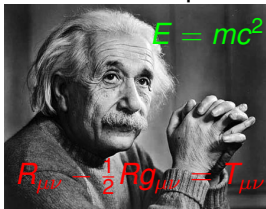


Tabamatust planeedist kaksikpulsariteni gravitatsiooni täppisvaatlused erinevatel skaaladel

Manuel Hohmann

Teoreetilise Füüsika Labor
Füüsika Instituut
Tartu Ülikool

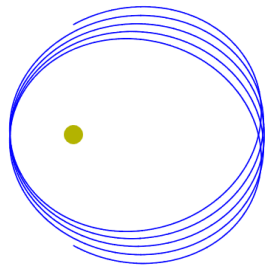
ÜRT 100. & ERT 110. aastapäevade tähistamine



24. november 2015

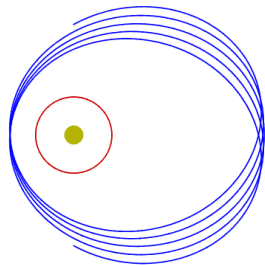
Merkuuri orbiidi pöörlemine

- Merkuuri orbiit pöörleb 574'' sajandis.
 - Teiste planeetide gravitatsioon selgitab ainult 531'' sajandis.
- ⇒ 43'' sajandis selgitamata.



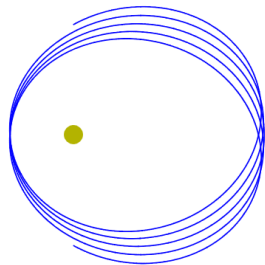
Merkuuri orbiidi pöörlemine

- Merkuuri orbiit pöörleb 574'' sajandis.
 - Teiste planeetide gravitatsioon selgitab ainult 531'' sajandis.
- ⇒ 43'' sajandis selgitamata.
- Võimalik selgitus: **tundmatu planeet Merkuuri** ja **Päikese** vahel.
 - Tundmatu planeet ("Vulcan") jäi tabamatuks.



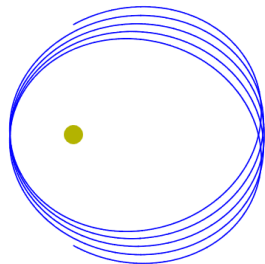
Merkuuri orbiidi pöörlemine

- Merkuuri orbiit pöörleb $574''$ sajandis.
 - Teiste planeetide gravitatsioon selgitab ainult $531''$ sajandis.
- ⇒ $43''$ sajandis selgitab üldrelatiivsusteooria.
- Võimalik selgitus: tundmatu planeet Merkuuri ja Päikese vahel.
 - Tundmatu planeet ("Vulcan") jäi tabamatuks.
 - Üldrelatiivsusteooria: Kepleri orbiitide parandus.
- ⇒ Merkuuri orbiidi lisapöörlemine: $43''$ sajandis.



Merkuuri orbiidi pöörlemine

- Merkuuri orbiit pöörleb 574'' sajandis.
- Teiste planeetide gravitatsioon selgitab ainult 531'' sajandis.
- ⇒ 43'' sajandis selgitab üldrelatiivsusteooria.
- Võimalik selgitus: “tume” planeet Merkuuri ja Päikese vahel.
- “Tume” planeet (“Vulcan”) jäi tabamatuks.
- Üldrelatiivsusteooria: Kepleri orbiitide parandus.
- ⇒ Merkuuri orbiidi lisapöörlemine: 43'' sajandis.



Võib ka öelda, et Vulcan oleks “tume” planeet olnud - “me ei näe teda ise, vaid ainult tema efekti gravitatsiooni kaudu, mis selgitab Merkuuri liikumist”. Planeeti polegi, vaid Newtoni gravitatsiooniteooria vajas parandusi. Hetkel otsitakse “tumedat ainet” ja “tumedat energiat”, et galaktikate liikumist ja kosmoloogiat selgitada. . .

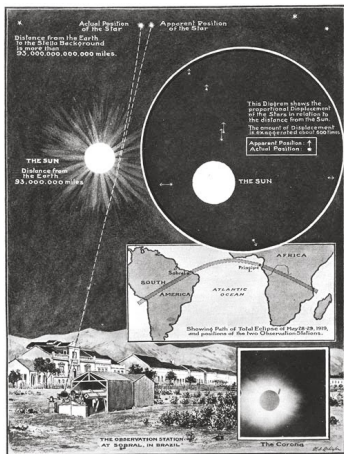
Gravitatsiooniläätsed ja valguse kõrvalekaldumine

- ÜRT ennustus: massiivsed kehad kallutavad valgust kõrvale.



