

Čo sme vedeli pred 100 rokmi a čo vieme dnes z hľadiska časticovej fyziky

Stanislav Tokár

Univerzita Komenského
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Katedra jadrovej fyziky a biofyziky
Bratislava

R. 1904: čo sa vedelo...

- **Gravitačná sila:** Newtonov zákon + pohybové rovnice → výpočet dráh planet (integrálny a diferenciálny počet)
- **Elektromagnetická sila:** Javy elektrické a magnetické sú prejavy jednej a tej istej sily (Faraday - experimentálne, Maxwell- teória)
Elektromagnetické vlny experimentálne potvrdené (Hertz) - báza pre vznik telefónu, rádia, etc
- **Termodynamika:** základné zákony I a II veta termodynamická + kinetická teória (Gibbs, Boltzmann)
(zákon zachovania energie, pojem entropie - zákony tepla: tepelný stroj)

R. 1904: čo sa vedelo...

Svet smerom von

- **Známy svet:** Galaxia - vzdialenosti k blízkym hviezdám ~ 100 ly, skúmaný vesmír : $R_{ex} \sim 10^{18}$ m
- Nie je známe čo je **zdrojom energie Slnka**, hviezd (zdroj energie = gravitačné zmršťovanie)
- Nie sú vedecké argumenty pre **počiatok a rozmer vesmíru**, ani pre jeho **evolúciu** (stvoreníe vs „steady state“)

Svet smerom dnu

Najmenšia častica látky je **atóm**.

Atóm: je homogenná guľa kladne nabitej hmoty, v ktorej plávajú elektróny (J.J. Thompson). $R_{in} \sim 10^{-10}$ m

J.J. Thompson: Na nebi fyziky sú **len 2 čierne body:**

1. spektrum žiarenia absolutne čierneho telesa
2. Špecifické teplo tuhých látok pri nízkych T

20. Storočie = revolúcia vo fyzike

Teória relativity (Lorentz, Poincare, Einstein R. 1905)

- čas a priestor sú vzájomne prepojené: pád absolutnosti času: v rôznych inerciálnych sústavách čas plynie rôzne.
- Energia vs hmotnosť: $E = mc^2$
- Filozofické zmeny v pohľade na svet → koncepcia časopriestoru

Všeobecná teória relativity (Einstein R. 1916)

- vlastnosti priestoru a času závisia od rozloženia hmotnosti (energie) → organické spojenie časopriestoru s hmotou.
- Reálny časopriestor je neeuklidovský → zakrivenie priestoru, spomalenie času pri hmotných telesách.
- Nestacionárne riešenie Einsteinových rovníc (Friedman 1917) expandujúci vesmír, počiatočná singularita (Big Bang)

Záhada atómu

Existencia atómového jadra

→ priemer jadra:

1/10 000 priemeru atómu

→ hmotnosť jadra:

99.95% hmotnosti atómu.

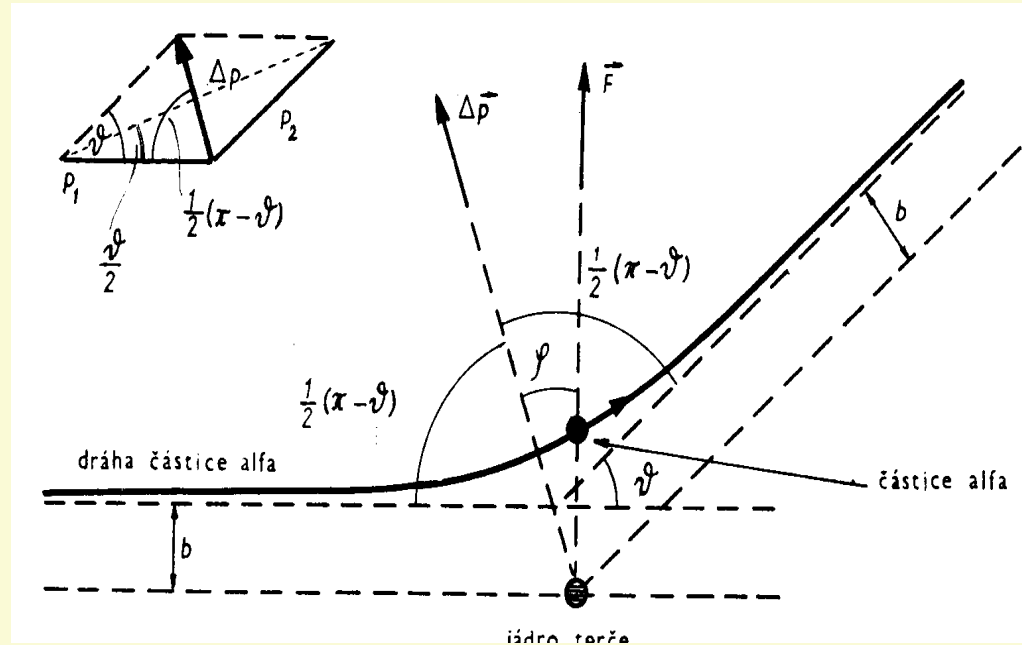
Rutherfordov
experiment:
Rozptyl α +Au



- Väčšina α -častíc sa nerozptyľuje
- Niektoré α -častice sa rozptyľujú aj na veľké uhly



