

O směru času

doc. RNDr. *Josef Jelen* CSc.
FEL ČVUT
2011

O SMĚRU ČASU

- V čem vlastně spočívá rozdíl mezi minulostí a budoucností:
 - **Film z restaurace:** Host pojídá pečené kuře...
Týž film puštěný pozpátku. Lidé se smějí. Proč ale?
(Fyzik odchází zasmušilý, nemá se čemu smát...)
 - **Sklenka vína spadla se stolu, rozbila se a víno zničilo koberec...**
Proč ne pozpátku? Čemu to odporuje? Všechny zákony zachování jsou splněny.
(Energie, hybnosti, momentu hybnosti, el.náboje, kvantových čísel,...)
 - **Život člověka pozpátku...**
(To už je příliš drsné. Hřbitovy jako porodnice?...)

- **ČAS**
 - Životně důležitý, čas přece žijeme...
Čas nás provází v životě, kultuře, filosofii, vědě...
Rozumíme mu ale?
- **VĚDA**
 - Poznávání světa, dějů ve světě...
Smyslové zkušenosti (experimenty).
Pojmy, logická analýza, atd.
Aplikace (využití v životě) => fantastický úspěch člověka (Homo sapiens).
- **FYZIKA**
 - Jádro přírodní vědy.
(„redukce“ až na úroveň atomů, částic, polí,...)
Hierarchie věd (fy, ch, bi, člověk,...).
Fyzika je všude, kde jsou atomy...a co vakuum?
Tam už jedině fyzika...

Ale co ví o čase?

ČAS

- **MINULÉ** - Jisté, už se stalo, nemůžeme ovlivnit, máme v paměti, ...
- **BUDOUCÍ** - Nejisté, neznámé, můžeme ovlivnit, máme přání, ...
- **PŘÍTOMNÉ** - To mezi tím (?), dost krátké...

Model kontinua (časová přímka v dějepise...).

Model, jako pro reálná čísla (Dedekindův řez, dvojice množin?).

Iracionální čísla, nekonečná posloupnost cifer, nekonečná informace...

Z fyziky se dostáváme zpět do „šedé“ oblasti filosofie...

Cesty novodobé vědy - Fyzika

- **NEWTONOVA MECHANIKA, 18. – 19. stol.**
 - V makrosvětě úžasně funguje.
 - PROSTOR – „jeviště“.
 - ČAS – drží „nit příběhu“.
 - V denním životě je to tak téměř „samozřejmé“.
Tak vnímáme svět svými smysly a běžným rozumem.
 - Newtonova mechanika „snesla nebe na zemi“ (Keplerovy zákony ... nebeská mechanika).
 - Čas měříme hodinami (kyvadla, oscilace). To je jistě fyzika.
 - Úspěchy mechaniky: stroje, mechanismy, letadla, rakety, pružnost, akustika, ...

- **TERMODYNAMIKA**

- 1850 →
- Teplo a teplota, tepelné stroje – jejich účinnost, pojem entropie.

- **ELEKTRODYNAMIKA**

- 1800 →
- Fantastické úspěchy.
- Výroba el.energie, transport, osvětlování, pohony, elmg. vlnění, světlo, rádio, TV, mobily, GPS, posun vozíčku na Měsíci či Marsu, ...
- Pohodlí dnešního životního stylu...
- Moc člověka na Zemi...

• TEORIE RELATIVITY

- 1905 →
- Prostor a čas nelze jednotlivě oddělit ($c = \text{konst.}$). Elektrodynamika je v prostoročase doma.
- $(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 - (c\Delta t)^2 = (\Delta s)^2$ prostoročasový interval.
- Geometrie prostoročasu (x, y, z, jct) , ale i (p_x, p_y, p_z, jcE) .
- Současnost není absolutní, „kvazisoučasnost“.
 $t_A < t_B, t'_A > t'_B$ (je-li $|r_A - r_B| > c|t_A - t_B|$)
- Omezená rychlost, omezený přenos interakcí, ... $v \leq c$

• OBECNÁ RELATIVITA

- Gravitace a relativita spojeny dohromady, ($m_s = m_g$).
- Zakřivenost prostoročasu...
- Modelování vesmíru jako celku...(kosmologie).
- Zakřivený vesmír je „dynamický“, expanduje...

