Co o velkém třesku víme

1927: **G. Lemaitre**: vesmír vznikl při **výbuchu primordiálního atomu, prostor se rozpíná,** formuloval **„Hubbleův" zákon** 2 roky před Hubblem.

1929: **E. Hubble**: spirální mlhoviny jsou **extragalaktické**, nalezl a **prosadil** empirický vztah (**Hubbleův zákon**) mezi rychlostí vzdalování galaxií a jejich vzdáleností.

1934: **Zwicky:** v galaxiích musí být **temná hmota**

1946: **Gamow, Alpher, Herman**: syntéza lehkých prvků v raném vesmíru, předpověď **reliktního mikrovlného záření**

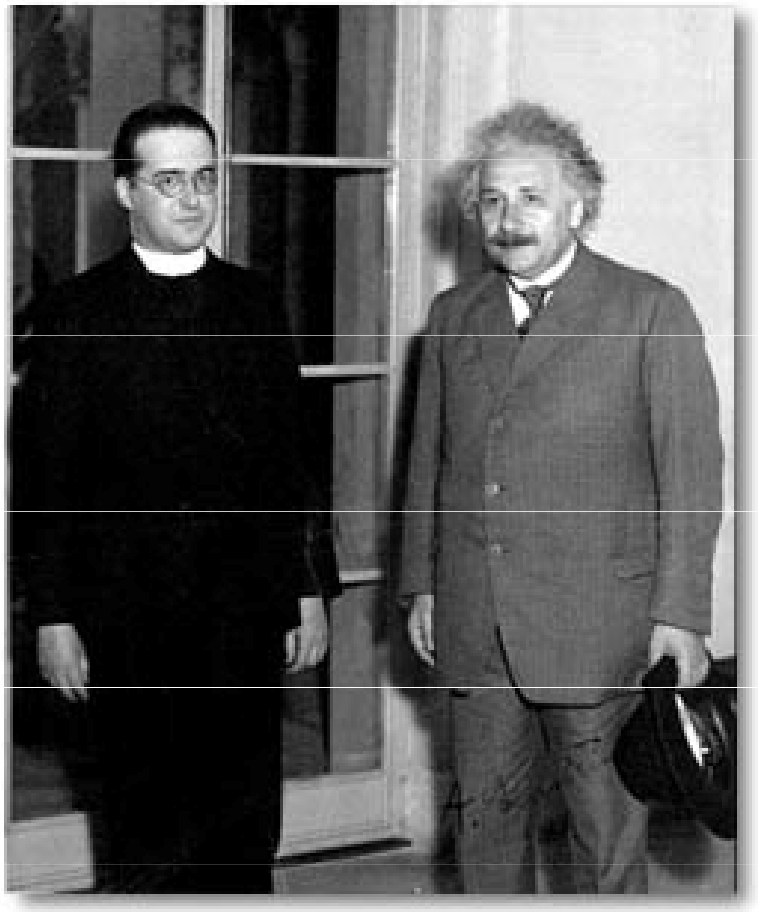
1964: **Penzias, Wilson**: objevili **reliktní mikrovlné záření** **(Nobelova cena 1978)**

1979: hypotéza **inflačního stádia** vývoje vesmíru (**Guth**)

