

ESIMESED 300000 AASTAT

Universumi alghetkele lähedaste sündmuste kirjeldamiseks eeldame, et tegemist on tasase Universumiga ($k=0$), kehtib ultrarelativistlik olekuvõrrand. Siis on U. Temperatuur ja aeg seotud ligikaudse võrdusega

$$T \approx 10^{10} \cdot t^{-\frac{1}{2}},$$

Aine-energia tihedust kirjeldab siis seos

$$\rho_E = \rho c^2 = \frac{3c^2}{32\pi G t^2},$$

PAISUVA UNIVERSUMI, ALGAS 14 MILJARDIT AASTAT TAGASI

Universumi alguse etapid

- Universumi vanus on $t < 10^{-43}$ s (nn Planck'i aeg).

Arvatakse, et sel ajal tekkisid nii aeg kui ka ruum.

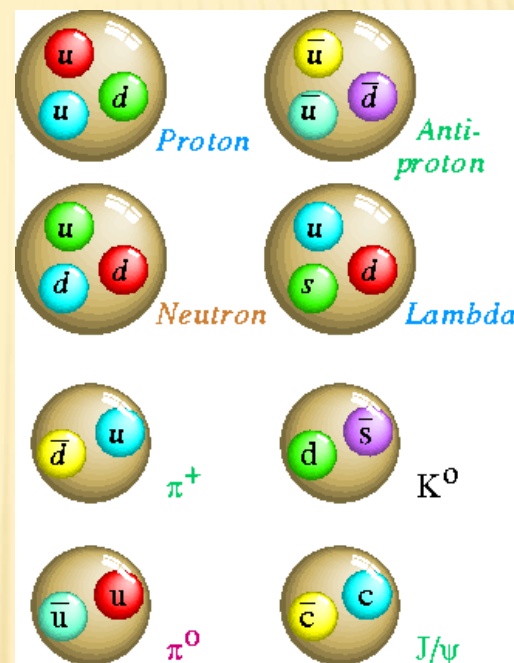
Millised olid siis füüsikalised seaduspärasused, seda ei teata.

- Universumi vanus on $10^{-43} < t < 10^{-34}$ s.

Toimus Universumi inflatsiooniline ülikiire paisumine.

Nende etappide kohta võib teha vaid teoreetilisi oletusi, mida tänapäevased vaatlused ei suuda 100%-liselt kinnitada ega ümber lükata.

- **Universumi vanus on $10^{-34} < t < 10^{-10}$ s**
 Temperatuur on kõrgem kui 10^{15} K. Selle perioodi alguses tekib aine ja antiaine asümmeetria – kvarke (millest koosnevad prootonid ja neutronid, piionid, kaaoni) ja leptoneid (näiteks elektronid ja positronid, müüonid, neutriinod) on ühe miljardiku võrra rohkem kui Nende antiosakesi. Sellest ajast on pärit meie Universumi 'aine'.
 Etapi lõputemperatuur ja ainetihedused on saavutatavad tänapäeva kiirendites.



-**Universumi vanus on 10^{-10} - 10^{-6} s.**
 -Temperatuur on kõrgem kui 10^{13} K, ainetihedus on suurem aatomituuma tihedusest. Sel etapil ühinevad kvargid prootoniteks, neutroniteks ja teisteks barüonideks. Antiaine ja aine ühinevad, sellest jääb järgi kiirgus ning väike aine ülejääk

-Leptonite staadium: 10^{-6} -10s

Temperatuur on vahemikus $5 \cdot 10^9$ - 10^{13} K . Ainetihedus langeb 1 kg/cm^3 . Ka elektronid-positronid annihilleeruvad. Alles jäävad paariliseta elektronid (väike aine ülejääk!). Iga aine osakese kohta on miljard footonit (varem ligikaudu võrdselt). Leptonite staadiumi lõpus hakkavad toimuma esimesed termotuumareaktsioonid – moodustuma raskemate aatomite tuumad (He, ülivähe Li, Be).

- Heeliumi ja deuteeriumi tuumade süntees: 10-100s.

Universumis domineerivad footonid ja neutriinod. Väga väike osa (üks miljardik) on prootoneid, elektrone ja neutroneid.

Temperatuur on kõrgem kui 500 miljonit K. Perioodi lõpus on tihedus langenud umbes kümnekordse veetiheduseni 10 g/cm^3 . Sel etapil moodustuvad vesinikust raskemate aatomite stabiilsed tuumad. Põhiliselt tekivad heeliumi ja deuteeriumi tuumad. Etapi lõpus on kõigist aatomi tuumadest umbes 27% heeliumi tuumad ja 73% vesiniku tuumad (prootonid).

-100s – umbes 300000 aastat

Temperatuur on langenud umbes 4000K-ni. Enamus prootonitest ja elektronidest on ühinenud neutraalseteks aatomiteks. Kiirgus (footonid) ei ole enam vastastikmõjus ainega.

