

Standardní model elementárních částic III



Petr Kulhánek (aldebaran.cz, kulhanek@aldebaran.cz)

České vysoké učení technické v Praze

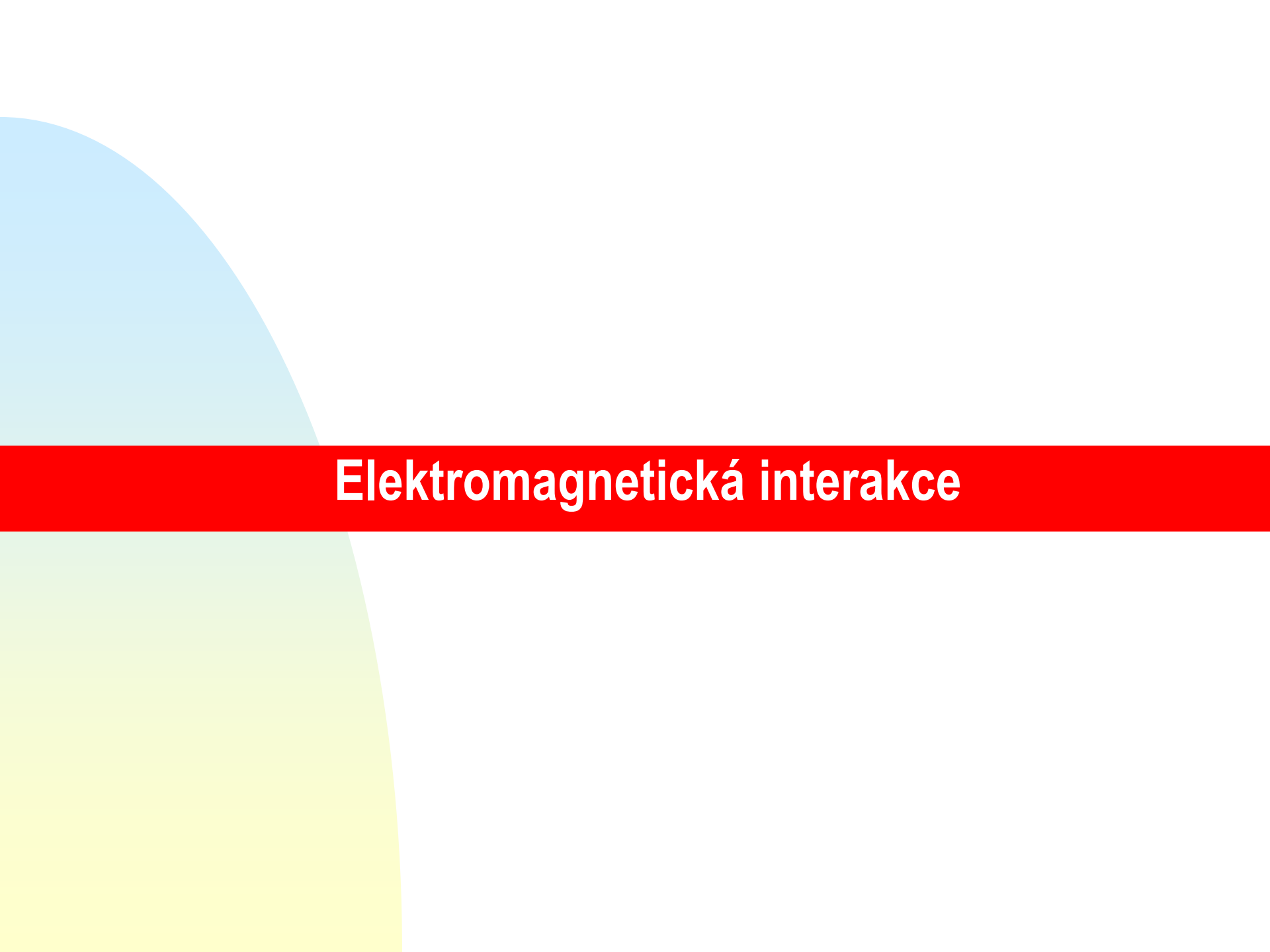
Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy

Aldebaran Group for Astrophysics

Akademie věd České republiky



planetum



Elektromagnetická interakce

ELEKTROMAGNETICKÁ INTERAKCE

Elektromagnetická interakce je zodpovědná za chování atomárních obalů a tím za chemické vlastnosti látek. Je nekonečného dosahu a jejími intermediálními částicemi jsou fotony. Působí jen na částice s elektrickým nábojem.



Blesky. Vlákňité struktury patří k nejtýpčtějším projevům elektromagnetické interakce. Foto K. Quinell, 2005.



Polární záře, nabité částice v magnetickém poli Země. Expedice AURORA, foto Jakub Rozehnal, 2002.



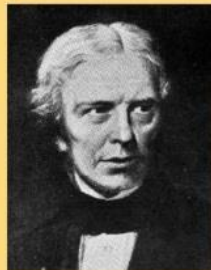
Protuberance na Slunci. Plasma tekoucí podél siločárek magnetického pole. TRACE, 2000.



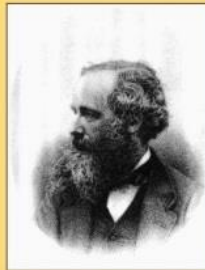
André M. Ampère
(1775-1836)



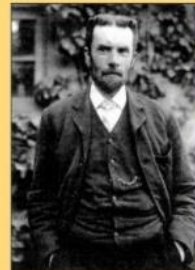
Hans Oersted
(1777-1851)



Michael Faraday
(1791-1867)



James C. Maxwell
(1831-1879)



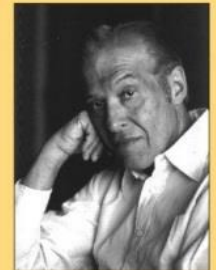
Oliver Heaviside
(1850-1925)



Shin-ichiro Tomonaga
(1906-1979)

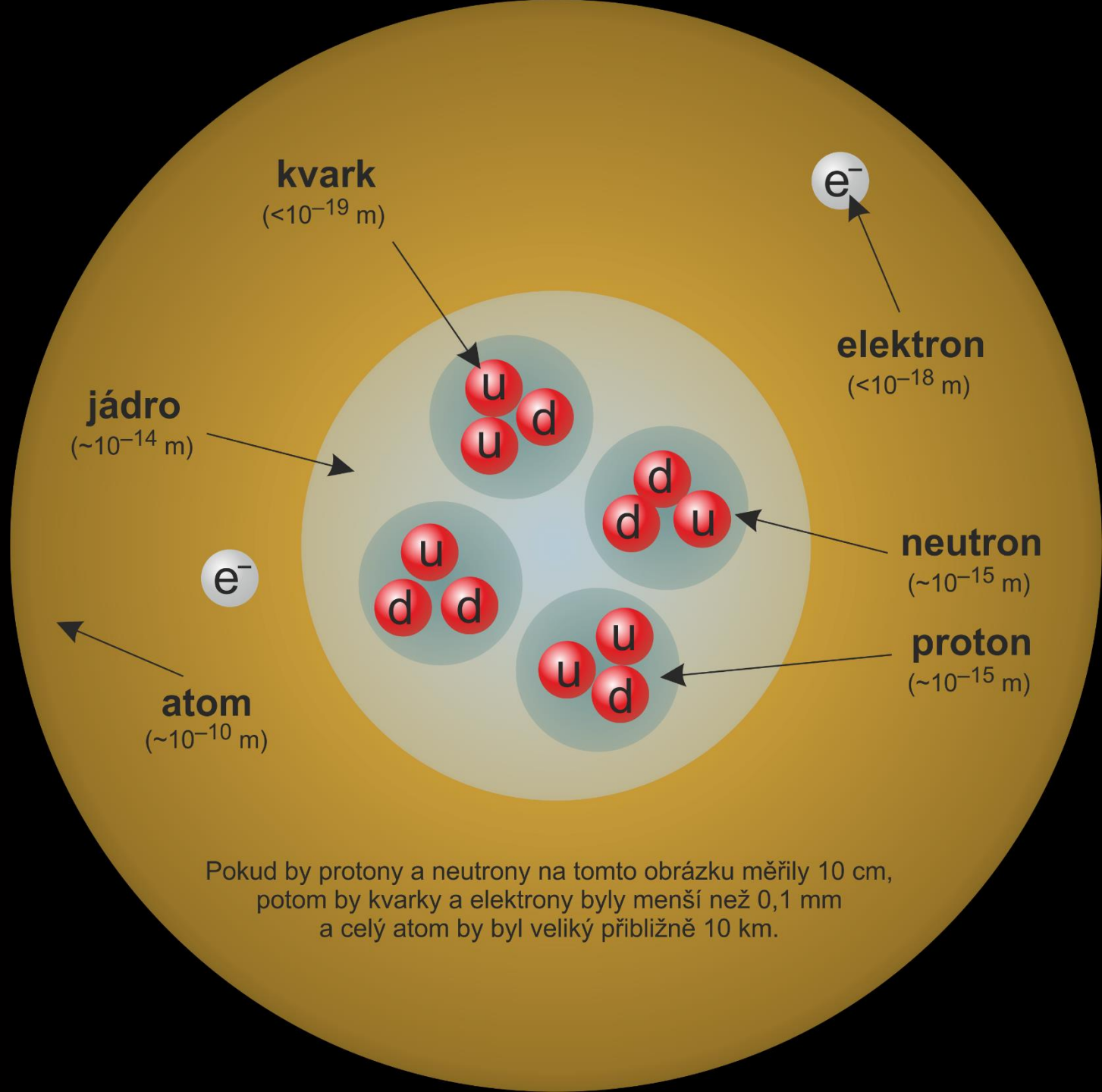


Richard P. Feynman
(1918-1988)



Julian Schwinger
(1918-1994)

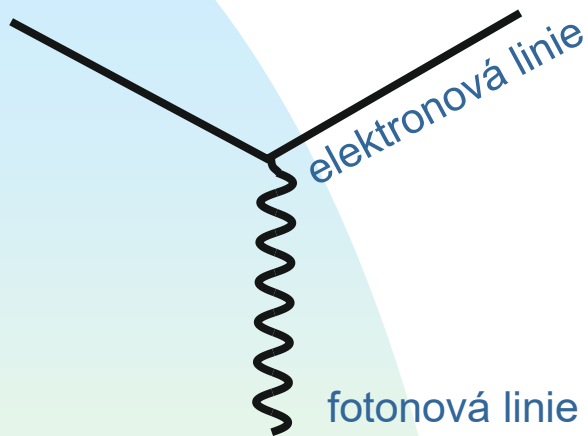
← EXPERIMENTY → ← TEORIE → ← KVANTOVÁ TEORIE →



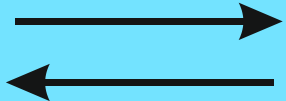
Pokud by protony a neutrony na tomto obrázku měřily 10 cm,
potom by kvarky a elektrony byly menší než 0,1 mm
a celý atom by byl veliký přibližně 10 km.

