

Physics 102 - November 11, 2009

- Project Group meetings

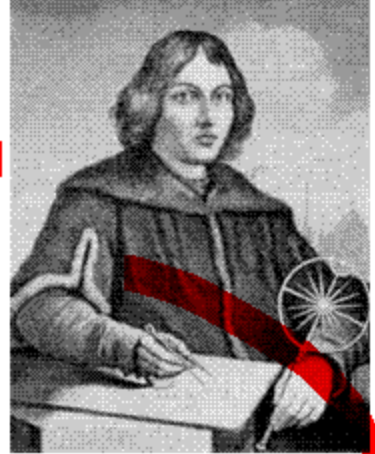
- EXAM 2 — Monday, November 23 Hoyt
2:pm
 - same drill as last time
 - material coverage email → soon
 - index card

The view of Earth's place in the Cosmos

Geocentric
Spheres + epicycles



Ptolemy



Heliocentric
circles

Copernicus



Kepler



Galileo



Newton

Established heliocentrism
Elliptical orbits
quantitative understanding

Are we special?

Copernican Principle

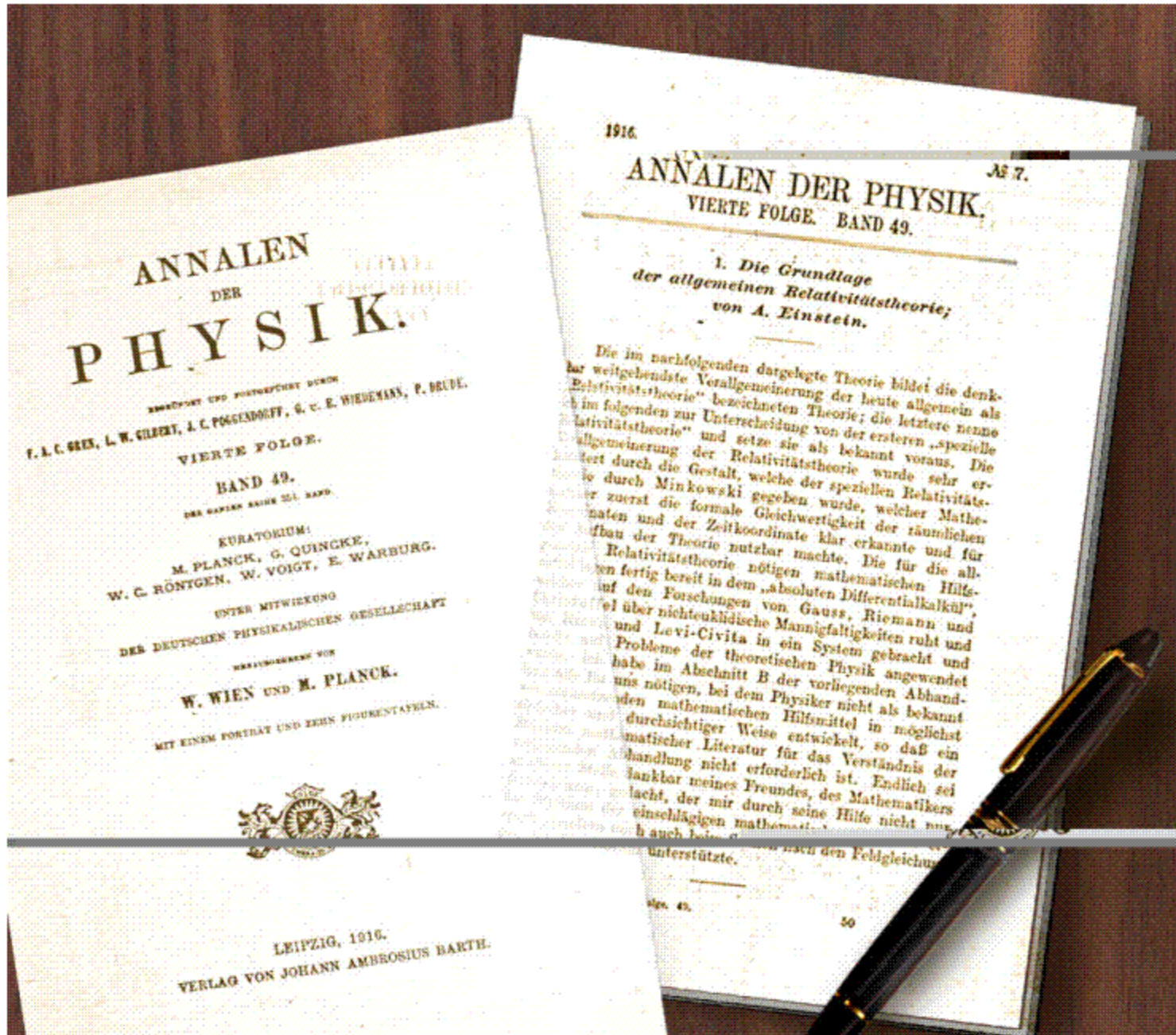
Principle of Mediocrity

Anthropic Principle

↳ Weak form

↳ Strong form

The Theory of General Relativity - Einstein 1916



ANNALEN DER PHYSIK.

HERAUSGEGEBEN UND FORTGEFÜHRT DURCH
F. J. C. GIESS, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. U. E. WIEDEMANN, P. DRUDE.