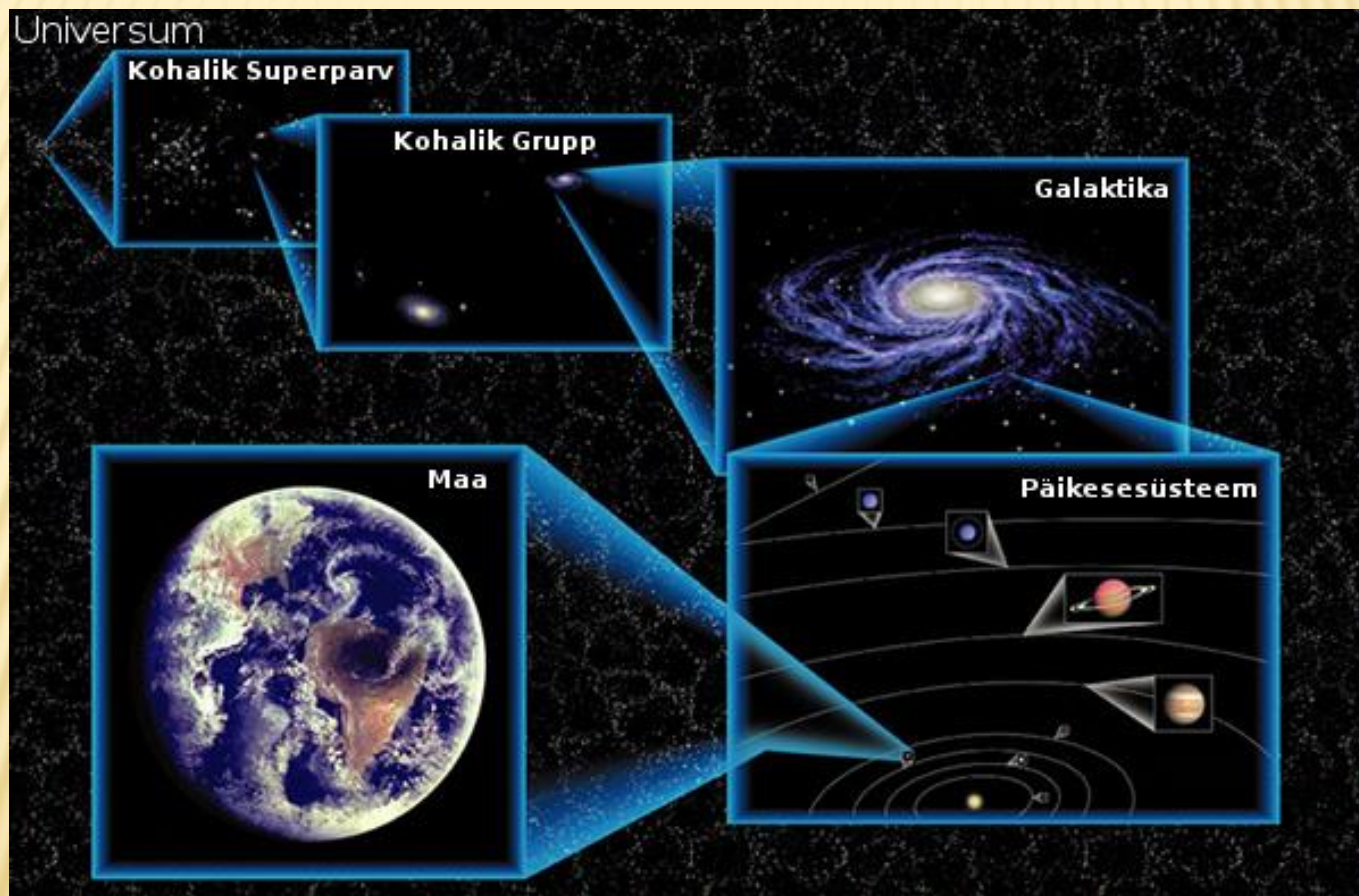
Universumi paisumise käigus ainetihedus küll langeb, kuid aine saab hakata gravitatsiooniliselt kokku tõmbuma (kiirgus ei suru seda laiali).

Universumi paisumise käigus kiirgus jahtub omasoodu – sellest ajast pärit reliktkiirgus.

Miks on 4000K oluline temperatuur? –

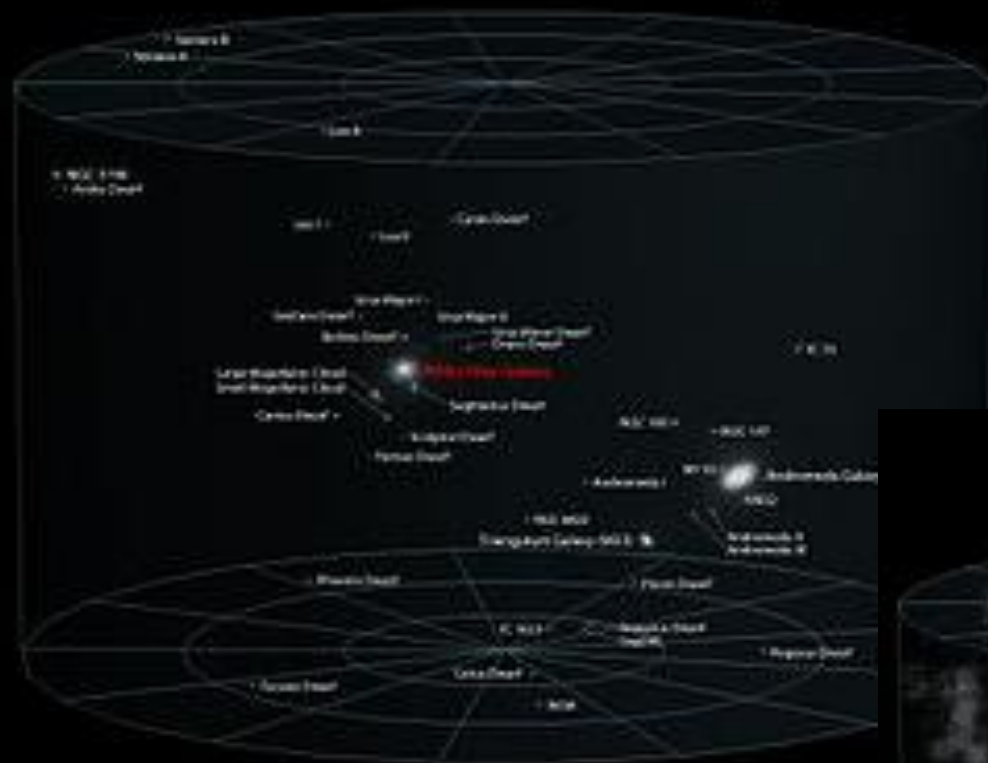
El.magnetkiirguse kvandid (footonid) on vastastikmõjus laetud osakestega, ei lase neil klompi tõmbuda. 4000 K juures hakkavad tekkima neutraalsed aatomid, vabu laetud osakesi pole, seega saavad hakata tekkima gravitatsioonitsentrid.

MASTAAPIDEST NATUKE

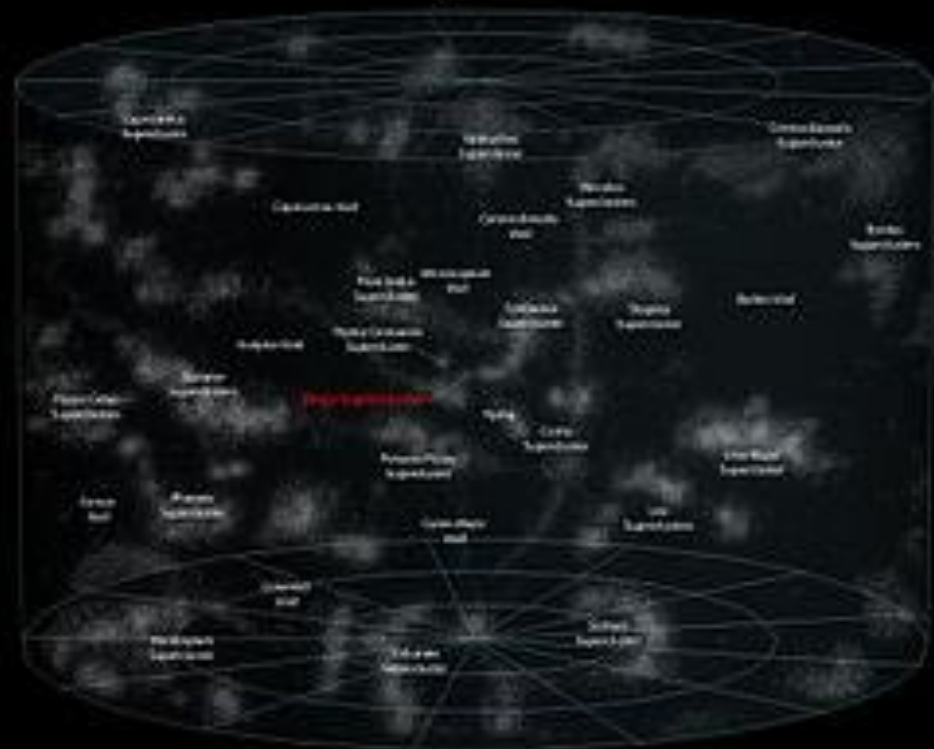


Kaugel Linnutee galaktika läänepoolses spiraalharus, Galaktika keskmest umbes 30000 valgusaasta kaugusel on kollane täht nimega Päike, millest umbes 150 miljoni km kaugusel tiirleb sinakas-roheline planeet nimega Maa.

