

Physics 4

Lecture 1-2

Special Relativity & Quantum Mech.



Two pillars of modern physics.



Paradigm shift from previous theories
not merely adding correction terms, but a
new way of viewing the world.

Text: Introduction to Special Relativity: Resnick

Special Relativity: Woodhouse

L. Susskind's lecture notes.

Q. Mech: Griffiths

Intro to Q. Mechanics: Liboff.

Overview

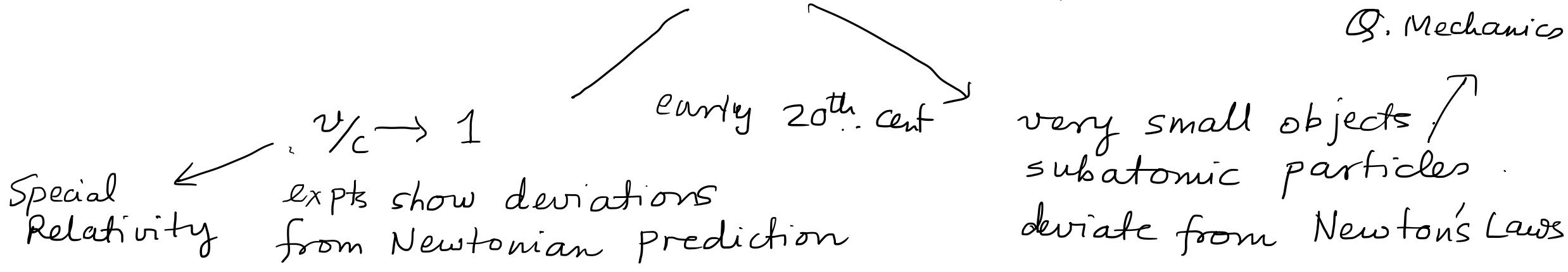
Classical Mechanics (Physics I)

(1687) Newtonian Mechanics
 $\vec{F} = m\vec{a}$

planets, tides, cricket balls, satellites

200+ years nothing seemed to be in contradiction

[barring a tiny exception: perihelion precession
of Mercury of 43" per century]



• Electrodynamics (Phys III)

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B} + \vec{E})$$

+ Maxwell's eqns.

1861

in vacuum lead to wave eqns for \vec{E}, \vec{B}

EM waves propagate in vacuum with vel c

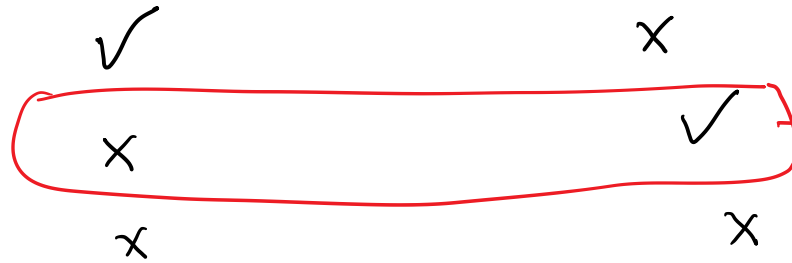
Just like Newton's Laws, Maxwell's eqn. predictions matched experiments perfectly.

1905 : Einstein

Noticed an inconsistency between Maxwell's eqns.
& Newton's Laws.

Newton

Maxwell .



→ Phenomenal intuition
Einstein's choice .

