

Elektryczność i Magnetyzm

Wykład: Piotr Kossacki

Pokazy: Kacper Oreszczuk, Aleksander Rodek,
Paweł Trautman

Wykład piąty 10 marca 2020

Z ostatniego wykładu

- Wyładowanie elektryczne, efekt lawinowy
- Krytyczne natężenie pola elektrycznego
(zależność od ciśnienia, temperatury i rodzaju gazu)
- Maszyny elektrostatyczne
- Wyładowanie koronowe, ognie Św. Elma
- Doświadczenie Millikana

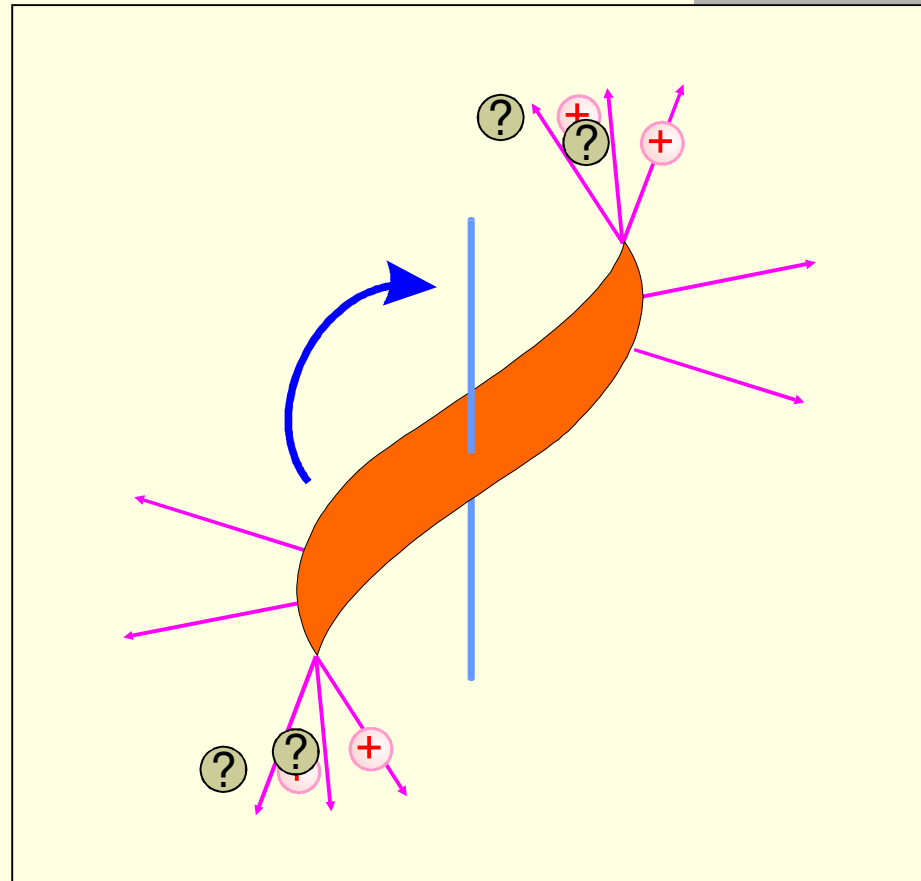
Młyneczek Franklina

Jaki znak ładunku?

Od czego łatwiej się odepchnąć?

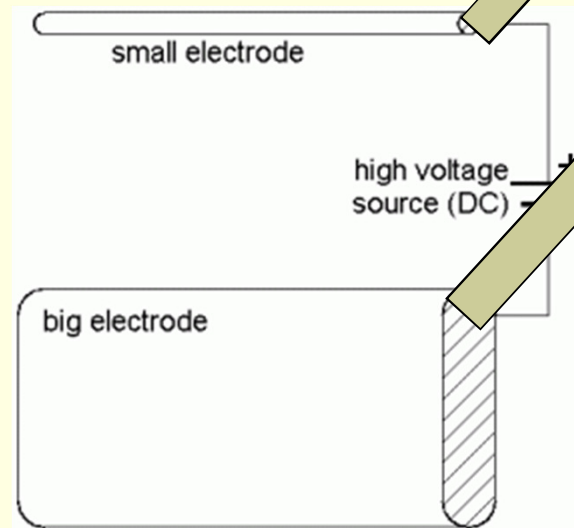
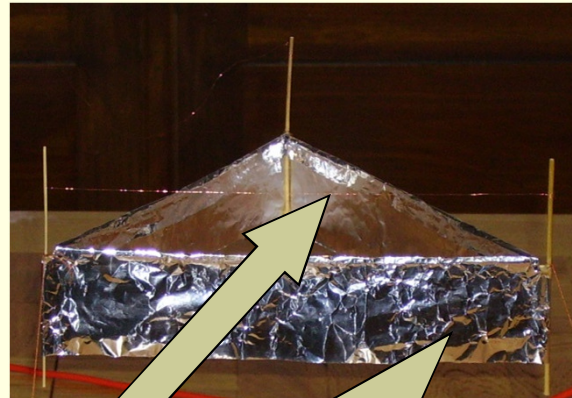
$$p = \sqrt{2mE}$$

Masa protonu 2 tysiące razy większa od masy elektronu!