Protirečí Thomsonovmu modelu atómu: $M_{\alpha} \approx 7000 \times m_{el}$



Záhada atómu

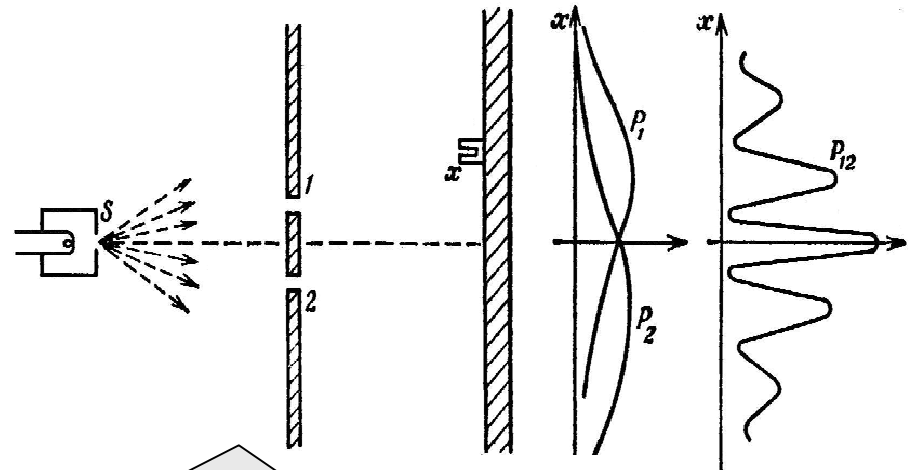


Kvantová teória

Kvantová teória- záhada atómu

Kvantová teória (Bohr, Schrodinger, Heisenberg, Dirac 1913- 1929)

- Princíp neurčitosti → indeterminizmus, pojem trajektorie stráca zmysel.
- KT vyriešila štruktúru atómu → nový pohľad na mikrosvet
- Vplyv KT:
Filozofické myslenie
Technológia



- elektrón sa správa ako vlna: $\lambda = h/p$
- pri registrácii ako bodová častica

20-30. Roky: obraz Vesmíru sa mení

Vesmír: veľké ďalekohľady (2.5m, Mount Wilson)

- **Existencia galaxií** : hmlovina Andromedy obsahuje hviezdy (Hubble, 1923)
- **Určenie vzdialenosti k galaxiám** (periodické zmeny cefeid súvisia s ich absolútnou svietivosťou)
- **Vesmír sa rozširuje** (červený posuv v spektrách galaxií, M. Slipher → Dopplerov jav: Galaxie sa pohybujú)
- Červený posuv galaxií je **priamo úmerný ich vzdialenosti** od nás (Hubble, 1929: vzdialenosti k 18 galaxiám)

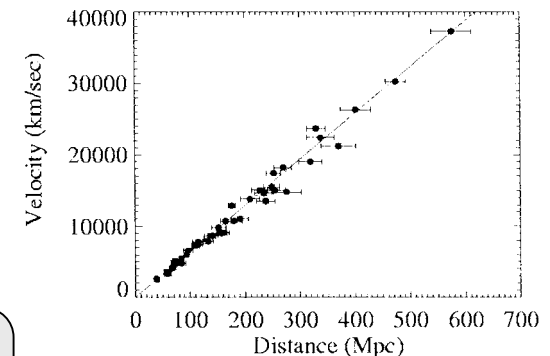
R.1936, Hubble, Humason:

Kopa galaxií (Veľkej medvedice)

sa vzdialuje **rýchlosťou 42000 km/s**

Vzdialenosť: 250 miliónov L.y. $\approx 3 \times 10^{24} \text{m}$

Vesmír má počiatok ($\sim 10^9$ rokov)
→ Horúca fáza (Big Bang) + expanzia



... Obraz mikrosveta sa mení

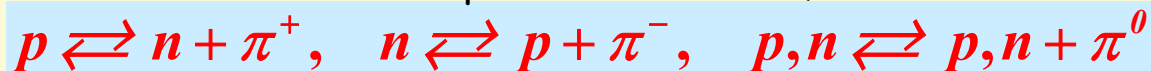
Ťažisko skúmania: **atómové jadro** (10^{-14} m)

- **Objav neutrónu** (Chadwick, 1932: neutrálne žiarenie vznikajúce pri ožarovaní Be, Li je tvorené neutrónnymi časticami s $M \approx M_{\text{proton}}$)

Atómové jadro je tvorené protónmi a neutrónmi

- Čím sú viazané nukleóny v jadre?