1992: **COBE** pozorovala **anizotropii reliktního záření**

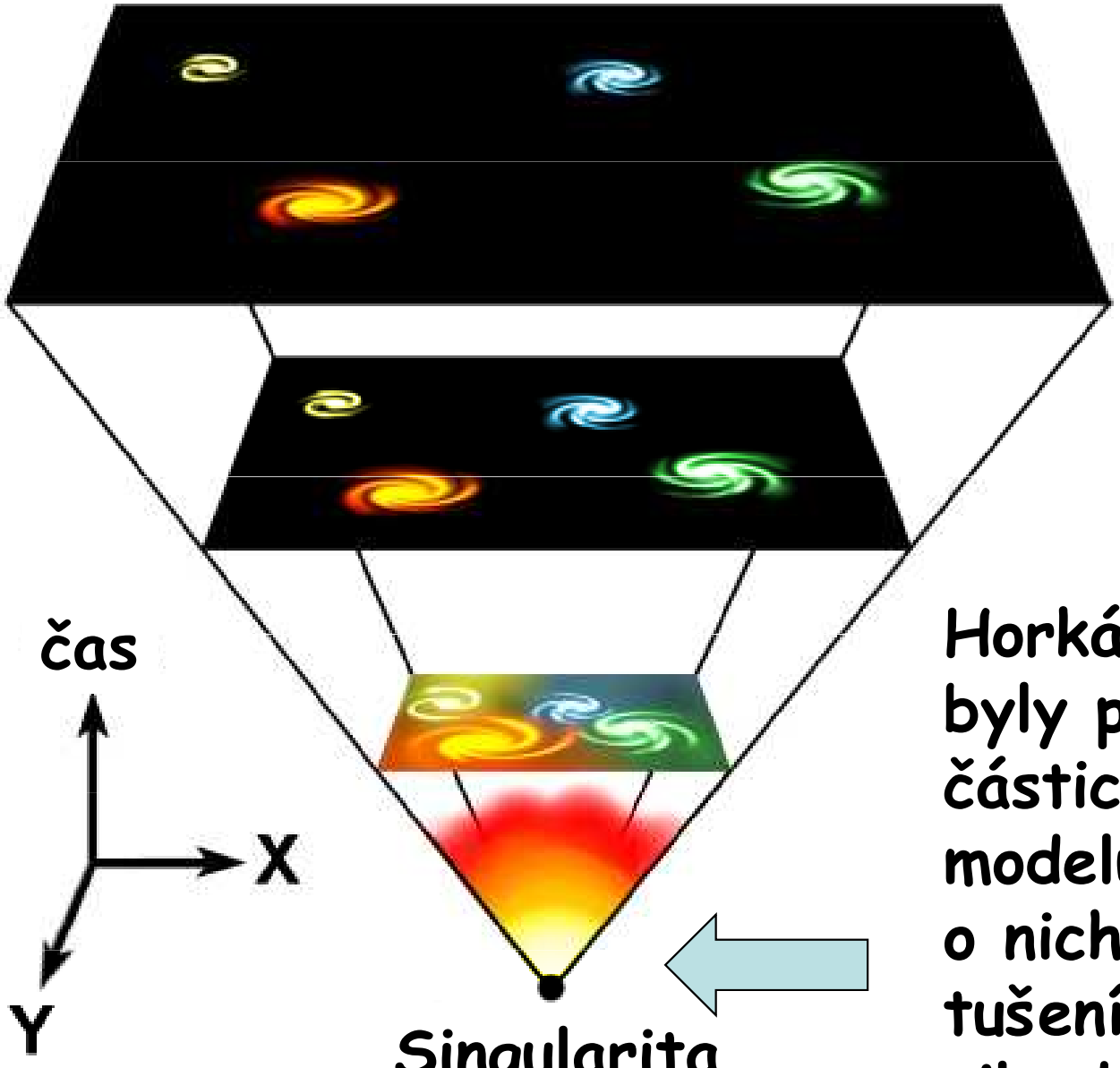
1998: expanze vesmíru **se zrychluje!!!**

Georges Lemaitre (1894 – 1966)



katolický kněz a **nedoceněný génius**, byl po **Einsteinovi**, **Fridmanovi** a **de Sitterovi** čtvrtým fyzikem, jenž aplikoval Einsteinovu obecnou teorii relativity **v kosmologii**.