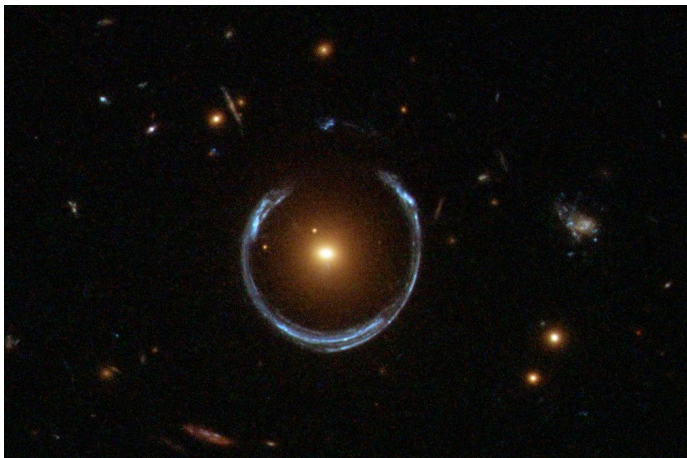
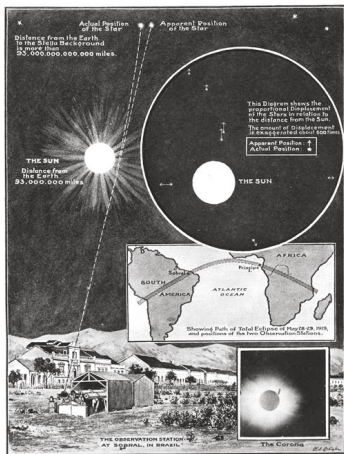
Gravitatsiooniläätised ja valguse kõrvalekaldumine

- ÜRT ennustus: massiivsed kehad kallutavad valgust kõrvale.
- Esimene vaatlus: A. Eddington, päikesevarjutus 1919.



Gravitatsiooniläätised ja valguse kõrvalekaldumine

- ÜRT ennustus: massiivsed kehad kallutavad valgust kõrvale.
- Esimene vaatlus: A. Eddington, päikesevarjutus 1919.
- Tänapäevased vaatlused: gravitatsiooniläätised ja Einsteini ringid.



Einsteini ekvivalentsusprintsiiip

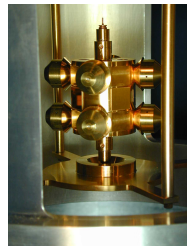
- Einsteini ekvivalentsusprintsiiip:
 - Kõikide kehade kaal:mass suhted on võrdsed.
 - Eksperimentide tulemused ei sõltu kiirusest.
 - Eksperimentide tulemused ei sõltu kohast ega ajast.

Einsteini ekvivalentsusprintsiiip

- Einsteini ekvivalentsusprintsiiip:
 - Kõikide kehade kaal:mass suhted on võrdsed.
 - Eksperimentide tulemused ei sõltu kiirusest.
 - Eksperimentide tulemused ei sõltu kohast ega ajast.
- ⇒ Vabalangemise universaalsus: kõik kehad langevad sama kiirelt.

Einsteini ekvivalentsusprintsiiip

- Einsteini ekvivalentsusprintsiiip:
 - Kõikide kehade kaal:mass suhted on võrdsed.
 - Eksperimentide tulemused ei sõltu kiirusest.
 - Eksperimentide tulemused ei sõltu kohast ega ajast.
- ⇒ Vabalangemise universaalsus: kõik kehad langevad sama kiirelt.
- Eöt-Wash katsed: erinevad materjalid langevad sama kiirelt.



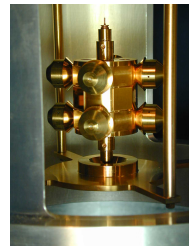
Einsteini ekvivalentsusprintsiiip

- Einsteini ekvivalentsusprintsiiip:

- Kõikide kehade kaal:mass suhted on võrdsed.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kiirusest.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kohast ega ajast.

⇒ Vabalangemise universaalsus: kõik kehad langevad sama kiirelt.

