

Luonnonfilosofian seura
Tieteiden talo, Helsinki 15.9.2009

Ajan filosofia i aika fysiikassa

Voidaanko luonnonilmiöitä kuvata absoluuttiajassa?

Tuomo Suntola

Voidaanko luonnonilmiöitä kuvata absoluuttiajassa?

Å Miksi aikakäsitettä muuttanut suhteellisuusteoria tarvittiin?

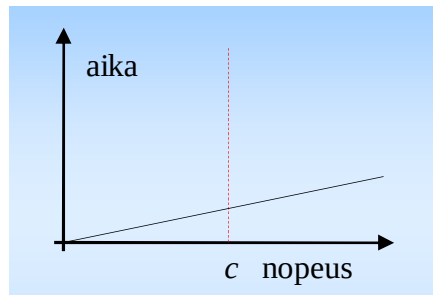
- kuvaako suhteellinen aika luontoa oikein?

Å Mikä avaruudessa säilyy, mikä on suhteellista ja mikä muuttuu?

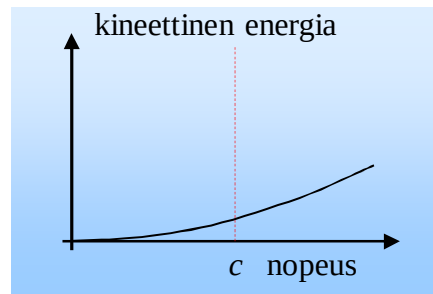
- mitkä alkuolettamukset tarvitaan luonnon kuvaamiseen absoluuttiajassa?
- mistä suhteelliseen aikaan liittyvistä olettamuksista voidaan luopua?

Newtonilainen todellisuus

Newtonlaisessa maailmassa ei ollut rajoituksia: Avaruus oli Euklidinen äärettömyyteen asti ja objektin nopeus avaruudessa kasvoi lineaarisesti niin kauan kuin objektiin vaikutti vakiovoima



$$\mathbf{v} = \int_0^t \mathbf{a} dt = \int_0^t \frac{\mathbf{F}}{m} dt = \frac{\mathbf{F}}{m} \cdot t$$

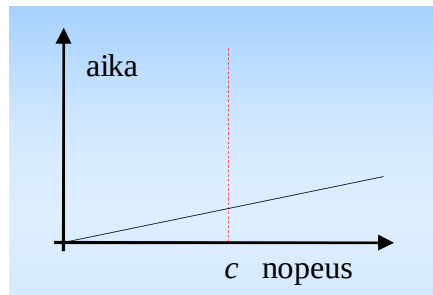


... kineettinen energia ilmaistiin integroituna voimana

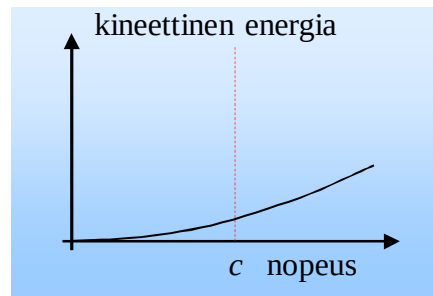
$$E_{kin} = \int_0^v \mathbf{F}_x \cdot d\mathbf{x} = \int_0^v (mv) dv = \frac{1}{2}mv^2$$

Absoluuttiajasta suhteelliseen aikaan

1800-luvun lopulla havaittiin valon vaihenopeuden riippumattomuus havaitsijan nopeudesta valolähteeseen nähden. Myöhemmin voitiin todeta, että valon nopeus on myös suurin nopeus mille tahansa objektille.



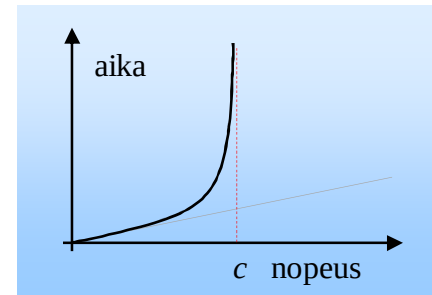
$$\mathbf{v} = \int_0^t \mathbf{a} dt = \int_0^t \frac{\mathbf{F}}{m} dt = \frac{\mathbf{F}}{m} \cdot t$$



... kineettinen energia ilmaistiin integroituna voimana

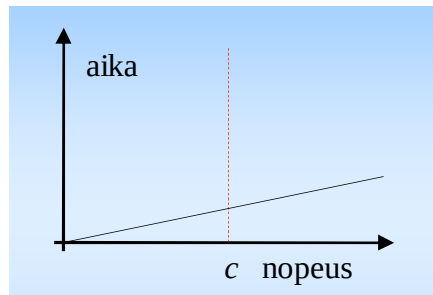
$$E_{kin} = \int_0^v \mathbf{F}_x \cdot d\mathbf{x} = \int_0^v (mv) dv = \frac{1}{2}mv^2$$

1900

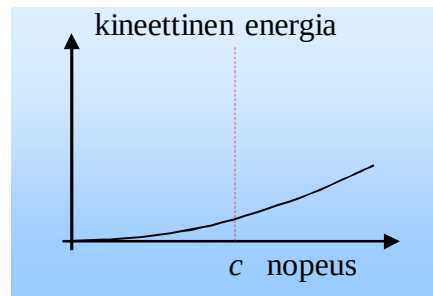


Absoluuttiajasta suhteelliseen aikaan

1800-luvun lopulla havaittiin valon vaihenopeuden riippumattomuus havaitsijan nopeudesta valolähteeseen nähden. Myöhemmin voitiin todeta, että valon nopeus on myös suurin nopeus mille tahansa objektille.

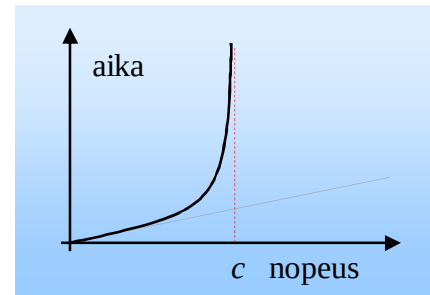


$$\mathbf{v} = \int_0^t \mathbf{a} dt = \int_0^t \frac{\mathbf{F}}{m} dt = \frac{\mathbf{F}}{m} \cdot t$$



... kineettinen energia ilmaistiin integroituna voimana

$$E_{kin} = \int_0^v \mathbf{F}_x \cdot d\mathbf{x} = \int_0^v (mv) dv = \frac{1}{2}mv^2$$



Suppean suhteellisuusteorian ratkaisu: koordinaatistosuureiden uudelleenmäärittely

$$dt' = dt \sqrt{1 - \beta^2} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

$$dr' = dr / \sqrt{1 - \beta^2}$$

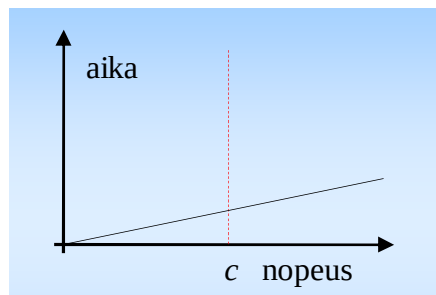
$$\mathbf{v} = \int_0^t \frac{\mathbf{F}}{m} (1 - \beta^2)^{3/2} dt$$

(lineaarinen liike)

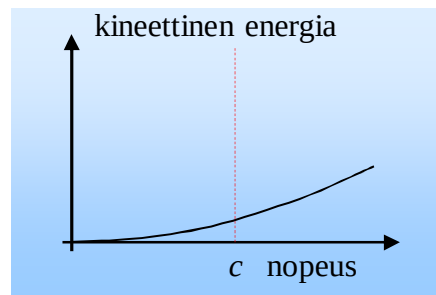
1905

Absoluuttiajasta suhteelliseen aikaan

1800-luvun lopulla havaittiin valon vaihenopeuden riippumattomuus havaitsijan nopeudesta valolähteeseen nähden. Myöhemmin voitiin todeta, että valon nopeus on myös suurin nopeus mille tahansa objektille.

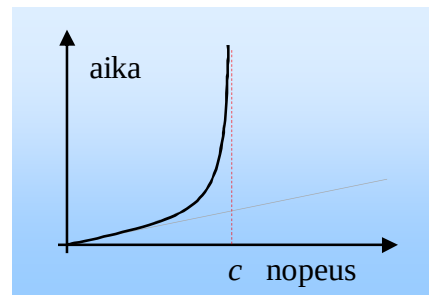


$$\mathbf{v} = \int_0^t \mathbf{a} dt = \int_0^t \frac{\mathbf{F}}{m} dt = \frac{\mathbf{F}}{m} \cdot t$$



... kineettinen energia ilmaistiin integroituna voimana

$$E_{kin} = \int_0^v \mathbf{F} \cdot d\mathbf{x} = \int_0^v (mv) dv = \frac{1}{2}mv^2$$



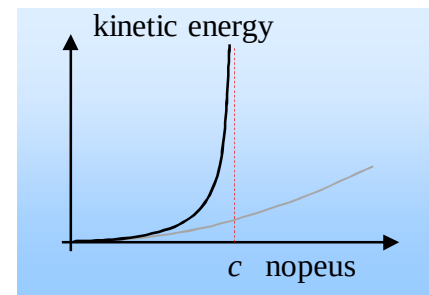
Suppean suhteellisuusteorian ratkaisu: koordinaatistosuureiden uudelleenmäärittely

$$dt' = dt \sqrt{1 - \beta^2} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

$$dr' = dr / \sqrt{1 - \beta^2}$$

$$\mathbf{v} = \int_0^t \frac{\mathbf{F}}{m} (1 - \beta^2)^{3/2} dt$$

(lineaarinen liike)

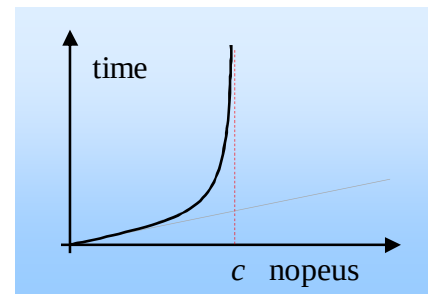


1905

$$E_{kin} = \int_0^v \mathbf{F} \cdot d\mathbf{x} = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) = c^2 \Delta m$$

Absoluuttiajasta suhteelliseen aikaan

1800-luvun lopulla havaittiin valon vaihenopeuden riippumattomuus havaitsijan nopeudesta valolähteeseen nähden. Myöhemmin voitiin todeta, että valon nopeus on myös suurin nopeus mille tahansa objektille.



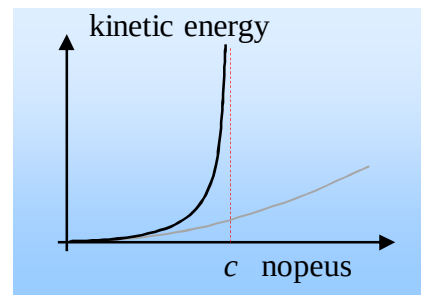
Suppean suhteellisuusteorian ratkaisu: koordinaatistosuureiden uudelleenmäärittely

$$dt' = dt \sqrt{1 - \beta^2}$$

$$dr' = dr / \sqrt{1 - \beta^2}$$

$$\mathbf{v} = \int_0^t \frac{\mathbf{F}}{m} (1 - \beta^2)^{3/2} dt$$

(lineaarinen liike)



Uudet postulaatit:

- Lorentz transformaatio
- Valon nopeus vakio
- Suhteellisuusperiaate

1905

$$E_{kin} = \int_0^v \mathbf{F} \cdot d\mathbf{x} = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) = c^2 \Delta m$$

Gravitaation kuvaaminen koordinaatistomuutoksella

Ekvivalenssiperiaate samastaa gravitaatiokiihtyvyyden ja inertiaalisen kiihtyvyyden:

Schwarzschildin ratkaisu yleisen suhteellisuusteorian kenttäyhtälöihin massakeskuksen M läheisyydessä:

$$\begin{aligned} dr' &= dr / \sqrt{1 - \beta^2} & \Rightarrow & & dr' &= dr / \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \\ dt' &= dt \sqrt{1 - \beta^2} & \Rightarrow & & dt' &= dt \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \end{aligned}$$

Gravitaation kuvaaminen koordinaatistomuutoksella

Ekvivalenssiperiaate samastaa gravitaatiokiihtyvyyden ja inertiaalisen kiihtyvyyden:

Schwarzschildin ratkaisu yleisen suhteellisuusteorian kenttäyhtälöihin massakeskuksen M läheisyydessä:

$$\begin{aligned} dr' &= dr / \sqrt{1 - \beta^2} & \Rightarrow & & dr' &= dr / \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \\ dt' &= dt \sqrt{1 - \beta^2} & \Rightarrow & & dt' &= dt \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \end{aligned}$$

Vapaan pudotuksen nopeus Newtonin mekaniikassa

$$\beta_{\text{Newton}} = \frac{v_{\text{ff}(\text{Newton})}}{c} = \sqrt{\frac{2GM}{rc^2}}$$

Gravitaation kuvaaminen koordinaatistomuutoksella

Ekvivalenssiperiaate samastaa gravitaatiokiihtyvyyden ja inertiaalisen kiihtyvyyden:

Schwarzschildin ratkaisu yleisen suhteellisuusteorian kenttäyhtälöihin massakeskuksen M läheisyydessä:

$$\begin{aligned} dr' &= dr / \sqrt{1 - \beta^2} & \Rightarrow & & dr' &= dr / \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \\ dt' &= dt \sqrt{1 - \beta^2} & \Rightarrow & & dt' &= dt \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \end{aligned}$$

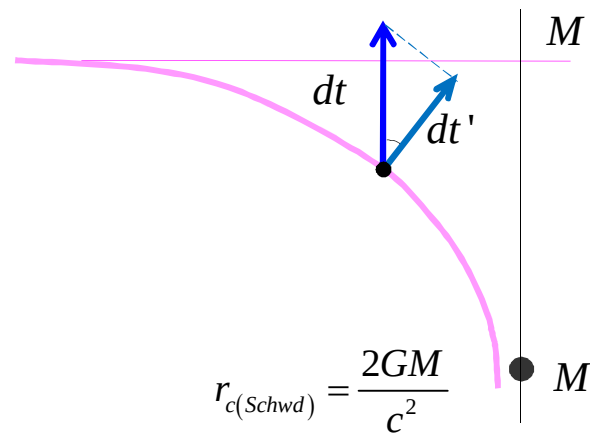
Vapaan pudotuksen nopeus Newtonin mekaniikassa

$$\beta_{\text{Newton}} = \frac{v_{\text{ff}(\text{Newton})}}{c} = \sqrt{\frac{2GM}{rc^2}}$$

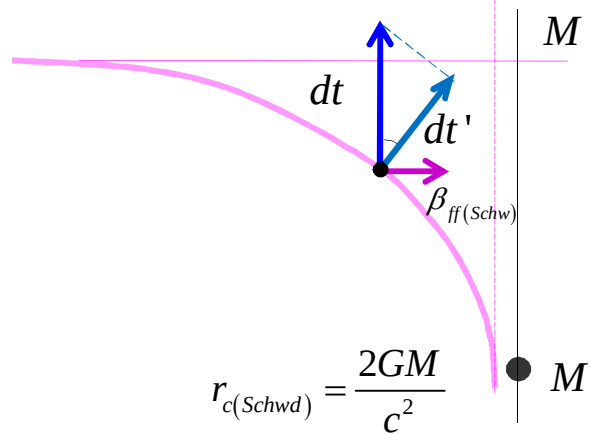
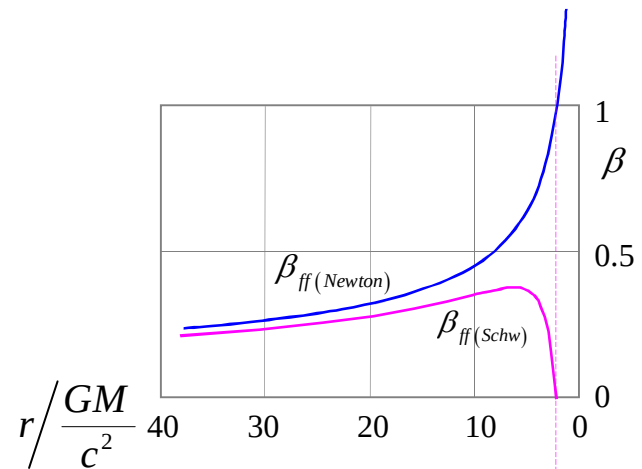
Vapaan pudotuksen nopeus Schwarzschildin avaruudessa

$$\beta_{\text{ff}(\text{Schwarzschild})} = \frac{v_{\text{ff}(\text{Schwarzschild})}}{c} = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \cdot \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)$$

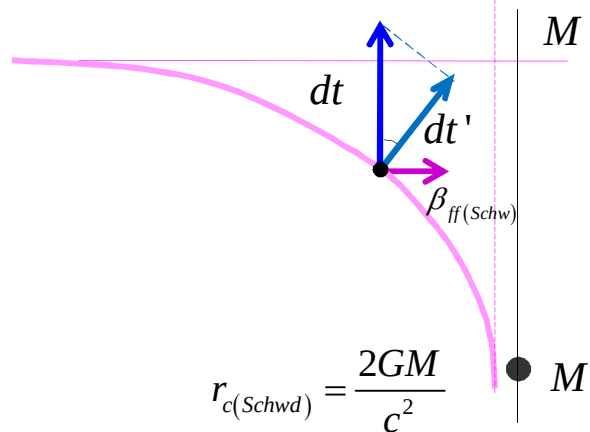
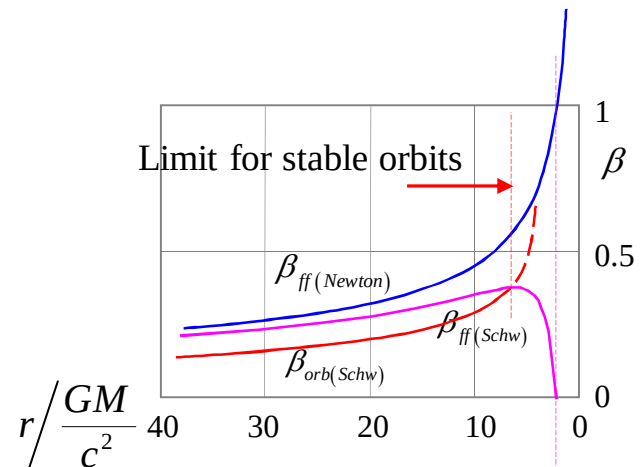
Ajan hidastuminen Schwarzschildin avaruudessa:



Vapaa pudotus Schwarzschildin avaruudessa:



Vapaa pudotus ja ratanopeus Schwarzschildin avaruudessa:



Äärellisyyden kuvaaminen aikaa ja etäisyyttä modifioimalla
kuvaa monia havaintoja oikein é

é mutta é

Äärellisyyden kuvaaminen aikaa ja etäisyyttä modifioimalla
kuvaa monia havaintoja oikein é

é mutta é

é mikä on äärellisyyden fysikaalinen peruste?

Jo monta vuosikymmentä on tiedetty, että avaruudessa olevan massan lepoenergia on oleellisesti ottaen yhtä suuri kuin koko avaruuden gravitaatioenergia ϵ

In his lectures on gravitation in early 1960s Richard Feynman [1] stated:

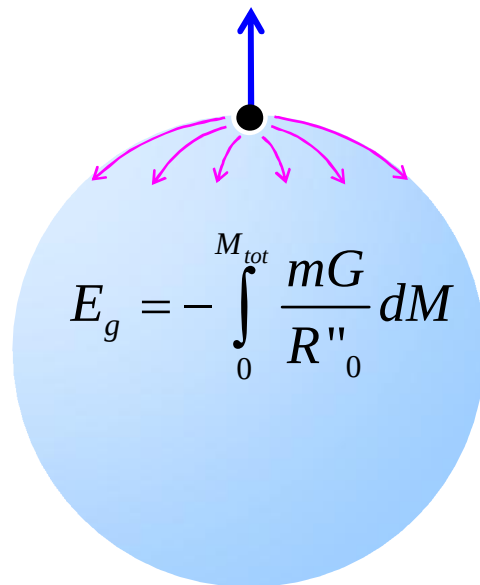
If now we compare the total gravitational energy GM_Σ^2/R to the total rest energy of the universe, $M_\Sigma c^2$, lo and behold, we get the amazing result that $GM_\Sigma^2/R = M_\Sigma c^2$, so that the total energy of the universe is zero ϵ . It is exiting to think that it costs nothing to create a new particle, since we can create it at the center of the universe where it will have a negative gravitational energy equal to Mc^2 . ϵ Why this should be so is one of the great mysteries δ and therefore one of the important questions of physics δ .

ϵ and further [2]

...One intriguing suggestion is that the universe has a structure analogous to that of a spherical surface ... It might be that our three-dimensional space is such a thing, a tridimensional surface of a four sphere $\epsilon \delta$

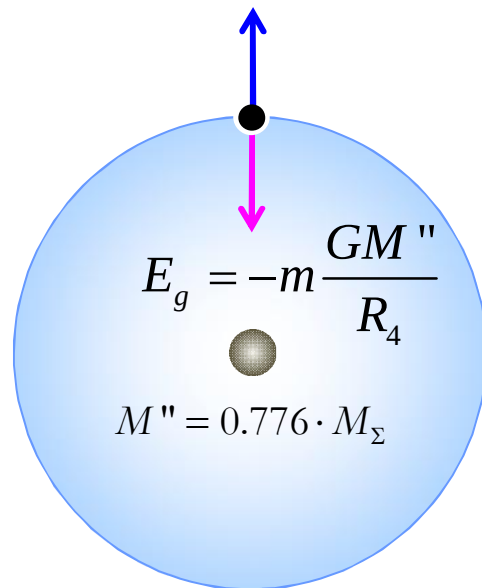
Zero-energy balance in spherically closed space

$$E_m = mc_0^2$$



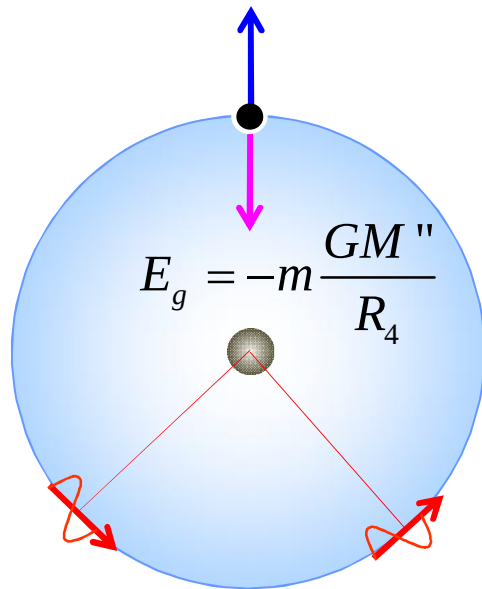
Zero-energy balance in spherically closed space

$$E_m = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 |m \mathbf{c}_0| = mc_0^2$$



Zero-energy balance in spherically closed space

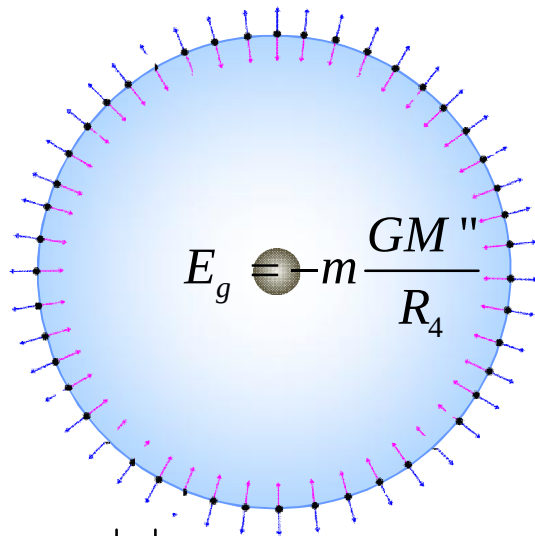
$$E_m = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 |m \mathbf{c}_0| = mc_0^2$$



$$E_\lambda = c_0 |\mathbf{p}|$$

Zero-energy balance in spherically closed space

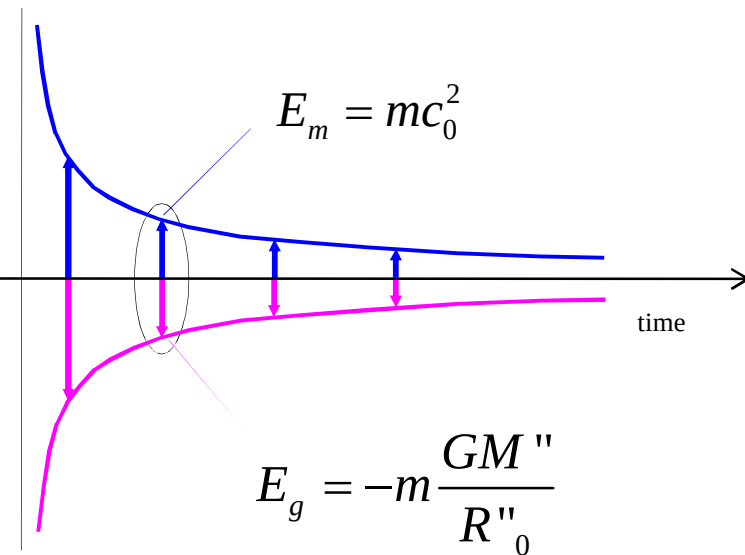
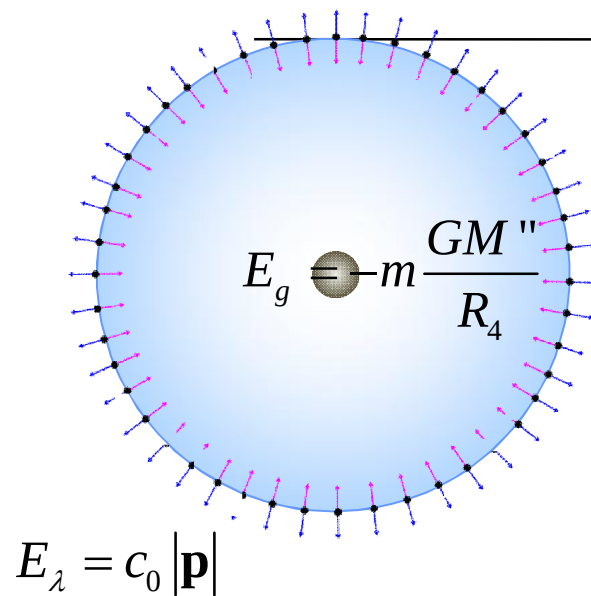
$$E_m = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 |m \mathbf{c}_0| = mc_0^2$$



