

Eksperyment J. J. Thomsona pomiar ładunku właściwego elektronu (e/m)

Krzysztof Szymański
Piotr Chomienia

*Wydział Fizyki
Uniwersytet w Białymstoku*

2017.03.25

Plan

- prezentacja metody pomiaru i układu eksperymentalnego
- pokażemy, że jest dobrze
- pokażemy, że nie jest całkiem dobrze
- dyskusja

znaczenie eksperymentu

Pierwsze pomiary wykonane przez J. J. Thomsona w 1897 roku

dowód na korpuskularne własności promieniowania beta (elektronu)

metoda ważna w spektrometrii masowej

doświadczenie Millikana umożliwia wyznaczenie masy oraz ładunku elektronu

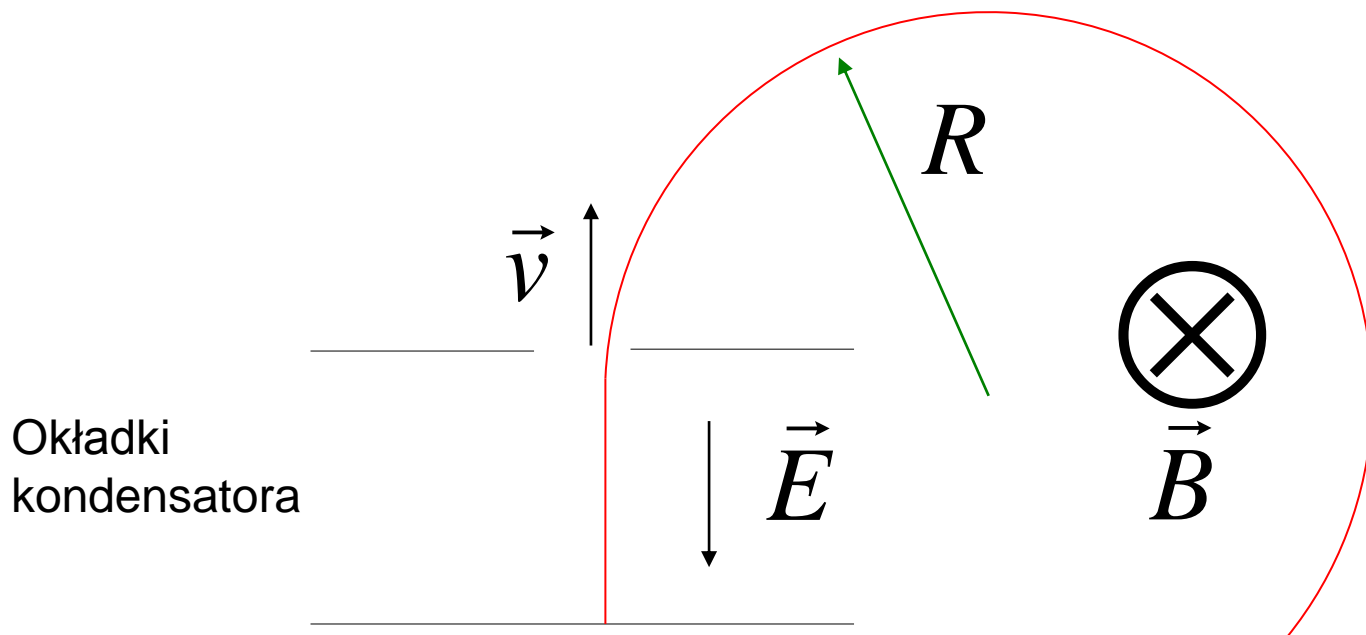
Wartość rekomendowana przez Committee on Data for Science and Technology (CODATA) w roku 2014:

$$e/m = -1.758820024(11) \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

Doświadczenie J. J. Thomsona

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad \text{siła Lorentza}$$

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{II zasada dynamiki}$$



elektron w jednorodnym, stałym polu magnetycznym

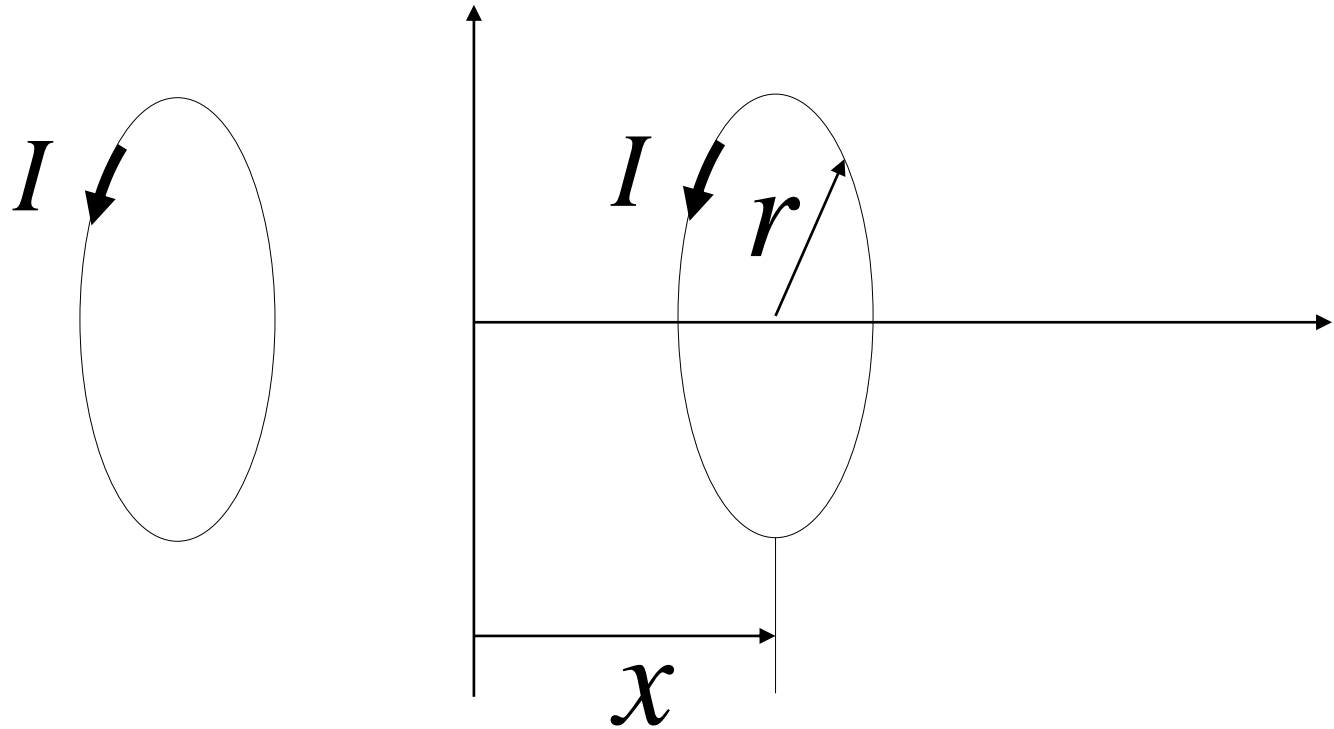
$$\left. \begin{aligned} eU &= \frac{mv^2}{2} \\ evB &= \frac{mv^2}{R} \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}$$

