

CERN 2016

základní informace předtím, než vyrazíme

HISTORIE

... první zmínky o atomech

5. - 2. století př. n. l. - řeční filosofové Leukippos z Míléty, Démokritos z Abdéry a Epikúros ze Samu: **atomismus**; svět je složen z atomů (nedělitelných, kompaktních, okem neviditelných) a prázdného prostoru;

Lucretius Cara (asi 97 - 55 př. n. l.) - nejúplnější výklad atomismu ve svém díle *De rerum natura* (*O přírodě*);

John Dalton (1766 - 1844) - **chemický atomismus**; chemické prvky se slučují ve stálých hmotnostních poměrech - atomy jednotlivých prvků se spojují v molekuly (nejmenší částice chemických sloučenin).

Makroskopická tělesa nejsou spojitá, ale mají přetržitou strukturu. Skládají se z molekul, jako nejmenších částic chemických sloučenin. Molekuly se skládají z atomů, jako nejmenších částic chemických prvků.

HISTORIE

... elektron

druhá polovina 19. století - zkoumání elektromagnetických jevů; elektromagnetismus je popsán, ale není známa jeho podstata;

1859 - Plücker objevuje ve výbojích v plynu katodové paprsky a zkoumá jejich vlastnosti;

1895 - **W. C. Röntgen** (nositel první Nobelovy ceny za fyziku z roku 1901) objevuje rentgenové záření („paprsky X“);

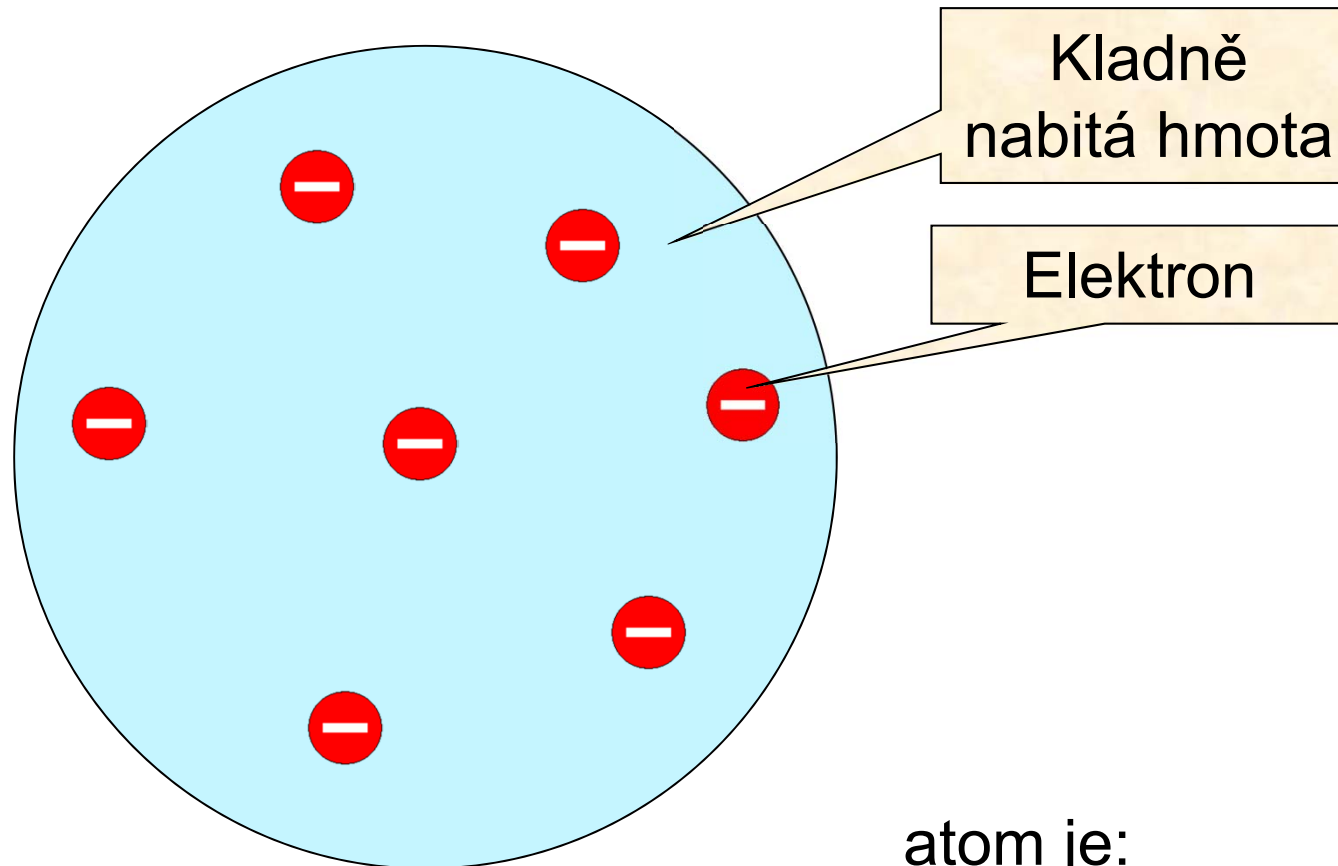
1897 - **J. J. Thomson** (anglický fyzik 1856 - 1940, Nobelova cena za rok 1906) vyslovuje hypotézu o **elektronu** („atom elektriny“) díky zkoumání výbojů v plynech, později byly zjištěny další zdroje elektronů - záporně nabitá zinková destička při dopadu světla, žhavený kovový drátek, radioaktivní rozpad, ...;

1910 - **R. A. Millikan** (1868 - 1953, Nobelova cena za rok 1923) zjišťuje, že náboj je vždy malým celočíselným násobkem záporně vzatého elementárního náboje - elektrický náboj je **kvantován**.

ATOMY

... první model atomu

Thomsonův (pudinkový) model



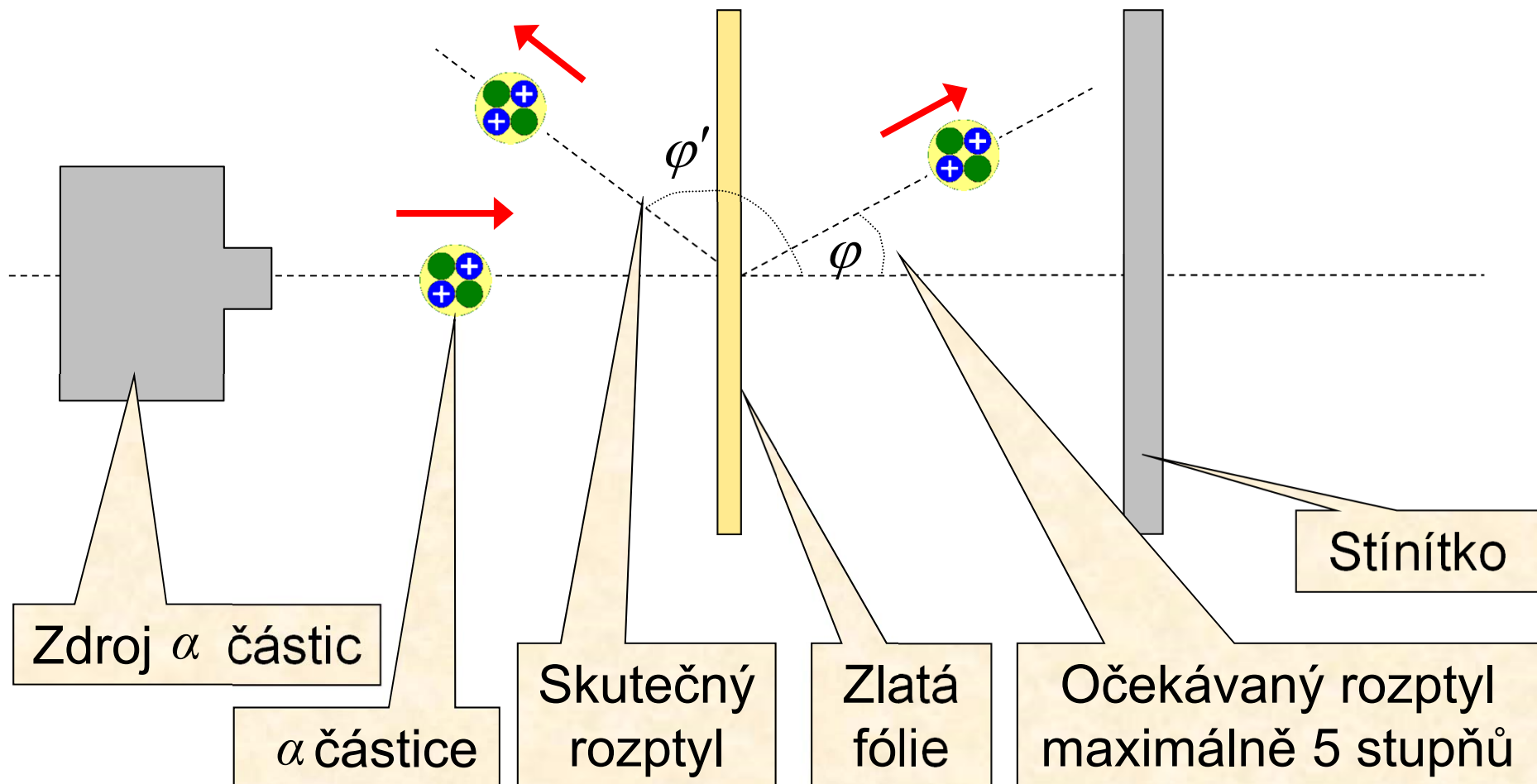
atom je:

- ☒ elektricky neutrální
- ☒ stabilní

ATOMY

... objev atomového jádra

1911 - experimenty **E. Rutherforda** (1871 - 1937, Nobelova cena za chemii za rok 1908), **H. Geigera** (1882 - 1945) a **E. Marsdena** odhalily skutečnou strukturu hmoty



ATOMY

... objev atomového jádra

4. ...a stínítko *S* ze ZnS připevněného k mikroskopu *M*.

3. ...rozptylující fólii *F* ...

1. Aparatura se skládala ze silného kovového válcového hrnce *B*, ...

2. ... který obsahoval zdroj částic *R*, ...

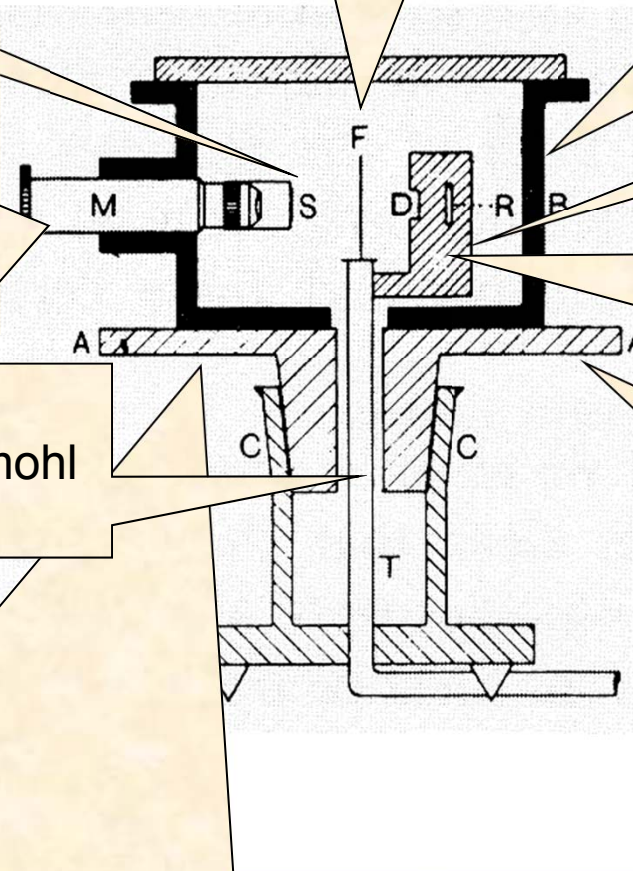
7. Mikroskop a stínítko se otáčely s hrncem, zatímco rozptylující fólie a zdroj se nepohybovaly.

5. Úzký svazek alfa částic z radonového zdroje *R* byl vymezen clonou *D* tak, aby dopadal kolmo na fólii *F*.

8. Hrncel byl uzavřen skleněnou deskou *P* a mohl být vyčerpán trubicí *T*.

6. Hrncel byl připevněn ke kruhové základové desce *A* se stupnicí, kterou se mohlo otáčet ve vzduchotěsném spoji *C*.

9. Otáčením desky *A* mohly být alfa částice rozptylovány do různých směrů pozorovány na stínítku ze ZnS. Pozorování: od 5° do 150° na stříbrné a zlaté fólii. Byly provedeny dvě sady měření (od 15° do 150° a od 5° do 30°).

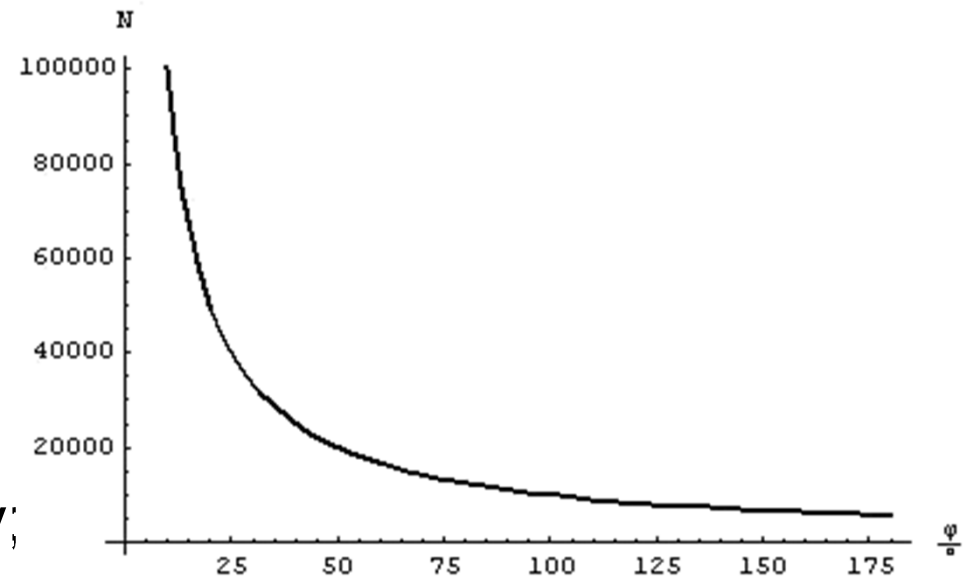


ATOMY

... vlastnosti atomového jádra

vlastnosti atomového jádra:

- ☒ kladně nabitě;
- ☒ rozměr jádra $\approx 10^{-15}$ m;
- ☒ (rozměr atomu $\approx 10^{-10}$ m);
- ☒ $m_{\text{jádra}} \approx 0,95 m_{\text{atomu}}$;
- ☒ obsahuje protony a neutrony;
- ☒ drží pohromadě vlivem jaderných sil.



Rozdíl ve velikosti je 5 řádů!!!

Je to málo nebo hodně? Je atom jádrem vyplněn zcela nebo obsahuje spoustu prázdného místa?

Tak si atom šikovně zvětšíme ...

