



Luonnonfilosofian seura

Helsinki, Tieteiden talo 13.5.2008

Mitä havainnot ja mallit viestittävät todellisuudesta?

[Ari Lehto](#), [Heikki Sipilä](#) ja [Tuomo Suntola](#)



PhysicsWeb Summaries 20.7.2007:

Pimeän energian tutkimusryhmät voittivat kosmologiapalkinnon (July 17, 2007)

Kaksi toisistaan riippumatonta tutkimusryhmää, jotka **havaittivat, että avaruuden laajeneminen on kiihtymässä**, on palkittu tämän vuoden Gruber Cosmology Prize palkinnolla. Palkinto, jonka arvo on \$500,000, on annettu Saul Perlmutter'in ja Brian Schmidt'in johtamille ryhmille, jotka raportoivat havainnoistaan vuonna 1998. Heidän työnsä tuotti ensimmäisen **vakuuttavan todisteen "pimeän energian" olemassaolosta**. Pimeä energia on salaperäinen ja toistaiseksi näkymättömän energiamuodon, jonka fyysikot uskovat toimivan gravitaatiota vastaan saaden avaruuden laajenemisen kiihtymään.

<http://physicsweb.org/article/news/11/7/15>



PhysicsWeb Summaries 20.7.2007:

Pimeän energian tutkimusryhmät voittivat kosmologiapalkinnon (July 17, 2007)

... vaihtoehtoinen tapa uutisointiin olisi ollut:

Kaksi toisistaan riippumatonta tutkimusryhmää, jotka havaitsivat, että [kaukaisten supernovaräjähdyksen kirkkauden suhde saapuvan säteilyn punasiirtymään ei seuraa kosmologian standardimallin ennustetta ... on palkittu ...](#)



PhysicsWeb Summaries 20.7.2007:

Pimeän energian tutkimusryhmät voittivat kosmologiapalkinnon (July 17, 2007)

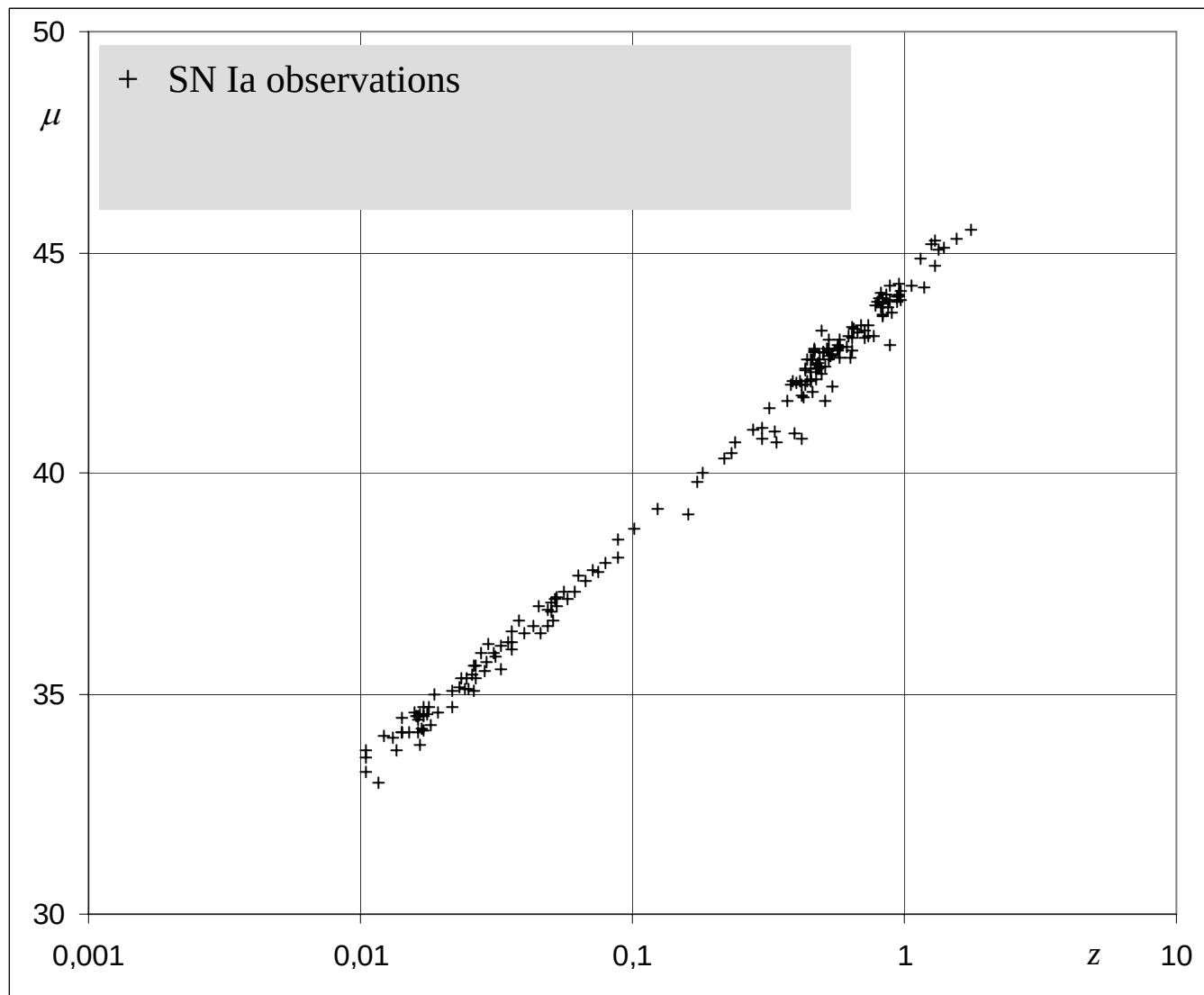
... vaihtoehtoinen tapa uutisointiin olisi ollut:

Kaksi toisistaan riippumatonta tutkimusryhmää, jotka havaitsivat, että [kaukaisten supernovaräjähdyksen kirkkauden suhde saapuvan säteilyn punasiirtymään ei seuraa kosmologian standardimallin ennustetta ... on palkittu ...](#)

... ongelman ratkaisemiseksi on ehdotettu [pimeää energiaa](#), joka toimisi gravitaatiota vastaan galaksien välisessä avaruudessa.



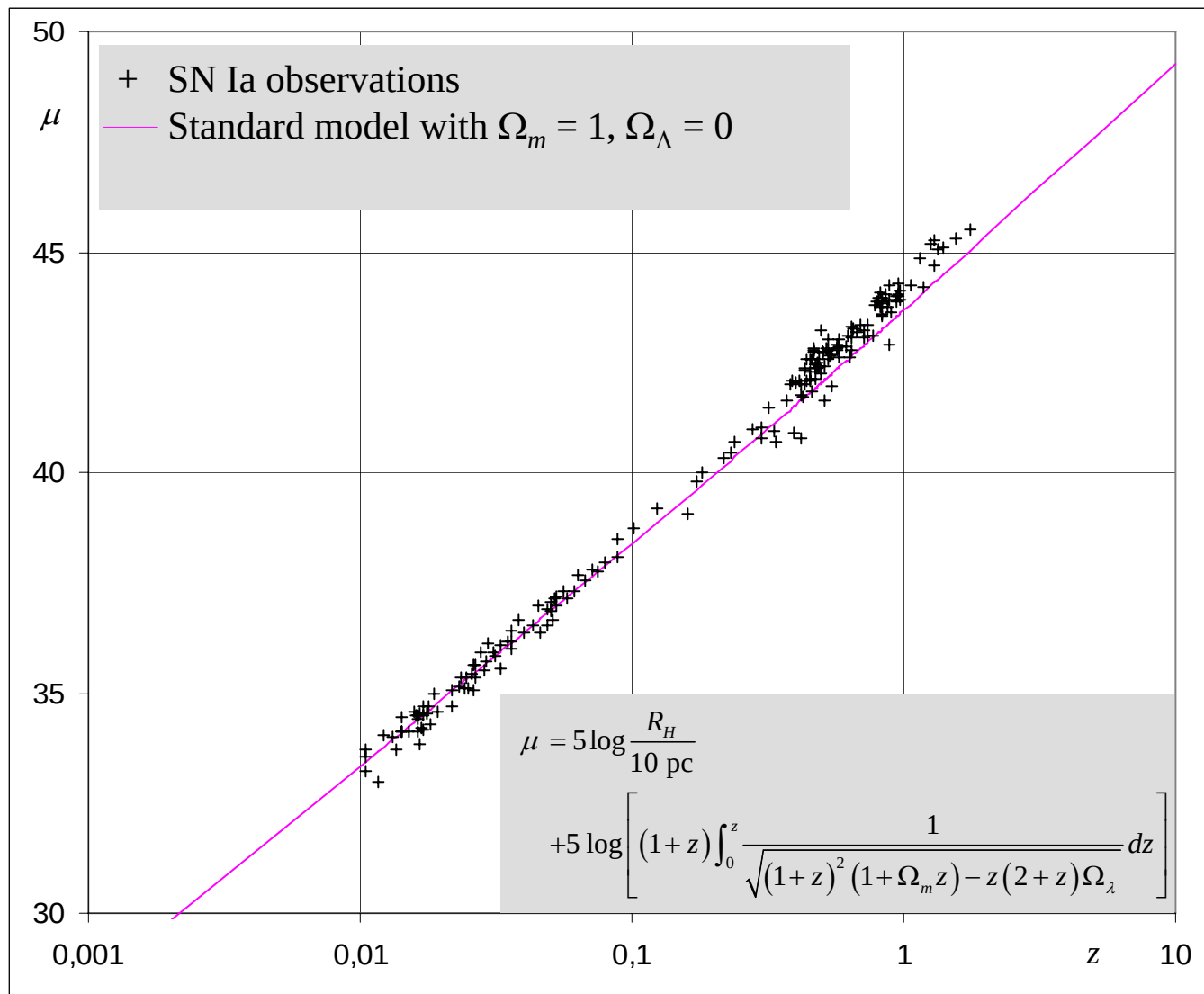
Magnitudi / punasiirtymä (z): Supernovahavainnot



Data:
A. G. Riess, *et al.*,
Astrophys. J., 607, 665
(2004)



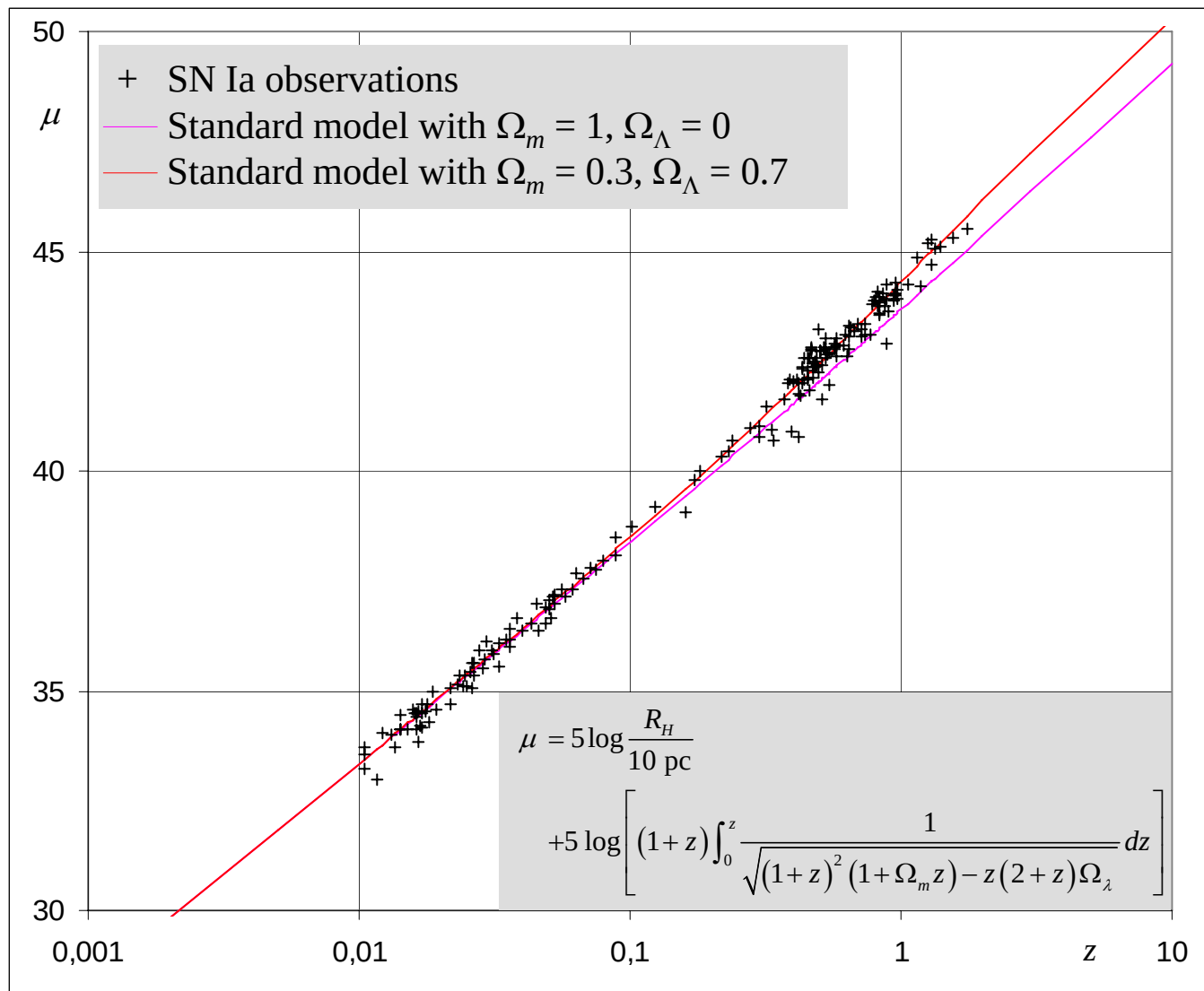
Magnitudi / punasiirtymä (z): Supernovahavainnot