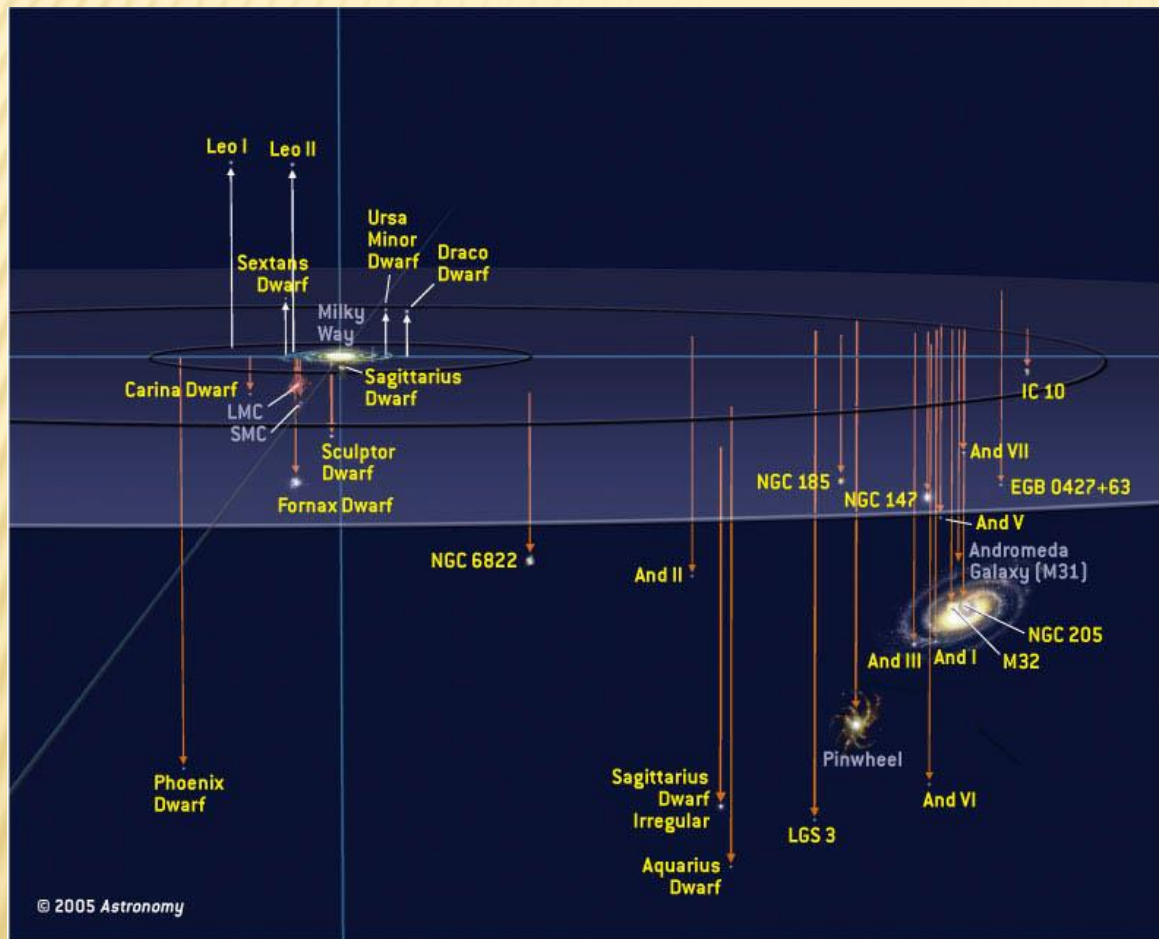
Local Galactic Group



Local Superclusters



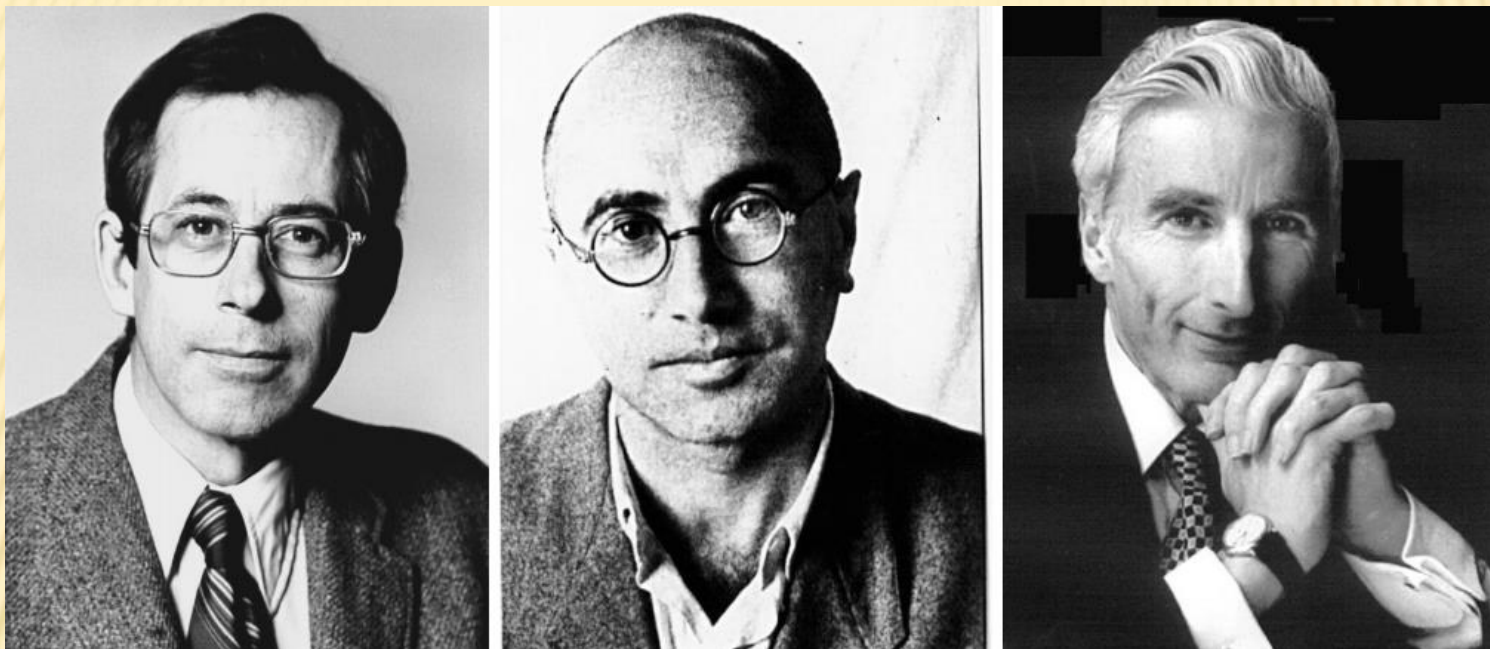
LOKAALNE GRUPP



- ✖ Lokaalses Grupis liiguvad osad galaktikad meie poole, osad meist eemale ning kaks galaktikat (Suur ja Väike Magalhaesi pilv) tiirlevad ümber Galaktika.
- ✖ Meie Galaktika liigub Andromeeda galaktika suunas kiirusega 300 000 km/h.

UNIVERSUMI SUUREMASTAABILINE STRUKTUUR

- ✘ Kuid - vaatlused näitavad, et suuremastaabiline struktuur (galaktikaparved) pidid hakkama tekkima juba Universumi esimestel etappidel
- ✘ Senised arvutused näitasid, et alles 300000 aastat pärast Suurt Pauku, kui Universum oli piisavalt jahe (umbes 4000 K), said need tekkima hakata. Arvutisimulatsioonid näitasid, et kui aine hakkaks alles nüüd gravitatsiooniliselt tõmbuma suurematesse klompidesse, siis tänu selle 'hõredusele' ja jätkuvale paisumisele ei jõuaks moodustuda sellised suurmastaabilised struktuurid nagu me praegu näeme.