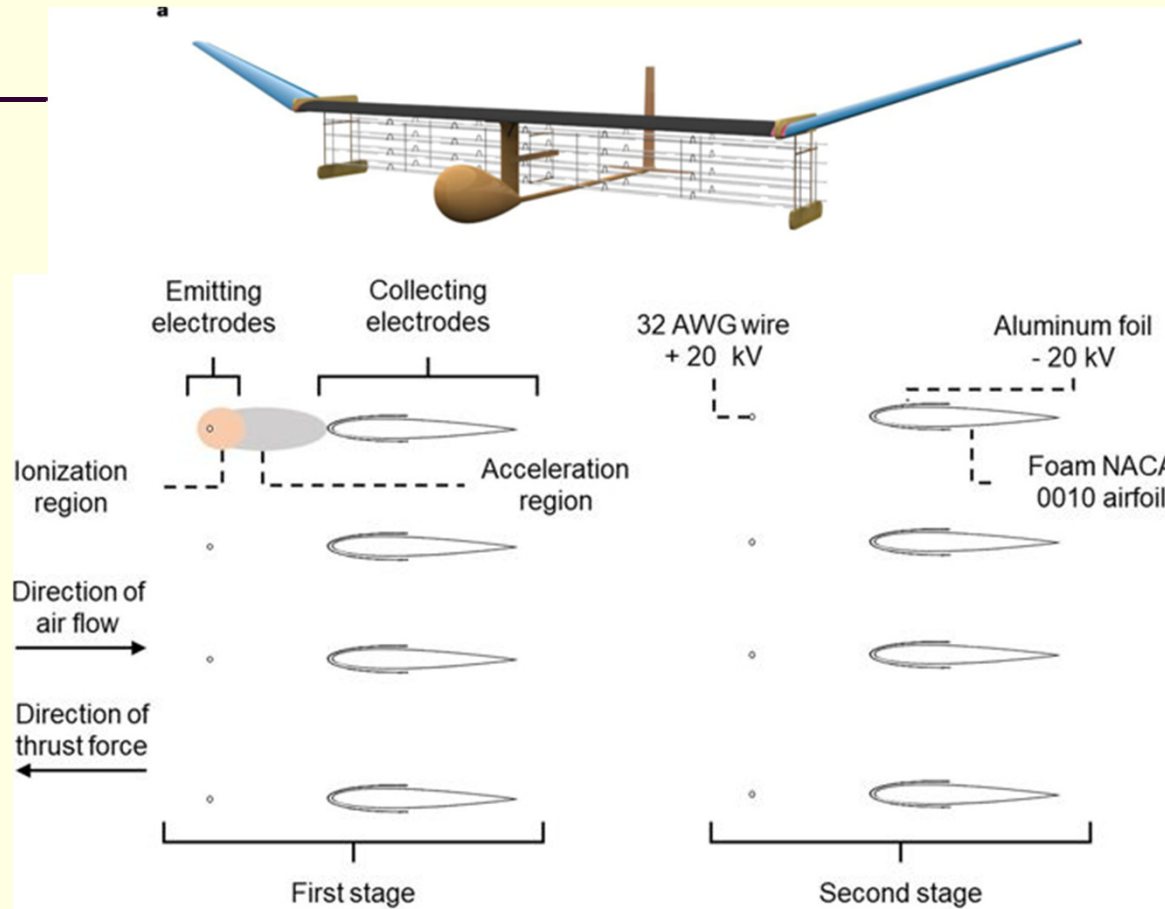


Młyneczek Franklina - model silnika elektrycznego (jonowego)

Lewitacja : dlaczego lata?



Flight of an aeroplane with solid-state propulsion

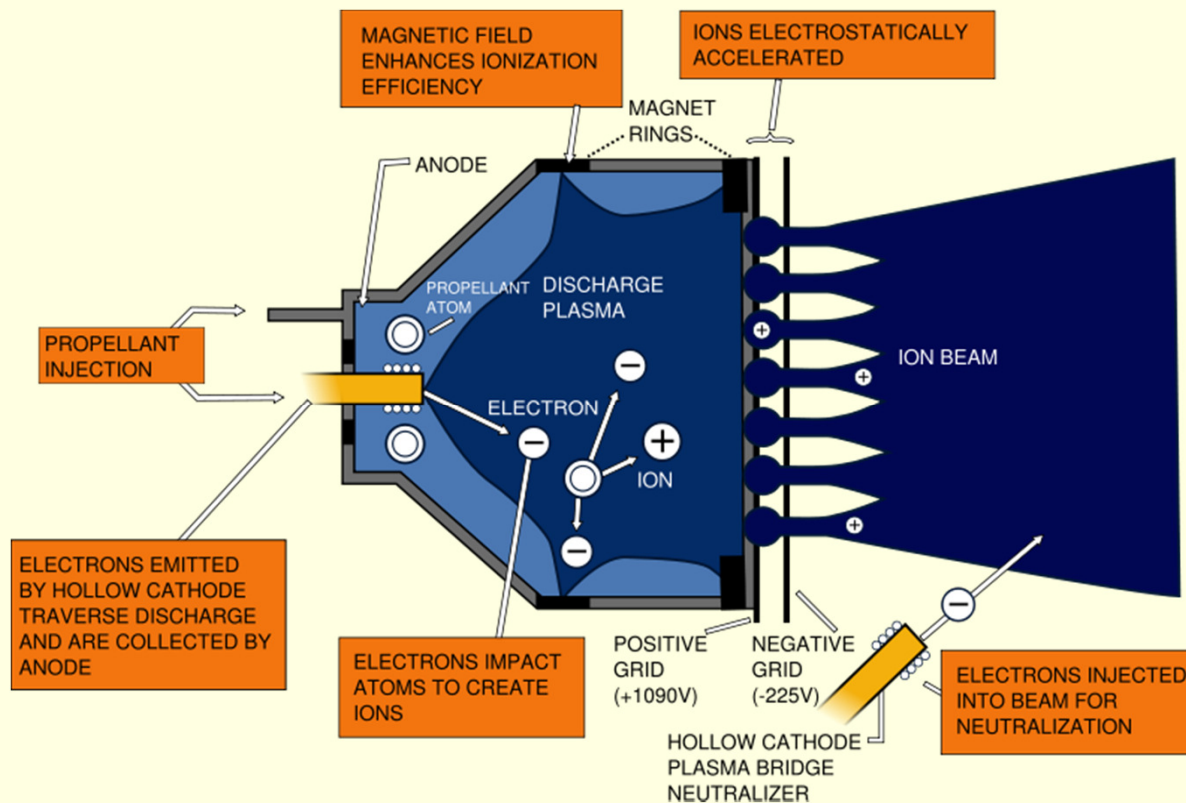


Film : <https://youtu.be/boB6qu5dcCw>

Artykuł : <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0707-9>

Nature **563**, 532–535 (2018)

