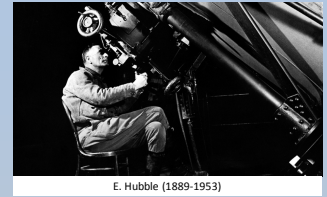


LA HIBERNACIÓ (1920-1960)

Els altres efectes predits per la teoria requerien d'una precisió que superava de llarg la que permetien els instruments de l'època.

1920's: Els models de Friedmann-Lemaître posen les bases d'una cosmologia relativista basada en un univers en expansió, que concordava amb les observacions de Hubble (1929) de recessió de les galàxies llunyanes.

1930's: 1930's Models d'estels en astrofísica relativista: Baade-Zwicky (estels de neutrons, 1934), límit de Chandrasekhar (1935). Aquests darrers eventualment descriuran els pulsars, que es descobriren el 1967.

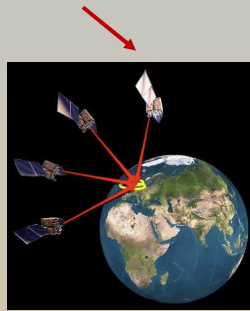
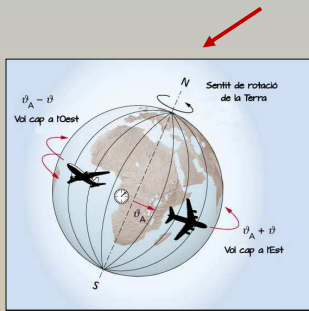
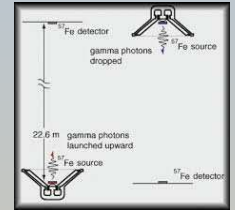


E. Hubble (1889-1953)

L' ERA DAURADA (1960 - ...)

La mesura del temps

- 1960:** Per efecte Mössbauer, ^{57}Fe té una ratlla g molt fina que permet mesurar amb precisió l'efecte Doppler gravitatori en un desnivell de 20 m (Pound i Rebka).
- 1964:** Efecte Shapiro de retard del senyal de radar. Usant Mercuri com a reflector passiu, el temps de viatge del senyal enviat des de la Terra depèn de la posició relativa Terra-Sol-Mercuri, segons que el senyal passi o no prop del Sol.
- 1970:** Hafele i Keating comparen el temps mesurat per tres rellotges atòmics: dos sobre avions que fan una volta al món i un a terra. Les diferències estan d'acord amb les prediccions de la teoria de la relativitat.
- 1978-95:** Els sistemes de navegació per satèl·lit es basen en mesures de temps de rellotges atòmics situats a potencials gravitatoris diferents i viatgen a velocitats diferents. Les correccions relativistes són essencials perquè el sistema tingui la precisió pretesa.

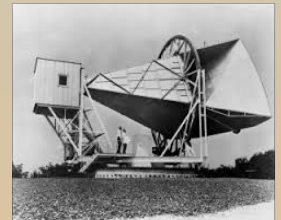


Teoria dels forats negres

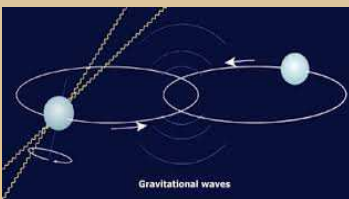
- 1963:** Kerr descobreix una segona solució exacta (després de la de Schwarzschild) que també descriu un forat negre, ara en rotació.
- 1965:** Newman estén la solució de Kerr a un forat negre amb càrrega elèctrica.
- 1974:** Hawking aplica la mecànica quàntica als forats negres i estableix el resultat teòric que aquests emeten radiació corresponent a una temperatura inversament proporcional a la seva massa.

Cosmologia

- 1964:** Penzias i Wilson descobreixen el fons còsmic de radiació de microones que abona la teoria del Big Bang calent, que recull entre d'altres, les idees d'univers en expansió de Friedmann-Lemaître.
- 1992:** El satèl·lit COBE confirma que aquesta radiació de fons de microones segueix la llei de Planck de la radiació del cos negre, i permet detectar-ne les anisotropies, necessàries per explicar la formació d'estructures a l'univers.
- 2013:** Les dades obtingudes pel satèl·lit Planck (darrera anàlisi de 2015) milloren les obtingudes el 2006 pel satèl·lit WMAP i ajuden a consolidar el model standard de la cosmologia: un univers nascut d'un Big Bang, travessant tot seguit una etapa inflacionària, i compost de matèria ordinària (la que veiem, 4,9%), matèria fosca (25,9%) i energia fosca (constant cosmològica, 69,2%). La "relliscada" d'Einstein de 1917 el va fer caure dempeus!



Astronomia i astrofísica



- 1967:** Bell i Hewish descobreixen el primer pulsar: astre compacte molt magnetitzat que respon al model d'estel de neutrons.
- 1974:** Hulse i Taylor descobreixen un pulsar en un sistema doble d'estels de neutrons. Acumulant dades de les observacions, el 1979 mostren que el període de l'òrbita disminueix exactament tal com correspondria al fet que el sistema emetés ones gravitatories, esdevenint la primera prova indirecta de la seva existència.
- 1968:** Nordvet posa en marxa el formalisme postnewtonià parametritzat (PPN) que permetrà contrastar experimentalment la teoria general de la relativitat en comparació amb altres teories relativistes de la gravetat.

Deflexió de la llum

El camp gravitatori actua com un índex de refracció efectiu. Les observacions òptiques de la deflexió requerien d'un eclipsi solar i tenien uns errors grans (30% en el cas d'Eddington 1919). La radiointerferometria de molt llarga base (VLBI) actualment (2009) permet comprovar les desviacions de la llum previstes per la relativitat general amb un error relatiu de 10^{-4} .

Lents gravitatòries: El camp d'un cúmulo de galàxies pot actuar com una lent interposada entre l'observador terrestre i un objecte més llunyà. Teòricament predit per Einstein (1936) i Zwicky (1937), el fenomen va ser observat per primer cop el 1979 en el cas de dos quàsars bessons que resulten ser dues imatges del mateix.



Tests recents i perspectives

- 2011:** Els experiments amb giroscopis del satèl·lit Gravity Probe B confirmen amb gran precisió les prediccions de la relativitat general pel que fa a l'efecte geodèsic (per raó que el satèl·lit està orbitant la Terra) i a l'efecte de Lense-Thirring (per raó que la Terra està girant).
- 2016?:** A escala internacional, els projectes LIGO, VIRGO i KAGRA, estan en marxa actualment en cerca de la detecció directa d'ones gravitatòries. Els més optimistes esperen trobar-les just cent anys després que Einstein en fes la predicció el 1916.