- ✘ Järeldus: kusagil peab olema ainet, mis ei põrkuks footonite ja kuuma ainega, kuid alluks gravitatsioonile - tumeaine! See aine saab hakata varem gravitatsiooniliselt tõmbuma.



Jim Peebles, Jakov Zeldovitš, Martin Rees – 1970.-1990.ndad – teoreetilised arvutused suuremastaabiliste struktuuride tekkeks. Arvutisimulatsioonid tänapäeval kinnitavad, et selleks, et praeguseks on Universum arenenud selliseks nagu ta on, on vajalik tumeaine olemasolu.

GALAKTIKATE PÖÖRLEMISE ÜLLATUSED

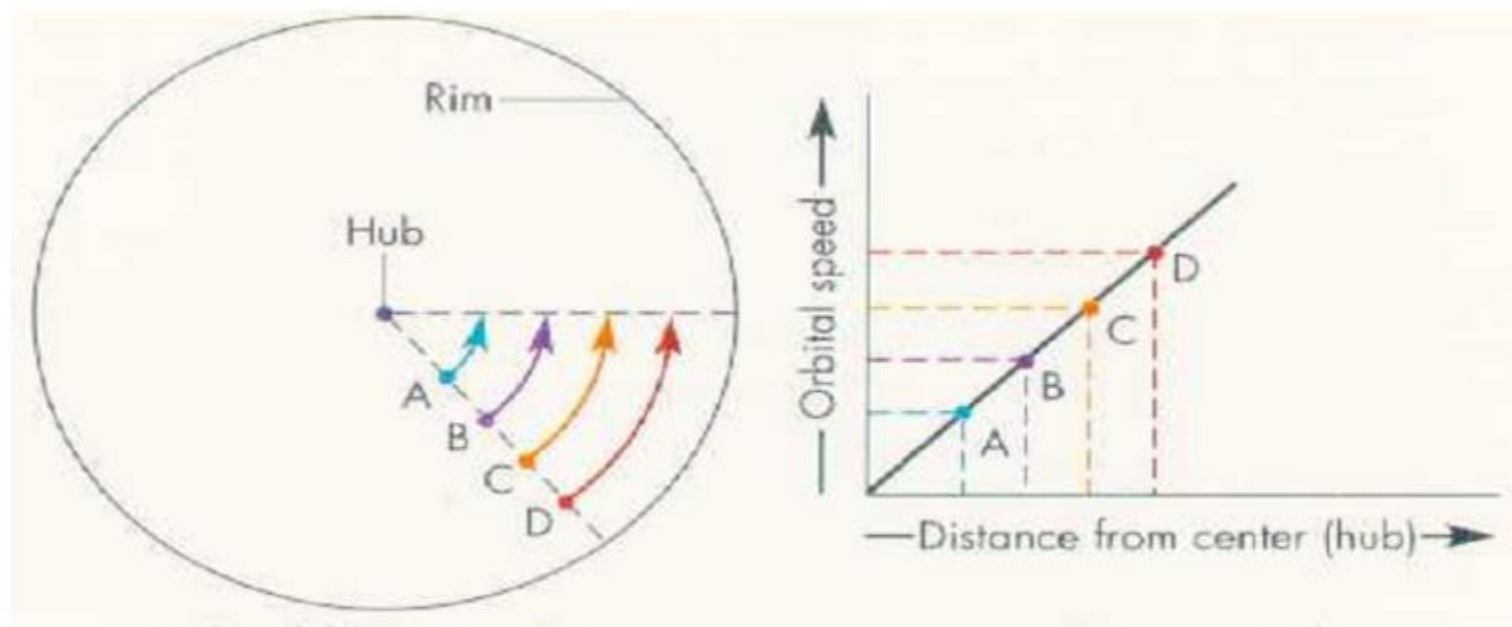


- Galaktika tsentrist erineval kaugustel olevate tähtede tiirlemise järgi võime välja arvutada galaktikate massijaotuse.
- Sellised uuringud näitavad, et see mass, mida me näeme (nähtav mass) moodustab vaid kümnendiku galaktika tegelikust massist.