$$E_\lambda = c_0 |\mathbf{p}|$$

Zero-energy balance in spherically closed space

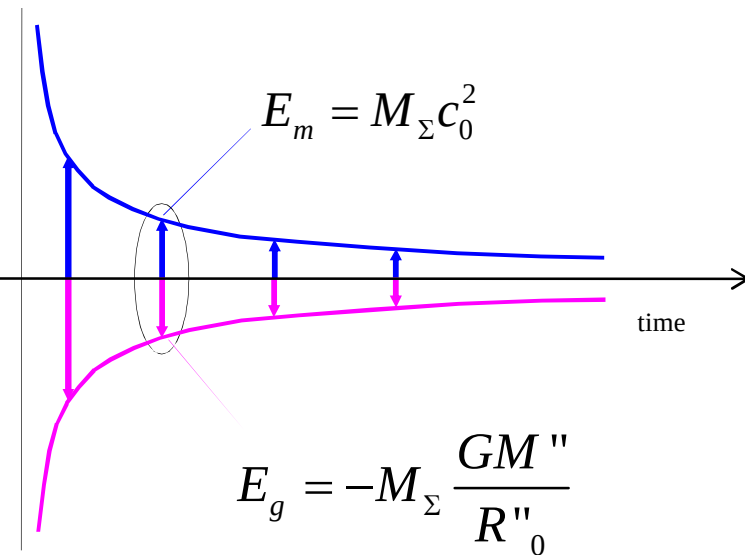
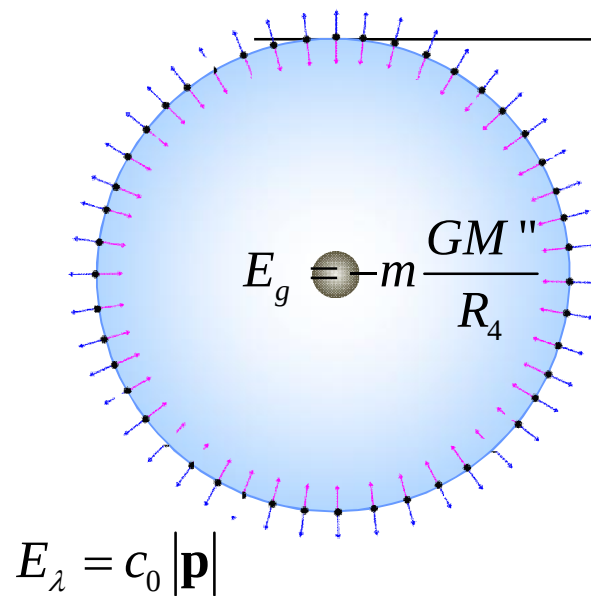
$$E_m = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 |m \mathbf{c}_0| = mc_0^2$$



$$c_0 = \pm \sqrt{\frac{GM''}{R''_0}}$$

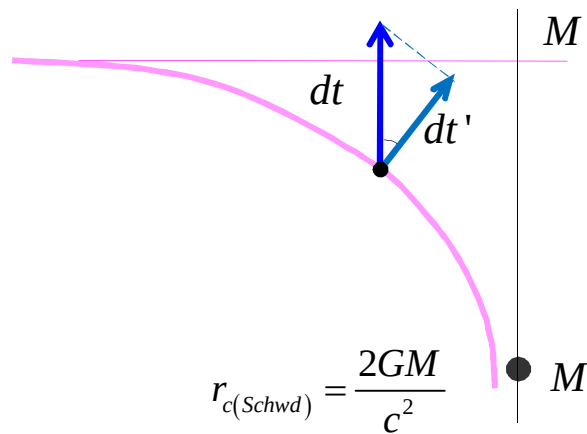
Zero-energy balance in spherically closed space

$$E_m = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 |m \mathbf{c}_0| = mc_0^2$$

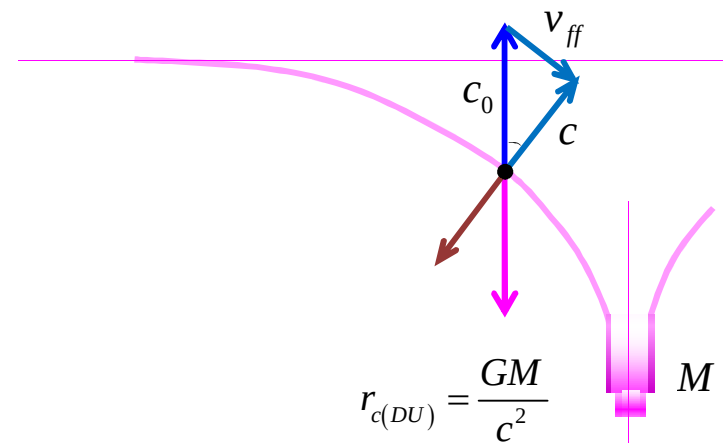


$$c_0 = \pm \sqrt{\frac{GM''}{R''_0}}$$

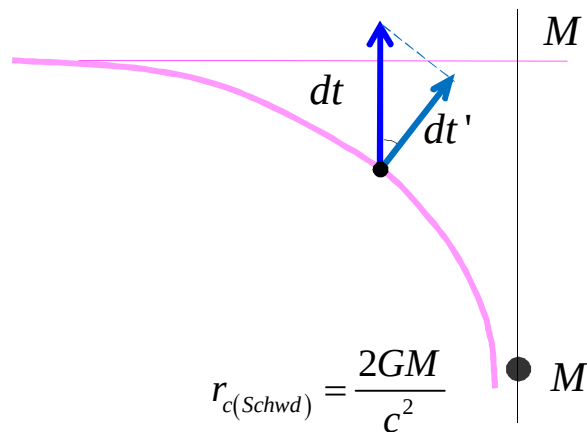
Ajan hidastuminen
Schwarzschildin avaruudessa:



Avaruuden 4-nopeuden hidastuminen
paikallisessa nollaenergia-avaruudessa:

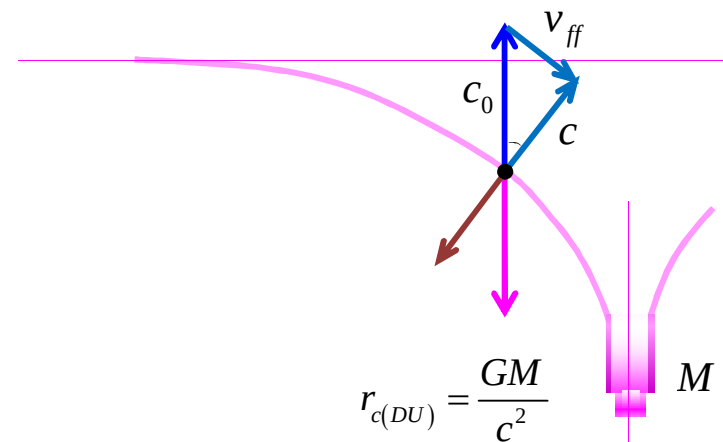


Ajan hidastuminen
Schwarzschildin avaruudessa:

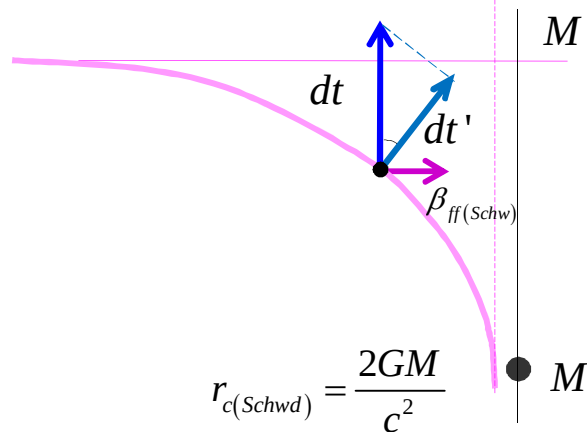
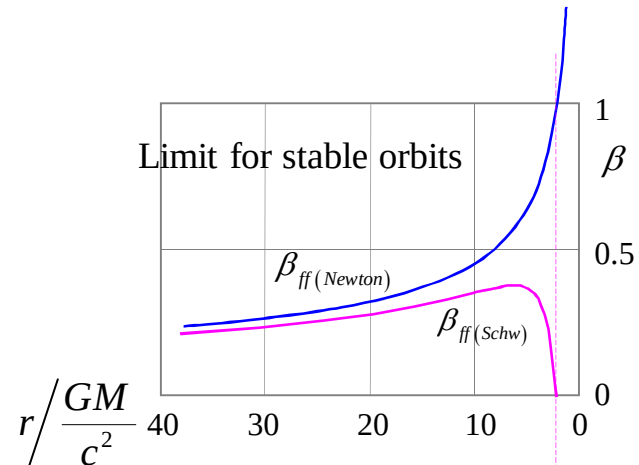


Avaruuden 4-nopeuden hidastuminen
paikallisessa nollaenergia-avaruudessa:

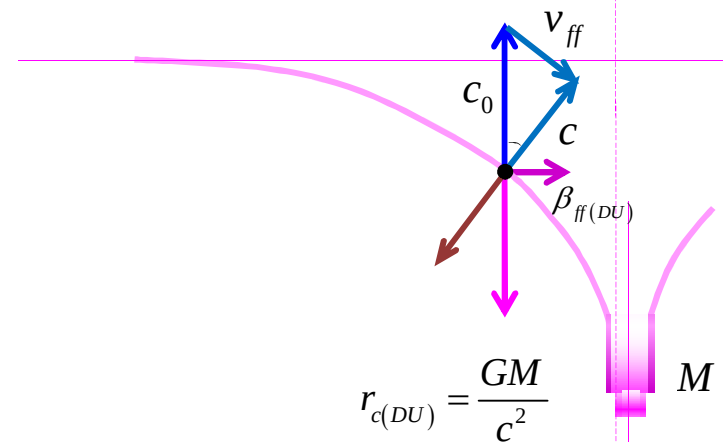
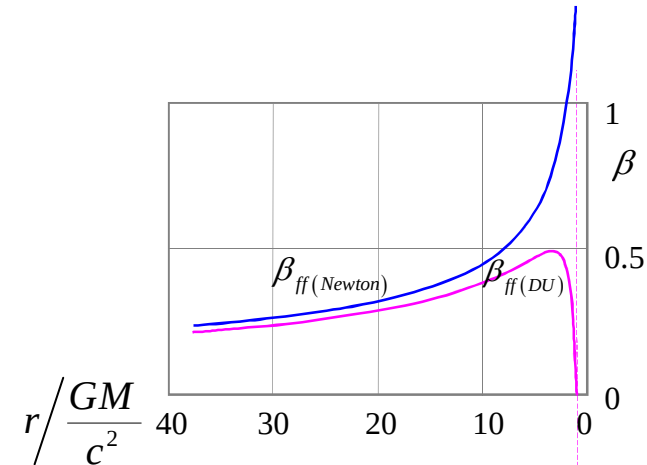
$$E_{m(0)} = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 m |\mathbf{c}_0| = c_0 m |\mathbf{c} + \mathbf{v}_{esc}|$$



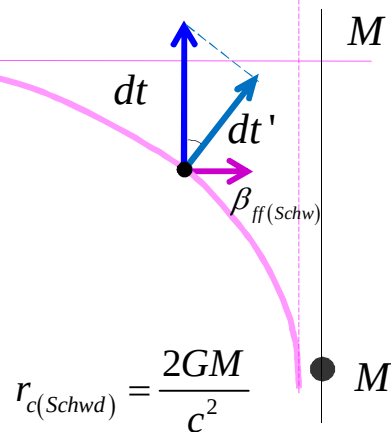
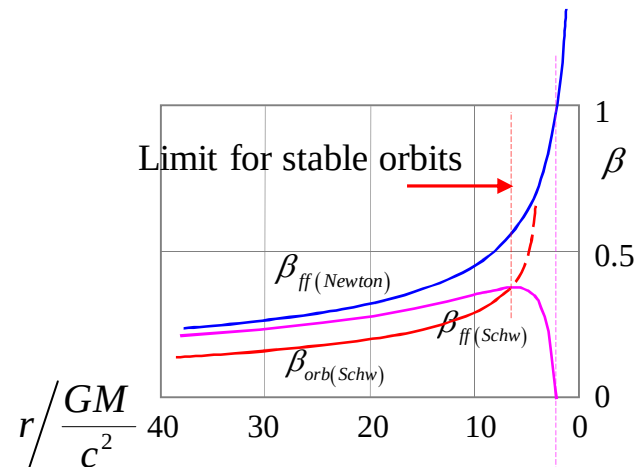
Vapaa pudotus ja ratanopeus
Schwarzschildin avaruudessa:



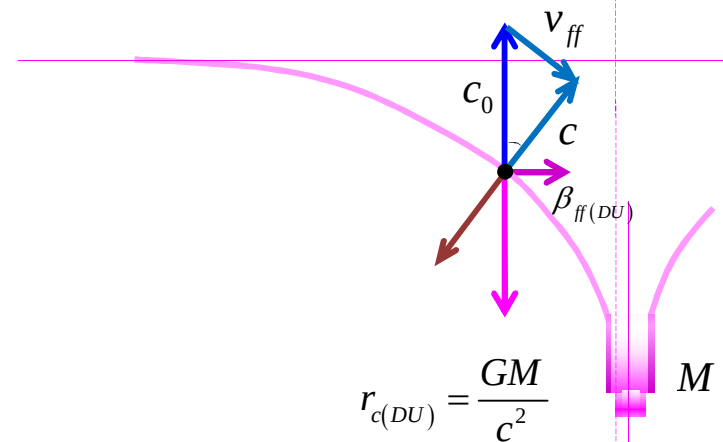
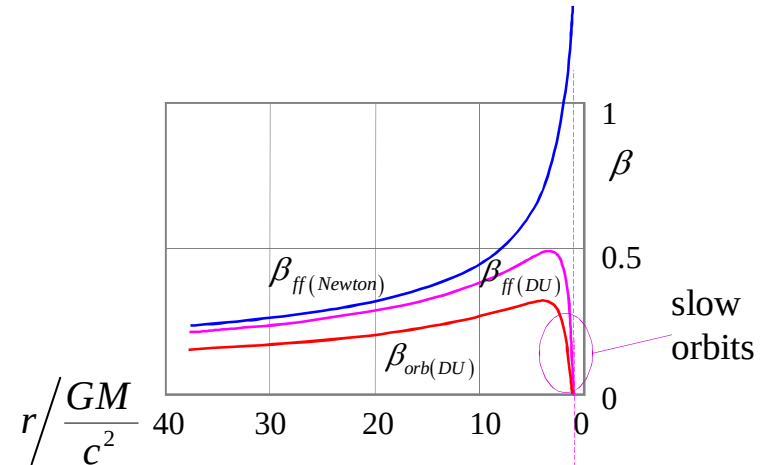
Avaruuden 4-nopeuden hidastuminen
paikallisessa nollaenergia-avaruudessa:



Vapaa pudotus ja ratanopeus
Schwarzschildin avaruudessa:

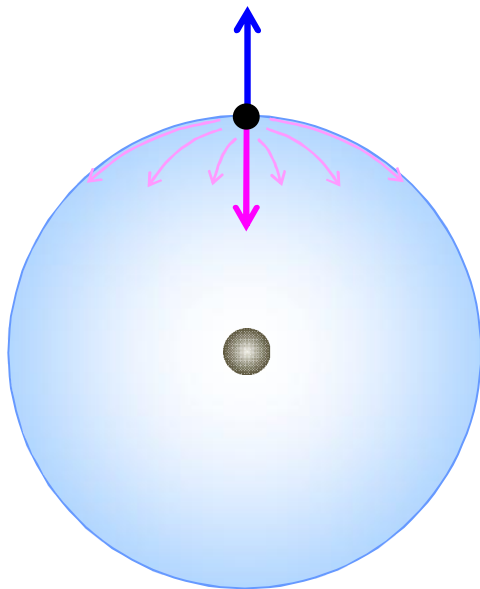


Avaruuden 4-nopeuden hidastuminen
paikallisessa nollaenergia-avaruudessa:



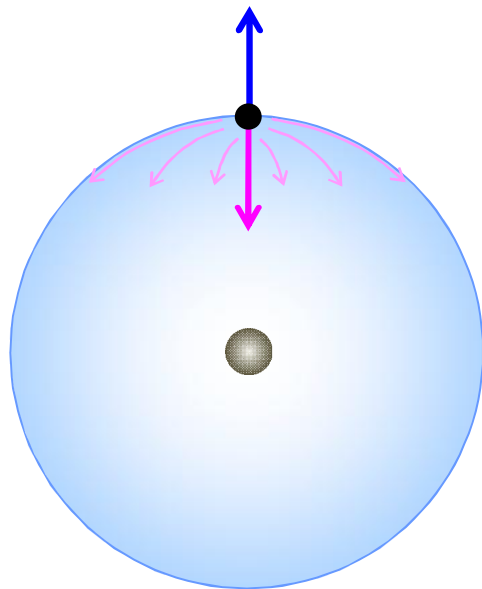
Nollaenergiatasapaino pallosymmetrisesti suljetussa avaruudessa

$$E_m = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 |m \mathbf{c}_0| = mc_0^2$$

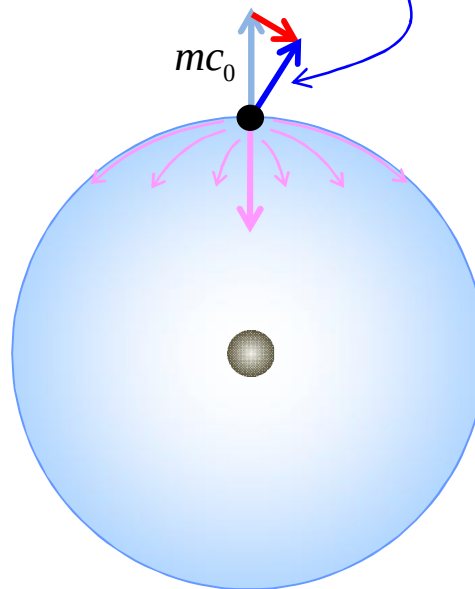


Nollaenergiatasapaino pallosymmetrisesti suljetussa avaruudessa

$$E_m = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 |m \mathbf{c}_0| = mc_0^2$$

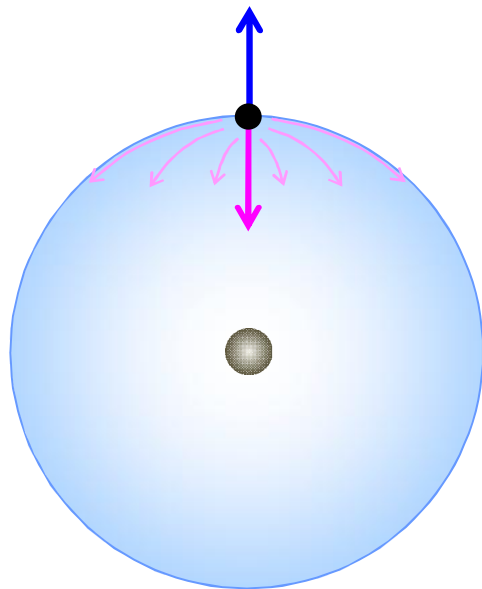


$$E_{rest(\delta)} = c_0 \cdot mc_0 \left(1 - \frac{GM}{rc^2} \right)$$

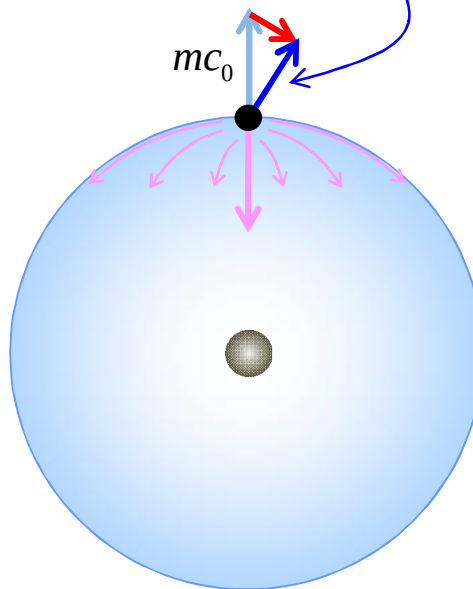


Nollaenergiatasapaino pallosymmetrisesti suljetussa avaruudessa

$$E_m = c_0 |\mathbf{p}| = c_0 |m \mathbf{c}_0| = mc_0^2$$

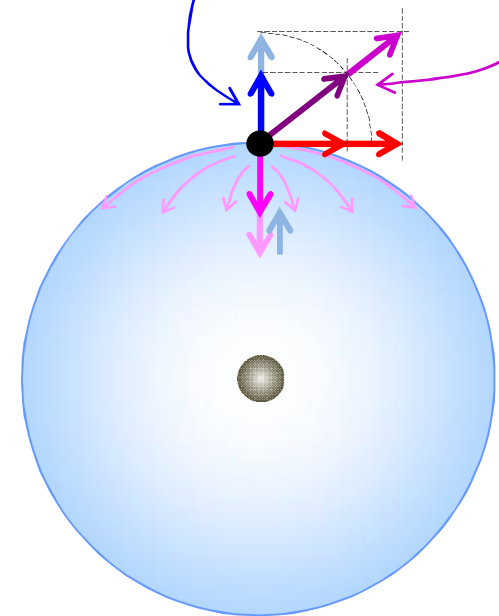


$$E_{rest(\delta)} = c_0 \cdot mc_0 \left(1 - \frac{GM}{rc^2} \right)$$



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

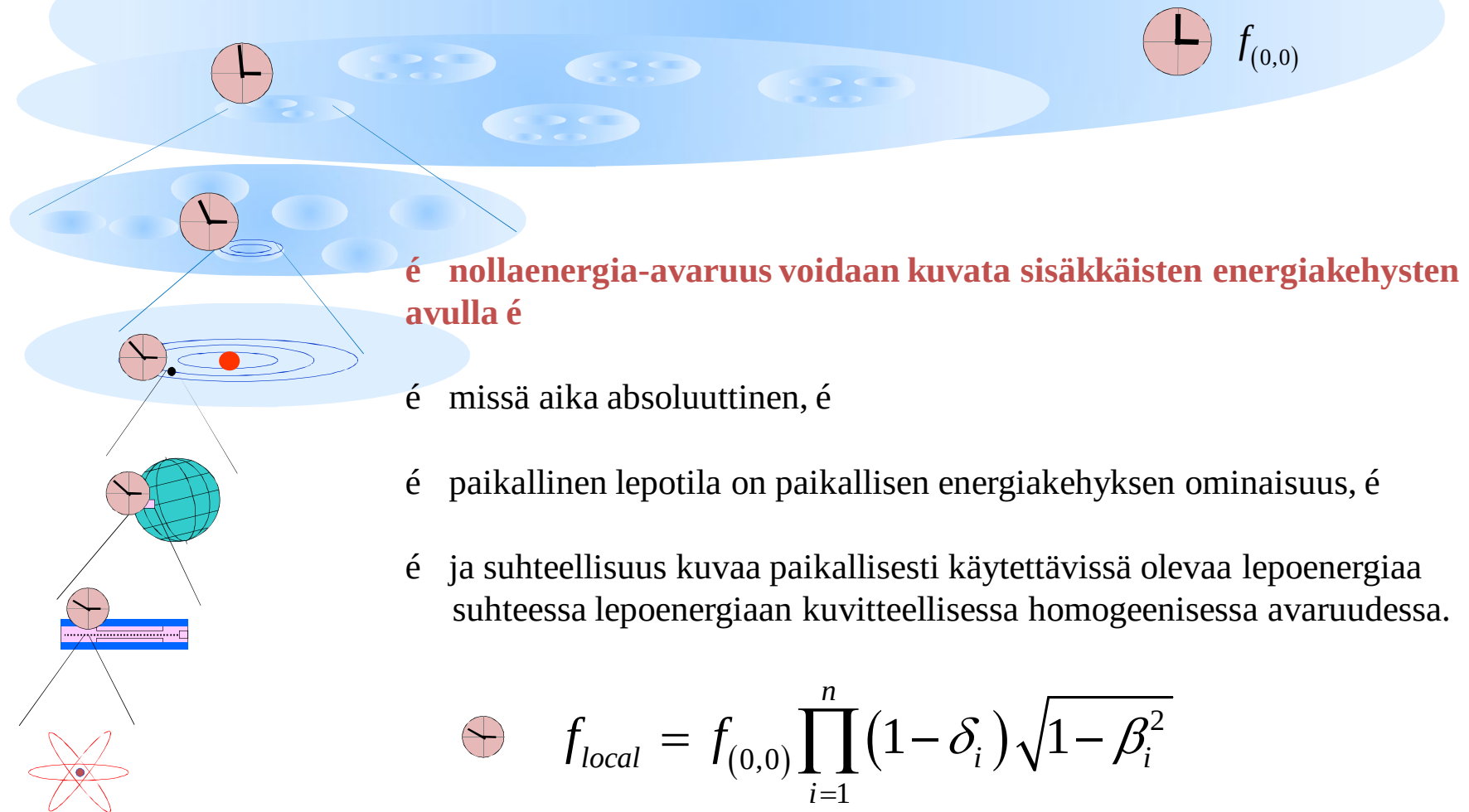
$$E_{rest(\beta)} = c_0 \cdot c_0 m \sqrt{1 - \beta^2}$$



