

現代物理学入門

特殊相対論と量子物理

保坂淳 核物理研究センター

hosaka@rcnp.osaka-u.ac.jp

<http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~hosaka/>

TA: 金子寛弥 (M1)

今年度の予定

[1]	1 0 / 7	
[2]	/ 1 4	
[3]	/ 2 1	
[4]	/ 2 8	
[5]	1 1 / 4	} 特殊相対論 (休講)
	/ 1 1	
[6]	/ 1 8	
[7]	/ 2 5	
[8]	1 2 / 2	
[9]	/ 9	} 量子論
[1 0]	/ 1 6	
[1 1]	1 / 6	
[1 2]	/ 1 3	
[1 3]	/ 2 0	
[1 4]	/ 2 7	
[1 5]	2 / 3	(最終試験)
[1 *]	/ 1 0	(予備)

物理学

自然現象に潜む法則を探求する

奥行き と 広がり を兼ね備えている
究極 多様性
より基本的 適用範囲

単純な法則を式で表現する
その解のなかに多様な現象を見いだす

古典物理学

力学



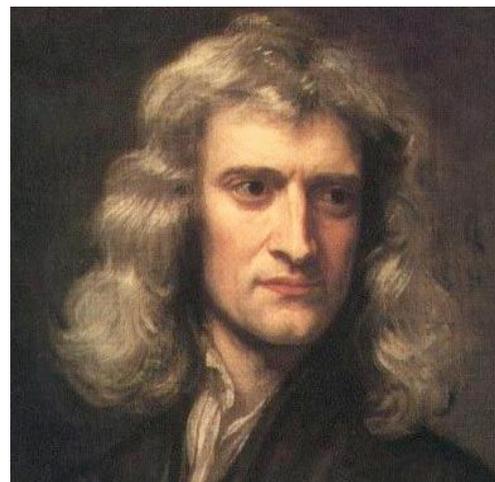
Galileo Galilei
1564-1642

慣性の法則

天体の運行



Johannes Kepler
1571-1630



Isaac Newton
1642-1727

運動法則

$$F = ma$$

電磁気



$1/r^2$ 則

Charles de Coulomb
1736-1806



電場と磁場

Michael Faraday
1791-1867



マックスウェル
の方程式

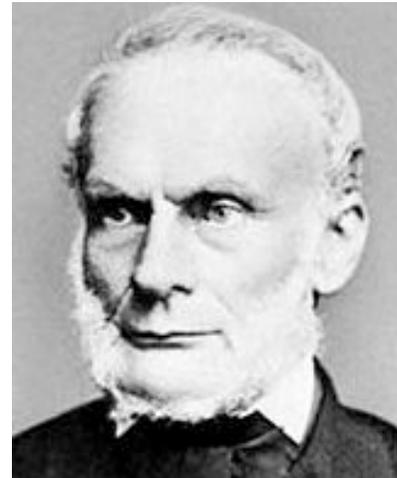
James Clerk Maxwell
1831-1879

熱力学



蒸気機関

James Watt
1736-1819



エントロピー

Rudolf J.E. Clausius
1822-1888

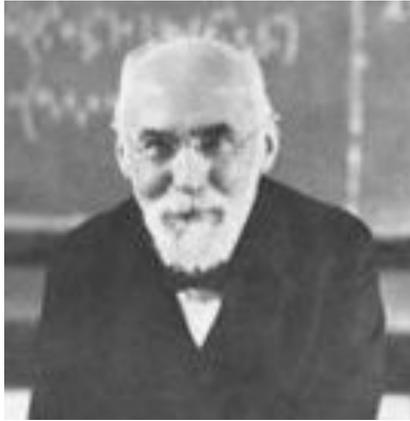


