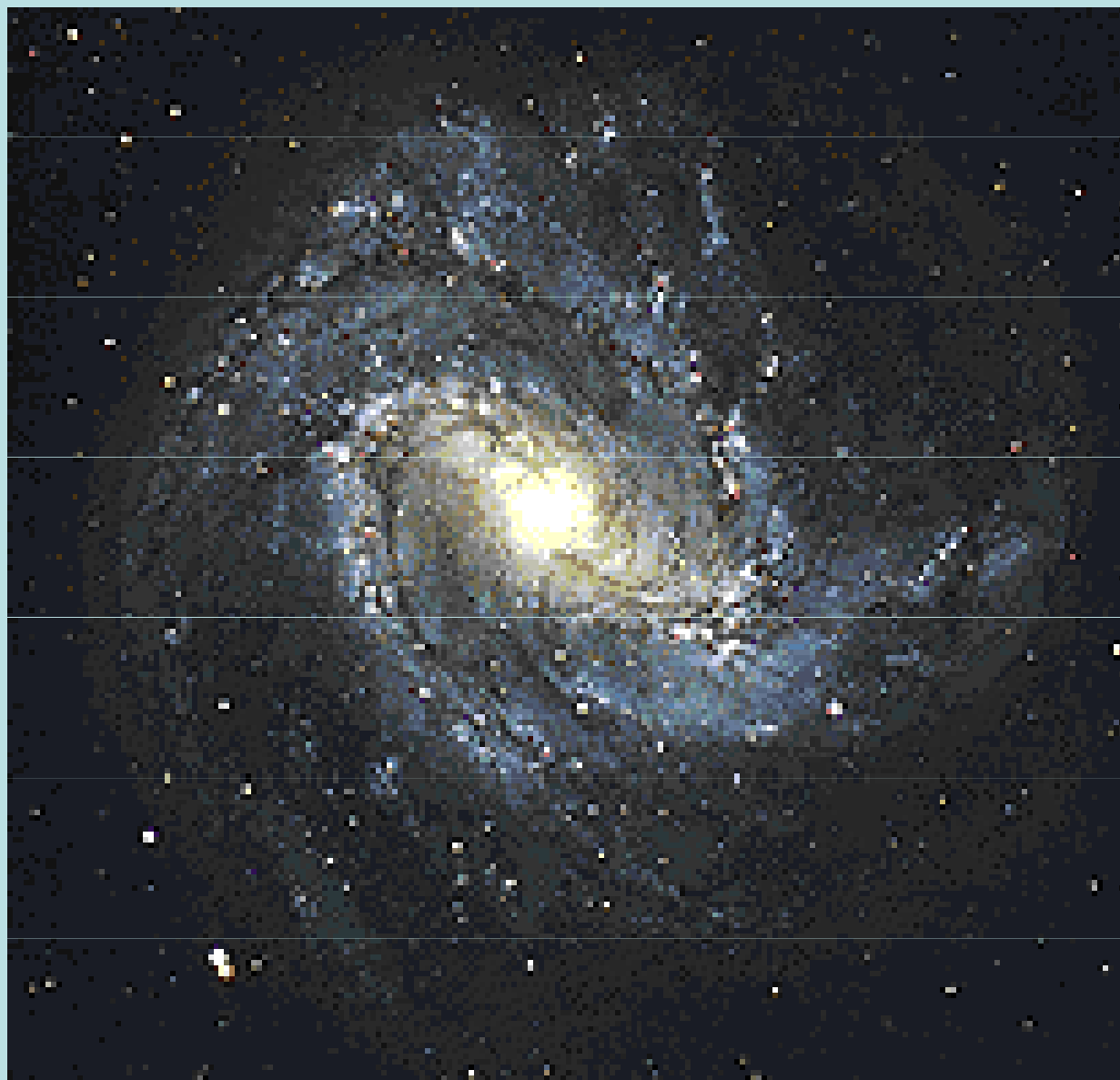


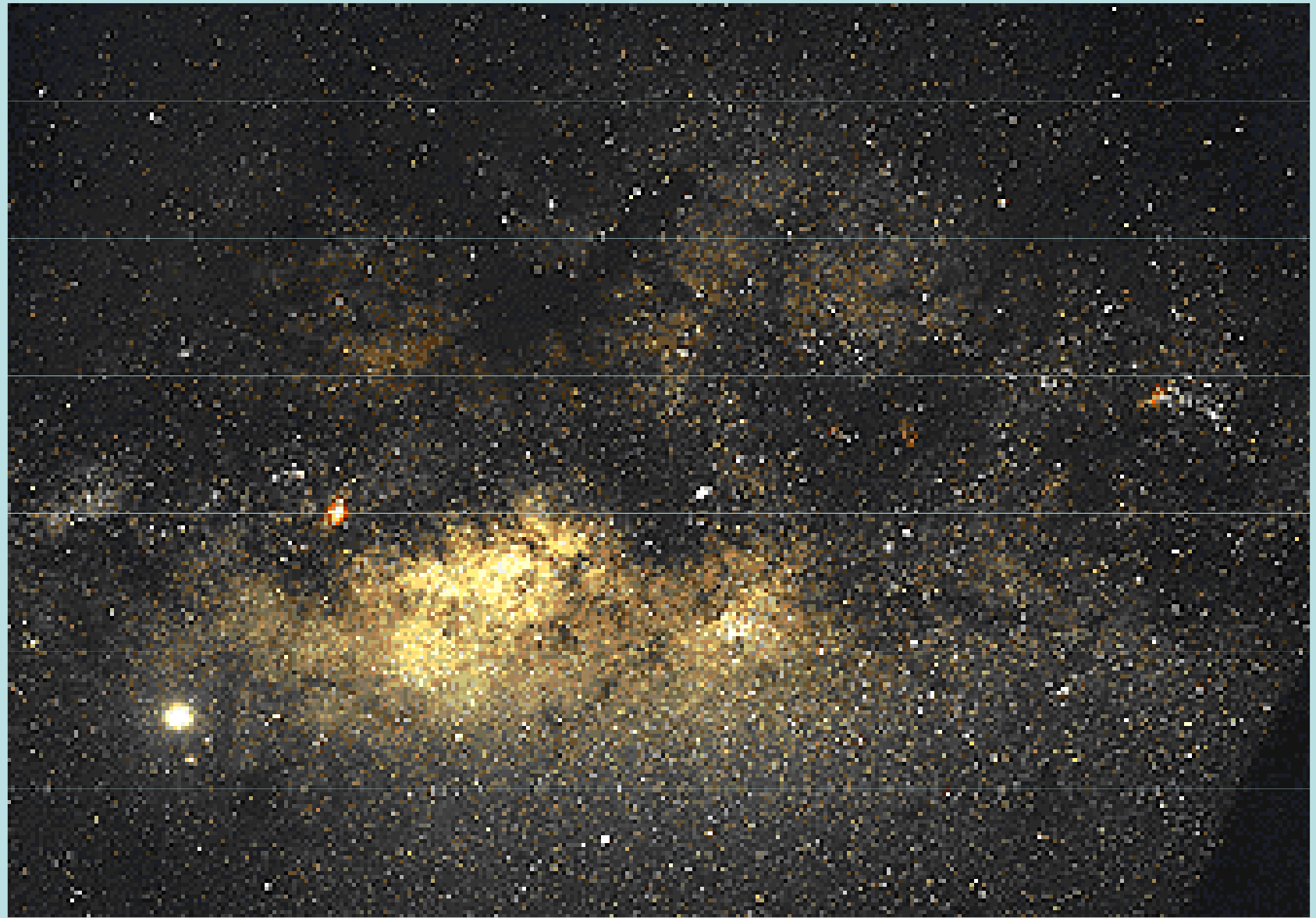
*Letem Světem (Vesmírem)*

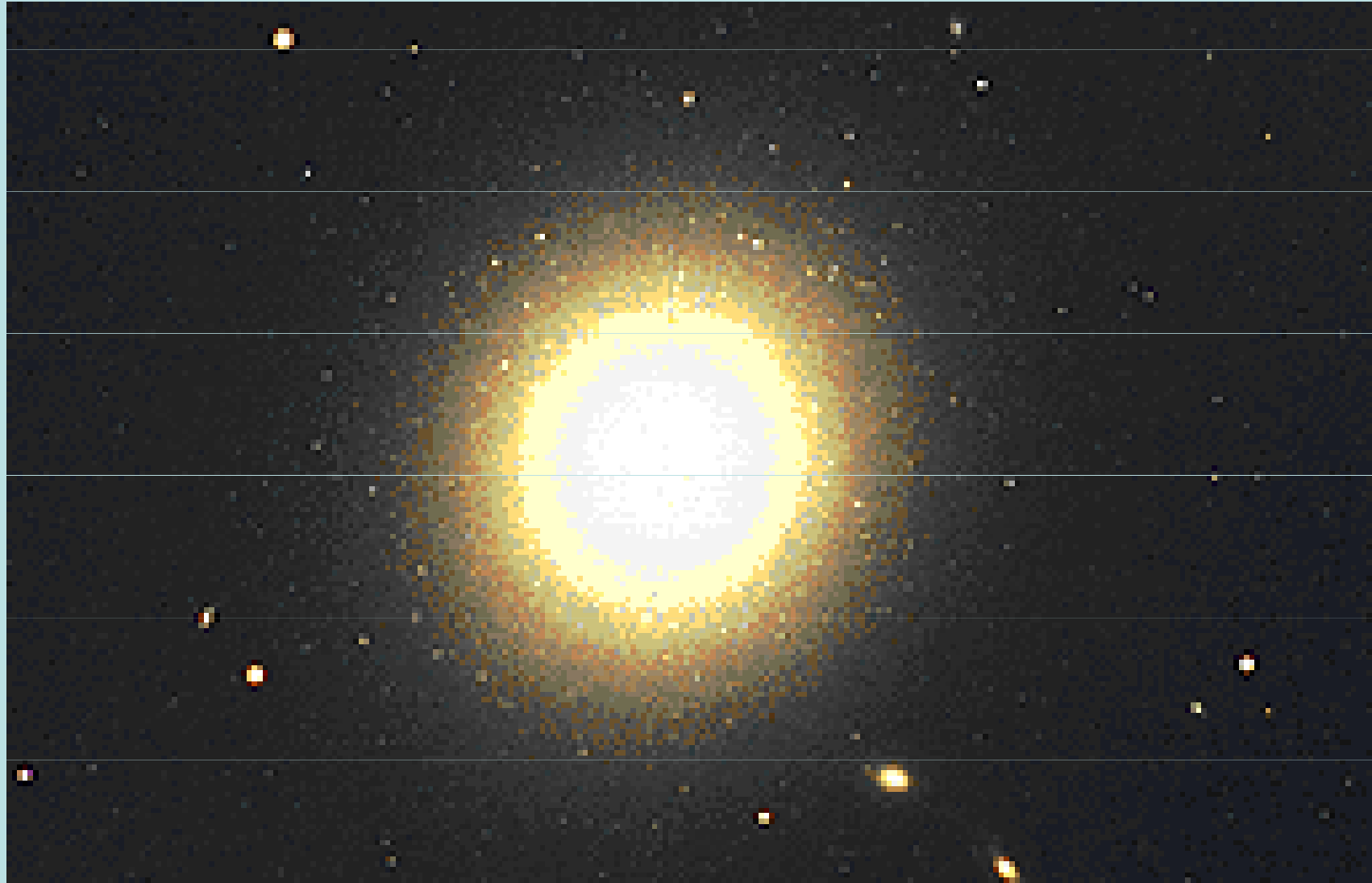
# Vznik, vývoj a stavba vesmíru.

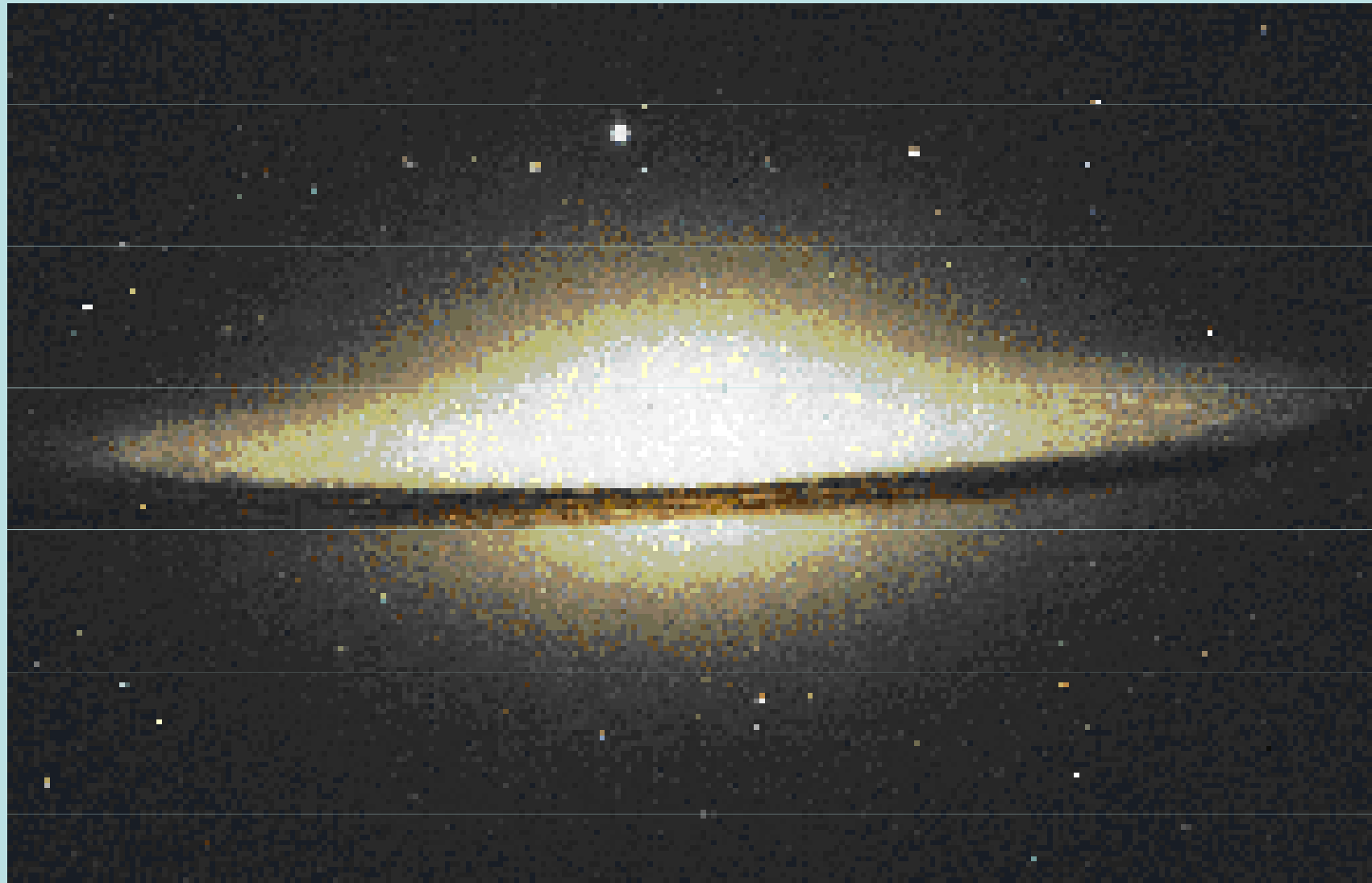
**V.A. Ambarcumjan:** *Člověk se liší od vepřů mimo jiné tím, že občas zvedá hlavu a dívá se na hvězdy.*

**Georges Lemaitre:** *Vývoj kosmu lze srovnat s ohňostrojem, který jsme zastihli v okamžiku, kdy už končí: několik žhavých uhlíků, popel a dým. Stojíme na chladném popelu, vidíme pomalu vyhasínající Slunce a snažíme se oživit minulé velkolepé počátky světů.*