VIERTE FOLGE.

BAND 49.

DIES KAPITEL BEIHE ZUM KAPITEL.

KURATORIUM:

M. PLANCK, G. QUINCKE,
W. G. RÖNTGEN, W. VOIGT, E. WARBURG.

UNTER MITWIRKUNG

DES DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

HERAUSGEGEBEN VON

W. WIEN UND M. PLANCK.

MIT EINEM PORTRAIT UND ZWEI FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1916.
VERLAG VON JOHANN AMBROSIIUS BARTH.

1916.

NR. 7.

ANNALEN DER PHYSIK. VIERTE FOLGE. BAND 49.

1. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie; von A. Einstein.

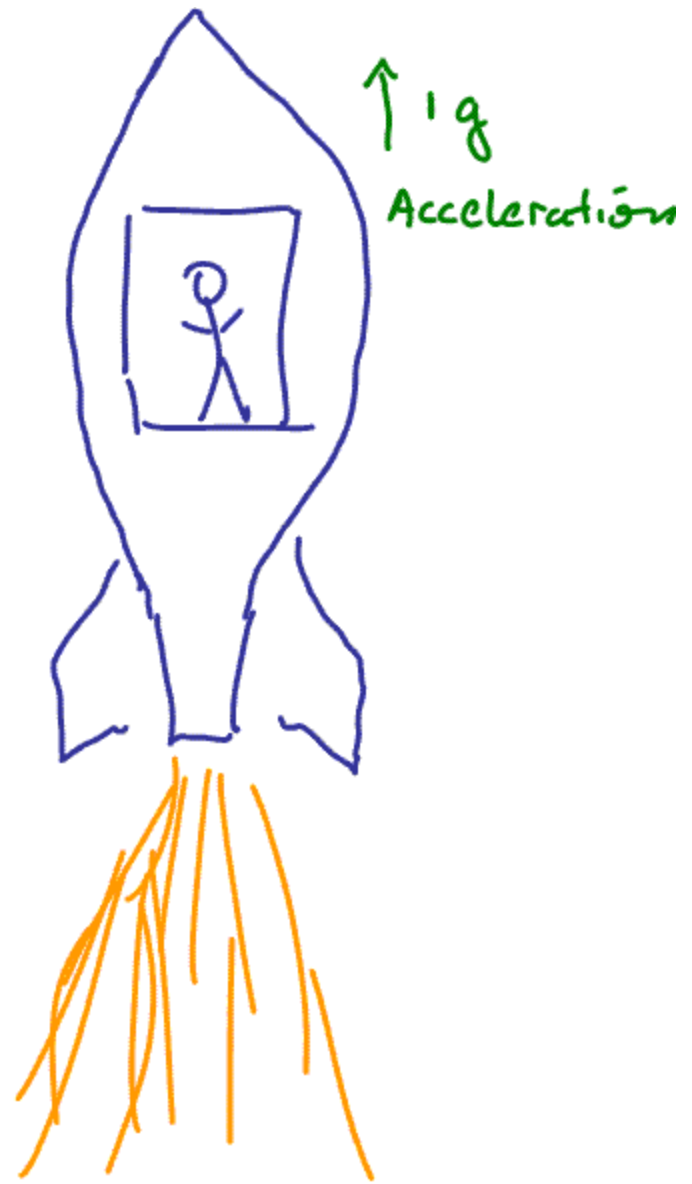
Die im nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste Verallgemeinerung der heute allgemein als "Relativitätstheorie" bezeichneten Theorie; die letztere nenne ich im folgenden zur Unterscheidung von der ersteren „spezielle Relativitätstheorie“ und setze sie als bekannt voraus. Die Verallgemeinerung der Relativitätstheorie wurde sehr erleichtert durch die Gestalt, welche der speziellen Relativitätstheorie durch Minkowski gegeben wurde, welcher Mathematiker zuerst die formale Gleichwertigkeit der räumlichen Koordinaten und der Zeitkoordinate klar erkannte und für den Aufbau der Theorie nutzbar machte. Die für die allgemeine Relativitätstheorie nötigen mathematischen Hilfsmittel liegen fertig bereit in dem „absoluten Differentialkalkül“, welcher auf den Forschungen von Gauss, Riemann und Christoffel über nichteuklidische Mannigfaltigkeiten ruht und von Ricci und Levi-Civita in ein System gebracht und durch die Probleme der theoretischen Physik angewendet wurde. Ich habe im Abschnitt B der vorliegenden Abhandlung für uns nötigen, bei dem Physiker nicht als bekannt vorausgesetzten mathematischen Hilfsmittel in möglichst einfacher und durchsichtiger Weise entwickelt, so daß ein gewissermaßen mathematischer Literatur für das Verständnis der folgenden Abhandlung nicht erforderlich ist. Endlich sei mir die Stelle dankbar meines Freundes, des Mathematikers Herr Dr. H. Weyl, erlaubt, der mir durch seine Hilfe nicht nur die Kenntnis der einschlägigen mathematischen Hilfsmittel, sondern auch die Unterstützung bei den Feldgleichungen...

49.