U – napięcie pomiędzy okładkami kondensatora

B – indukcja pola magnetycznego

R – promień zakrzywionej wiązki elektronów

Prawo Biota-Savarta dla dwóch zwojów z prądem I

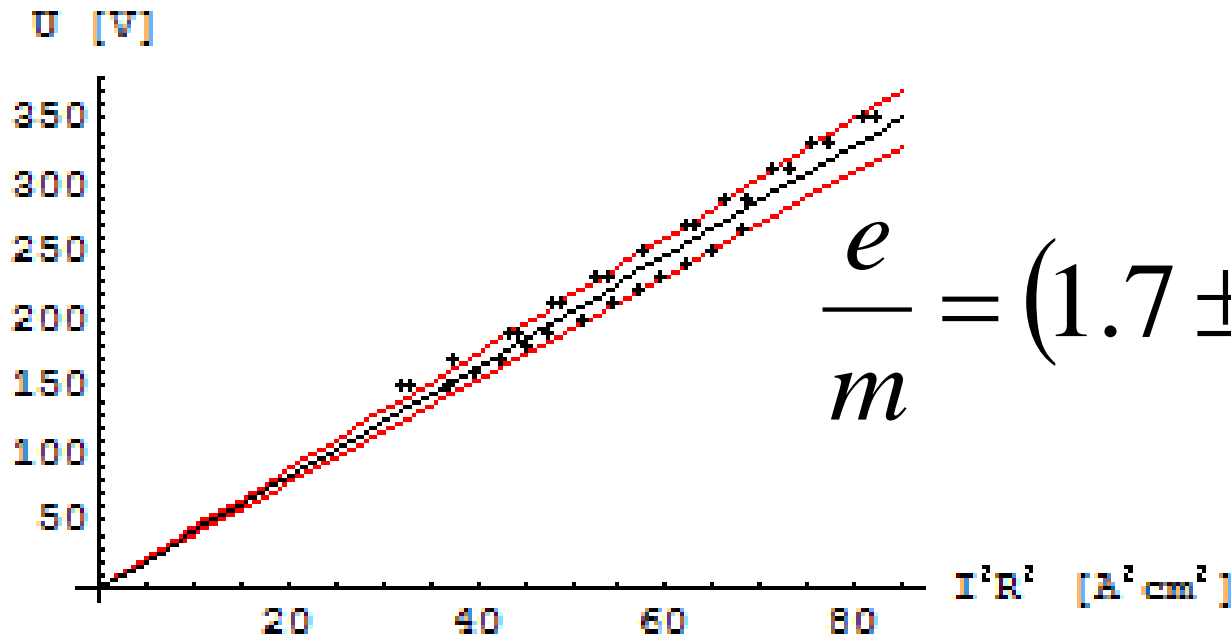


indukcja pola
magnetycznego wzdłuż osi

$$B = \mu_0 I \frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

korzystamy z prądu
(a nie z pola B)

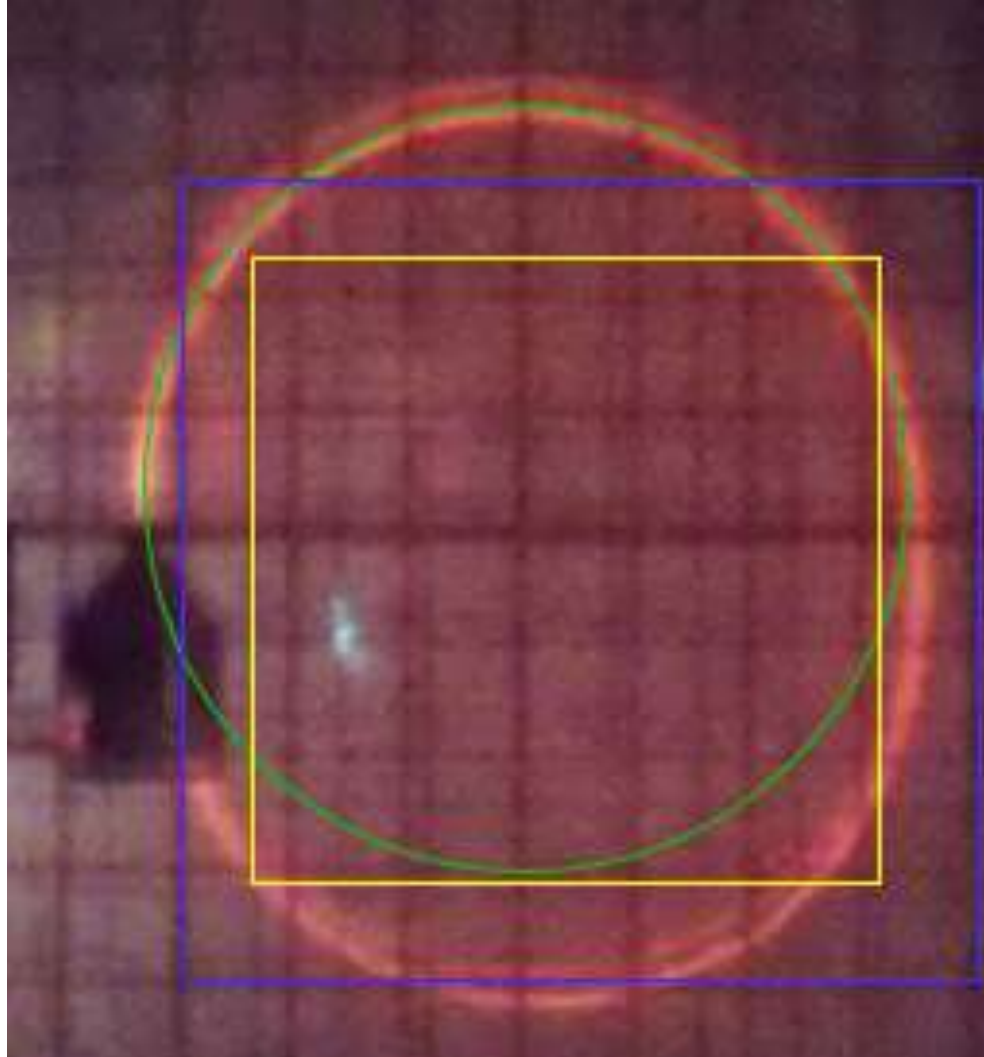
$$U = \frac{e}{m} \frac{B^2 R^2}{2} = \frac{e}{m} \frac{\mu_0^2 r^4}{(r^2 + x^2)^3} \frac{I^2 R^2}{2}$$