Elektromagnetická interakce

- jako dětské kostky
- otáčeje
- deformuje
- skládej je



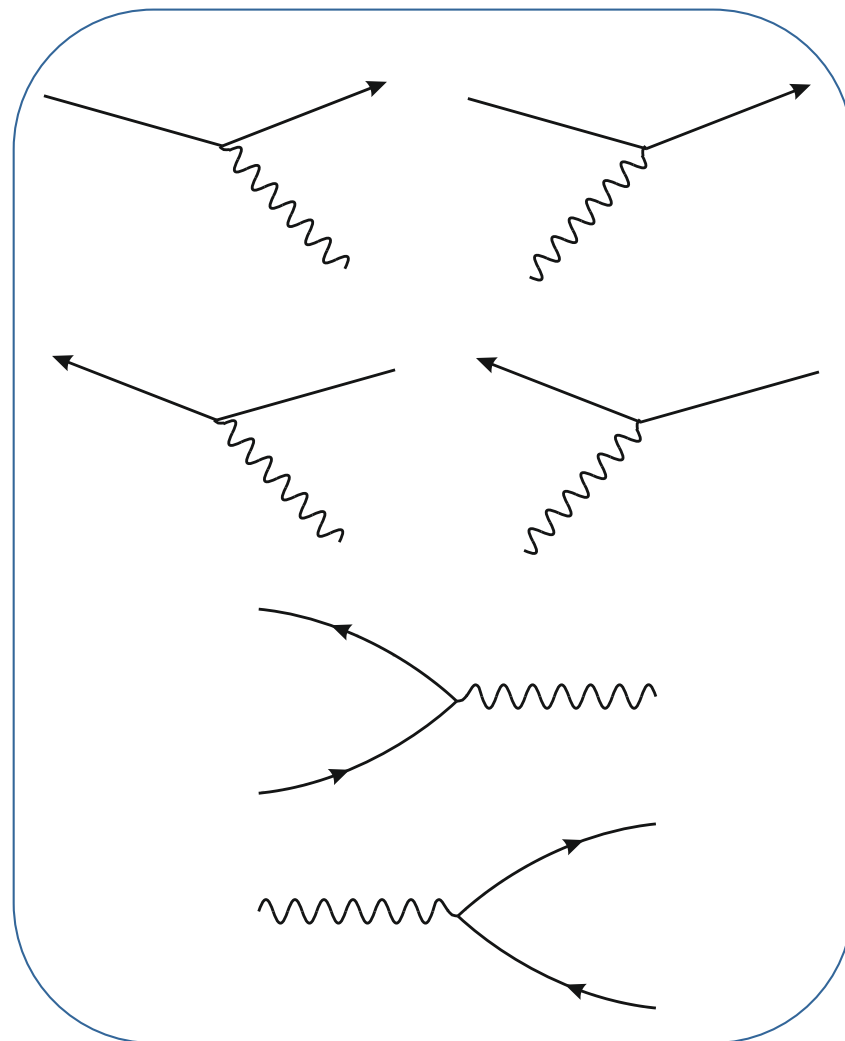
pohyb doprava



elektron
pozitron

?

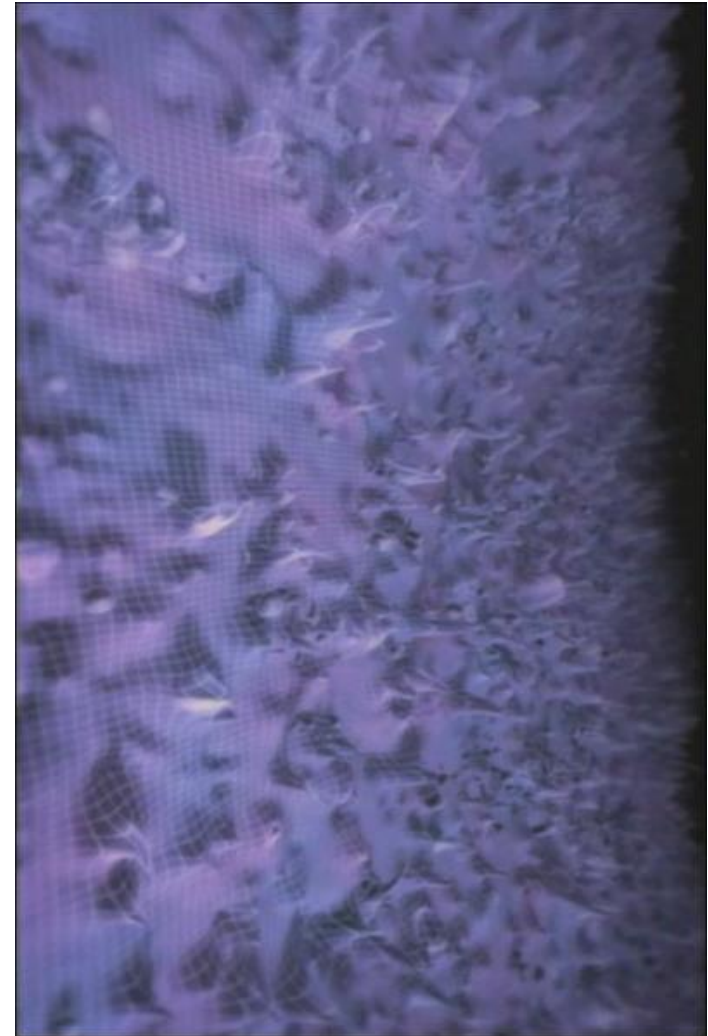
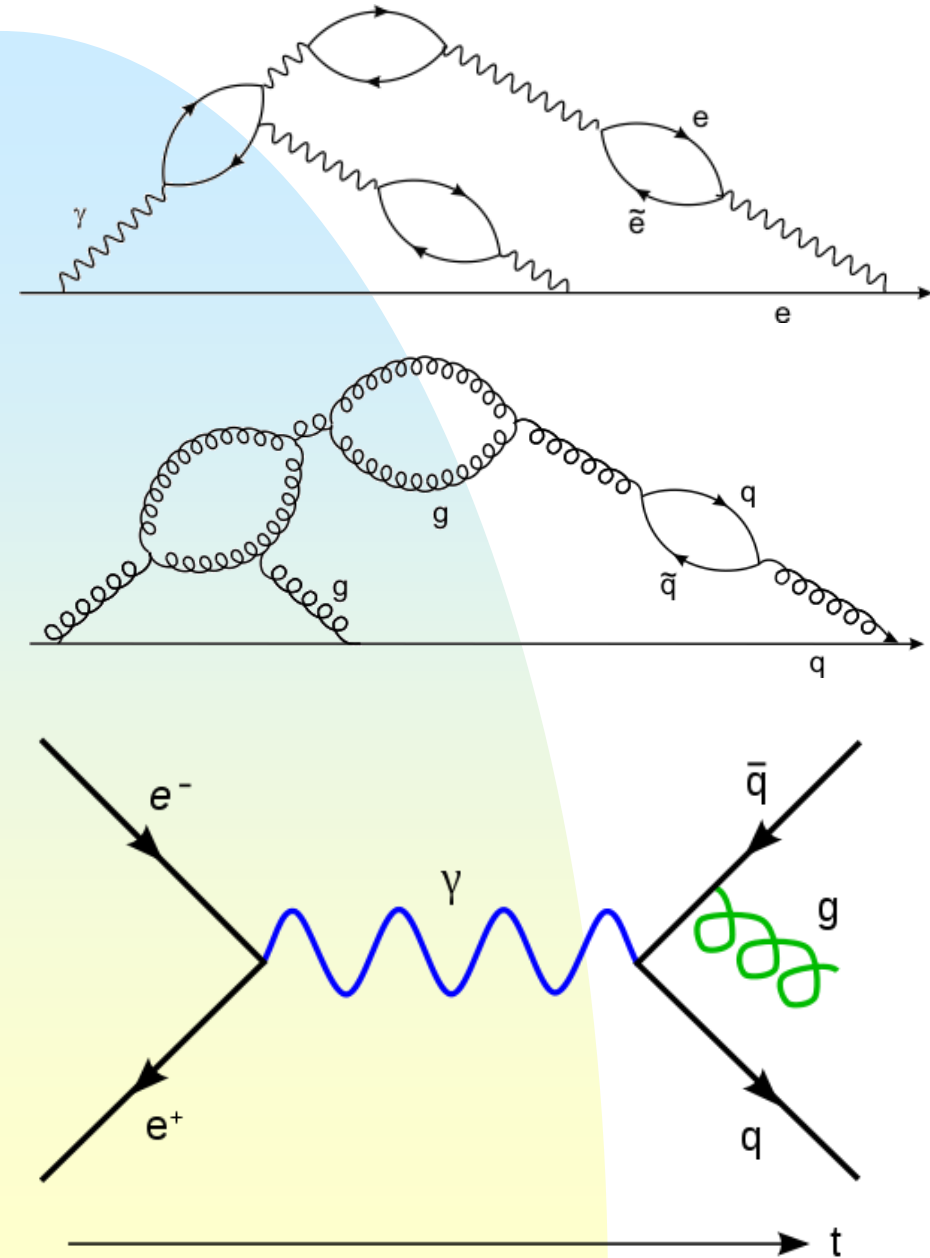
- výběrová
- 1 foton
- nekonečný dosah