50



vs



accelerated reference frames

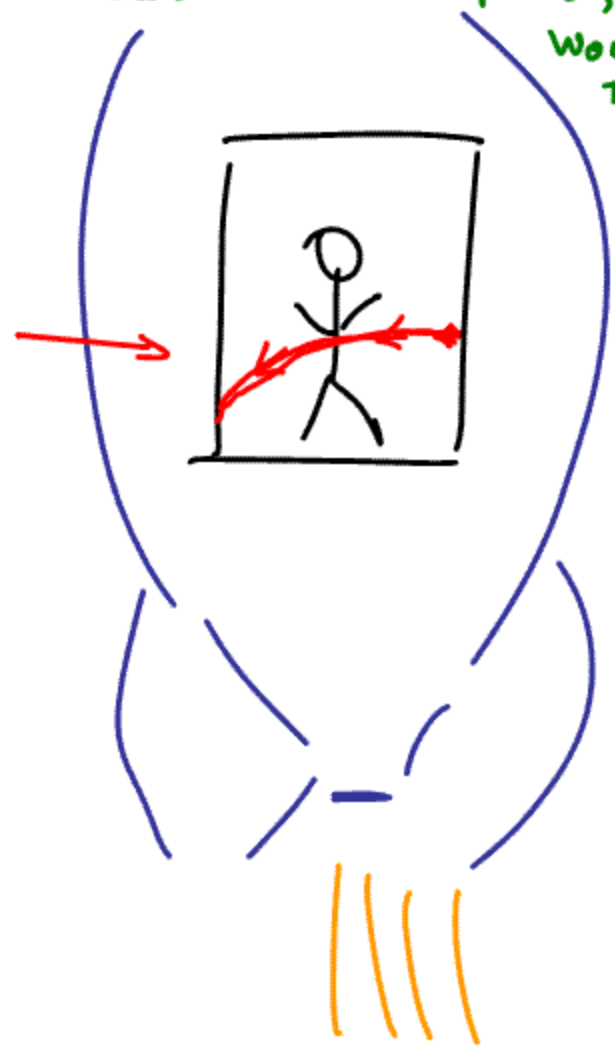
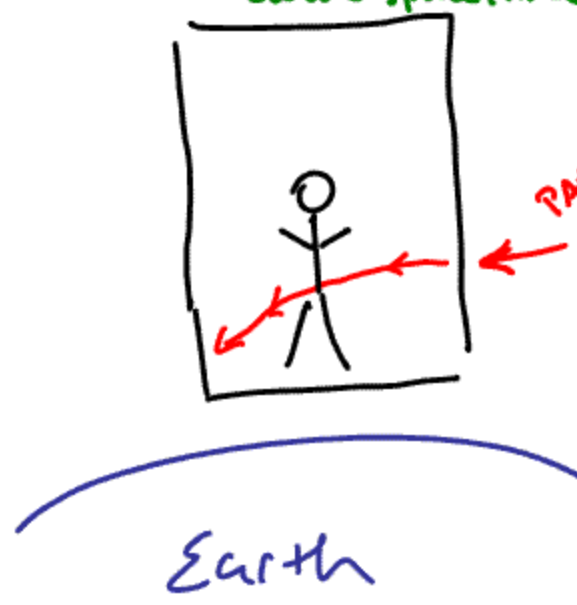
|||

gravitational field

If you are in a closed box —
you can't tell if you are at rest on earth's surface or
accelerating in a rocket at $1g$.