Data:
A. G. Riess, *et al.*,
Astrophys. J., 607, 665
(2004)



Magnitudi / punasiirtymä (z): Supernovahavainnot

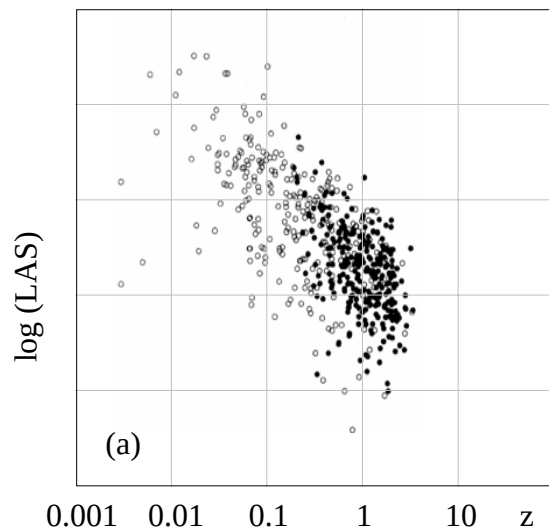


Data:
A. G. Riess, *et al.*,
Astrophys. J., 607, 665
(2004)

Suggested correction:
 $\Omega_m = 0.3$
 $\Omega_\Lambda = 0.7$ (dark energy)



Galaksien ja kvasaarien kulmakoko

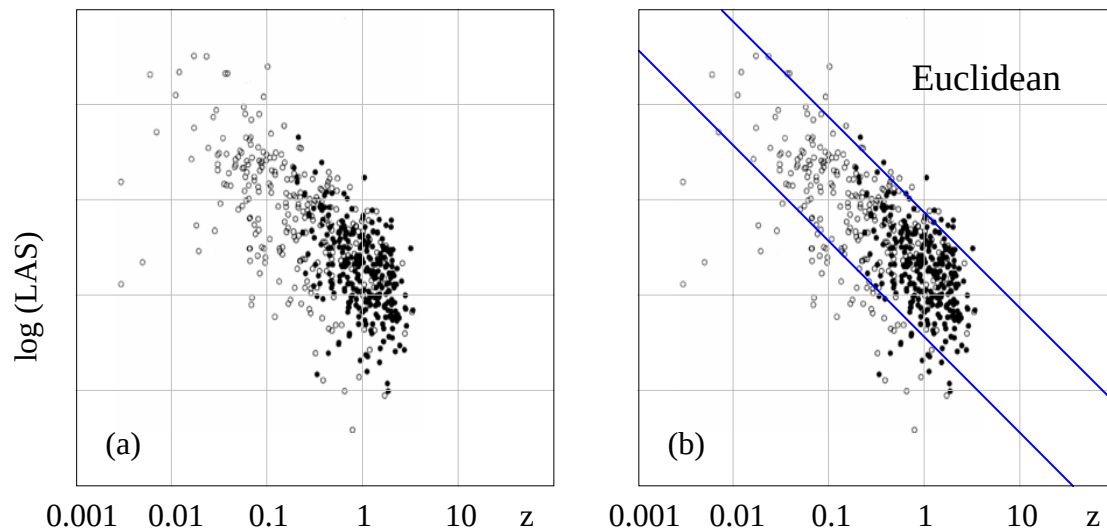


Suurin kulmakoko (LAS),
Avoimet ympyrät: galaksit
Täytetyt ympyrät: kvasaarit

Data:
K. Nilsson *et al.*,
Astrophys. J., **413**, 453 (1993)



Galaksien ja kvasaarien kulmakoko

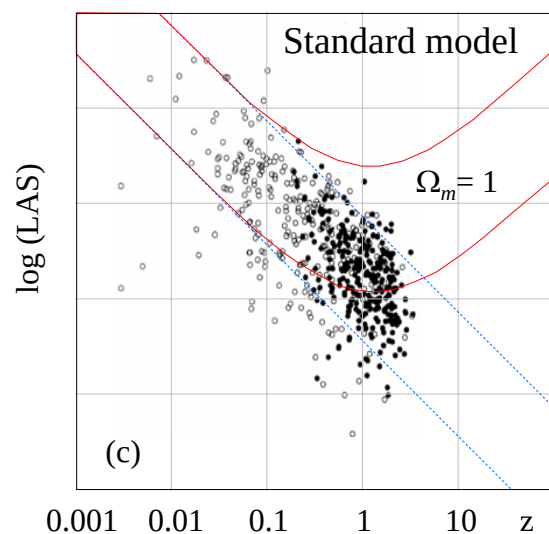
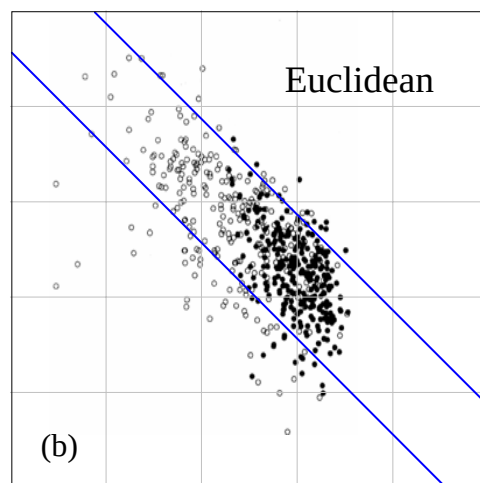
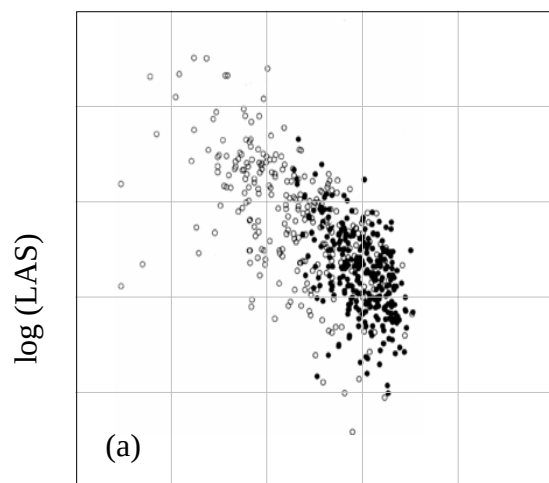


Suurin kulmakoko (LAS),
Avoimet ympyrät: galaksit
Täytetyt ympyrät: kvasaarit

Data:
K. Nilsson *et al.*,
Astrophys. J., **413**, 453 (1993)



Galaksien ja kvasaarien kulmakoko

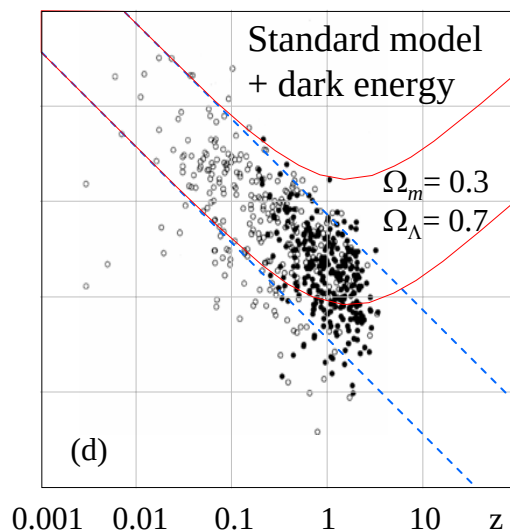
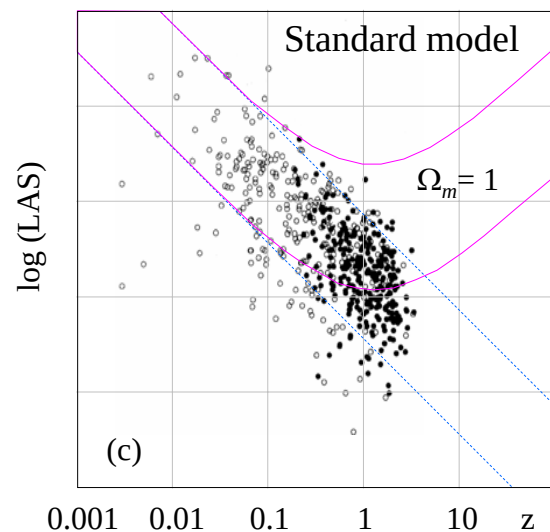
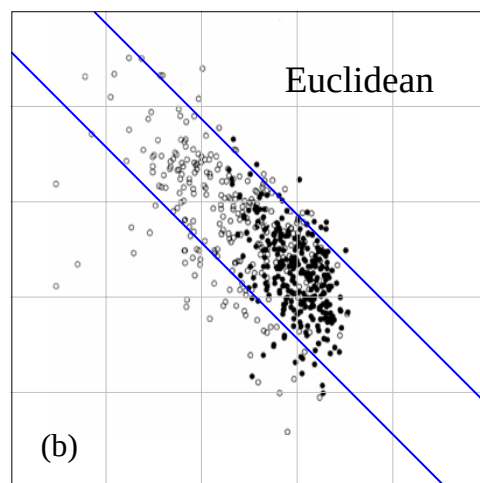
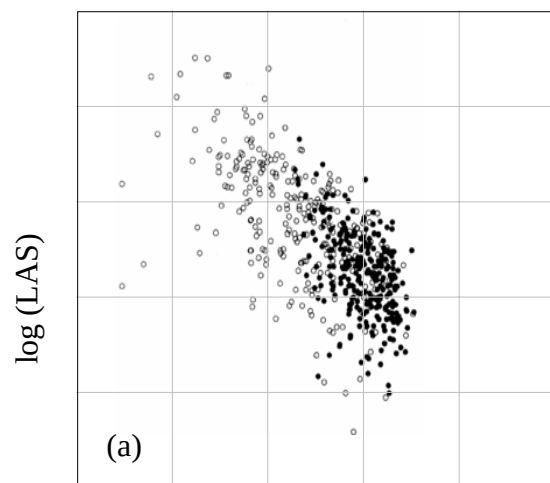


Suurin kulmakoko (LAS),
Avoimet ympyrät: galaksit
Täytetyt ympyrät: kvasaarit

Data:
K. Nilsson *et al.*,
Astrophys. J., **413**, 453 (1993)



Galaksien ja kvasaarien kulmakoko

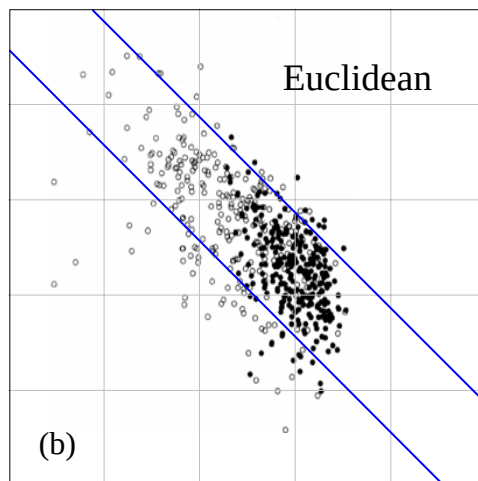
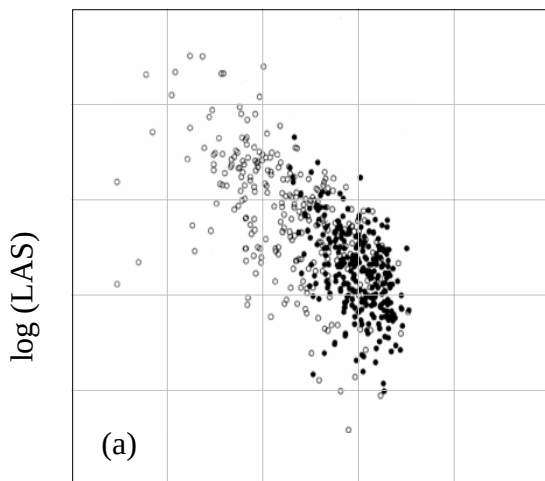


Suurin kulmakoko (LAS),
Avoimet ympyrät: galaksit
Täytetyt ympyrät: kvasaarit

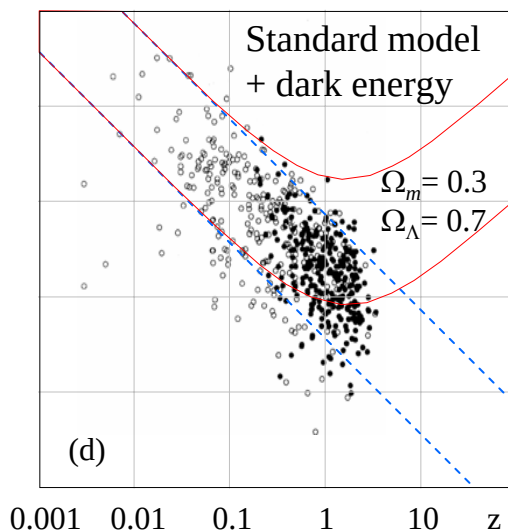
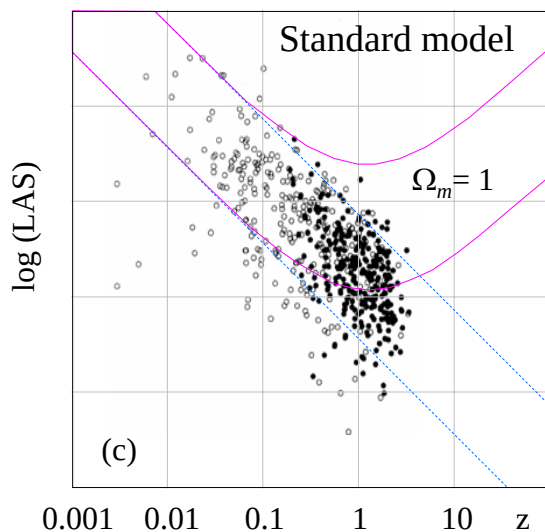
Data:
K. Nilsson *et al.*,
Astrophys. J., **413**, 453 (1993)



Galaksien ja kvasaarien kulmakoko



Suurin kulmakoko (LAS),
Avoimet ympyrät: galaksit
Täytetyt ympyrät: kvasaarit



Data:
K. Nilsson *et al.*,
Astrophys. J., **413**, 453 (1993)

Ehdotettu selitys:
suuren punasiirtymän galaksit
ovat nuoria; koko on vasta
kehittymässä
(spektrihavainnot eivät tue tätä!)



