

Plazma I & II

Petr Kulhánek

České vysoké učení technické v Praze
Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy
Aldebaran Group for Astrophysics

kulhanek@aldebaran.cz

www.aldebaran.cz

28. června 2013



PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

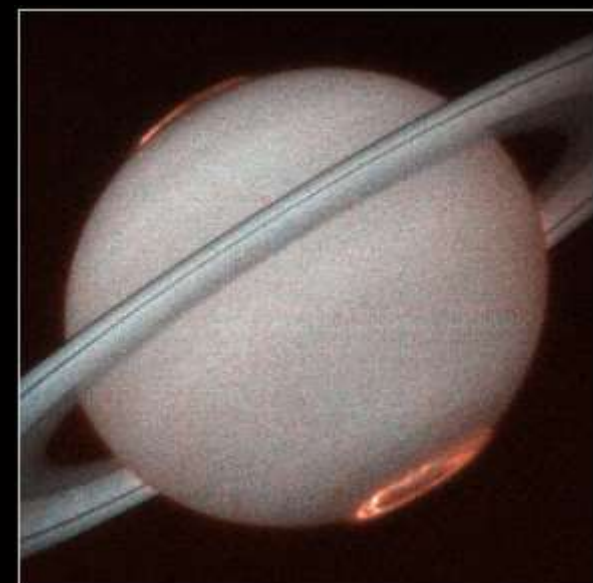


FOND MIKROPROJEKTŮ

Blesky



Rick Scott



Saturn Aurora HST • STIS
 PRC98-05 • ST Sci OPO • January 7, 1998 • J. Trauger (JPL) and NASA