Ludwig Eduard Boltzmann
1844-1906

$$S = k \log W$$

現代物理

相對論



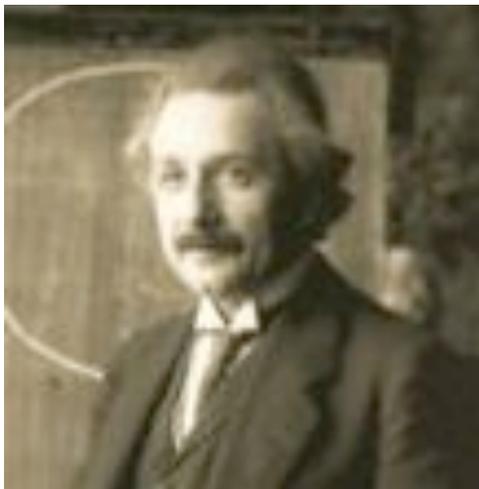
Hendrik A. Lorentz
1853-1928



Albert A.
Michelson
1852-1931



Edward W.
Morley
1838-1923



Albert Einstein
1879-1855

量子論



Max K.E.L. Planck
1858-1947



Niels H.D. Bohr
1885-1962



Louis-Victor-Pierre-Raymond,
7th duc de Broglie
1892-1987



Erwin Rudolf Josef
Alexander Schroinger
1887-1961



Werner Karl Heisenberg
1901-1976

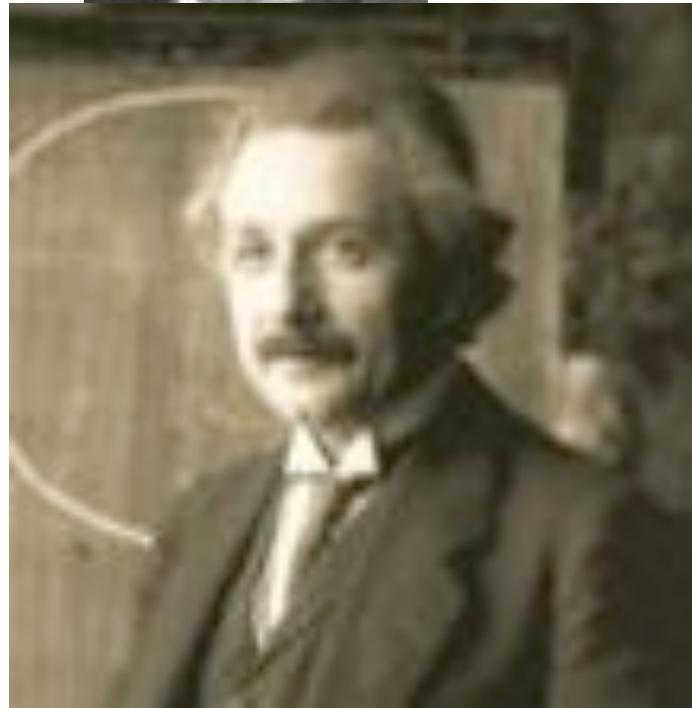


Wolfgang Ernst Pauli
1900 - 1958

量子論



Max K.E.L. Planck
1858-1947



Werner Karl Heisenberg
1901-1976



Louis-Victor-Pierre-Raymond,
duc de Broglie
1892-1987



Erwin Rudolf Josef
Alexander Schroinger
1887-1961



Wolfgang Ernst Pauli
1900 - 1958

現代物理

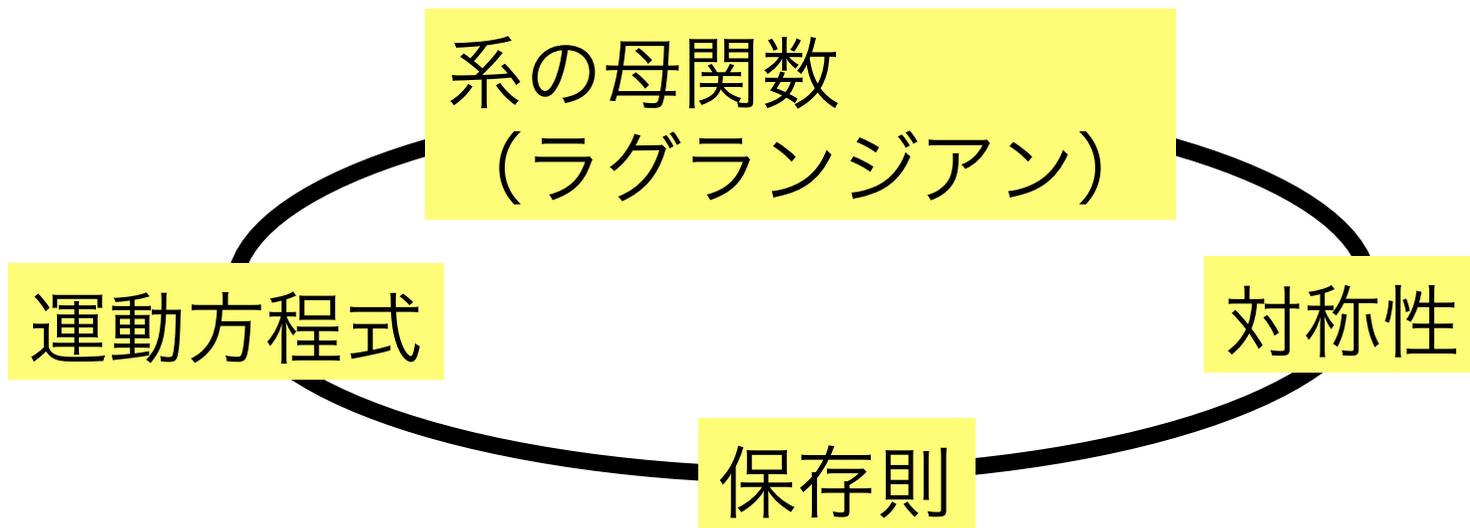
相対論
量子論

時空
物質 } }

の新たな概念を構築

場(field)の考え方

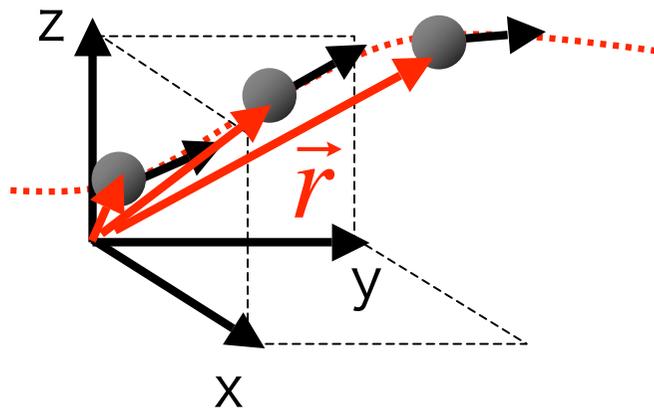
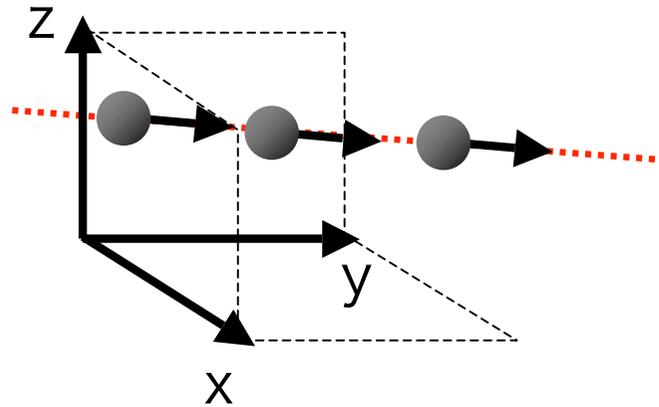
現在の物理学へ