... ratkaiseeko pimeä energia todella ongelman ...

... vai viestittäisivätkö havainnot perustavampaa laatua olevasta ongelmasta kosmologian standardimallissa tai sen perustana olevassa yleisessä suhteellisuusteoriassa?



Mikä universumissa on äärellistä?

Newtonin fysiikka on luonteeltaan paikallinen. Fysiikan suureille ei ole asetettu rajoja. Avaruus on Euklidinen äärettömyyteen asti ja nopeudet Newtonin fysiikassa kasvavat tasaisesti kohti ääretöntä kun kappaleeseen vaikuttaa vakiovoima.



Mikä universumissa on äärellistä?

Newtonin fysiikka on luonteeltaan paikallinen. Fysiikan suureille ei ole asetettu rajoja. Avaruus on Euklidinen äärettömyyteen asti ja nopeudet Newtonin fysiikassa kasvavat tasaisesti kohti ääretöntä kun kappaleeseen vaikuttaa vakiovoima.

1800-luvun lopulla valon nopeuden havaittiin ilmenevän vakiona havaitsijalle hänen liiketilastaan riippumatta sekä myöhemmin myös rajanopeudeksi kappaleita kiihdytettäessä. Suhteellisuusteoria luotiin **kuvaamaan havaintoja** määrittelemällä **valon nopeus vakioksi ja muokkaamalla ajan ja etäisyyden käsitteet** sellaisiksi, että **valon nopeus välittyy kaikissa olosuhteissa vakiona valon etenemiselle ja maksiminopeutena kiihdytettäville kappaleille.**



Mikä universumissa on äärellistä?

Newtonin fysiikka on luonteeltaan paikallinen. Fysiikan suureille ei ole asetettu rajoja. Avaruus on Euklidinen äärettömyyteen asti ja nopeudet Newtonin fysiikassa kasvavat tasaisesti kohti ääretöntä kun kappaleeseen vaikuttaa vakiovoima.

1800-luvun lopulla valon nopeuden havaittiin ilmenevän vakiona havaitsijalle hänen liiketilastaan riippumatta sekä myöhemmin myös rajanopeudeksi kappaleita kiihdytettäessä. Suhteellisuusteoria luotiin **kuvaamaan havaintoja** määrittelemällä **valon nopeus vakioksi ja muokkaamalla ajan ja etäisyyden käsitteet** sellaisiksi, että **valon nopeus välittyy kaikissa olosuhteissa vakiona valon etenemiselle ja maksiminopeutena kiihdytettäville kappaleille.**

Äärellisyys Dynaamisessa Universumissa määräytyy kokonaisenergian äärellisyydestä avaruudessa. Nopeuden äärellisyys on seurausta kokonaisenergian äärellisyydestä ja avaruuden nolla-energiatasapainosta, joka ei salli avaruuden neljännessä ulottuvuudessa tapahtuvaa laajenemista suurempia nopeuksia. Suhteellisuus Dynaamisessa Universumissa kuvaa paikallisesti käytettävissä olevaa osaa kokonaisenergiasta, **suhteellisuudessa välittyy paikallisen suhde kokonaisuuteen.**



Luennoissaan gravitaatiosta 1960-luvun alkupuolella Richard Feynman totesi:

“Kun vertaamme koko avaruuden gravitaatioenergiaa (GM^2/R_H) avaruuden kaiken massan lepoenergiaan, Mc^2 , havaitsemme yllättäen, että $GM^2/R_H = Mc^2$, mikä merkitsee, että avaruuden kokonaisenergia on nolla. ... Tämä on yksi suurista salaisuuksista — ja siksi yksi fysiikan suurista kysymyksistä. Siispä, mikä hyötyä olisi tutkia fysiikkaa, elleivät salaisuudet olisi kaikkein tärkeimpiä tutkimuksen kohteita”.



Luennoissaan gravitaatiosta 1960-luvun alkupuolella Richard Feynman totesi:

“Kun vertaamme koko avaruuden gravitaatioenergiaa (GM^2/R_H) avaruuden kaiken massan lepoenergiaan, Mc^2 , havaitsemme yllättäen, että $GM^2/R_H = Mc^2$, mikä merkitsee, että avaruuden kokonaisenergia on nolla. ... Tämä on yksi suurista salaisuuksista — ja siksi yksi fysiikan suurista kysymyksistä. Siispä, mikä hyötyä olisi tutkia fysiikkaa, elleivät salaisuudet olisi kaikkein tärkeimpiä tutkimuksen kohteita”.

ja edelleen

“... Olisi kiehtovaa ajatella, että universumi on rakenteeltaan pallopinta. Kulkiessamme mihin tahansa suuntaan sellaisella pinnalla, emme koskaan kohtaa reunaa tai päätepistettä vaikka pinta on äärellinen. Voi olla, että kolmiulotteinen avaruutemme on tuollainen pallopintana sulkeutuva tila, **neliulotteisen pallon 3-ulotteinen pinta**. Havaitsemamme galaksien sijainti ja jakautuma vastaisi tällöin pyöreän pallon pintaan piirrettyjen pisteiden jakautumaa.”

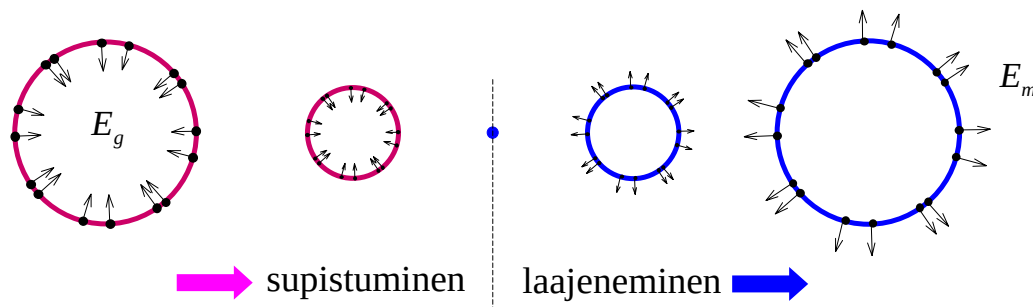


Dynaaminen Universumi – nollaenergia-avaruus

3-ulotteinen avaruus kuvataan 4-ulotteisen pallon pintana, jossa liikkeen energian ja gravitaation energian summa on nolla

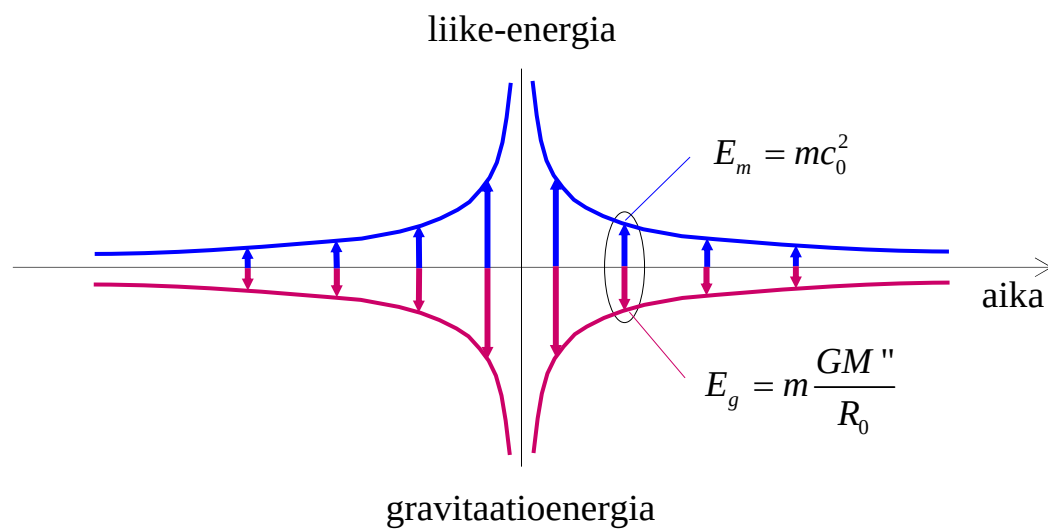
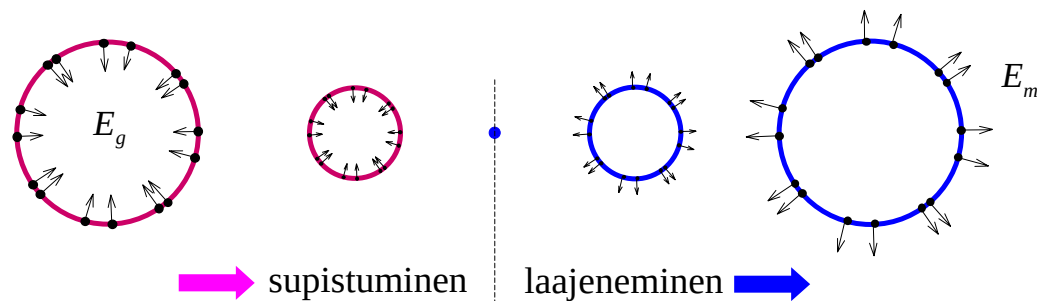


Tasapaino toteutuu heiluriliikkeenä: gravitaatio vie kohti singulariteettia, liike palauttaa tilavuuden laajenemisvaiheessa





Dynaaminen Universumi – nollaenergia-avaruus



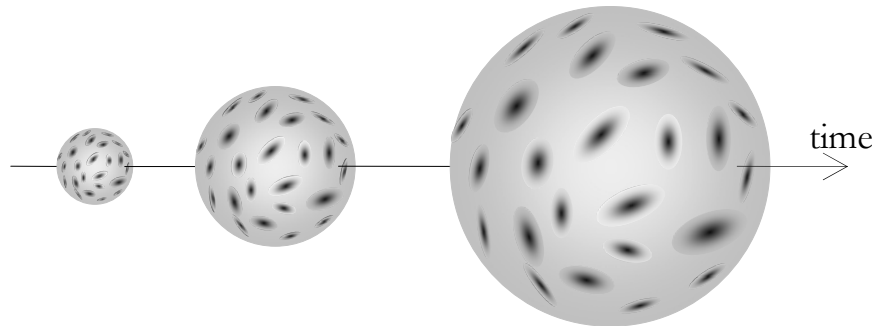


Sisäkkäisten energiakehysten järjestelmä

... suhteellisuus dynaamisessa universumissa merkitsee paikallisen suhdetta kokonaisuuteen ...

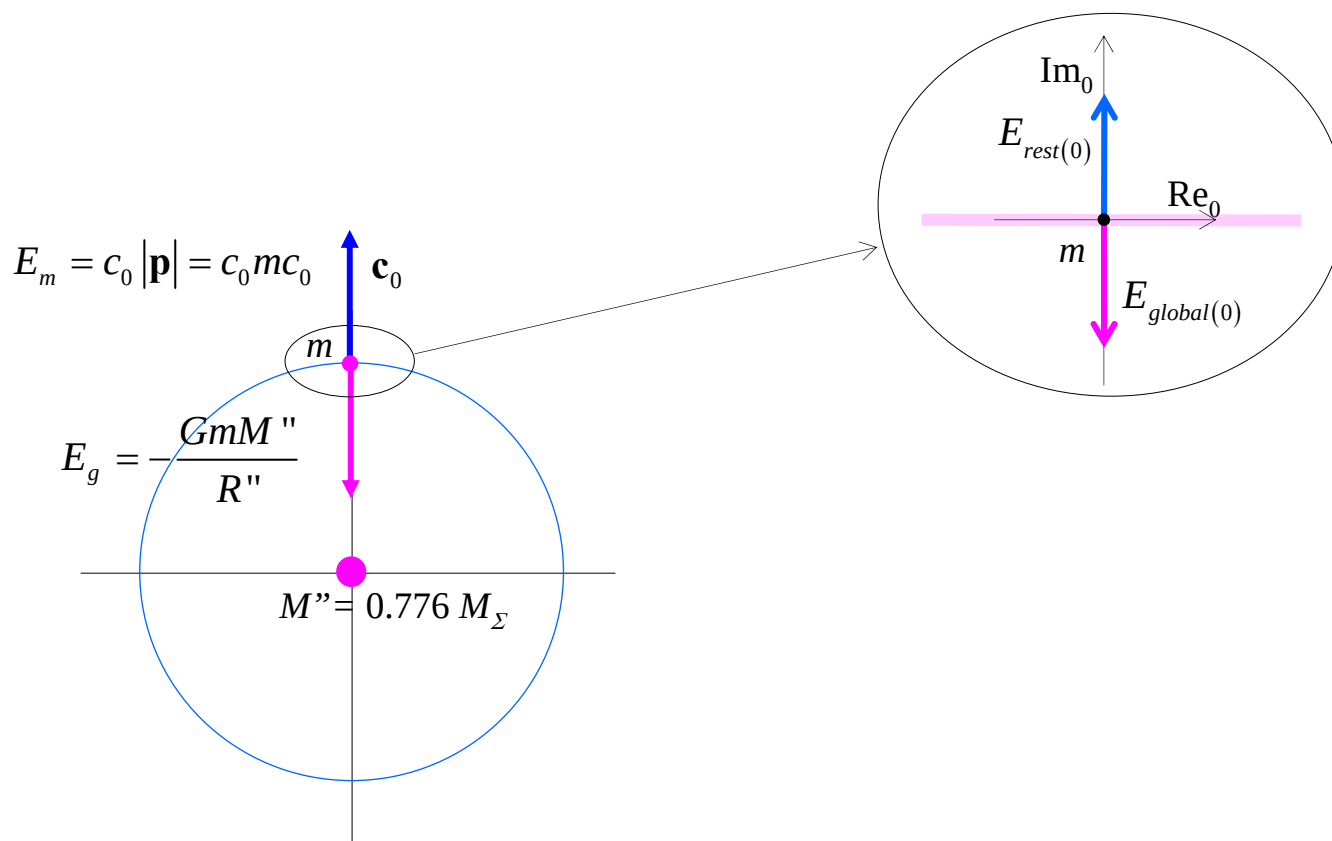
... paikalliset gravitaatiojärjestelmät laajenevat suhteessa koko avaruuden laajenemiseen ...