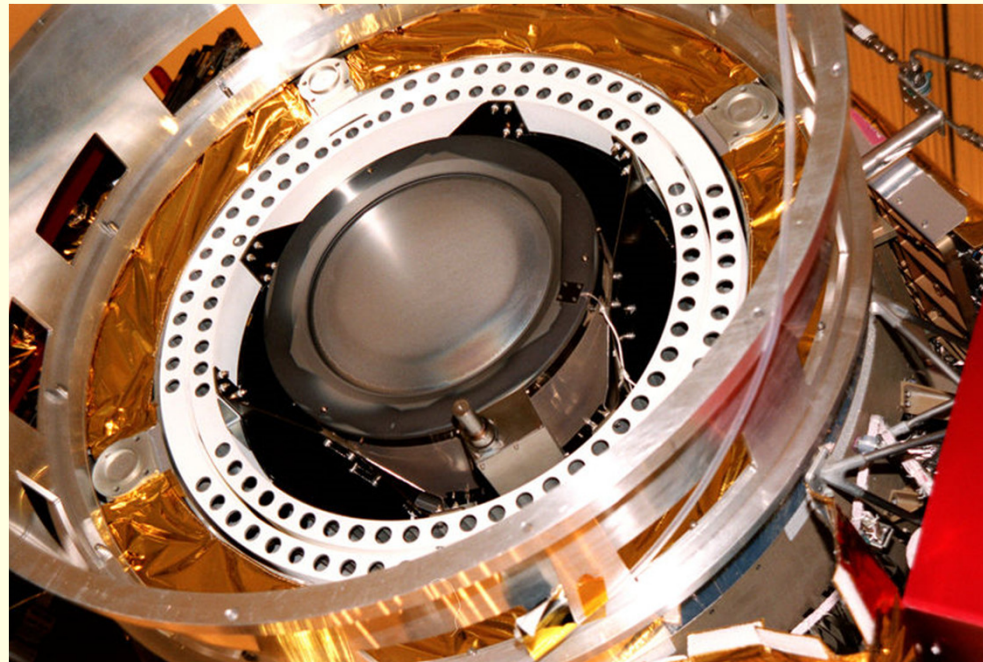
Silnik jonowy



Exhaust speeds of 30 km/s are not uncommon, which is far faster than the 3–4.5 km/s for chemical rockets. In practice, with currently practical energy sources of perhaps a few tens of kilowatts, and given a typical I_{sp} of 3000 seconds (30 kN·s/kg), ion thrusters give only extremely modest forces (often tenths or hundredths of a newton).

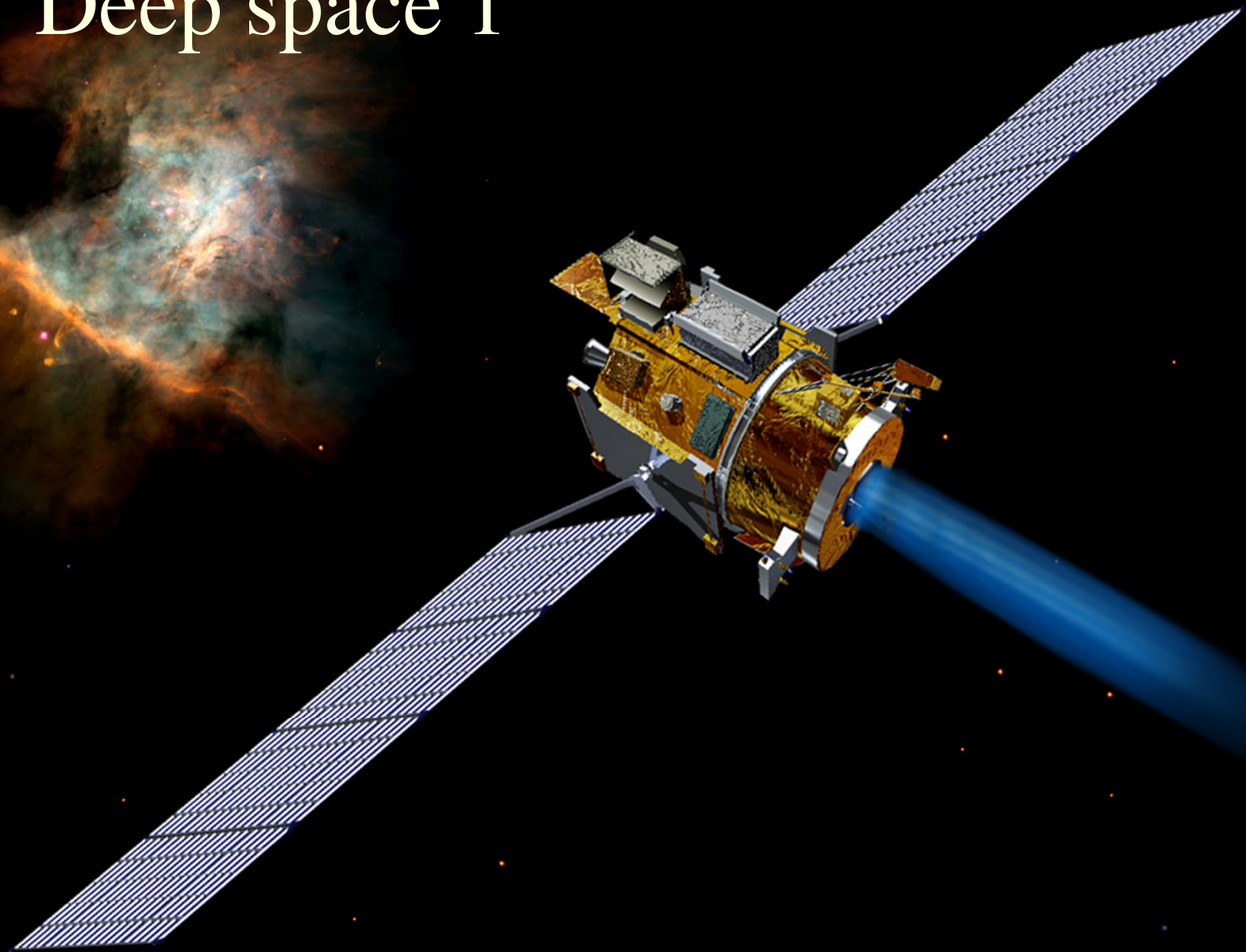
Deep Space 1 (1998), Dawn (2007)

The spacecraft Deep Space 1 was launched October 24, 1998 on top of a Delta II rocket. As part of NASA's New Millennium program, the primary goal was the testing of technologies to lower the cost and risk of future missions



The NSTAR ion thruster, developed at NASA's Glenn Research Center, achieves a specific impulse of one to three thousand seconds. This is an order of magnitude higher than traditional space propulsion methods, resulting in a mass savings of approximately half. This leads to much cheaper launch vehicles. Although the engine produces just **92 millinewtons** of thrust at maximum power (about a third of an ounce-force), the craft achieved high speeds because ion engines thrust continuously for long periods. The engine fired for **678 total days**, a record for such engines. The next spacecraft to use NSTAR engines is the Dawn Mission (launched on 27 September 2007 to explore the dwarf planet Ceres and the asteroid Vesta), with three redundant units.