první výsledky naší hry

Kvantové vakuum

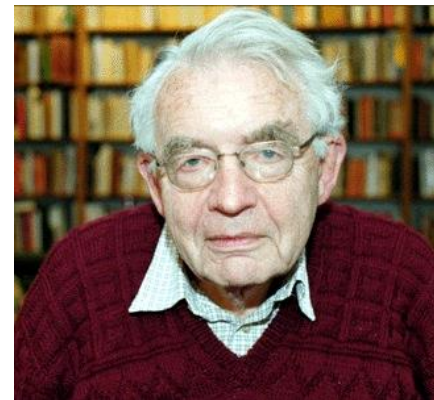
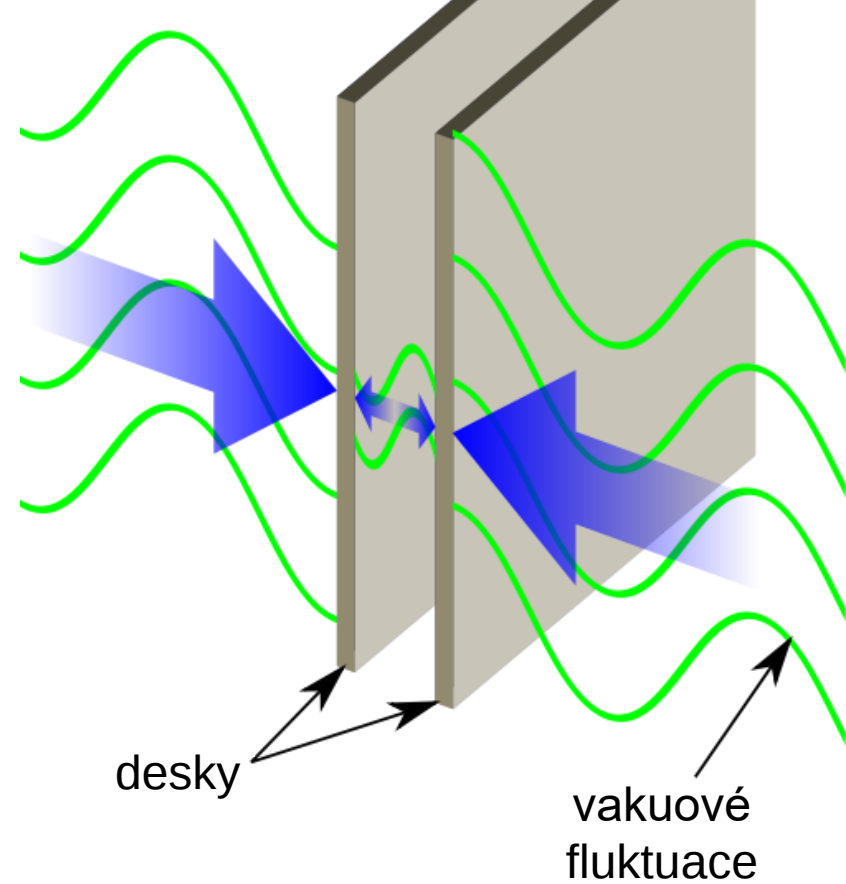
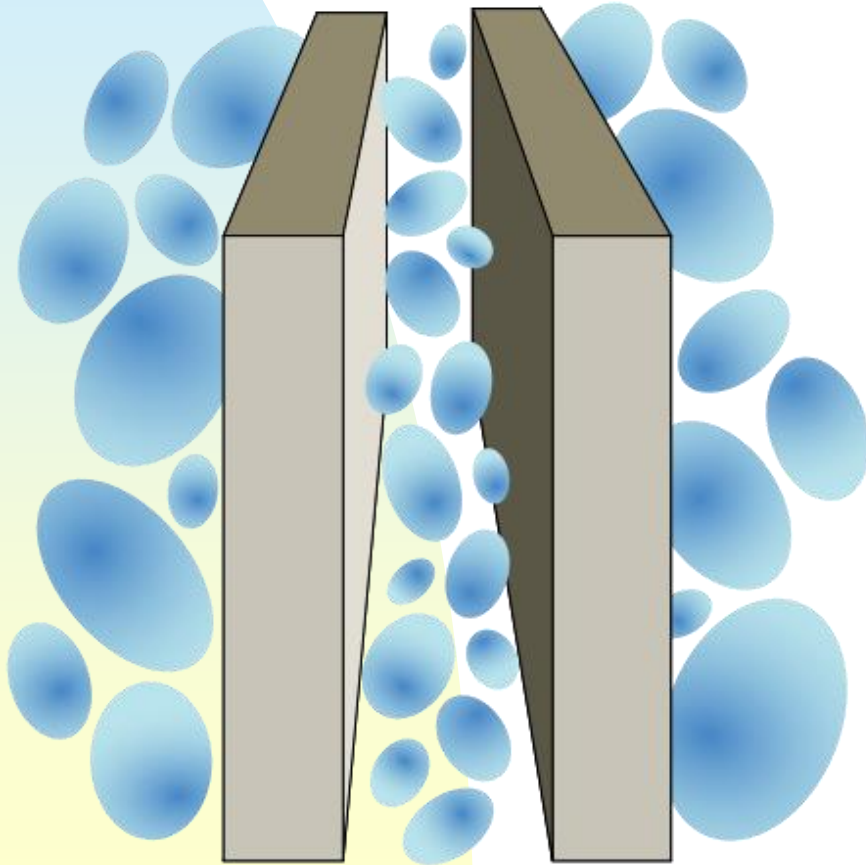
- stínění náboje
- polarizace vakua
- Lambův posun
- Casimířův jev



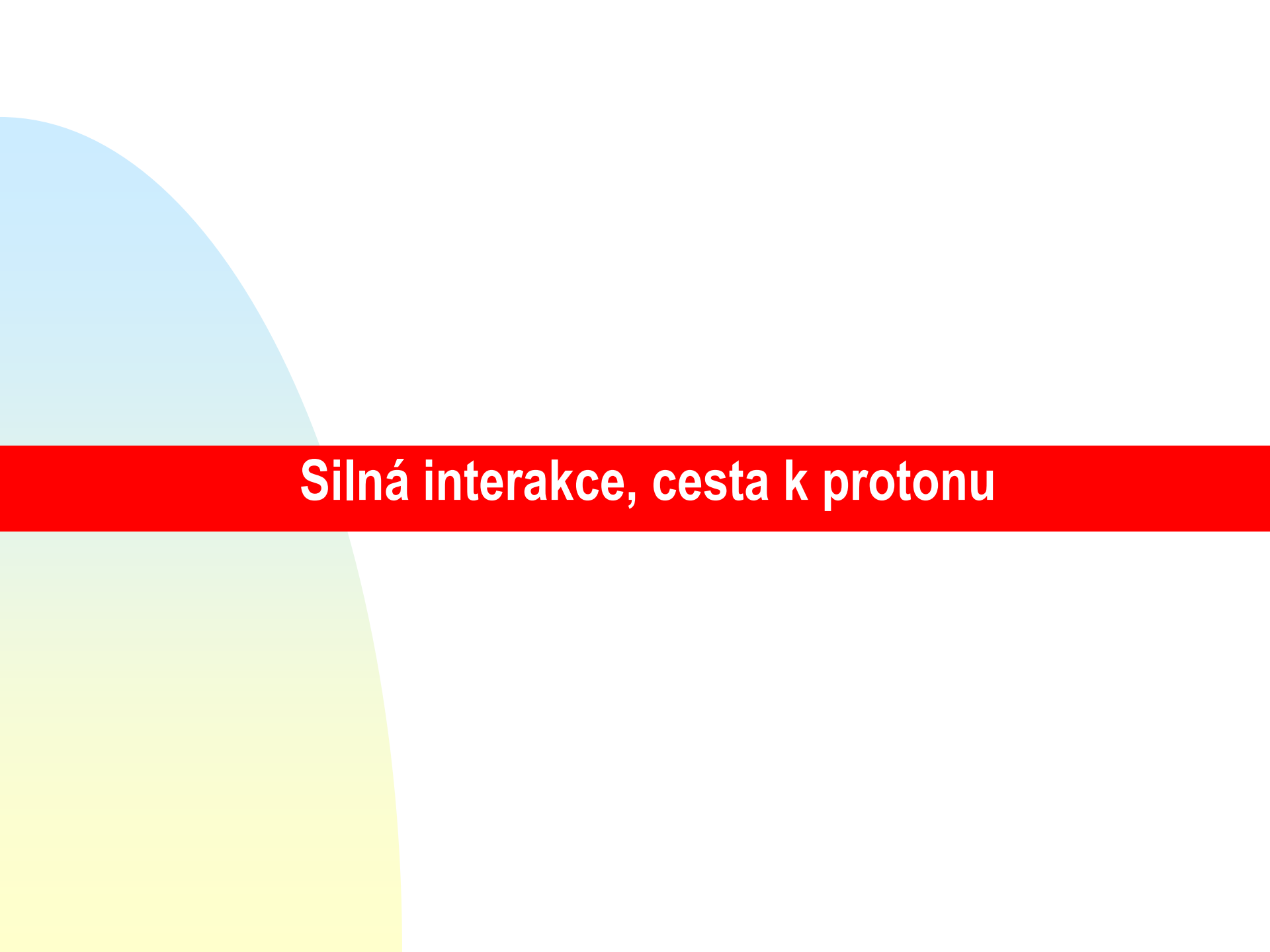
Casimirův jev

1948: Hendrik Casimir a Dirk Polder $F \sim 1/d^4$

1997: Steve Lamoreaux – průkazná měření



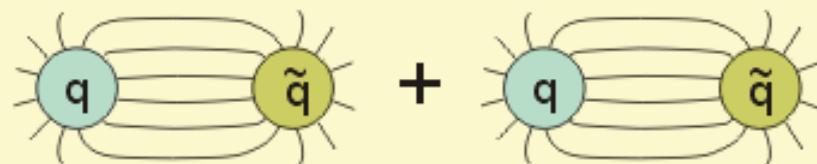
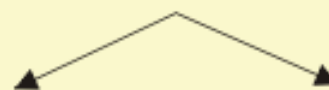
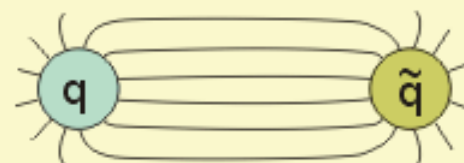
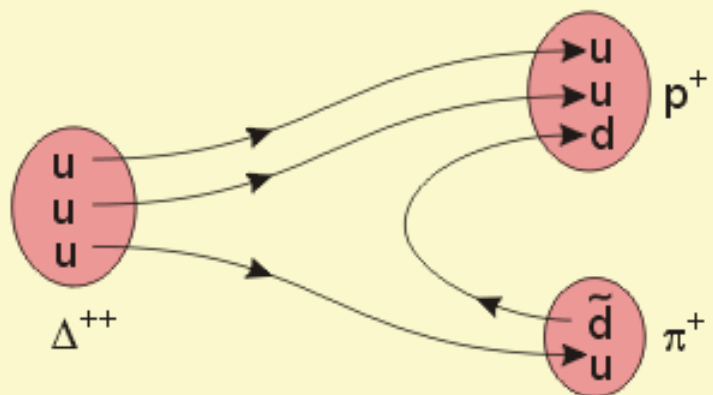
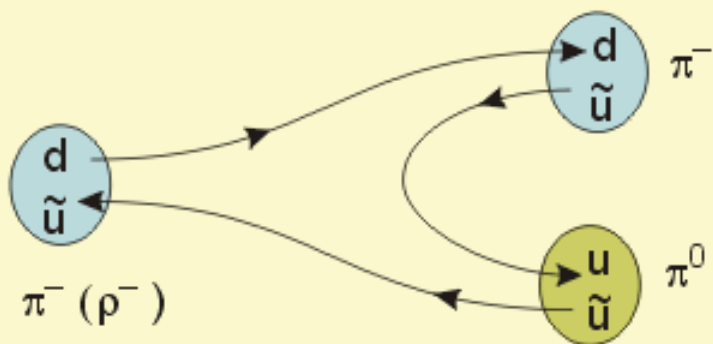
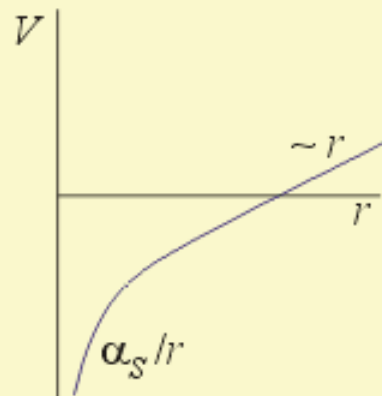
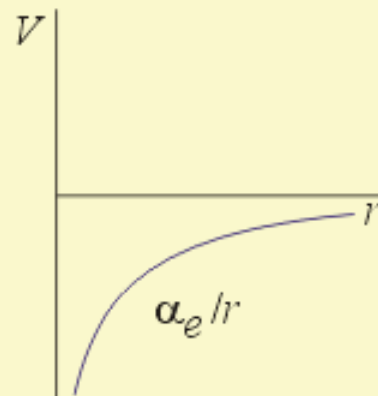
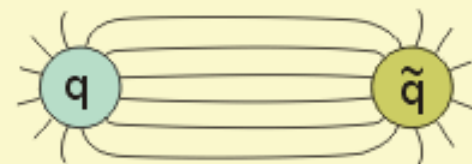
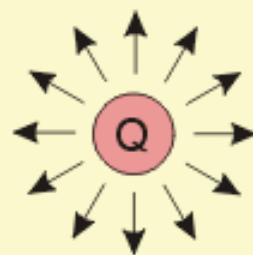
Hendrik Brugt Gerhard Casimir
(1909–2000)