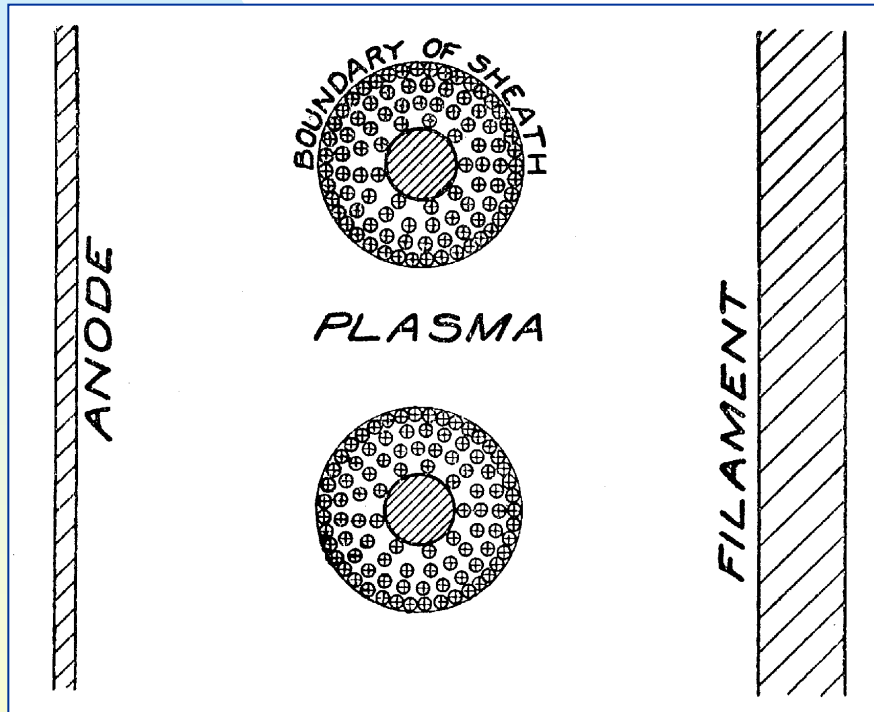
Polární záře



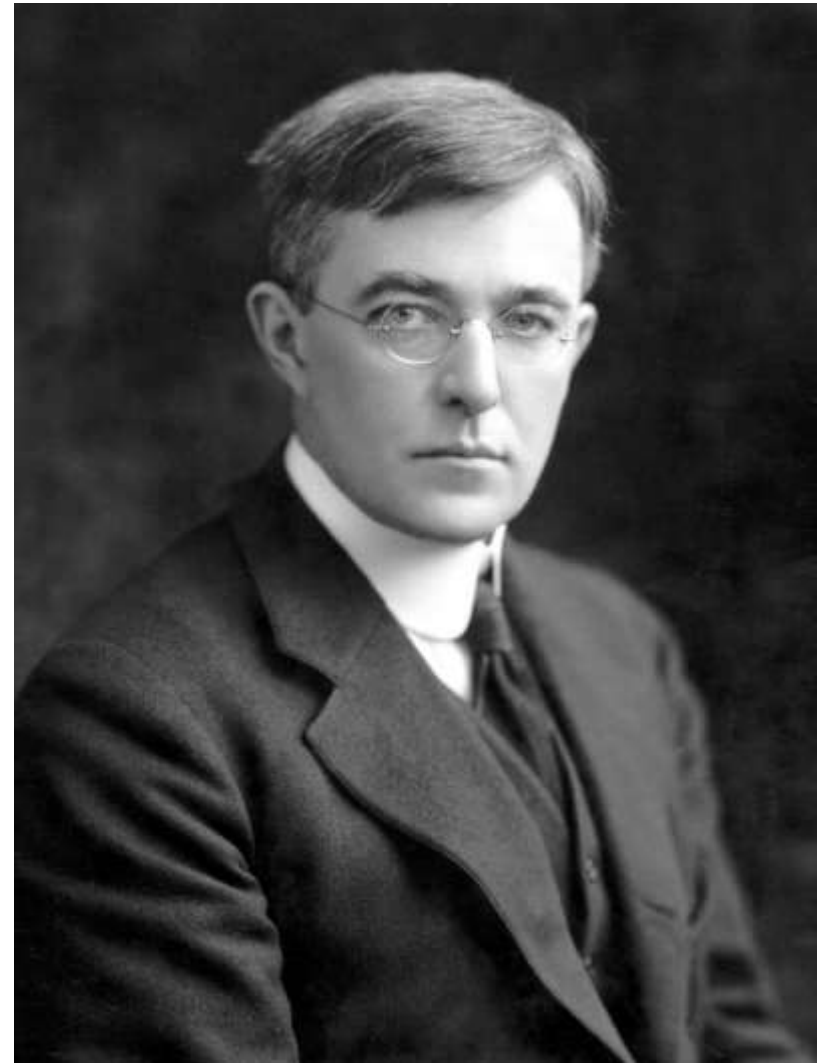


Plazma

- ionizované
- kvazineutrální
- kolektivní chování



Irwing Langmuir: *Oscillations in Ionized Gases*; věstník Proceedings of the National Academy of Sciences 14 (1928) 627



Irwing Langmuir (1881–1957)
NC 1932

Skalární a vektorový součin

- skalár
- vektor
- skalární součin
- vektorový součin

$$\mathbf{V} = (V_x, V_y, V_z) = (V_1, V_2, V_3)$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = A_1 B_1 + A_2 B_2 + A_3 B_3$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = (A_2 B_3 - A_3 B_2, A_3 B_1 - A_1 B_3, A_1 B_2 - A_2 B_1)$$

Elektrický a magnetický dipól

$$\mathbf{p}_e = \sum_a Q_a \mathbf{r}_a;$$

$$\mathbf{p}_m = \sum_a \frac{1}{2} Q_a (\mathbf{r}_a \times \mathbf{v}_a);$$

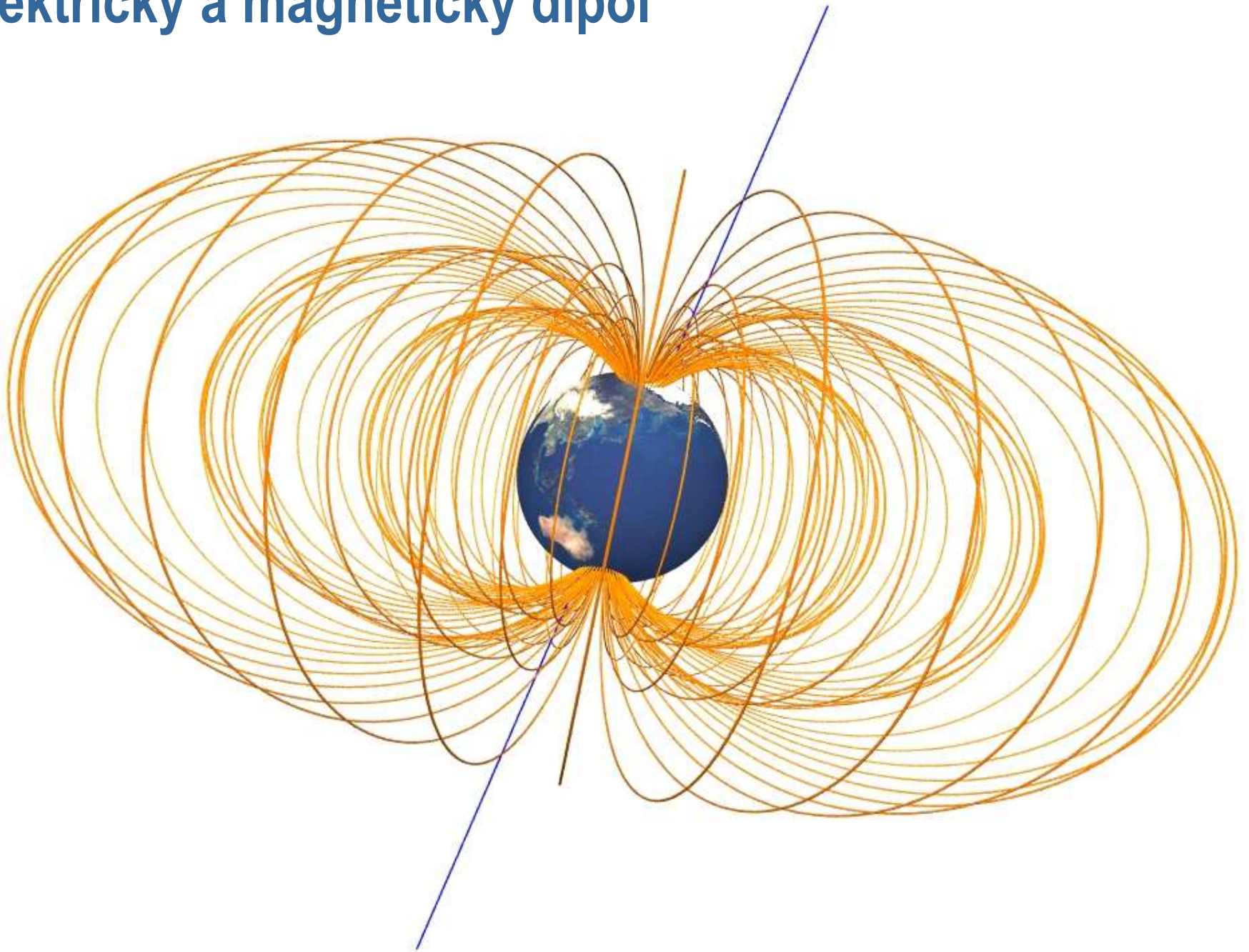
$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$$