... nopeudet dynaamisessa universumissa suhteutuvat avaruuden nopeuteen neljännessä ulottuvuudessa ...



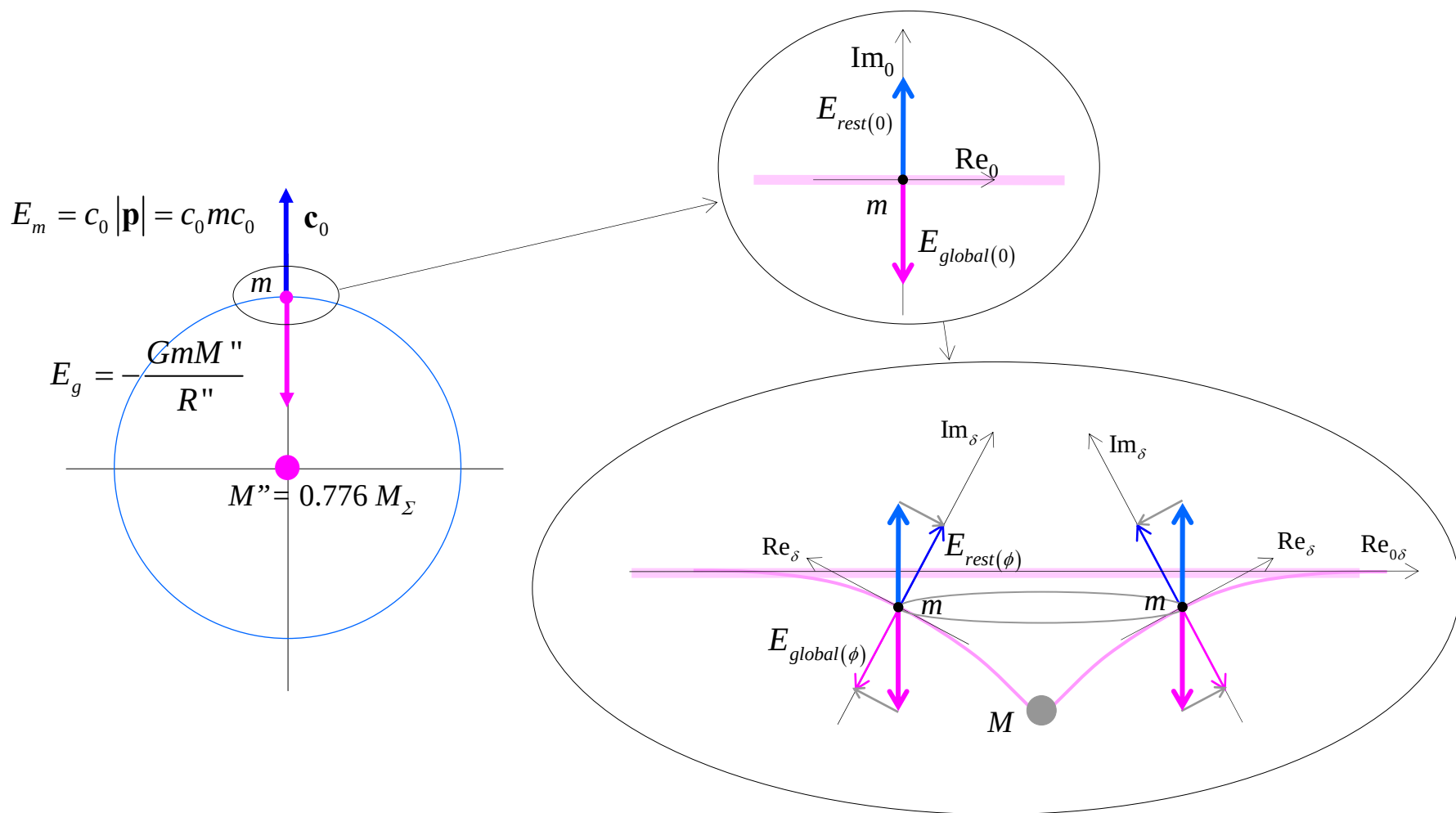


Liikkeen ja gravitaation tasapaino



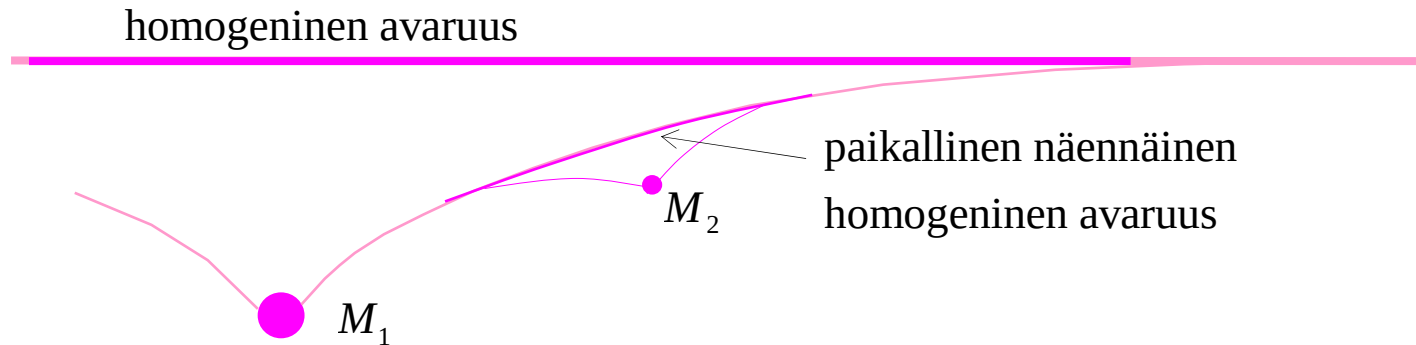


Liikkeen ja gravitaation tasapaino





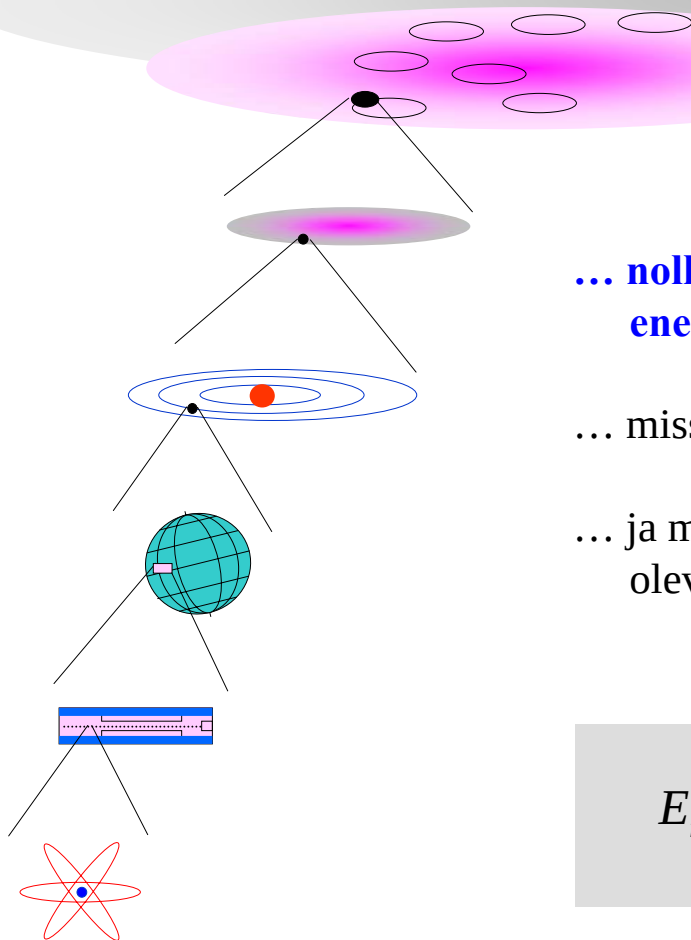
Liikkeen ja gravitaation tasapaino





Sisäkkäisten energiakehysten järjestelmä

Kuvitteellinen homogeeninen avaruus



... nollaenergia-avaruus on kuvattavissa sisäkkäisten energiakehysten järjestelmästä ...

... missä pätee absoluuttinen aika ja etäisyys ...

... ja missä suhteellisuus viestittää paikallisesti käytettävissä olevaa osaa kokonaisenergiasta, ...

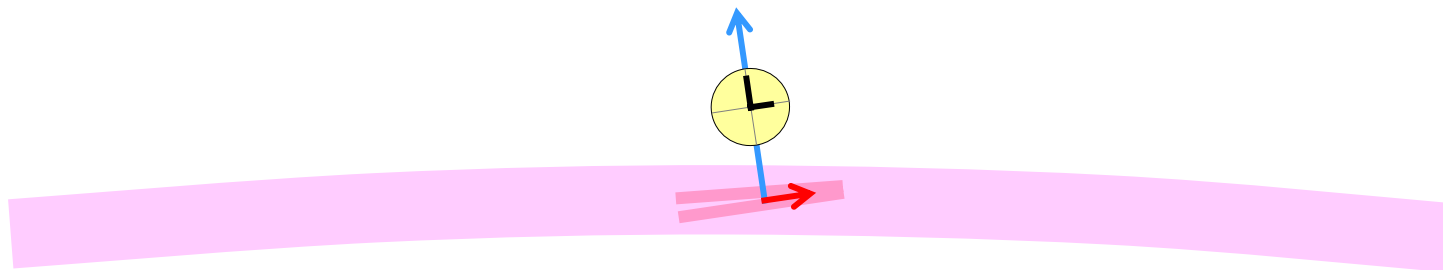
$$E_{rest} = m_0 c_0^2 \prod_{i=1}^n (1 - \delta_i) \sqrt{1 - \beta_i^2}$$



Sisäkkäisten energiakehysten järjestelmä

Dynaaminen Universumi:

$$f_{\delta, \beta(DU)} = f_{0,0} \prod_{i=1}^n (1 - \delta_i) \sqrt{1 - \beta_i^2}$$