Deep space 1

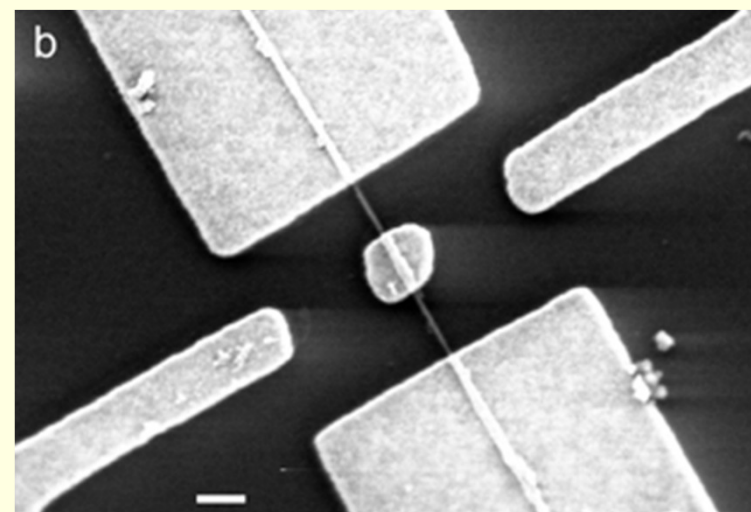
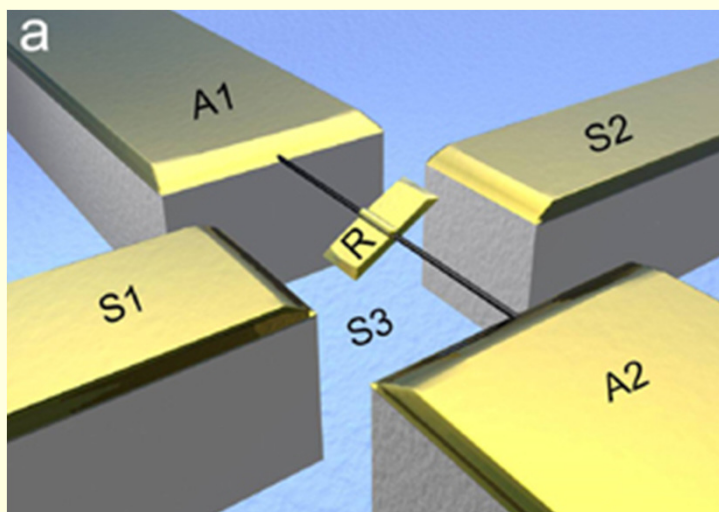


<http://nmp.jpl.nasa.gov/ds1/img/newds1.gif>

Jeszcze jeden silnik



Jeszcze jeden silnik



Ognie Św.Elma

wyładowanie koronowe,

piorunochron aktywny
(Benjamin Franklin)

NA PIORUNOCHRON UMIESZCZONY NA ZAMKU
WARSZAWSKIM

...A na koniec, aby
Gdy się wichry zawezmą i srogie łaskoty,
Rażąc poziome twory ognistymi groty,
Gmach ten nowotną sztuką bojaźni pozbawił,
Powietrznego ku straży przewodnika stawił.
Tak mówiąc, Wieczny Twórco, którego rozkazem
I niebo się, i ziemia niskim ściele płazem,
I morze rozigrane, a groźnym skinieniem
Pierzcha wszelka przeciwność przed ludzkim plemieniem,
Osłoń twym nieprzebitym puklerzem te domy
I ojczyznę, troiste uchylając gromy.

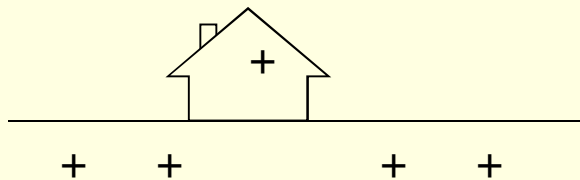
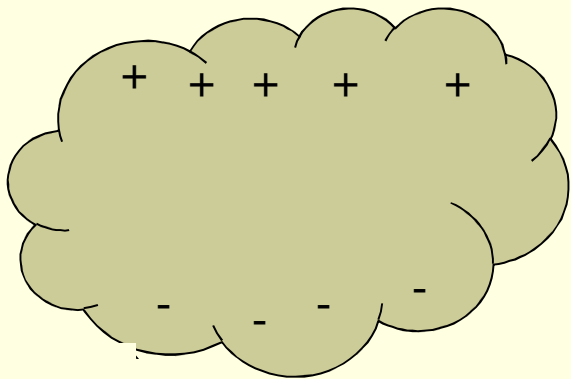
Adam Naruszewicz