光速度不変の原理

座標系（慣性系）

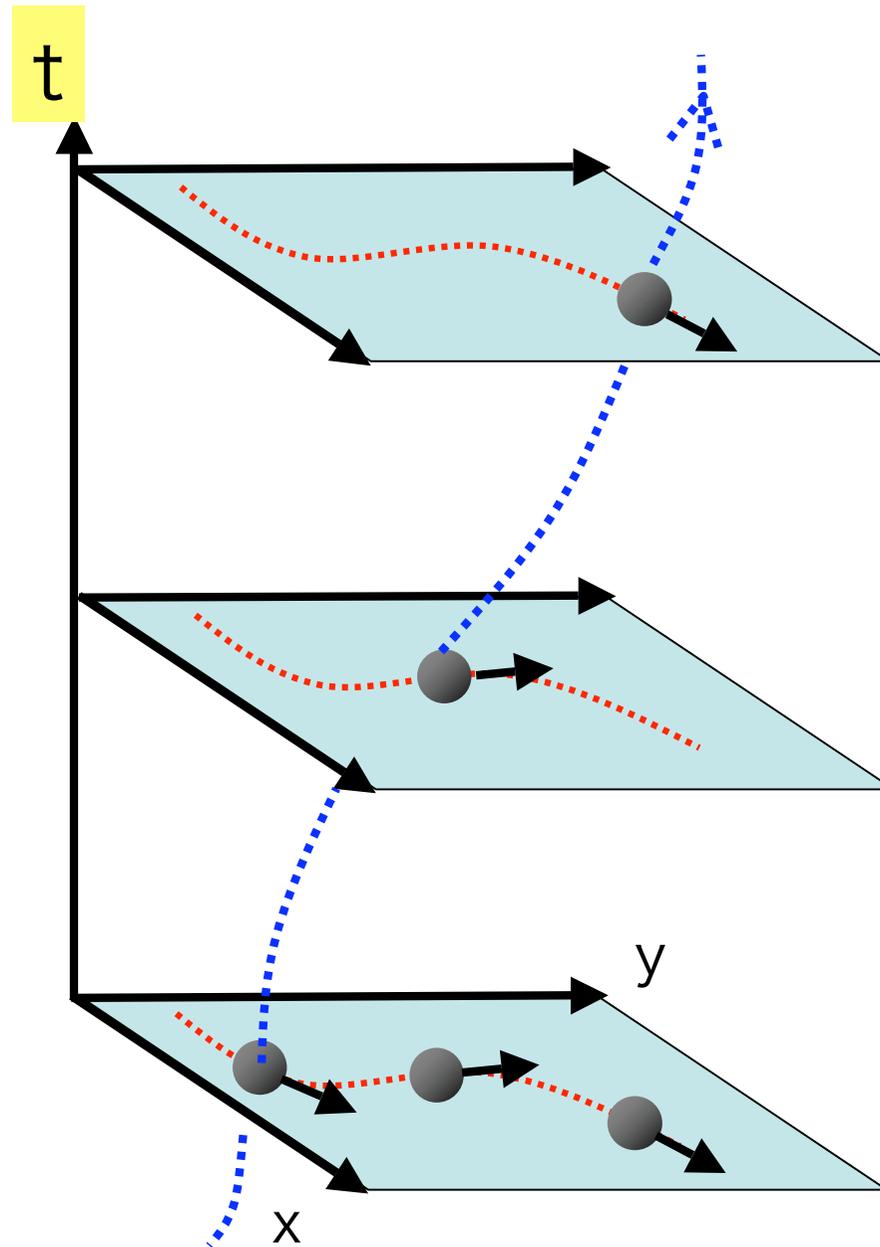
力を受けないものが等速直線運動する



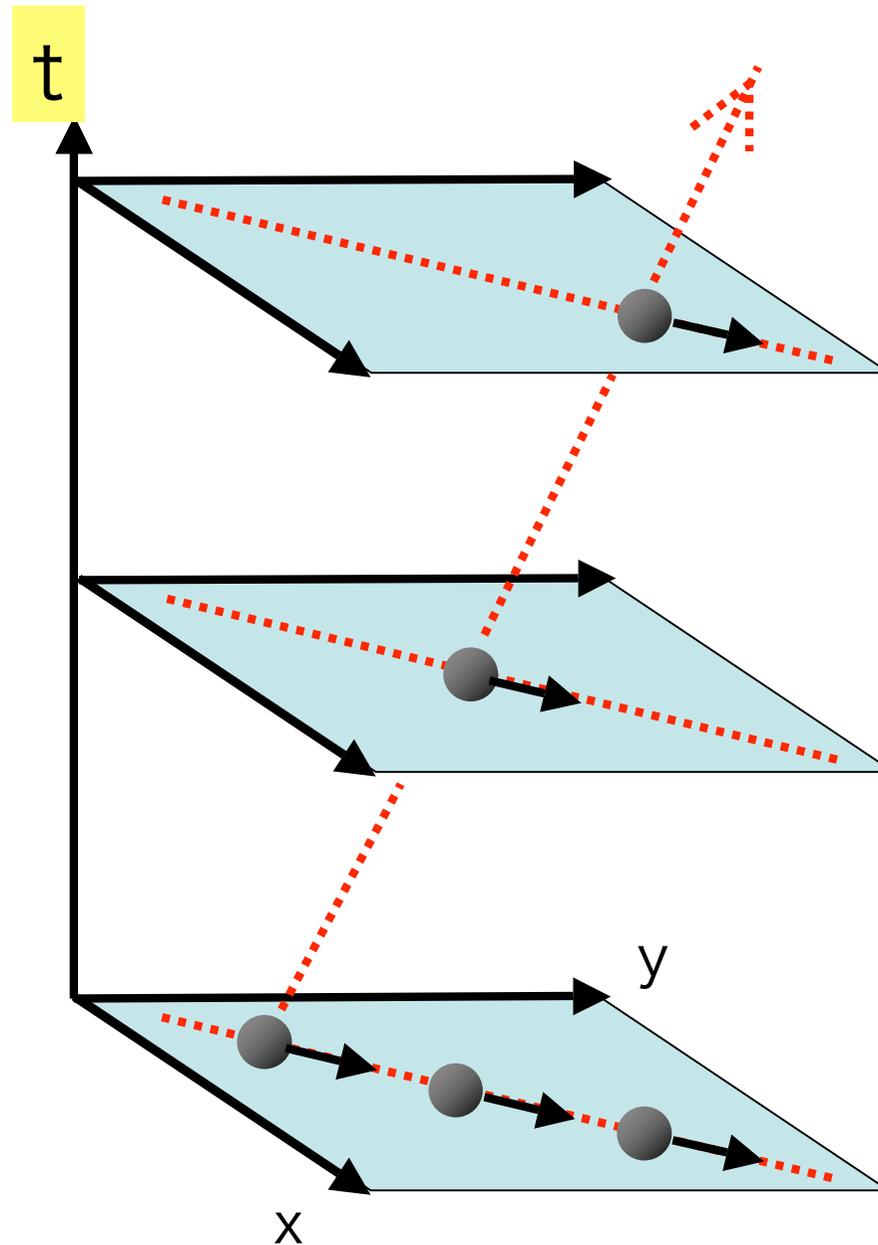
時刻 t の関数としての位置
($x(t)$, $y(t)$, $z(t)$)