- **KVANTOVÁ MECHANIKA**

- 1925 →
- Stav systému, Ψ funkce \equiv vektor v Hilbertově prostoru stavů.
- Diskrétní hodnoty veličin, předpovědi jen pravděpodobnostně, Heisenbergovy relace $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$, spin částic.
- Struktura atomů, struktura molekul, chemické vazby (i v biologii), mikroelektronika, miniaturizace, ...

- **KVANTOVÁ TEORIE POLÍ (FYZIKA ČÁSTIC)**

- e, p, n, π, K , kvarky, gluony, ... tzv. „Standardní model“. (chybí Higgsův boson...)
- „Do hloubky struktury hmoty...“, (TOE) „Teorie všeho“, ...

• TEORIE STRUN

- Obtížná, ale bohatá, samá matematika, mnoho dimenzí, místo částic jsou „struny“, ...
- Dosud není možno experimentálně testovat.
- Woit: „Dokonce ani ne špatně“ (podle Pauliho).

Uváděné „ŠIPKY ČASU“

- (termín od Eddingtona, 1929)

- a) Mechanická (termodynamická) – vše se rozpadá, opotřebovává, disipuje,...
- b) Radiační – záření jen ze zdroje, paprsek od hvězdy k nám, nikdy naopak.
- c) Biologická – život člověka.
- d) Psychologická – máme paměť.
- e) Kosmologická – vše je dáno expanzí vesmíru, vesmír se v čase mění.
- f) Z teorie částic (kvantových polí).

Souvisí nějak navzájem? Která je prvotní a základní?

Co dávají fyzikální teorie?

- MECHANIKA

NEWTON

\mathbf{F}

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = \mathbf{F}$$

mechanika částic

LAGRANGE

$$L = T - V$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = 0$$

až po teorii polí

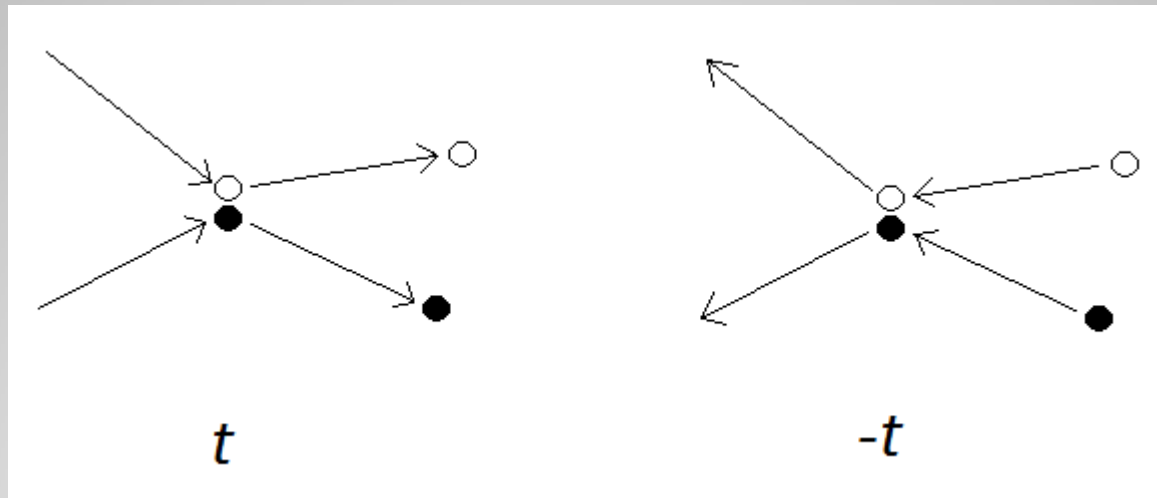
HAMILTON

$$H = T + V$$

$$\dot{q}_k = \frac{\partial H}{\partial p_k}, \quad \dot{p}_k = -\frac{\partial H}{\partial q_k}$$