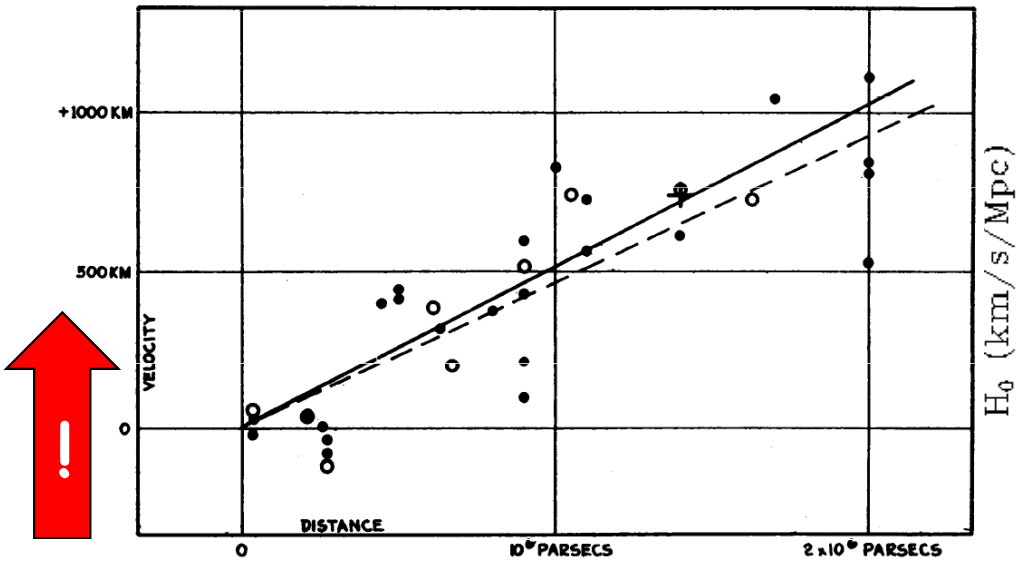
jeho představa o rozpínání vesmíru:



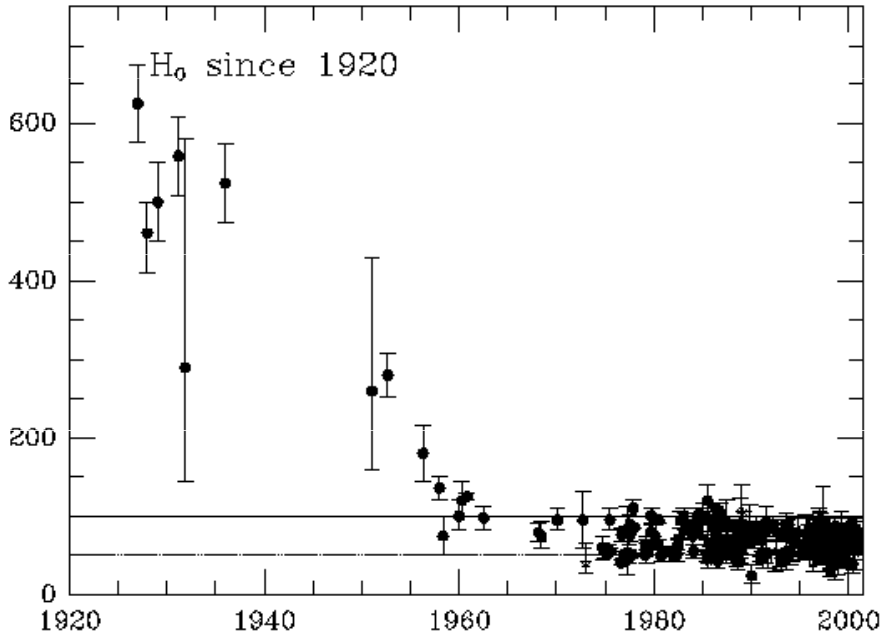
Horká polévka, v níž byly přítomny všechny částice standardního modelu, ale i částice, o nichž nemáme ani tušení. Všechny ovlivnily další vývoj vesmíru do dnešní podoby

Hubble měřil **závislost rudého posuvu** (rychlosti vzdalování) galaxií **na jejich vzdálenosti,** určené ze zdánlivé svítivosti.