↓
Birth to special relativity

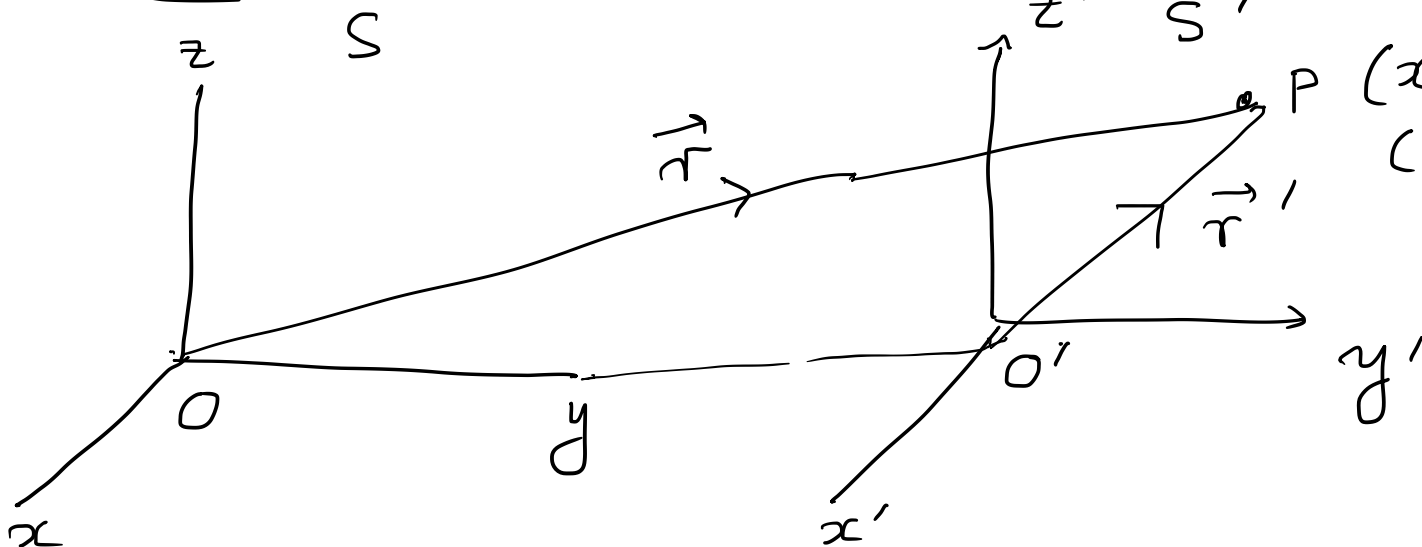
**3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper;
von A. Einstein.**

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

"Common sense is nothing more than a deposit of prejudices laid down in the mind before you reach eighteen."

Recap : Galilean Relativity



at $t = 0$

O, O' coincident
 (x, y, z, t)
 (x', y', z', t') S' moves with
 const vel
 v along the
 $y-y'$ axis w.r.t
 S .

$$\left. \begin{aligned} \vec{r} &= \vec{r}' + \vec{v}t \\ x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned} \right\}$$

Galilean transformation

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\u' &= u - v \\a' &= a\end{aligned}$$

$$u' = \frac{dx'}{dt'}$$

$$u = \frac{dx}{dt}$$

$$a' = \frac{du'}{dt'}$$

$$a = \frac{du}{dt}.$$

$\vec{F} = m\vec{a} \rightarrow$ invariant under Galilean transfs.

Invariants under Galilean transfs.

- position, velocity relative \rightarrow depend on ref frame
- acceleration, force \rightarrow absolute

Let (t_1, x_1, y_1, z_1) and (t_2, x_2, y_2, z_2) be a pair of events

invariants

(i) time interval $\Delta t = t_2 - t_1 = t'_2 - t'_1$

(ii) distance $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$ provided
two events are simultaneous.

(iii) simultaneity is an invariant notion

• Unfortunately, Maxwell's eqns are NOT Galilean invariant
 $c' = c - v \rightarrow$ Galilean transfr.