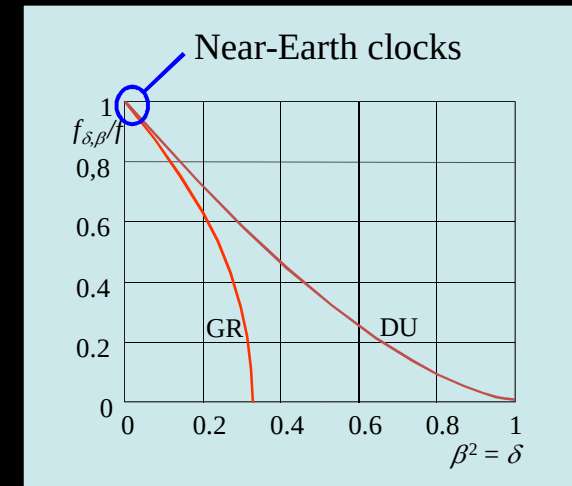
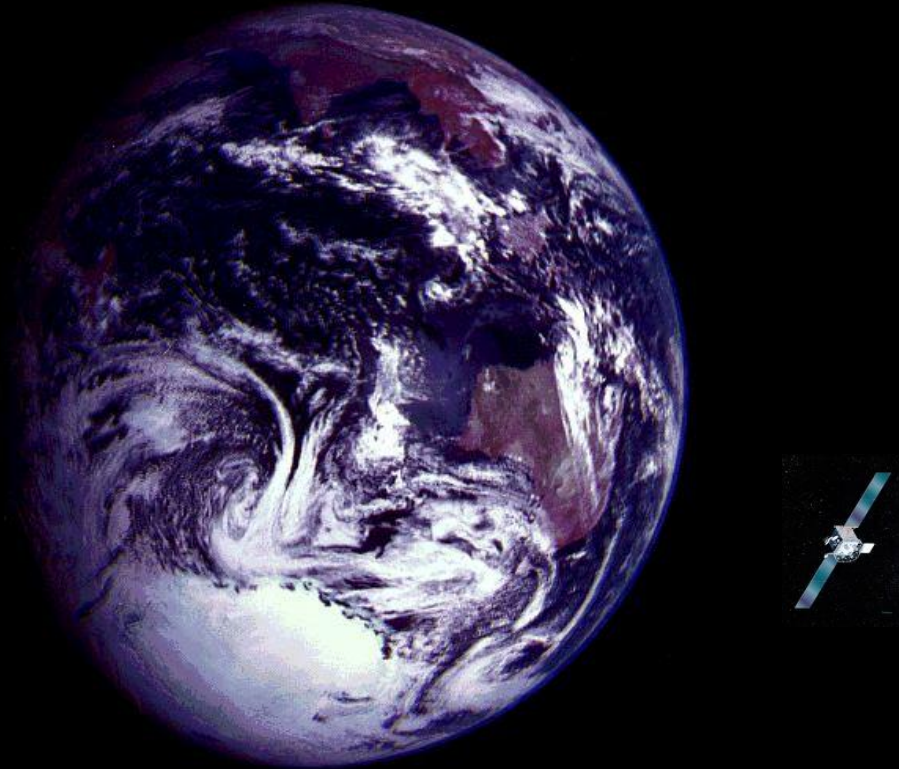
$$E_{kin} = c_0 |\Delta \mathbf{p}| = c_0 (c \Delta m + m \Delta c)$$

Sisäkkäisten energiakehysten järjestelmä

Kuvitteellinen homogeeninen avaruus: universaali lepokehys



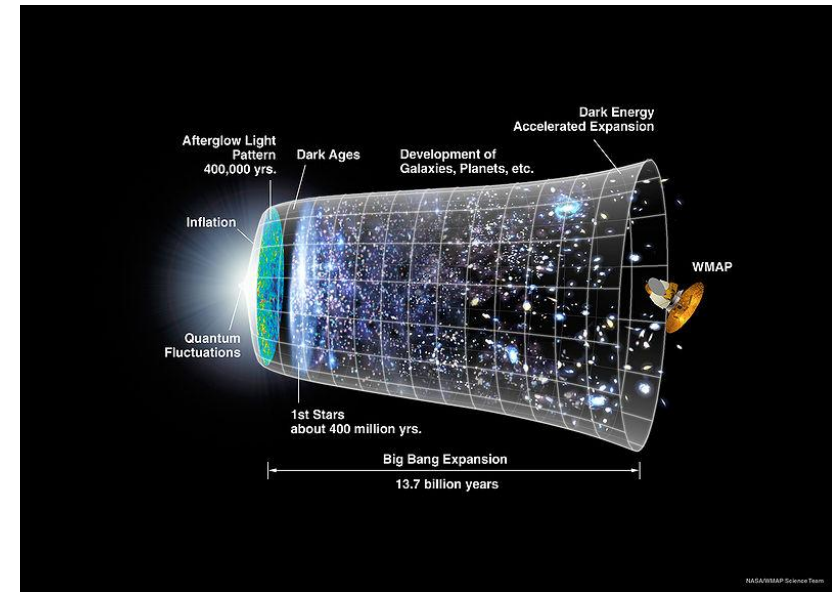
Satellite in Earth gravitational frame (ECI frame)



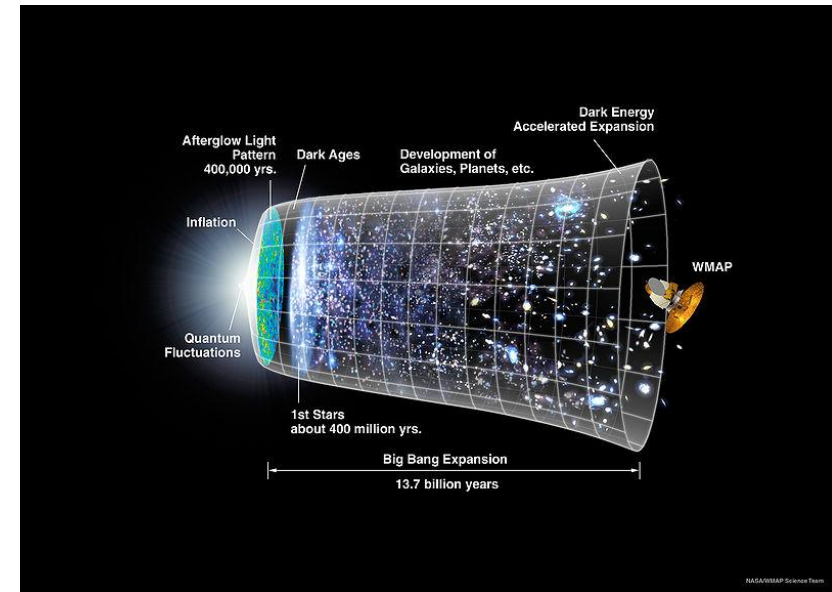
$$f_{(DU)} = f_{0,0} (1 - \delta) \sqrt{1 - \beta^2} \approx f_{0,0} \left(1 - \delta - \frac{1}{2} \beta^2 - \frac{1}{8} \beta^4 + \frac{1}{2} \delta \beta^2 \right)$$

$$f_{(GR)} = f_{0,0} \sqrt{1 - 2\delta - \beta^2} \approx f_{0,0} \left(1 - \delta - \frac{1}{2} \beta^2 - \frac{1}{8} \beta^4 - \frac{1}{2} \delta \beta^2 \right)$$

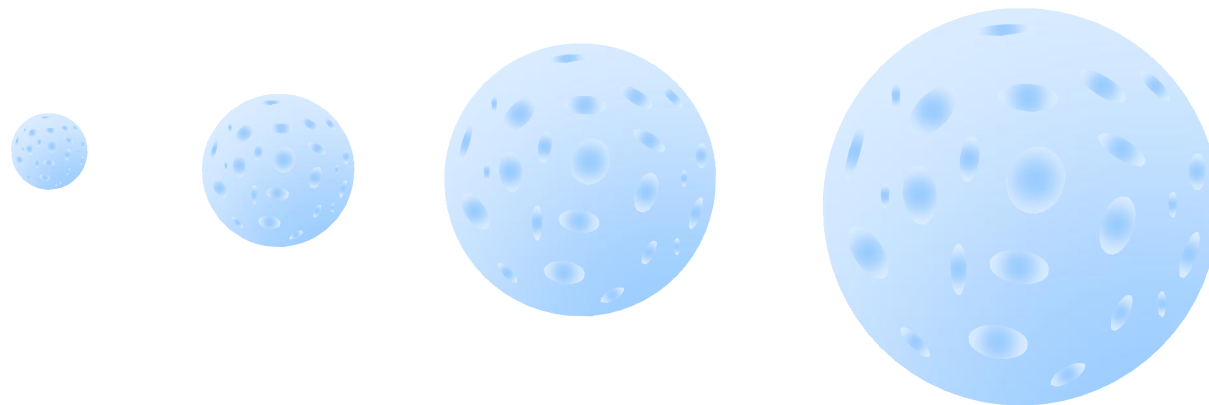
Big Bang kosmologian avaruus:
Paikallisjärjestelmät säilyttävät
kokonsa avaruuden laajetessa.



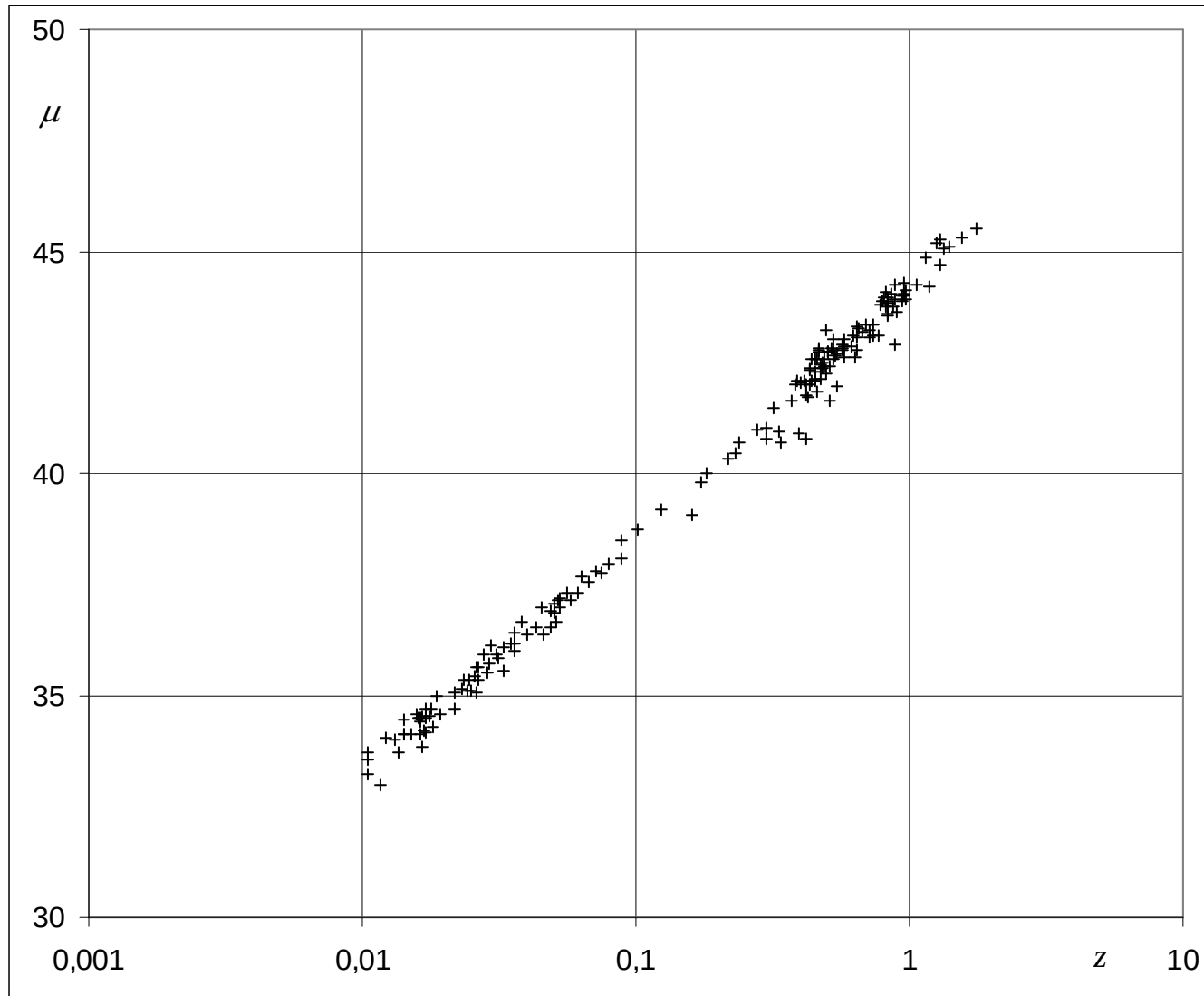
Big Bang kosmologian avaruus:
Paikallisjärjestelmät säilyttävät
kokonsa avaruuden laajetessa.



DU avaruus: Paikallisjärjestelmät laajenevat suhteessa koko
avaruuden laajenemiseen.