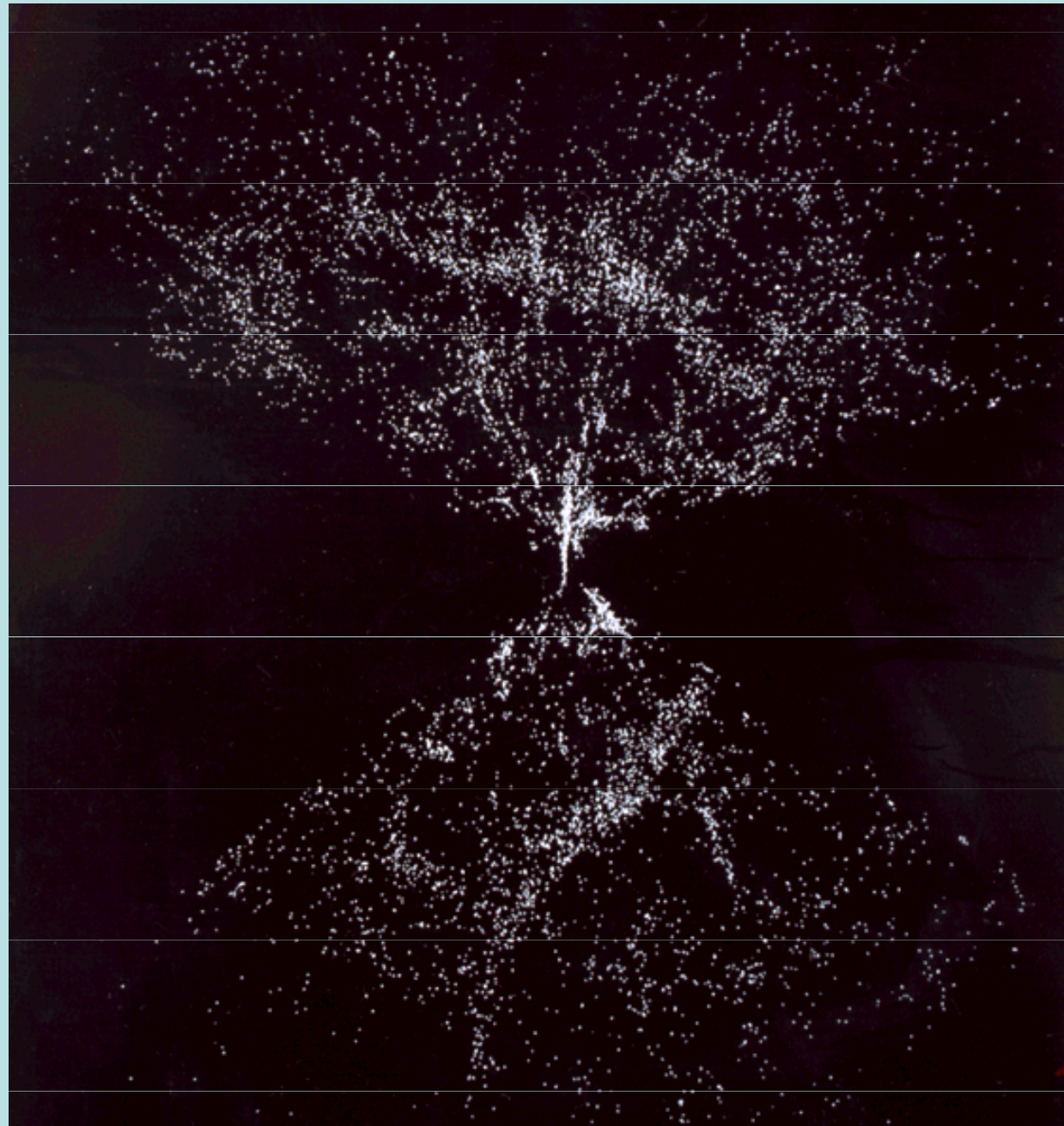






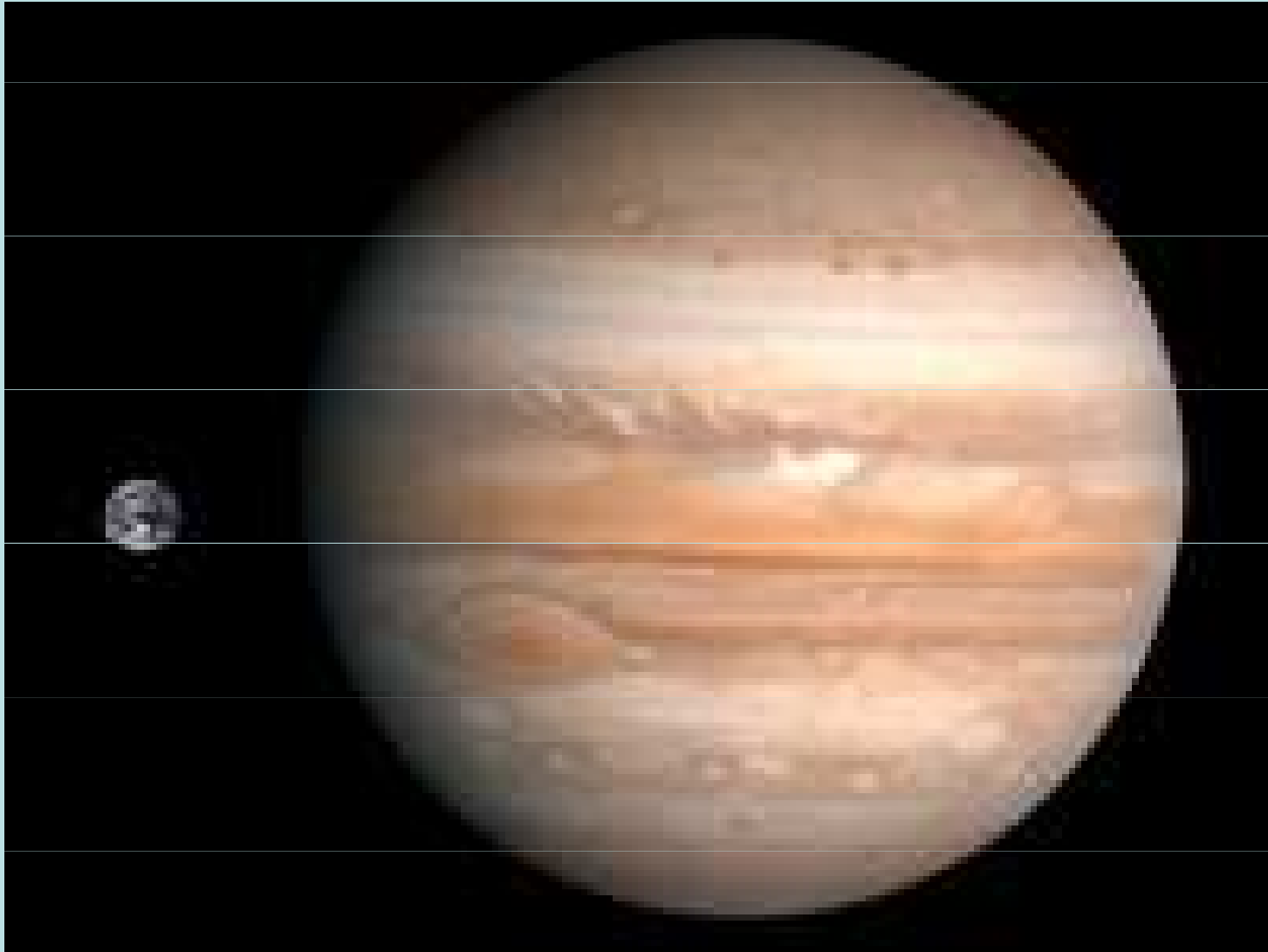


















## Nástroje a jednotky

**AU** – astronomická jednotka (cca 150 000 000 km)

**ly** – světelný rok = 9,46 Pm

**pc** – parsek = 3,262 ly = 206 265 AU = 3 Pm

**$M_{\odot}$**  -  $2 \cdot 10^{30}$  kg

$c = 2,997\,924\,580 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 300 \text{ Mm}\cdot\text{s}^{-1}$

rok (pozemský)