Silná interakce, cesta k protonu

INTERAKCE

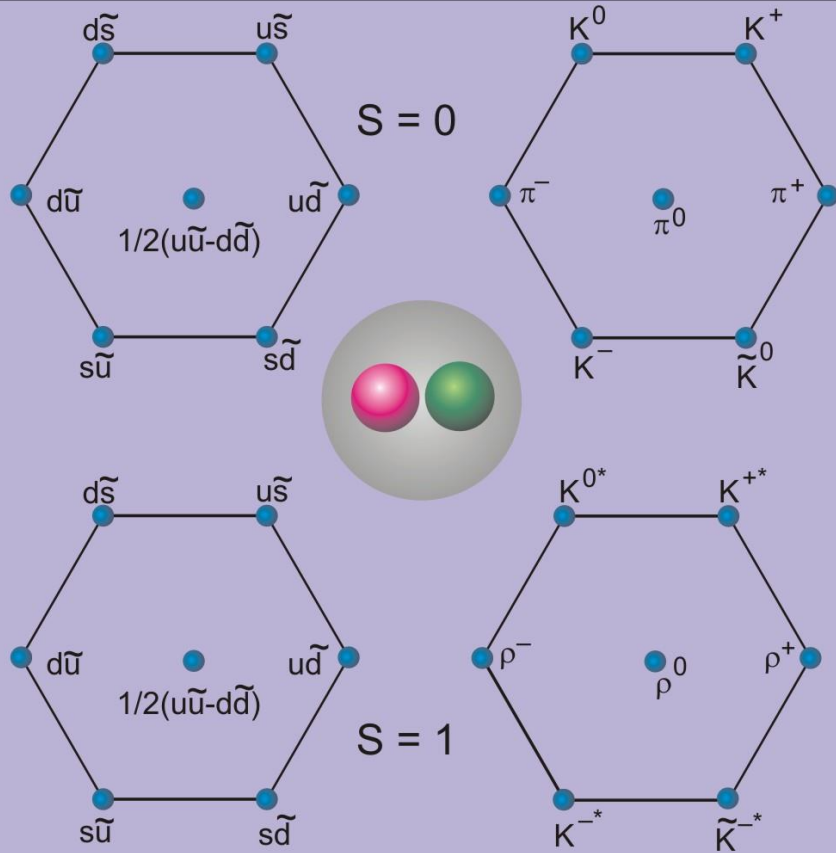
SILNÁ



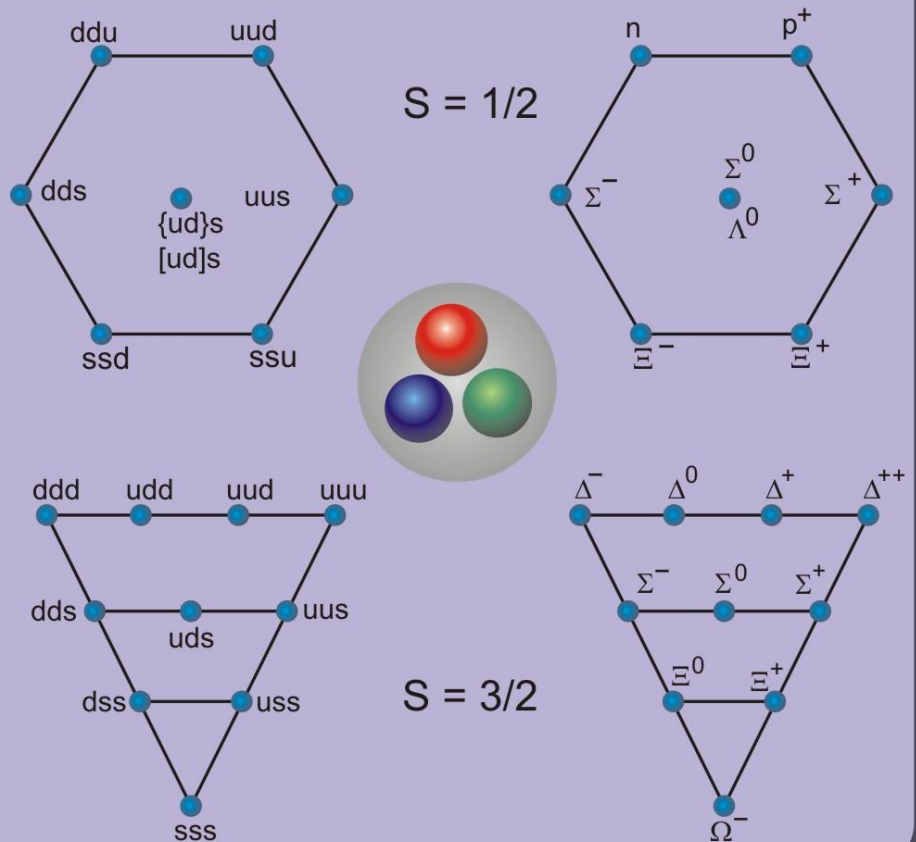
- výběrová
- symetrie SU(3)
- 8 gluonů
- konečný dosah