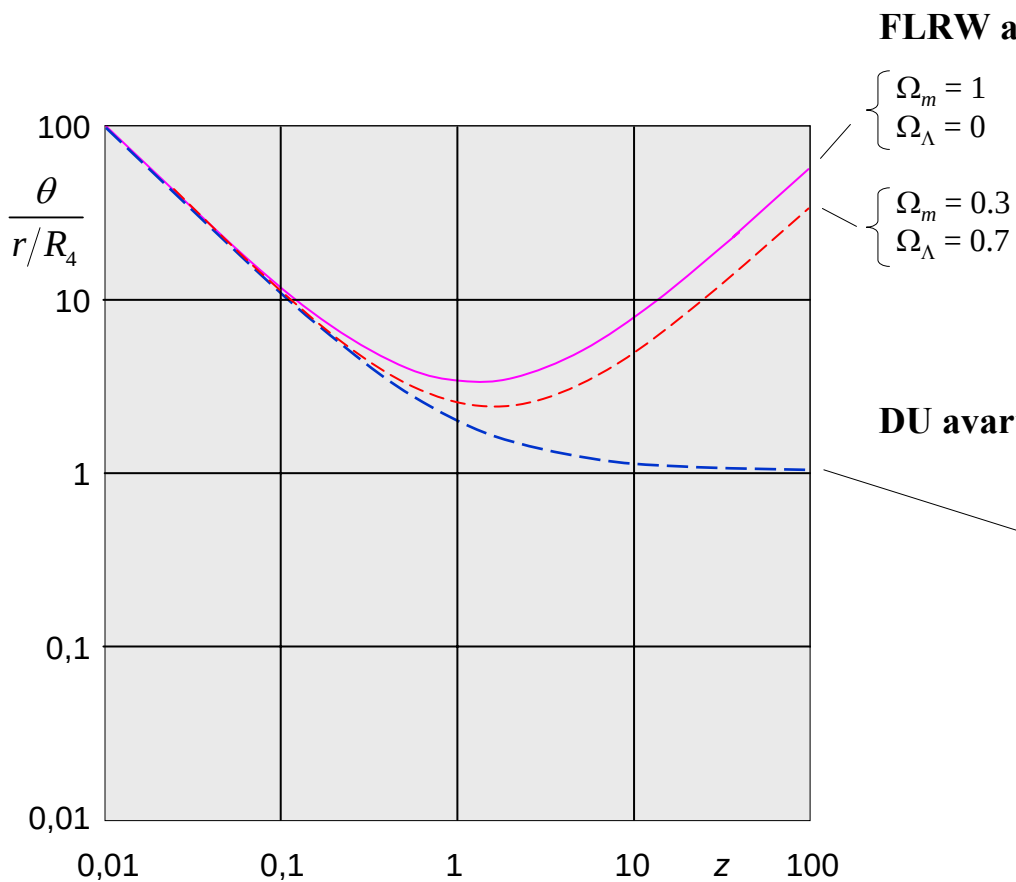


Standardimalli (Schwarzschildin avaruus):

$$f_{\delta, \beta(GR)} = f_{0,0} \sqrt{1 - 2\delta - \beta^2}$$



Kulmakoon havaitseminen

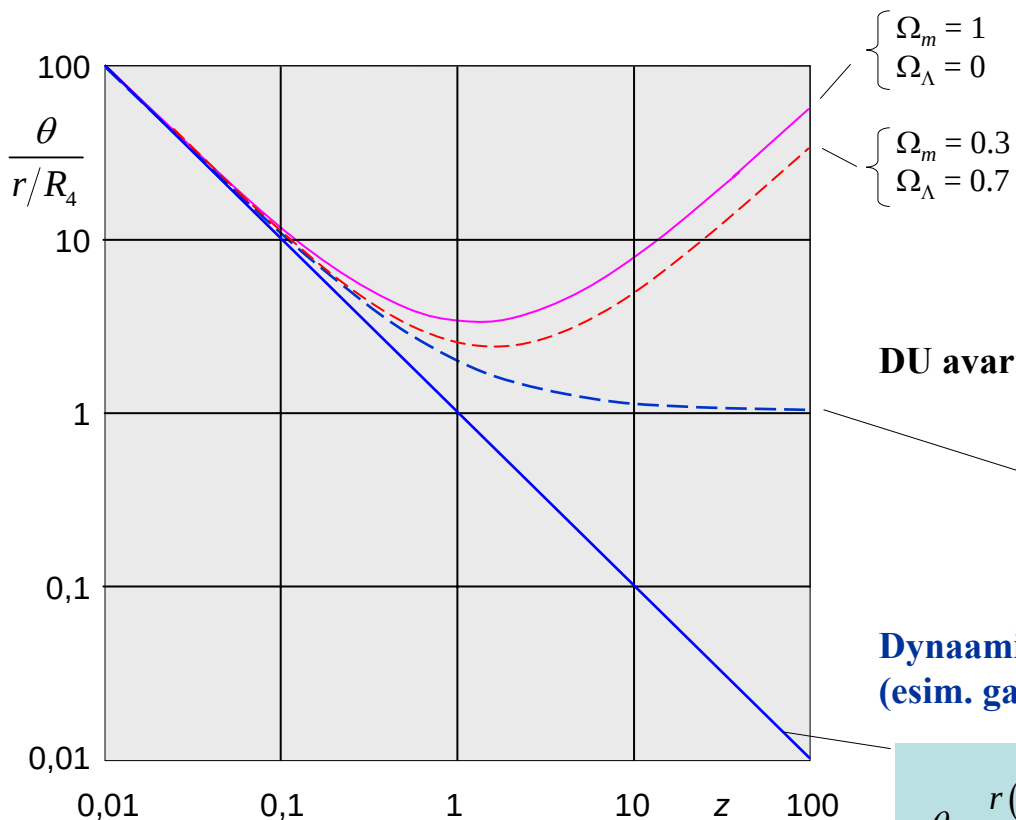


$$\theta = \frac{r_s}{D} = \frac{r_s}{R_H} \frac{1+z}{\int_0^z \frac{1}{\sqrt{(1+z)^2 (1+\Omega_m z) - z(2+z)\Omega_\Lambda}} dz}$$

$$\theta = \frac{r_s}{D} = \frac{r_s}{R_4} \frac{1+z}{z}$$



Vakiosauvan, sekä galaksien ja kvasaarien kulmakoko



$$\theta = \frac{r_s}{D} = \frac{r_s}{R_H} \frac{1+z}{\int_0^z \frac{1}{\sqrt{(1+z)^2 (1+\Omega_m z) - z(2+z)\Omega_\Lambda}} dz}$$

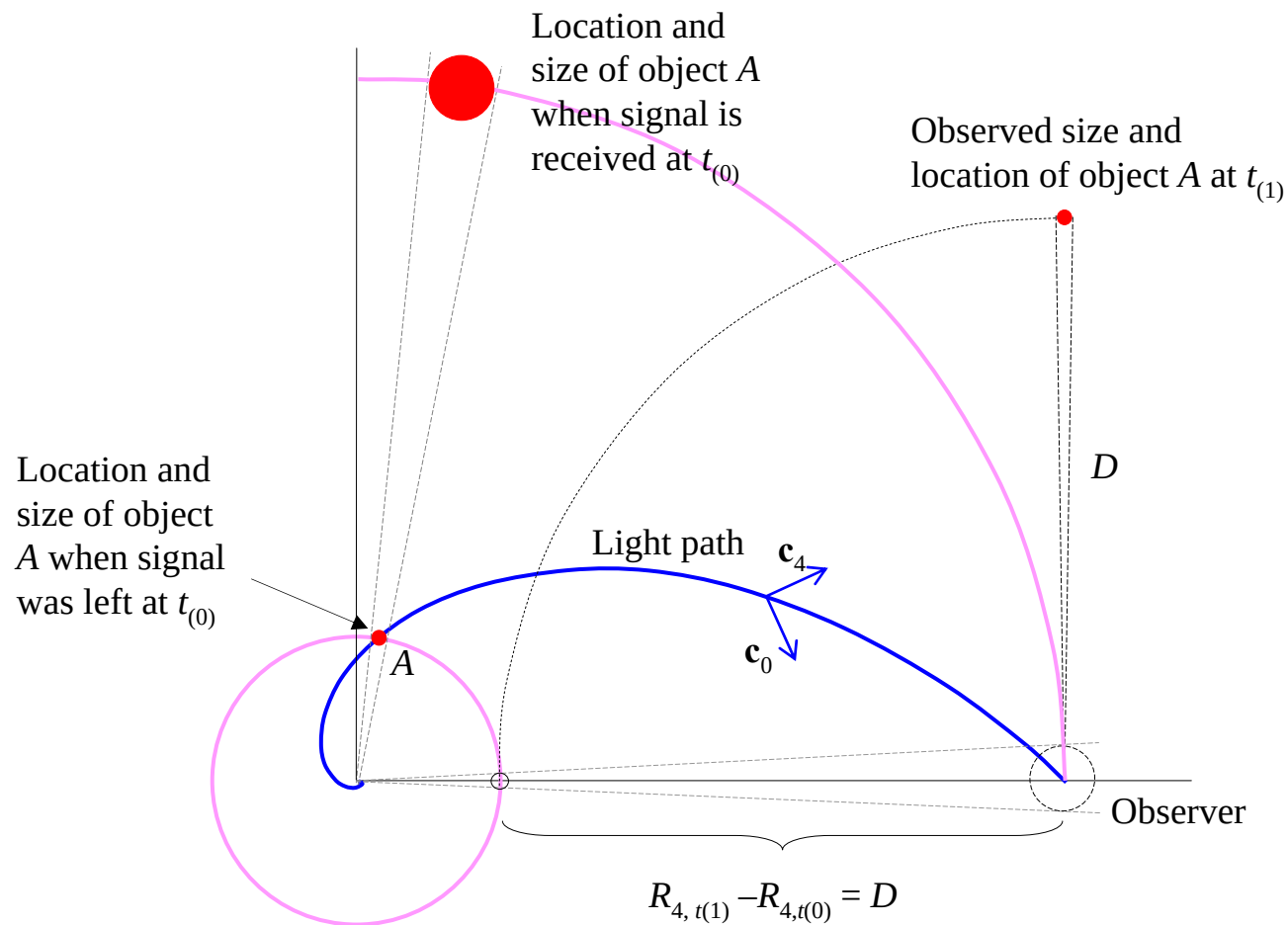
$$\theta = \frac{r_s}{D} = \frac{r_s}{R_4} \frac{1+z}{z}$$

Dynaaminen Universumi, laajenevat kohteet
(esim. galaksit ja kvaasarit):

$$\theta = \frac{r(z)}{D} = \frac{r_0/(1+z)}{R_4} \frac{1+z}{z} = \frac{r_0}{R_4} \frac{1}{z} = \text{Euklidinen}$$



Laajenevan kohteen havaitseminen

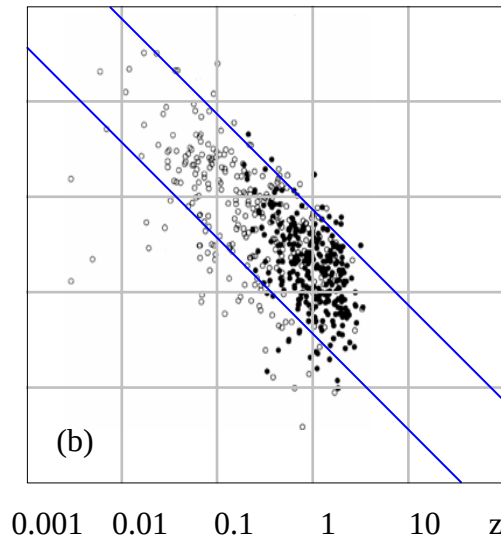




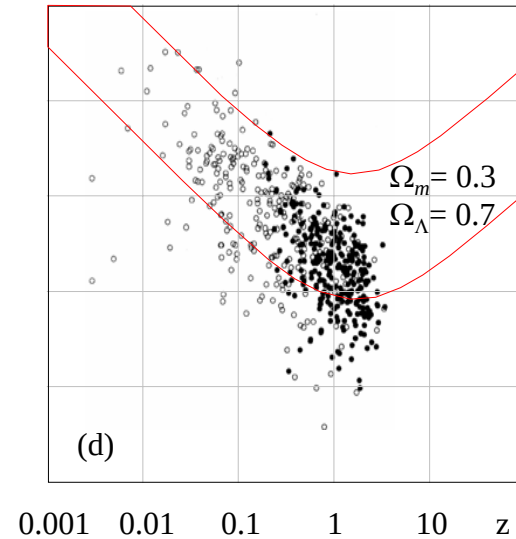
Galaksien ja kvasaarien kulmakoko

Avoimet ympyrät: galaksit, täytetyt ympyrät: kvasaarit

Data: K. Nilsson *et al.*, *Astrophys. J.*, **413**, 453 (1993)