Equivalence of gravity \Leftarrow
Means grav. field must curve spacetime

In accelerated rocket ship case, light would seem to travel on curved path



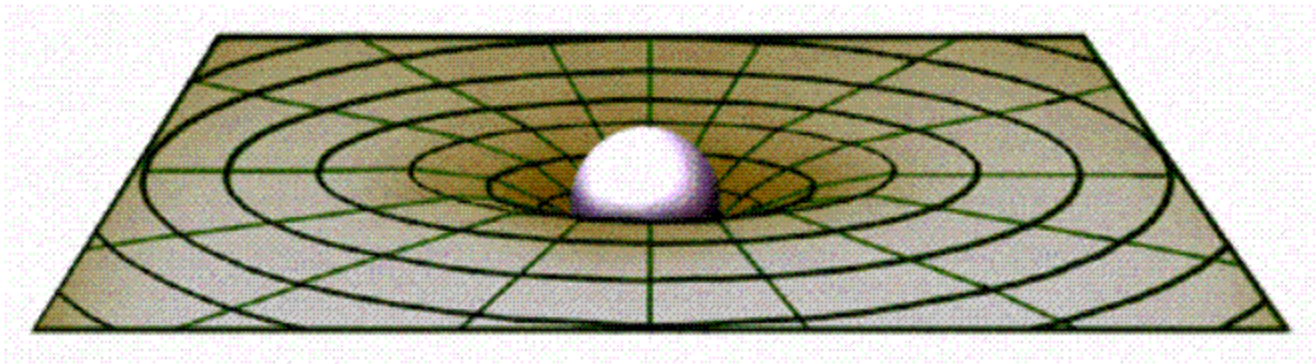
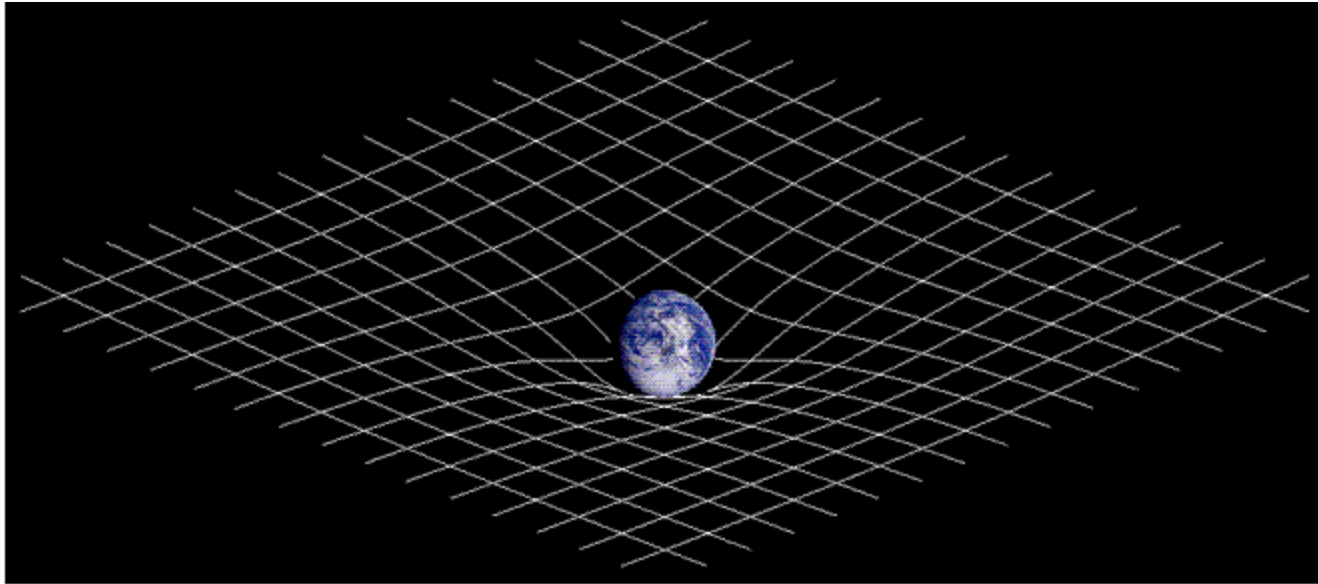
Accel.
 $\uparrow 1g$

GRAV \equiv Accel. frame

light moves on a geodesic
 \uparrow

Shortest dist. between two points

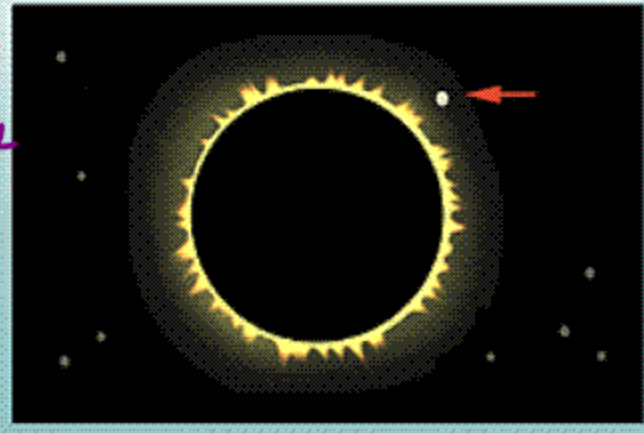
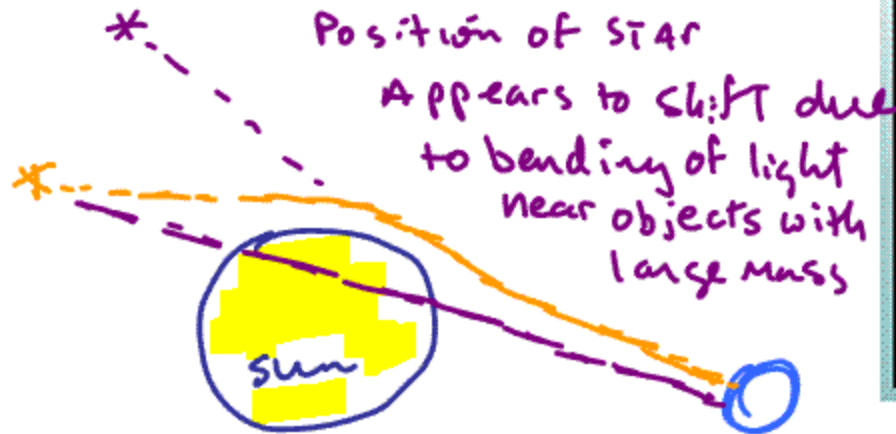
So, Einstein interprets gravitation as a curvature of spacetime