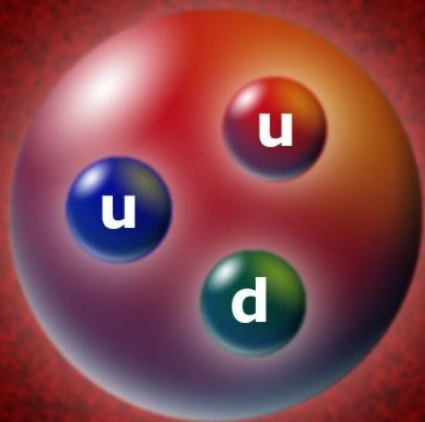
Hadrony

MEZONY

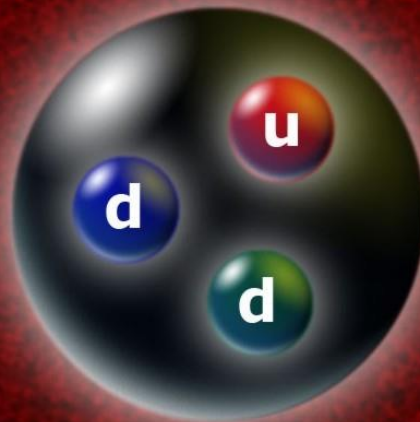


BARYONY

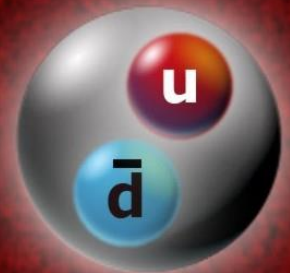




proton



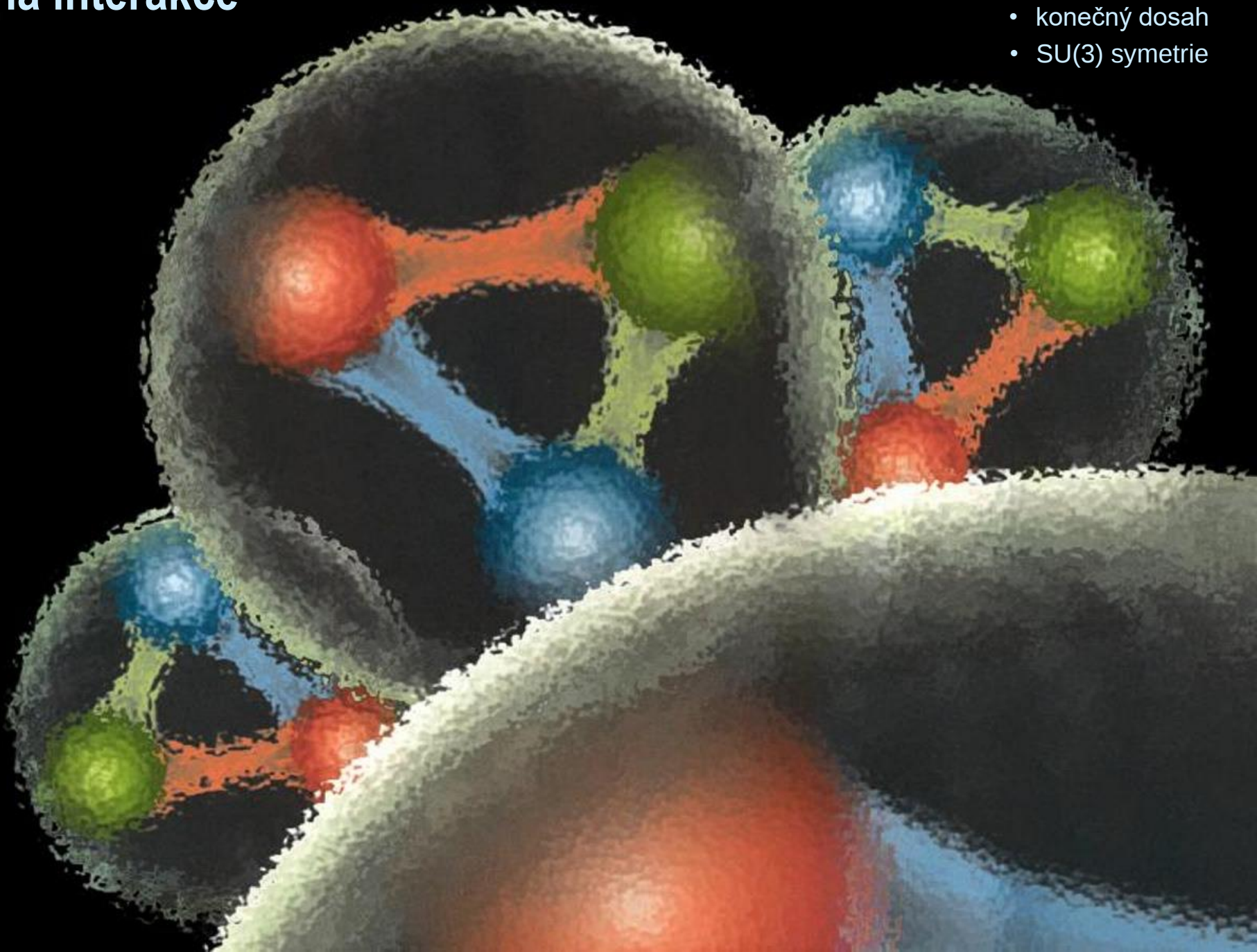
neutron

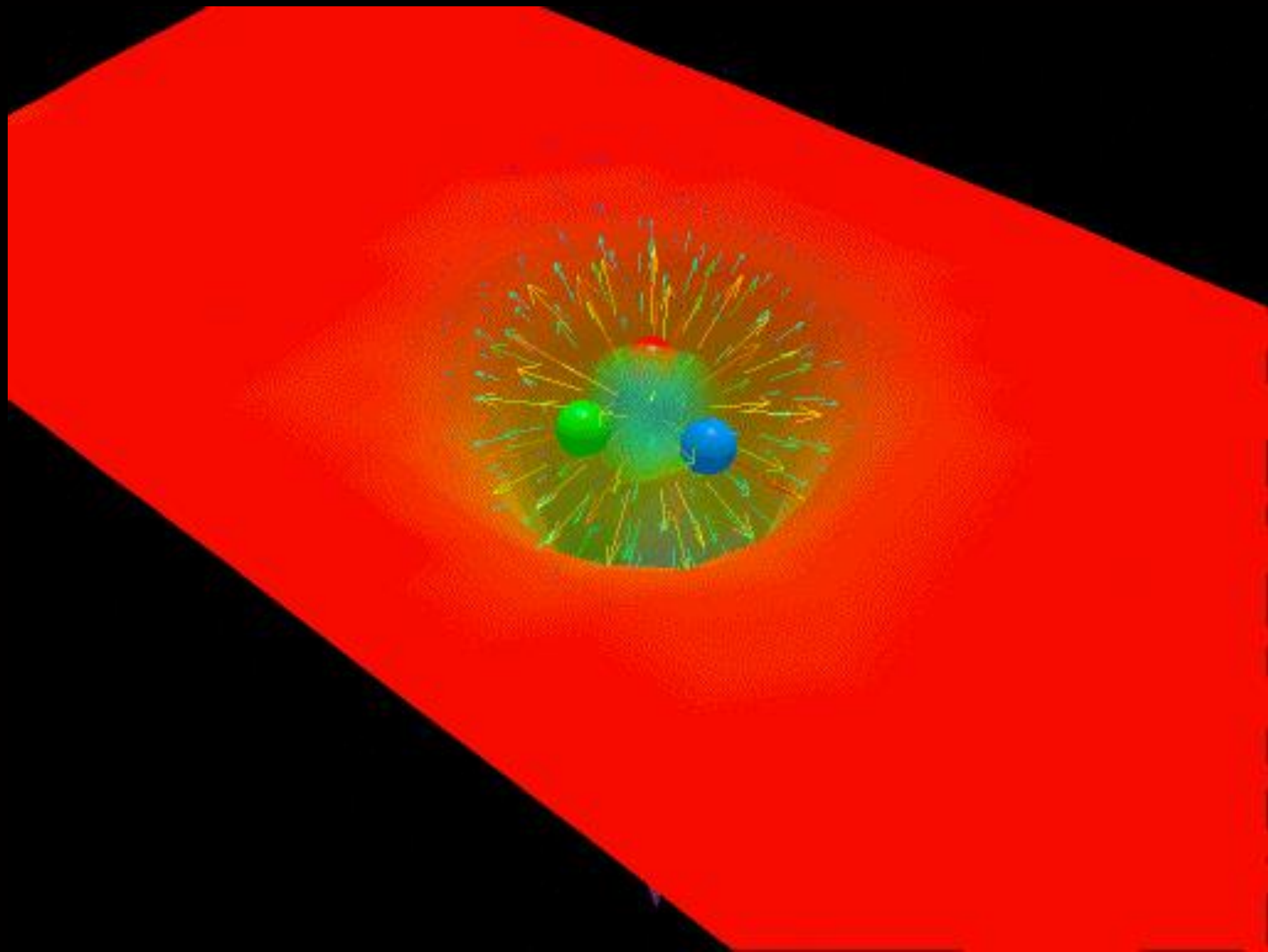


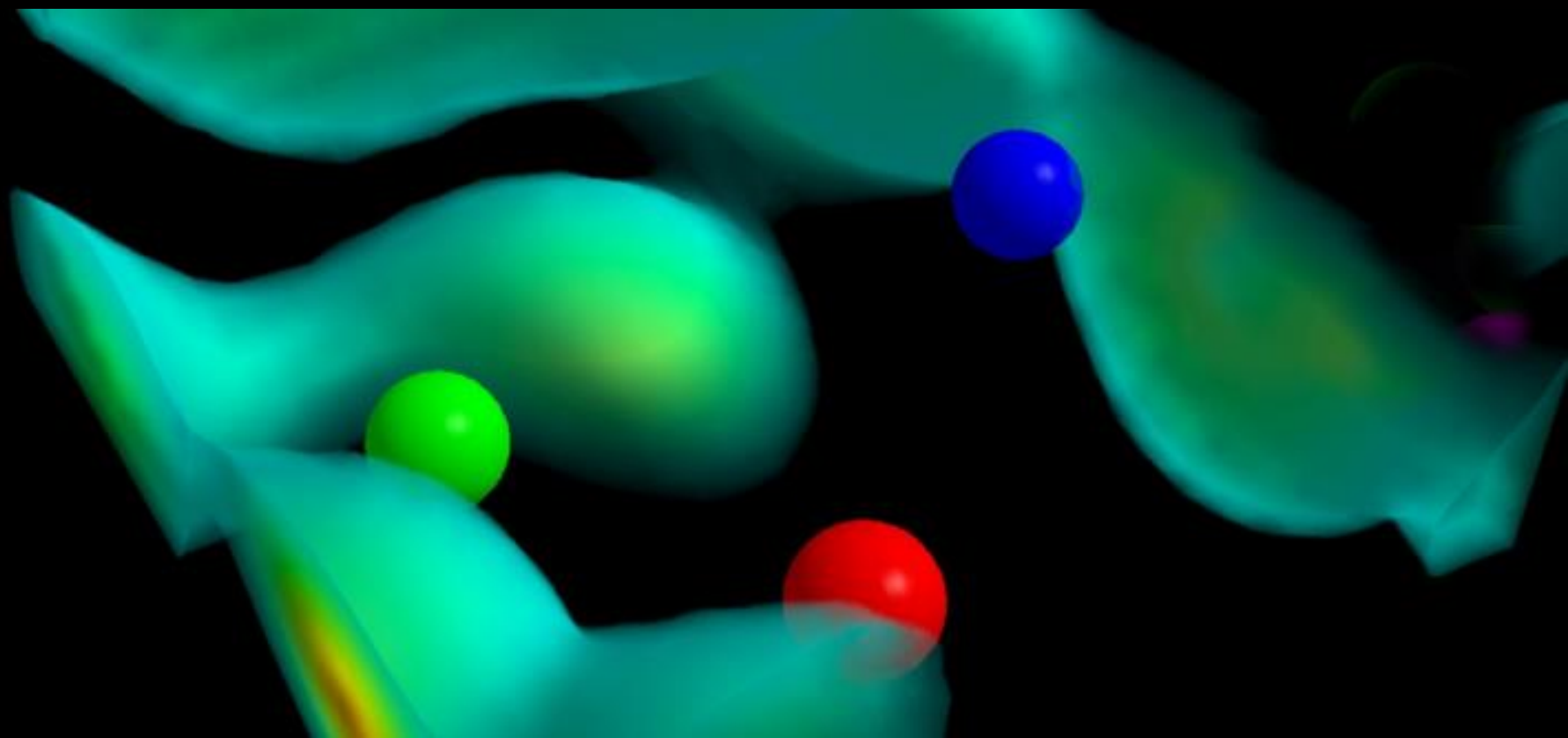
pion

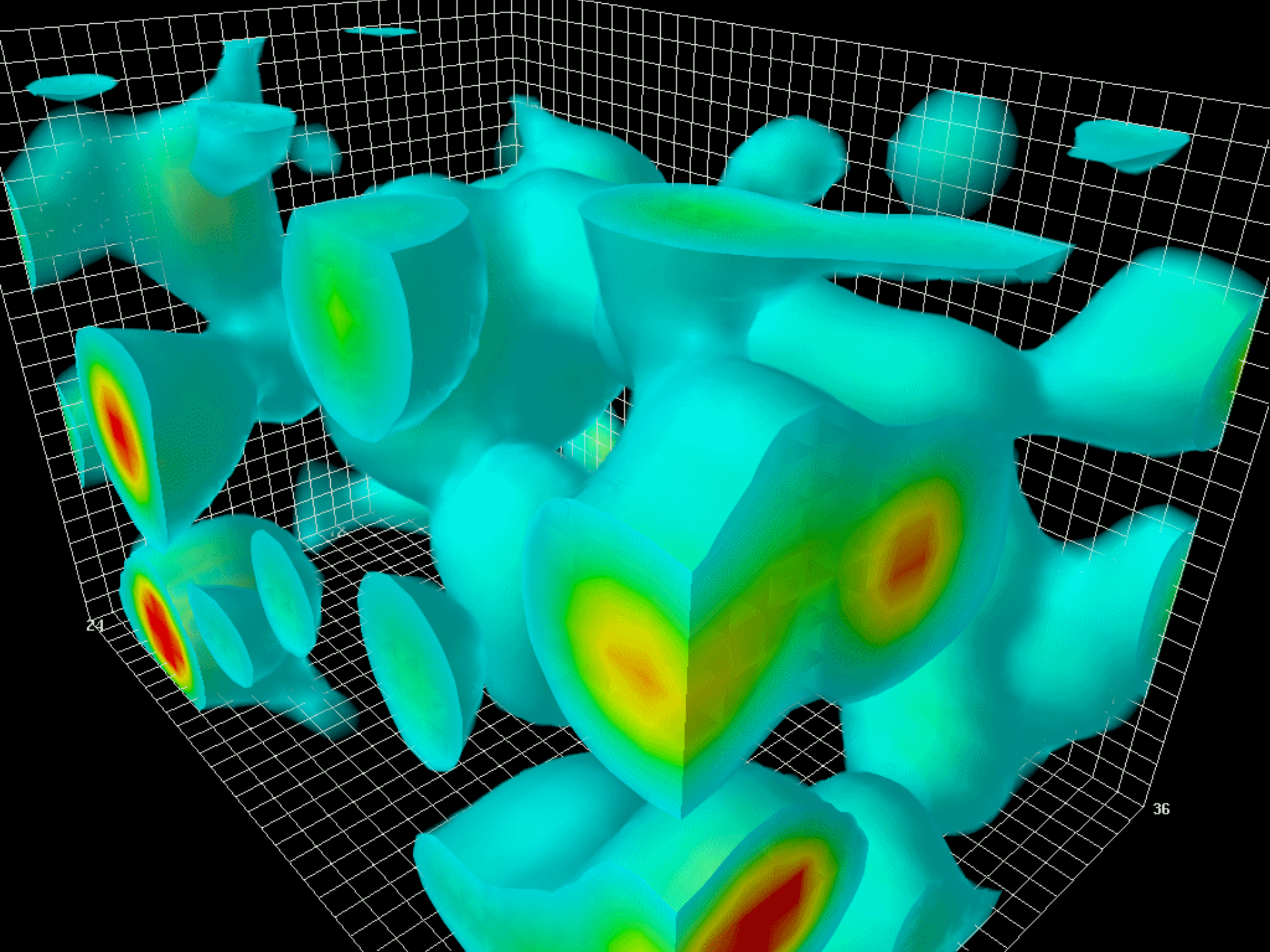
Silná interakce

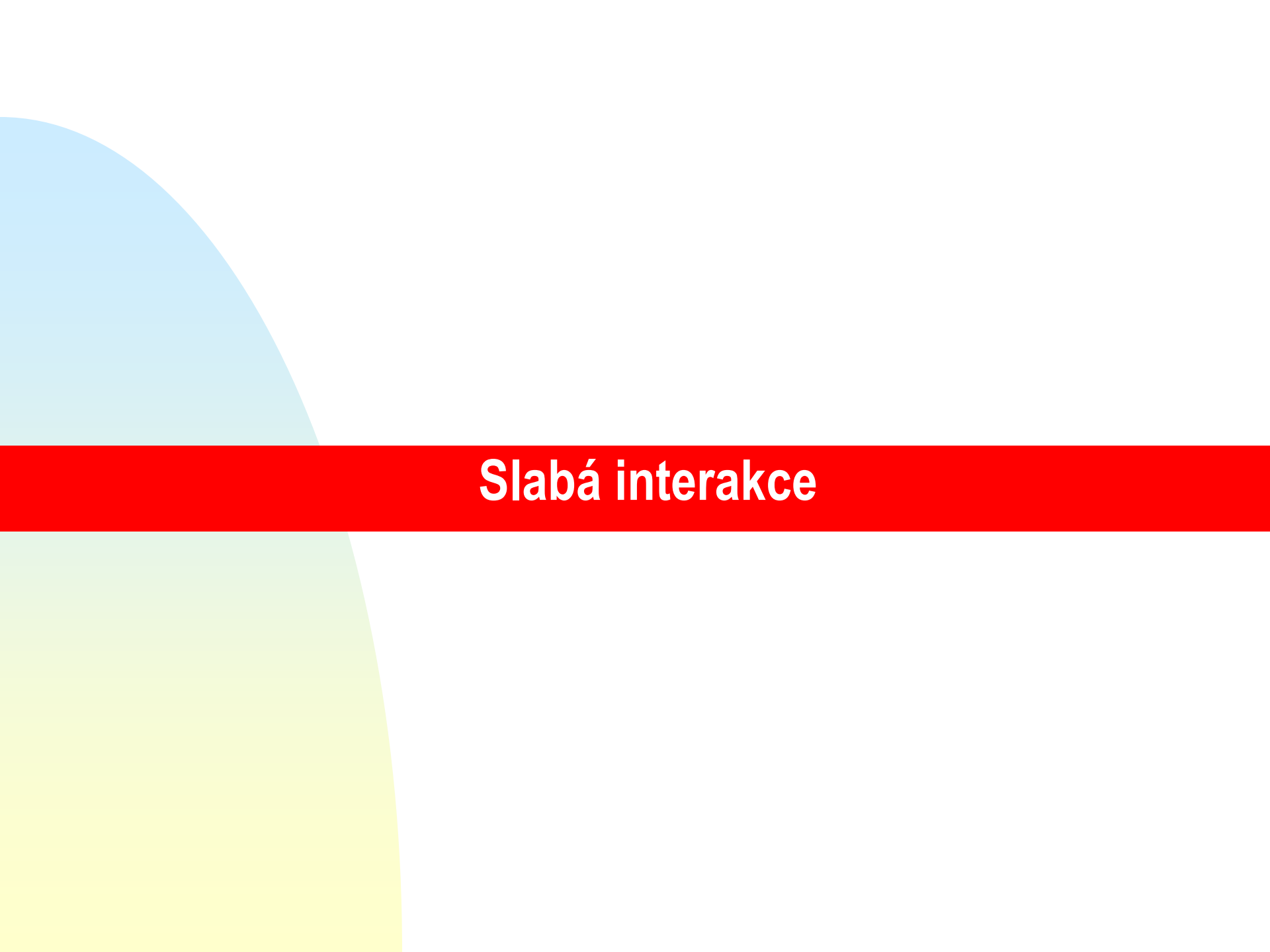
- na kvarky a gluony
- konečný dosah
- $SU(3)$ symetrie











Slabá interakce

INTERAKCE

SLABÁ

ELEKTROSLABÁ

- výběrová interakce
- krátký dosah
- SU(2) symetrie



Steven Weinberg

Abdus Salam

Sheldon Lee Glashow

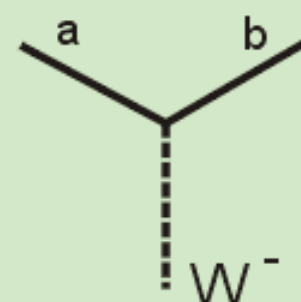
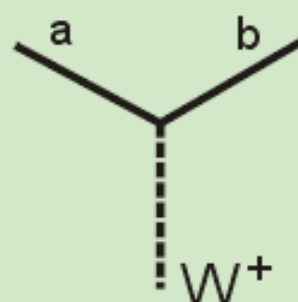
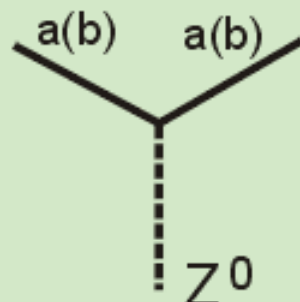
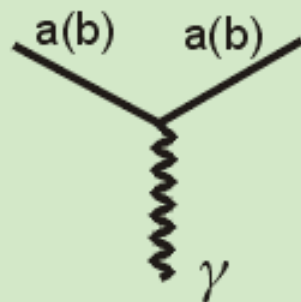
