku, gdy doświadczenie odbywa się w powietrzu siłę Coulomba możemy obliczyć następująco:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}, \quad (1)$$

gdzie: q_1 i q_2 to ładunki zgromadzone na bombkach, r odległość między środkami bombek, ϵ_0 przenikalność elektryczna próżni ($8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$), ϵ_r względna przenikalność elektryczna powietrza (1,00054).

¹ Doświadczenie (Coulomba) pod choinkę, A. Okoniewska, G. Karwasz, Foton 83 (Zima 2003), 55.



Fot. 10.5. Bombki zderzają się ze sobą na skutek naładowania ich różnoimiennie.

Prawo Coulomba dotyczy ładunków punktowych, ale ładunek rozłożony na sferycznej powierzchni bombek można przybliżyć za pomocą ładunków punktowych, umieszczonych w środku bombek². Obliczmy siłę, z jaką oddziałują między sobą naładowane różnoimiennie bombki. Ładunek zgromadzony na powierzchni bombek można obliczyć z ich pojemności elektrycznej. Pojemność elektryczna kuli wyraża się wzorem $C=R/k$, gdzie R jest promieniem kuli, a $k=1/4\pi\epsilon_0$ i wynosi $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. Dla bombek o średnicy 4 cm pojemność elektryczna jest bardzo mała i wynosi około $4 \cdot 10^{-12} \text{ F}$.

Zapalacz piezoelektryczny działa poprzez ściskanie kryształu kwarcu (czyli zwykłego, przezroczystego piasku) a wytwarza duże ładunki elektryczne. Zapalacz taki dostarcza napięcia rzędu 10 kV. Ładunek na każdej z bombek jest mały $q=CU$ i np. dla bombek o średnicy 4 cm wynosi $2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$. Siła Coulomba (1), z jaką przyciągają się bombki odległe od siebie o 5 cm jest bardzo mała (1,4 mN), podczas gdy wychylenie o $1,5^\circ$ od pionu (tj. o 0,5 cm bombki zawieszona na 20 cm drucie) bombki o masie 5 g wymaga siły 1,2 mN. Dlatego, dla zaobserwowania zderzenia, bombki muszą być naprawdę blisko siebie. Z drugiej strony, bombki zderzają się poruszając się ruchem "więcej niż" jednostajnie przyspieszonym - siła przyciągania rośnie proporcjonalnie do kwadratu ich "zbliżenia" ($F_C \sim 1/r^2$) podczas, gdy siła przeciwdziałająca, wynikająca z odchylenia bombek od pionu rośnie tylko liniowo ($F_G \sim r$).

Uwagi metodologiczne:

1. Do powyższego doświadczenia można użyć także maszyny elektrostatycznej i styropianowych kulek zawiniętych w aluminiową folię lub pokrytych grafitem koloidalnym, ale nie będzie to już doświadczenie pod choinkę.
2. Podłączając trzecią bombkę do jednego z biegunów obserwujemy jak dwie bombki tego samego znaku odpychają się. Bombkę znaku przeciwnego należy umieścić dalej, aby siła przyciągania była mała. Obecność bombki przeciwnego znaku jest niezbędna dla wypływu ładunku z zapalacza. Można też drugi biegun zapalacza po prostu uziemić.
3. Drut miedziany izolowany np. o średnicy 0,1 mm może być uzyskany ze starego transformatora lub słuchawek. Może to być również inny miękki drut miedziany.
4. Nigdy nie dotykaj naładowanych bombek (ani krokodylków) ręką! Kilka keV nie jest napięciem „przyjemnym”. Rozładuj bombki i zapalacz jakimś drutem lub metalowym narzędziem.

Doświadczenie można zobaczyć pod adresem: http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/443

² Pokazał to Newton, przy okazji rozważań o sile grawitacji między planetami a Słońcem.