ATOMY

... srovnání velikostí

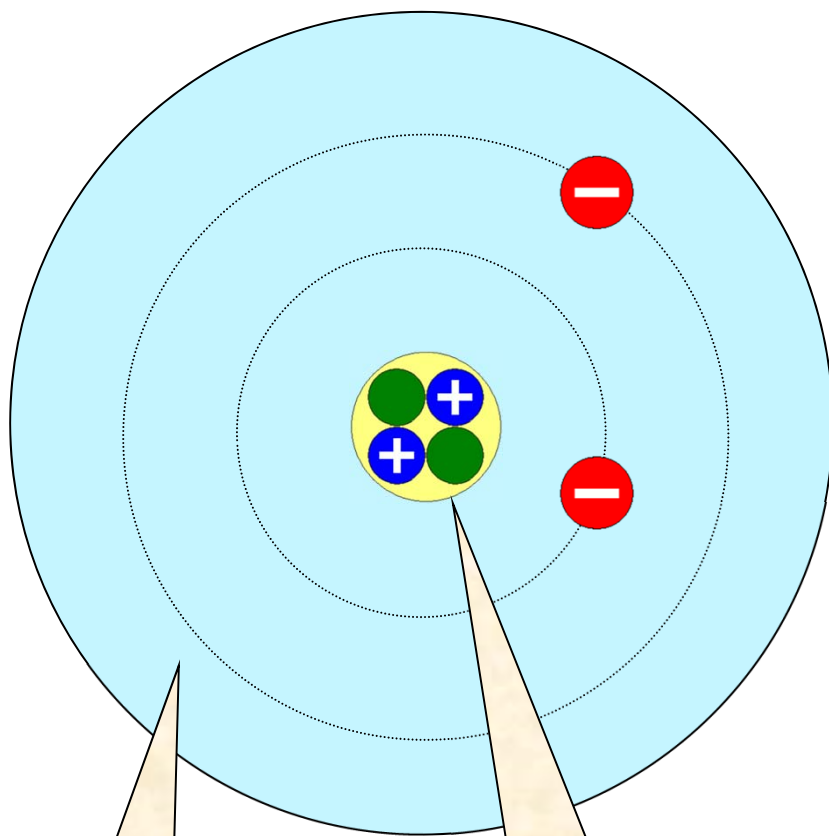
jádro ~ korunová mince, jejíž poloměr je přibližně 1 cm;
atom ~ 100000krát větší, tj. kruh s poloměrem 1 km.



ATOMY

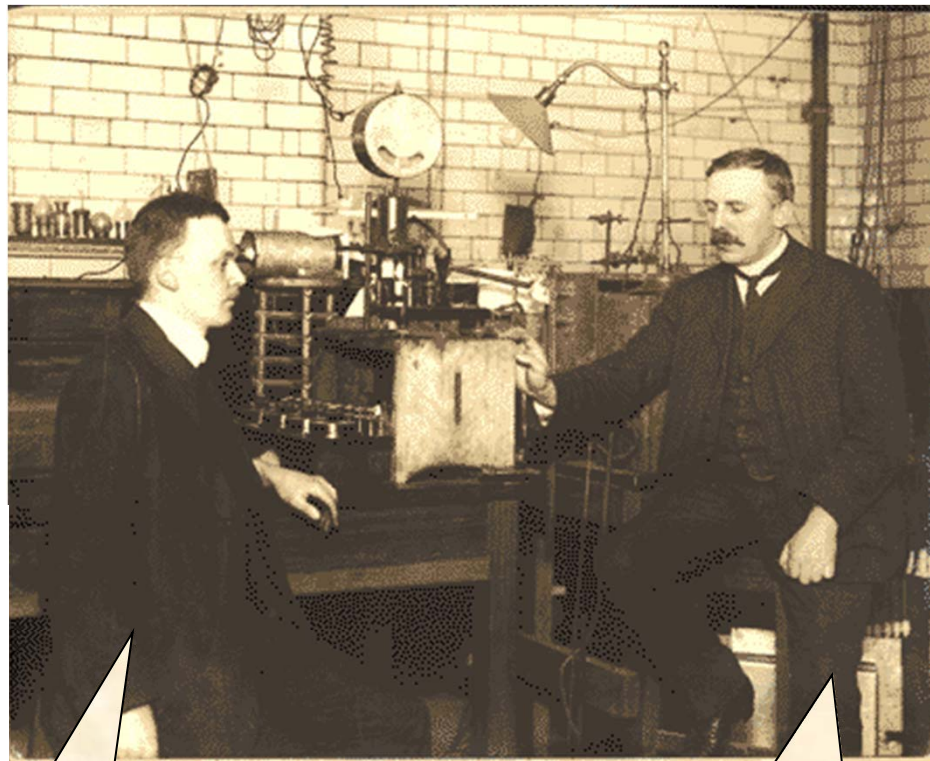
... další model atomu

Rutherfordův (planetární) model



Atomový obal

Atomové jádro



Hans Geiger

Ernest Rutherford

ATOMY

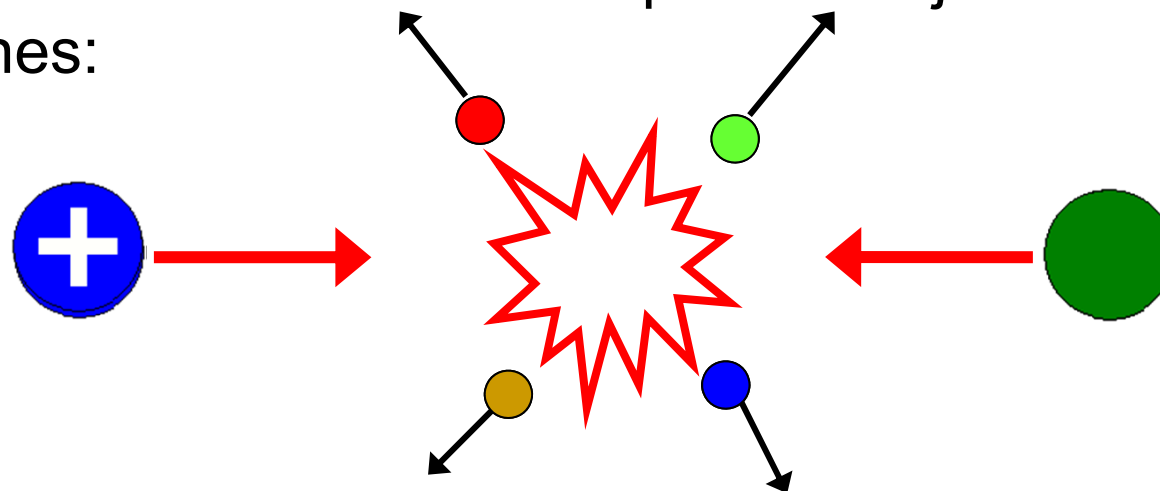
... Rutherfordův přínos

Rutherfordův model je lepší a shoduje se s experimenty více než model Thomsonův; přesto ale není zcela správně;

nabitá částice pohybující se se zrychlením (elektron v atomu) vyzařuje elektromagnetické záření - částice ztrácí část své energie;

po určité době (řádově mikrosekundy) by tak elektron spadl do jádra (pod vlivem elektrostatické síly).

Metoda použitá Rutherfordem se používá v jaderné a částicové fyzice dodnes:



OPTIKA

... kvantová hypotéza

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 - 1947) - německý fyzik

⊠ zabýval převážně termodynamikou - zářením těles;

⊠ 14. 12. 1900 - podává zprávu o odvození vztahu, který popisuje záření absolutně černého tělesa:

$$H = \frac{8\pi h}{c^3 \left(e^{\frac{hf}{kT}} - 1 \right)} f^3$$

⊠ současně s tím přichází s revoluční myšlenkou - **kvantovou hypotézou**: světlo se nešíří spojitě (jako vlna), ale nespojitě;

⊠ každý **foton** je charakterizován frekvencí f a energií E ; přitom platí: $E = hf$, kde $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s je Planckova konstanta.