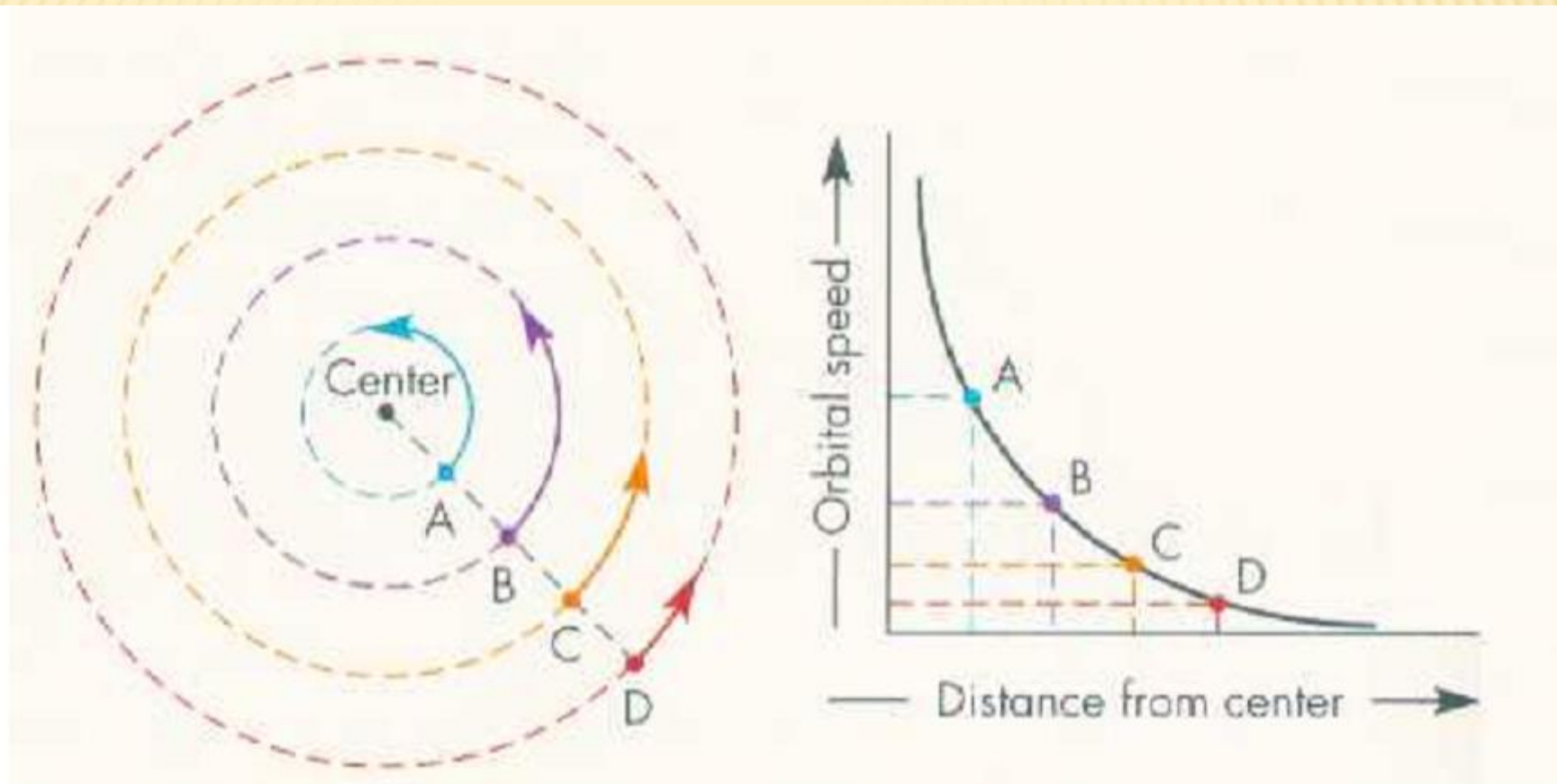
Enamik galaktika massi tundub asuvat hoopis galaktika kettast väljaspool – galaktika **halos**.

Seda massi me aga ei näe – **varjatud mass**.

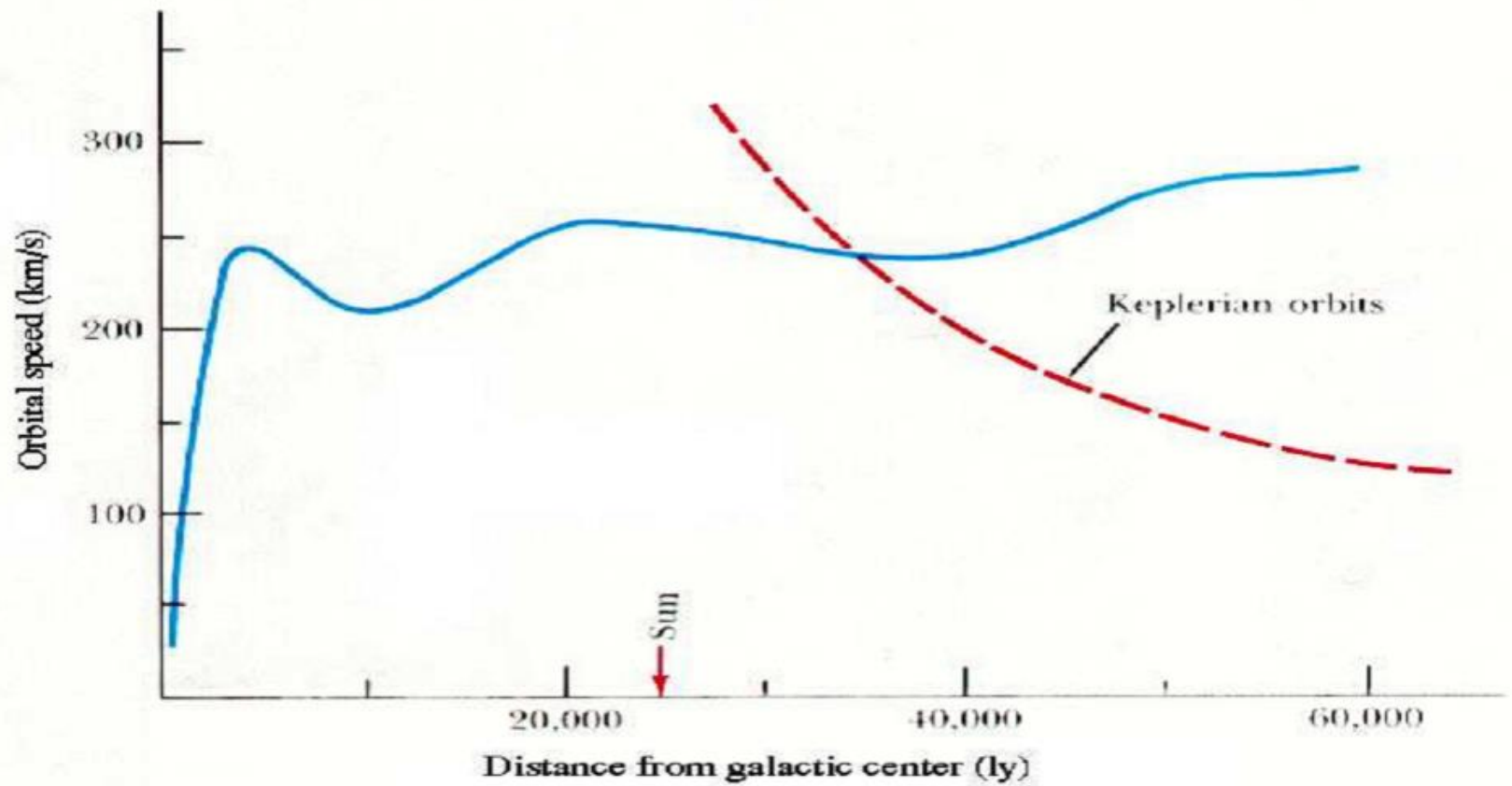
Tumeaine – miks see peaks olemas olema?