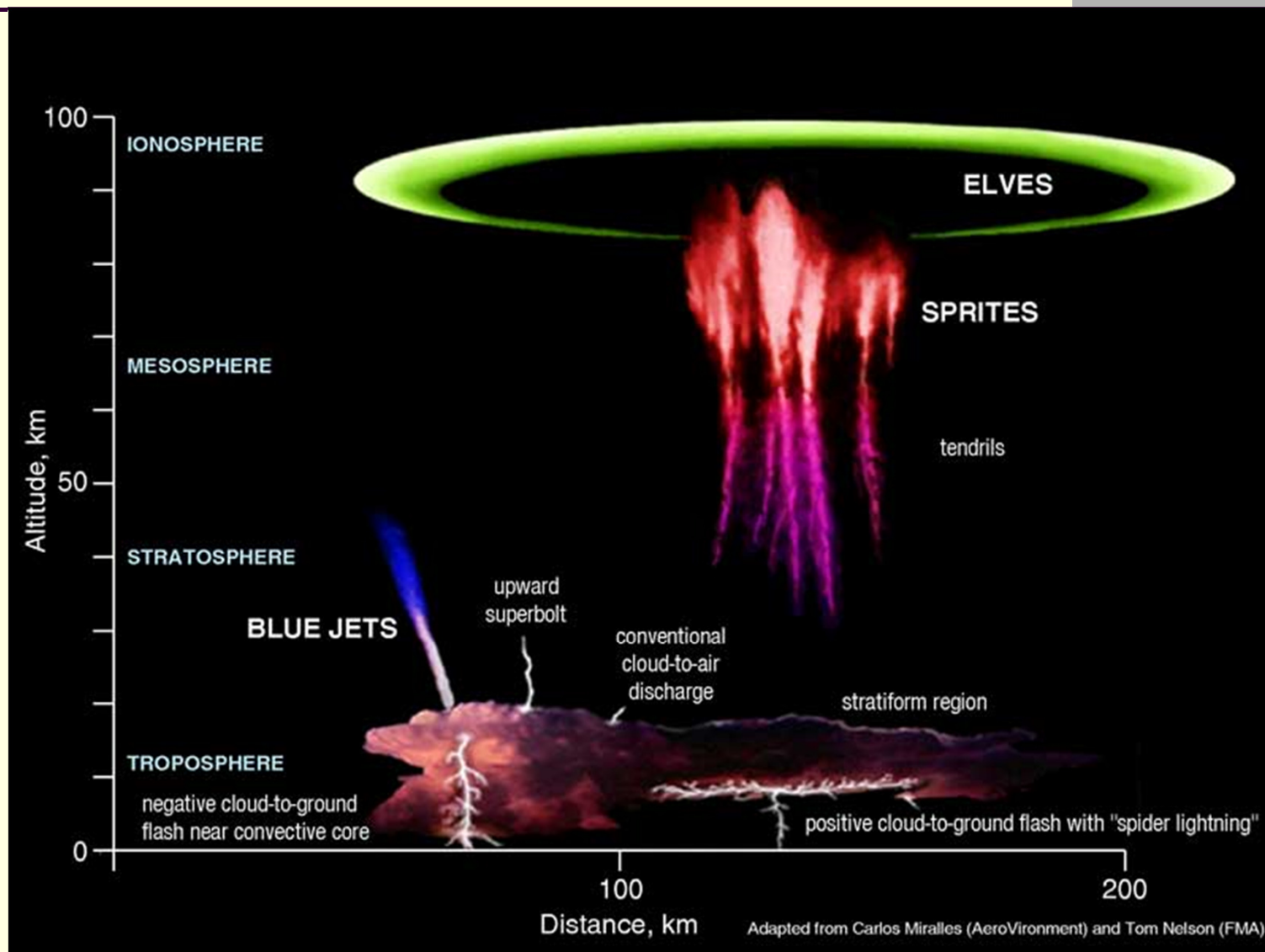
'ST. ELMO'S FIRE' ON MASTS OF SHIP AT SEA.

Wyładowanie elektryczne

chmura burzowa:
cumulonimbus



Wyładowanie elektryczne



ROCZNIKI
TOWARZYSTWA
WARSZAWSKIEGO.

TOM TRZECI.

W WARSZAWIE 1804.

w Drukarni Xięży Piarów.

3. *Rozprawa o niektórych szczegółach, wymagających pilniejszey baczości, przy zakładaniu konduktorów na budowlach mieszkalnych, przez Karola Kortuma.* 46

Potencjał pola rozkładów ładunku

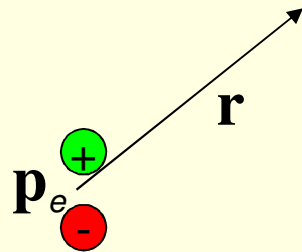
Gdy źródłem pola jest jednorodnie naładowana prosta

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

Gdy źródłem pola jest jednorodnie naładowana płaszczyzna

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

Dipol jako źródło pola elektrycznego

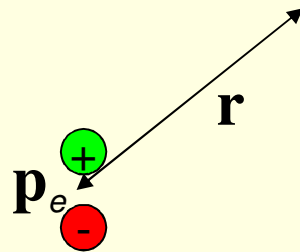


Potencjał dipola $\Phi_d(\mathbf{r}) = \lim_{q \rightarrow \infty} \left(\Phi_q \left(\mathbf{r} - \frac{\mathbf{p}}{q} \right) + \Phi_{-q}(\mathbf{r}) \right)$

czyli
$$\Phi_d(\mathbf{r}) = -\frac{\mathbf{p}}{q} \cdot \nabla \Phi_q(\mathbf{r}) = -\mathbf{p} \cdot \nabla \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{p} \cdot \mathbf{r}$$

A więc maleje z odległością szybciej niż potencjał ładunku punktowego!

Dipol jako źródło pola elektrycznego



Natężenie pola

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = -\nabla \Phi_d(\mathbf{r}) = -\nabla \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{p} \cdot \mathbf{r} \right)$$

rachunek

$$\nabla(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r})_i = \frac{\partial}{\partial r_i} \sum_j p_j r_j = \sum_j p_j \delta_{ij} = p_i \quad \text{a więc} \quad \nabla(\mathbf{p} \cdot \mathbf{r}) = \mathbf{p}$$