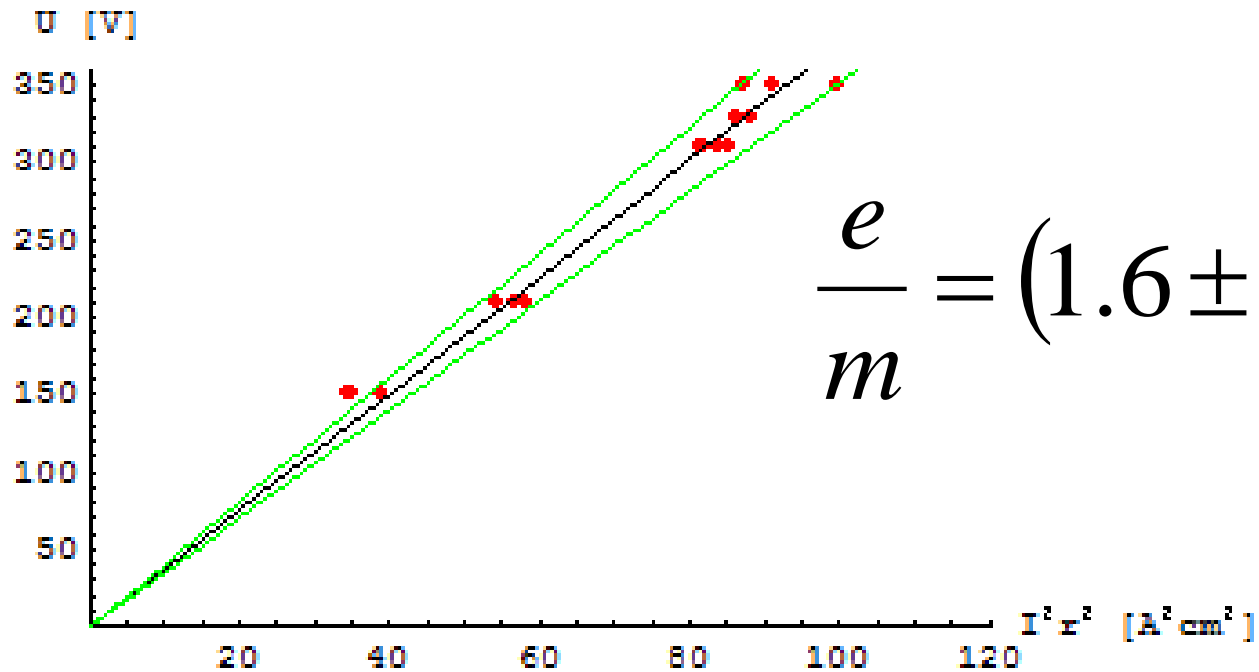
Czy dobrze wyznaczamy
promień?