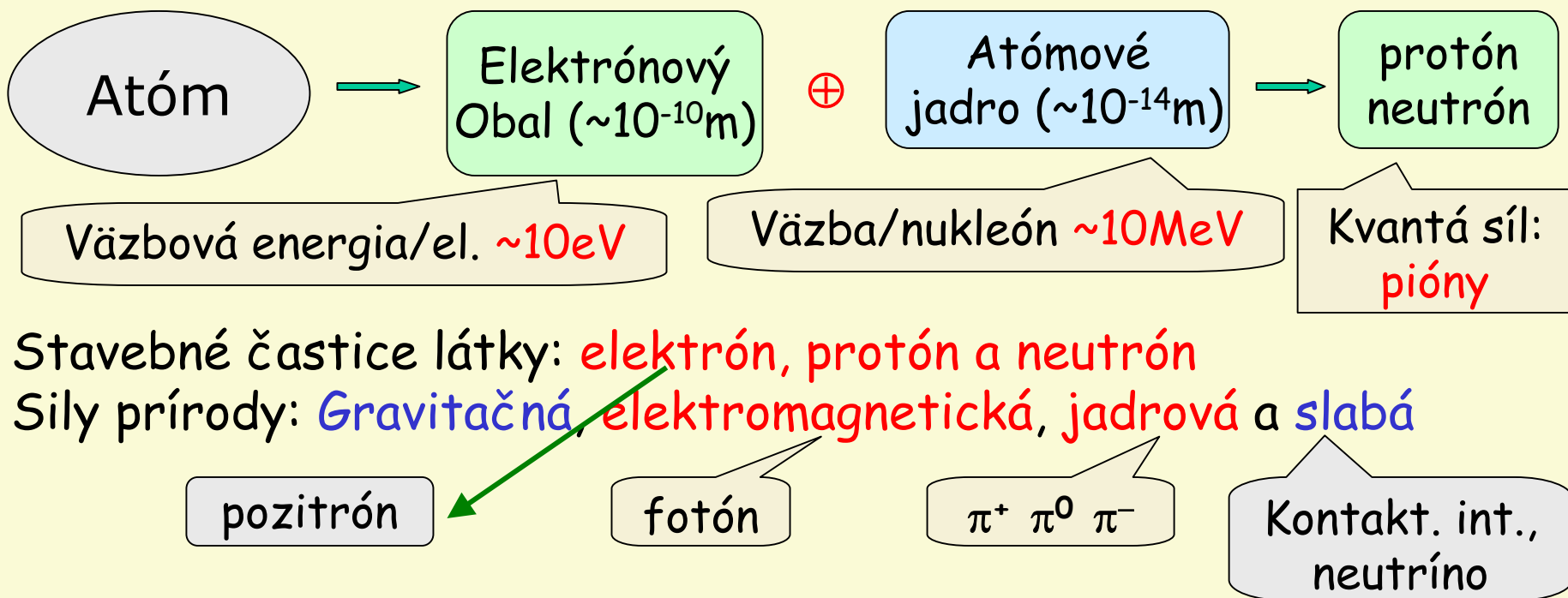
R. 1935, Yukawa: jadrové sily sú **výmenné sily** - nukleóny si vzájomne vymieňajú piony, $m_{\text{pion}} \geq 200 m_{\text{el}}$, podľa schémy:



- Pri transmutácii jadier uvoľnenie obrovského množstva energie (syntéza ľahkých jadier, štiepenie ťažkých jadier) → Hahn, Strassman, 1939: štiepenie Uránu → reťazová reakcia

- ✓ **Objavenie pozitrónu** (Anderson, 1932) → pojem antičastice
- ✓ **Urýchlenie protónov** (Cockroft + Walton, 1932) → éra urýchľovačov

Obraz mikrosveta - koniec 30. R



Rozdiely vo väzbovej energii: **štepnie ťažkých jadier a syntéza ľahkých jadier** $\rightarrow$ **uvoľnenie $\sim 10^6 \times$ viac** ako pri chem. proces.

Zdroj energie hviezd

Možnosť jadrových zbraní

Zdá sa: úplný obraz si žiada len najst' π ióny !!!???

Fyzika v 2. polovici 20. storočia

Objav π -mezónov (1950, v KŽ), ale

- Už predtým objav miónu ($m=207m_e$) - „zbytočná častica“ Načo?
- Rozvoj urýchľovačov: celý rad nových mezónov, baryónov, rezonancií

Poriadok v časticiach: Kvarková hypotéza (Zweig, Gell-Man 1963)

Pozorované častice a rezonancie

3 kvarky: u, d, s + anti- q

Koľko je kvarkov ?

Aké sily pôsobia medzi nimi?

Zjednotenie elektromagnetických a slabých síl (1968, Glashow, Salam, Weinberg) do elektroslabej interakcie (EW)

- Slabé sily sú vymenné sily sprostredkované W^+, W^- a Z -bozónmi
- Podstata zjednotenia: pri vysokých energiách W^+, W^- a Z a fotón sa spávajú ako rôzne formy jednej výmennej častice
- Kvarky musia vytvárať doublety: $(u, d), (? , s) \dots$

Posledná štvrtina 20. storočia

Experiment objavuje:

- kvarky c (1974), b (1977), t (1995)
- Kvanta slabých interakcií W^+ , W^- a Z -bozóny (1983)
- Nové leptóny: τ -leptón a neutrína ν_e , ν_μ , ν_τ
- Predpovede EW-teorie sú vo vynikajúcej zhode s experimentom

Čo viaže kvarky? $\longrightarrow$ Kvantová chromodynamika QCD (70.R):