JEDNOTKY

... předpony & spol.

předpony ve spojitosti s jednotkami fyzikálních veličin jsou běžné:

- ☒ běžná výplata jsou desítky kKč;
- ☒ v Praze žije 1 Mlidí, na světě 7 Glidí;
- ☒ roční rozpočet CERNu je 12 Gfranků;
- ☒ ...

typická energie v atomové a jaderné fyzice se udává v ***elektronvoltech***

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

urychlovač LHC: vstřícné svazky protonů, z nichž každý svazek má (v těžišťové soustavě) energii **7 TeV**.

jevy předpovězené Einsteinem v teorii relativity (dilatace času, kontrakce délek, závislosti hmotnosti na rychlosti, vztah svazující energii s hmotností, ...) byly velmi úspěšně otestovány např. i v CERNu;

pro CERN nejdůležitější je $E = mc^2$;

klidová energie elektronu: 0,5 MeV (jaderný fyzik: „*klidová hmotnost je 0,5 MeV*“);

klidová energie protonu: 940 MeV;

připomenutí: LHC - dva svazky, každý 7 TeV = 7 000 000 MeV

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2} = c \sqrt{1 - \left(\frac{940}{7000000}\right)^2} = 0,999999999098c$$

ROZMĚRY A ENERGIE

... porovnání

$\frac{\lambda}{\text{nm}}$	$\frac{f}{\text{PHz}}$	$\frac{E}{\text{J}}$	$\frac{E}{\text{eV}}$
500	0,6	$4 \cdot 10^{-19}$	2,5
0,5	600	$4 \cdot 10^{-16}$	2500
0,000 005	60 000 000	$4 \cdot 10^{-11}$	$250 \cdot 10^6$
0,000 000 000 5	600 000 000 000	$4 \cdot 10^{-7}$	2,5 TeV

desetitisícina průměru jádra atomu

průměr jádra atomu

průměr atomu

vlnová délka viditelného světla

ČÁSTICE

... druhy a spin

jednou z charakteristik částic je **spin** m_s ;

podle spinu se částice dělí na:

⊗ **fermiony** - částice hmoty; jsou to ty částice, které tvoří běžnou hmotu (elektrony, protony, neutrony, ...); mají poločíselný spin, tedy

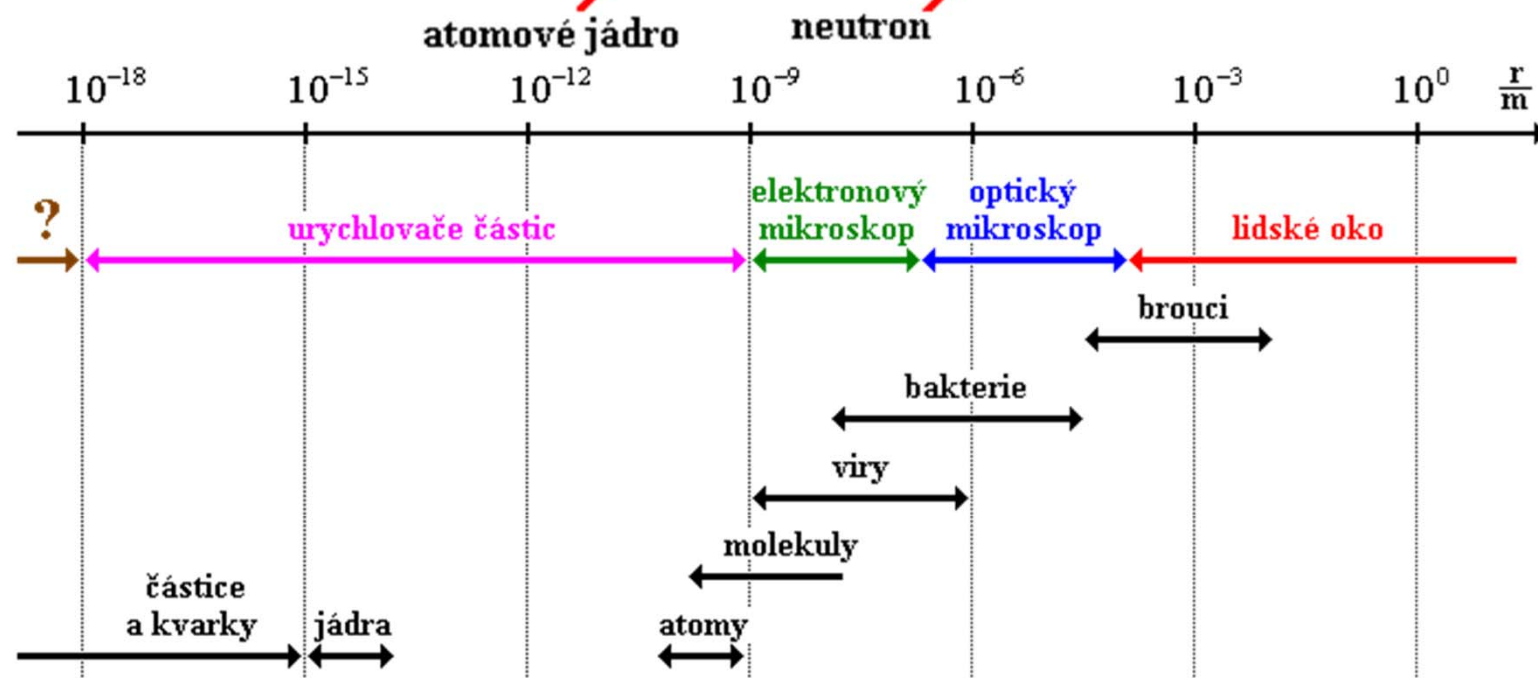
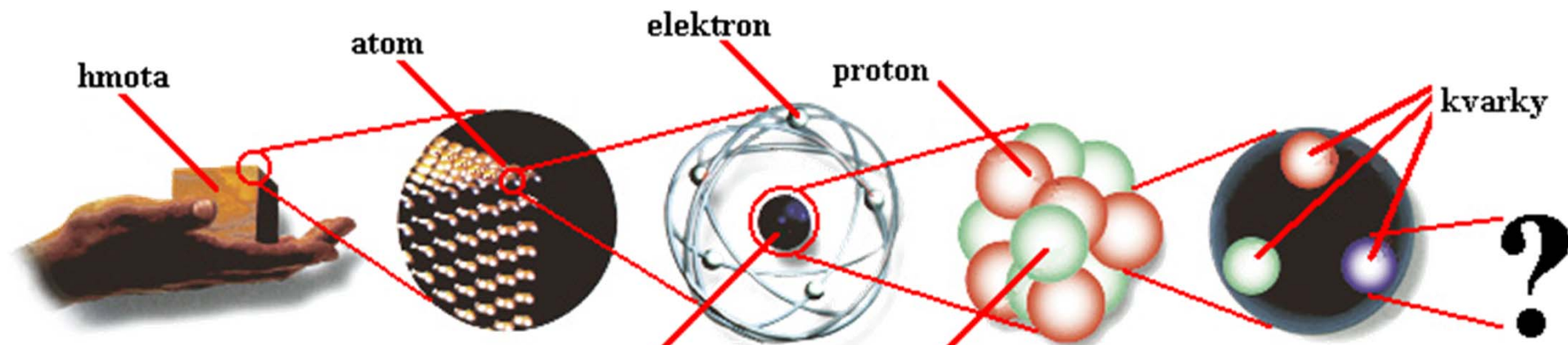
$$m_s = (2k + 1) \cdot \frac{1}{2}; k \in \mathbb{Z}$$