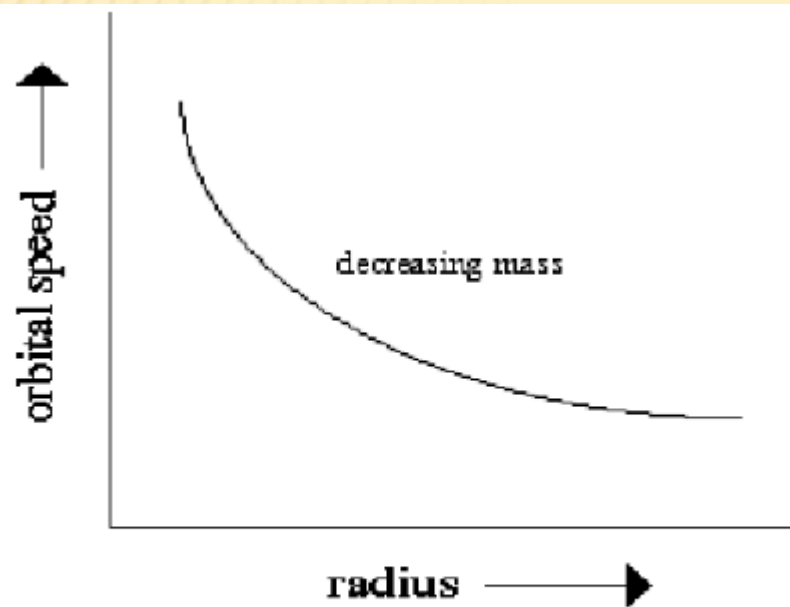


Kiiruste jaotus kettas. Nurkkiirus on kõikjal ühesugune, joonkiirus suureneb võrdeliselt raadiuse suurenemisega.

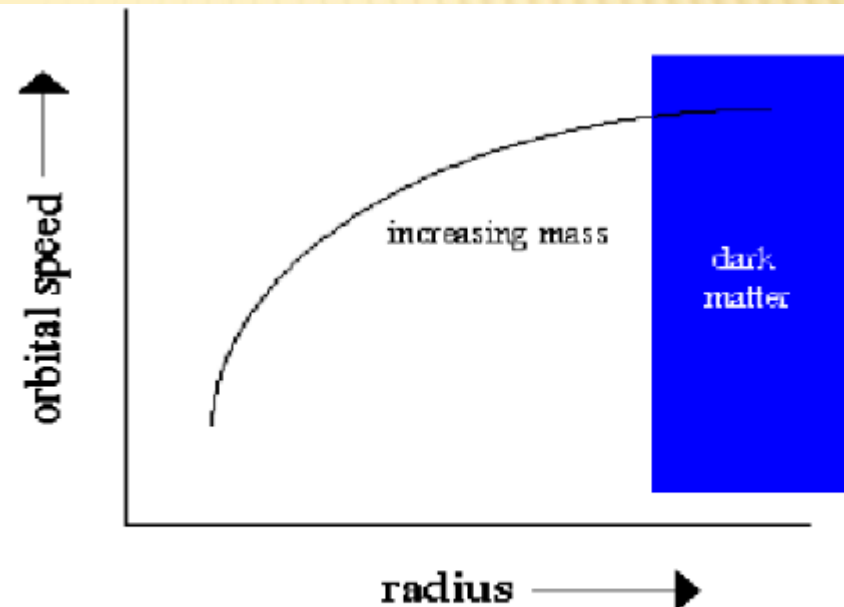


Planeetide tiirlemiskiirus ümber tähe – nn Kepleri tiirlemine.





Me peaksime nägema järgmist



Kuid näeme seda siin

Teoreetilised mudelid on näidanud, et juba 300000 a pärast Suurt Pauku pidid ilmema tiheduse fluktuatsioonid, st reliktkiirgus ei saa olla igast suunast täpselt ühesugused, vastasel korral ei oleks olnud võimalik struktuuride teke 400000 a hiljem.

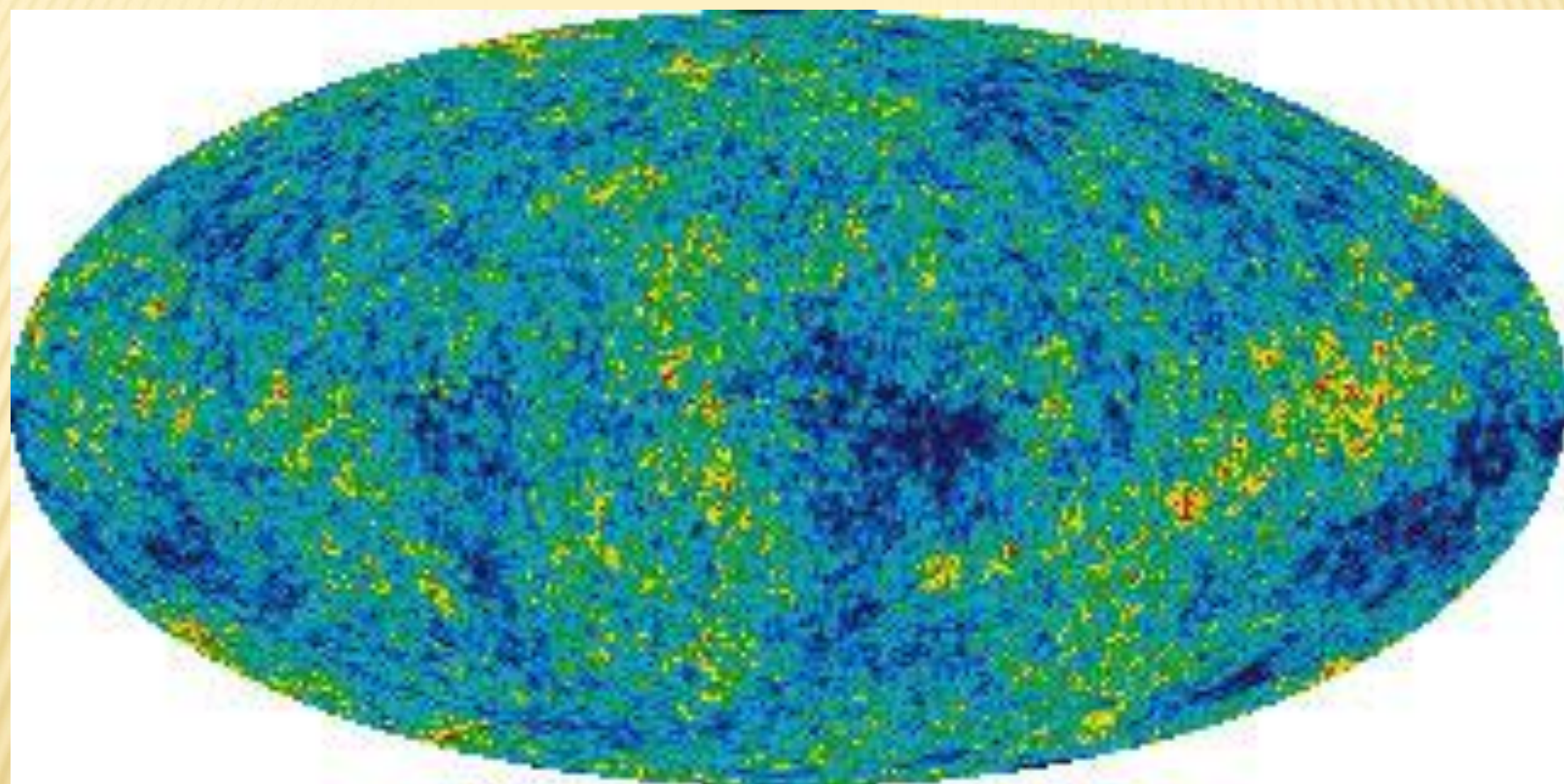
Sellekohased vaatluslikud uuringud 1980.ndate lõpust 1990.ndateni – kinnitus, et reliktkiirgusel on oma struktuur. 2006.a. Nobeli preemia –