(NC 1979)

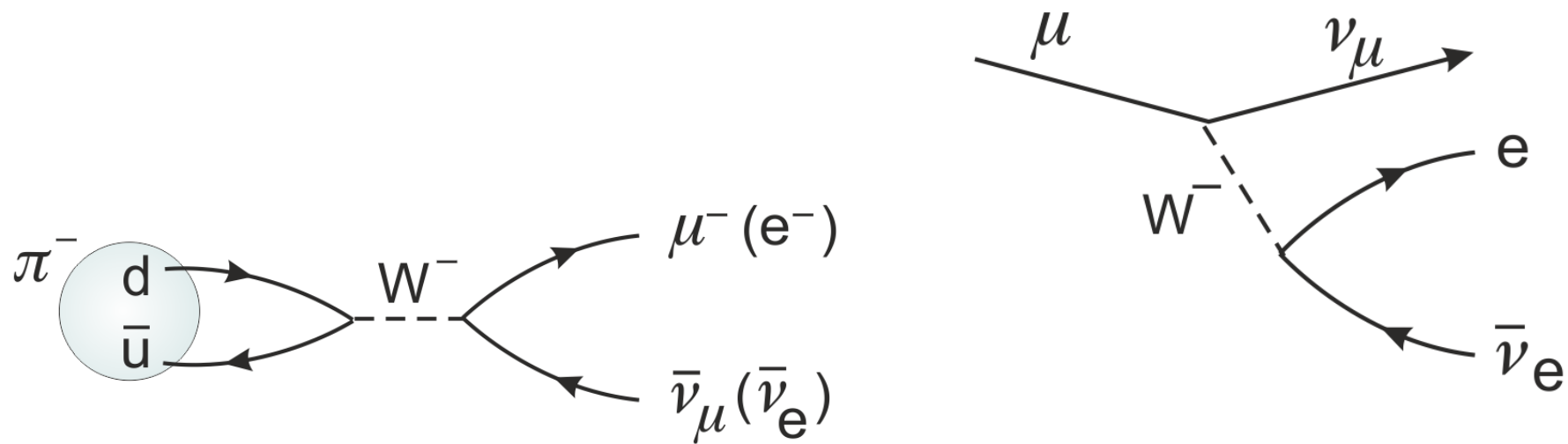
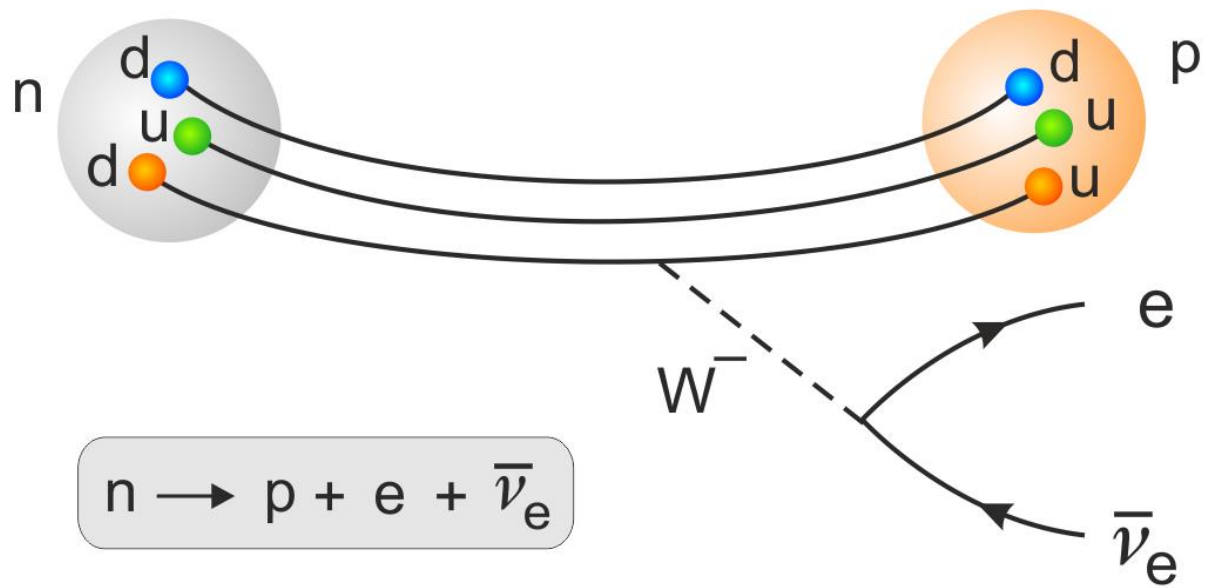
$$\begin{pmatrix} e^- \\ \nu_e \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} d \\ u \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} s \\ c \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} b \\ t \end{pmatrix}$$

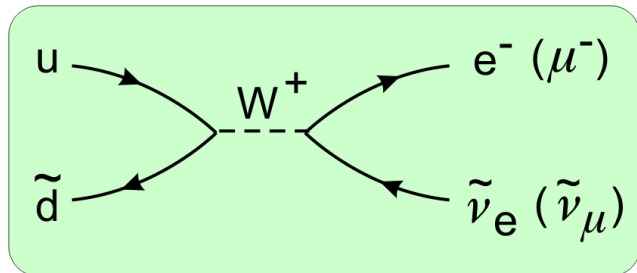
DIAGRAMY ELEKTROSLABÉ INTERAKCE

$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$

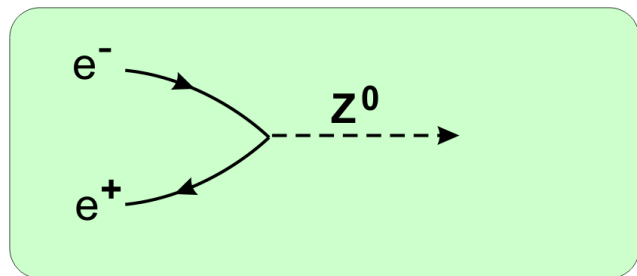




Polní částice slabé interakce



CERN, SPS, 1983, nabité toky



CERN, SPS, 1984, neutrální toky



Nobelova cena 1984



Carlo Rubbia



Simon van der Meer



Higgsovo pole / částice

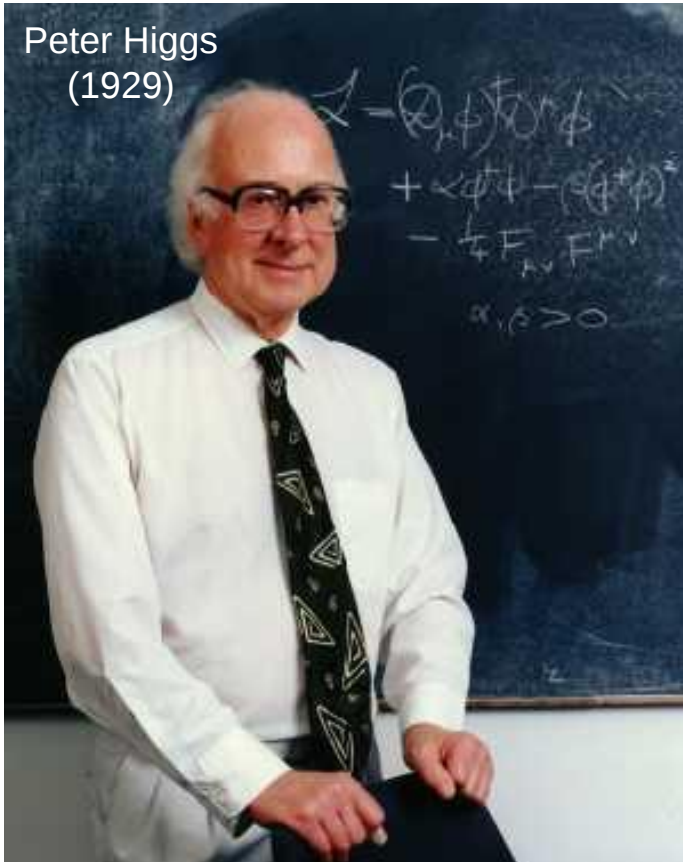


Higgsův mechanismus (1964)