$$\vec{F}(t, \vec{r}) = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad \vec{p} = m \frac{d\vec{r}}{dt}$$

世界線



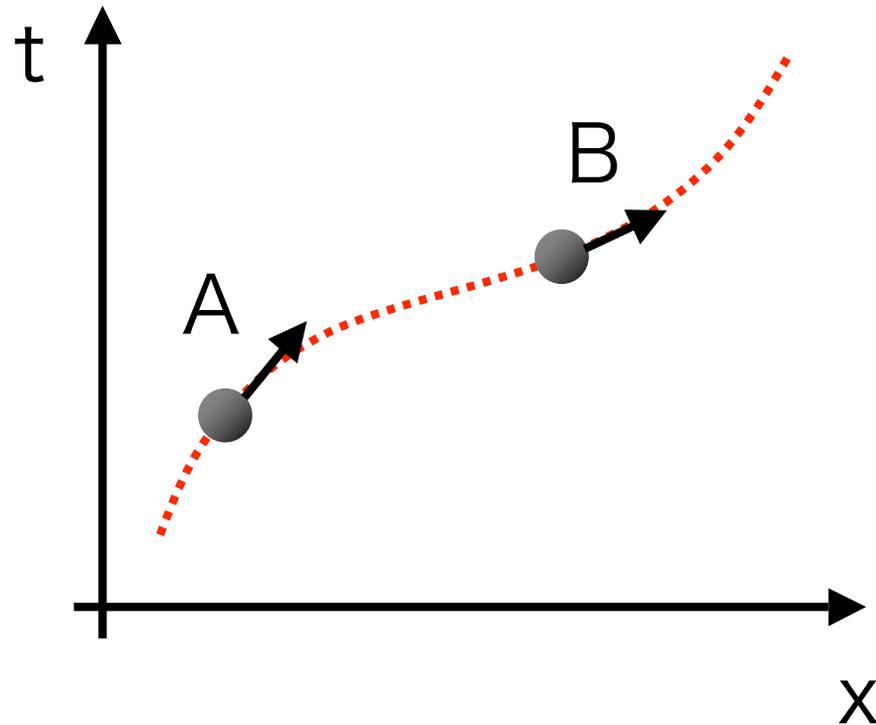
世界線



等速直線運動

2次元の世界線

X方向に運動する物体

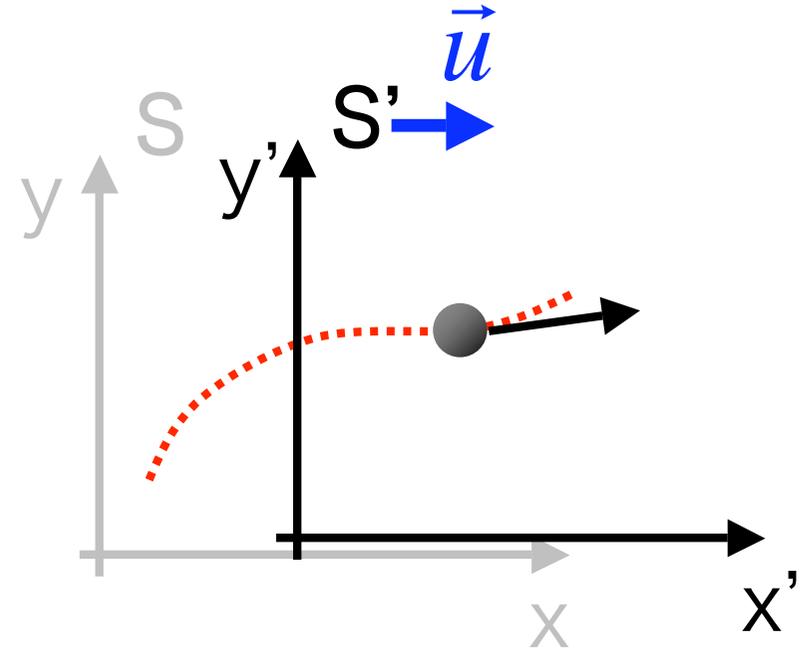
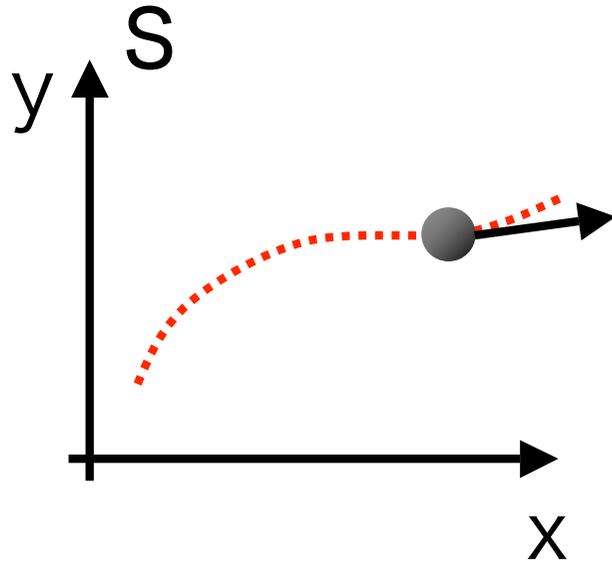