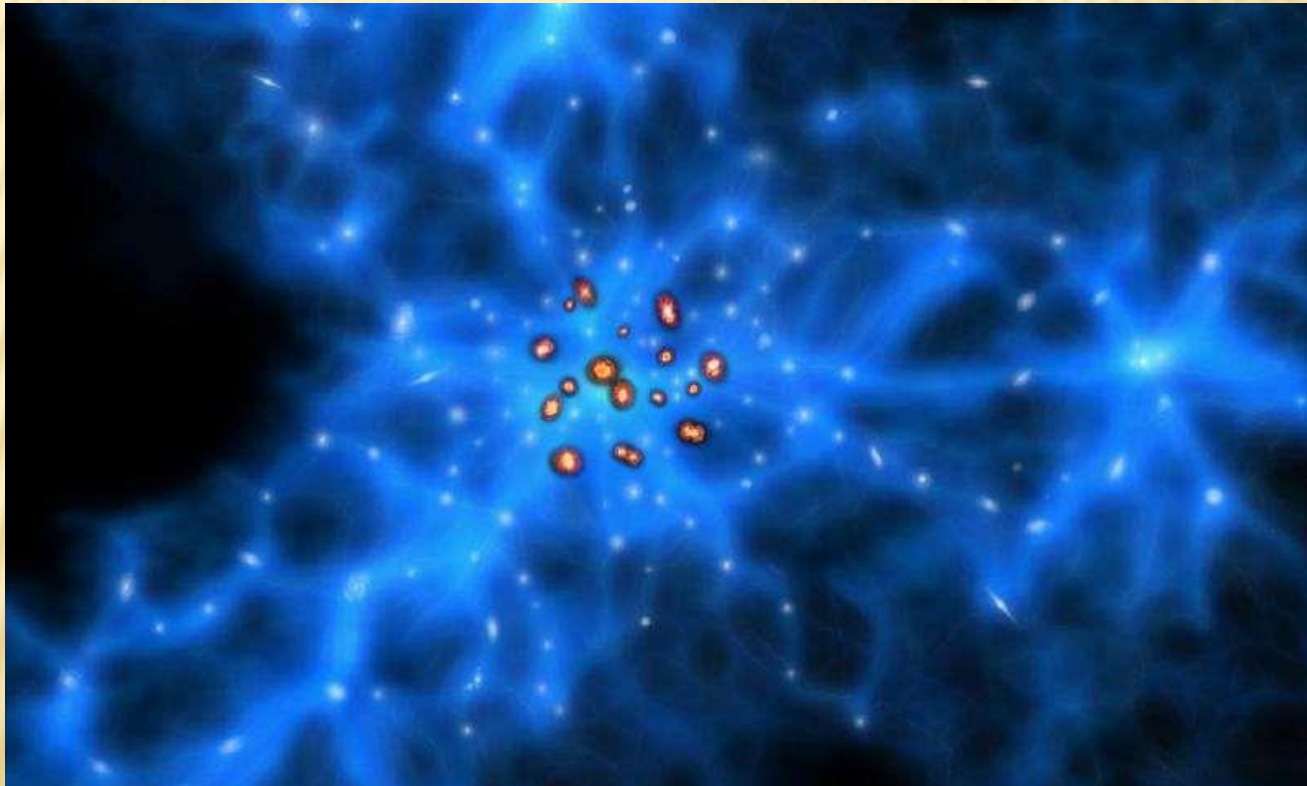
John C. Mather (1946-)



George F. Smoot (1945-)