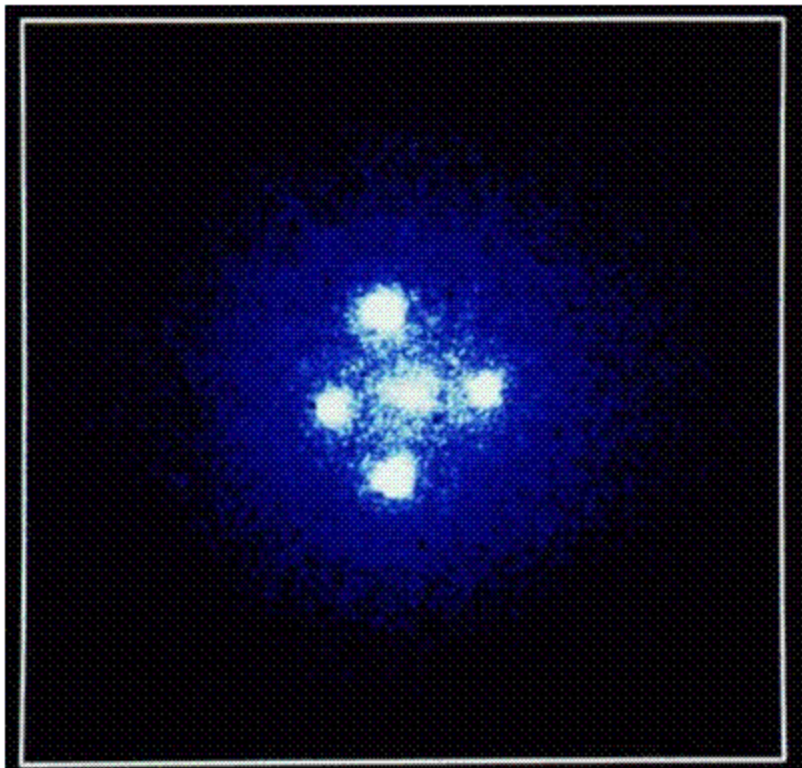
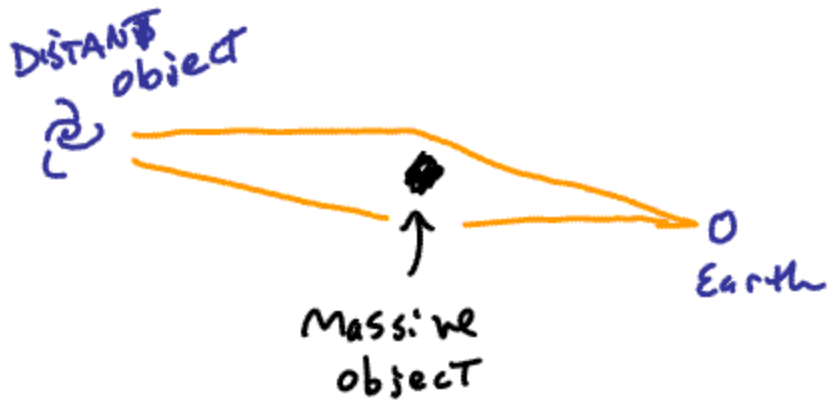
Imagine that MASS causes curvature / depression in the fabric of spacetime ... is it true??

Experimental evidence supporting General Relativity

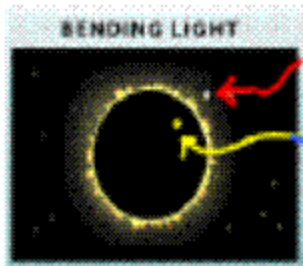
BENDING LIGHT



Gravitational Lensing



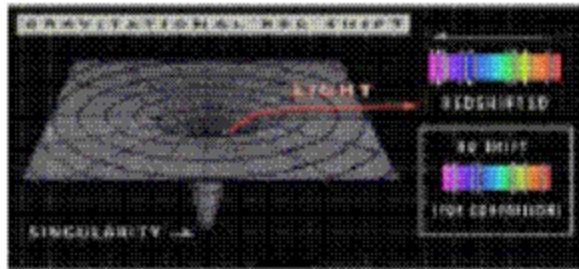
Gravitational Lens G2237+0305



■ Bending of light by gravitational field ✓

Actual position

■ Gravitational redshift of light ✓



■ Perihelion advance of Mercury ✓



■ Gravitational Waves ?

Amplitude $\sim 10^{-16}$ m

LIGO



Cosmology

Scientific Study of the large scale structure of the universe — Attempt to understand to origin, evolution and fate of the universe

<http://wmap.gsfc.nasa.gov/mission.html>

good online reference
for this class

Cosmetology

The business of being a beautician — The treatment of skin, hair and nails

<http://careerplanning.about.com/cs/occupations/p/cosmetology.htm>

Not quite the same thing

While we're at it ...

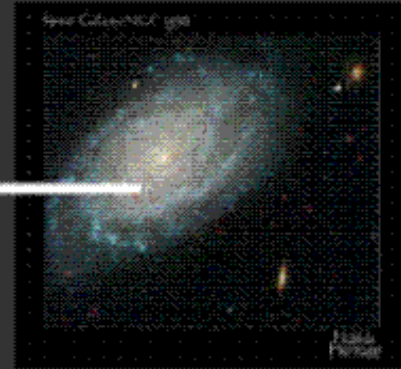
Astronomy



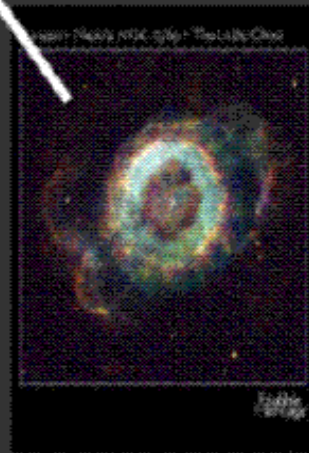
Astrology

Light travels at a finite speed

On to the very big ...