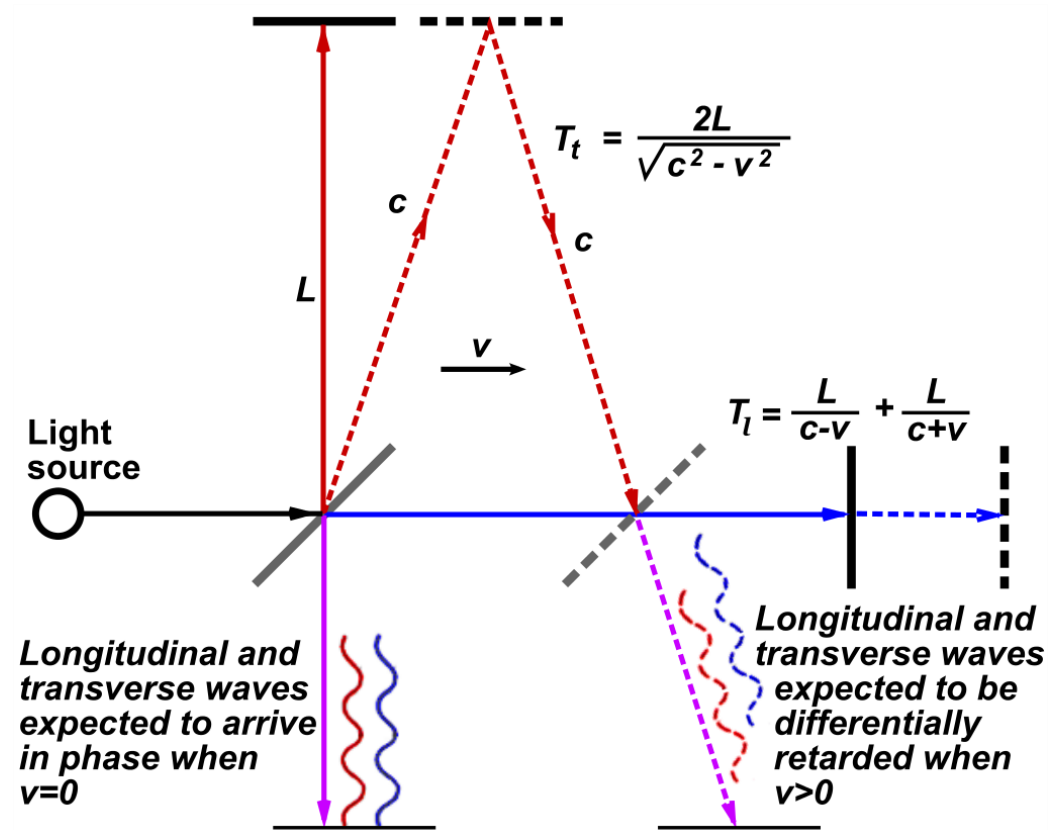
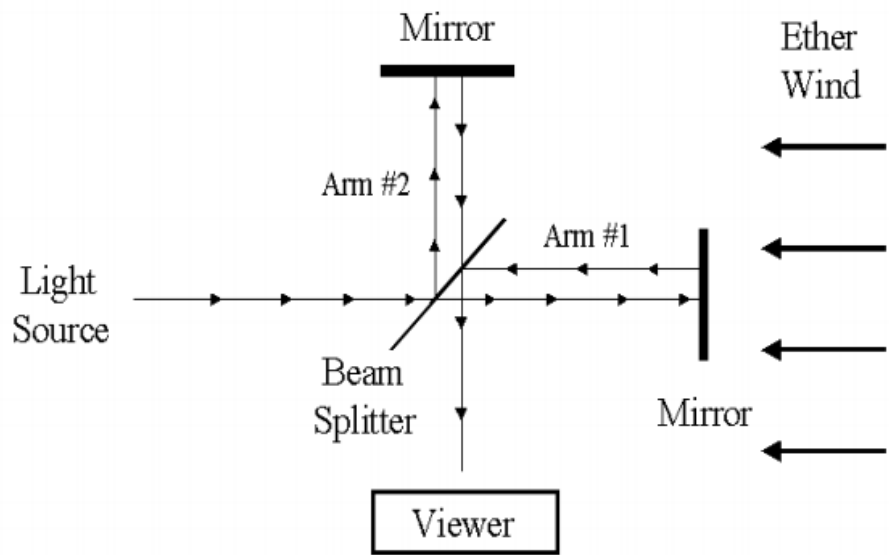
one can easily check

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \begin{Bmatrix} \vec{E} \\ \vec{B} \end{Bmatrix} = 0$$

\rightarrow not invariant under Galilean ~~is~~ transfrs.

So, what are the choices left?

- ① Relativity Principle exists for mechanics, but not for ED. In ED there is a preferred inertial frame
→ ether frame in which the vel. of light is c .
▶ Locate the ether frame explicitly
- ② Rel. Principle exists for both Mechanics & ED.
Galilean transformations are correct, but Maxwell's eqns are not correct.
 - Seek expts where Maxwell's eqns are violated
- ③ ✓ Rel. Principle exists for both Mech & ED. Galilean transformations are incorrect. Should predict & observe violations from Newtonian Mech



predicted fringe shift = 0.4 .

Postulates of Relativity

- ① The Laws of Physics are the same in all inertial frames. No preferred inertial frame exists.
- ② The speed of light in vacuum has the same value in all inertial reference frame