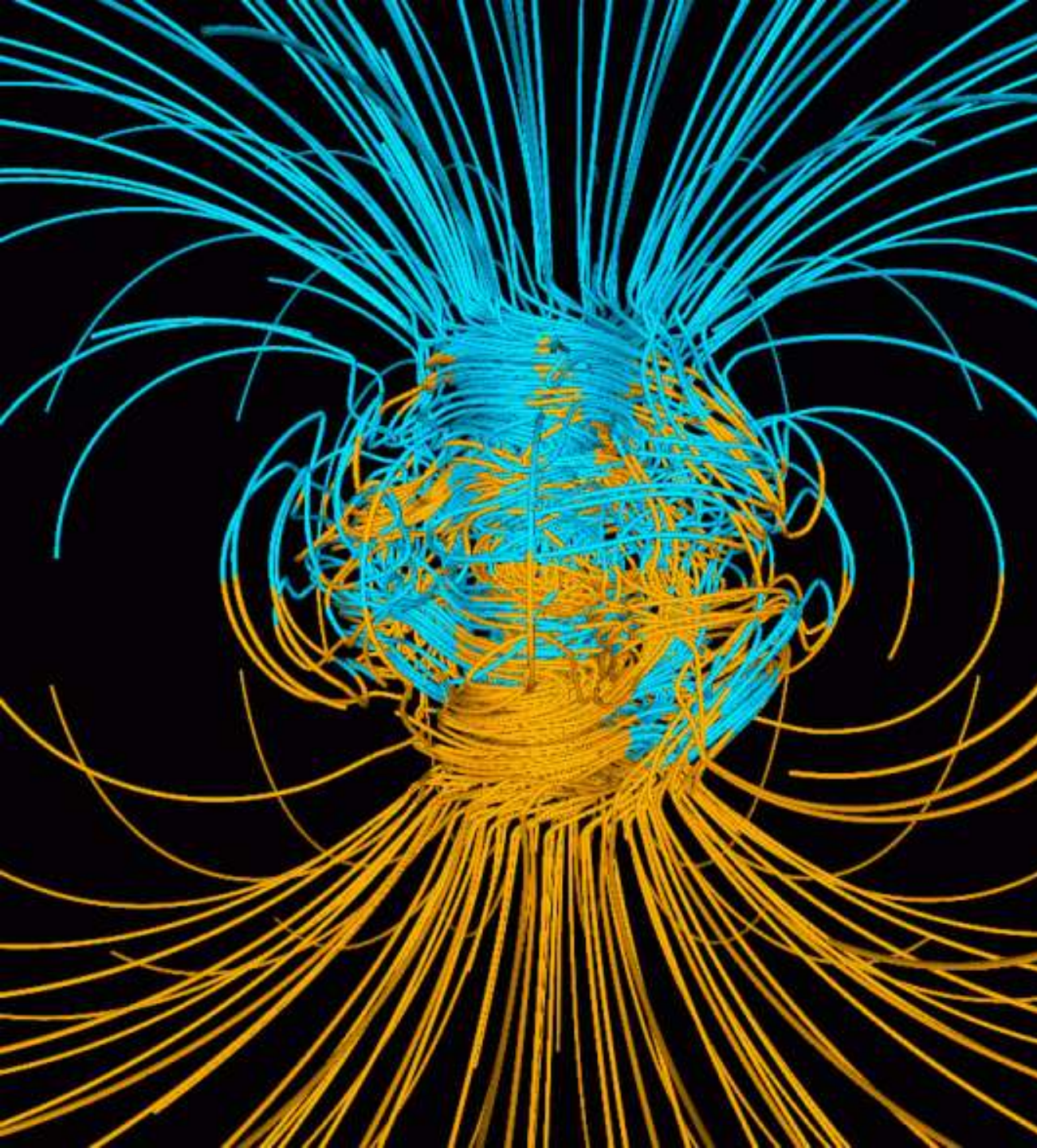
$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$$

