

Elektrostatyka 03 Siły elektryczne. Co ma wspólnego Coulomb z Newtonem?

Naelektryzowane ciała się przyciągają lub odpychają.

Jak obliczyć wielkość siły działającej pomiędzy nimi?

Pod koniec XVIII wieku dokonał tego Coulomb, wzorując się na wyprowadzonym sto lat wcześniej wzorze przez Newtona.

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

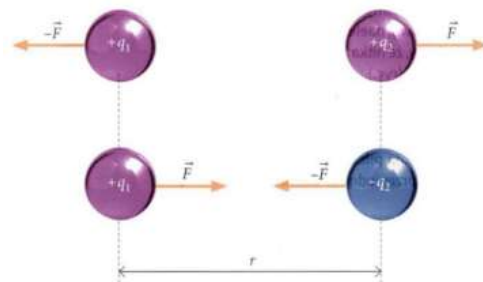
gdzie:

F - siła działająca pomiędzy ładunkami

$k=9 \cdot 10^9$ (notacja naukowa 9e9)

q_1 i q_2 - ładunki

r - odległość między ładunkami



Laboratorium - Wirtualna waga skręceń

Waga skręceń Coulomba (nazywana też wagą skrętną lub torsyjną) to przełomowy przyrząd laboratoryjny, który pozwolił Charles'owi Coulombowi w 1785 roku odkryć fundamentalne prawo elektrostatyki. Przed Coulombem naukowcy wiedzieli, że ładunki elektryczne się przyciągają lub odpychają, ale nie potrafili tego zmierzyć. Siły elektrostatyczne między małymi ciałami są niezwykle słabe, a w tamtych czasach nie było żadnych elektronicznych czujników. Waga skręceń była pierwszym przyrządem, który pozwolił na niezwykle precyzyjny pomiar tak mikroskopijnych sił.

Badanie zależności siły F od iloczynu ładunków $q_1 \cdot q_2$ (Odległość $r = \text{const}$)

- Uruchom laboratorium <https://librontwacław.github.io/kulomb/>
- Ustaw na suwaku **odległość początkową r** na wartość **100 mm + NR** (nie zmieniaj jej w tej części). **NR** - Twój numer z dziennika
- Zmieniaj wartości ładunków q_1 oraz q_2 zgodnie z tabelą
- Oblicz iloczyn ładunków $q_1 \cdot q_2$ i zapisz w tabeli.
- Zapisz w tabeli obliczoną przez program siłę elektrostatyczną F.



Tabela 1. Pomiary dla stałej odległości ($r = 100 + \text{NR mm}$)

Lp.	Ładunek q_1 [nC]	Ładunek q_2 [nC]	Iloczyn ładunków $q_1 \cdot q_2$ [nC ²]	Siła elektrostatyczna F [μN]
1.	2	2		
2.	4	2		
3.	6	2		
4.	8	2		
5.	8	4		



- Na podstawie wyników zapisanych w tabeli wpisz do zeszytu wniosek

Wniosek: Ładunek q_1 wzrósł dwukrotnie, siła wzrosła

- Narysuj w zeszycie wykres punktowy (F - $q_1 \cdot q_2$) :

oś X - iloczyn $q_1 \cdot q_2$

oś Y siła F

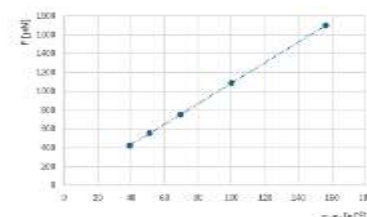
dobierz odpowiednio podziałkę na osi X i Y

opisz obie osie (symbol i jednostka)

połącz punkty wykresu linią

UWAGA

- możesz przygotować wykres na arkuszu kalkulacyjnym i przerysować



Laboratorium - Wirtualna waga skręceń

Badanie zależności siły F od odległości $1/r^2$ (Ładunki $q = \text{const}$)

- Ustaw ładunki na stałe wartości: ($q_1 = NR \text{ [nC]}$) oraz ($q_2 = NR \text{ [nC]}$)
UWAGA - nie zmieniaj ich w tej części. NR - Twój numer z dziennika
- Przelicz odległość r na metry
- Wylicz r^2 oraz $1/r^2$
- Zmieniaj suwakiem odległość r zgodnie z tabelą.
- Zapisz w tabeli siłę F obliczoną przez program.



Tabela 2. Pomiary dla stałych ładunków ($q_1 = NR \text{ [nC]}$) oraz ($q_2 = NR \text{ [nC]}$)

Lp.	Odległość $r \text{ [mm]}$	Odległość $r \text{ [m]}$	Kwadrat odległości $r^2 \text{ [m}^2\text{]}$	Odwrotność kwadratu $1/r^2 \text{ [m}^{-2}\text{]}$	Siła elektrostatyczna $F \text{ [}\mu\text{N]}$
1.	80				
2.	100				
3.	120				
4.	140				
5.	160				

- Na podstawie wyników zapisanych w tabeli wpisz do zeszytu wniosek

Wniosek: Odległość wzrosła dwukrotnie, siła zmalała

- Narysuj w zeszycie wykres punktowy ($F - 1/r^2$) :

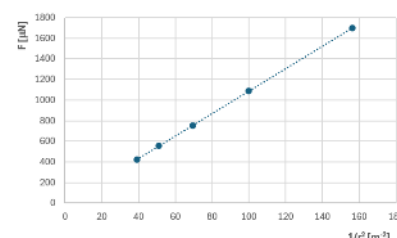
oś $X - 1/r^2$

oś Y siła F

dobierz odpowiednio podziałkę na osi X i Y

opisz obie osie (symbol i jednostka)

połącz punkty wykresu linią



UWAGA

- możesz przygotować wykres na arkuszu kalkulacyjnym i przerysować

Obliczanie błędu pomiarowego

W przypadku symulacji komputerowych źródłem błędu nie jest niedoskonałość oka ludzkiego, ale tzw. niepewność eksperymentalna (systemowa) lub błąd zaokrąglenia i rozdzielczości suwaków. Błąd pomiarowy obliczamy za pomocą metody różniczki zupełnej.

Najprostszą metodą na wyznaczenie błędu bezwzględnego siły (ΔF) jest Metoda Wartości Skrajnych. Niepewność pomiarowa aparatury wynosi:

dla ładunku: $\Delta q = \pm 1 \text{ nC}$

dla odległości: $\Delta r = \pm 1 \text{ mm}$

współczynnik $k = 9 \cdot 10^4$

- Zmierz i zapisz w tabeli siłę F_{zm} :

F_{zm} dla $q_1=5, q_2=5, r=100+NR$

- Oblicz siłę maksymalną F_{max} , jaką mogłyby wskazać przyrządy, gdyby zawyżyły ładunki i zaniżyły odległość:

$$F_{max} = k \cdot \frac{(q_1 + \Delta q) \cdot (q_2 + \Delta q)}{(r - \Delta r)^2}$$

- Oblicz błąd bezwzględny siły ΔF

$$\Delta F = F_{max} - F_{zm}$$

- Oblicz błąd względny δ wyrażony w procentach:

$$\delta = \frac{\Delta F}{F_{zm}} \cdot 100\%$$

k	Δq	Δr	q_1	q_2	r	F_{zm}	F_{max}	ΔF	δ
9e4									

Wniosek: Im mniejsza odległość między kulkami (r), tym większy staje się błąd procentowy wyniku.