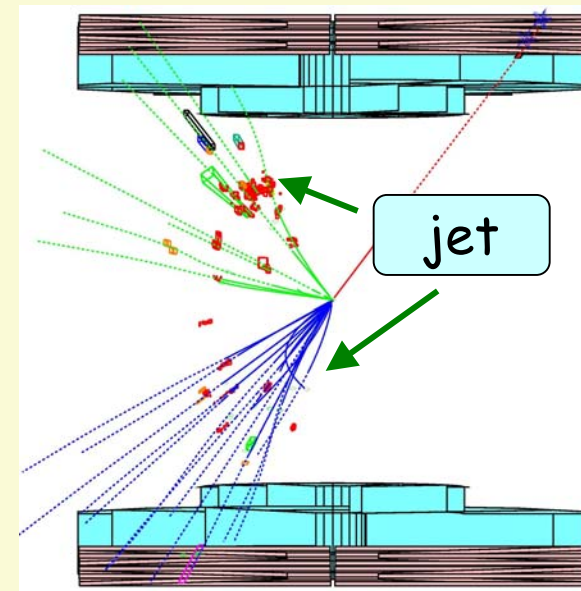
- Sily medzi kvarkami sú sprostredkované 8 gluónmi
- Kvarky sa môžu vyskytovať v 3 nábojových stavoch (R,G,B)

Experimentálny prejav gluónov a kvarkov:

Jety $\rightarrow$ prúdy častíc pod blízkymi uhlami z rovnakého bodu.

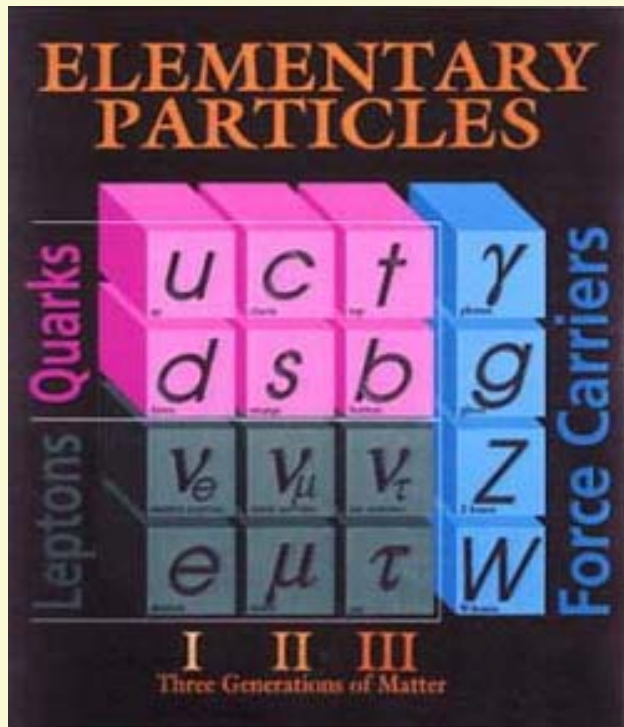
Štandardný model

EW + QCD vynikajúca zhoda s experimentom



Častice a sily prírody

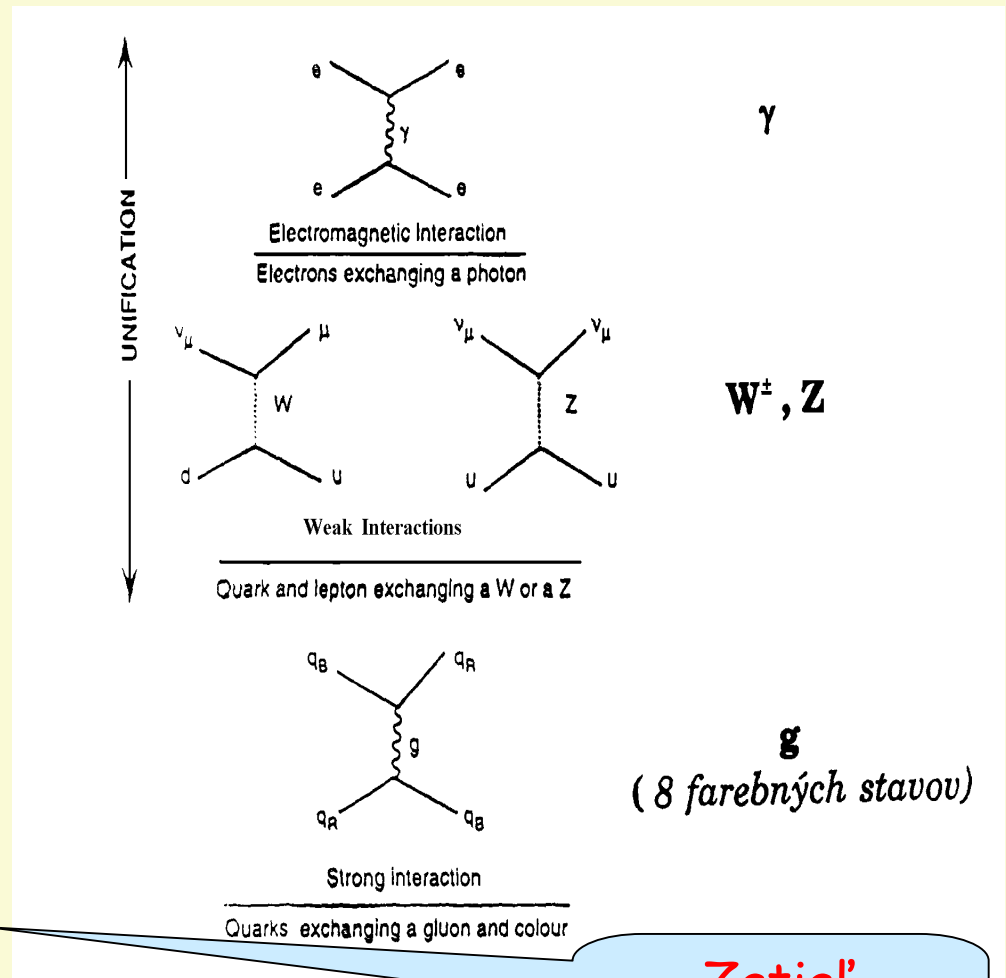
Sily sú sprostredkované vymennými časticami