⊗ **bosony** - částice interakcí; jsou to ty částice, které si mezi sebou fermiony vyměňují, a tak na sebe silově působí (fotony, ...); mají celočíselný spin, tj. $m_s = k; k \in \mathbb{Z}$

spin souvisí s magnetickým momentem částice;

velmi zjednodušeně: spin vlastně říká, o jaký úhel α je nutné částici otočit, abychom ji získali v původní podobě

$$\alpha = \frac{360^\circ}{m_s}$$



RŮST ENERGIE NUTNÉ K „VÝROBĚ“ ČÁSTIC

ČÁSTICE

... fermiony

Leptony

Vůně		$\frac{E_0}{\text{GeV}}$	Náboj
ν_e	elektronové neutrino	$<10^{-8}$	0
e	elektron	0,000511	-1
ν_μ	mionové neutrino	$<0,0002$	0
μ	mion	0,106	-1
ν_τ	tauonové neutrino	$<0,02$	0
τ	tauon	1,777	-1

Kvarky

Vůně		$\frac{E_0}{\text{GeV}}$	Náboj
u	up	0,003	$\frac{2}{3}$
d	down	0,006	$-\frac{1}{3}$
c	charm	1,3	$\frac{2}{3}$
s	strange	0,1	$-\frac{1}{3}$
t	top	175	$\frac{2}{3}$
b	bottom	4,3	$-\frac{1}{3}$

INTERAKCE

... přehled

Typ interakce		Působí na „náboj“	„Cítí“ ji částice	Prostředník	Dosah	Vazbová konstanta
silná	S	barevný náboj	kvarky, gluony	gluony	10^{-15} m	1 - 10
elektromagnetická	E	elektrický náboj	elektricky nabitě	fotony	∞	$\frac{1}{137}$
slabá	W	vůně	kvarky, leptony	bosony W^+ , W^- , Z^0	10^{-18} m	10^{-10}
gravitační	G	hmota	všechny	gravitony	∞	10^{-38}

S - zodpovědná za jaderné síly, které drží pohromadě atomy;

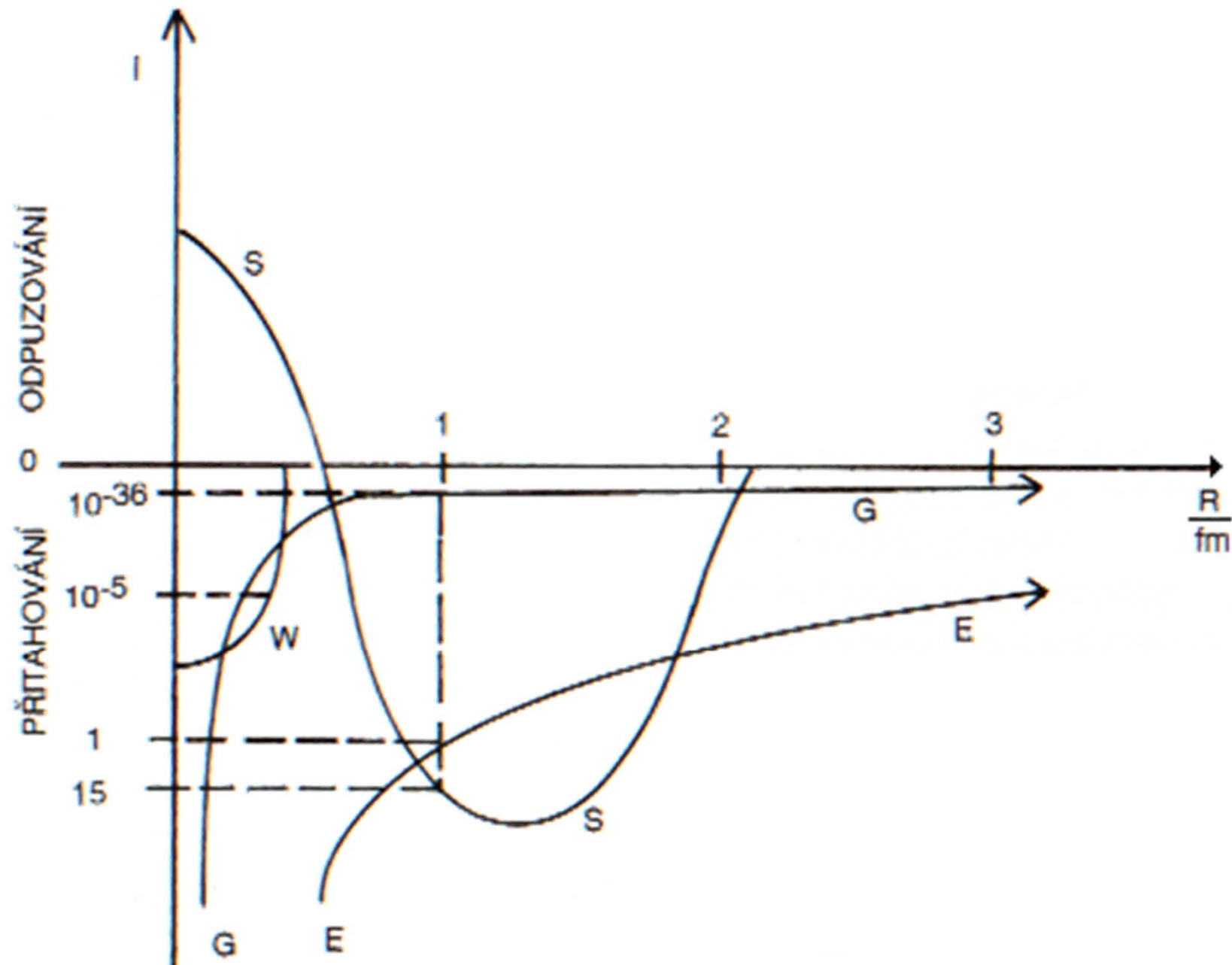
E - fixuje atomy a strukturu látek, váže elektron k jádru; způsobuje elektromagnetické jevy;

W - způsobuje beta rozpad částic; příroda by se bez ní víceméně obešla;

G - v mikrosvětě zanedbatelná; stěžejní pro astronomii (drží pohromadě soustavy vesmírných těles, formuje hvězdy, ...).