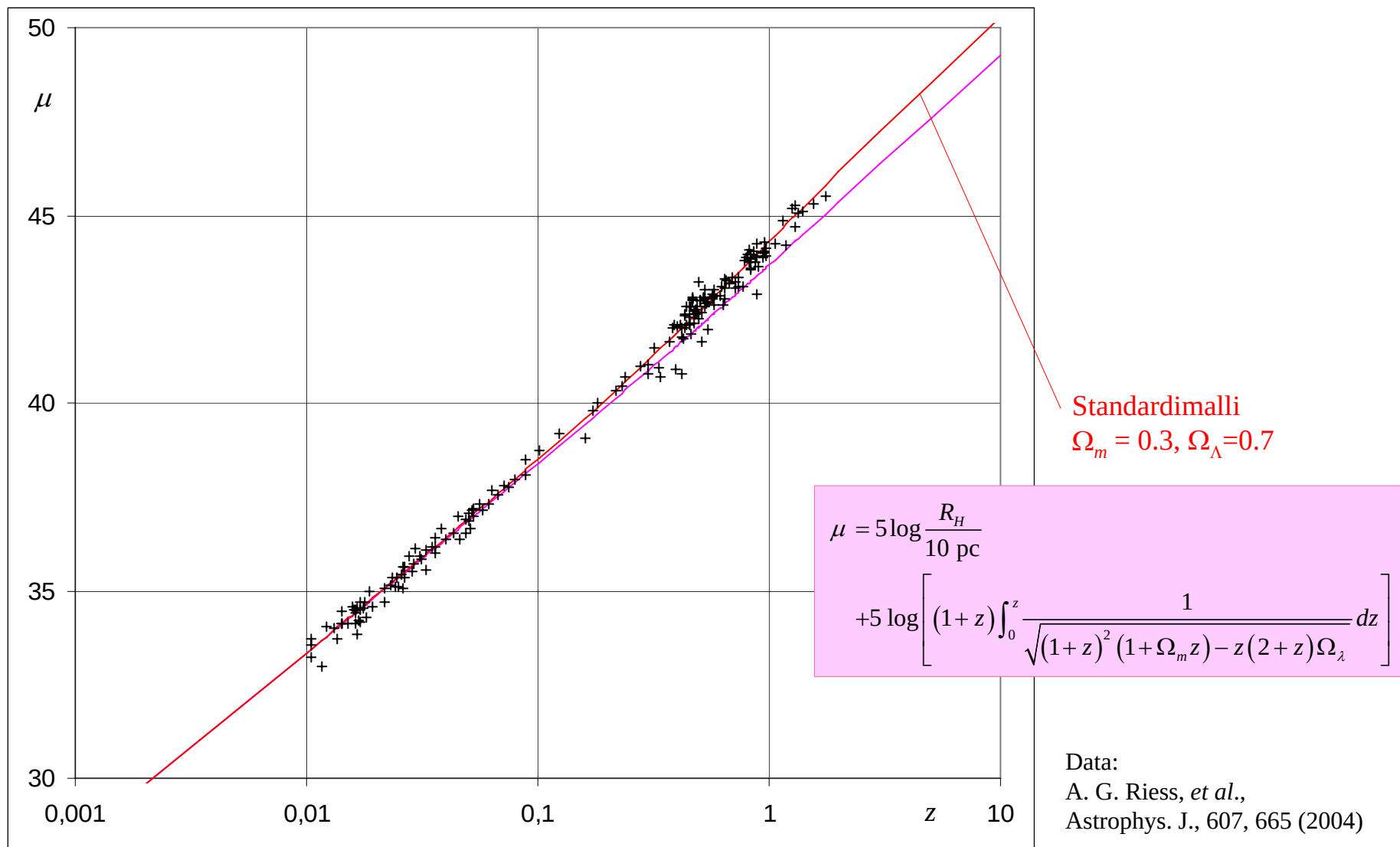
Dynaaminen Universumi:
Euklidinen



Standardimalli + pimeä energia

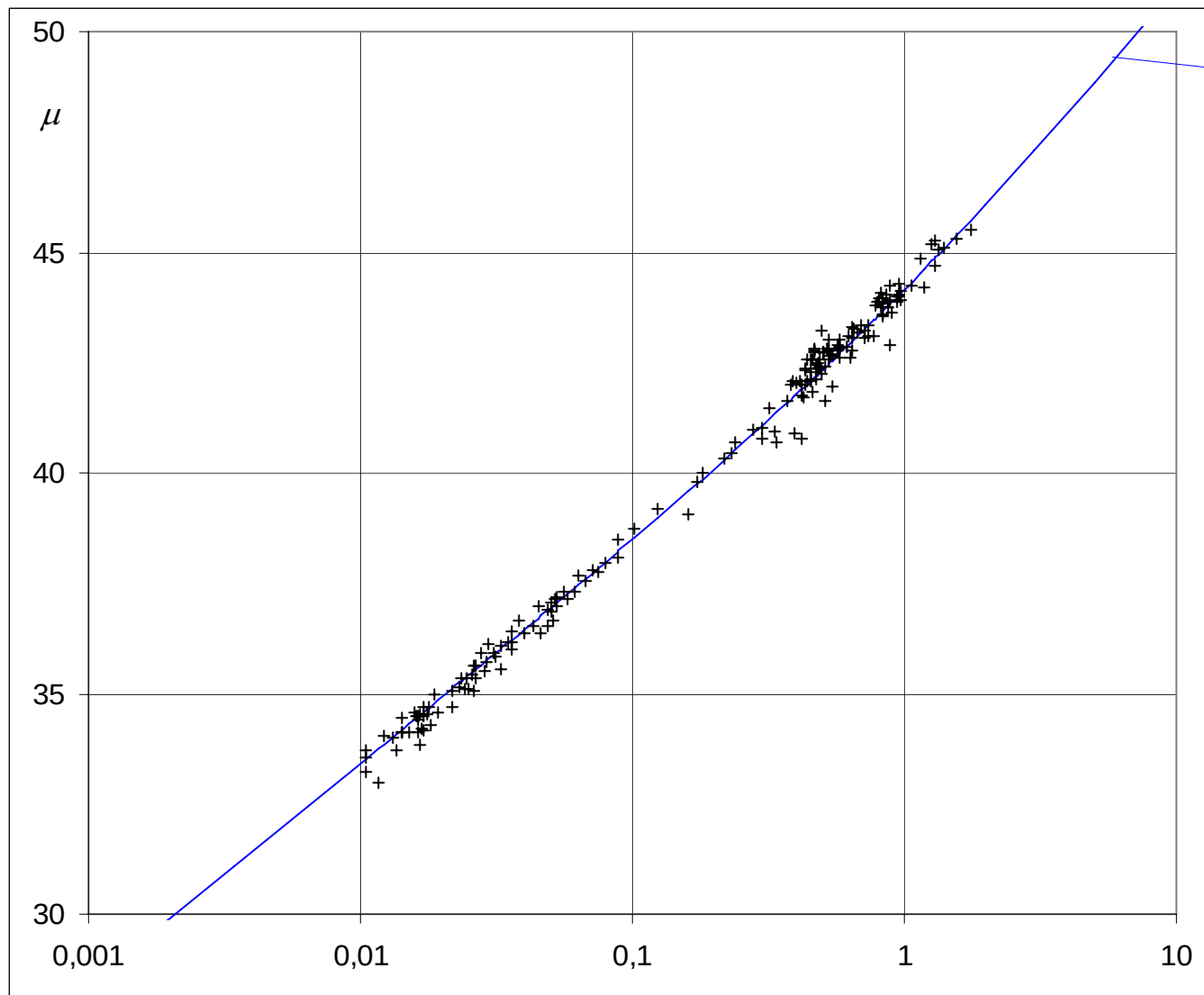


Magnitudi / punasiirtymä (z): Supernovahavainnot





Magnitudi / punasiirtymä: Supernovahavainnot



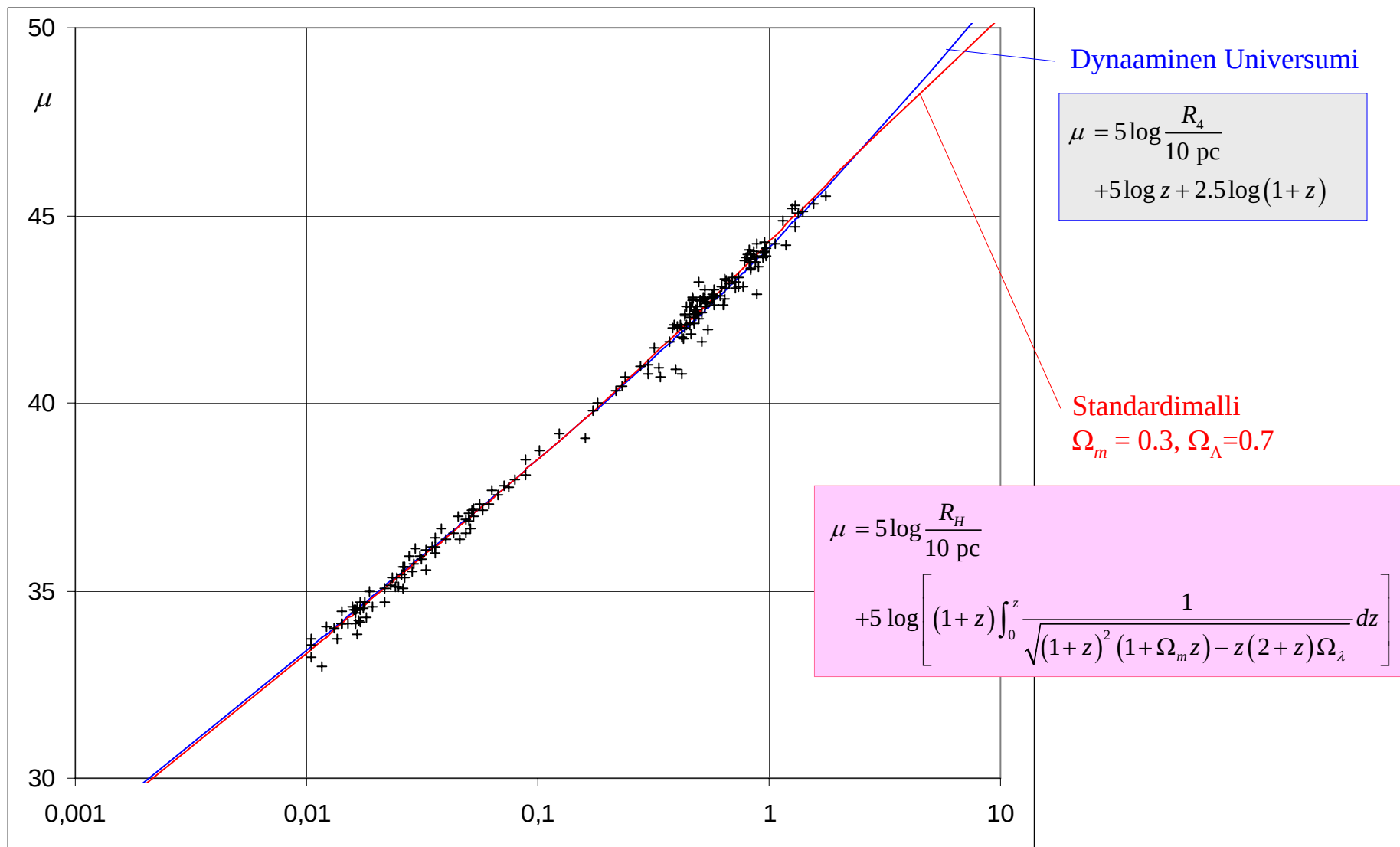
Dynaaminen Universumi

$$\mu = 5 \log \frac{R_4}{10 \text{ pc}} + 5 \log z + 2.5 \log (1 + z)$$

Data:
A. G. Riess, *et al.*,
Astrophys. J., 607, 665 (2004)

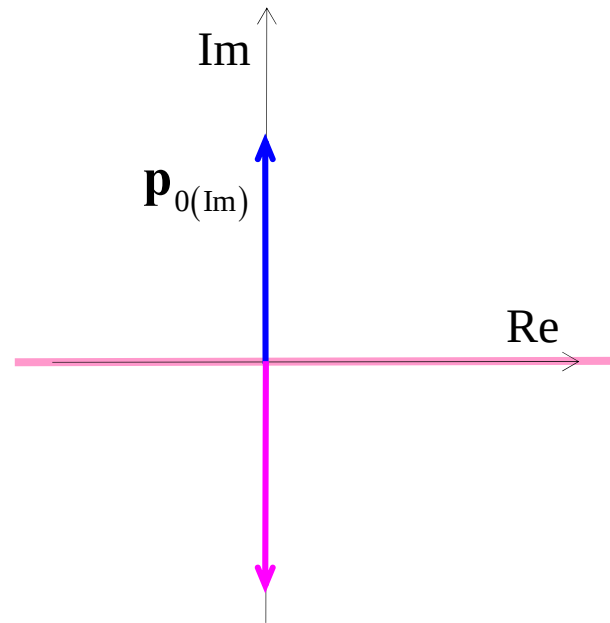
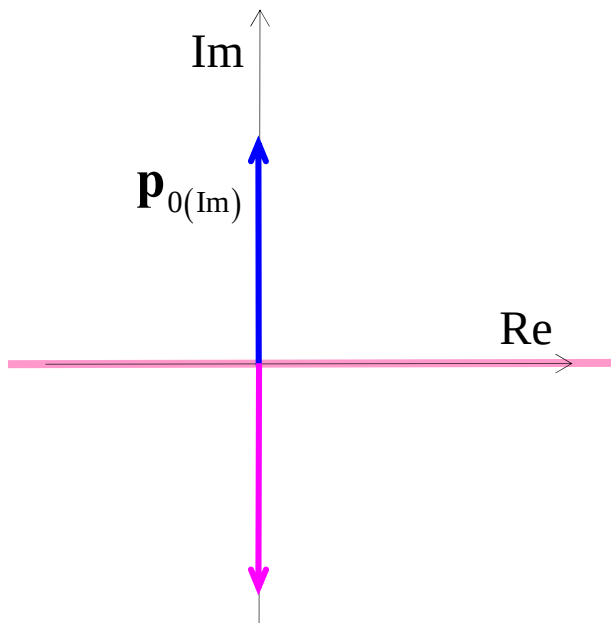


Magnitudi / punasiirtymä: Supernovahavainnot



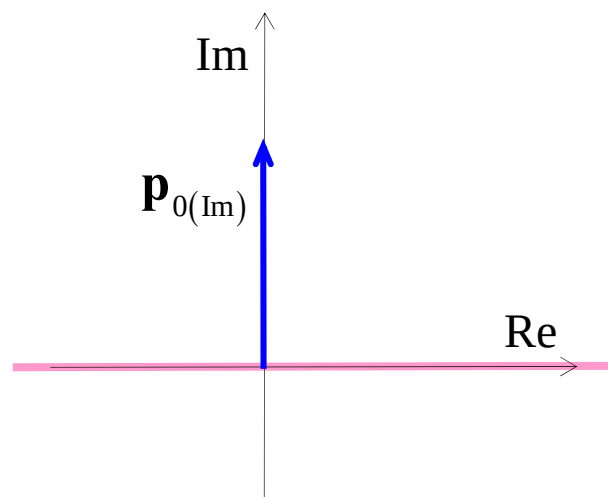
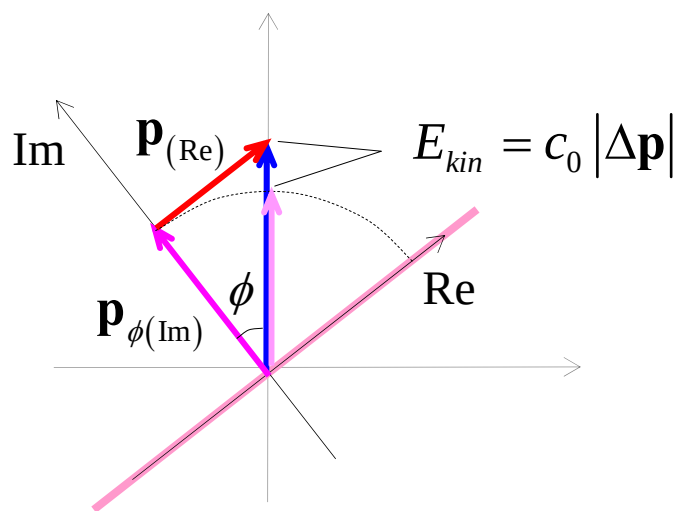