Telescopes are
time machines

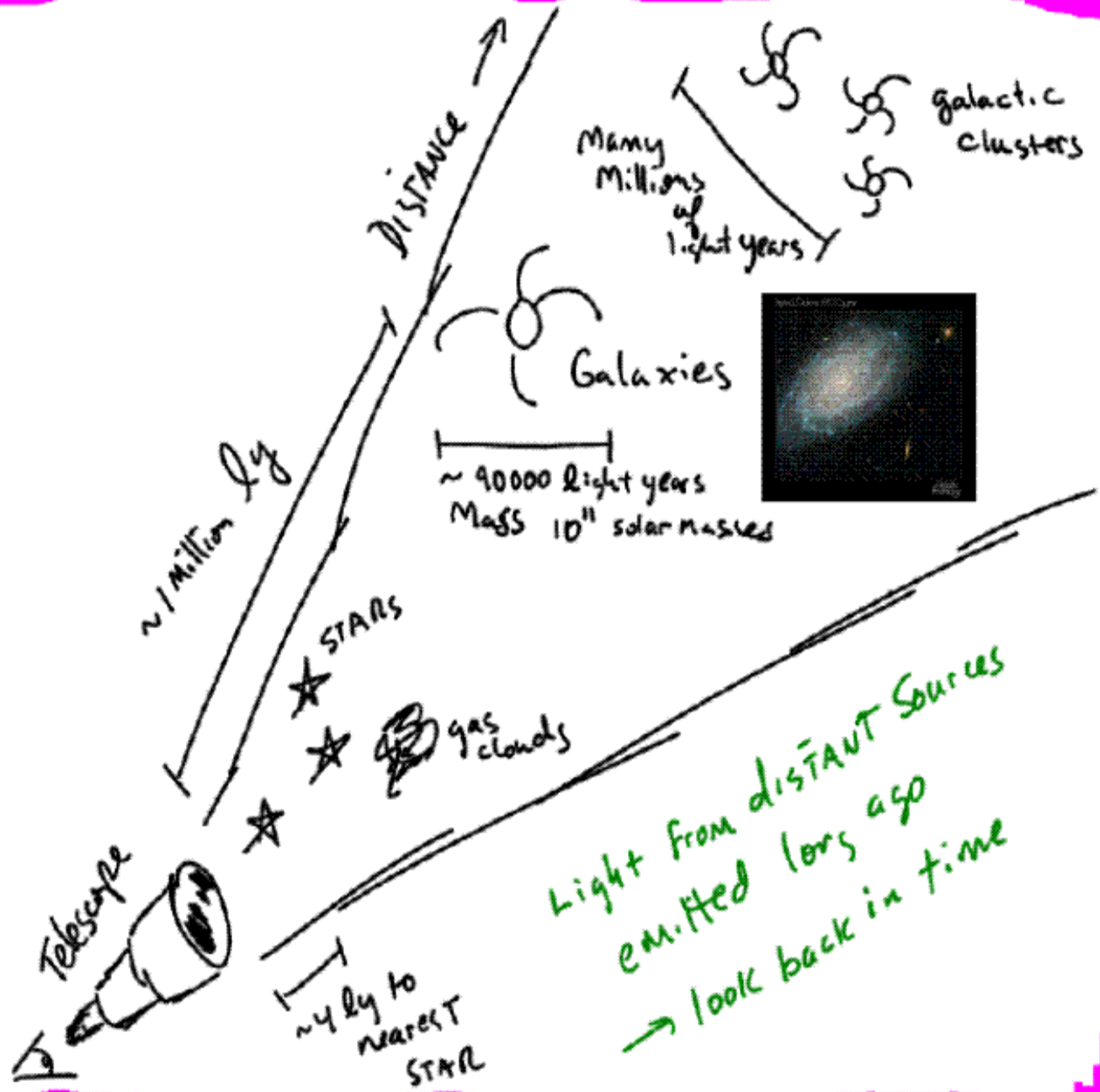


1 Mpc = 1 Megaparsec = 3×10^{22} m

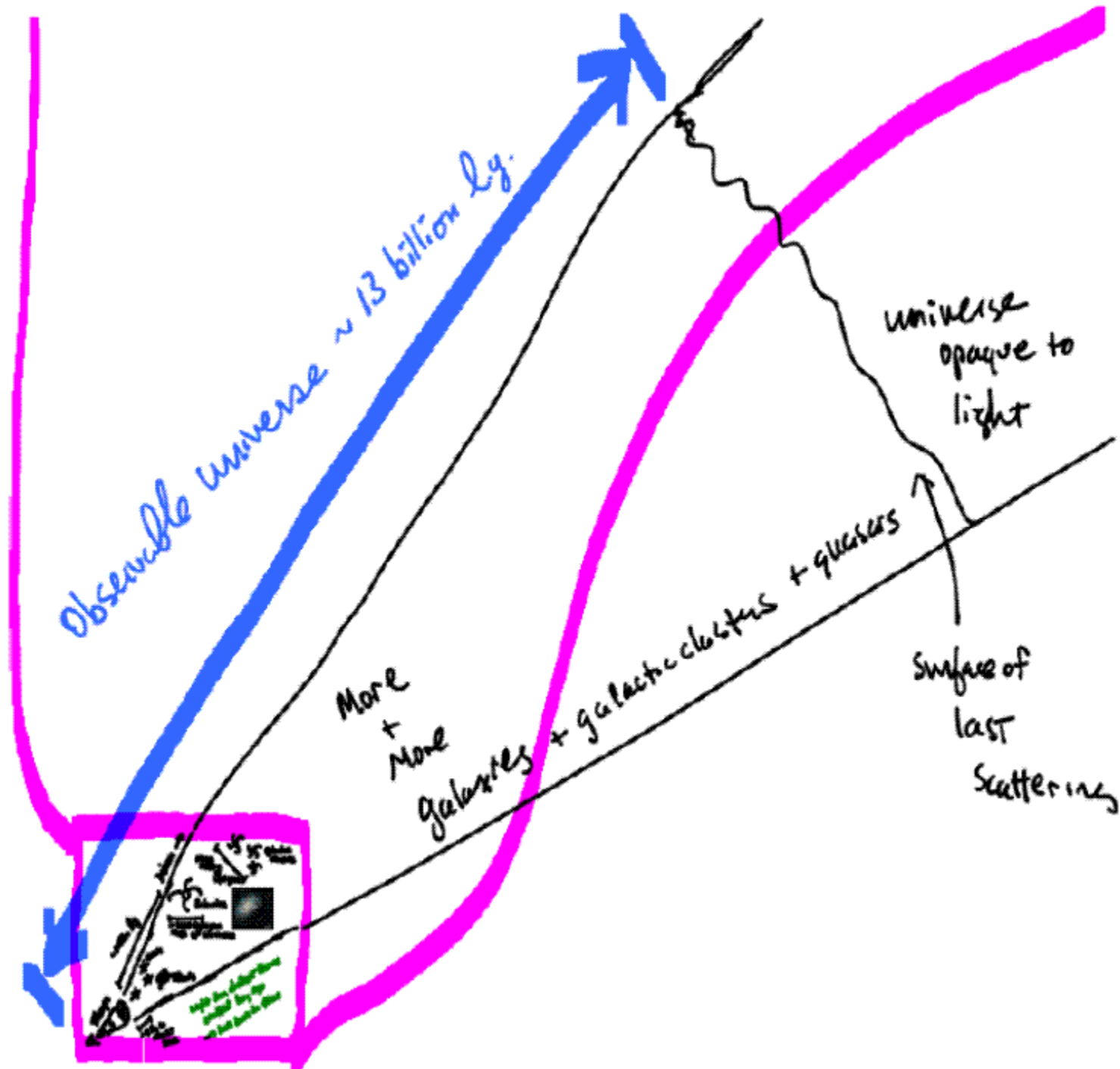
1 light year = 9×10^{15} m

Light travels from NYC to San Francisco in 1/100 second
.... and it travels 1 Mpc in 3 million years

Farther away the object ... longer ago light emitted.