Původní Hubbleův graf



vzdálenost v Mpc



Časový vývoj hodnoty H_0

$$v = H(t)D(t)$$

$t_0 = 1/H_0$: Hubbleův čas

udává zhruba **stáří vesmíru**

Na rozpínání prostoru však **nevěřil!**

To co expanduje je sám prostor, nikoliv předměty do již existujícího prostoru. Naopak, předměty se primárně vzdalují proto, že se prostor rozpíná. Rychlost tohoto rozepínání **může být větší než rychlost světla.**

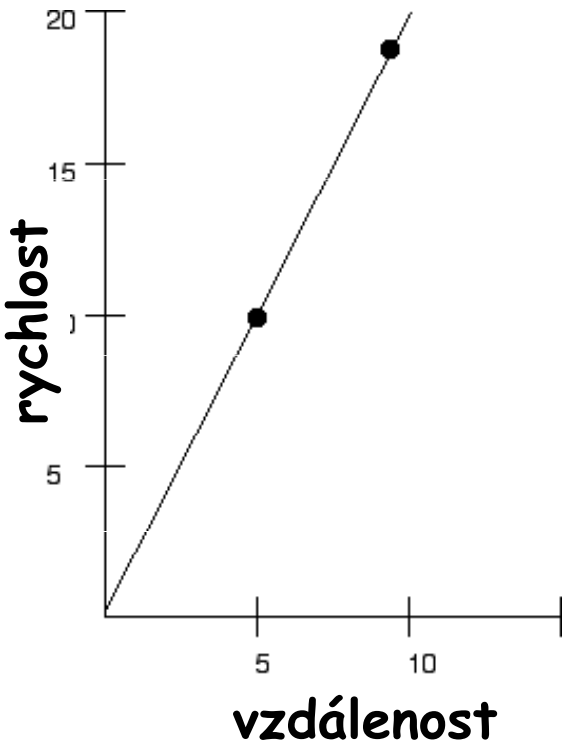
Existují tělesa, která jsou **„vázaná"** a jež se s expanzí nerozpínají (například **Brooklyn ve filmu Woodyho Allena** ***Annie Hall***). Jedině díky nim můžeme expanzi pozorovat.

Rozpínání vesmíru definuje pro každého pozorovatele

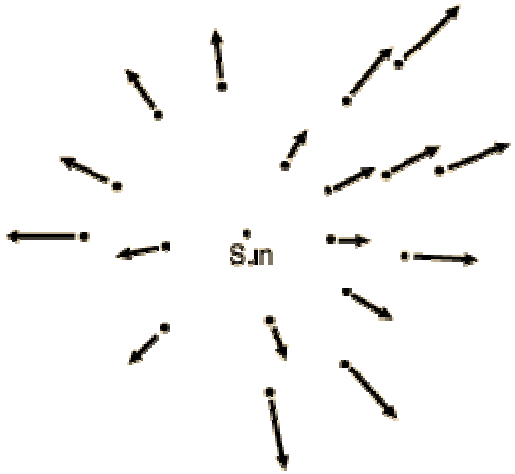
preferovaný systém, v němž se všechny galaxie od sebe vzdalují. Takový existuje jenom jeden.

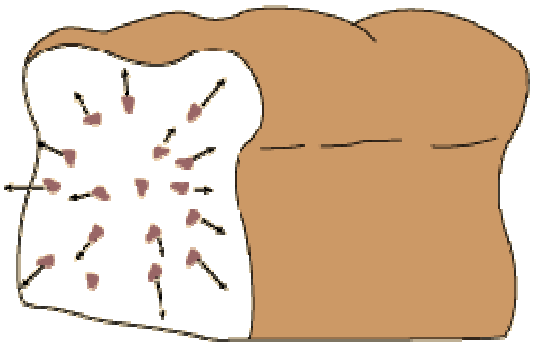
Pohyb vůči tomuto systému **lze detegovat**. Například náš sluneční systém se vůči němu pohybuje rychlostí **370 km/sec.**