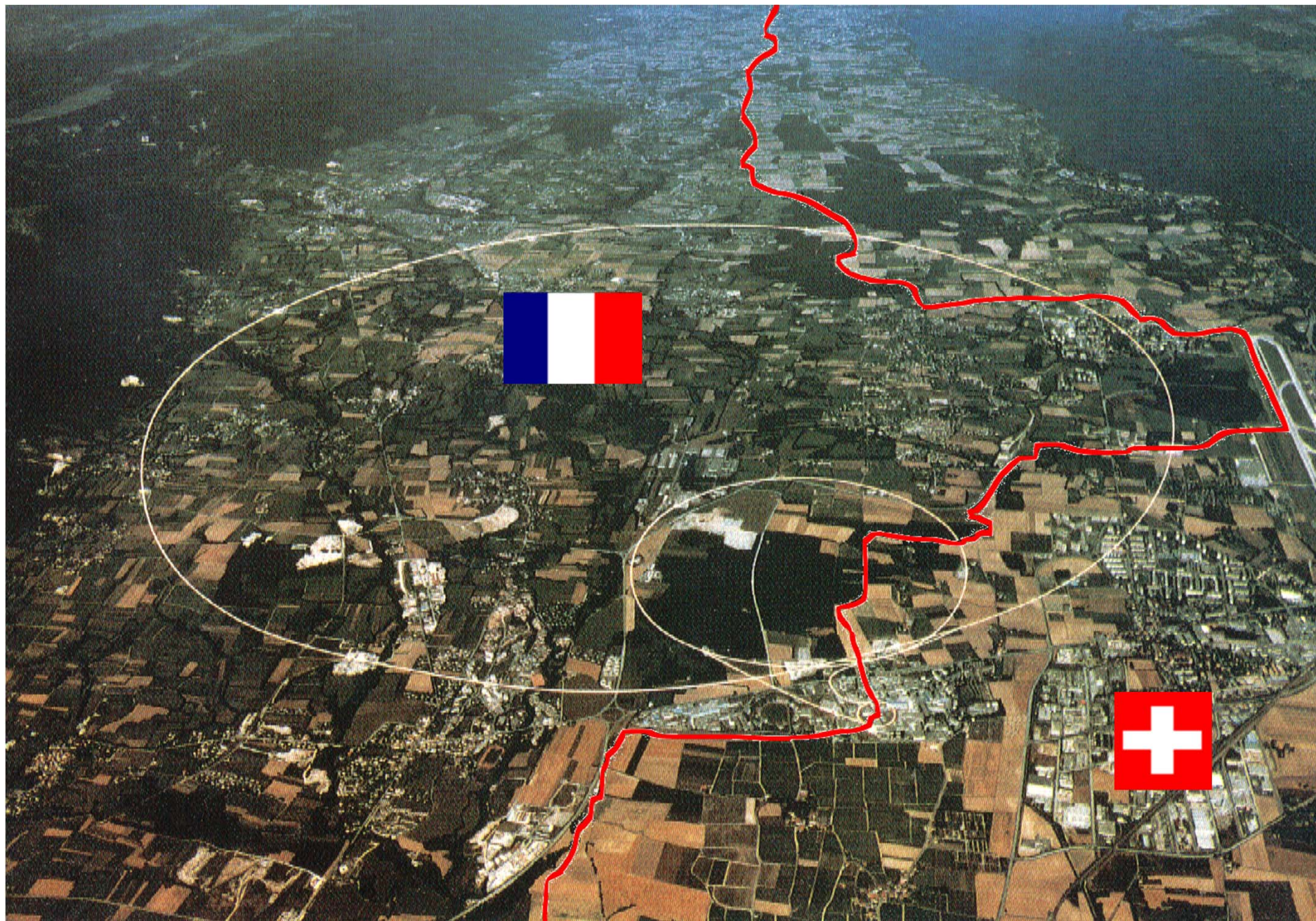
INTERAKCE

... vzájemné srovnání



CERN

... celkový pohled



Vše začalo doslova na zelené louce, kde si skupinka vědců mezi krávami vybírá vhodné místo na stavbu budoucího **Evropského střediska pro jaderný výzkum (CERN)**.

Sur le terrain du futur institut nucléaire



Sous la conduite de M. A. Picot, les membres du Conseil européen pour la recherche nucléaire se sont rendus hier à Meyrin pour reconnaître le terrain où s'élèvera le Centre nucléaire (voir en Dernière heure)

(Photo Freddy Bertrand, Genève)

1949 - k obnovení rovnováhy a oživení evropské vědy navrhl nositel Nobelovy ceny Louis de Broglie na Evropské kulturní konferenci v Lausanne vytvoření Evropské vědecké laboratoře;
1950 - na 5. Generální konferenci UNESCO ve Florencii navrhl americký fyzik a nositel Nobelovy ceny Isidor Rabi rezoluci, jednomyslně přijatou, která zavazovala UNESCO „*podporovat vznik regionálních center a laboratoří s cílem zintenzivnit a zefektivnit mezinárodní spolupráci vědců ...*“

6. 10. 1955 - Felix Bloch, první generální ředitel CERN,
zahajuje pokládání základního kamene



1957 - první urychlovač v CERN, 600 MeV protonový synchrotró-cyklotron; prvním objevem je rozpad pionu na elektron a neutrino



1959 - zahajuje práci první velký urychlovač: Proton Synchrotron (28 GeV), na čas největší urychlovač na světě; láhev šampaňského rozbíjí Niels Bohr



1963 - fotografie neutrinových interakcí v bublinové komoře;

1965 - dohoda s Francií umožňuje rozšířit laboratoř na francouzské území; CERNská rada schvaluje stavbu urychlovače *Intersecting Storage Rings* (ISR), světově prvního collideru protonů;

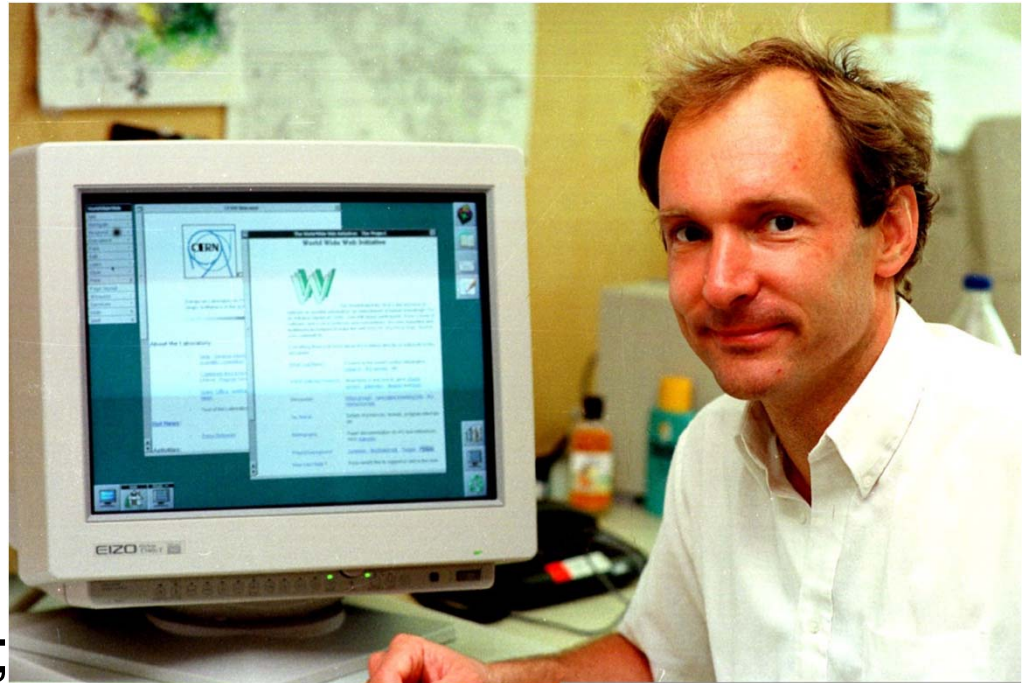
1971 - pracuje ISR; začíná výstavba druhé části laboratoře na francouzském území - na urychlovači *Super Proton Synchrotron* (SPS) s obvodem 7 km, plán energií: 300 GeV;

1981 - rada schvaluje výstavbu urychlovače LEP (*Large Electron-Positron collider*), který je se svým 27 kilometrovým obvodem největším dosud stavěným vědeckým přístrojem, LEP bude začínat s 50 GeV na svazek;

1983 - objev bosonů W (leden) a Z (květen), dlouho hledaných nosičů slabé interakce; objev potvrdil elektroslabou teorii sjednocující slabé a elektromagnetické síly.

srpen 1989 - začíná pracovat LEP; v říjnu jsou provedena extrémně přesná měření, která ukazují, že v přírodě jsou tři druhy neutrin;

1990 - Tim Berners-Lee navrhuje distribuovaný informační systém, který je založený na hypertextu a odkazech na části informace uložené na různých počítačích; pro tento systém volí jméno „*World-Wide Web*“;



1994 - Rada jednohlasně schvaluje výstavbu urychlovače LHC (*Large Hadron Collider*), který je tím správným nástrojem pro budoucnost;

září 1995 - mezinárodní skupina vedená Walterem Oelertem syntetizuje antiatom vodíku.