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{p}_e}{V}$$

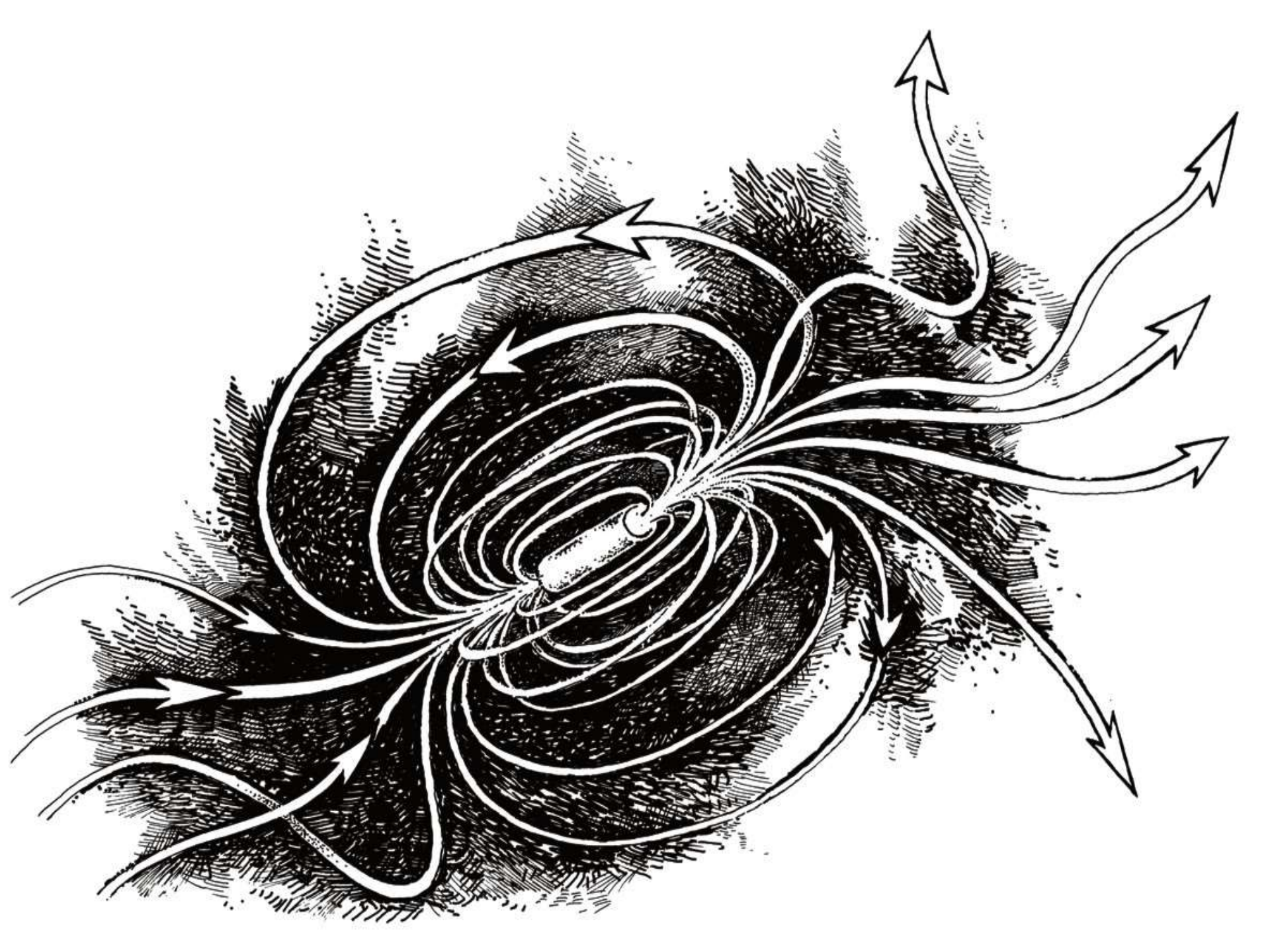
$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{p}_m}{V}$$

Elektrický a magnetický dipól





Zemské dynamo:
Počítačová simulace
tekutinového dynama
uvnitř Země. Barvou
jsou odlišeny
vstupující a
vystupující
silokřivky. San
Diego
Supercomputer
Centrum, 1999. Gary
Glatzmaier, Paul
Roberts