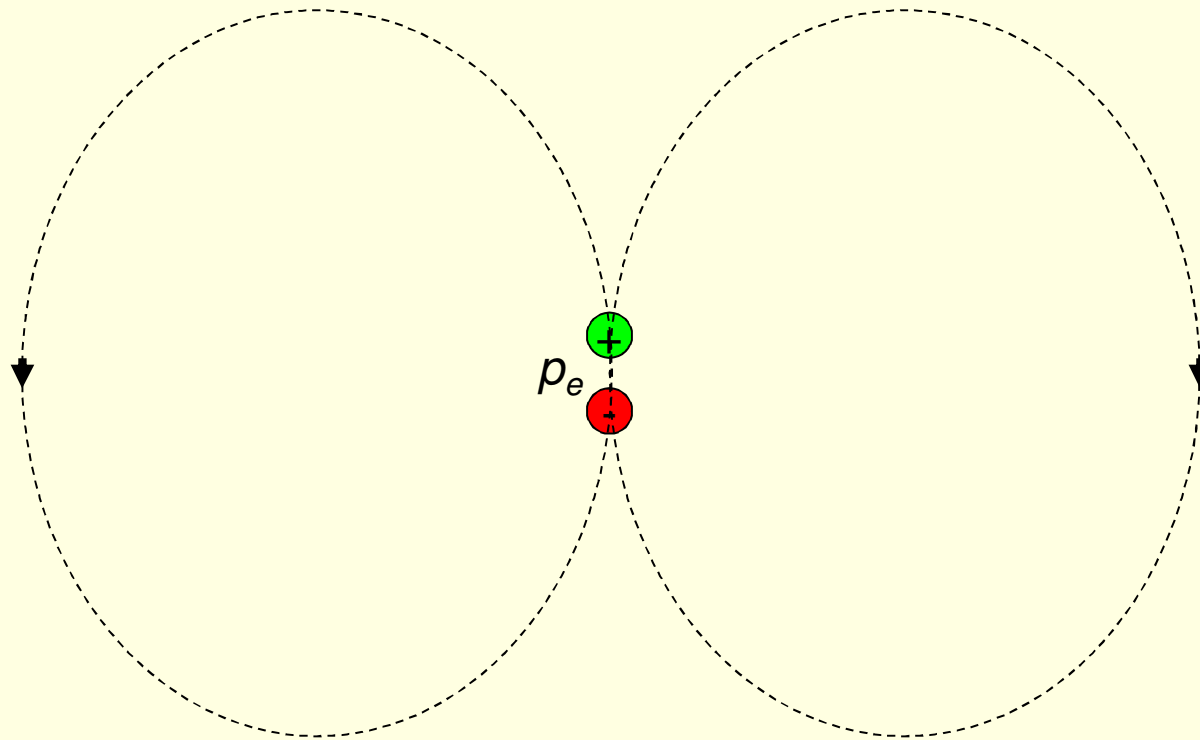
ostatecznie

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{3}{4\pi\epsilon_0 r^5} (\mathbf{p} \cdot \mathbf{r}) \mathbf{r} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{p}$$

maleje z odległością szybciej niż natężenie pola ładunku punktowego

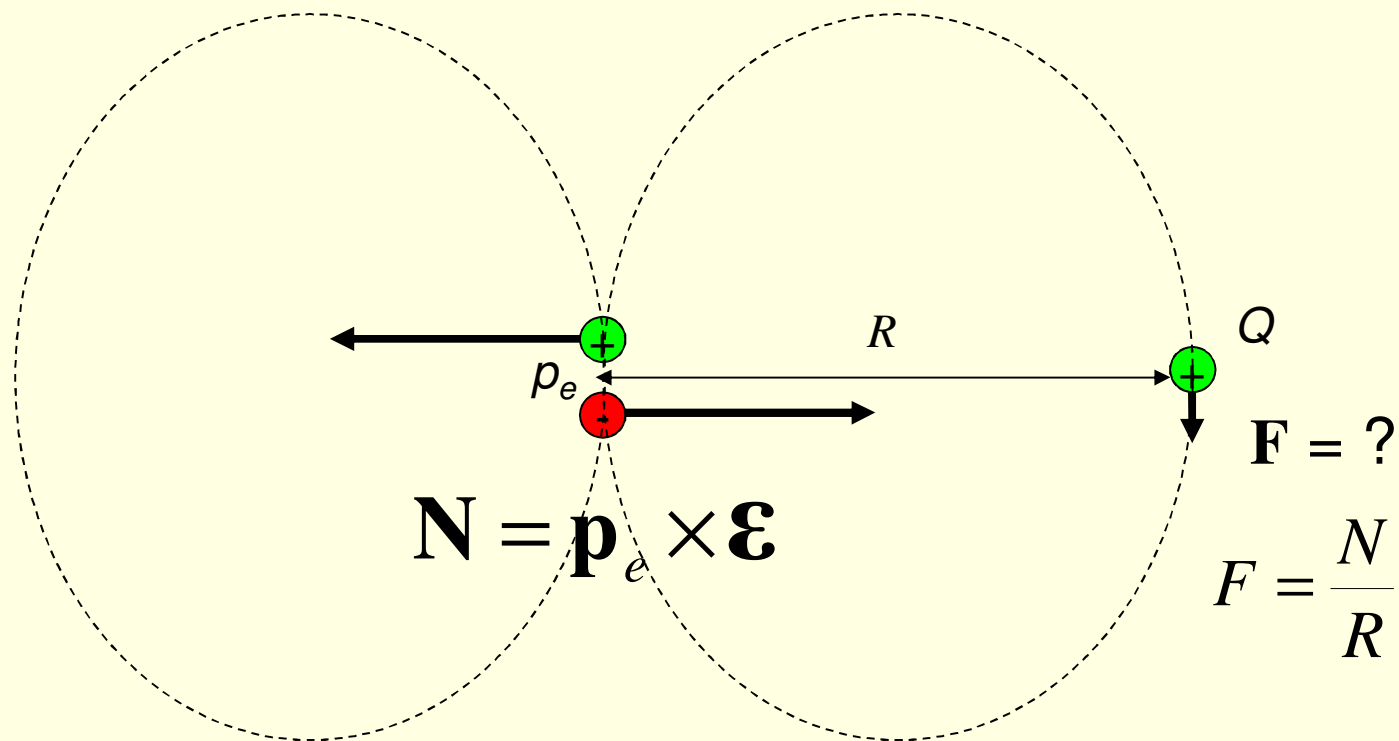
Dipol jako źródło pola elektrycznego

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{3}{4\pi\epsilon_0 r^5} (\mathbf{p} \cdot \mathbf{r}) \mathbf{r} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{p}$$



Dipol jako źródło pola elektrycznego

sposób: III zasada dynamiki



$$-\mathbf{F} = Q\boldsymbol{\mathcal{E}}(0) + \mathbf{p}_e \cdot \nabla \boldsymbol{\mathcal{E}}(\mathbf{r})|_{\mathbf{r}=0} + \dots$$