? Higgsove častice
Vákuum=Higgsov kondenzát

26/01/2005

S. Tokár, UK FMFI



Zatiaľ
neobjavené

10 microseconds

Quarks form protons.

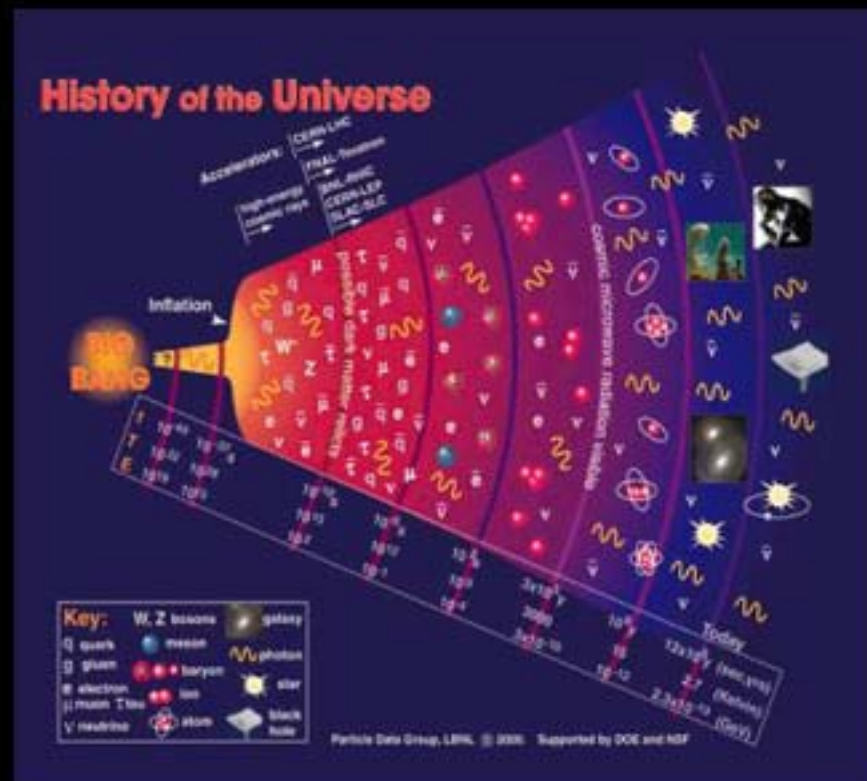
300,000 years

Nuclei capture electrons
and form atoms.

The universe becomes transparent.

13,700,000,000 years

Today



Častice vs. ranný vesmír

čas (sec)

0 $\Rightarrow$ *Big Bang* ($T \sim -15 * 10^9$)

↓

10^{-32} $\Rightarrow$ *Kvarková epocha* (farebný svet)

|

10^{-12} $\Rightarrow T \sim 3 * 10^{15} \text{ K}$ ($E \sim 200 \text{ GeV}$):

- Fázový prechod $\rightarrow$ **Vznik Higgsovo kondenzátu**
 $\rightarrow$ leptóny, kvarky, $W^\pm$, Z-bozóny nadobúdajú M
- Vznik prebytku látky nad antilátkou ($\sim 1:10^{10}$)