Elektrický a magnetický tlak

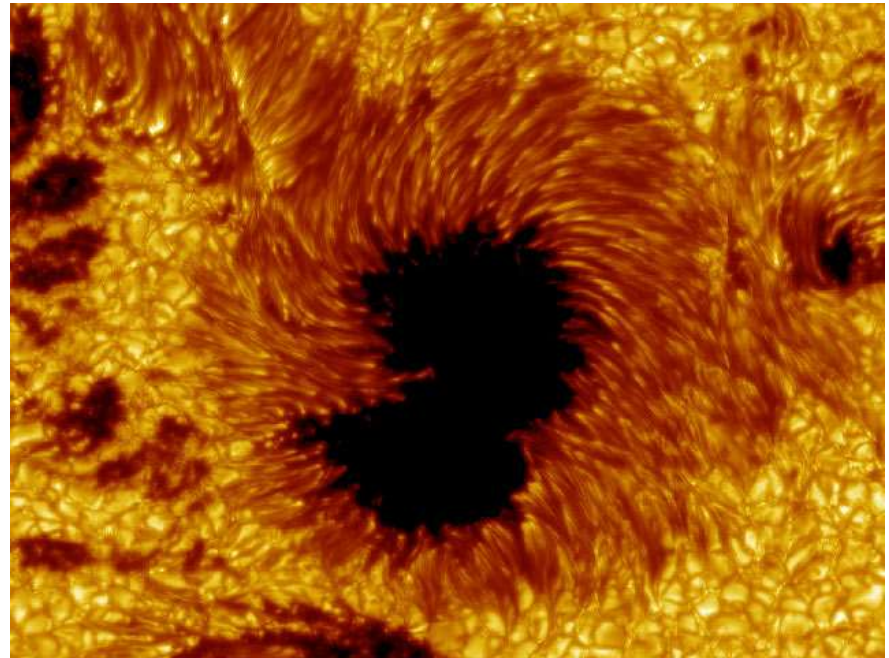
$$p = w$$

$$p_h = h\rho g$$

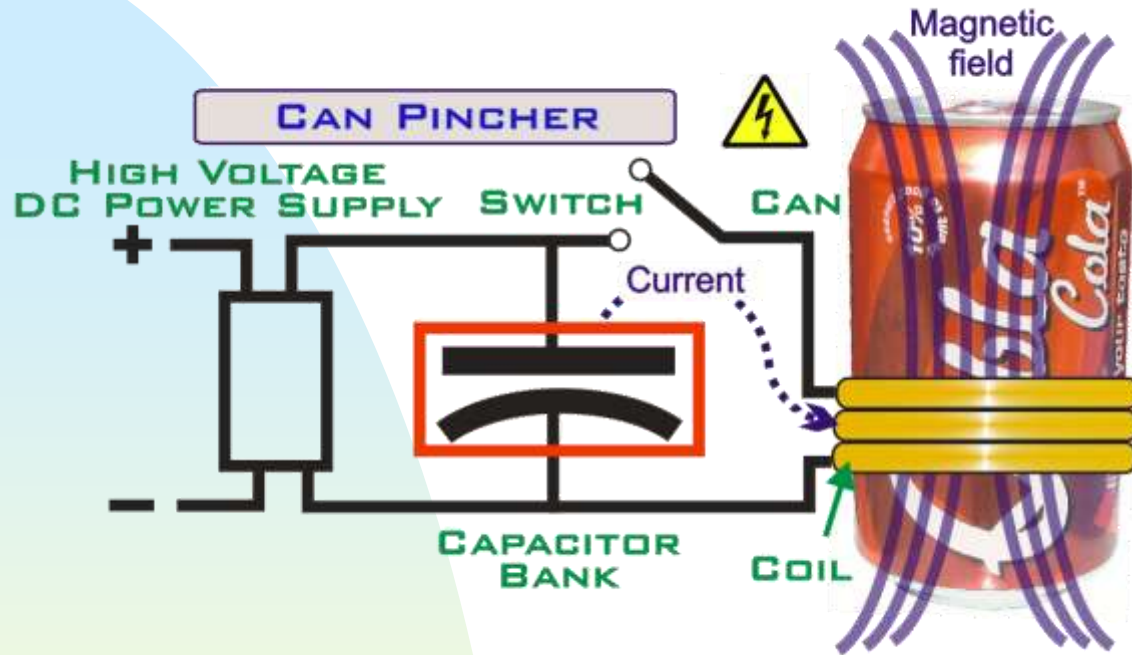
$$p_e = \frac{1}{2} \mathbf{E} \cdot \mathbf{D}$$

$$p_m = \frac{1}{2} \mathbf{H} \cdot \mathbf{B}$$

$$p_p = nkT ; \quad k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$



Také magnetický tlak



Bert Hickman, Stoneridge Engineering, 3 kJ, 900 V



Raná historie

- **1790 - Martin van Marun:** 100 Leydenských lahví, exploze drátku
- **1905 - J. A. Pollock, S. Barraclough:** dutý hromosvod
- **1934 - W. H. Bennett:** rovnovážné řešení
- **1946 - G. Thomson, M. Blackman:** patent na fúzní elektrárnu
- **1946 - G. Thomson, P. Thonemann:** experimenty s toroidy
- **1954 - M. D. Kruskal, M. Schwarzschild:** teorie nestabilit
- **1957 - R. S. Pease, S. Braginski:** zářivý kolaps
- **1957 - ZETA** (Al torus \varnothing 3 m, 900 000 A), AERE, Harwell
- **1958 - SCYLLA** (Los Alamos), 1. skutečně fúzní neutrony



Výzkum blesků



James Arthur Pollock
(1865–1922)