do kvantové mechaniky

- Vše je reverzibilní:
 $t \rightarrow -t$



• TERMODYNAMIKA

$$\delta Q = dU + \delta A$$

Zachování energie

1. zákon

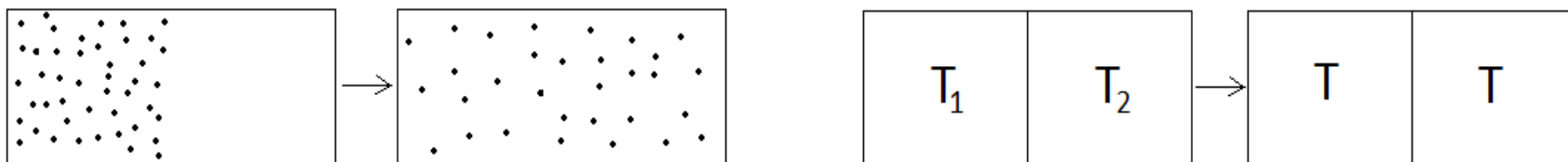
$$dS \geq 0, \quad dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{rev}$$

Růst entropie

2. zákon

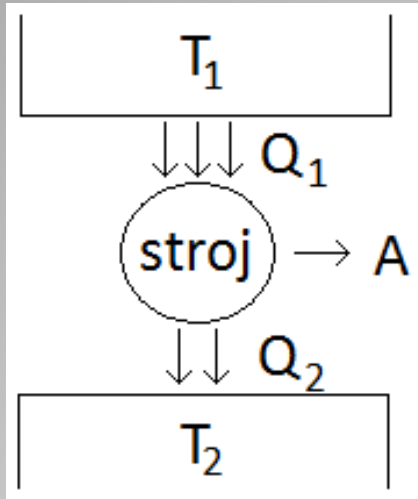
Nevratnost je způsobena třením. Dochází k disipaci energie z makrosvěta na mikroskopické stupně volnosti.

- Vyrovnávání hustot, tlaků, teplot, koncentrací, ...



- Nevratnost dění je dána počátečními podmínkami, nikoli zákony.
- Mikroskopické zákony jsou reverzibilní. Skutečné dění v makrosvětě vratné není, je nevratné.
- „Maxwellův démon“ jde historií fyziky už 140 let, klade nám otázky a poučuje.

○ Tepelný stroj



$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

- Teplo Q_1 se bere z teplejšího tělesa („ohříváku“) a nevyužité teplo $Q_2 = Q_1 - A$ se odevzdává chladnějšímu tělesu („chladníku“). Nevrací se tam, odkud bylo získáno.
- Přeměnou tepla v práci se mění okolí (!).
- Teploty se vyrovnávají („tepelná smrt“ vesmíru).
- „Maxwellův démon“, entropie → informace, Šanon...
- Fyzikální čtvrtěk: Fyzika a démoni, 6.1.2011.

- ELEKTRODYNAMIKA

- Maxwellovy rovnice pro pole ***E***, ***B***:

$$\text{rot } \mathbf{H} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \mathbf{j}$$

$$t \rightarrow -t, \quad \rho' \rightarrow \rho, \quad j' \rightarrow -j$$

$$\text{div } \mathbf{D} = \rho$$

$$\mathbf{E}' \rightarrow \mathbf{E}, \quad \mathbf{D}' \rightarrow \mathbf{D}$$

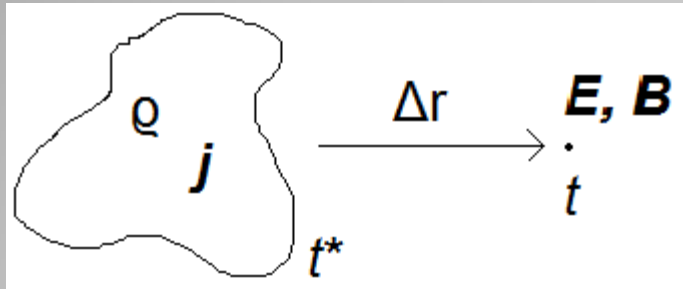
$$\text{rot } \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{B}' \rightarrow -\mathbf{B}, \quad \mathbf{H}' \rightarrow -\mathbf{H}$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

- Rovnice nedotčeny => reverzibilita.