Potencjał elektrostatyczny

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

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

Napięcie = różnica potencjałów

$$U_{AB} = \Phi_A - \Phi_B = \int_A^B \boldsymbol{\mathcal{E}} \cdot d\mathbf{l}$$

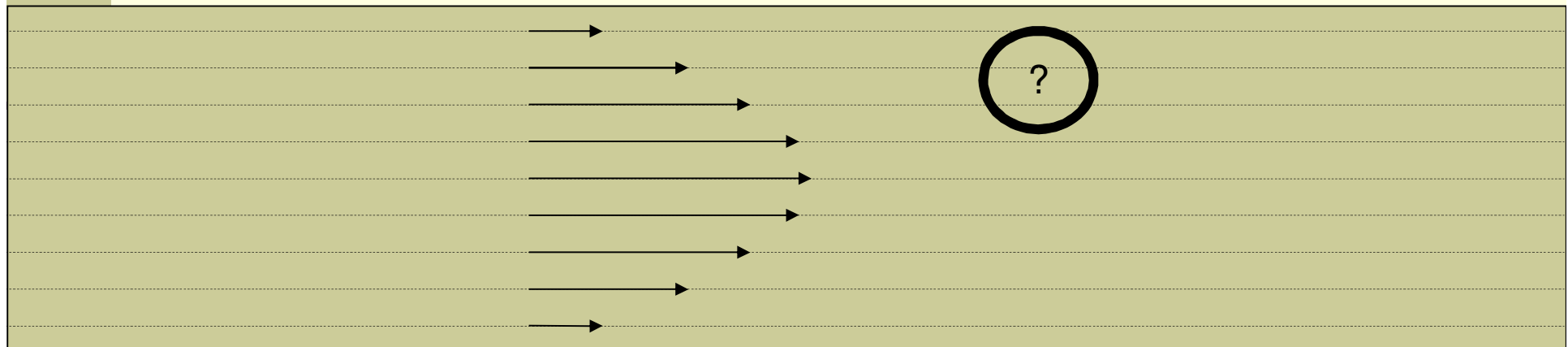
Pole potencjalne:

Praca ładunku w polu nie zależy od drogi

Krążenie (rotacja) pola prędkości przepływu



Czy wianki będą wirować?

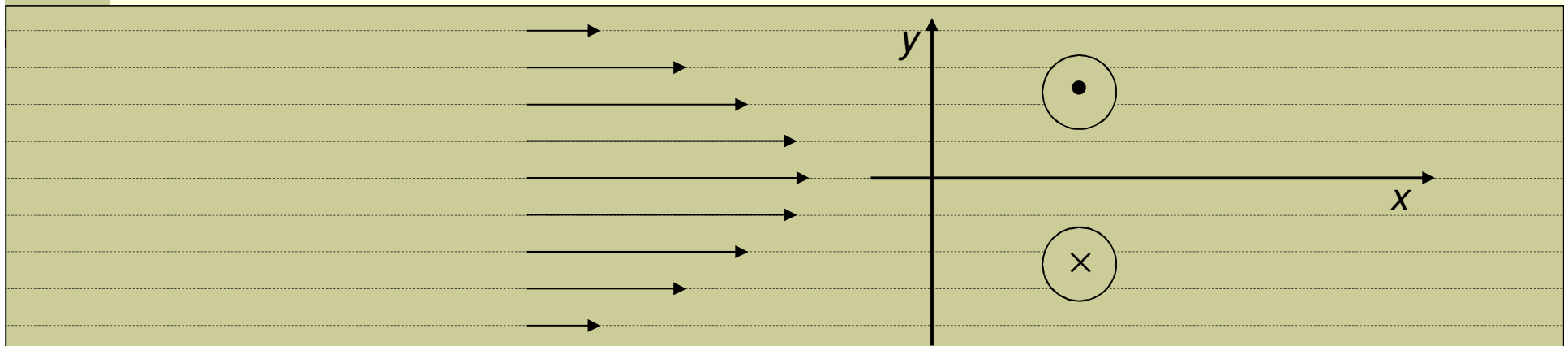


Przepływ wody w rzece

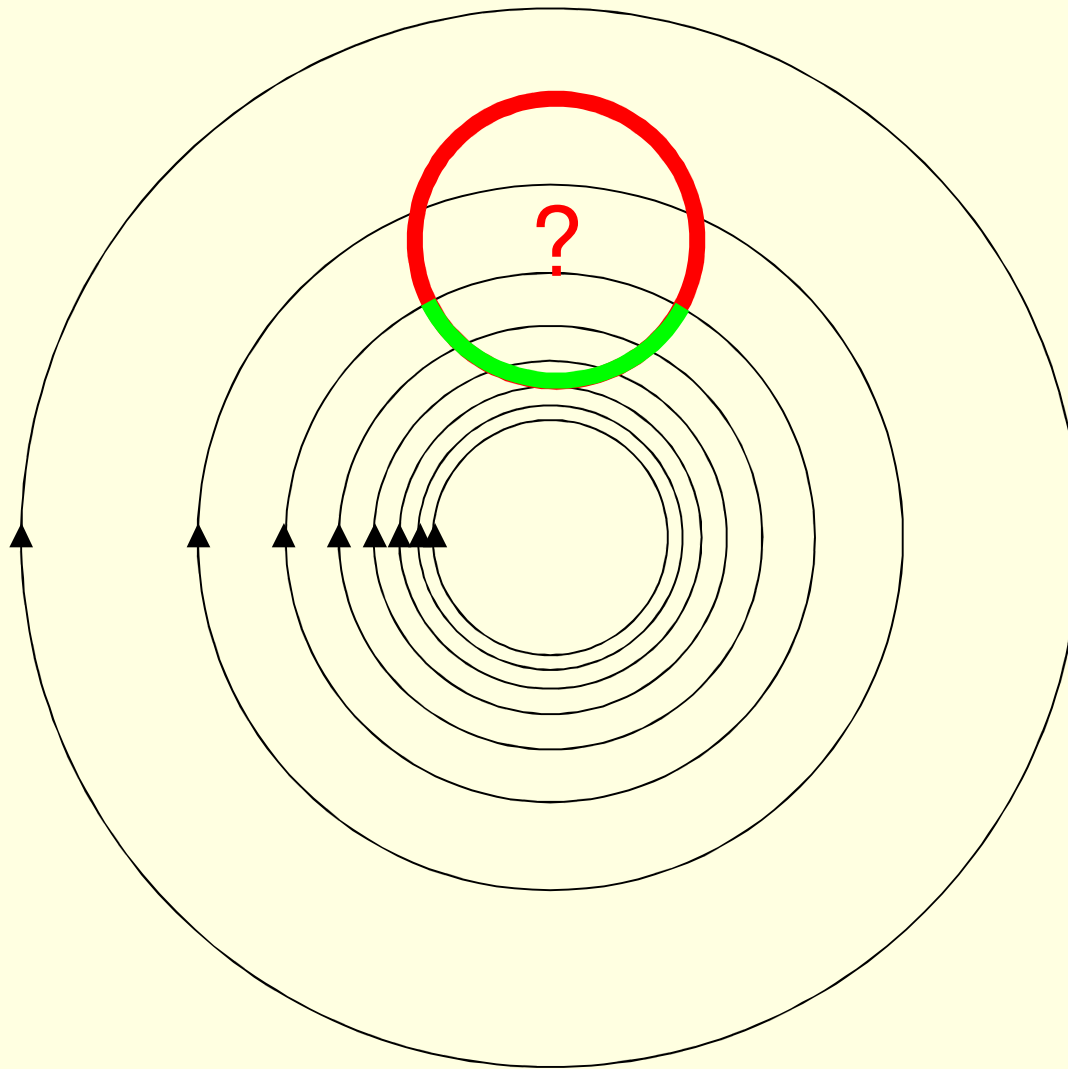
$$\mathbf{v}(x, y, z) = a\left(\left(d/2\right)^2 - y^2, 0, 0\right)$$