- Eöt-Wash katsed: erinevad materjalid langevad sama kiirelt.
- Kuu kauguse mõõtmine: Maa ja Kuu päikese gravitatsiooniväljas.



Einsteini ekvivalentsusprintsiiip

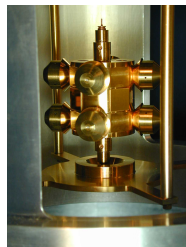
- Einsteini ekvivalentsusprintsiiip:

- Kõikide kehade kaal:mass suhted on võrdsed.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kiirusest.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kohast ega ajast.

⇒ Vabalangemise universaalsus: kõik kehad langevad sama kiirelt.

- Eöt-Wash katsed: erinevad materjalid langevad sama kiirelt.
- Kuu kauguse mõõtmine: Maa ja Kuu päikese gravitatsiooniväljas.

⇒ Gravitatsiooni punanihe: massiivsed kehad aeglustavad aega.



Einsteini ekvivalentsusprintsiiip

- Einsteini ekvivalentsusprintsiiip:

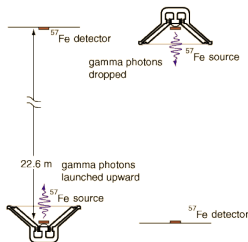
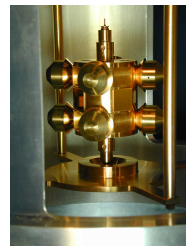
- Kõikide kehade kaal:mass suhted on võrdsed.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kiirusest.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kohast ega ajast.

⇒ Vabalangemise universaalsus: kõik kehad langevad sama kiirelt.

- Eöt-Wash katsed: erinevad materjalid langevad sama kiirelt.
- Kuu kauguse mõõtmine: Maa ja Kuu päikese gravitatsiooniväljas.

⇒ Gravitatsiooni punanihe: massiivsed kehad aeglustavad aega.

- Esimene vaatlus: Pound-Rebka eksperiment.



Einsteini ekvivalentsusprintsiiip

● Einsteini ekvivalentsusprintsiiip:

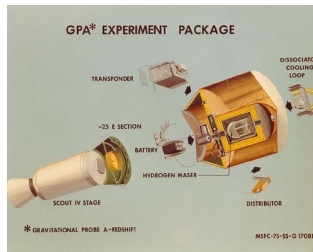
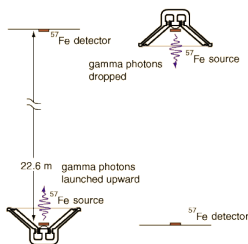
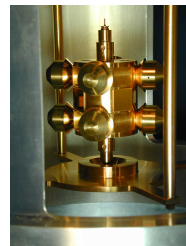
- Kõikide kehade kaal:mass suhted on võrdsed.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kiirusest.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kohast ega ajast.

⇒ Vabalangemise universaalsus: kõik kehad langevad sama kiirelt.

- Eöt-Wash katsed: erinevad materjalid langevad sama kiirelt.
- Kuu kauguse mõõtmine: Maa ja Kuu päikese gravitatsiooniväljas.

⇒ Gravitatsiooni punanihe: massiivsed kehad aeglustavad aega.

- Esimene vaatlus: Pound-Rebka eksperiment.
- Aatomikell kosmoses: Gravity Probe A.



Einsteini ekvivalentsusprintsiiip

● Einsteini ekvivalentsusprintsiiip:

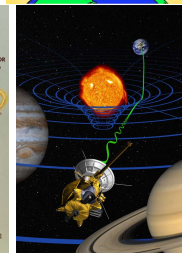
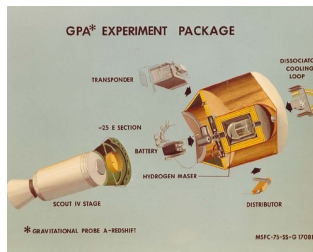
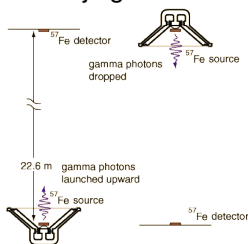
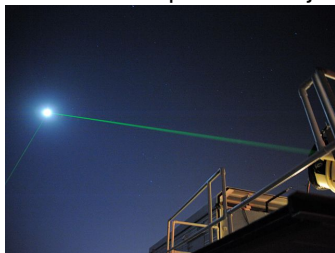
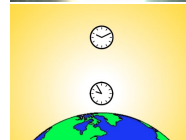
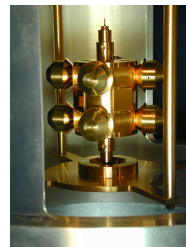
- Kõikide kehade kaal:mass suhted on võrdsed.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kiirusest.
- Eksperimentide tulemused ei sõltu kohast ega ajast.

