

Elektryczność i Magnetyzm

Wykład: Tomasz Kazimierczuk

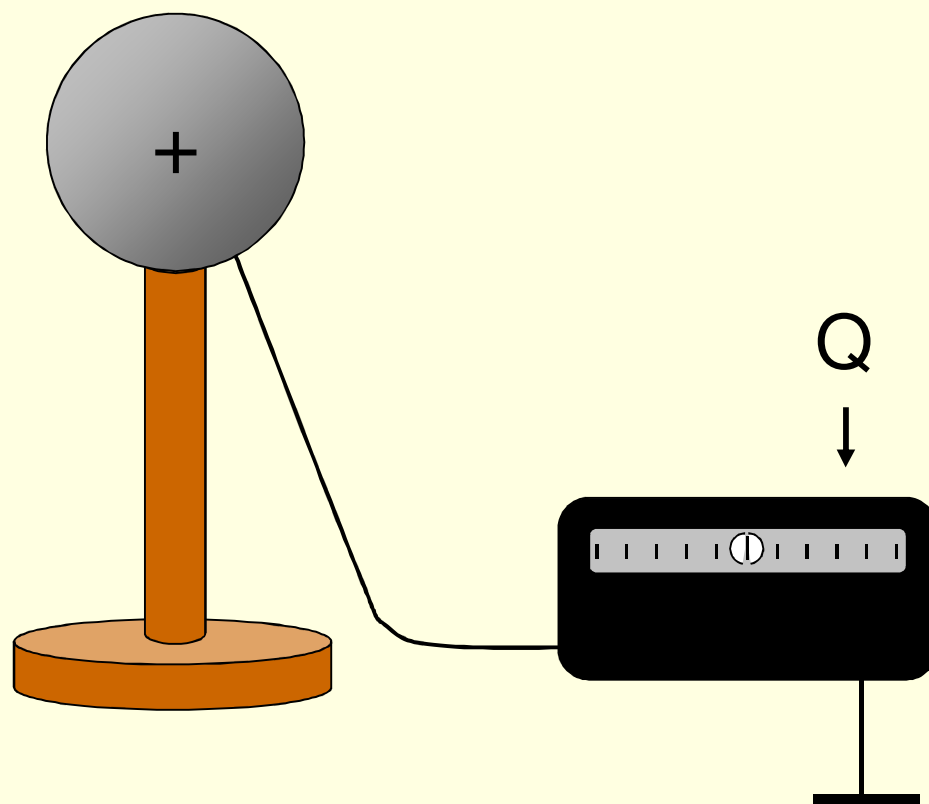
Pokazy: Kacper Oreszczuk, Aleksander Rodek,
Paweł Trautman