問：AとBではどちらが速く運動しているか

問： x_0 に静止する物体の世界線はどのようなか

座標変換

2の慣性系 S, S'



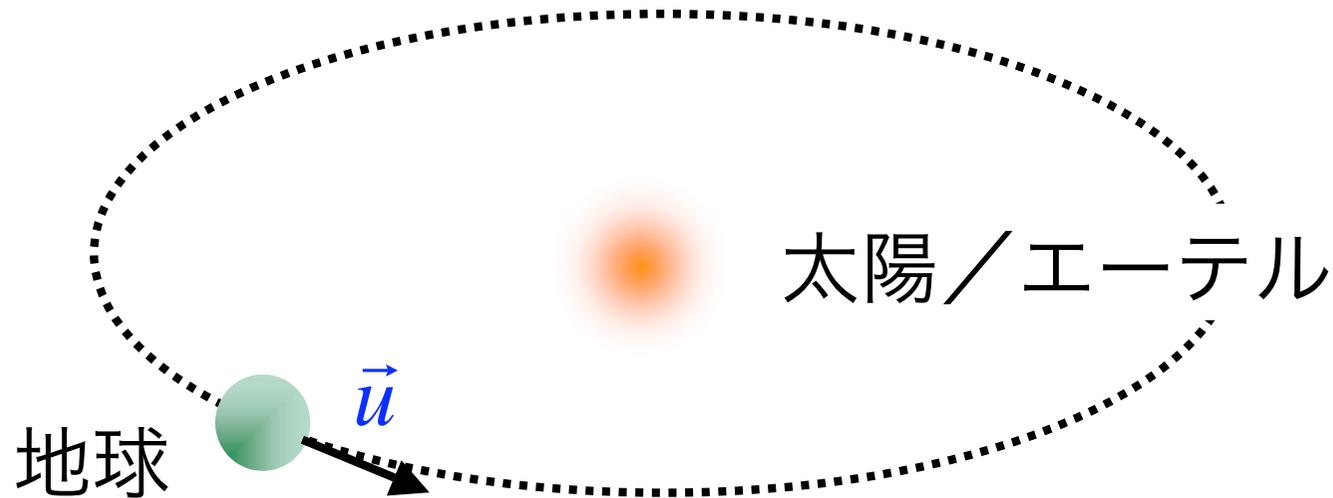
古典力学の仮定 \vec{u} Sから見たS'の速度

$$\begin{cases} t = t' \\ \vec{r} = \vec{r}' + \vec{u}t \end{cases}$$

$$\begin{cases} t = t' \\ x = x' + ut \\ y = y', z = z' \end{cases}$$

マイケルソン・モーレーの実験