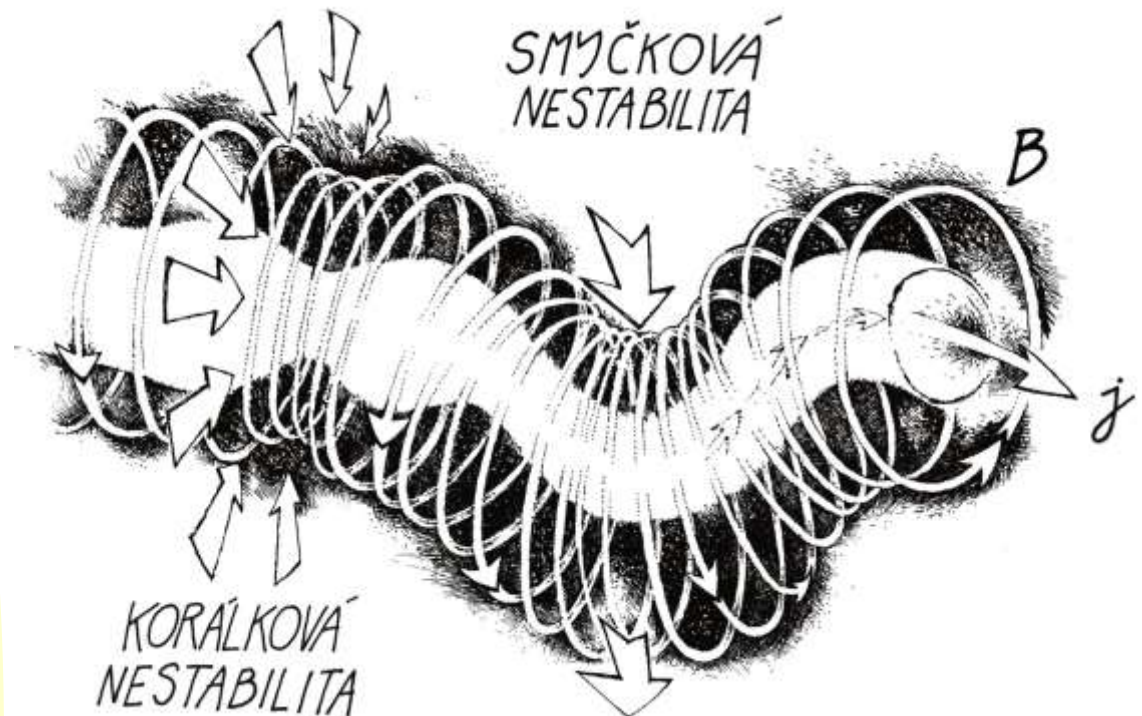
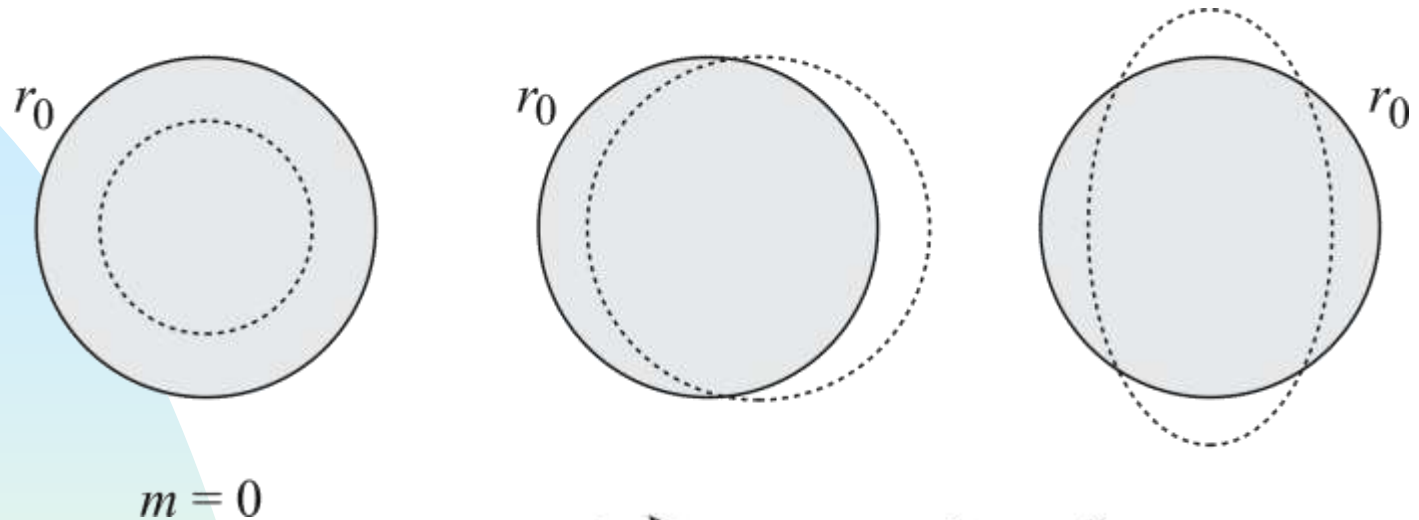


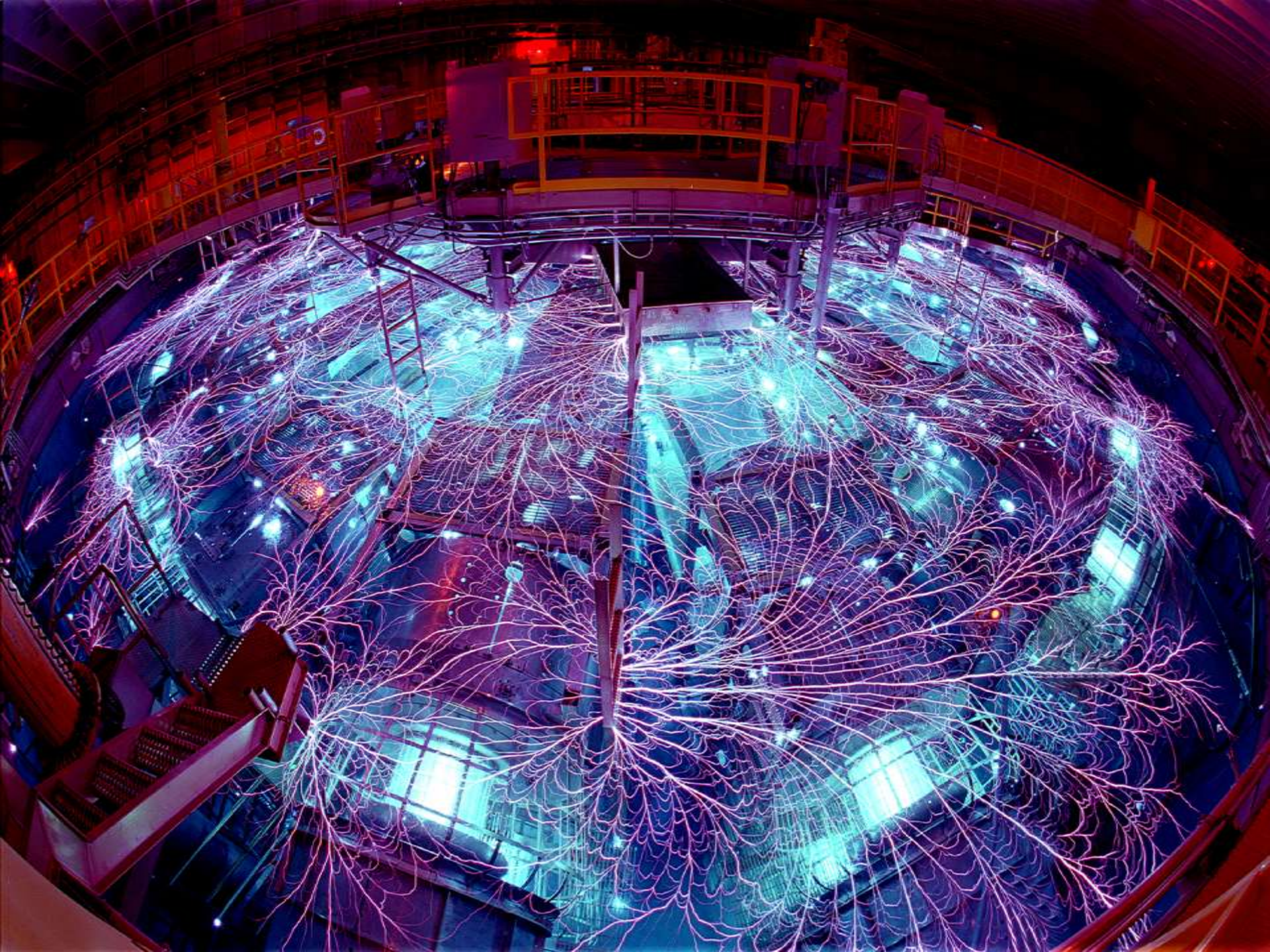
Samuel Henry Egerton Barraclough
(1871–1958)