⇒ Vabalangemise universaalsus: kõik kehad langevad sama kiirelt.

- Eöt-Wash katsed: erinevad materjalid langevad sama kiirelt.
- Kuu kauguse mõõtmine: Maa ja Kuu päikese gravitatsiooniväljas.

⇒ Gravitatsiooni punanihe: massiivsed kehad aeglustavad aega.

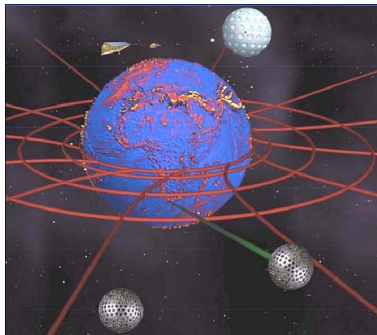
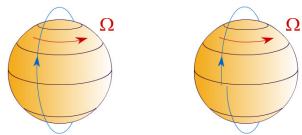
- Esimene vaatlus: Pound-Rebka eksperiment.
- Aatomikell kosmoses: Gravity Probe A.
- Shapiro viivitus ja Cassini jälgimine.



- ÜRT ennustus: pöörlev keha lohistab aegruumi oma ümbruses.

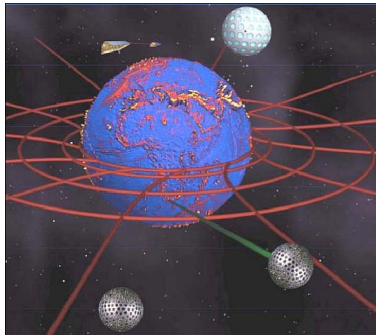
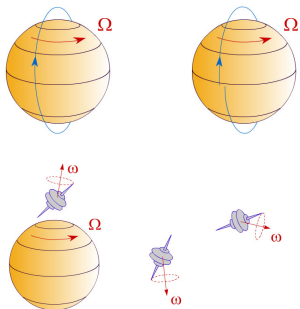
Lense-Thirringi efekt ja raamide lohistamine

- ÜRT ennustus: pöörlev keha lohistab aegruumi oma ümbruses.
- Orbiitide lohistamine: LAGEOS ja LARES eksperimendid.



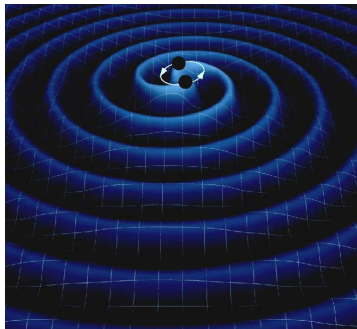
Lense-Thirringi efekt ja raamide lohistamine

- ÜRT ennustus: pöörlev keha lohistab aegruumi oma ümbruses.
- Orbiitide lohistamine: LAGEOS ja LARES eksperimendid.
- Vurride lohistamine: Gravity Probe B.



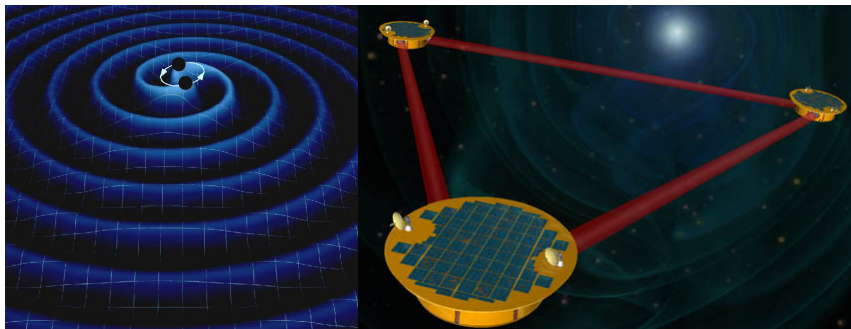
Gravitatsioonilained

- ÜRT ennustus: orbiitides liikuvad kehad tekitavad “laineid aegruumis”.