Velký třesk je velmi **netriviální hypotéza**, kterou si nelze plně představit, ale lze ji jen přiblížit různými analogiemi jako je rozpínající se míč



či kynoucí těsto





fyzikální vzdálenost $d(t) = a(t) \cdot r$ → „comoving" souřadnice

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t)\left[\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin\theta d\phi^2\right], k = -1,0,1$$

škálovací parametr popisuje rozpínání vesmíru

popisuje křivost

Z Einsteinových rovnic $G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} + g_{\mu\nu}\Delta$

plynou **Fridmanovy rovnice**

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8}{3}\pi G\rho - \frac{kc^2}{a^2}$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4}{3}\pi G\left(\rho + 3\frac{P}{c^2}\right)$$

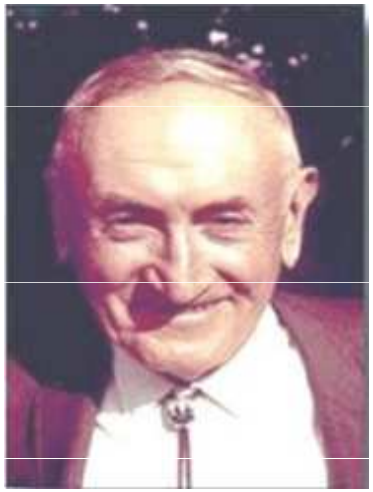
Pro **vakuum** platí: $P_{vac} = -\rho_{vac}c^2 \Rightarrow \rho_{vac} + 3\frac{P_{vac}}{c^2} = -2\rho_{vac} < 0!$

Vakuum se chová jako antigravitující materiál

přičemž $\rho_{vac} = \Delta / 8\pi G$

Temná hmota

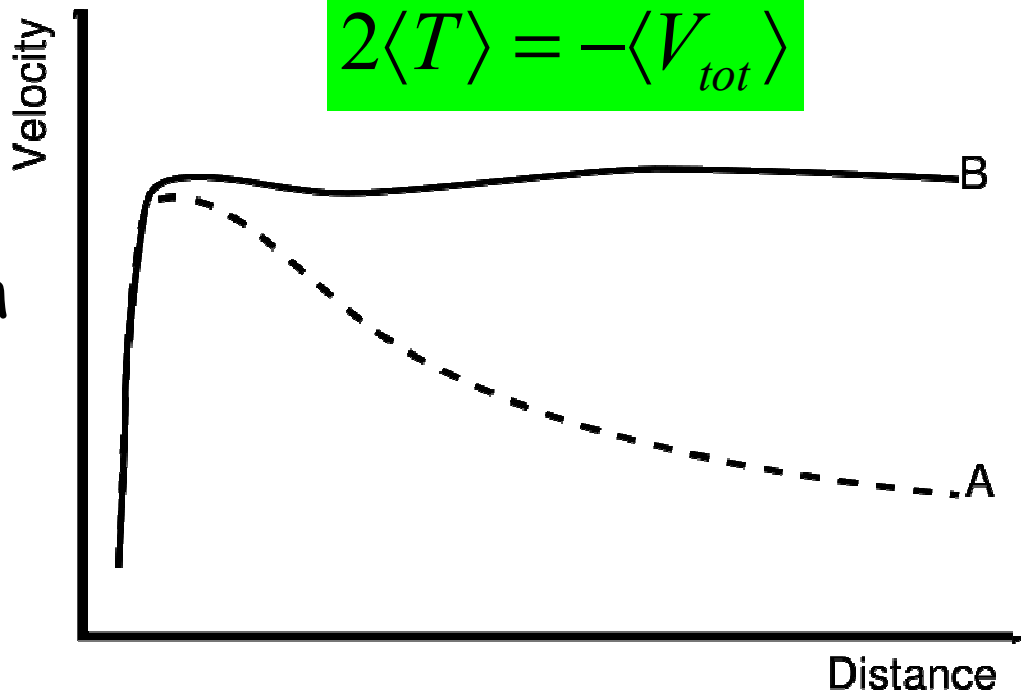
Již od 30. let 20. století astronomové získávali svědectví o tom, že **ve vesmíru je více hmotnosti, než pozorujeme**:

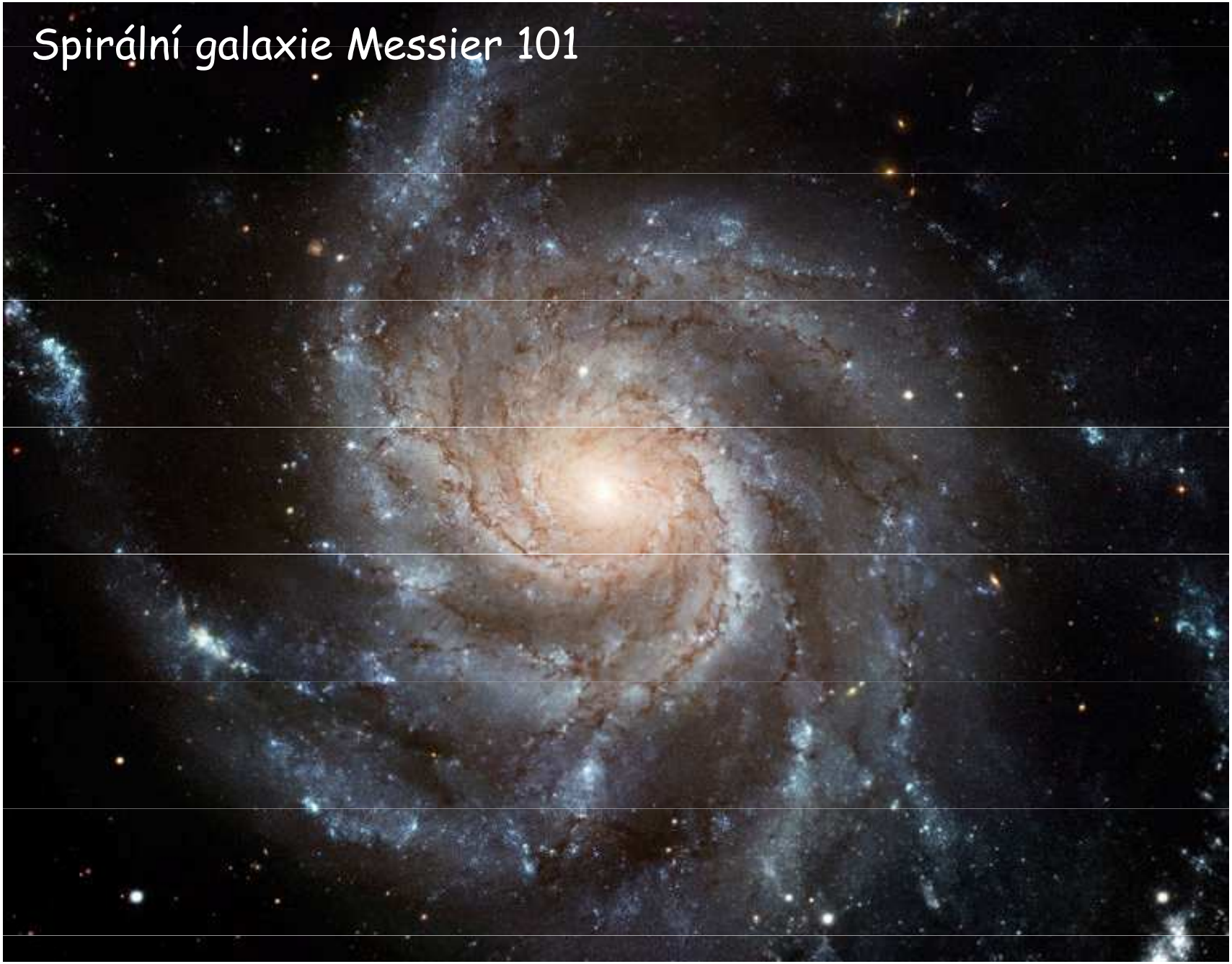


1933 Fritz Zwitzky: rychlosti galaxií na okraji klastru Coma neodpovídaly viditelné hmotnosti. Pro vysvětlení pohybu galaxií bylo **třeba cca 400 krát více hmotnosti.**

1975: Vera Rubin: rotační křivky spirálních galaxií **jsou ploché až na samý okraj.**