1905
Univerzita v Sydney

Nestability vlákna





Pohyby nabitých částic

$$\mathbf{F} = Q\mathbf{E} + Q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

$$\omega_c = \frac{QB}{m}$$

$$R_L = \frac{mv}{QB}$$

$$\mathbf{v}_D = \frac{\mathbf{F} \times \mathbf{B}}{QB^2}$$

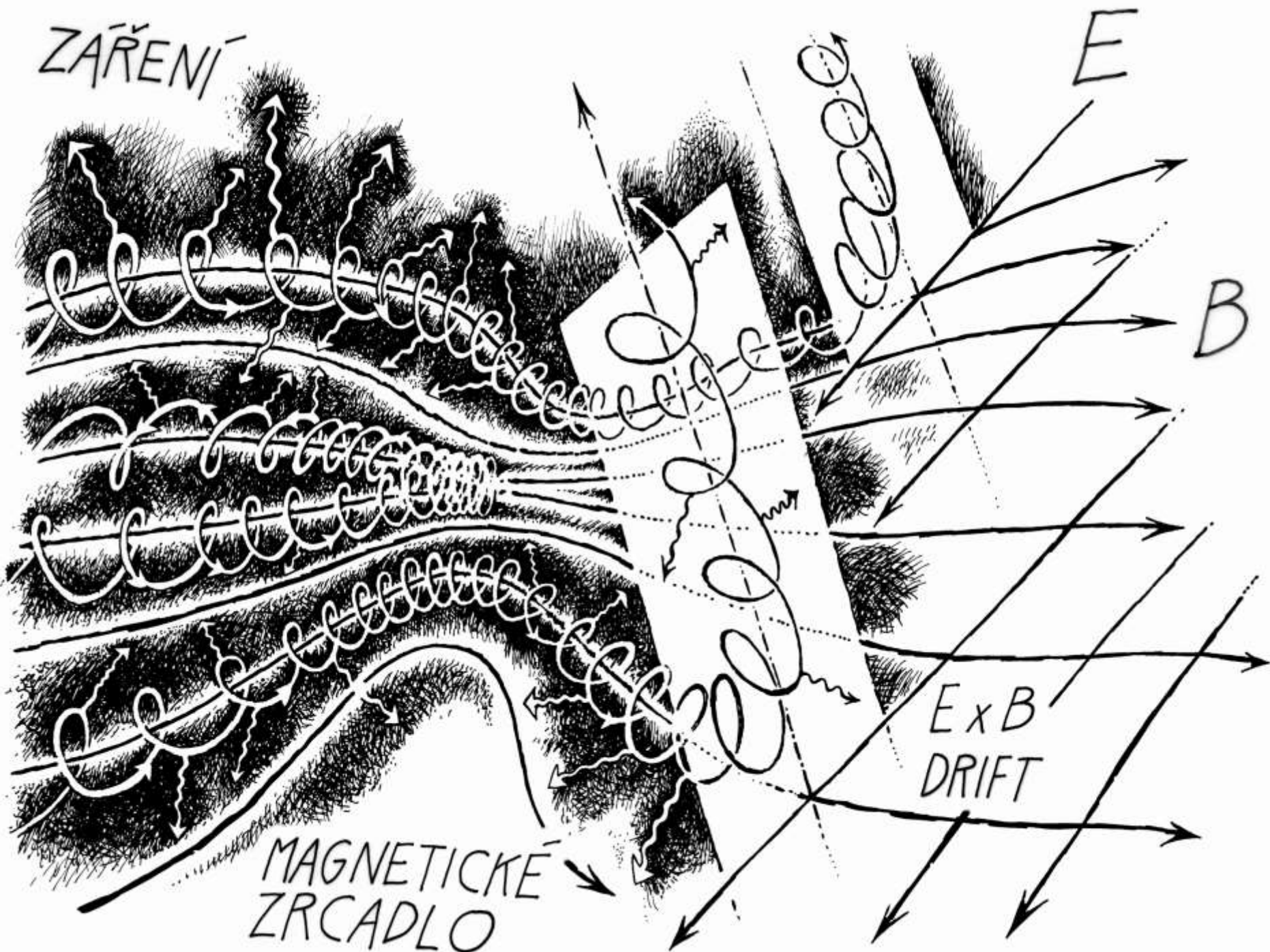
ZÁŘENÍ

E

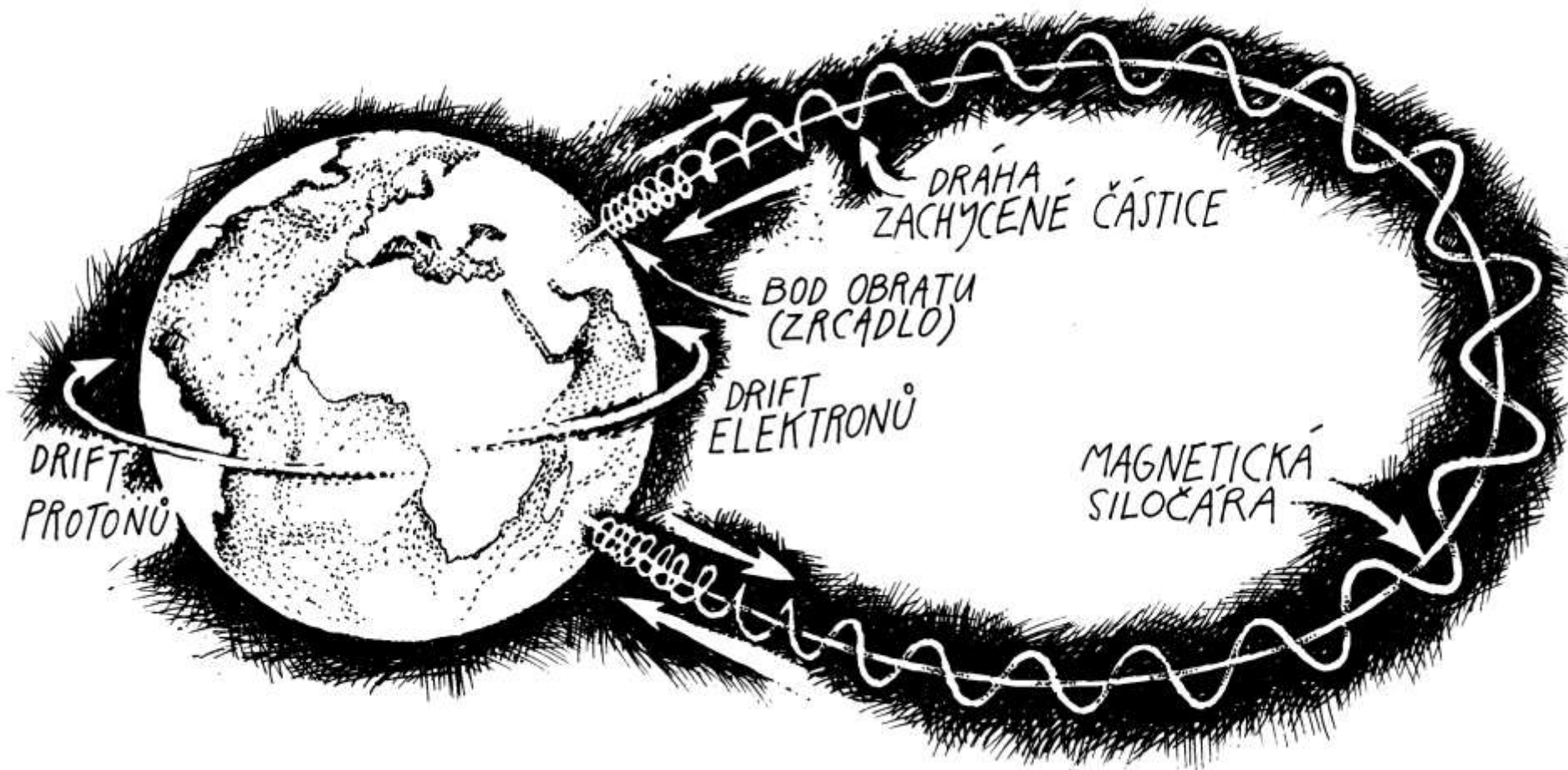
B

$E \times B$
DRIFT

MAGNETICKÉ
ZRCADLO



Pohyby nabitých částic