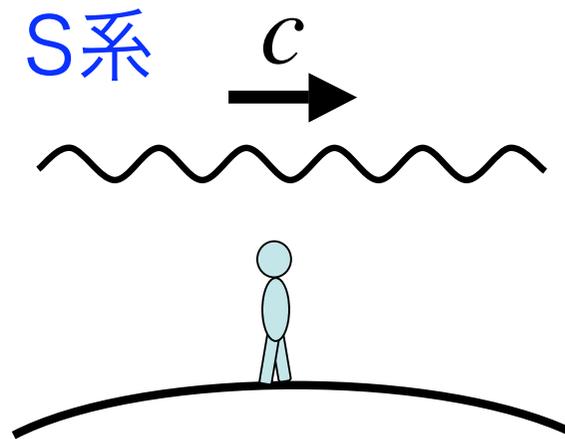
1887



地球の座標系 (S') はエーテルの座標系 (S)
に対して速度 \vec{u} で運動している

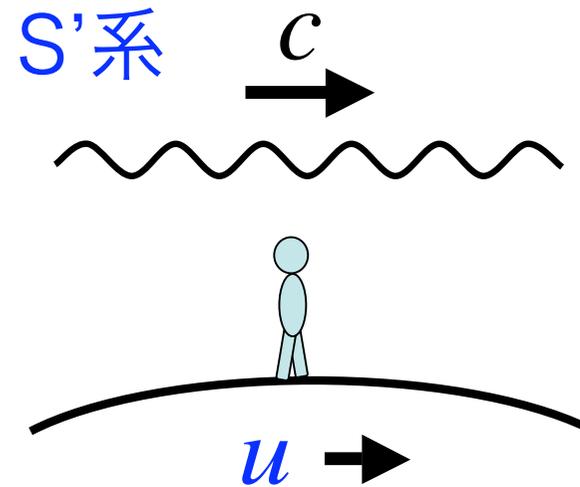
光の速度 Speed of light in vacuum

$$c = 299\,792\,458 \text{ [m / s]} \quad \text{定義}$$



エーテルの系

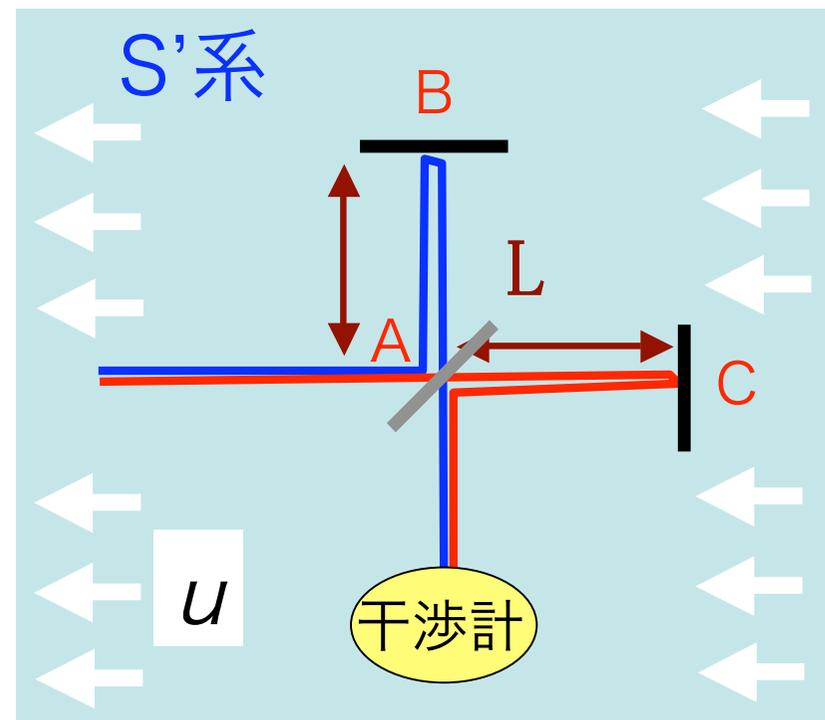
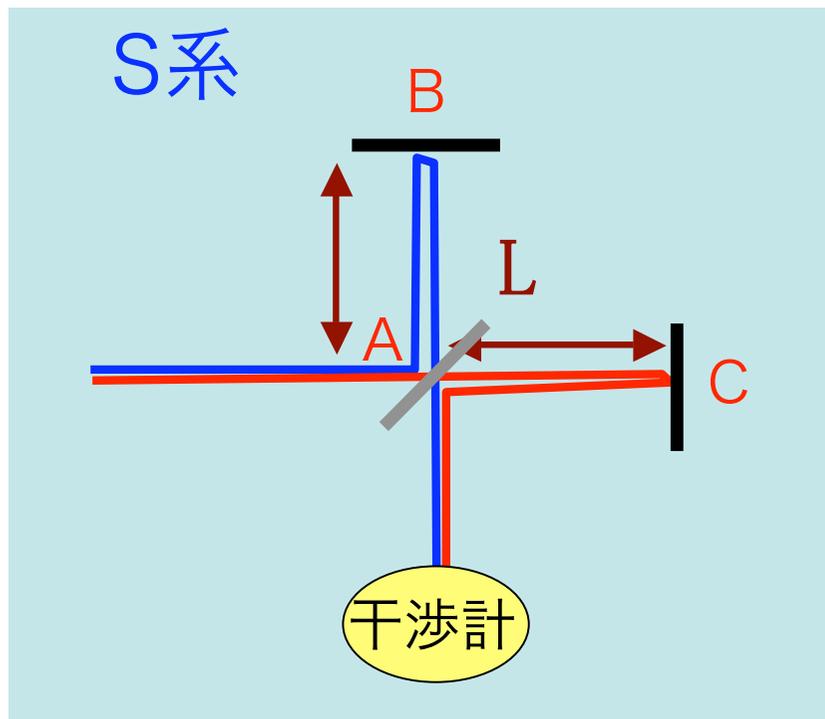
$$v = c$$