↓

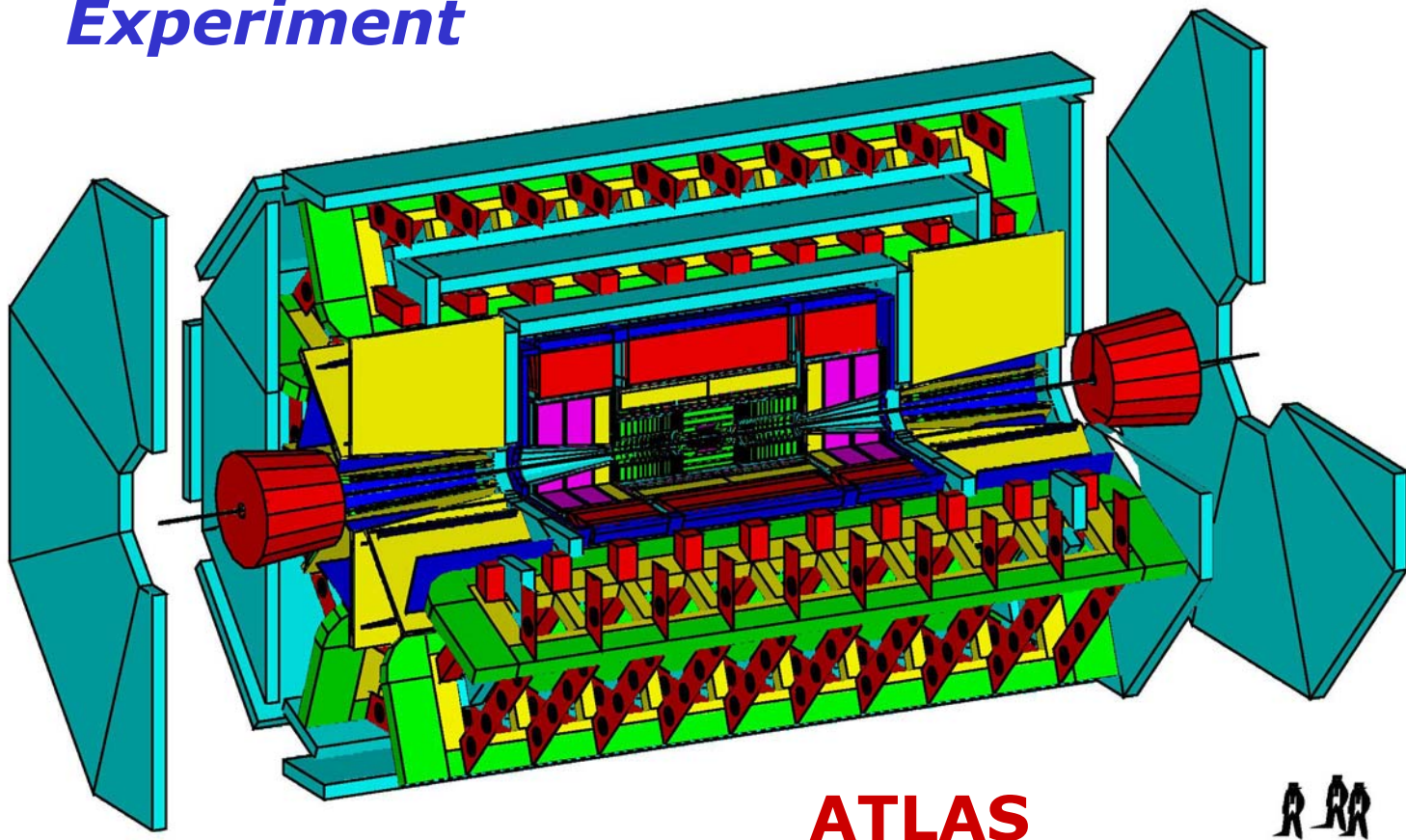
10^{-11} $\Rightarrow T \sim 10^{15} \text{ K}$ ($E \sim 100 \text{ GeV}$): $\leftarrow$ **Súčasný exp.**

Obsah vesmíru: leptóny, kvarky, gluóny,
 $W^\pm$, Z-bozóny, fotóny

Budúcnosť sa volá LHC-Atlas

LHC urýchľovač: $pp\ 7\text{GeV}\times 7\text{GeV}$, $L=200\times\text{Tevatron}$

Experiment



ATLAS



Začiatok: 2007

Ste vítaní na *UK FMFI*

Prečo?

Má význam študovať na FMFI ?

? Čo ponúka **F**akulta

Matematiky

Fyziky a

Informatiky

Uzavierka prihlášok: **28-Feb-2005**

Ešte je čas...

Štúdium (FMFI UK)

- *Tradičné odbory:* Matematika, Fyzika a Informatika
- *Nové odbory:* biomedicínska fyzika,
ekonomická a finančná matematika,
matematika-manažment
umelá inteligencia

Fakulta ponúka:

- 3-ročné bakalárske štúdium (1. St. VŠ, titul Bc.)
- 2-ročné magisterské štúdium (2. St. VŠ, titul Mgr.)

Pokračovanie v štúdiu:

Doktoranské štúdium (titul PhD.)

Učiteľské zamerania

Množstvo kombinácií:

fyzika-matematika, fyzika-informatika,
matematika-informatika,
matematika-deskriptívna geometria,
matematika-telesná výchova
matematika-biológia, matematika-biológia,
matematika-geografia,
informatika-biológia, ...

Získa sa: pedagogická odbornosť
počítačová gramotnosť
univerzálnosť,...

Exaktné vedy: otázky a názory

- Exaktné vedy (fyzika, etc.) sú neperspektívne pre SR (len prevel'kých a bohatých...)

Veda je medzinárodná - EU podporuje multinárodné projekty
Kvalita $\Rightarrow$ možnosť získať prostriedky mimo SR

- FMFI sa nehodí pre dievčatá ... Odporuje to vraj duchu ženy...

Chod'te do Fermilabu (CDF, D0) a svoj omyl pochopíte...
komplementarita v myslení M vs Ž robí tím efektívnejším

- Exaktné vedy sú poľom pre chytrých „čudákov“ pre bossov (BMW, Mercedes, Lexus,...) sa veda nehodí...