promień z analizy obrazów

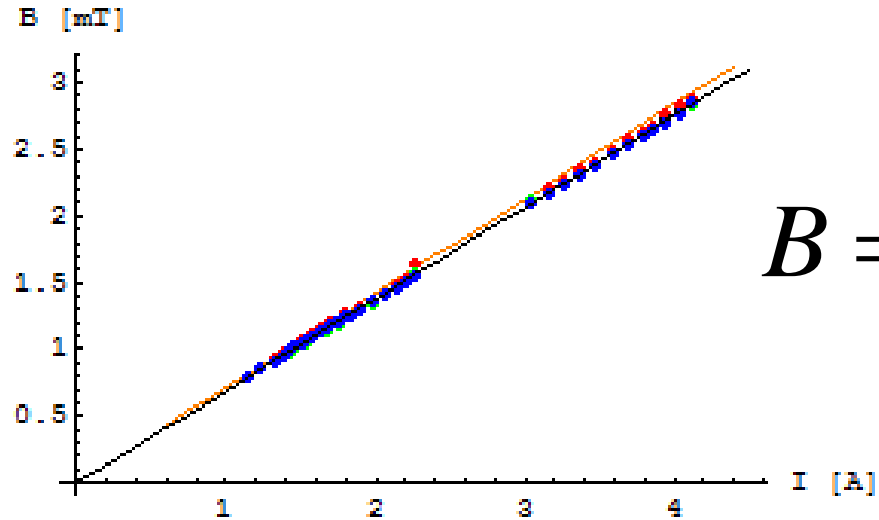


promień z analizy obrazów

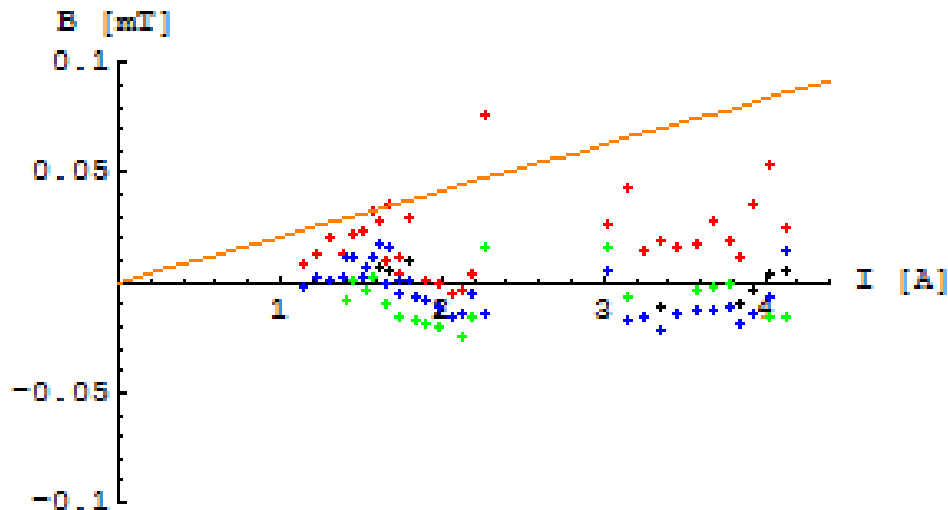


$$\frac{e}{m} = (1.6 \pm 0.1) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

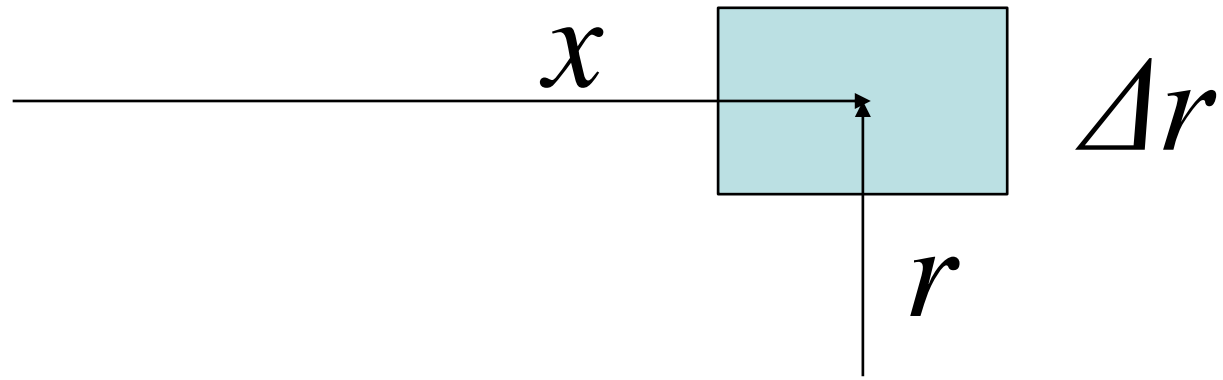
czy pole B jest dobrze wyznaczane?