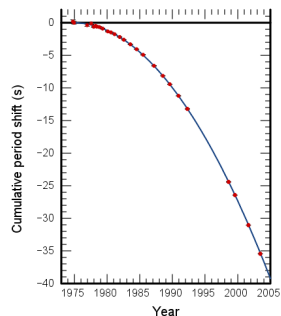
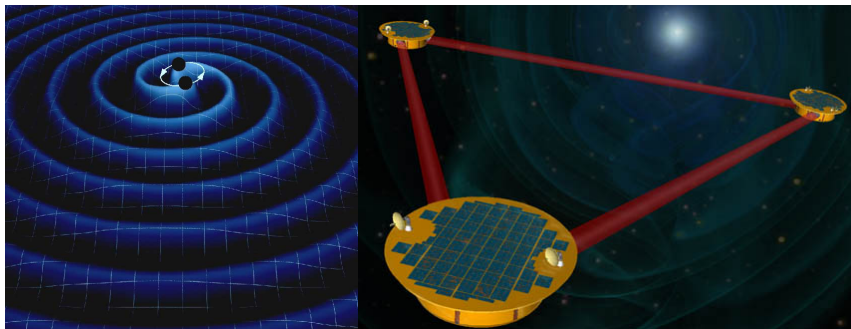
Gravitatsioonilained

- ÜRT ennustus: orbiitides liikuvad kehad tekitavad “laineid aegruumis”.
- Otsesed vaatlused: seni ei ole - aga eksperimendid otsivad:
 - Interferomeetrid maapinnal: LIGO, VIRGO, KAGRA, GEO600.
 - Interferomeeter kosmoses: (e)LISA (planeeritud).



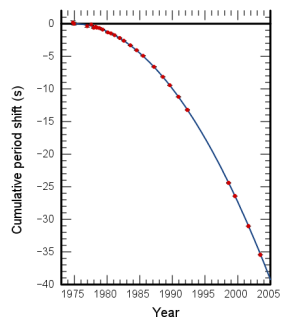
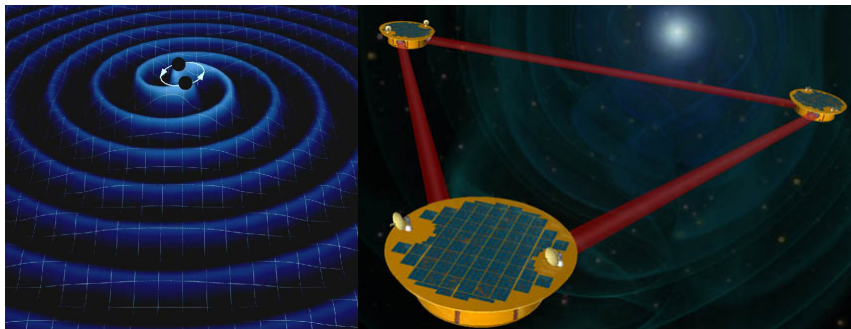
Gravitatsioonilained

- ÜRT ennustus: orbiitides liikuvad kehad tekitavad “laineid aegruumis”.
- Otsesed vaatlused: seni ei ole - aga eksperimendid otsivad:
 - Interferomeetrid maapinnal: LIGO, VIRGO, KAGRA, GEO600.
 - Interferomeeter kosmoses: (e)LISA (planeeritud).
- Kaksikpulsarid – pulsarid kaksiksüsteemides:
 - Energiakaotus gravitatsioonilainete kaudu mõjutab kaksiksüsteemi orbiiti.
 - Orbiidimuutus mõjutab pulsarisignaali jõudmise aega Maale.



Gravitatsioonilained

- ÜRT ennustus: orbiitides liikuvad kehad tekitavad “laineid aegruumis”.
- Otsesed vaatlused: seni ei ole - aga eksperimendid otsivad:
 - Interferomeetrid maapinnal: LIGO*, VIRGO, KAGRA, GEO600.
 - Interferomeeter kosmoses: (e)LISA (planeeritud).
- Kaksikpulsarid – pulsarid kaksiksüsteemides:
 - Energiakaotus gravitatsioonilainete kaudu mõjutab kaksiksüsteemi orbiiti.
 - Orbiidimuutus mõjutab pulsarisignaali jõudmise aega Maale.



Lubadus, et hiljuti parandatud LIGO võib leida gravitatsioonilaineid järgmisel aastal.