Ak ukážete schopnosti viesť vedecký tím
môžete sa vozit'v BMW...(ak je to pre vás dôležité)

Exaktné vedy - ich perspektívy

<i>SR na vedu a výskum dáva</i>	<i>: 0.6% HDP</i>
<i>Švédsko</i>	<i>: 2.4% HDP</i>
<i>EU minimálne</i>	<i>: 2.0% HDP</i>

Možnosť získať granty EU
Spolupráca so zahraničnými partnermi

Môže sa zaobísť národ bez vedy?

Áno!

... ale budúcnosť sa zaobíde bez neho!

Extra slajdy

Štandardný model

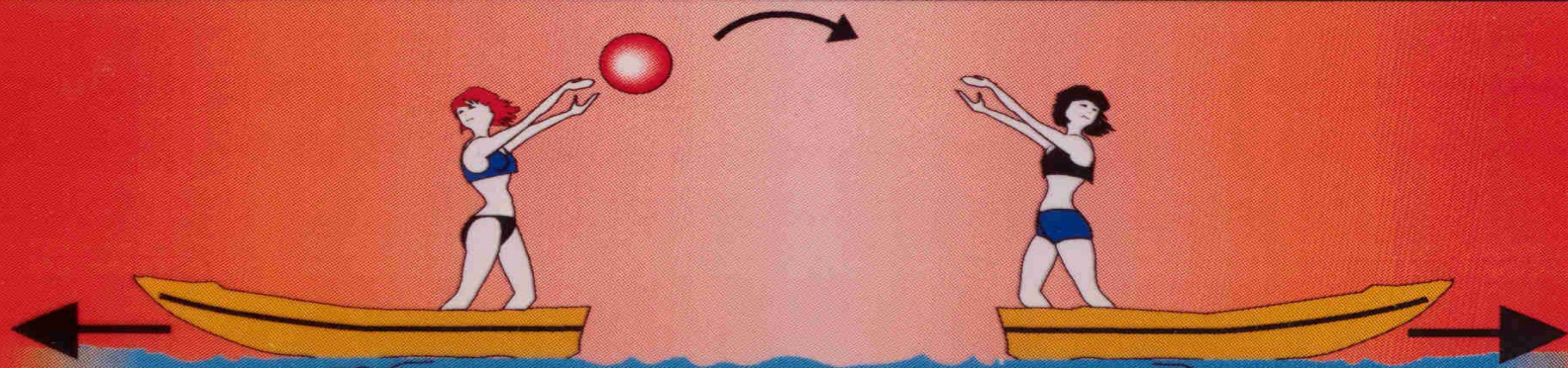
Obsah *štandardného modelu* (*SM*):

- *Teóriu elektroslabých interakcií*
(*elektromagnetické javy a javy slabých interakcií*)
- *Teóriu silných interakcií (QCD)*
(*sily pôsobiace medzi kvarkami, nukleónmi etc.*)
- ✓ *Gravitácia nie súčasťou SM !*
(*Problémy s kvantovou teóriou gravitácie*)

Veľkosť síl prírody

THE FORCES IN NATURE

TYPE	INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER)	BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM)	OCCURS IN :
STRONG NUCLEAR FORCE	~ 1	GLUONS (NO MASS)	ATOMIC NUCLEUS
ELECTRO -MAGNETIC FORCE	$\sim 10^{-3}$	PHOTONS (NO MASS)	ATOMIC SHELL ELECTROTECHNIQUE
WEAK NUCLEAR FORCE	$\sim 10^{-5}$	BOSONS Z^0, W^+, W^- (HEAVY)	RADIOACTIVE BETA DESINTEGRATION
GRAVITATION	$\sim 10^{-38}$	GRAVITONS (?)	HEAVENLY BODIES