Wykład trzeci 3 marca 2020

Z poprzedniego wykładu

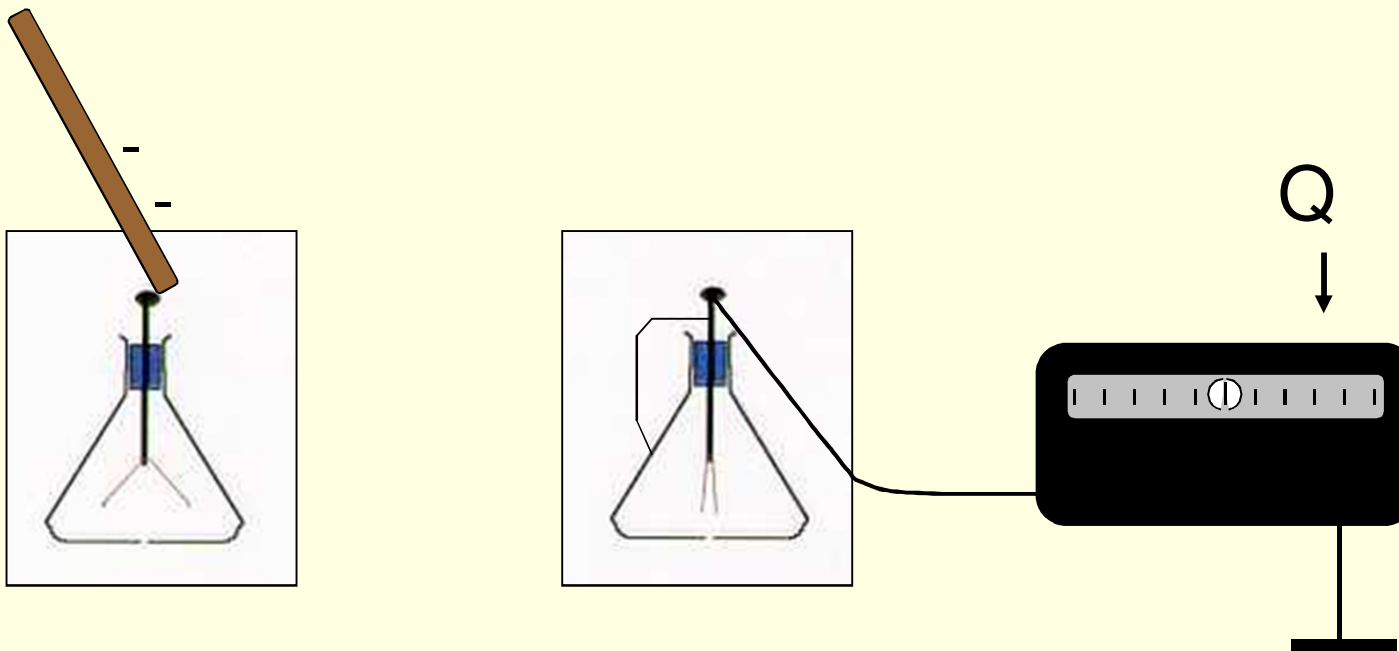
- Pole elektryczne, jego natężenie [N/C]
- Ustawianie igły i nanodrutów w polu elektrycznym, wizualizacja pola elektrycznego
- Rozkład multipolowy (siła i moment siły działające na rozkład ładunku w polu elektrycznym).

Pomiar ładunku



Kalibracja: 15 nC/podz

Od czego zależy wskazanie elektroskopu?



Potencjał elektrostatyczny

Natężenie pola ładunku punktowego
(prawo Coulomba)

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$$

Zapiszmy trochę inaczej

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = -\nabla\Phi(\mathbf{r})$$

gdzie

$$\Phi(\mathbf{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

pamiętamy

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \frac{1}{2\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} 2x = \frac{x}{r} \text{ etc.}$$

mamy

$$\nabla r = \left(\frac{\partial r}{\partial x}, \frac{\partial r}{\partial y}, \frac{\partial r}{\partial z} \right) = \left(\frac{x}{r}, \frac{y}{r}, \frac{z}{r} \right) = \frac{\mathbf{r}}{r}$$

Potencjał elektrostatyczny

Sprawdzenie $\mathbf{E}(\mathbf{r}) = -\nabla\Phi(\mathbf{r}) = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{-1}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$

Zgadza się

Natężenie pola ładunku punktowego
(prawo Coulomba) $\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$

Potencjał $\Phi(\mathbf{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$

Potencjał elektrostatyczny

$$\boldsymbol{\mathcal{E}}(\mathbf{r}) = -\nabla\Phi(\mathbf{r})$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = -\nabla E_p(\mathbf{r})$$

Napięcie = różnica potencjałów

$$U_{AB} = \Phi_A - \Phi_B$$

Jednostki: Φ , U [V = J/C]; $\boldsymbol{\mathcal{E}}$ [N/C = V/m]

Rzędy wielkości: U : 10^5 V; $\boldsymbol{\mathcal{E}}$: 10^5 V/m

Potencjał pola rozkładów ładunku

Gdy źródłem pola jest jednorodnie naładowana prosta

$$\mathbf{E} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{\rho} \frac{\boldsymbol{\rho}}{\rho} \qquad \Phi = -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \rho$$

Gdy źródłem pola jest jednorodnie naładowana płaszczyzna

$$\mathbf{E} = \frac{1}{2\epsilon_0} \sigma \frac{\mathbf{x}}{|x|} \qquad \Phi = -\frac{1}{2\epsilon_0} \sigma |x|$$

Pole elektryczne w przewodniku

W układzie statycznym ładunki są nieruchome,
czyli pole elektryczne znika

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = 0$$

stąd potencjał jest stały:

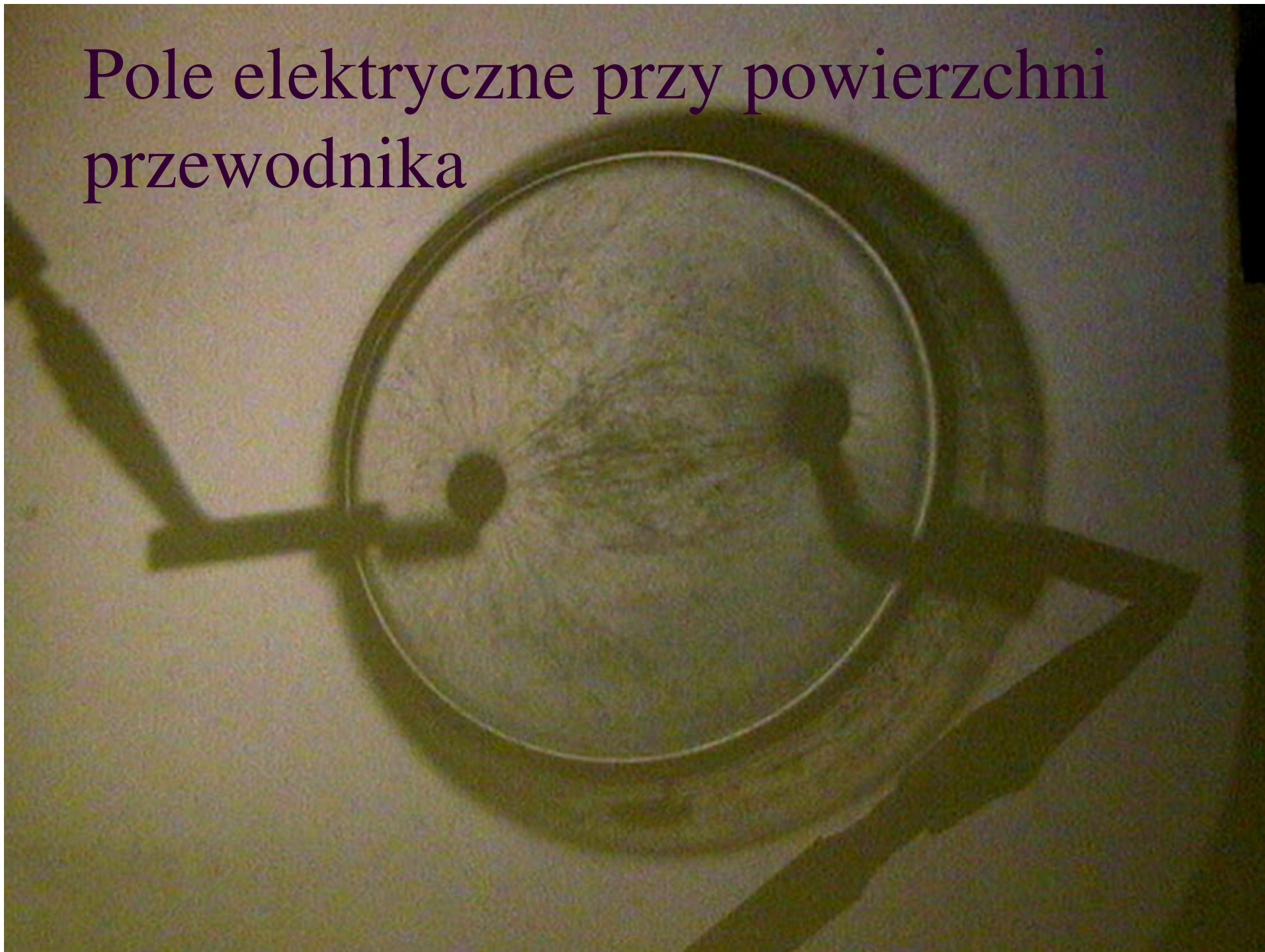
$$-\nabla\Phi(\mathbf{r}) = 0$$

przy powierzchni składowa styczna $E_{\parallel}$ znika

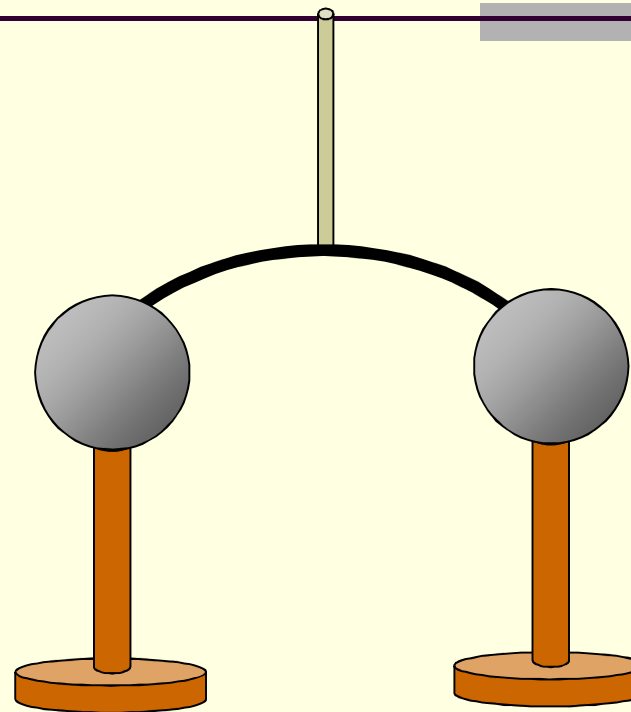
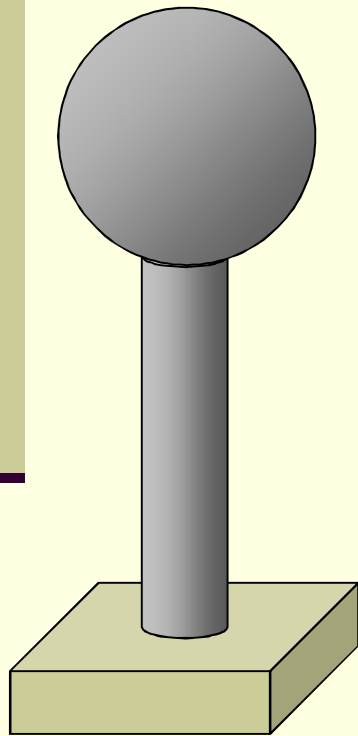
Pole elektryczne i przewodnik

- Pole elektrostatyczne nie wnika do przewodnika, bo powodowałoby ruch ładunków
- Powierzchnia przewodnika jest powierzchnią ekwipotencjalną.
- Natężenie pola elektrostatycznego przy powierzchni przewodnika jest do niej prostopadłe (gradient jest prostopadły do poziomic).