Trigonometrie

Matematika, přírodní vědy

# **Základní přírodní zákony a jevy.**

## **Základní interakce:**

**GRAVITAČNÍ**

**ELEKTROMAGNETICKÁ**

**SLABÁ JADERNÁ**

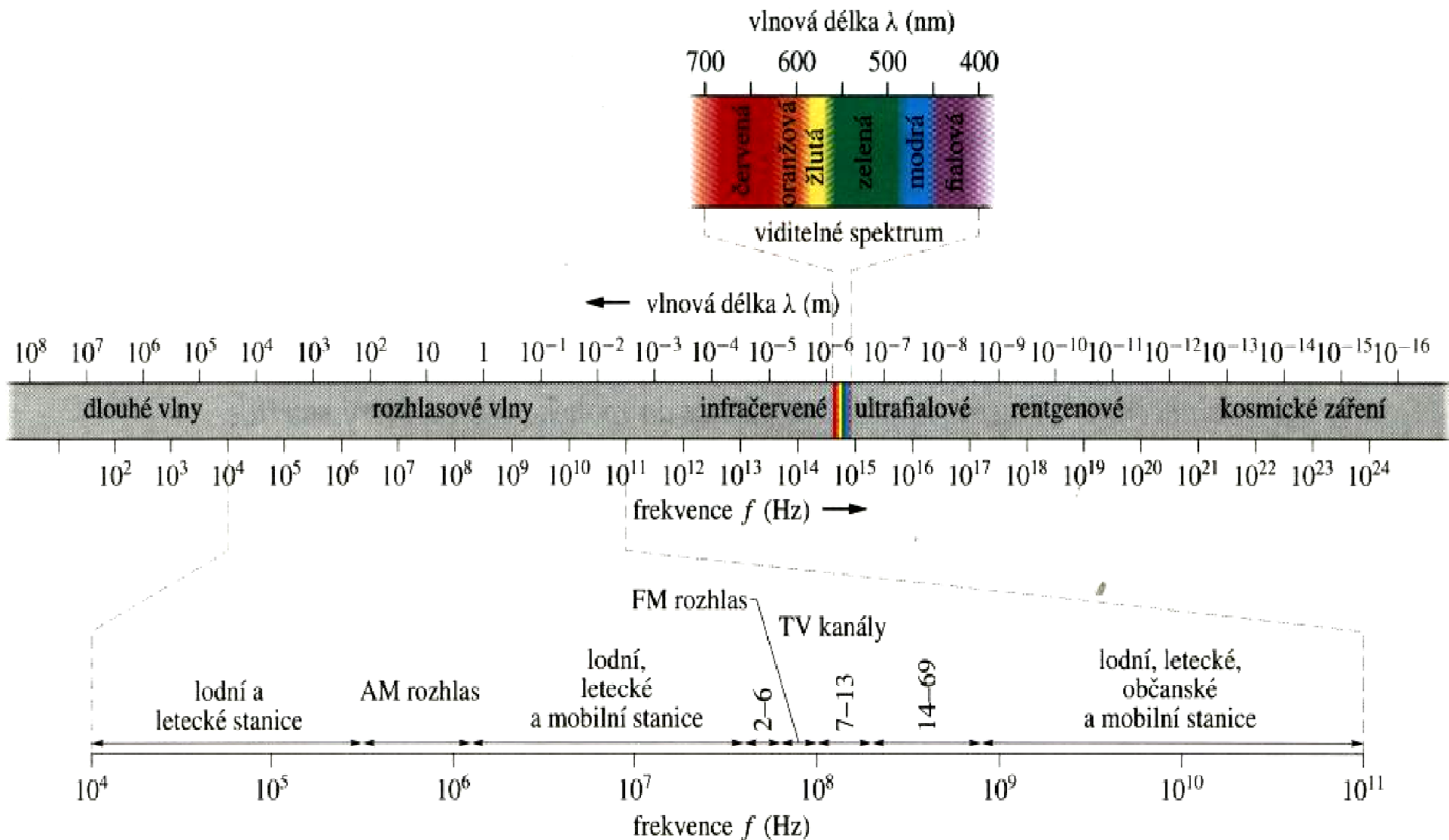
**SILNÁ JADERNÁ**

## **Newtonův zákon všeobecné gravitace:**

$$F = K \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

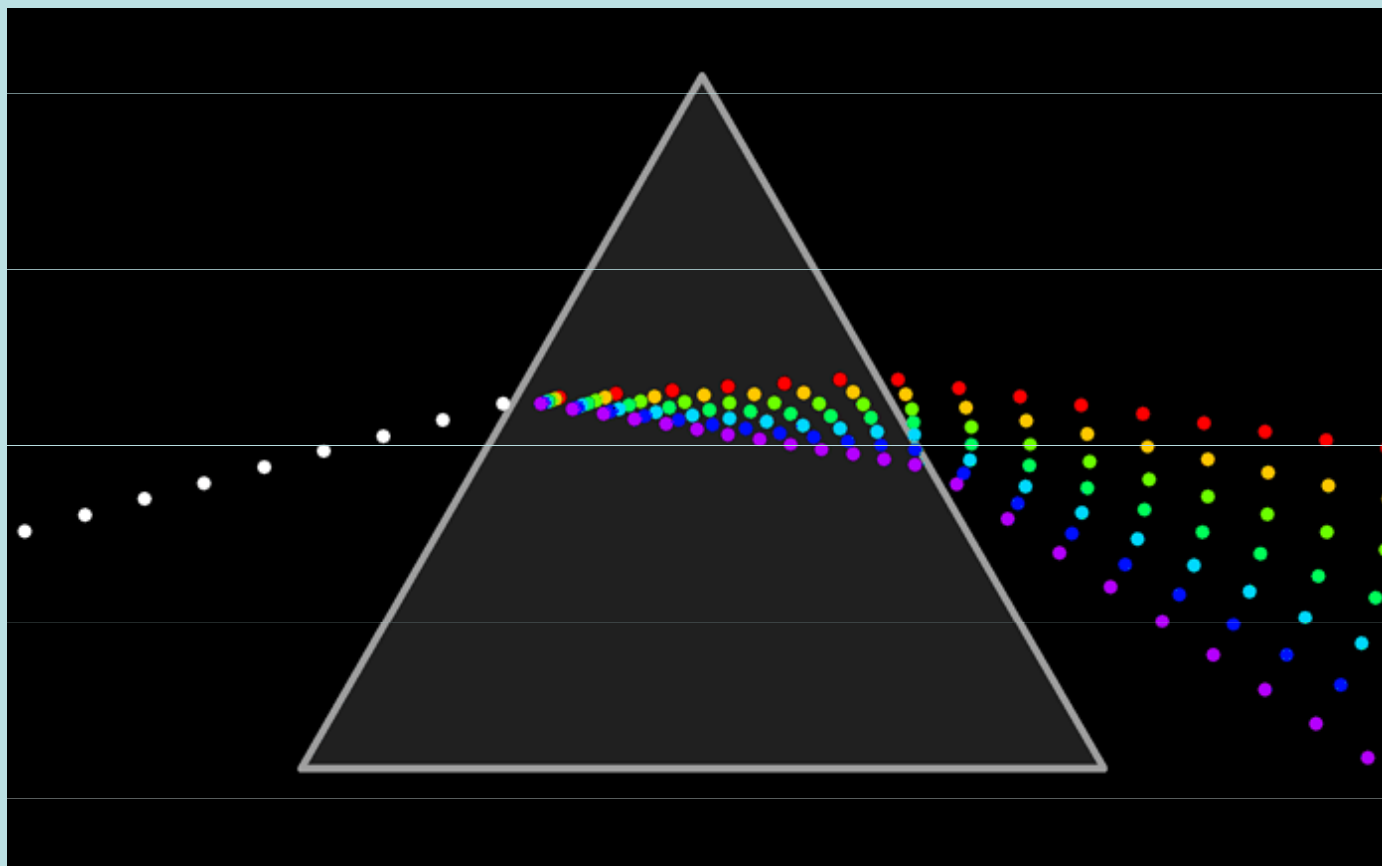
# Elektromagnetické záření

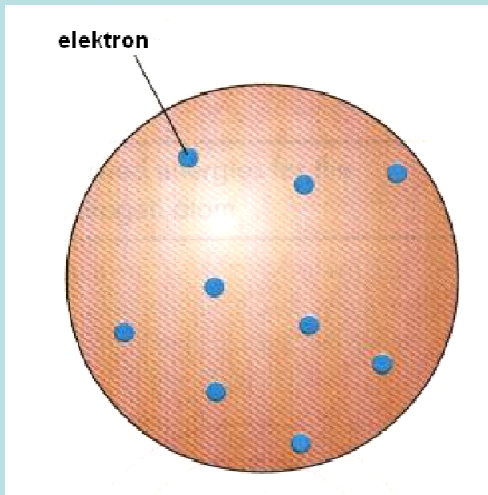
(povahy spíše vlnové)