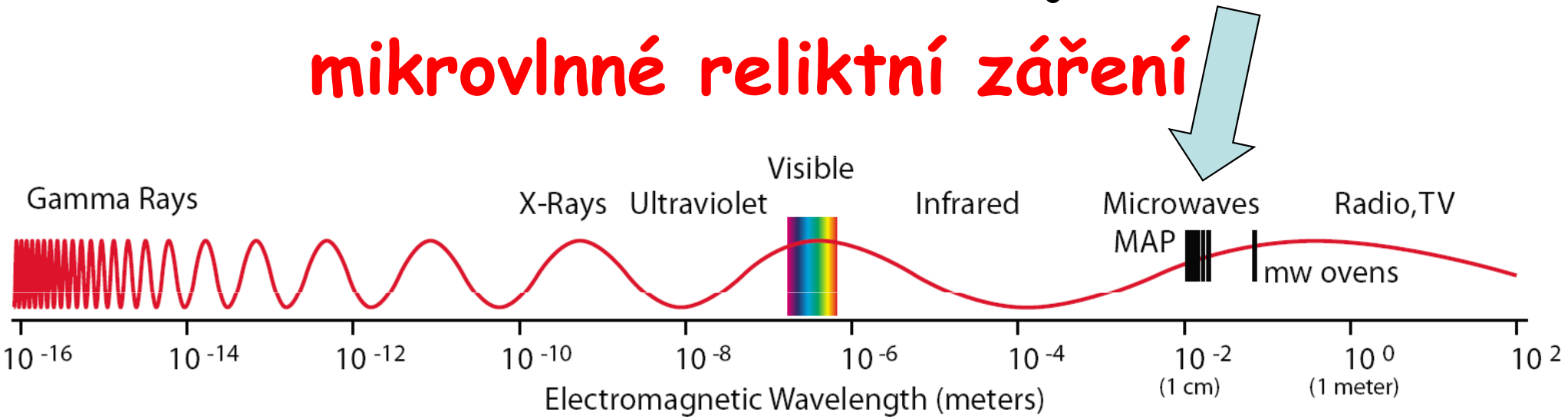
$$2\langle T\rangle = -\langle V_{tot}\rangle$$




Spirální galaxie Messier 101

1965: Penzias a Wilson (náhodně) objevili

mikrovlnné reliktní záření



a tím přinesli druhé a klíčové experimentální svědectví ve prospěch hypotézy rozpínán vesmíru, která se již tehdy (Hoylem posměšně) nazývala