Liikkeen ja gravitaation tasapaino





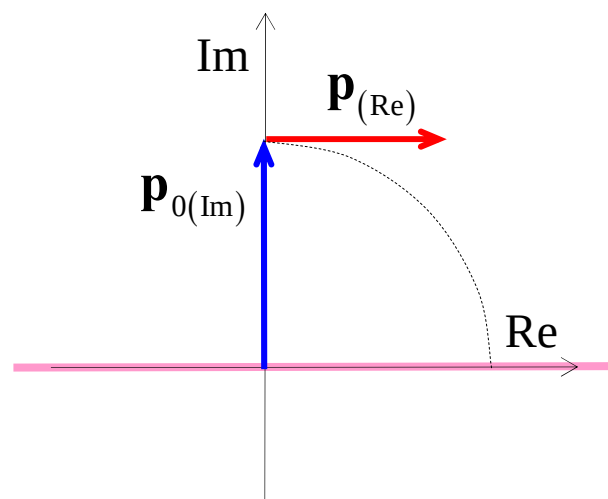
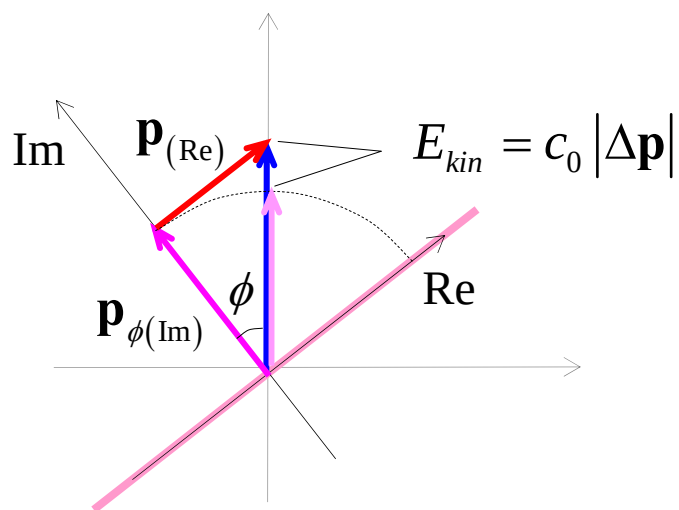
Liikkeen ja gravitaation tasapaino



$$E_{\text{tot}} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 \sqrt{(mc)^2 + p^2}$$



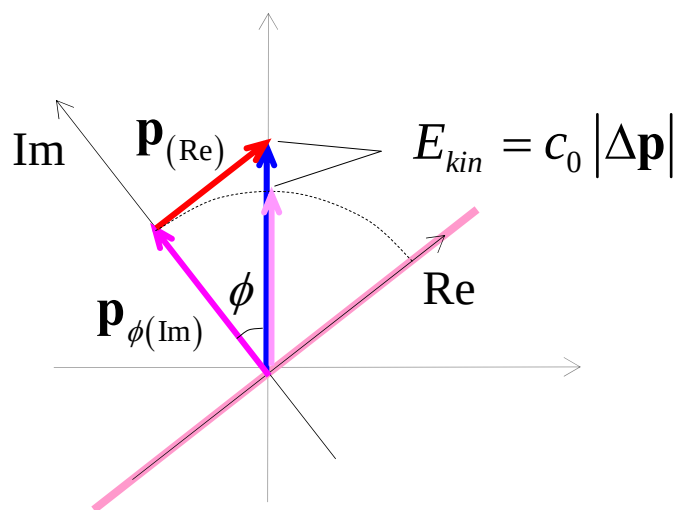
Liikkeen ja gravitaation tasapaino



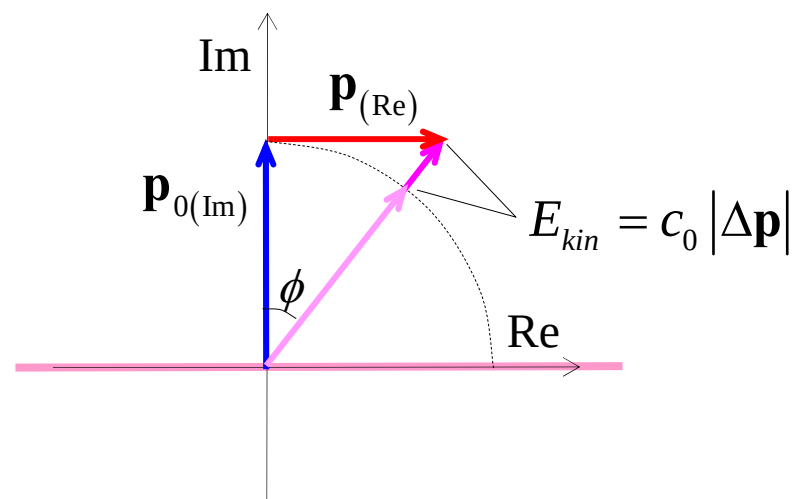
$$E_{tot} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 \sqrt{(mc)^2 + p^2}$$



Liikkeen ja gravitaation tasapaino



$$E_{tot} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 \sqrt{(mc)^2 + p^2}$$

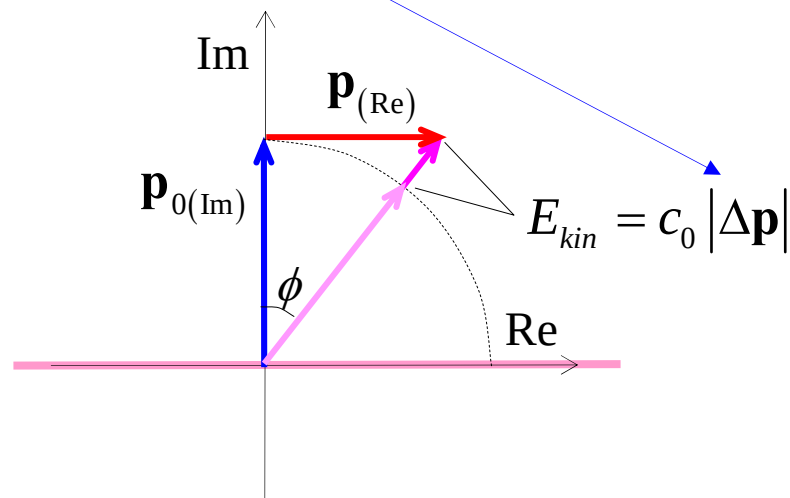
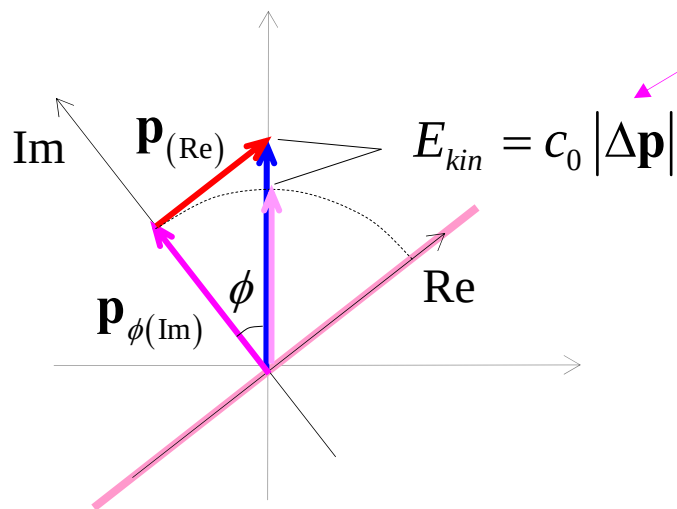


$$E_{tot} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 \sqrt{(mc)^2 + p^2}$$



Liikkeen ja gravitaation tasapaino

$$E_{kin} = c_0 |\Delta \mathbf{p}| = c_0 |m\Delta c + c\Delta m|$$



$$E_{tot} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 \sqrt{(mc)^2 + p^2}$$

$$E_{tot} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 \sqrt{(mc)^2 + p^2}$$

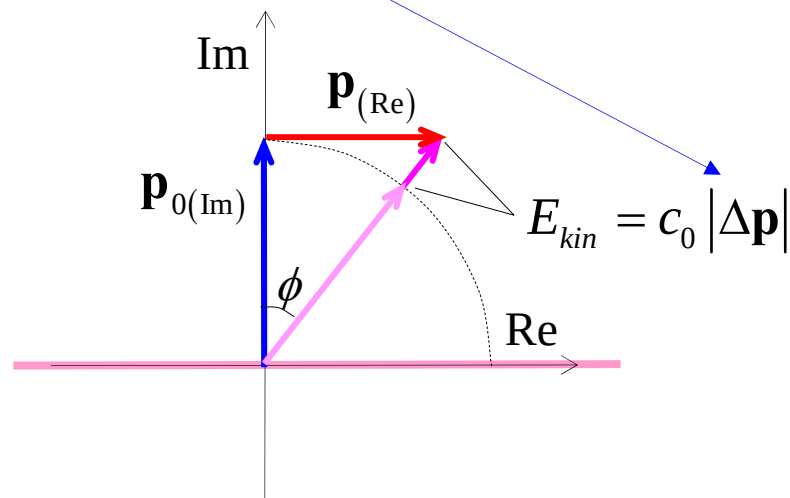
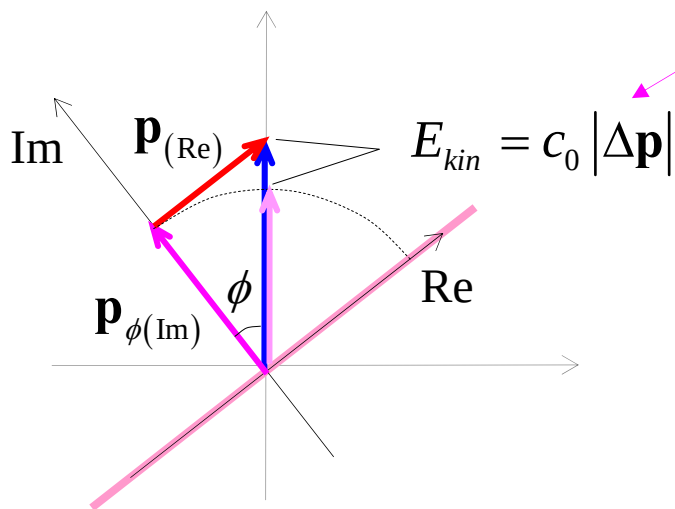


Liikkeen ja gravitaation tasapaino

suhteellisuusteoria:

$$E_{kin} = c \cdot c \Delta m$$

$$E_{kin} = c_0 |\Delta \mathbf{p}| = c_0 |m \Delta c + c \Delta m|$$

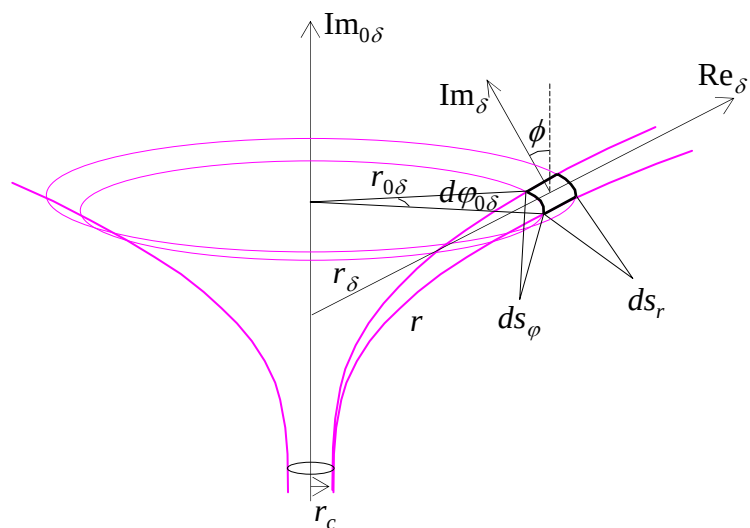


$$E_{tot} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 \sqrt{(mc)^2 + p^2}$$

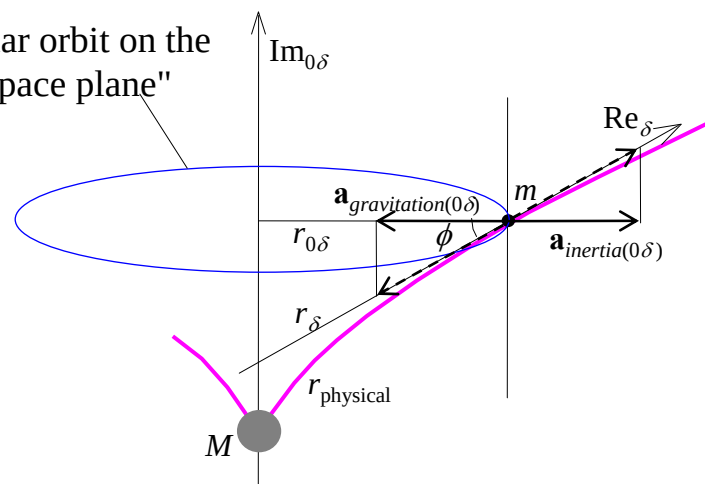
$$E_{tot} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 \sqrt{(mc)^2 + p^2}$$