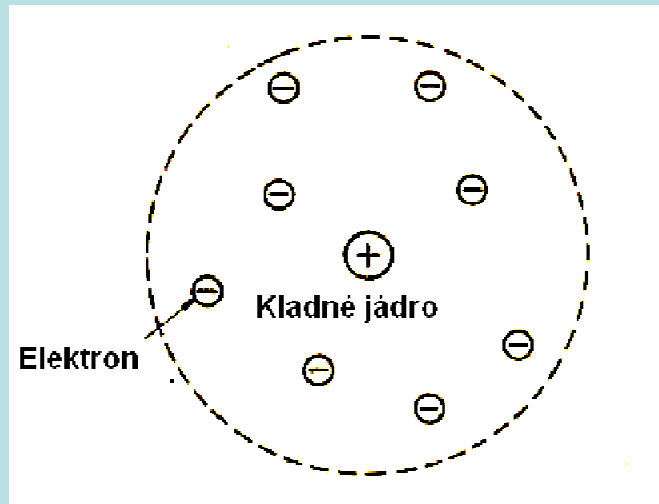


# Spektroskopie

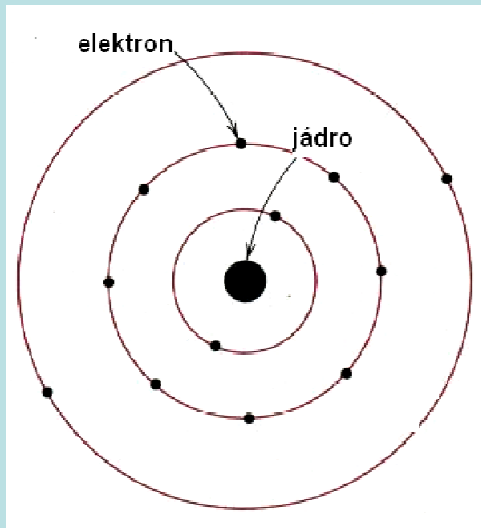




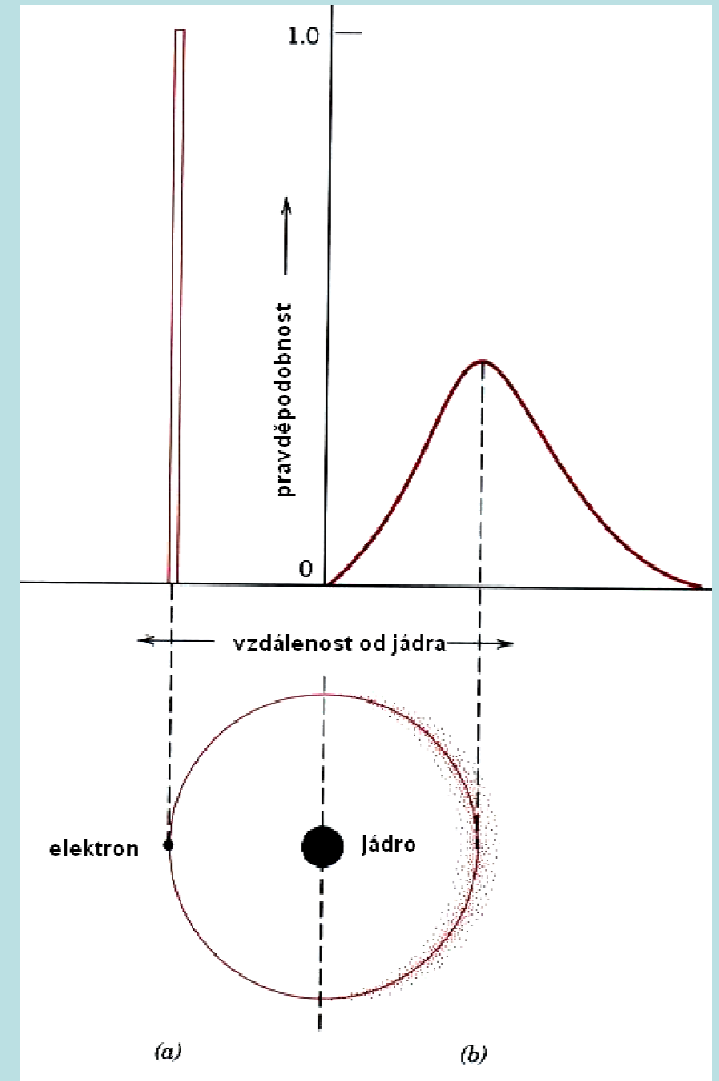
Pudinkový model



Rutherfordův model



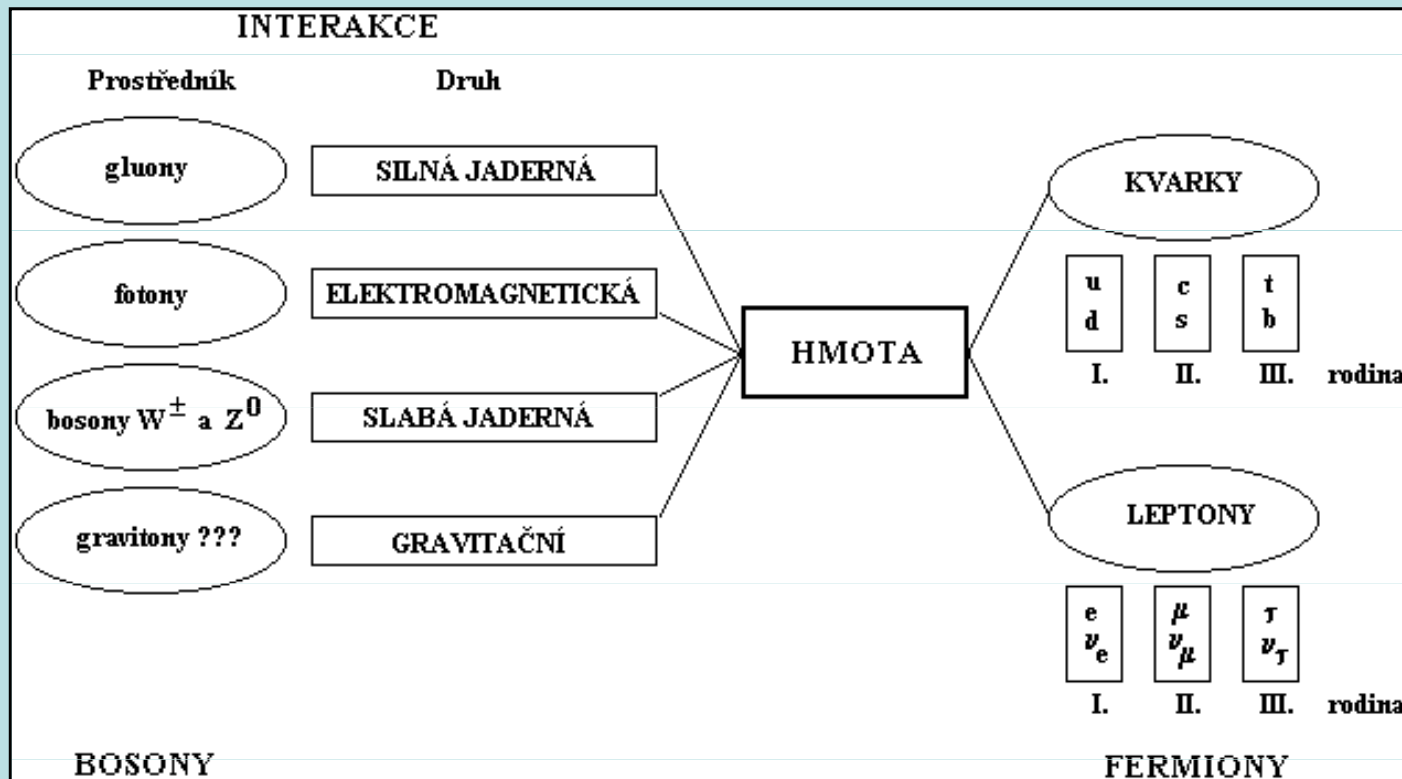
Bohrův model



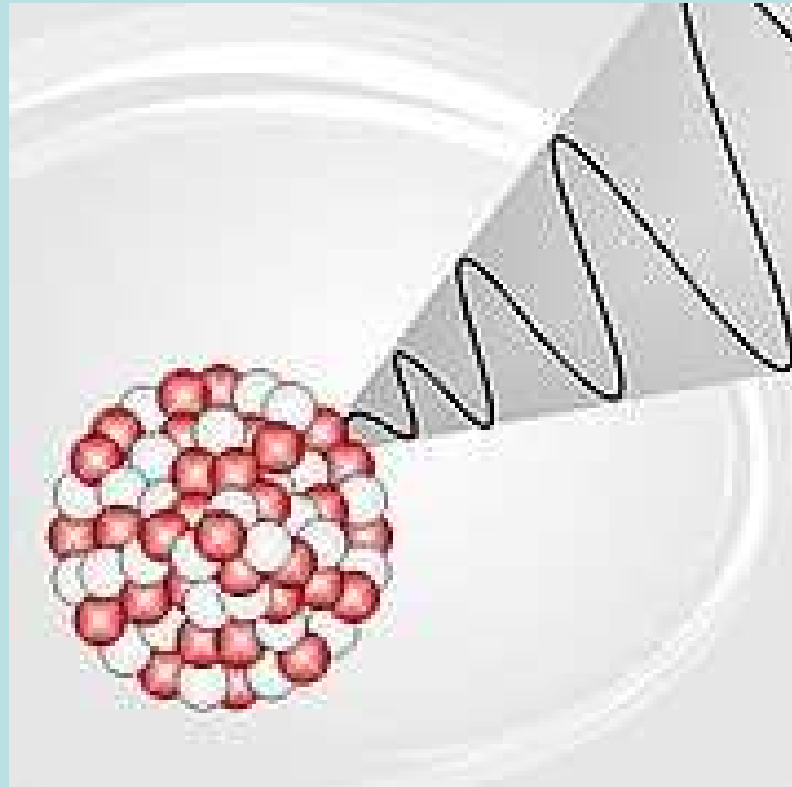
Srovnání Bohrova a kvantového modelu

# Kvarky

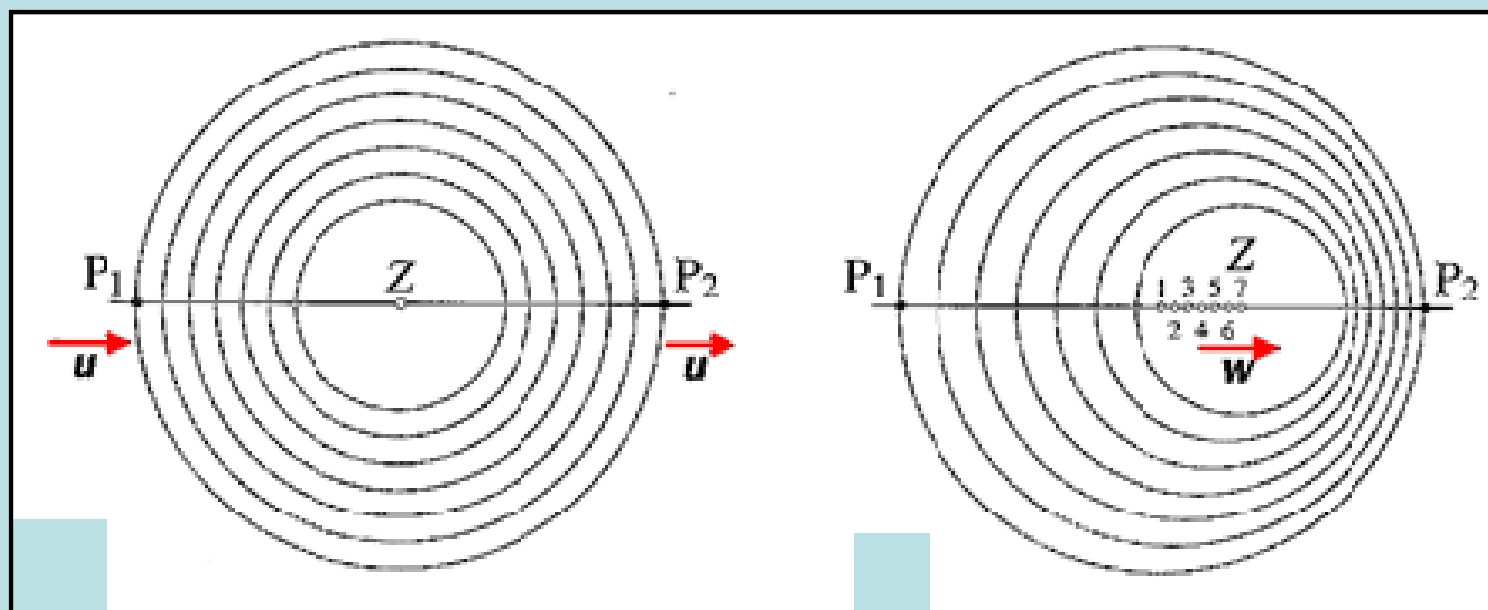
|   |             |  |                |   |               |
|---|-------------|--|----------------|---|---------------|
|  | up $2/3$    |  | charm $2/3$    |  | top $2/3$     |
|  | down $-1/3$ |  | strange $-1/3$ |  | bottom $-1/3$ |