velký třesk

Prvotní teorie velkého třesku a její problémy

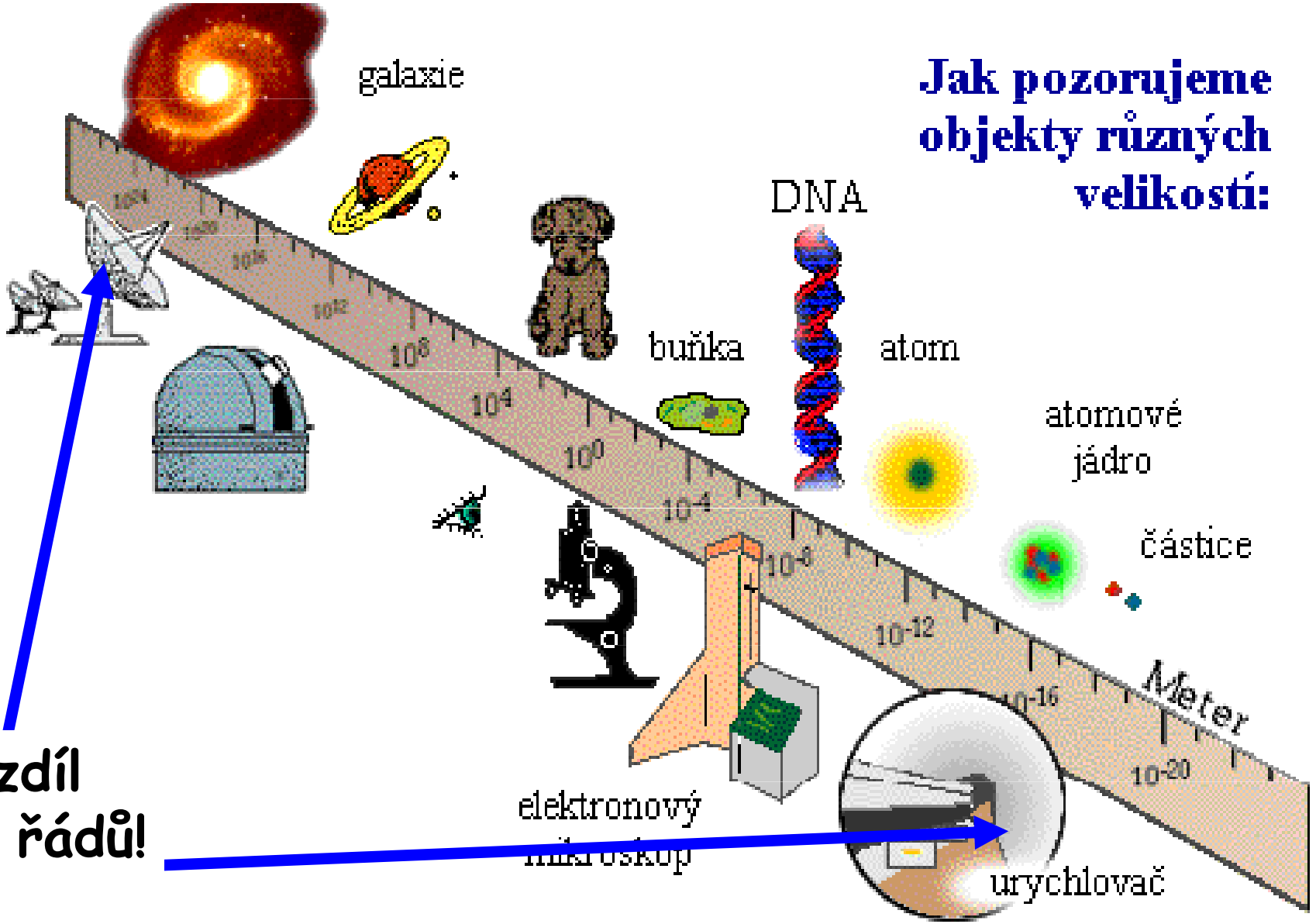
- kde se vzala převaha hmoty nad antihmotou?
- vesmíru je příliš homogenní
- vesmír je příliš izotropní (hvězdy a CMB)
- vesmír se zdá být příliš plochý
- co tvoří temnou hmotu?
- jak vznikly nehomogenity?

a především: odkud se vzala hmota a

Teorie velkého třesku by se tedy měla správně nazývat

Teorie vesmíru krátce po velkém třesku

Charakteristické rozměry



Jak pozorujeme objekty různých velikostí:

Rozdíl 45 řádů!