Light from distant sources
emitted long ago
→ look back in time



Observable universe ~ 13 billion ly.

More + More galaxies + galactic clusters + quasars

universe opaque to light

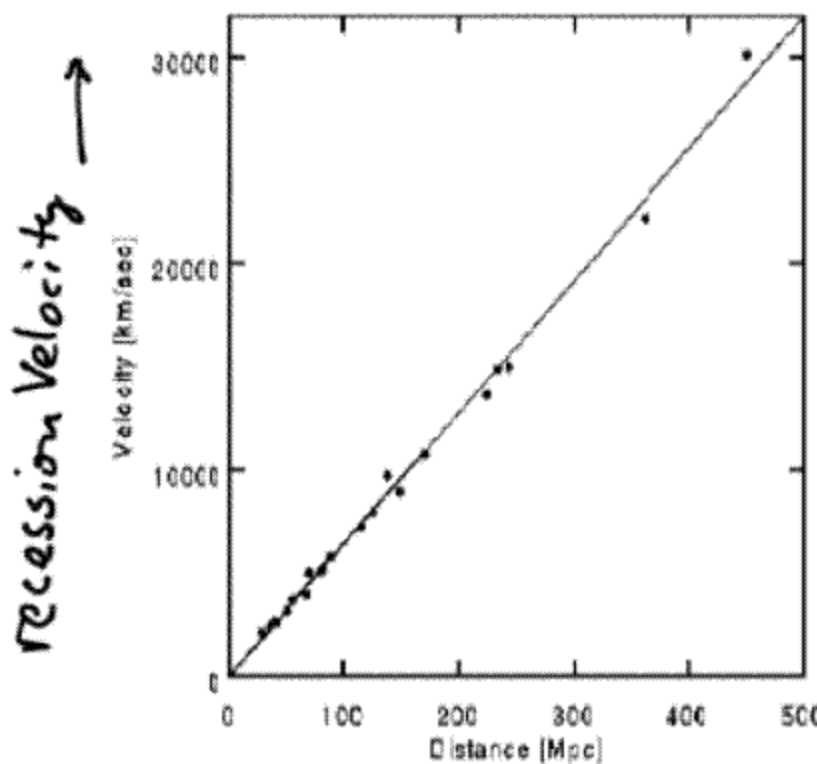
Surface of last scattering

with the addition of matter and energy, the universe became more complex.