- Pole závisí na „zdrojích“ v dřívějším čase $t^* = t - \frac{\Delta r}{c}$.



$$E(t) \text{ závisí na } \rho\left(t - \frac{\Delta r}{c}\right)$$

$$B(t) \text{ závisí na } j\left(t - \frac{\Delta r}{c}\right)$$

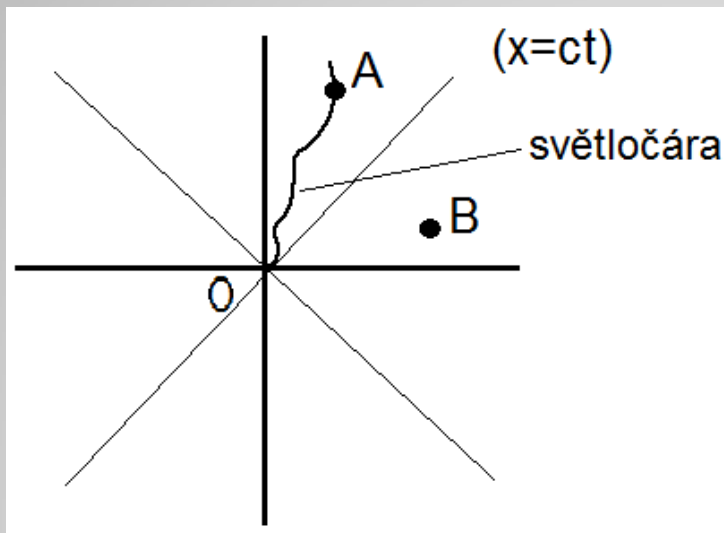
- Advancované („předbíhající“) působení odmítáme my, nikoli matematika.

$$t^* = t \pm \frac{\Delta r}{c} \text{ -vyhovuje s oběma znaménky(!)}$$

- Maxwellovy rovnice se chovají symetricky. (Vliv z budoucnosti neodmítají. To odmítá až naše zkušenost, „zdravý rozum“, „kauzalita“.)

• SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

- Čas neteče, čas je zde souřadnicí, není tu „pohyb“.
- Světločára má tzv. „vlastní čas“ τ .
- Lorentzova transformace je „pootočením“ os, nikoli pohybem (otáčením).



- OA je „časupodobný“ interval, A je budoucí vůči O .
- OB je „prostorupodobný“ interval, B je „kvazisoučasné“ s O , je příliš daleko.

- Einstein se „nebál smrti“ (v dopise Bessovi).

• OBECNÁ RELATIVITA

$$R_{\alpha\beta} - Rg_{\alpha\beta} + \lambda g_{\alpha\beta} = \kappa T_{\alpha\beta} \quad \alpha, \beta = 1, 2, 3, 4$$

λ kosmologická konstanta (integrační konst.)
("temná energie")

- Řešení jsou obecně dynamická, závislá na čase!
- Vesmír se mění v čase, expanduje => počátek: „Velký třesk“.
- „Kosmologické úvahy“ o vzniku a osudu vesmíru jsou možné.

• KVANTOVÁ MECHANIKA

- 1905, 1925 →
- Schödingerova rovnice:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H}\Psi$$

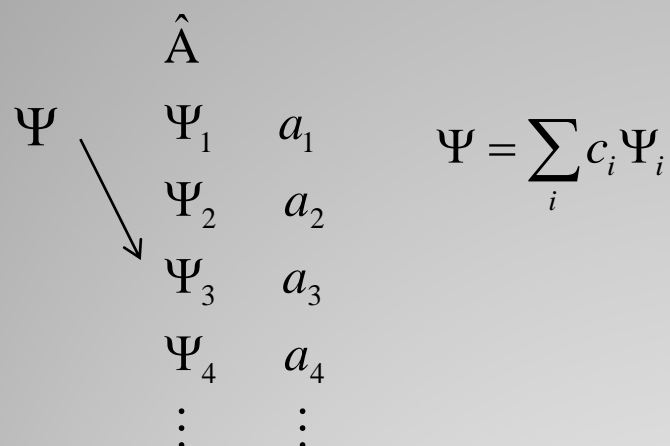
- Ψ komplexní funkce (vektor Hilbertova prostoru).
- Vývoj stavu.

$$t \rightarrow -t, \Psi \rightarrow \Psi^*$$

(komplexně sdružená k Ψ)

- Nic se nestane, stejná fyzika.
- Operátory veličin jsou Hermitovské.