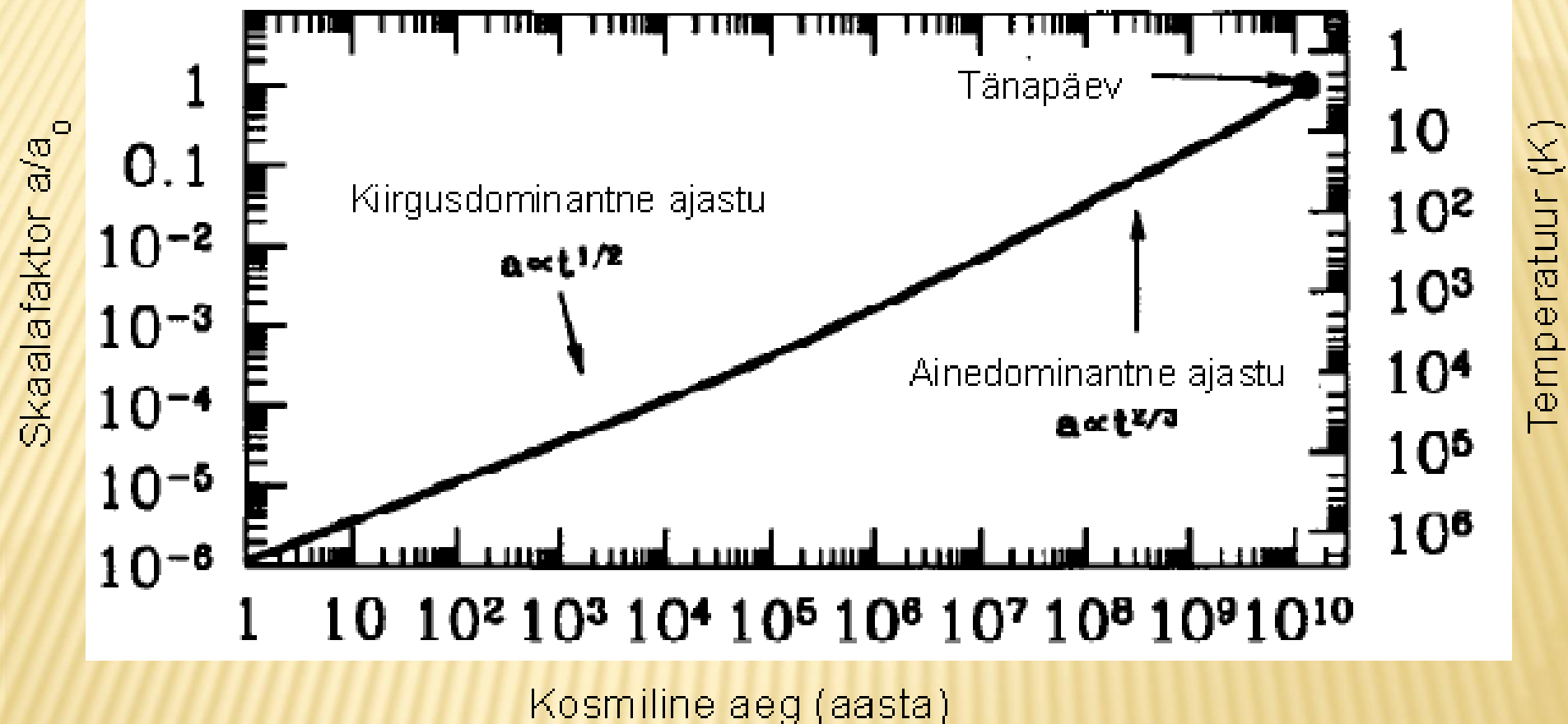


11,5 miljardi valgusaasta kaugusel olevate sündivate galaktikate vaatlused näitavad, et need hakkasid tekkima tumeaine filamentide ristumiskohtades. (ALMA)

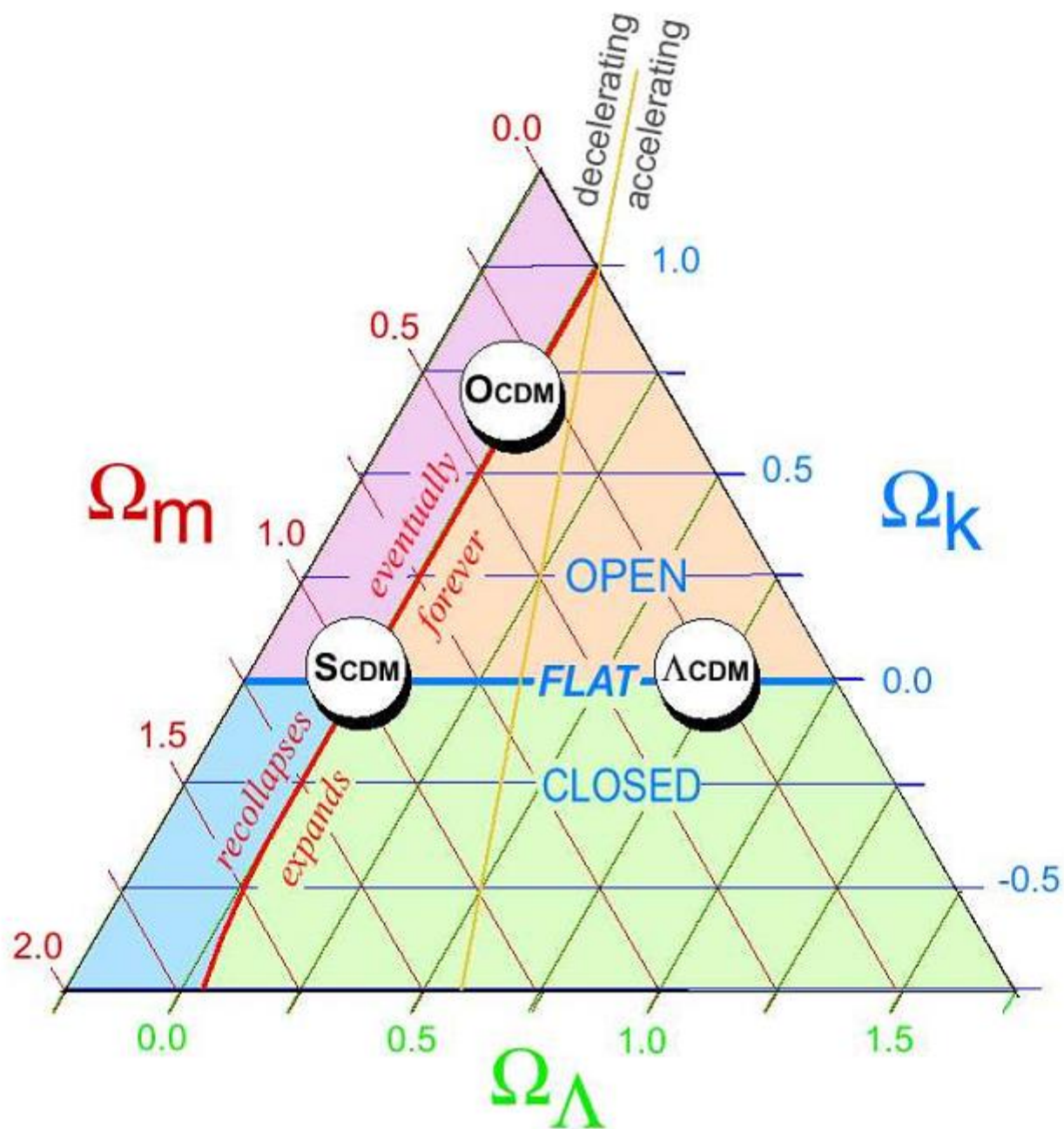




Saul Perlmutter (1959-), Adam Guy Riess (1969-) ja Brian Paul Schmidt (1967-) juhtisid töögruppe, kelle poolt 1990.ndate keskpaigast läbiviidud vaatlused näitasid, et Universum paisub tegelikult kiirenevalt. St, leidub nn tumeenergia (kosmoloogiline konstant), mis 'töötab vastu' gravitatsioonile.



Millalgi ainedominantse ajastu keskel, umbes 6-7 miljardit aastat tagasi on hakanud domineerima tumeenergia, tekitab Universumi kiireneva paisumise



UNIVERSUMI TULEVIK

- Ilma tumeenergiata, mis surub Universumit kiirenevalt laiali, oleks üks võimalikke stsenaariume see, et Universum hakkab kunagi tagasi kokku tõmbuma, siis tuleks Suur Krõmps.
- Tumeenergia tõttu peaks Universumi paisumine üha kiirenema kuni lõpuks on aine Universumis ülimalt hõre, tähed kustunud.
- Kuid – me ei tea, mis on tumeaine, mis on tumeenergia – kas neil võib olla omavahel mingi seos (praegu arvatakse, et ei) või toimub mingi muutus tumeenergiaga.
- Tumeaine ja tumeenergia on uued mõistatuslikud uurimisobjektid tänapäeva füüsikutele.