1997 - po podpisu dohody o poskytnutí podstatného příspěvku na LHC (531 M\$) se USA stávají pozorovatelským státem v CERN;

2000 - experimenty poskytují přesvědčivé signály existence nového stavu hmoty: kvark gluonové plasmy, který je 20krát hustší než obvyklá hadronová hmota a ve kterém se kvarky osvobozují od vazby v nukleonech a volně se pohybují; tento stav hmoty existoval několik mikrosekund po Velkém Třesku, před vytvářením hmotných částic;

listopad 2000 - LEP; během 11 let existence potvrdily 4 experimenty na LEP *Standardní model* s mimořádnou přesností;

10. 9. 2008 - slavnostně uveden do provozu LHC; po nehodě chladicího systému uveden opětovně do provozu 20. 11. 2009;

14. 3. 2013 – potvrzen objev Higgsova bosonu.

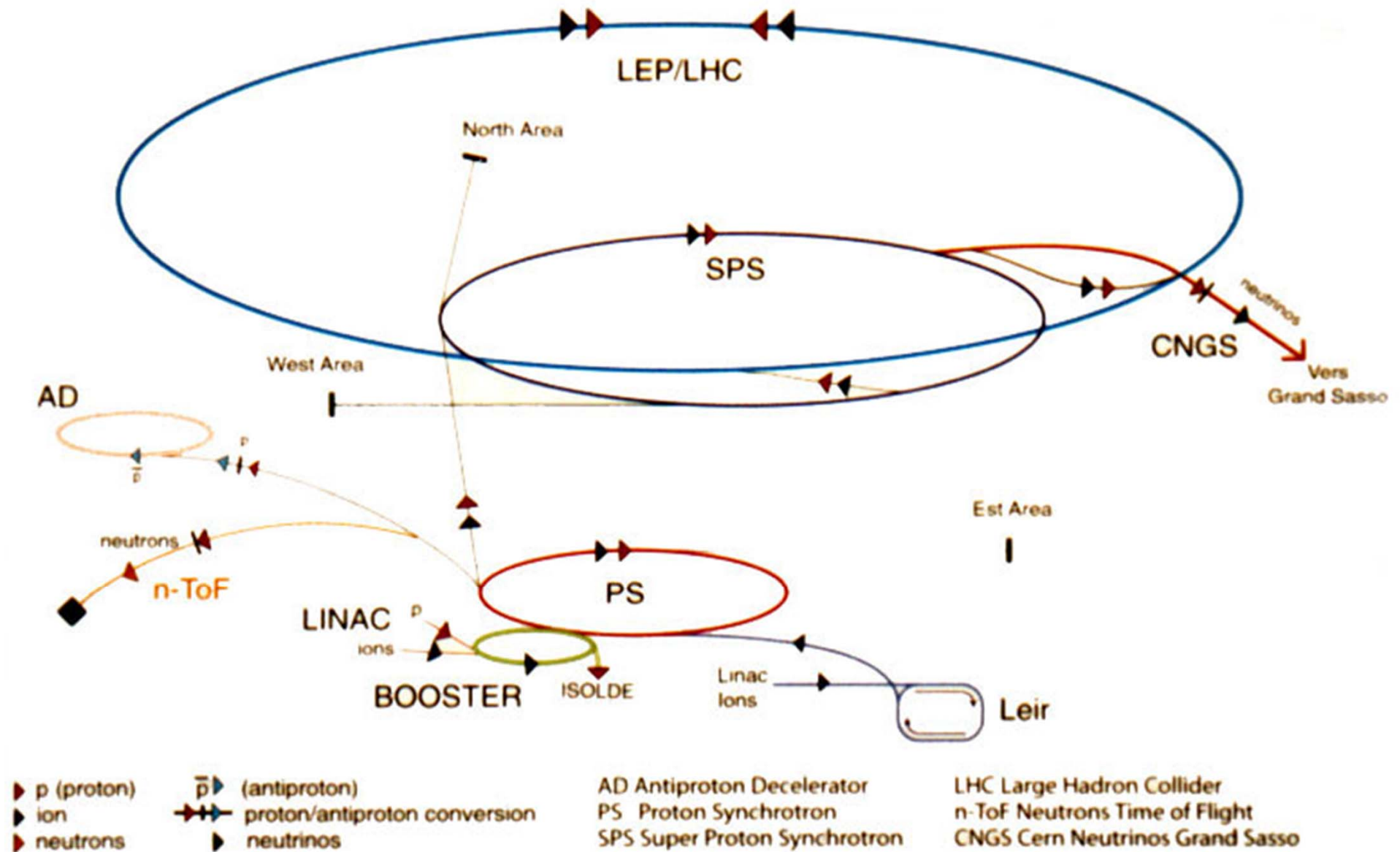
CERN

... historie

interakce CERN – Panská:

- 19. 5. 2006;
- 16. 5. 2008;
- 21. 5. 2010;
- 18. 5. 2012;
- 8. 5. 2014.





nabité částice s elektrickým nábojem Q , které se pohybují v elektromagnetickém poli popsaném elektrickou intenzitou $\vec{E}$ a magnetickou indukcí $\vec{B}$ rychlostí $\vec{v}$, urychluje Lorenzova síla

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


urychlování částic

(mění se **VELIKOST** rychlosti);
urychlovací dutiny

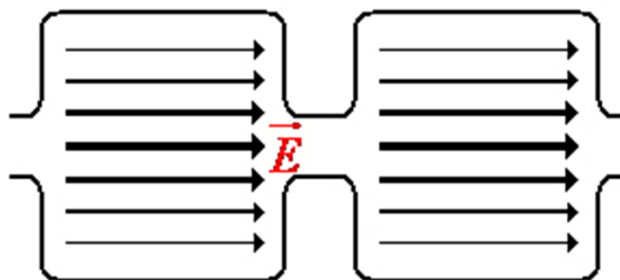
zatačení částic

(mění se **SMĚR** rychlosti);
magnety

CERN

... princip

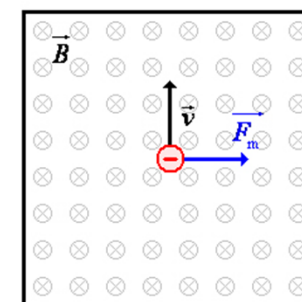
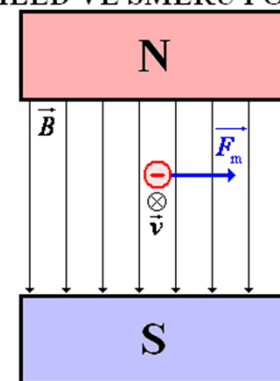
urychlovací dutiny