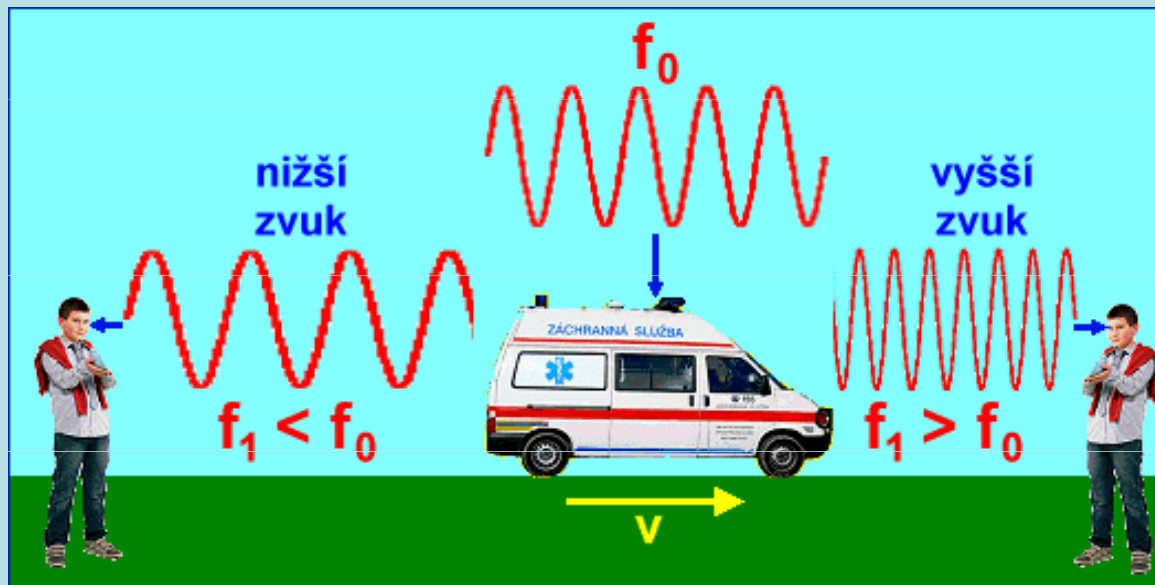


## Záření gama



# Dopplerúv jev





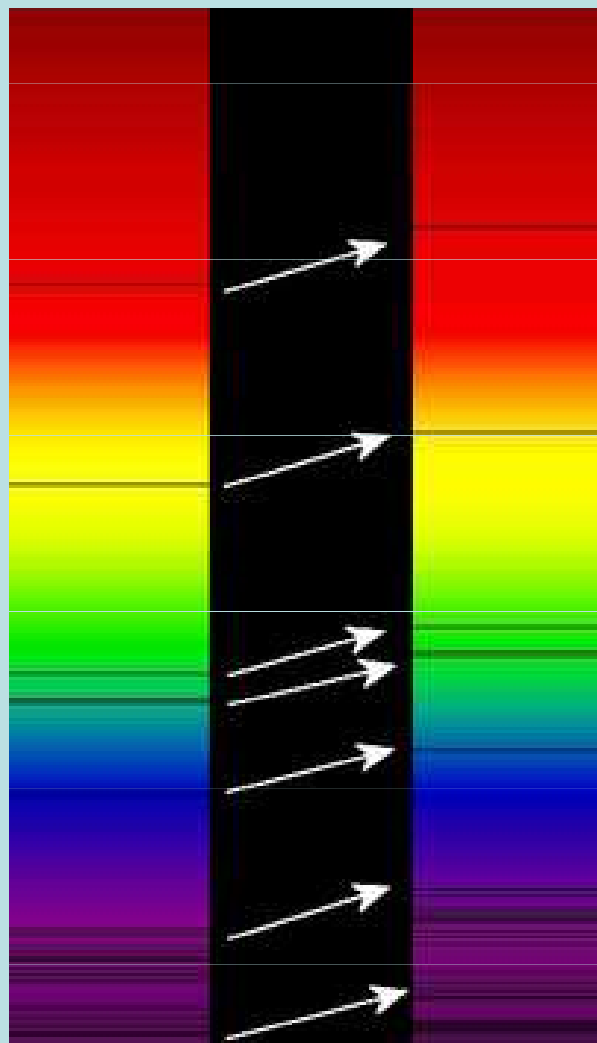
$$f_1 = f_0 \left(1 + \frac{c}{v}\right)$$

nebo

$$f_1 = f_0 \left(1 - \frac{c}{v}\right)$$

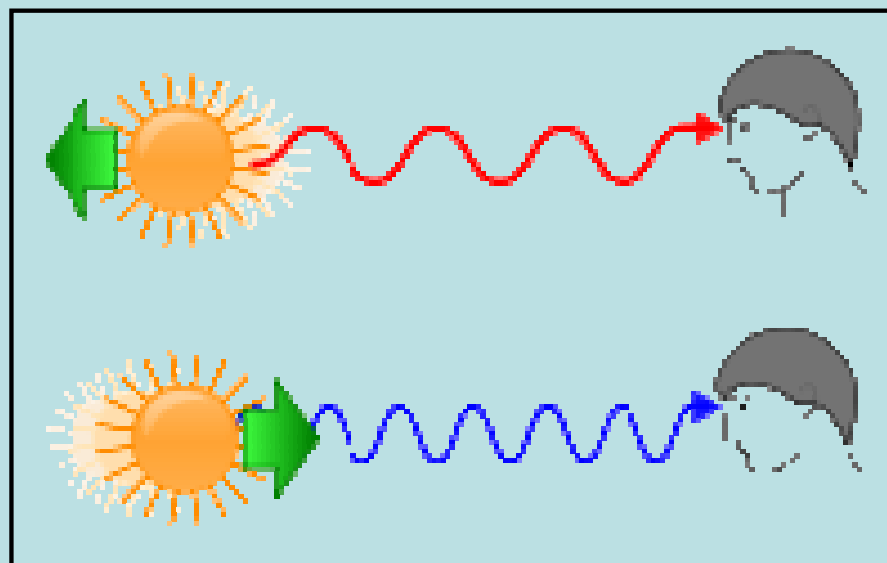
- $f_0$  – frekvence, kterou zjistí pozorovatel, vůči kterému je zdroj v klidu
- $f_1$  - frekvence, kterou zjistí pozorovatel, vůči kterému se zdroj pohybuje
- $v$  – rychlost zdroje vůči pozorovateli
- $c$  – rychlost, jakou se šíří vlnění

# Dopplerovský rudý posuv



Slunce

Superkupa BAS 11



Rudý a modrý posuv  
spektrálních čar

## Chéseauxův – Olbersův paradox.

1826: „proč je obloha tmavá“?

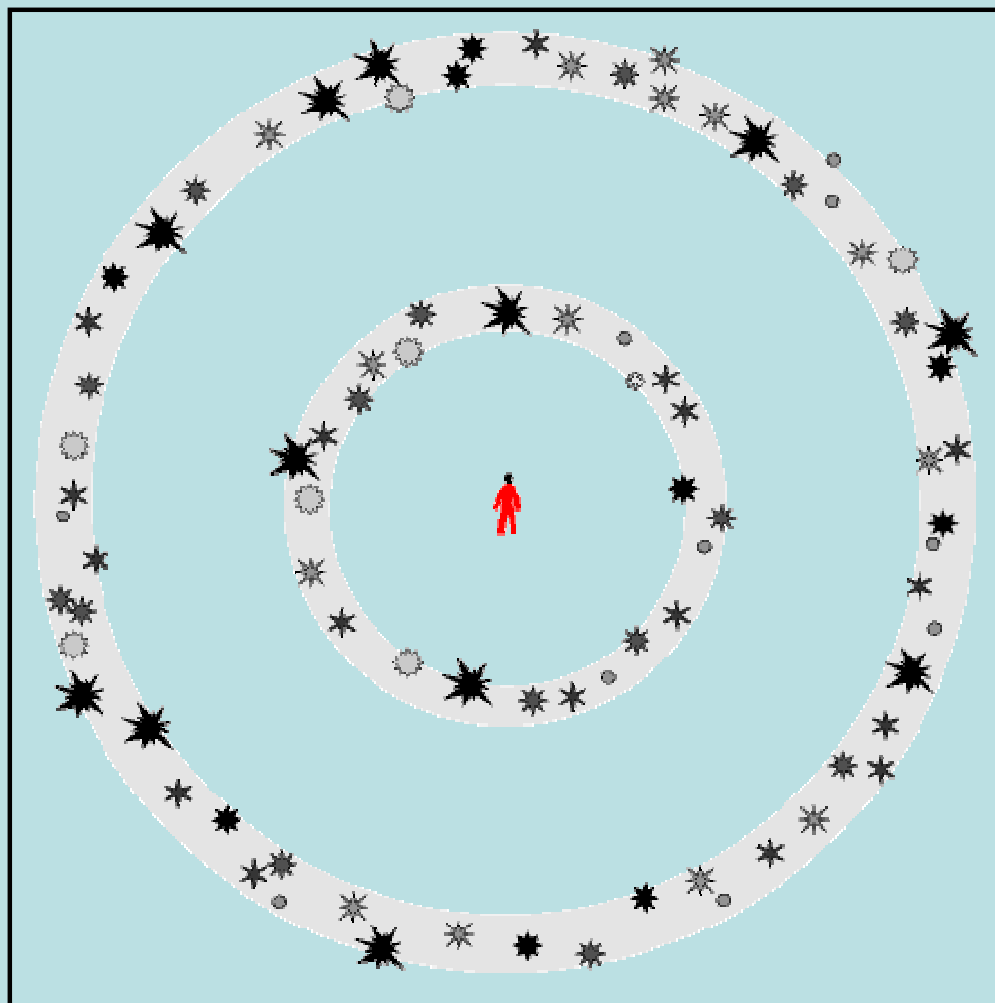
Už i J.Kepler (1610): „Ať se podíváme kamkoliv do Vesmíru, vždy vidíme nějakou hvězdu. Ve skutečnosti je ale obloha tmavá“

Skutečný Vesmír není statický (Newtonův), ale rozpíná se.