エーテルに対して
速度 u で動く系

$$v = c - u$$

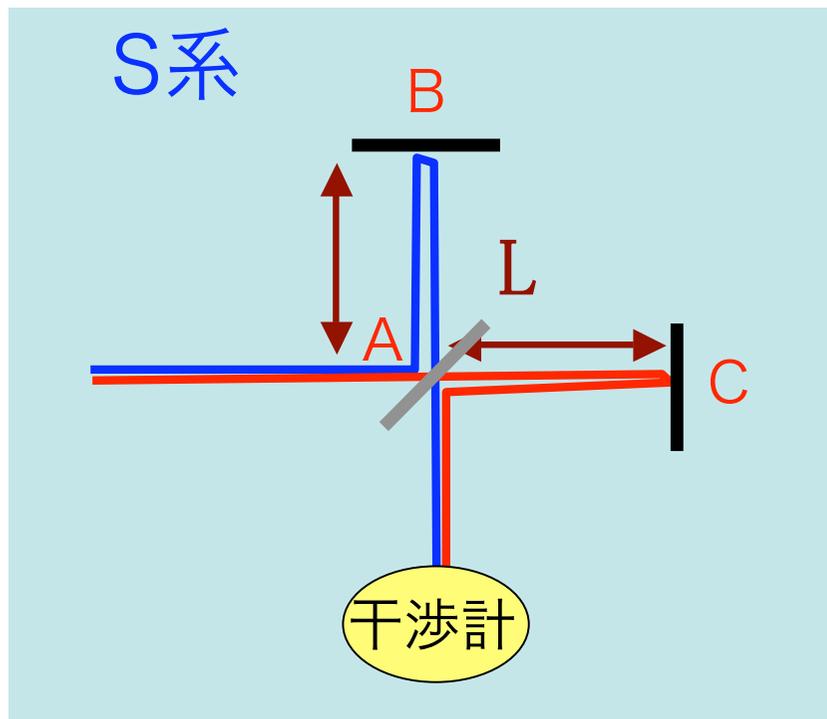
MMの干渉計



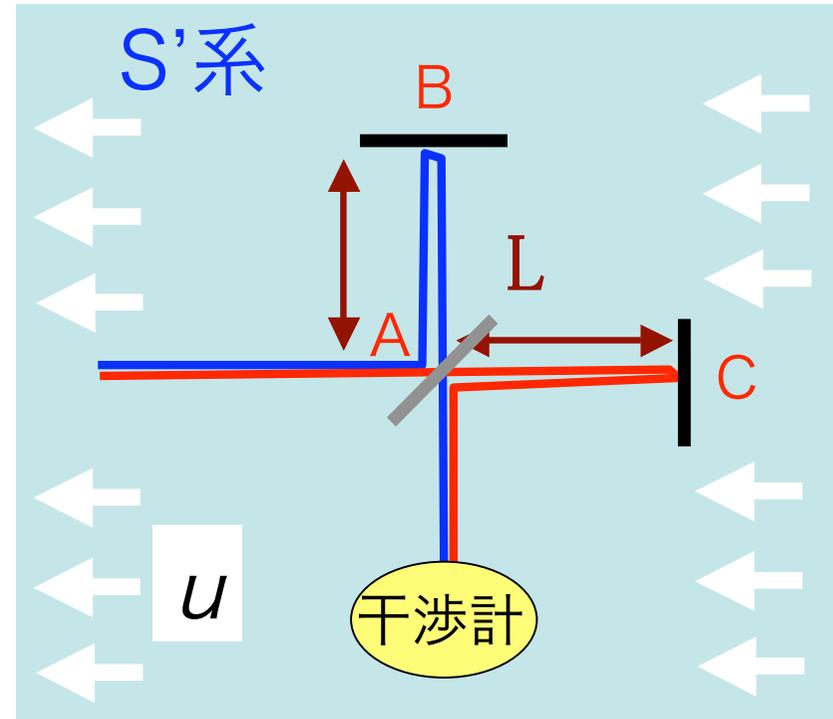
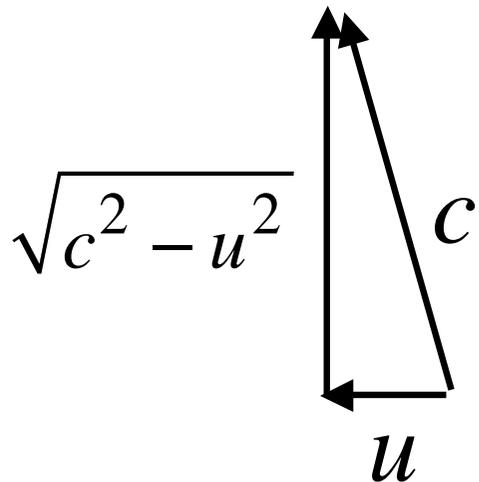
$$T_{ABA} = T_{ACA} = T_0$$

$$T_{ABA} \neq T_{ACA}$$

MMの干渉計



$$t_{ABA} = t_{ACA} = \frac{2L}{c} \\ = t_0$$



$$t_{ABA} = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - u^2}} = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$t_{ACA} = \frac{L}{c - u} + \frac{L}{c + u} = \frac{t_0}{1 - \beta^2}$$

時間差は

$$\Delta t \equiv \left| \frac{t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{t_0}{1 - \beta^2} \right| \sim t_0 \frac{\beta^2}{2}$$

干渉

光は波で振動する $A(t) \sim \exp(i\omega t)$

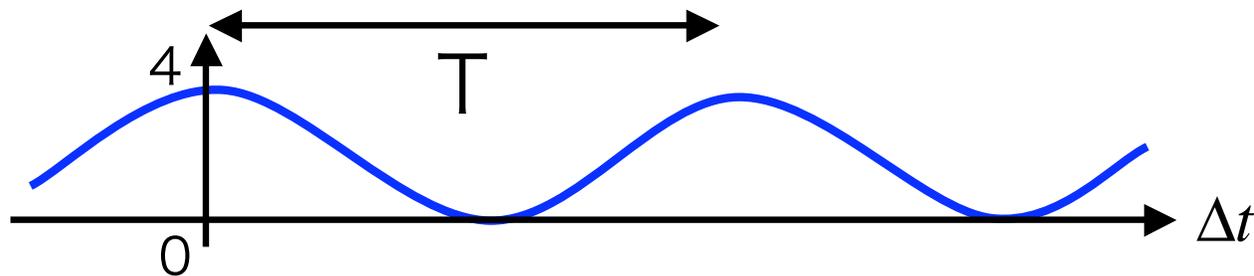
時間（位相）のずれた波の重ね合わせ

$$A(t) + A(t + \Delta t) = \exp(i\omega t)(1 + \exp(i\omega \Delta t))$$

→

$$|A(t) + A(t + \Delta t)|^2 = |1 + \exp(i\omega \Delta t)|^2$$

$$= (1 + \cos(\omega \Delta t))^2 + \sin^2(\omega \Delta t) = 2 + 2 \cos(\omega \Delta t)$$