○ Proces měření:

$$\begin{array}{ccc} & \hat{A} & \\ \Psi & \begin{array}{cc} \Psi_1 & a_1 \\ \Psi_2 & a_2 \\ \Psi_3 & a_3 \\ \Psi_4 & a_4 \\ \vdots & \vdots \end{array} & \Psi = \sum_i c_i \Psi_i \end{array}$$


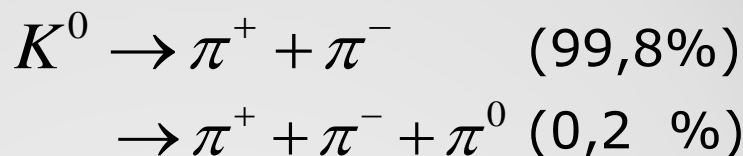
- a_i je výsledek měření.
- Ψ_i je nový stav.

- Měření vede na „redukci“ vlnového svazku.
- Ψ se zredukovalo na Ψ_3 ($\Psi \rightarrow \Psi_3$).
- Cesta nazpět nevede.
- Redukce je „náhodná“, skoková.
- Proces měření je „nefyzikální“ (Bohr).
- Je úsilí chápat skokovou redukci stavu tzv. „dekoherencí“.
(Vlivem makroskopického světa okolo.)

○ Proces měření reverzibilní není.

• KVANTOVÁ TEORIE POLÍ → ČÁSTICE

- Základy teorie polí (částic), symetrie P, C, T.
 - P – Záměna pravotočivé soustavy za levotočivou.
(Ten pán, kterého vidíte v zrcadle, nejste Vy. Je to ale bytost, která existovat může, symetrie parita P.)
 - C – Nábojová symetrie.
 - T – Časová symetrie.
- Z obecných principů v teorii musí platit symetrie PCT.
- 1957: Parita P se nezachovává (Nobel 1957: Li, Jang), PC ano.
- 1960: Ani PC se nezachovává (Nobel 1980: Cronin, Fitch).



- Jaký to může mít vliv na běh světa? Je to podstatné?

ŠIPKY ČASU (znovu, souvislosti)

- „Termodynamická“ (z mechaniky, přes statistickou fyziku)
 - Rozptylování energie na mikroskopické stupně volnosti.
 - Dána nikoli zákony, ty jsou formulovány reverzibilně, ale počátečními podmínkami.
- „Radiační“
 - Není dána rovnicemi či zákony (vlnová rovnice je reverzibilní), ale tím, že se nám z okraje vesmíru vlny nevracejí. Vlny se do zdroje nesbíhají.
- „Biologická“
 - Lze akceptovat jako disipaci, stárnutí, opotřebení. Růst uspořádanosti, vytváření složitých organizovaných struktur lze chápat jako lokální procesy, kompenzované růstem entropie (tj. chaotičnosti v okolí). I život člověka je vlastně tohoto druhu. Žijeme na úkor „životodárné energie“, energie ze Slunce ($T_s \approx 6000\text{K}$, $T_z \approx 300\text{K}$), kterou „znehodnocujeme“ a produkovanou entropii vysíláme do chladného vesmíru ($T \approx 3\text{K}$).