Jakie założenie?

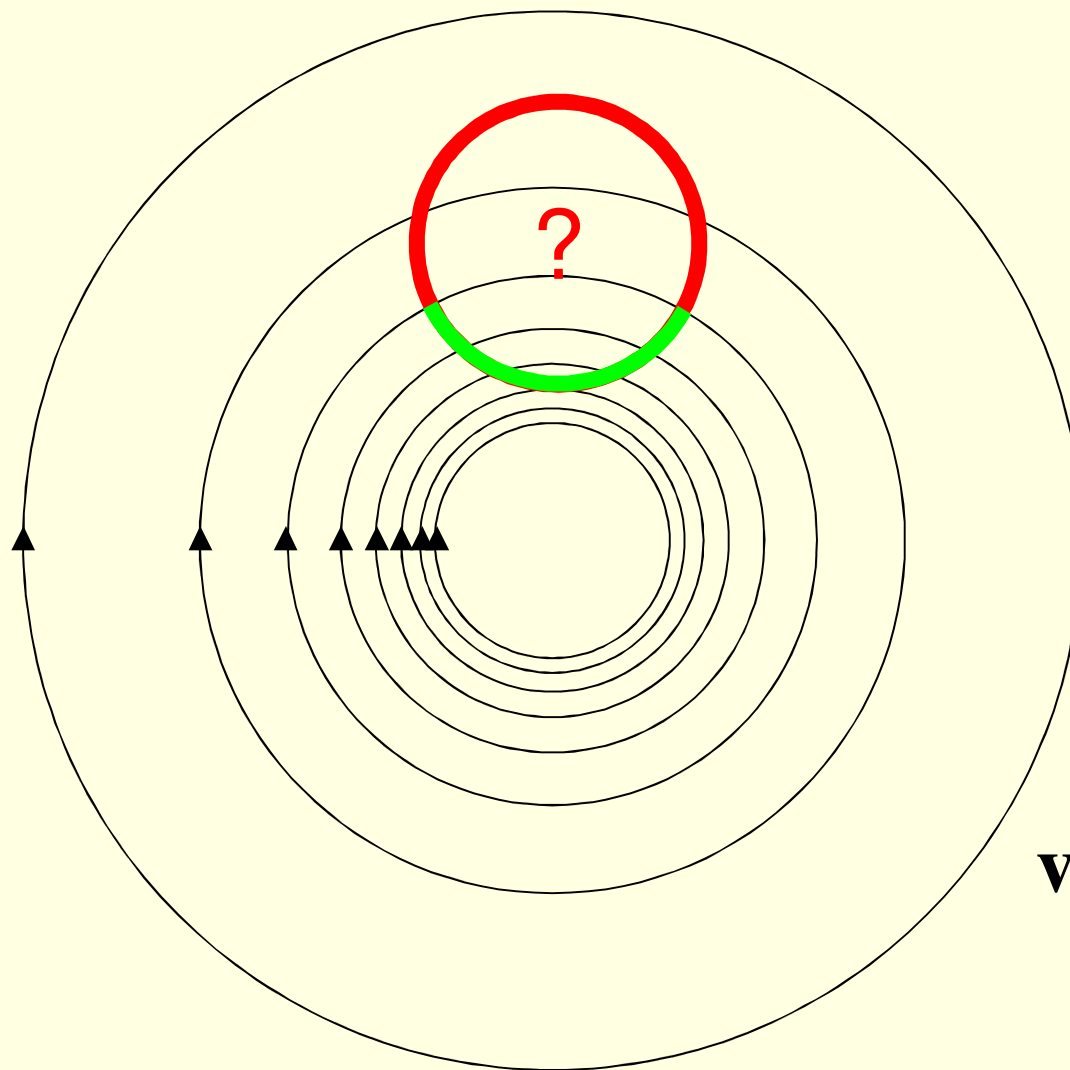
$$\nabla \times \mathbf{v} = a \begin{vmatrix} \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ (d/2)^2 - y^2 & 0 & 0 \\ \mathbf{e}_x & \mathbf{e}_y & \mathbf{e}_z \end{vmatrix} = a(0, 0, 2y)$$



Test intuicji: rotacja?



Test intuicji: rotacja?



$\odot$
 ω

$$\mathbf{v} = \frac{f(\rho)}{\rho} \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\rho}$$

Wpływ promienia wiązki

$$K_{v,k} = 2\pi R \bar{v}_t = 2\pi R^2 \omega$$

$$\nabla \times \mathbf{v} = 2\omega$$