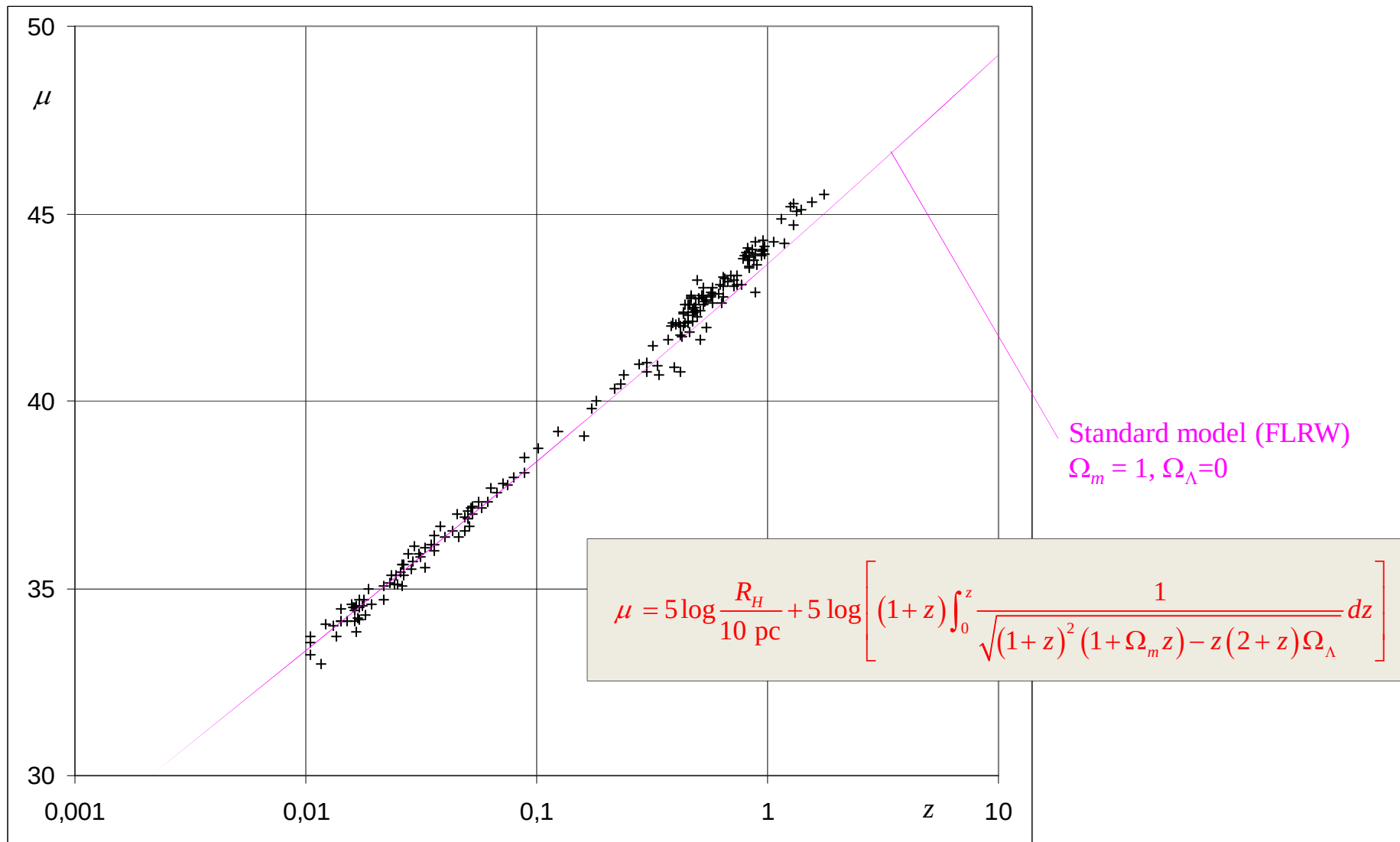


Magnitude versus redshift: Supernova observations



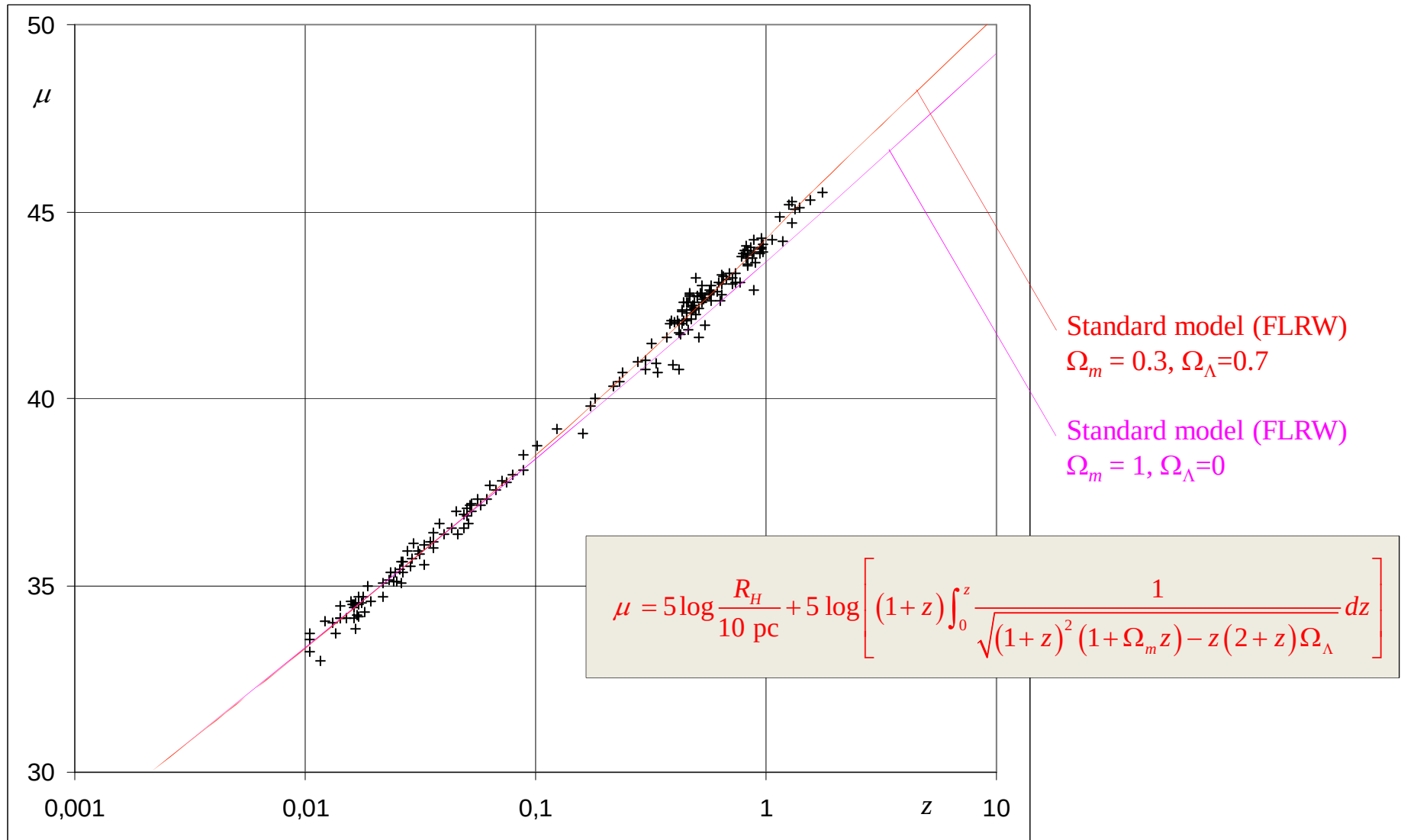
Data: A. G. Riess, *et al.*, *Astrophys. J.*, 607, 665 (2004)

Magnitude versus redshift: Supernova observations



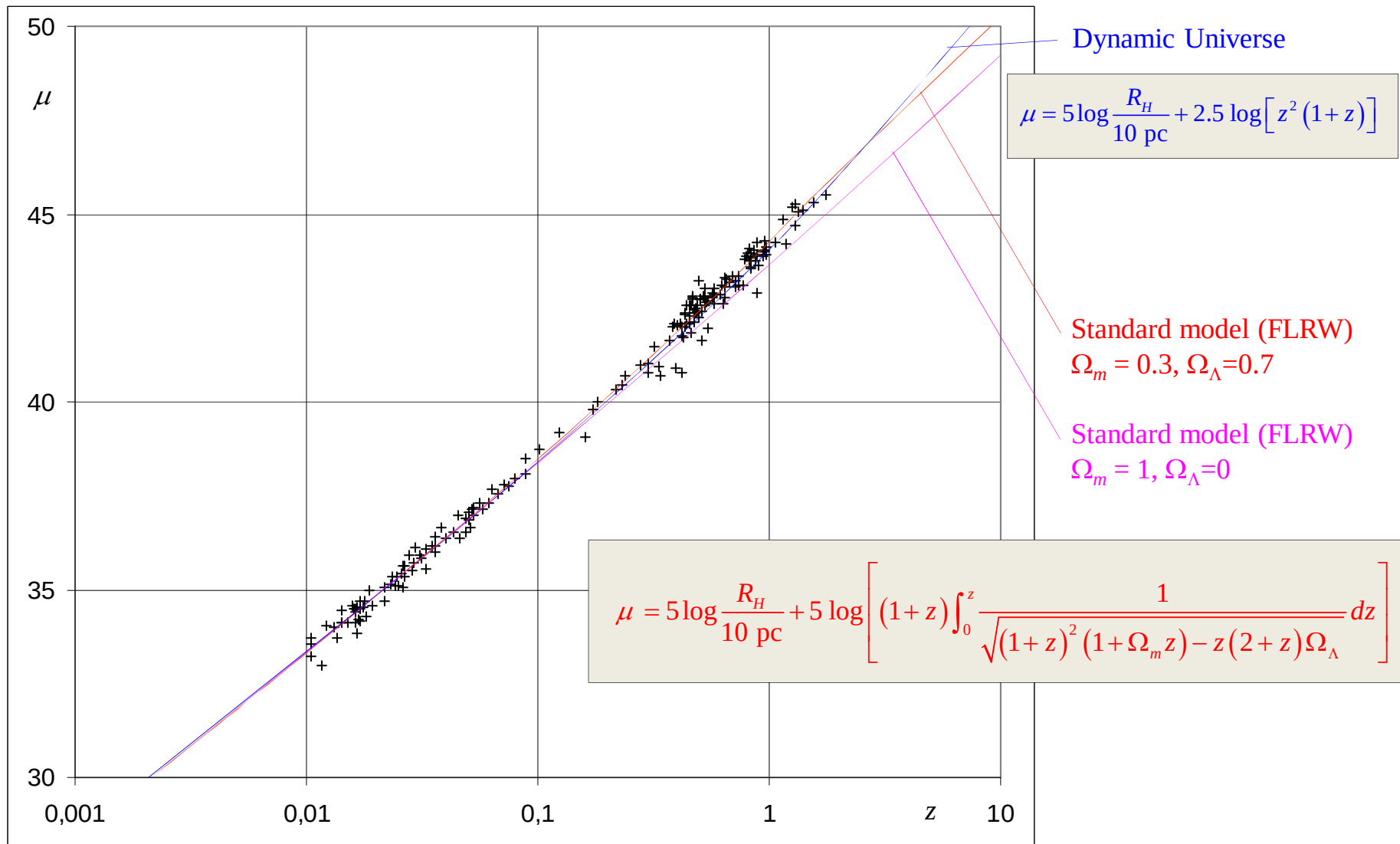
Data: A. G. Riess, *et al.*, *Astrophys. J.*, 607, 665 (2004)