- „Psychologická“ (vědomí, paměť)
 - Souvisí patrně s biologickou. Ale co to vlastně je „vědomí člověka“ a jeho „svobodná vůle“? Co o tom víme? Jak to souvisí a „snáší se“ s přírodními zákony?
- „Kosmologická“
 - Procesy v čase jsou dány „vývojem“ vesmíru.
- „Kvantová“
 - Porozumění závisí na pochopení „kvantového měření“. Není kvantová fyzika spíše o „informaci“ než o částicích s vlastnostmi, které jsme převzali z nekvantové fyziky? Objekty nejsou nositeli „vlastností“.
- „Směr času a fyzika částic“
 - Procesy, při kterých dnes dochází k narušení „kombinované parity“ CP, a tedy k procesům, kde není zachovávána symetrie v čase T, jsou velice řídké a na běžné děje kolem nás nemají podstatný vliv. V počátcích vesmíru však mohly být velmi závažné, vést k přebytku hmoty nad antihmotou. A tak tato „šipka času“ může souviset s šipkou „kosmologickou“.

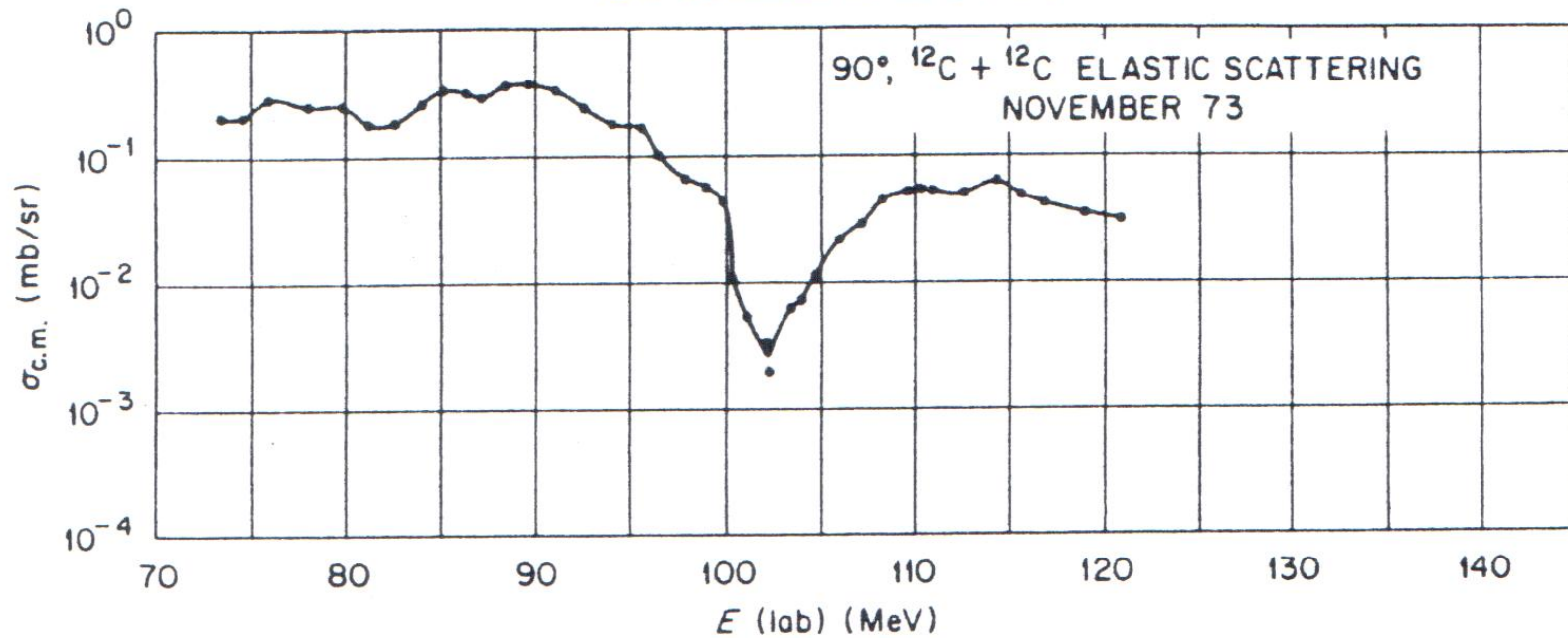
- Problém směru času je problém pro fyziku závažný. Zdá se, že všechny „šipky“ (ač různého původu a různých projevů) jsou navzájem provázány a posléze svázány i s časovým vývojem vesmíru jako celku. Nejsou ani tak v zákonech, jako spíše ve „stavu věcí“.