Pole elektryczne przy powierzchni przewodnika



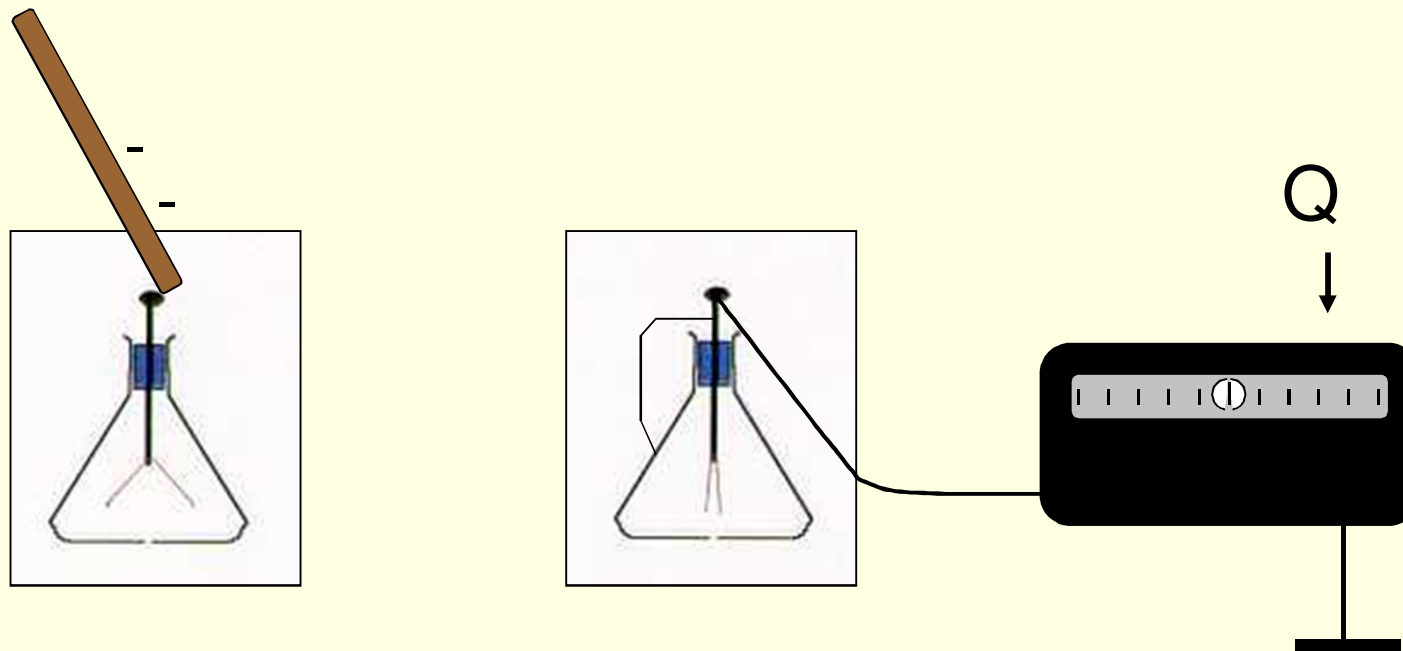
Wyrównanie potencjału i ładunku



$$\Phi_1 = \Phi_2$$

$$Q_1, Q_2 = ?$$

Pomiar napięcia elektroskopem

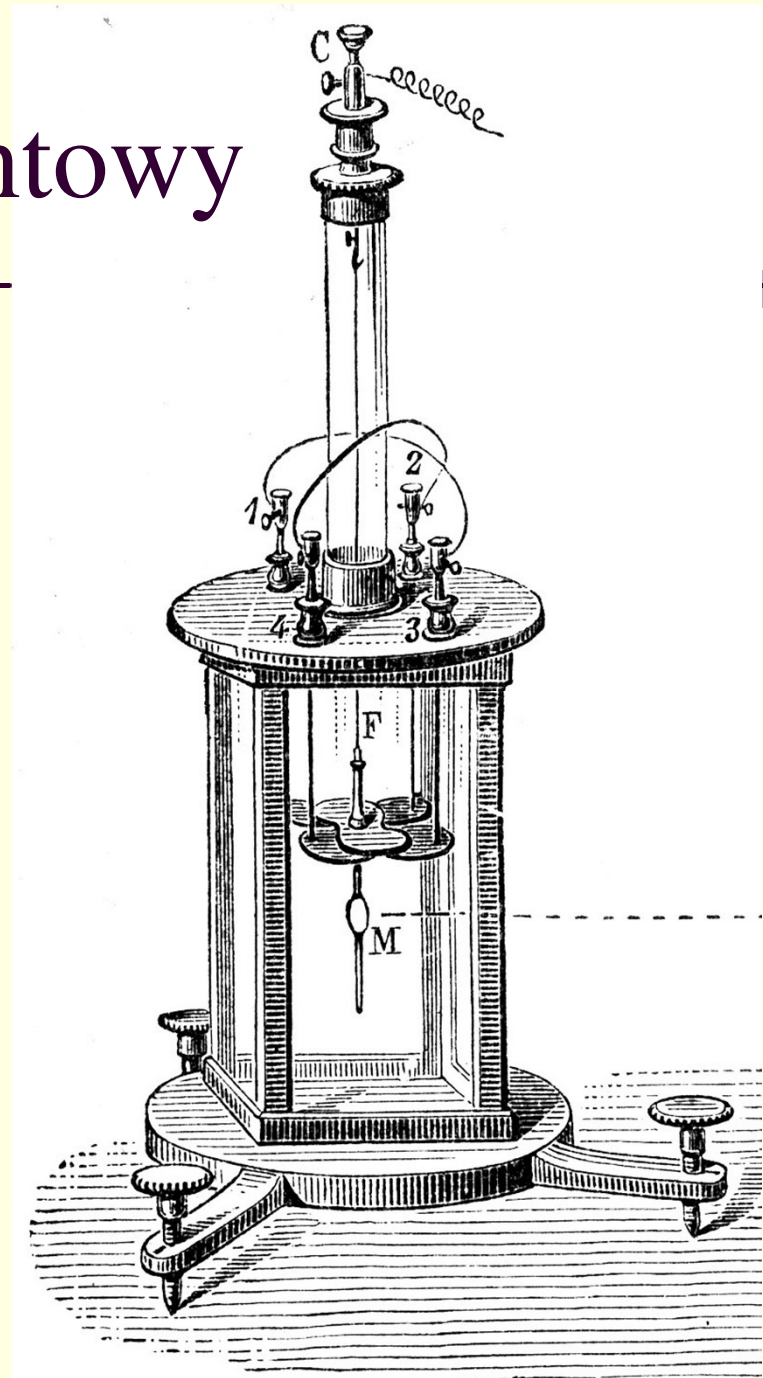


Elektrometr kwadrantowy