Magnitude versus redshift: Supernova observations



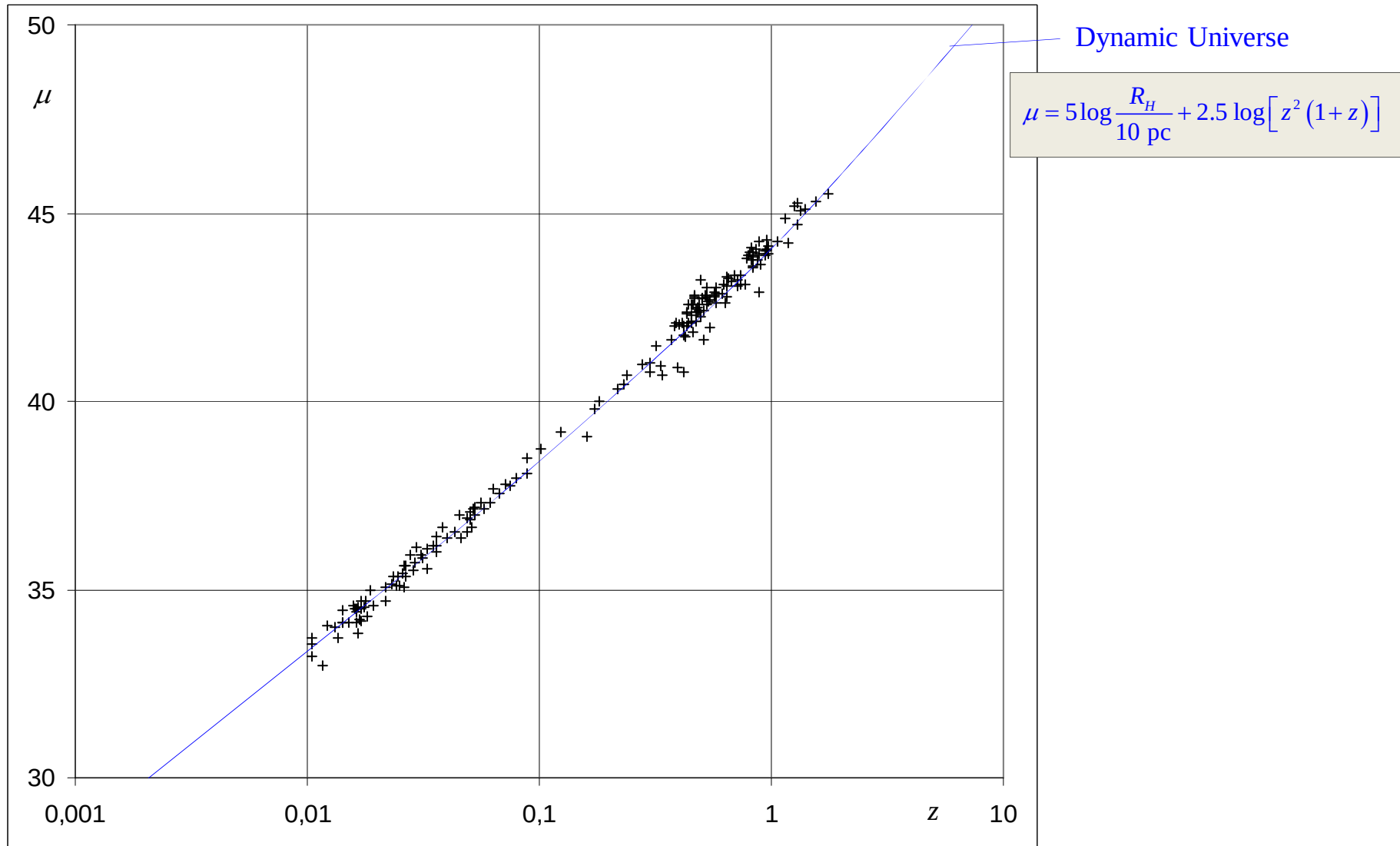
Data: A. G. Riess, *et al.*, *Astrophys. J.*, 607, 665 (2004)

Magnitude versus redshift: Supernova observations



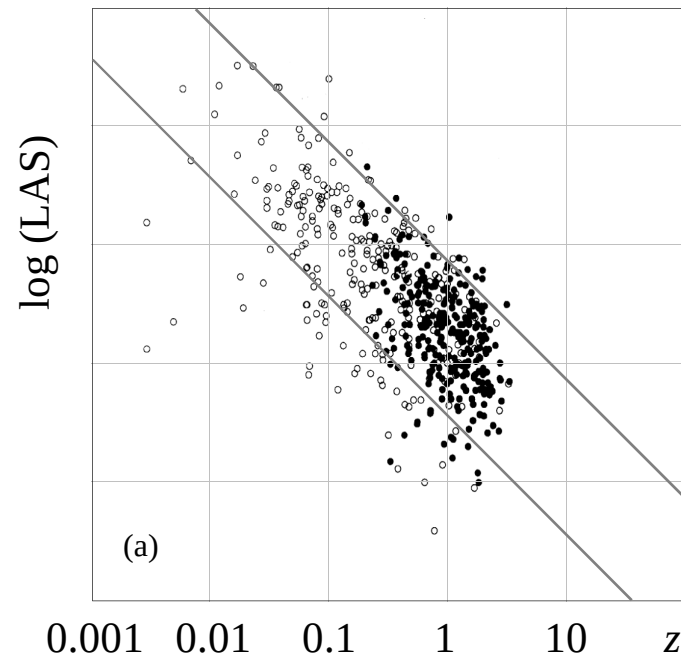
Data: A. G. Riess, *et al.*, *Astrophys. J.*, 607, 665 (2004)

Magnitude versus redshift: Supernova observations



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

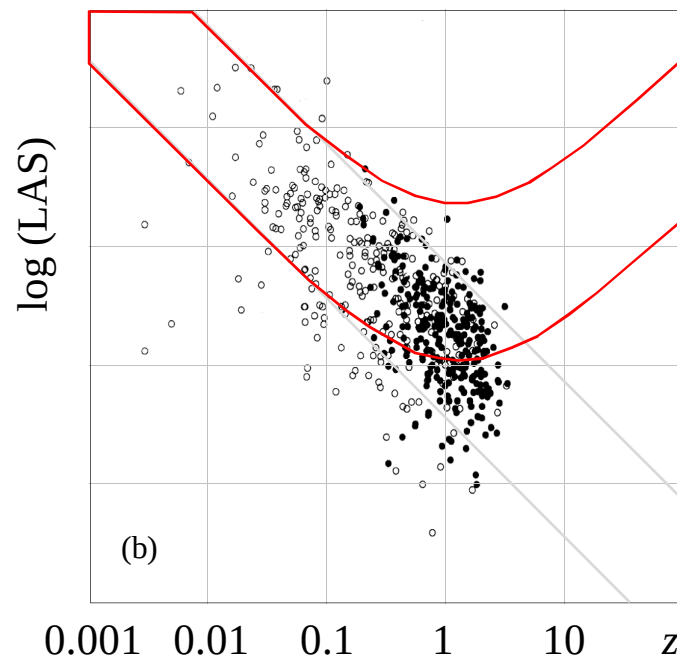
Angular size of galaxies and quasars, observations



Largest angular size (LAS), open circles: galaxies, filled circles: quasars

Collection of data: K. Nilsson *et al.*, *Astrophys. J.*, **413**, 453 (1993)

Angular size of galaxies and quasars, observations / predictions



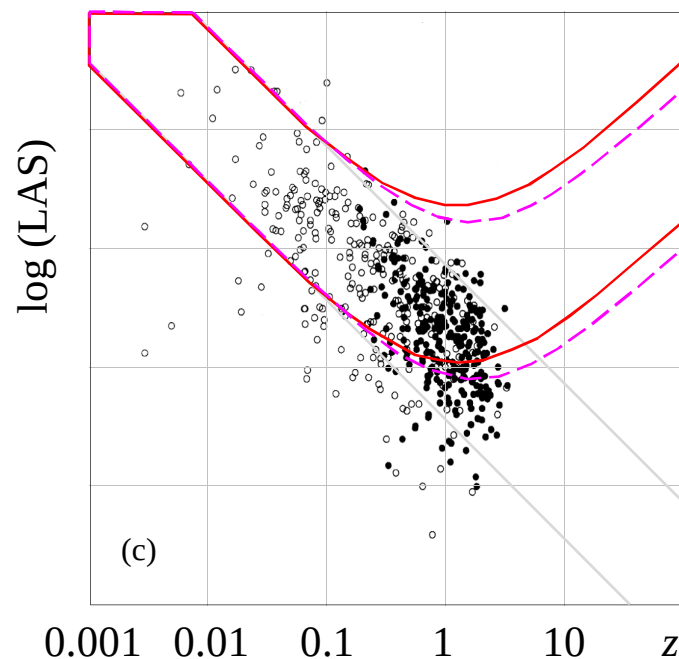
Standard model $\Omega_m = 1, \Omega_\Lambda = 0$

$$\theta = \frac{r_0}{R_H} \left/ \left[\frac{1}{(1+z)} \int_0^z \frac{1}{\sqrt{(1+z')^2 (1 + \Omega_m z') - z'(2+z')\Omega_\Lambda}} dz' \right] \right.$$

Largest angular size (LAS), open circles: galaxies, filled circles: quasars

Collection of data: K. Nilsson *et al.*, *Astrophys. J.*, **413**, 453 (1993)

Angular size of galaxies and quasars, observations / predictions



Standard model $\Omega_m = 1, \Omega_\Lambda = 0$

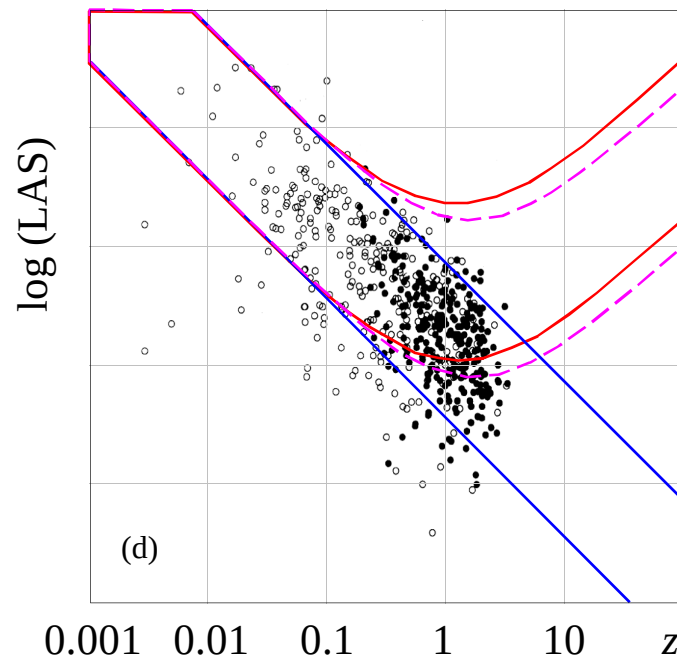
Standard model + dark energy $\Omega_m = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7$

$$\theta = \frac{r_0}{R_H} \left/ \left[\frac{1}{(1+z)} \int_0^z \frac{1}{\sqrt{(1+z')^2 (1 + \Omega_m z') - z'(2+z')\Omega_\Lambda}} dz' \right] \right.$$

Largest angular size (LAS), open circles: galaxies, filled circles: quasars

Collection of data: K. Nilsson *et al.*, *Astrophys. J.*, **413**, 453 (1993)

Angular size of galaxies and quasars, observations / predictions



Standard model $\Omega_m = 1, \Omega_\Lambda = 0$

Standard model + dark energy $\Omega_m = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7$

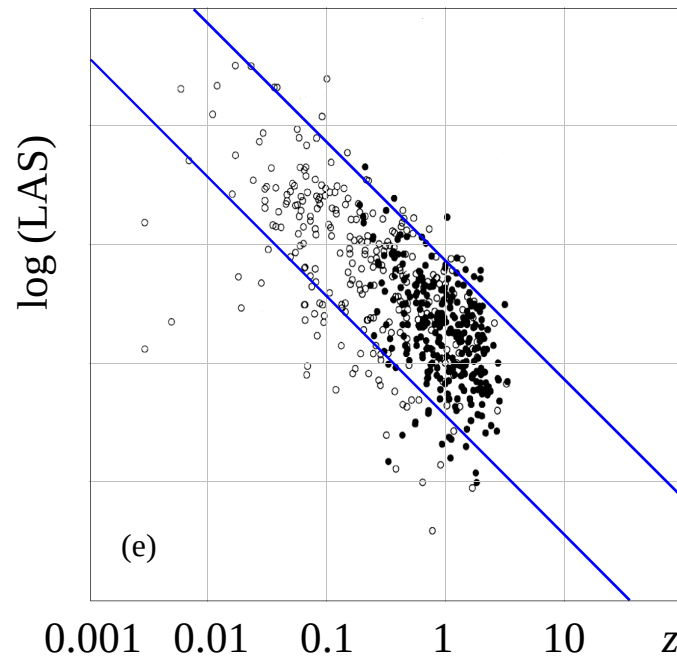
$$\theta = \frac{r_0}{R_H} \left/ \left[\frac{1}{(1+z)} \int_0^z \frac{1}{\sqrt{(1+z')^2 (1 + \Omega_m z') - z'(2+z')\Omega_\Lambda}} dz' \right] \right.$$

Dynamic Universe: Euclidean $\theta = \frac{r_0}{R_4} \frac{1}{z}$

Largest angular size (LAS), open circles: galaxies, filled circles: quasars

Collection of data: K. Nilsson *et al.*, *Astrophys. J.*, **413**, 453 (1993)

Angular size of galaxies and quasars, observations / predictions



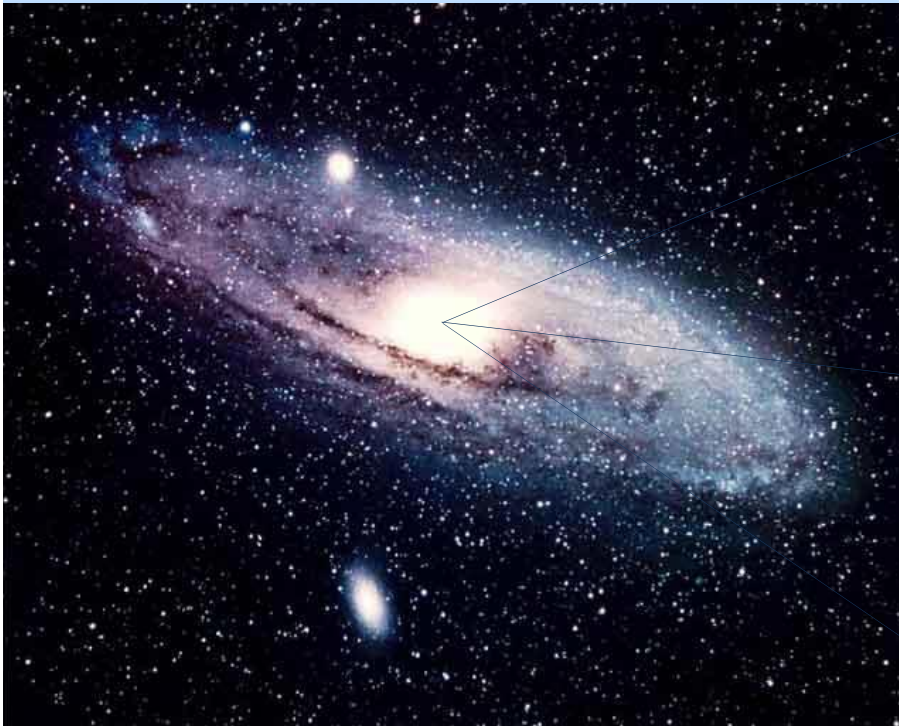
Dynamic Universe: Euclidean $\theta = \frac{r_0}{R_4} \frac{1}{z}$