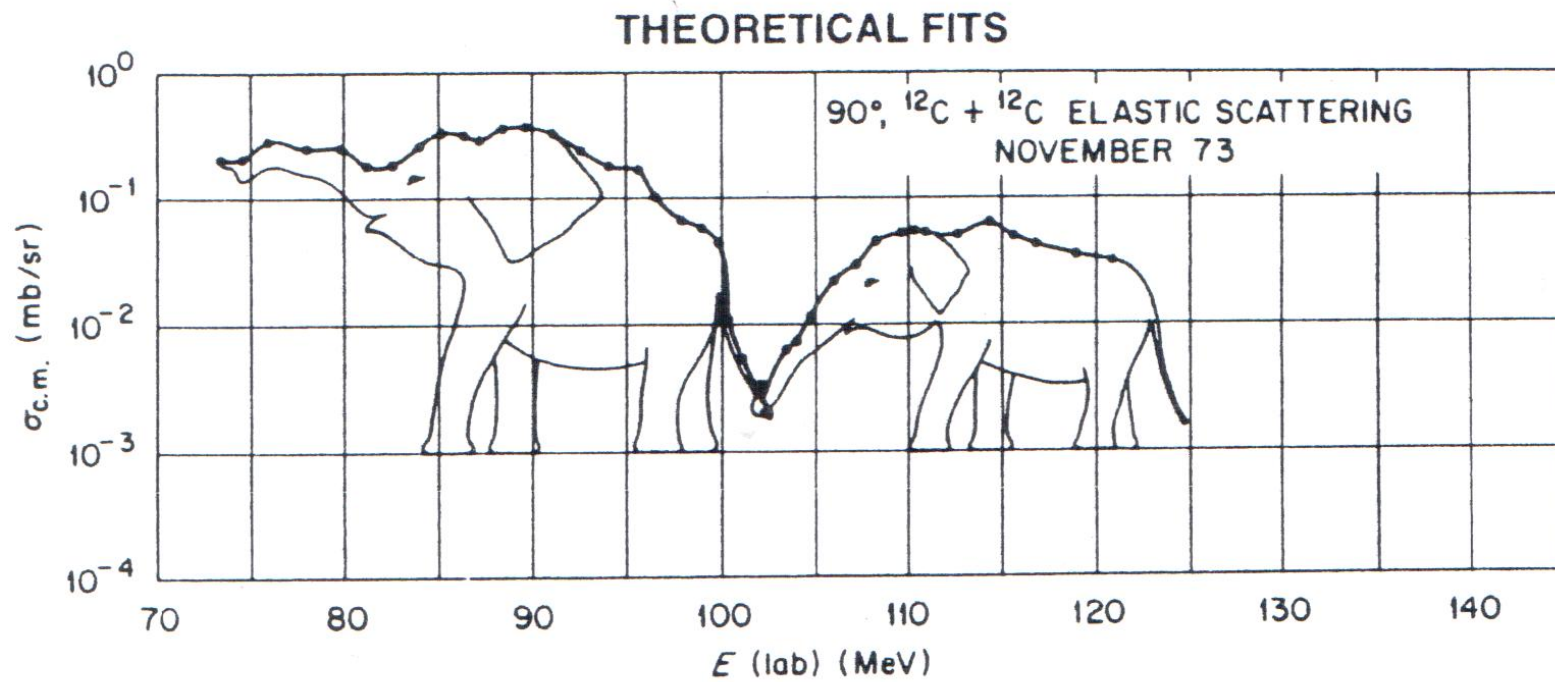
Závěrem

- Vesmír starý 14 miliard let.
Nízká entropie (dána počtem mikrostavů).
Expanze, ochlazování.
„Inflační období“ (záhy po Velkém třesku).
Reliktové záření – zdroj informací.
Později gravitací vytvořeny hvězdy a galaxie,...
(S entropií gravitačního pole jsou potíže.)
- Černým dírám lze přisoudit entropii.
(úměrnou ploše horizontu černé díry)
Entropie obří černé díry v jádře galaxie je veliká, větší než entropie hvězd.
Entropie černých děr je tedy podstatná.