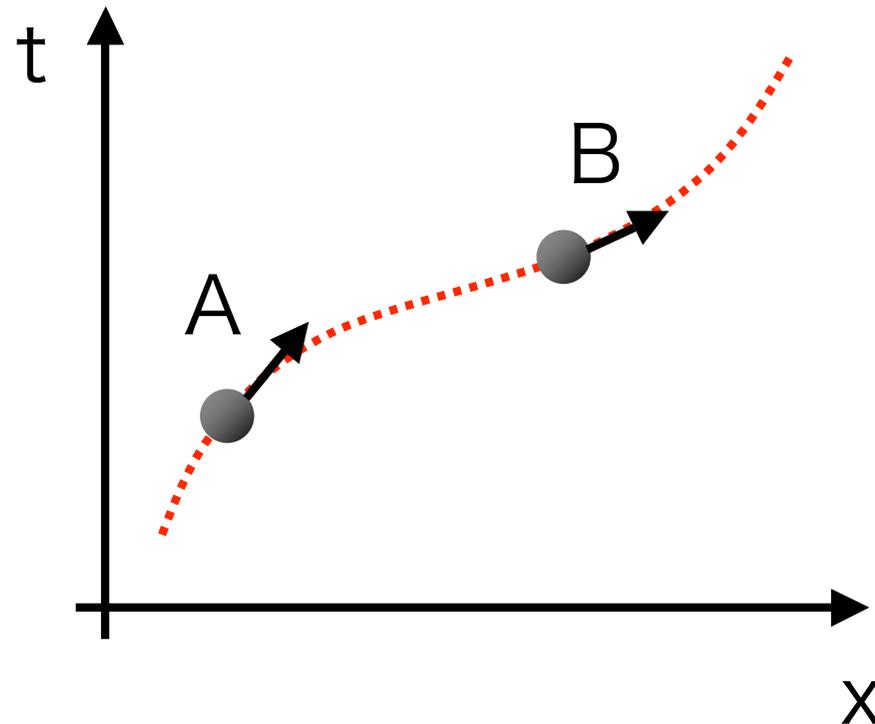


問：周期 T を ω で表せ

レポート問題1回目

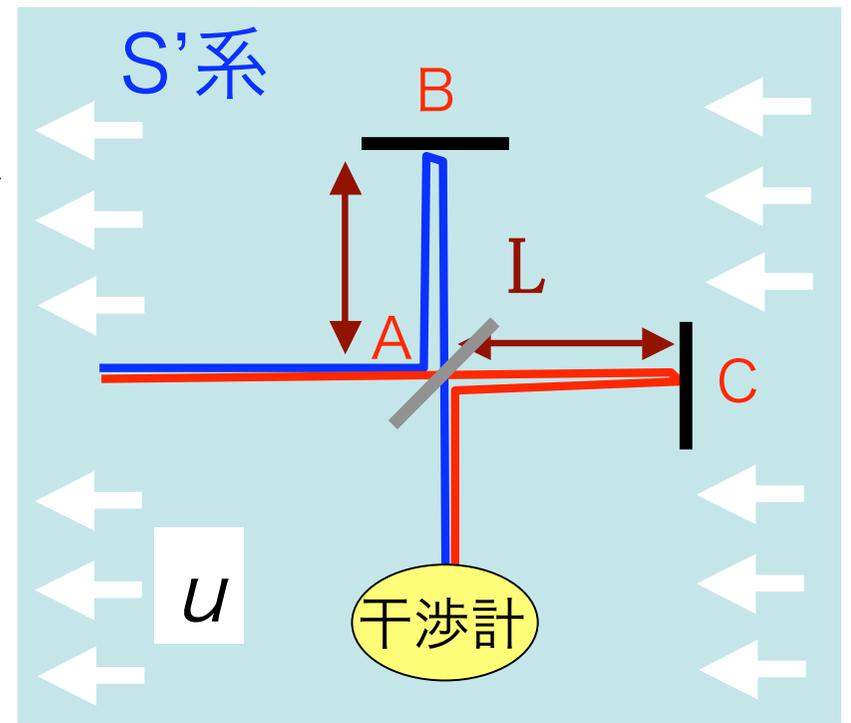
問1 : AとBではどちらが速く運動しているか

問2 : x_0 に静止する物体の世界線はどうなるか



問3：以下最初の等号を説明し、
また、2番目の近似式を示せ。

$$|t_{ABA} - t_{ACA}| = \left| \frac{T_0}{\sqrt{1-\beta^2}} - \frac{T_0}{1-\beta^2} \right| \sim T_0 \frac{\beta^2}{2}$$



問4：以下 Δt の関数 $f(\Delta t)$ を計算しそのグラフを書け。また周期 T を ω で表せ。

$$A(t) = e^{i\omega t}$$

$$f(\Delta t) = |A(t) + A(t + \Delta t)|^2$$

問5：マイケルソンは1887年の実験は失敗だったと言っている。どのような意味かを説明せよ。

レポート提出方法

ホチキス

提出日
学科、学籍番号、氏名

締め切り
原則次週

レポート問題**回目

問1：問題を書く

答え

問2：問題を書く

A4

答え

...

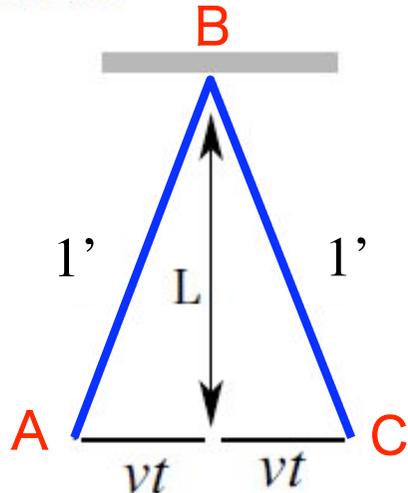
成績

(試験の合計) * 0.8 くらい
+
レポート (適宜)

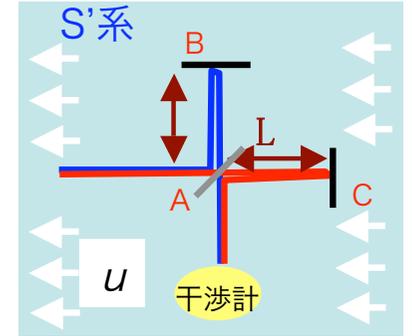
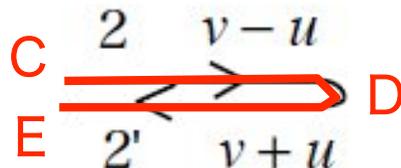
とりあえずレポートは全て
出しておくのが得策

計算

エーテル系から見ると光は三角形の斜辺を通る



地球から見ると2のときはゆっくり、2'のときは速く進む



ABCに要する時間

$$\left(c \frac{t_{ABC}}{2} \right)^2 = \left(v \frac{t_{ABC}}{2} \right)^2 + L^2$$

$$t_{ABC} = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad \beta = \frac{v}{c}$$

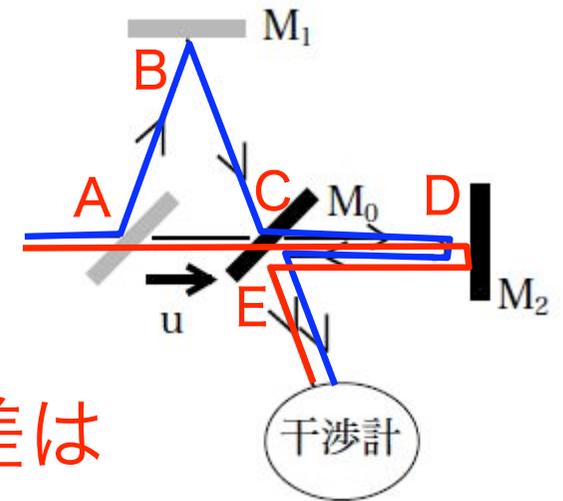
CDEに要する時間

$$t_{CDE} = \frac{L}{c-v} + \frac{L}{c+v} = \frac{T_0}{1 - \beta^2}$$

計算

ABC → 干渉計
ACDE → 干渉計

に要する時間と
に要する時間の差は



$$|t_{ABC} - t_{CDE}| = \left| \frac{T_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{T_0}{1 - \beta^2} \right|$$
$$\sim T_0 \frac{\beta^2}{2}$$

問：最後の近似式を示せ