Largest angular size (LAS), open circles: galaxies, filled circles: quasars

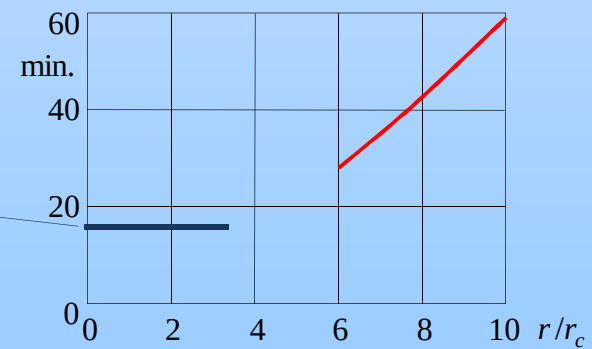
Collection of data: K. Nilsson *et al.*, *Astrophys. J.*, **413**, 453 (1993)

Orbital period near black hole

GR:
$$P = \frac{2\pi r}{c \sqrt{\frac{r_{c(DU)}}{r}}}$$



Sgr A*: $M \cong 3.7$ million solar masses
 $r_{c(DU)} \cong 5.3$ million kilometers

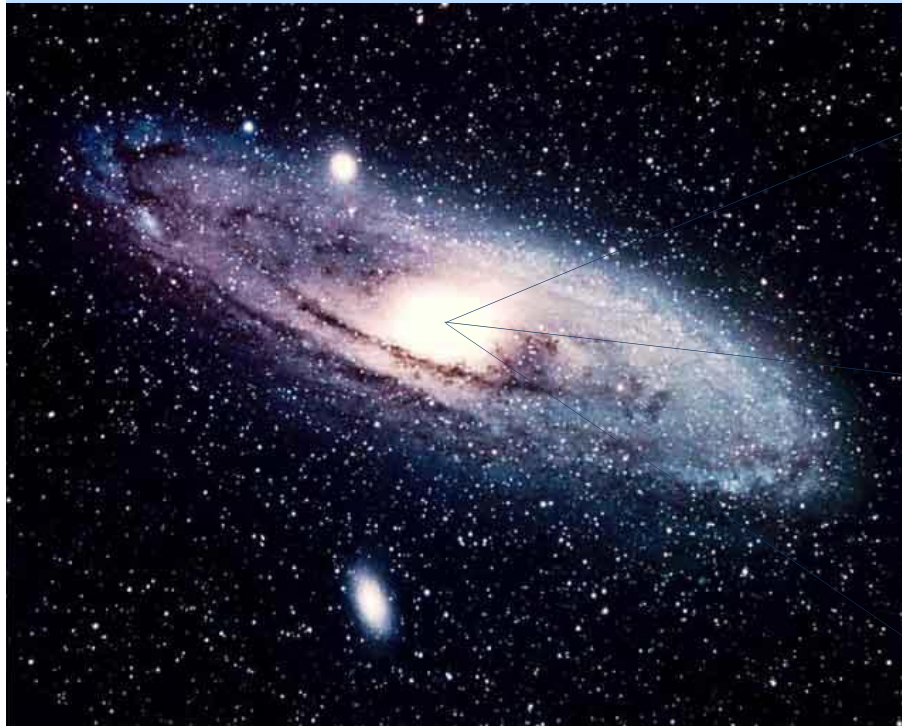


Observed 17 min rotation period at Milky Way Center, Sgr A*
 [R. Genzel, *et al.*, Nature 425, 934 (2003)]

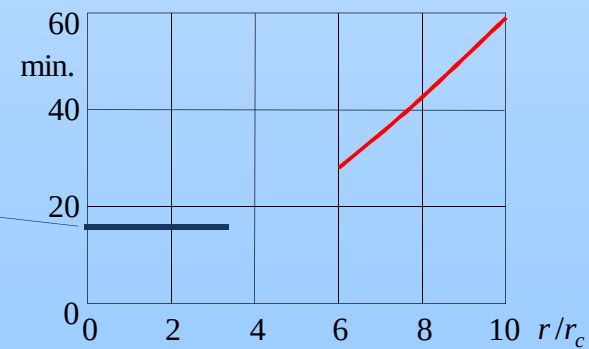
Orbital period near black hole

DU:
$$P = \frac{2\pi r}{c \sqrt{\frac{r_{c(DU)}}{r} \left(1 - \frac{r_{c(DU)}}{r}\right)^3}}$$

GR:
$$P = \frac{2\pi r}{c \sqrt{\frac{r_{c(DU)}}{r}}}$$



Sgr A*: $M \cong 3.7$ million solar masses
 $r_{c(DU)} \cong 5.3$ million kilometers

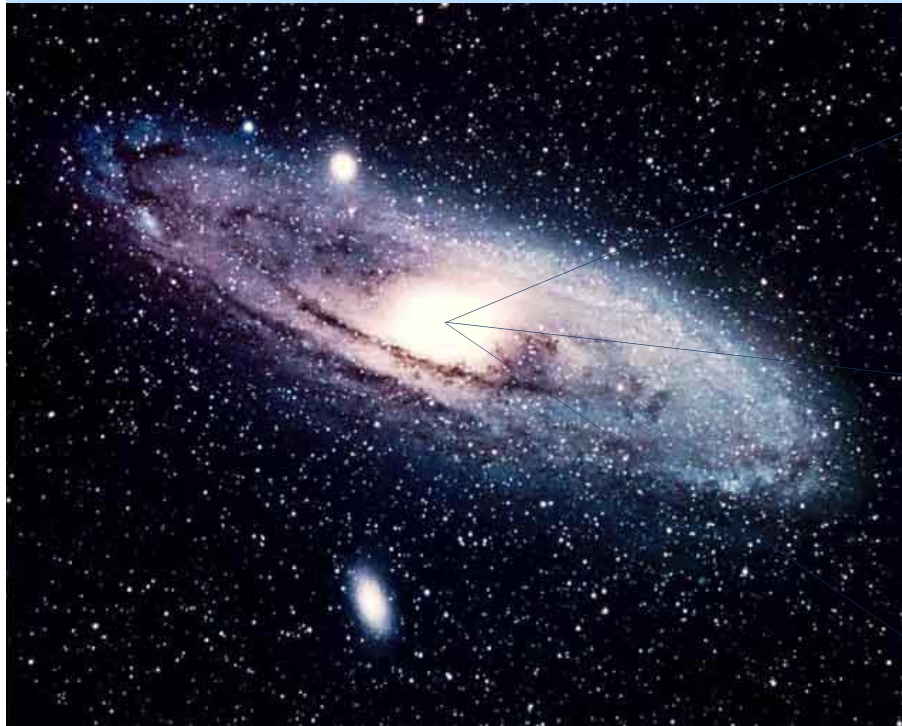


Observed 17 min rotation period at Milky Way Center, Sgr A*
 [R. Genzel, *et al.*, Nature 425, 934 (2003)]

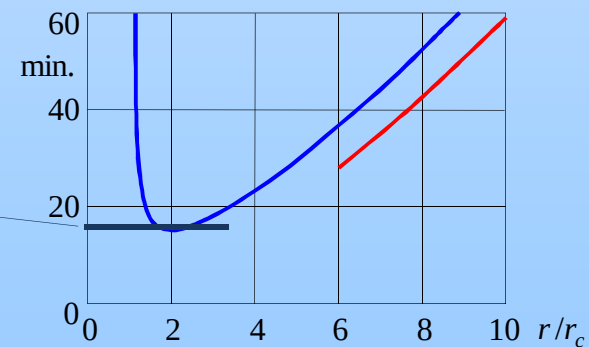
Orbital period near black hole

DU:
$$P = \frac{2\pi r}{c \sqrt{\frac{r_{c(DU)}}{r} \left(1 - \frac{r_{c(DU)}}{r}\right)^3}}$$

GR:
$$P = \frac{2\pi r}{c \sqrt{\frac{r_{c(DU)}}{r}}}$$



Sgr A*: $M \cong 3.7$ million solar masses
 $r_{c(DU)} \cong 5.3$ million kilometers



Observed 17 min rotation period at Milky Way Center, Sgr A*
 [R. Genzel, *et al.*, Nature 425, 934 (2003)]

Voidaanko luonnonilmiöitä kuvata absoluuttiajassa?

Absoluuttinen valon nopeus

Suhteellisuus kuvaa objektin suhdetta havaitsijaan.

Postulaatit:

Valon nopeus vakio

Suhteellisuusperiaate

Ekvivalenssiperiaate

Lorentz-muunnoksen alainen aika- ja pituusdifferentssi

Voima postuloitu suure, energia johdettu suure

Voidaanko luonnonilmiöitä kuvata absoluuttiajassa? - Kyllä voidaan.

Absoluuttinen valon nopeus

Suhteellisuus kuvaa objektin suhdetta havaitsijaan.

Postulaatit:

Valon nopeus vakio

Suhteellisuusperiaate

Ekvivalenssiperiaate

Lorentz-muunnoksen alainen aika- ja pituusdifferentssi

Voima postuloitu suure, energia johdettu suure

Absoluuttinen aika

Suhteellisuus kuvaa paikallisen suhdetta kokonaisuuteen.

Postulaatit:

Pallosymmetrisesti suljettu avaruus, jossa vallitsee nollaenergiatasapaino

Energia postuloitu suure, voima johdettu suure

Voidaanko luonnonilmiöitä kuvata absoluuttiajassa? - Kyllä voidaan.

Absoluuttinen valon nopeus

Suhteellisuus kuvaa objektin suhdetta havaitsijaan.

Postulaatit:

Valon nopeus vakio

Suhteellisuusperiaate

Ekvivalenssiperiaate

Lorentz-muunnoksen alainen aika- ja pituusdifferentssi

Voima postuloitu suure, energia johdettu suure

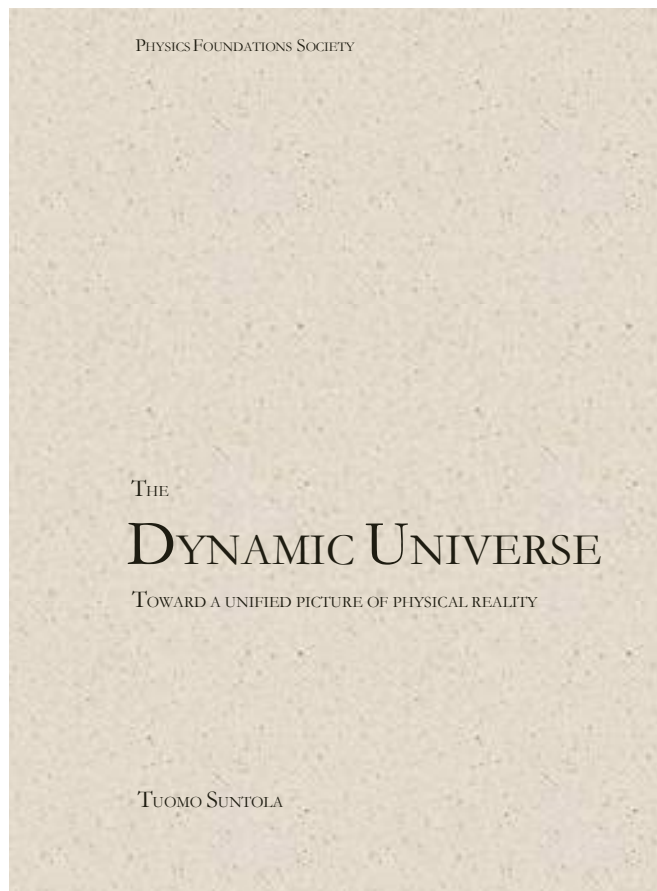
Absoluuttinen aika

Suhteellisuus kuvaa paikallisen suhdetta kokonaisuuteen.

Postulaatit:

Pallosymmetrisesti suljettu avaruus, jossa vallitsee nollaenergiatasapaino

Energia postuloitu suure, voima johdettu suure



THE
DYNAMIC UNIVERSE

TOWARD A UNIFIED PICTURE OF PHYSICAL REALITY

Contents

Preface	10
1. Introduction	15
2. Basic concepts, definitions and notations	56
3. Energy buildup in spherical space	65
4. Energy structures in space	84
5. Electricity, radiation, and characteristic oscillations	149
6. The dynamic cosmology	212
7. Experimental	248
8. Summary	310

Paperback, 174 x 235 mm, 334 pages

www.physicsfoundations.org