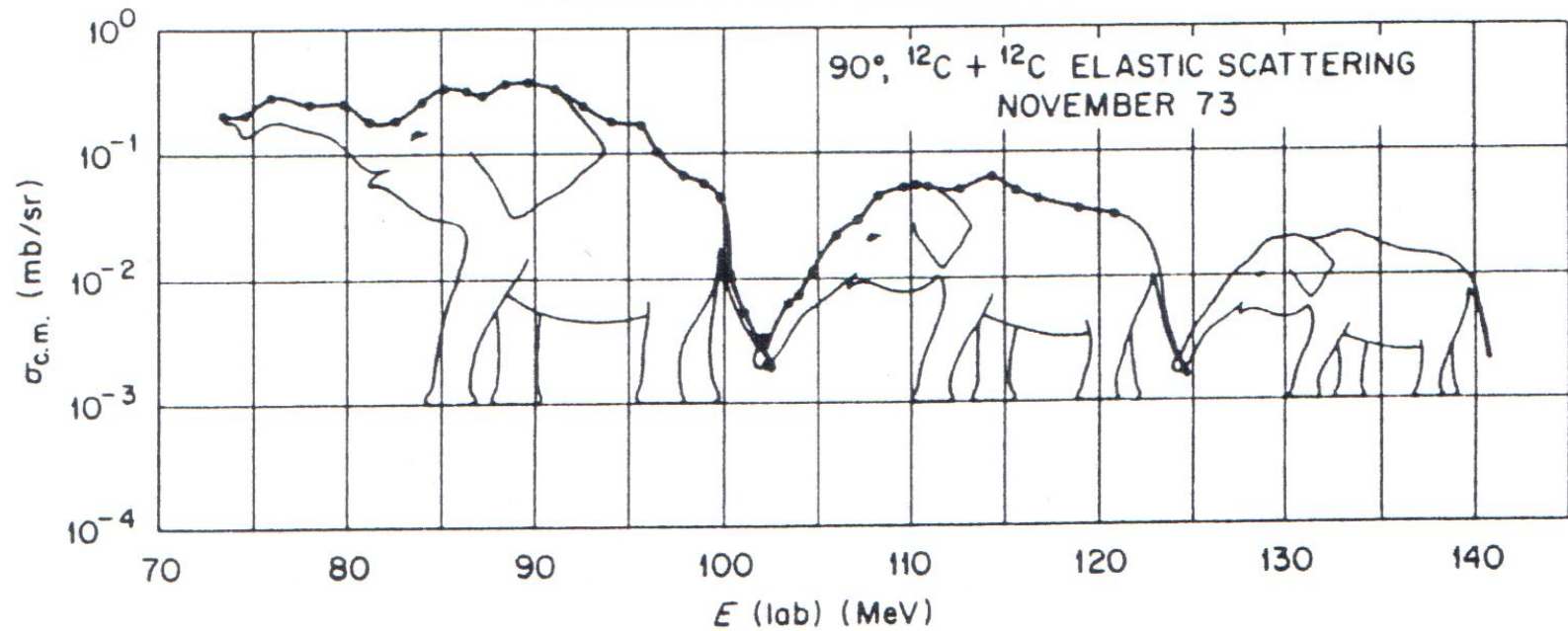
- Vesmír expanduje zrychleně.
(to víme od 1998, Nobelova cena letos - 2011)
Problém rozpínání vesmíru, „temné energie“ (73%) a kosmologické konstanty λ jsou předmětem rozborů a spekulací.
- Spekulace o „Multiverzu“ a jiných vesmírech jsou možné.
- Úvahy a spekulace jsou prodloužením a diskusí o tom, co víme (neodporují fyzice tady u nás).
- Ilustrace „o velké moci teorie“ (Experimentální data a Tři sloni) berte jako odlehčení a humor této besedy.

EXPERIMENTAL DATA





THEORETICAL PREDICTIONS



Děkuji za pozornost.

jelen@fel.cvut.cz