$$B = \mu_0 I \frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$



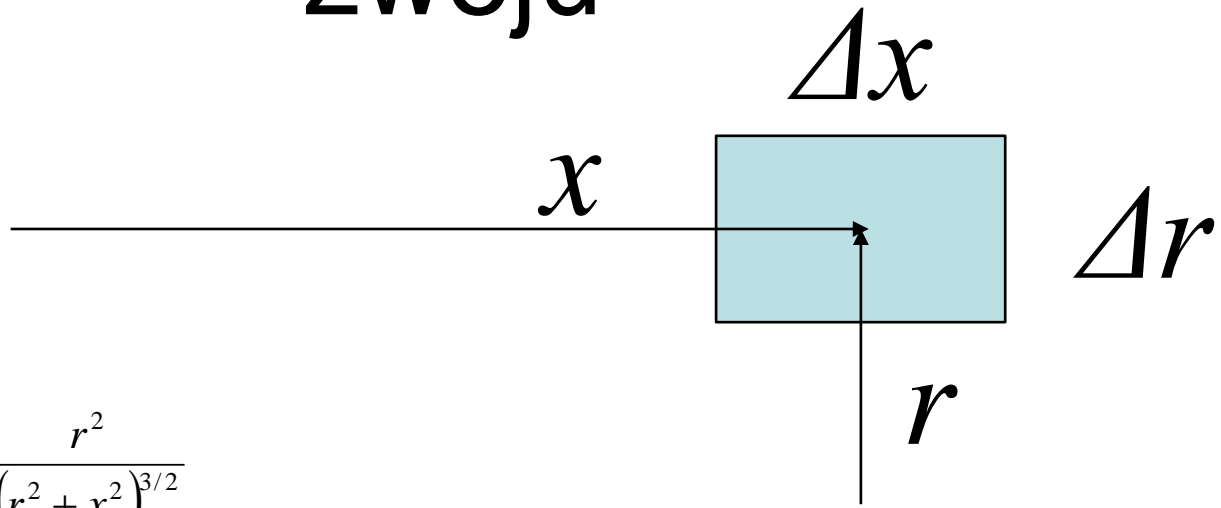
poprawka na skończony rozmiar zwoju Δx



$$\frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}} - > \frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$+ \frac{\Delta r^2 (2r^4 - 11r^2 x^2 + 2x^4) - 3\Delta x^2 r^2 (r^2 - 4x^2)}{24(r^2 + x^2)^{7/2}}$$

poprawka na skończony rozmiar zwoju



$$\frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}} - \frac{r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}} + \frac{\Delta r^2(2r^4 - 11r^2x^2 + 2x^4) - 3\Delta x^2r^2(r^2 - 4x^2)}{24(r^2 + x^2)^{7/2}}$$

$$r = 19.93 \text{ cm}, \quad \Delta r = 1.85 \text{ cm}$$

$$x = 9.83 \text{ cm}, \quad \Delta x = 1.7 \text{ cm}$$

względna zmiana: $-2 \cdot 10^{-7}$

dyskusja

- hipoteza, że „drabinka” istotnie zaburza kształt toru
- wyznaczanie promienia metodą obrazowania
- uwzględnienie zmiennej krzywizny toru daje wynik

$$e/m = -1.6(1) \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

- wartość pochodząca z dokładnych pomiarów

$$e/m = -1.758820024(11) \times 10^{11} \text{ C/kg}$$