Nopeus vapaassa pudotuksessa ja ympyräradalla paikallissingulariteetin läheisyydessä

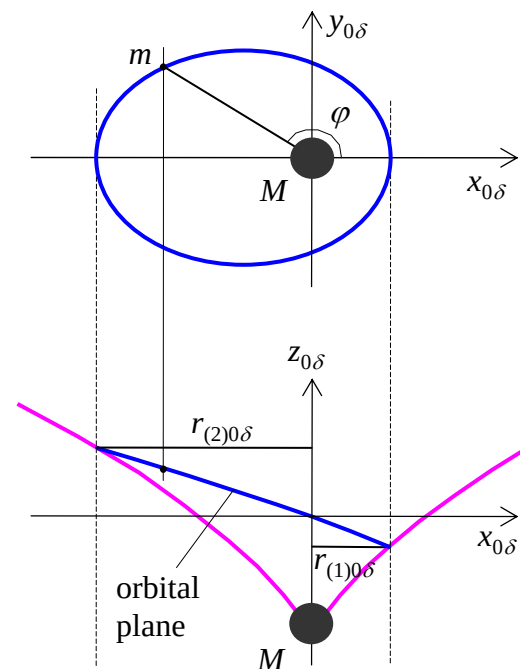
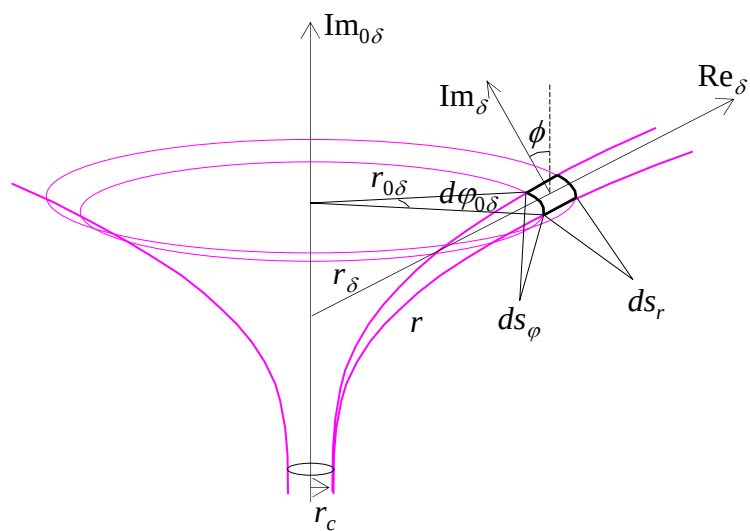


Circular orbit on the
“flat space plane”



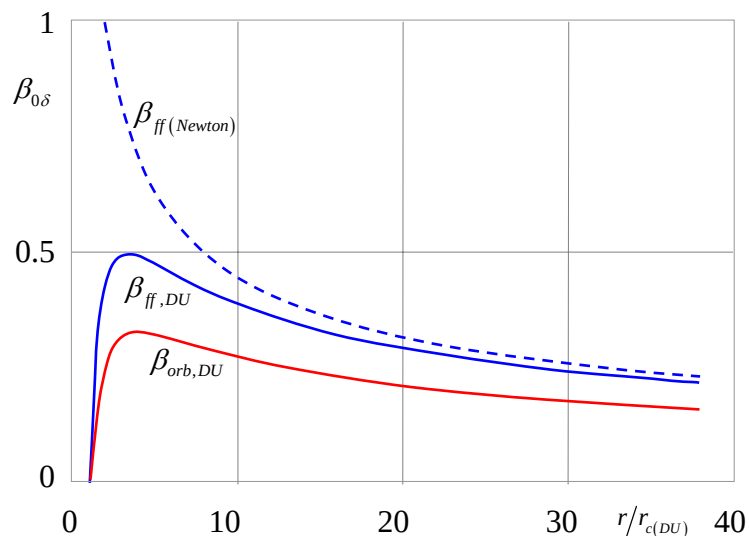


Kiertorata massakeskittymän läheisyydessä

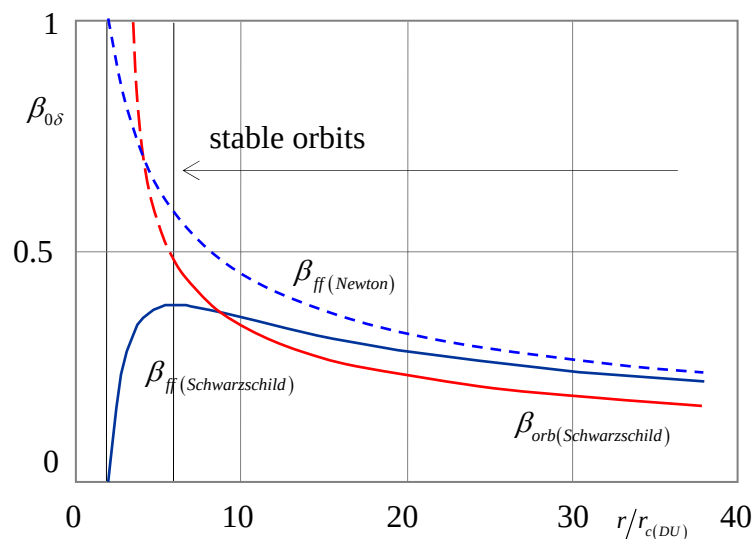




Nopeus vapaassa pudotuksessa ja ympyräradalla paikallissingulariteetin läheisyydessä



DU avaruus



Schwarzschildin avaruus

$$\frac{v_{ff}(r_0)}{c_{0\delta}} = \beta_{Newton} \sqrt{1 - \frac{2r_c}{r}}$$

$$\frac{v_{orb}}{c_{0\delta}} = \sqrt{\frac{r_c}{r} \left(1 - \frac{r_c}{r}\right)^3}$$

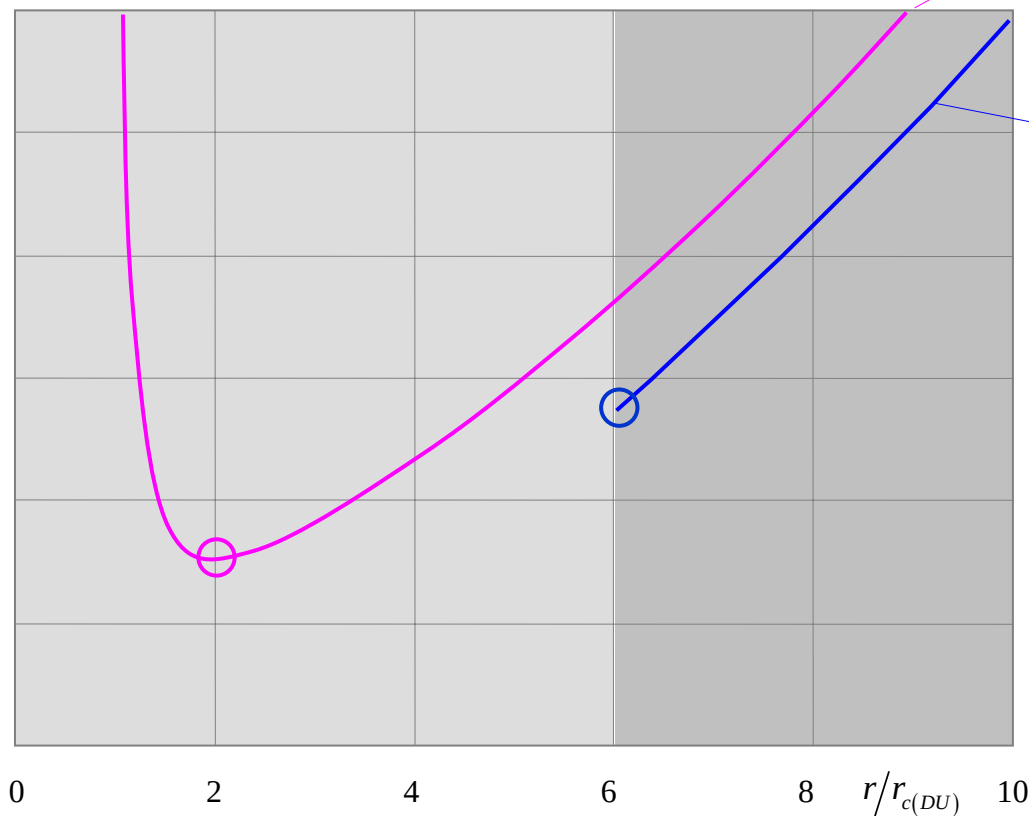
$$\frac{v_{ff}(r_0)}{c} = \beta_{Newton} \left(1 - \frac{2r_c}{r}\right)$$

$$\frac{v_{orb}}{c} = \frac{1 - 2r_c/r}{\sqrt{r/r_c - 3}}$$



Kiertoaika ympyräradalla DU avaruudessa ja FLRW avaruudessa

Orbital
period



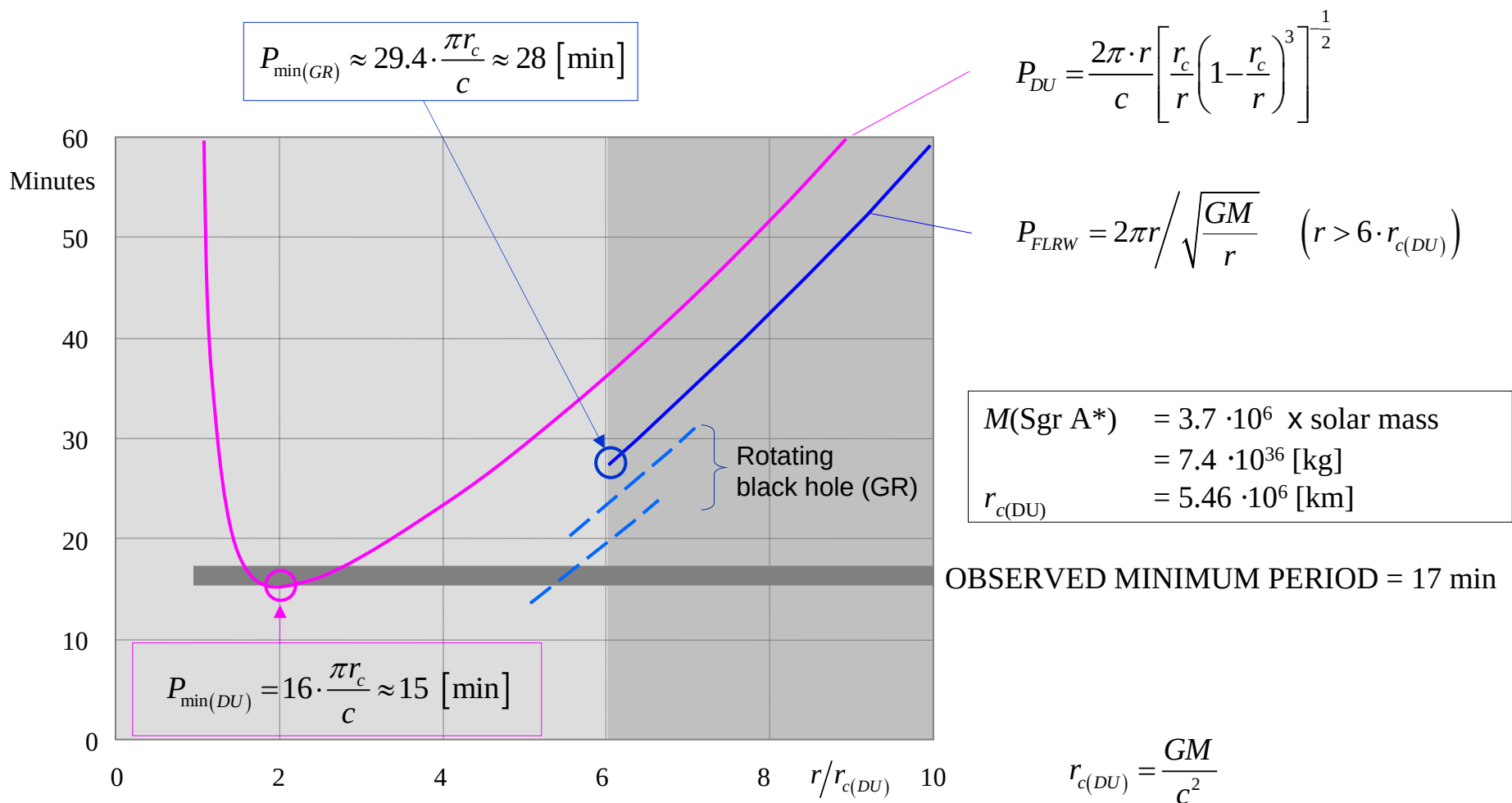
$$P_{DU} = \frac{2\pi \cdot r}{c} \left[\frac{r_c}{r} \left(1 - \frac{r_c}{r} \right)^3 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$P_{FLRW} = 2\pi r / \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (r > 6 \cdot r_{c(DU)})$$

$$r_{c(DU)} = \frac{GM}{c^2}$$



Kiertoaika Sgr A*:n ympärillä Linnunradan keskustassa





Päätelmiä

Dynaaminen Universumi viestittää fysikaalisesta todellisuudesta,

... jota hallitsee nollaenergiatasapaino

**... jossa suhteellisuus kertoo
paikallisen suhteesta kokonaisuuteen**

**... ja joka on kuvattavissa ihmisen ymmärrykselle oleellisilla
absoluuttisen ajan ja etäisyyden käsitteillä**