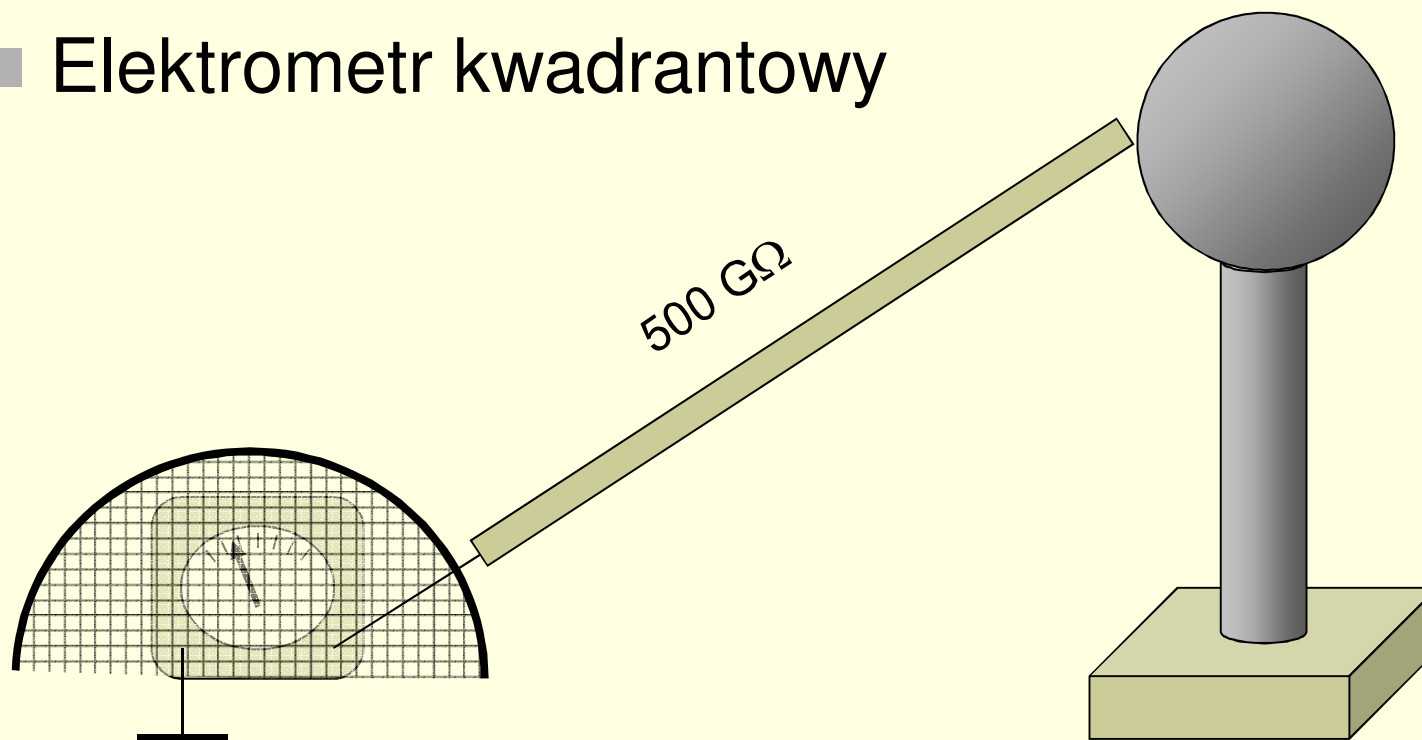
Elektrometr kwadrantowy

Elektrometr kwadrantowy Lorda Kelvina
rysunek z
"Elementary Lessons in Electricity and
Magnetism" Silvanus P. Thompson. 1905



Woltomierz WN

- Woltomierz elektroniczny
- WN
- Elektrometr kwadrantowy



5kV jaki prąd ?