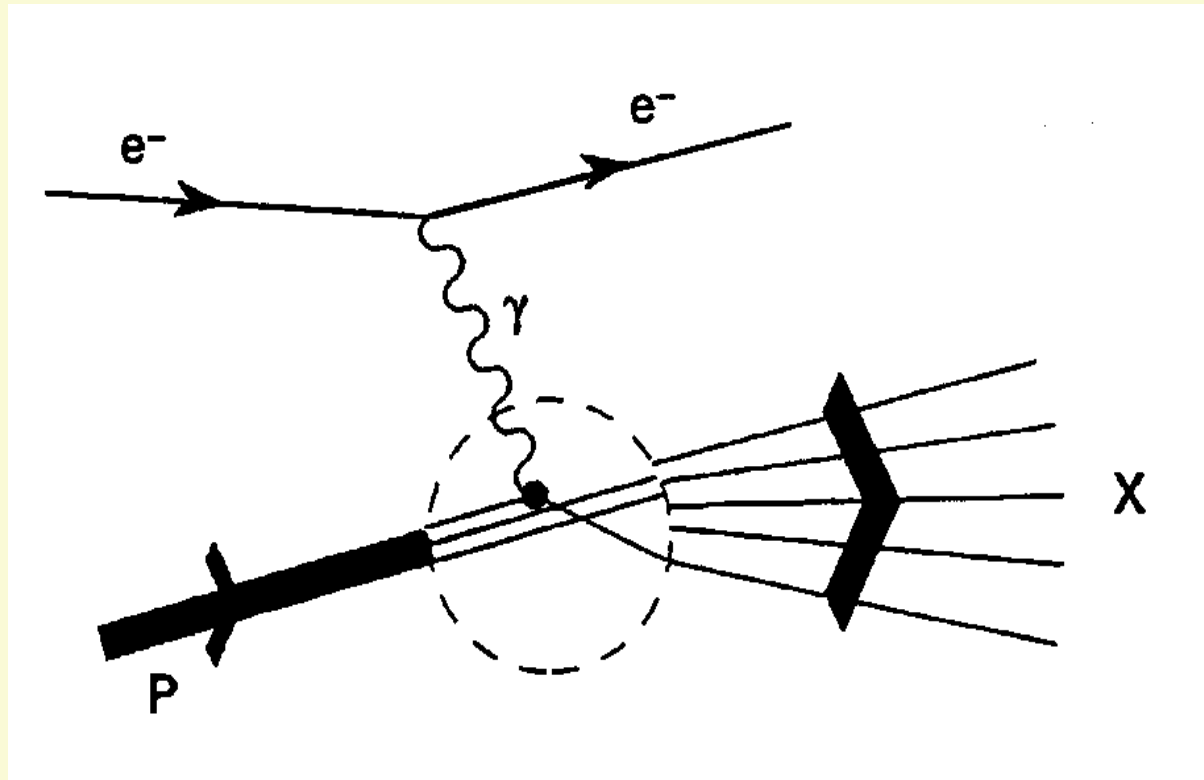
THE EXCHANGE OF PARTICLES IS RESPONSIBLE FOR THE FORCE

Ako skúma fyzika štruktúru látky?

Recept:

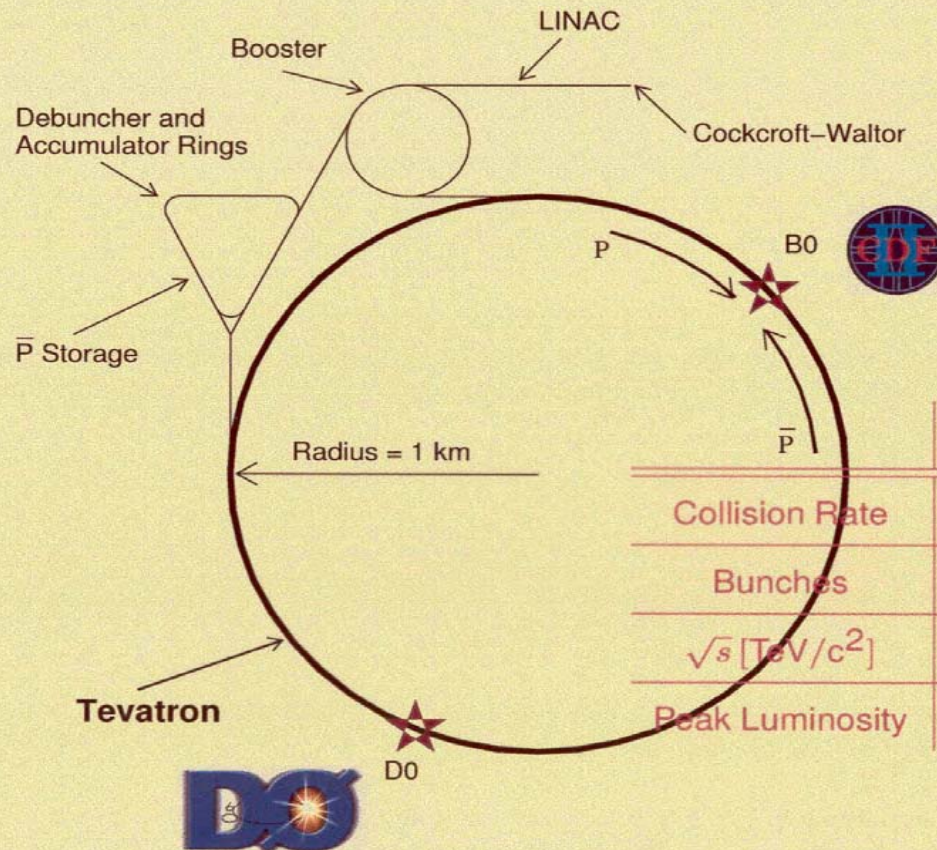
- Poznáme rozptyl bodových častíc
- hľadáme odklon od bodového rozptylu

Interakcia
elektrónu s
protónom



Urýchľovač Tevatron

The Tevatron



	Run I	Run II
Collision Rate	$3.5 \mu\text{s}$	369 ns
Bunches	6×6	36×36
$\sqrt{s} [\text{TeV}/c^2]$	1.8	1.96
Peak Luminosity	2.4×10^{31}	4.4×10^{31}

Informácia o časticiach... Ako?

Experimenty troch základných typov:

- Urýchľovačové experimenty s protiběžnými zväzkami (pp , ep , e^-e^+)
- Urýchľovačové experimenty s pevným terčom (pA , πA , KA)
- Neurýchľovačové experimenty