V důsledku toho se vzdálené galaxie stanou infračervenými, tedy pro nás neviditelnými. Celá obloha sice září ze všech směrů, ale na vlnových délkách 10 000 krát delších, než je viditelné světlo hvězd. Není to světlo hvězd, ale *reliktní záření* z doby *kosmologické rekombinace*, kdy byl Vesmír 300 000 let starý a žhavý jako povrch Slunce. V té době skutečně zářila celá obloha jako pokrytá Slunci. Od té doby se vlnové délky světla rozepnuly (roztáhly), neboť se rozpínal celý Vesmír. Ze světla je dnes mikrovlnné záření z celé oblohy (reliktní záření).



Kosmologický rudý posuv, Olbersův paradox.

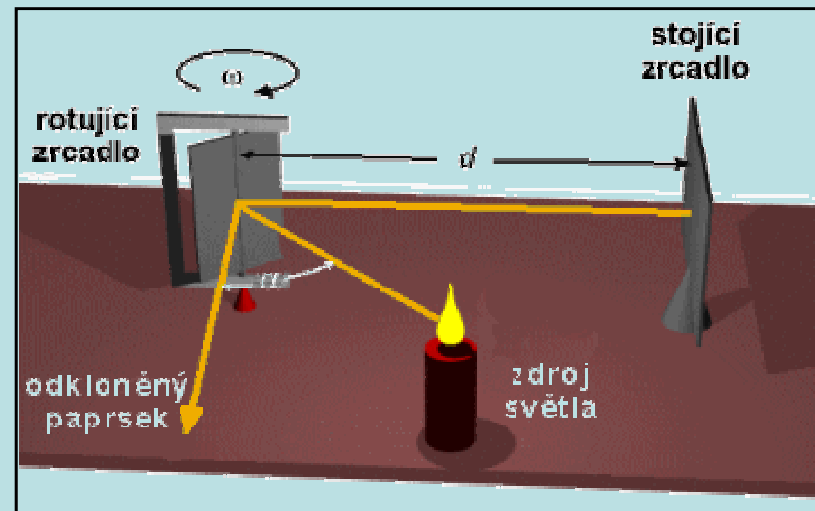
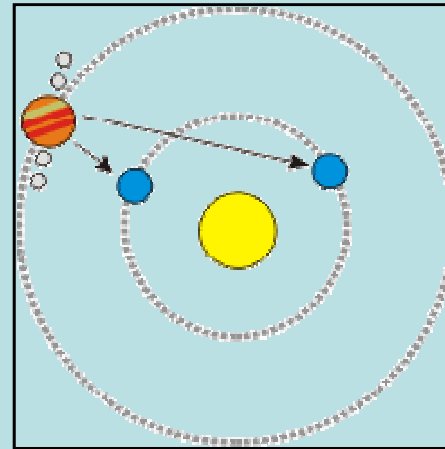


# Rychlost světla

G. Galilei

O. Roemer

J. Foucault



## 2. Jak to všechno začalo

*Starý zákon, První Mojžíšova kniha (Genesis):*

*Na počátku stvořil Bůh nebe a zemi. Země byla pustá a prázdná a nad propastnou tůňí byla tma.*

*Ale nad vodami vznášel se Duch Boží.*

### **Stavební kameny Vesmíru**

Hmota – veškeré organické a anorganické látky, skládající se z molekul (které se dále skládají z atomů).

Vše mrtvé i živé je složeno z atomů 92 prvků (navíc je 12 umělých).

Skutečnost, že jakákoliv hmota je složena z atomů – společný rys všech objektů na Zemi i v celém Vesmíru.

Důkaz – spektroskopie (ale i přímo – Apollo).

Atomy – jádro + obal (jádro kladné, obal záporný).  $r \sim 10^{-10} \text{ m} - 10^{-9} \text{ m}$ .

Téměř veškerá hmotnost je v jádře.

(zrnko rýže – nejhořejší řady fotbalového stadionu. Slunce – Pluto)

Jádro: protony + neutrony. Protony se silně odpuzují, musí tedy existovat silné přitažlivé (jaderné) síly, přítomné pouze v jádře.

Elektrony – nikoliv dráhy, lépe elektronový mrak. Dráhy lze užít kvůli názornosti. Celkem 7 elektronových slupek, do každé se vejde maximálně 2. $n^2$  elektronů ( $n \in (1, 7)$ ).

D.I. Mendělejev a Lothar Meyer – periodická tabulka prvků

Molekuly – vazby (V d W, iontová, kovová, kovalentní)

Vznik spekter

Kvarky (up a down).

## Vznik Vesmíru

V minulosti – různé modely. Většinou jako neměnný (materialisté), nebo stvořený Bohem.

Současný názor (dokázaný) na vznik a vývoj Vesmíru:

**Big Bang** (Velký Třesk) – asi před 14 miliardami let. Od tohoto okamžiku se vyvíjí prostor a čas, Vesmír se rozpíná.

Zatím nevíme proč to „bouchlo“ a co se dělo do  $10^{-35}$  s.

V té době neplatily nám známé fyzikální zákony (snad to rozřeší experimenty na novém Collideru)

Kvantová mechanika odpovídá na otázky co se dělo mezi  $10^{-35}$  s – 1 s po B.B.

Za tuto dobu se „inflační Vesmír“ rozrostl z bodového zárodku do Vesmíru o průměru asi 100000 miliard km.

Ještě přesnější představy máme o době od 1 s do dneška (tzv. „Standardní kosmologický model“).

Zde již platí nám známé fyzikální zákony.

Od okamžiku  $10^{-35}$  s po BB jsou si kosmologové celkem jisti, že jejich modely jsou správné.

Ve Vesmíru již zavládla naprostá symetrie. Při teplotě  $10^{28}$  K se Vesmír skládá z extrémně horkého plazmatu, složeného z částic a antičástic těžkých bosonů X, kvarků a gluonů, které se navzájem stále přeměňují. Vesmír se stále rozpíná a teplota poklesla asi na  $10^{27}$  K. Při této teplotě se přestaly tvořit supertěžké částice a bosony X se začaly rozpadat na kvarky.

Nyní dochází k velké záhadě: symetricky by se měly rozpadat bosony X a antibosony X na stejné množství kvarků a antikvarků a mělo by dojít k jejich anihilaci na fotony. Místo toho nastala nerovnováha: **na asi 10 miliard kvarků vzniklo 10 miliard – 1 antikvark.**

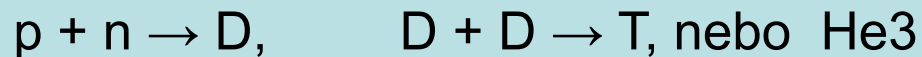
Když teplota klesla na 10 000 miliard K, nemohly kvarky a antikvarky existovat jako samostatné částice a utvořily se z nich protony a neutrony a antiprotony a antineutrony (opět je ale vždy na každých 10 miliard párů částice – antičástice o jednu antičástici méně).

Při poklesu teploty na 1000 miliard K došlo ke vzájemné anihilaci částic a antičástic a vznikly fotony a hmotné částice. Uvědomme si, že veškerá hmota ve Vesmíru vznikla z protonů a neutronů, které byly navíc !! Za svou existenci vděčíme právě této malé nesymetrii. Bez ní by byl Vesmír bez hmoty a tedy i bez života. To vše trvalo jenom asi 1/10 000 sekundy !!. Tak rychlý proces už nikdy dále ve Vesmíru nebyl.

Nyní máme rovnováhu mezi protony a neutrony. Ty se navzájem přeměňují jedny v druhé, tak jako je tomu v současné době v jádrech atomů (ta však zatím neexistují). V důsledku rozpínání Vesmíru teplota dále poklesla na asi 10 miliard K. Symetrie se opět trochu narušila – neutrony jsou o trochu těžší, než protony a proto je třeba na přeměnu  $n \rightarrow p$  trochu více energie, než naopak. Proto je také protonů poněkud více, než neutronů. Stále ale ještě nevznikají jádra atomů – vysoce energetické fotony to nedovolí, jakékoliv spojení ihned naruší.

Asi 1 s po BB už je na jeden neutron asi 6 protonů a po 2,5 minutách, kdy poklesla teplota na 1 miliardu K, je poměr  $n : p = 1 : 7$ . Až nyní začínají vznikat jádra deuteria, skládající se ze dvou nukleonů. To je tzv. **primordiální nukleosyntéza**.

Co se děje v dalších minutách? Vesmír se stává obrovským termojaderným reaktorem, ve kterém začínají vznikat jádra prvních tří prvků v Mendělejevově periodické soustavě prvků (MPS) – H, He, Li. Jak?