Inne rodzaje elektrometrów

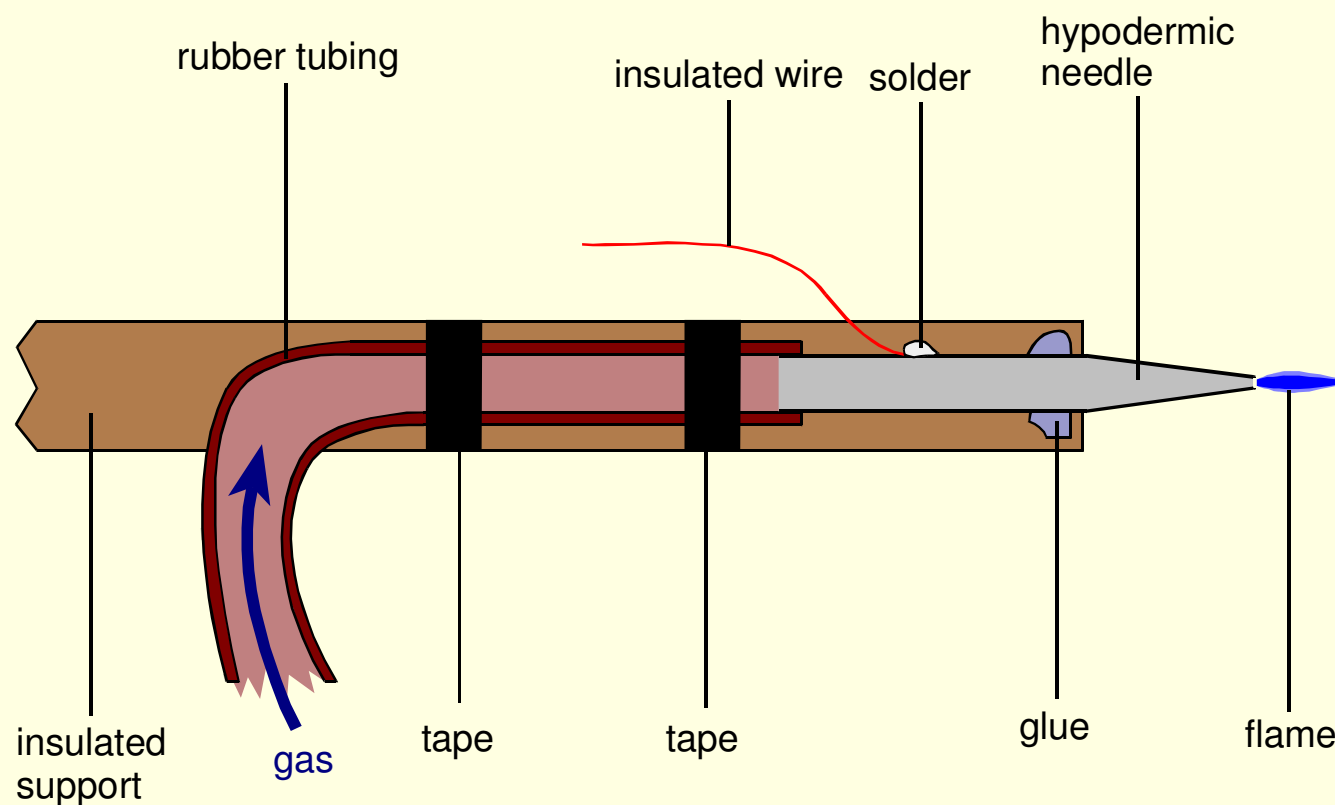
Wibracyjny – może być miniaturowy,
prąd upływu do 0.1 aA)

Próżniowy – lampa próżniowa
(prąd upływu – pojedyncze femtoampery)

Półprzewodnikowy
(prąd upływu – poniżej femtoampera)

Sonda płomieniowa

Pomiar rozkładu potencjału elektrostatycznego



Natężenie pola prostopadłe do powierzchni ekwipotencjalnych

Potencjał wokół naładowanej kuli