Magnetické zrcadlo, adiabatické invarianty

$$W = \text{const}$$

$$\mu = \text{const}$$



$$\frac{\sin^2 \alpha}{B} = \text{const}$$

Transportní děje

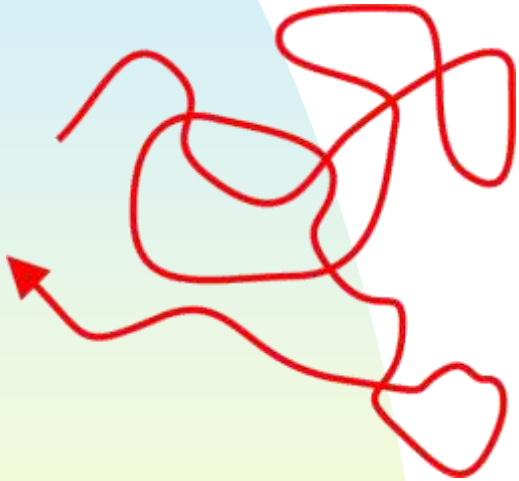
$$\mathbf{j}_Q = -\sigma \nabla \phi$$

$$\mathbf{j}_N = -D \nabla n$$

$$\mathbf{j}_W = -\lambda \nabla T$$

ambipolární difúze, pohybující se prostředí, kombinované děje...

Střední dráha, Debyeova délka



$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon k T}{n e^2}}$$