Tím se ve Vesmíru spotřebovaly všechny neutrony na výstavbu atomových jader. Je tam 75% H, 24% He, 0,001% He3, 0,002% D a 0,00000001% Li7.

V mezihvězdných oblacích a vzdálených hvězdách je tomu tak dodnes (spektroskopie).

Zatím stále jde jenom o jádra, elektrony se zatím u nich neudržely díky energetickým fotonům. Hmota ve Vesmíru je tedy typickým plazmatem – kladná jádra a záporné elektrony.

Expanze stále pokračuje a asi po 200 letech má Vesmír teplotu asi 150 000 K. Atomy se stále netvoří! Teprve po 400 000 letech poklesla teplota na 3000 K a začala tzv. rekombinace, která trvala dalších 40 000 let, než všechna jádra našla své partnery. Teprve po této době začíná „život“ Vesmíru (Je-li celý vývoj Vesmíru 1 den, je toto 2,5 s).

## Vznik hvězd.

Po těchto cca 400 000 letech od BB je ve Vesmíru zejména vodík a helium ( a trochu Li). Kromě toho je tam asi 10 miliard fotonů na každý stavební kámen atomu. Ale žádný další prvek (a těch je dnes 92)

Pozorování – začaly vznikat shluky galaxií a to mohla udělat pouze gravitace. Tím, že se elektrony připojily k jádrům došlo k „vyčištění“ prostoru a fotony se od hmoty osvobodily. Vzniklo tím tzv. záření kosmického pozadí, které dnes přijímáme ze všech směrů. Z něho se dozvíme, jak Vesmír vypadal před 40 000 lety po BB. Pozorování potvrzují, že již tehdy existovaly „ostrůvky“ hustší hmoty ve Vesmíru – zárodky hvězd. Vzniklo tehdy asi 100 miliard sluncí (hvězd). Pomáhala při tom tzv. „temná hmota“. Ta je zatím záhadou, víme o ní, že interaguje pouze gravitačně. Tyto hvězdy se stále gravitačně zahušťovaly, až tlak uvnitř nich dosáhl 200 miliard atm. A teplota 15 milionů K. V tom okamžiku se zapálila termojaderná reakce (hvězdy první generace).

## Těžké prvky.

Dva protony jsou od sebe elektrostaticky odpuzovány. Ale při vysoké teplotě ( $15 \cdot 10^6$  K) a tlaku 200 miliard atm se vodíková jádra srážejí tak prudce, že překonají elektrostatickou odpudivou sílu a dostanou se do oblasti silné jaderné interakce, která je přitažlivá.

První fáze – tzv. hoření vodíku: ze 4 protonů vznikne He jádro. Ve Slunci tak „shoří“ každou sekundu 700 milionů tun vodíku na 695 tun He. Zbývajících 5 milionů tun se promění ve fotony a neutrina. Vše ovšem závisí na hmotnosti hvězdy v době, kdy začal hořet vodík. Označme hmotnost Slunce  $M$ :

U hvězd s  $m \approx 1 M$  trvá hoření vodíku asi 8 – 10 miliard let. Je-li  $m \approx 100 M$  se všechn vodík spálí už za 1 milion let. Hvězdy s  $m \approx 0,1$  hoří až 1000 miliard let, což je více, než je současné stáří Vesmíru.

Po vodíku začne hořet He (teplota ale musí být větší, asi 100 milionů K). Vzniká uhlík a následně kyslík, Ne, Mg, Si. Uhlík je „vyplavován“ na povrch hvězdy a roznášen hvězdnými větry do prostoru.

(Dříve, před vznikem hvězd nemohl vznikat např. C, neboť látka byla řidší. Aby vzniklo jádro C, musí vzniknout ze dvou jader He jádro Be a teprve s dalším jádrem He vzniká jádro C. Jádro Be je však nestabilní a ihned se zase rozpadá zpět na He. Jenom když je látka hustá, jako je tomu ve hvězdě, sežene jádro Be „třetího do party“ a vznikne jádro C.

Co se stane dále?

To záleží opět na hmotnosti hvězdy. Je-li  $m \leq 8M$ , zbude z hvězdy jádro, složené z C a O (bílý trpaslík), které má povrchovou teplotu cca 4000 K a už se od něj nedá nic čekat.



Hvězdy s  $m \geq 8M$  zanikají dramatičtěji. Zprvu je to sice stejné, pouze s tím rozdílem, že se H a He spálí za několik málo milionů let. Velká hvězda, složená z uhlíku dosáhne teploty až 700 milionů K a začne hořet uhlík. Teplota se dále zvyšuje, až při asi 1 miliardě K začne hořet neon a vzniká Mg, Si, a S. Od 2 miliard K začne hořet kyslík a vzniká Si a S a při teplotě 3 miliardy K začne hořet Si a vzniká Fe a Ni. Doba hoření je stále kratší, O hoří jeden rok, Fe a Ni vznikají pouze několik hodin. Železem a Ni to ale končí.

Jak ale vznikají těžší prvky? Jádra lehčích prvků (např. Fe) zachytí neutron, nebo i více, ten se změní na proton a začíná narůstat hmotnost jádra. To vzniká několikrát po sobě a začne vznikat Ag, Au, atd. Je to tzv. s-proces (slow). Ve velmi hustých a horkých plynech částic (např. expandující obal supernovy) je chytání neutronů mnohem rychlejší – tzv. r-proces (rapid).

Jádro takové velké hvězdy se nepředstavitelně smrští, uniká z něj velké množství neutrin, tím chladne a ještě více se smršťuje. Zbylé elektrony se srazí s protony a vznikne superhusté neutronové jádro a další neutrina. Dochází ke zhroucení hvězdy díky vlastní gravitaci, hvězda se roztrhne a vše je vyvrženo do prostoru. Energie tohoto procesu je tak velká, že zbytek hvězdy září jako 100 miliard hvězd naší galaxie dohromady (supernova II).

Nakonec zbude jenom neutronová hvězda o průměru několika desítek km. Její  $1 \text{ cm}^3$  váží jako všichni lidé na Zemi dohromady. Vyvržený oblak obsahuje všechny prvky MPS. Když se z nich vytvoří nové hvězdy nebo planety, obsahují již těžké prvky. V mezihvězdném prostoru mohou být i dosti složité molekuly (reakce díky vysoceenergetickému záření – opak: ničení těchto molekul).



## **Shrnutí:**

### **„Život“ hvězd závisí na jejich hmotnosti**

Měřítkem je hmotnost Slunce  $M$

**Při  $m < 0,07 M$  nedojde k zažehnutí termonukleární reakce.**

**Hvězdy s  $m \sim 0,1 M$  se prakticky nezměnily, velmi šetří energii a budou žít stamiliony let.  
(  $T \sim 2000 K$  ). Bílí trpaslíci.**

**Hvězdy s  $m \sim 2 M$  žijí jenom necelou miliardu let.**

**Hvězdy s  $m \sim 70 M$  žijí jenom asi 10 000 let  
(  $T \sim 100\,000 K$  ). Modří veleobři.**

**Slunce:  $T \sim 6000 K$  (uvnitř 14 milionů K)  
tuctová hvězda.**

### **Zánik hvězd.**

**Méně hmotné hvězdy – gravitace rozdrťí atomy („skořápky“)**

**Vysoká hustota – krabička zápalek váží několik tun.**

**Jsou to *bílí trpaslíci* (stanou se jimi hvězdy s  $m < 1,2 M$ ).**

**Každá 10. hvězda v naší galaxii je bílým trpaslíkem.**

**Slunce tak skončí za 6 miliard let (před tím pohltí Merkur, Venuši a možná i Zemi, načež se zhroutí na B.T.).**

**Velká část hvězd – *dvojhvězdy*.**

**Dochází k odsávání vodíku k B.T., znovuzapálení termojaderné reakce – „odfouknutí“ slupky – Nova.**

**U hvězd s  $m > 1,2 M$  ještě větší zhroucení (i v jádrech).**

**Krabička zápalek – hmotnost Lomnického štítu (tzv. *neutronové hvězdy*).**

**Opět přijímají vodík – Supernova.**

**Velmi hmotné hvězdy – zhroutí se natolik, že z nich nemůže světlo vyjít ven (supergravitace)**

**Zhroucený prostoročas – *Černé díry*.**

## **Vesmír za jeden den.**

**(14 miliard let = 1 den)**

**0 – Velký třesk**

**36 ps – vznik jader , H a He.**

**2 s – vznik atomů**

**30 m – vytvoření chuchvalců vesmírné látky**

**45 m – Vznik galaxií a hvězd. Největší žijí několik minut. Vznik všech prvků Mend. soustavy.**

**Vznik velkých černých děr – kvasarů.**

**5 ráno – Vznik Mléčné dráhy s hvězdami druhé generace.**

**16 hod.- Vznik Slunce a planet.**

**17 hod.- Vznik jednobuněčného života na Zemi.**

**23 hod.- První mnohobuněční tvorové.**

**23h40m – Vznik veleještěřů.**

**23h53m – Zánik veleještěřů, vznik savců.**

**23h58m30s – Pračlověk.**

**12ms před půlnocí – začátek letopočtu.**

**Všechny významné objevy nejsou starší, než 1 ms.**