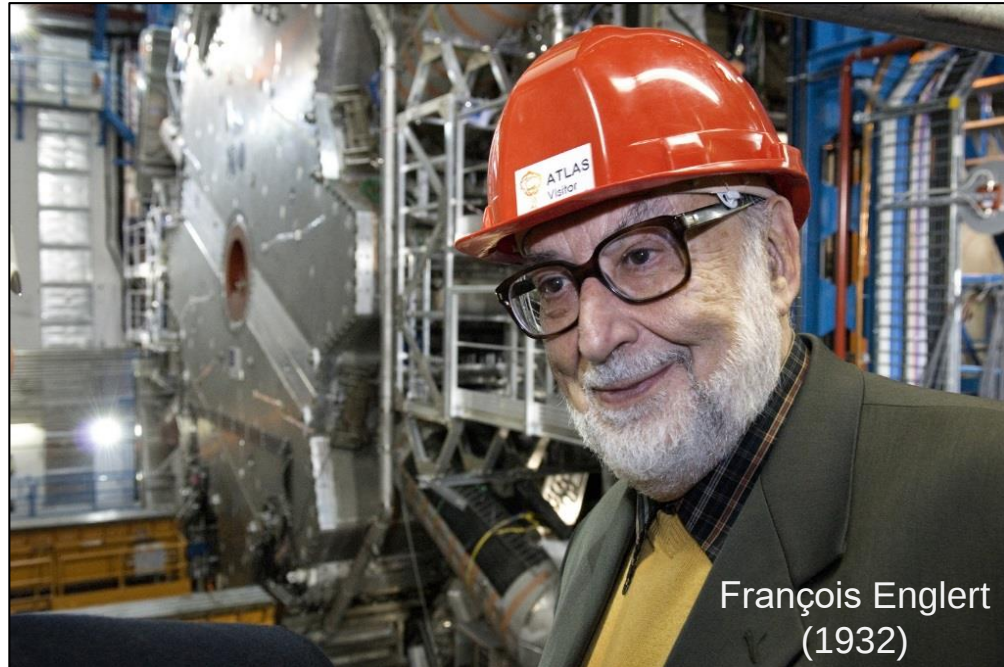
Higgsovy částice

- Částice v elektroslabé interakci, které zajišťují nenulovou hmotnost polních částic slabé interakce. Částice jsou pojmenovány podle skotského fyzika Petera Higgse.
- Nezávisle obdobný mechanismus navrhнули belgičtí teoretici Francois Englert a Robert Brout.
- Třetí skupina: Gerald Guralnik, Richard Hagen, Tom Kibble

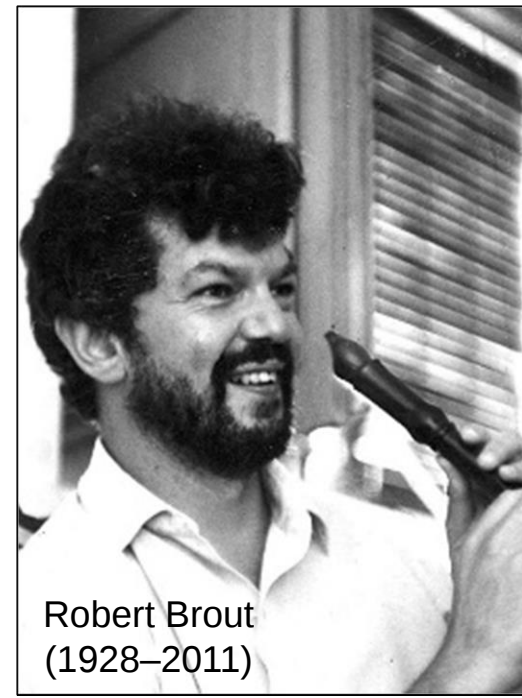
Peter Higgs
(1929)



Gerald Guralnik,
Richard Hagen,
Tom Kibble



François Englert
(1932)



Robert Brout
(1928–2011)

Příběh o výběrčím daní (1993)



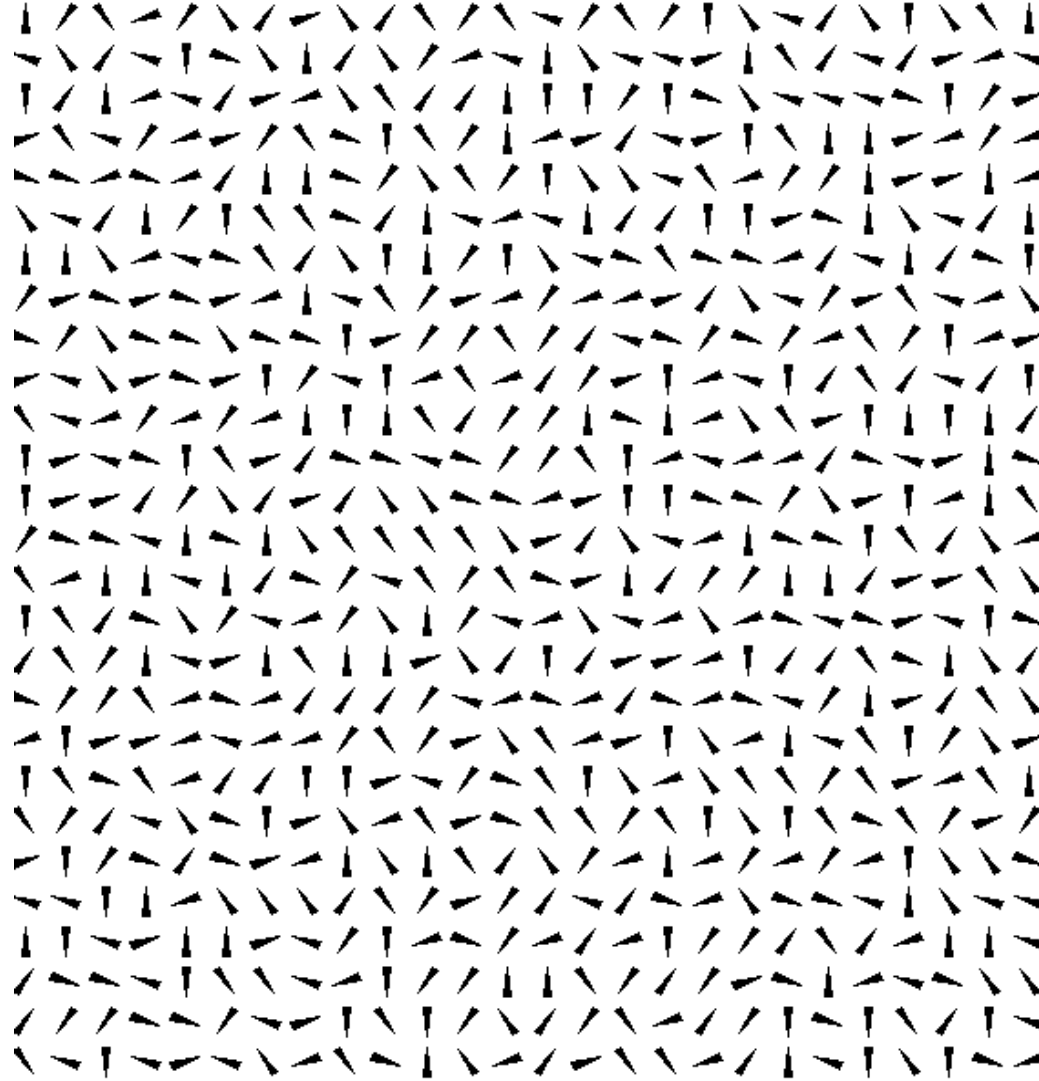
Příběh o výběrčím daní (1993)