We live in an expanding universe



Edwin Hubble
(1929)



Slipher
early 20's

Also
Milton
Humason

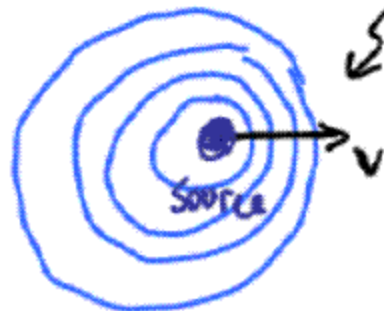
Distance to galaxy

Determined by
redshift of Atomic
Spectral lines

Determined by brightness
(Supernova in distant galaxy)

"Redshifted" light

frequency appears lower to objects in direction away from direction of motion

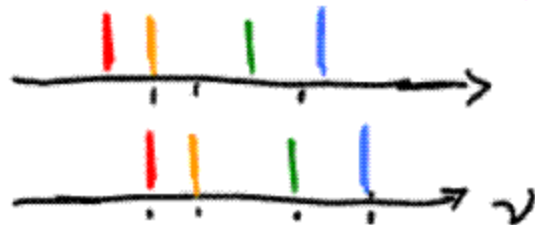


frequency appears higher to observers in direction of motion

"Blueshifted" light

larger v — larger the red and blue shifts.

Atomic Spectrum

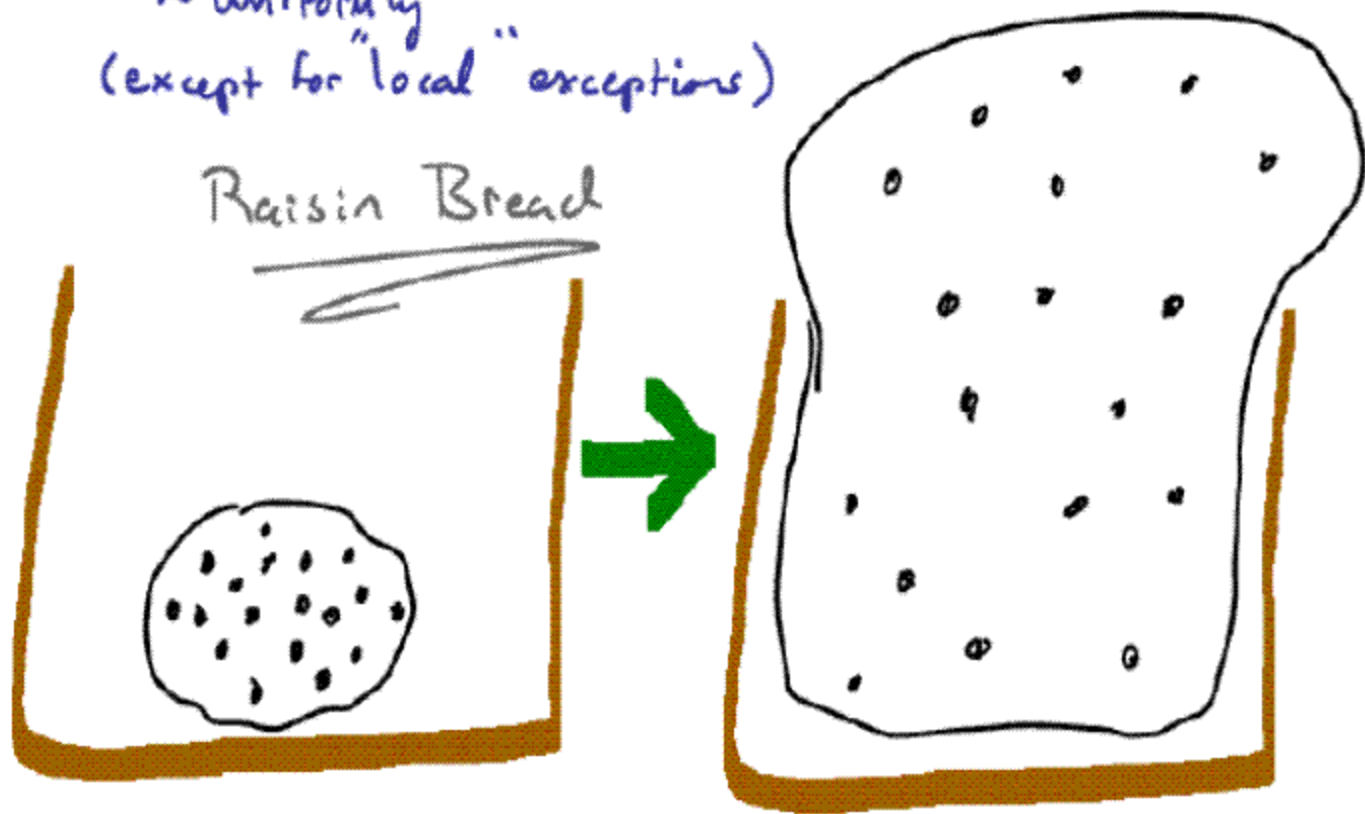


spectrum line positions shifted in color/frequency for source moving away from observer

(color also changes — not shown)

Galaxies Receding in all directions
~ uniformly
(except for "local" exceptions)

Raisin Bread



No need to think our galaxy is at center
of universe.

Expansion of space makes effect same to all
observers throughout universe.