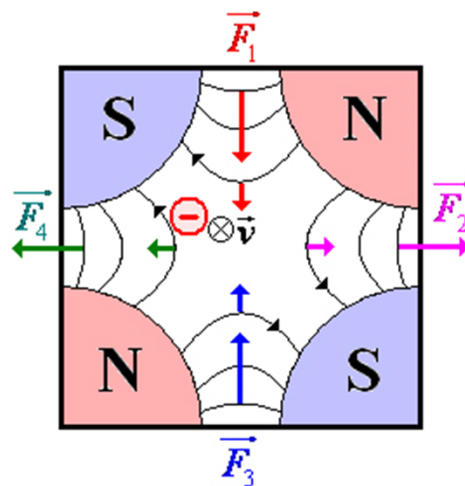
dipólové magnety

POHLED VE SMĚRU POHYBU

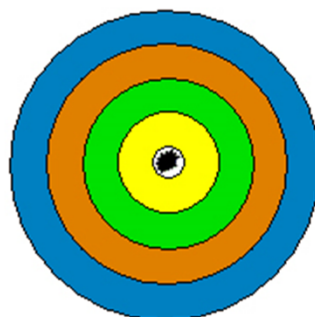
POHLED SHORA



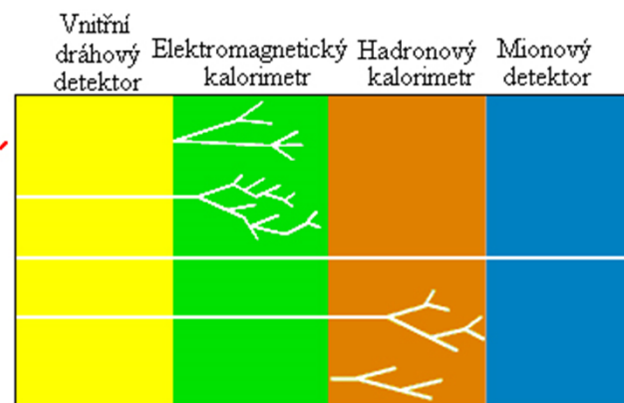
kvadрупólové magnety

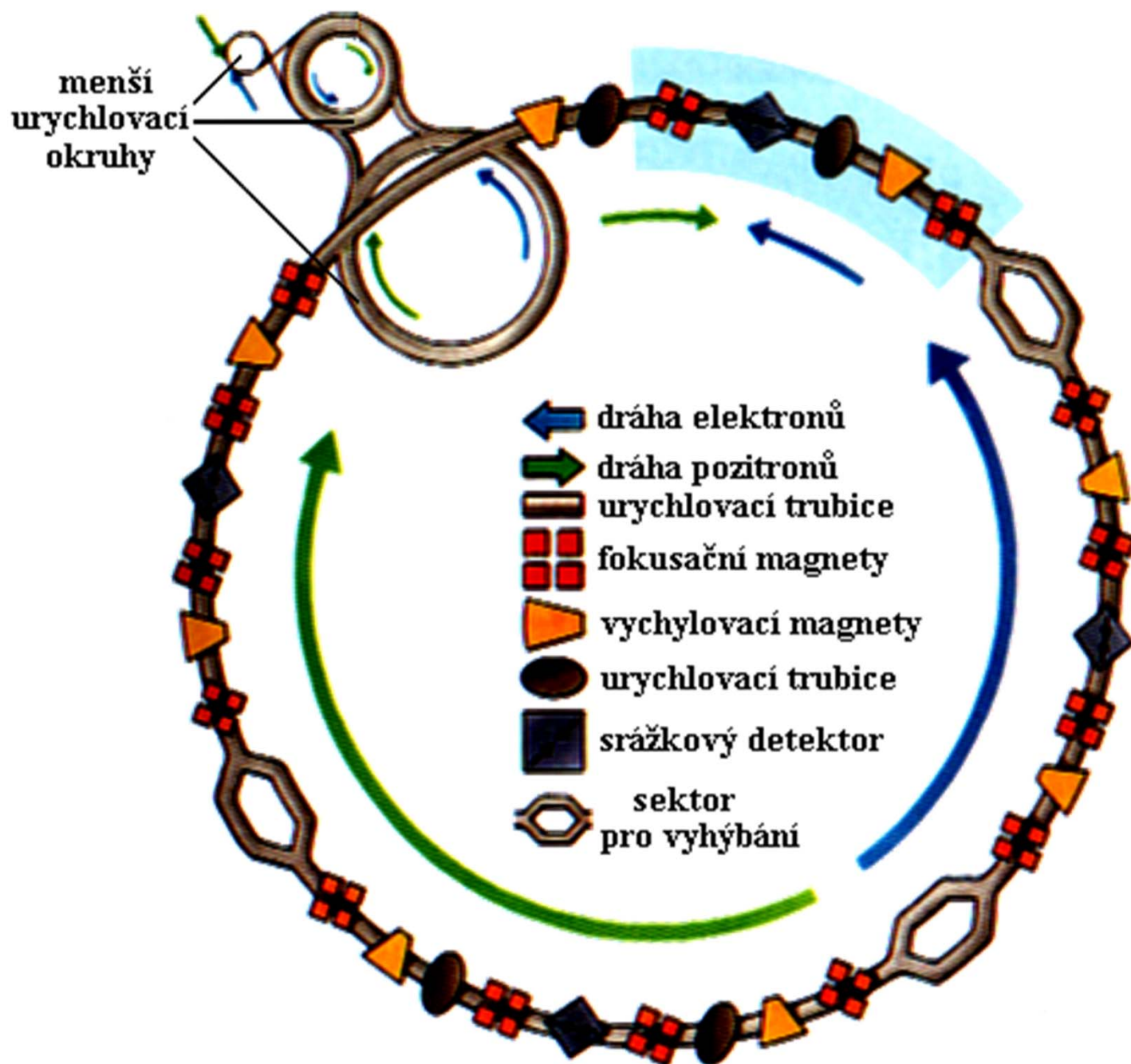


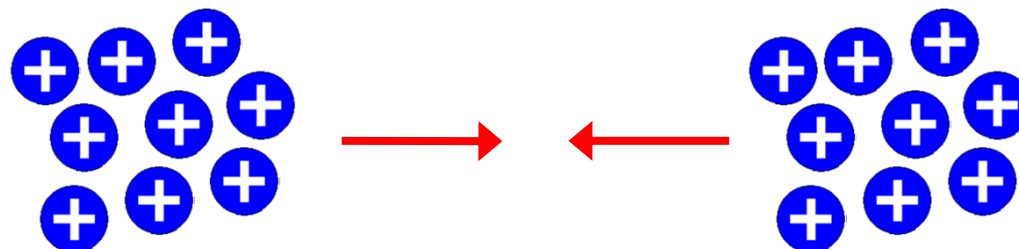
detektory



foton 
elektron,
pozitron 
mion 
pion,
proton 
neutron 







srážka shluku protonů - každých 25 ns (tj. s frekvencí 40 MHz);
v každém shluku se setká 23 protonů - frekvence srážek tedy je 1 GHz;

proto se používá trigrovací systém, který vybírá jen ty zajímavé události; frekvence srážek klesne na zhruba 100 Hz;

1 událost = 1 MB dat, tj. každých 7 s CD (každých 45 s DVD);

zaznamenaná data se posílají do členských států k dalšímu zpracování.

Proč stavět tak velké urychlovače?

Nestačily by menší?

Nestačily:

⊠ částice pohybující se se zrychlením ztrácí část své energie ve formě elektromagnetického záření;

$$E \approx a = \frac{v^2}{r}$$

⊠ částice se pohybují po kružnici; síla způsobující změnu směru pohybu částice je také přímo úměrná velikosti zrychlení, tedy nepřímo úměrná poloměru;

⊠ na delší dráze stačí menší velikost urychlující síly, a tedy i menší energie.

Proč vydávat M\$ za velké experimenty?

Co z toho budou mít „normální“ lidi?

- ⊗ World Wide Web;
- ⊗ výzkum částic (cílenější výroba a aplikace léků, ...);
- ⊗ rozvoj technologií a jejich následné zavádění do praxe;
- ⊗ možnost objevů velké ekonomické a praktické důležitosti;
- ⊗ vzdělávání (exkurze SPŠST Panská ☺, ...);
- ⊗ pracovní příležitosti;
- ⊗ rozvoj kultury, vědy a techniky;
- ⊗ spolupráce mezi národy;
- ⊗ ...

ZÁVĚR

... zdroje a poděkování

Jiří Dolejší, MFF UK Praha

R. Zajac, J. Šebesta: *Historické pramene súčasnej fyziky*, Alfa Bratislava, 1990

Charles Seife: *Nula - životopis jedné nebezpečné myšlenky*, Nakladatelství Dokořán a Argo, Praha 2005

Děkuji za pozornost ☺