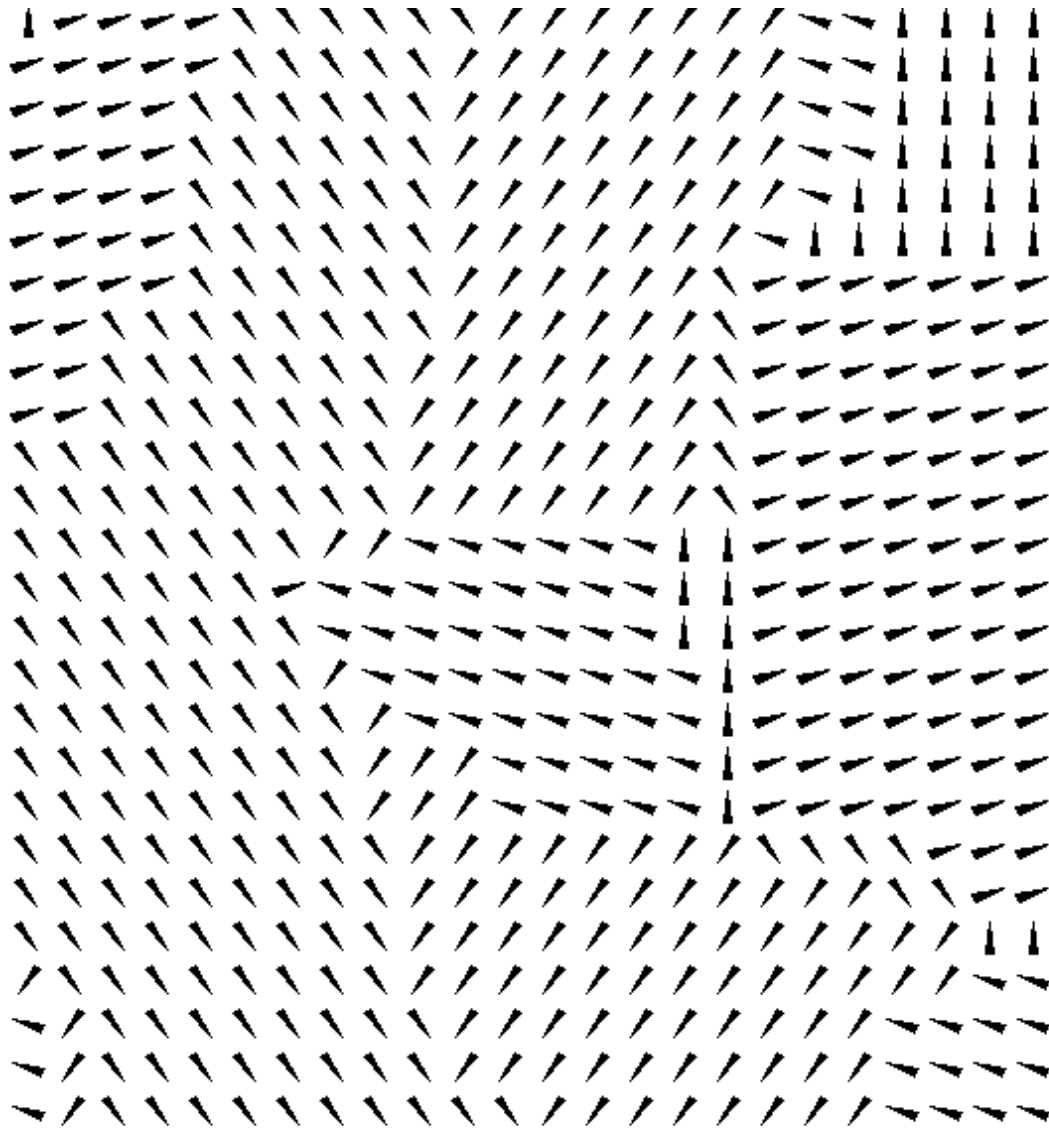
Spontánní narušení symetrie



Ferromagnetikum



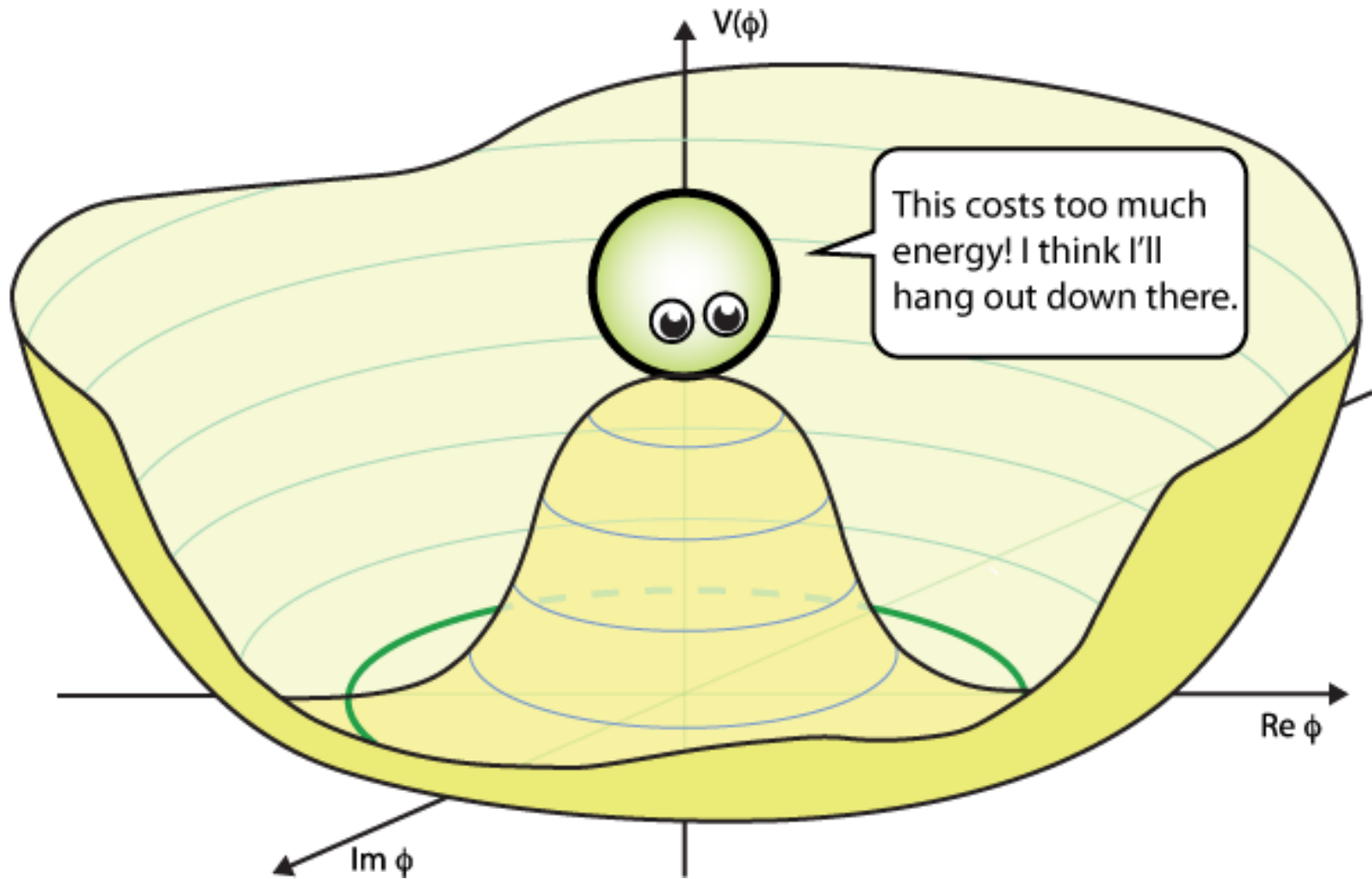
Ferromagnetikum



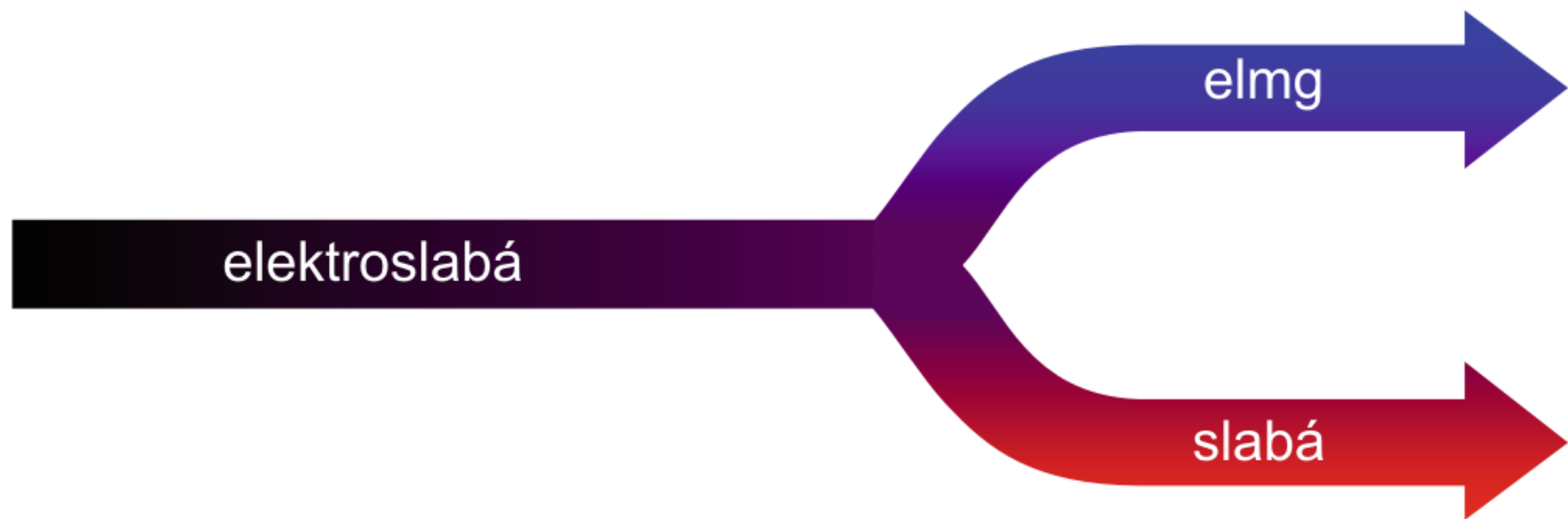
Jehla na špičce

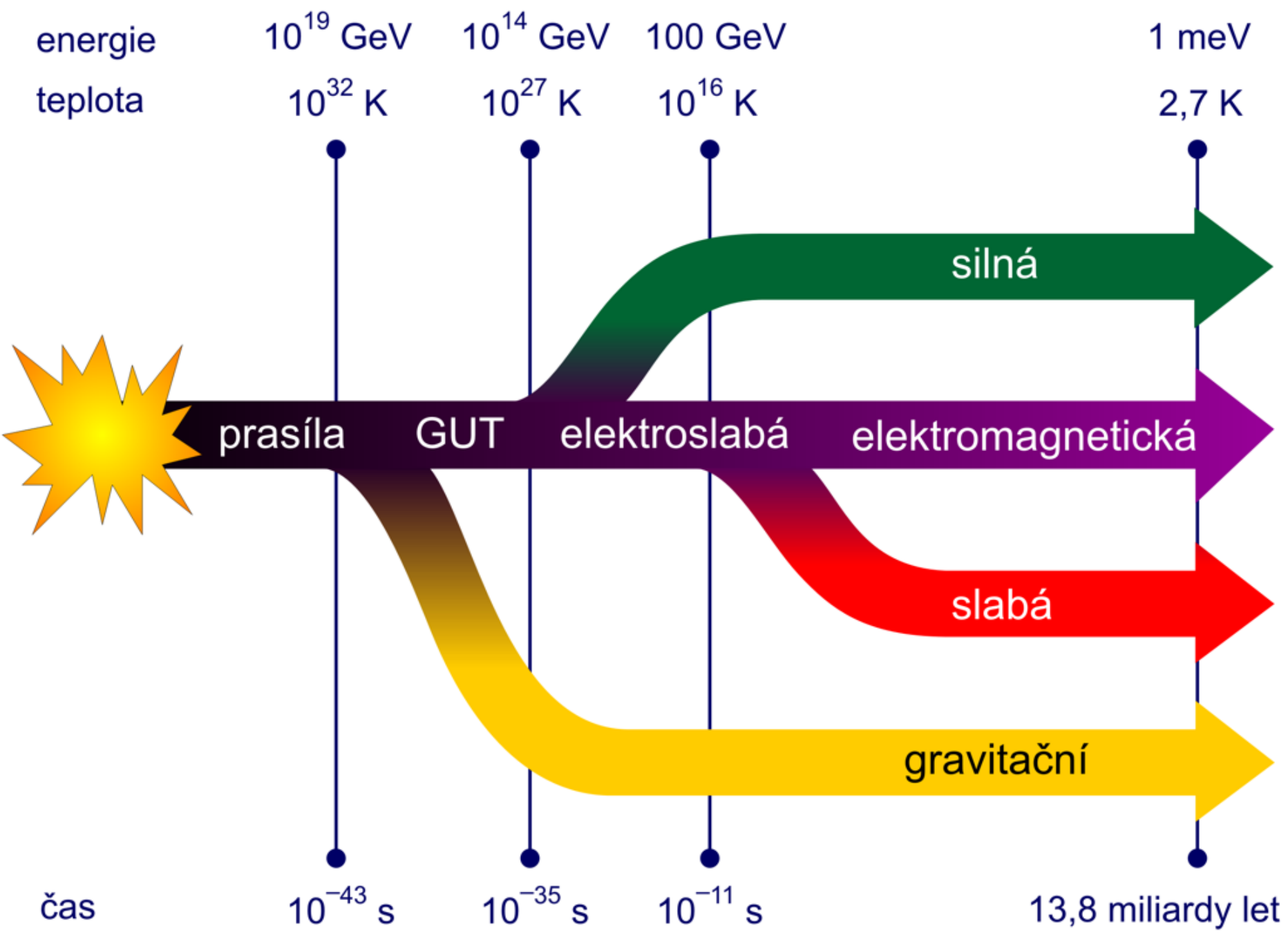


Potenciál Higgsova pole



Narušení elektroslabé interakce





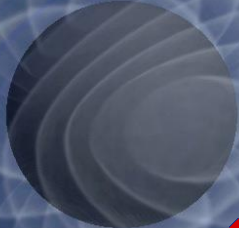
NOSIČE SIL

interakce	polní částice	dosah	teorie
elektromagnetická	foton	∞	kvantová
silná	gluony	10^{-15} m	kvantová
slabá	bosony $W^{\pm}, Z^0$	10^{-17} m	kvantová

gravitační	graviton?	∞	obecná relativita
------------	-----------	----------	-------------------



γ



Z



W



g