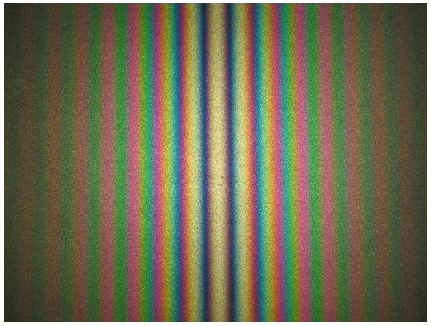
マイケルソン・モーリーの実験

（光速の異方性）

マイケルソン・モーリーの実験は

- 装置の回転や時間変化による**干渉縞**の**位置変化**を検出できなかった。
- **光速度不変**を示し、光に**媒体**（エーテル）が**存在しない**ことを証明した最も成功した実験と言われている。



Fringe pattern by white light (from Wikipedia)

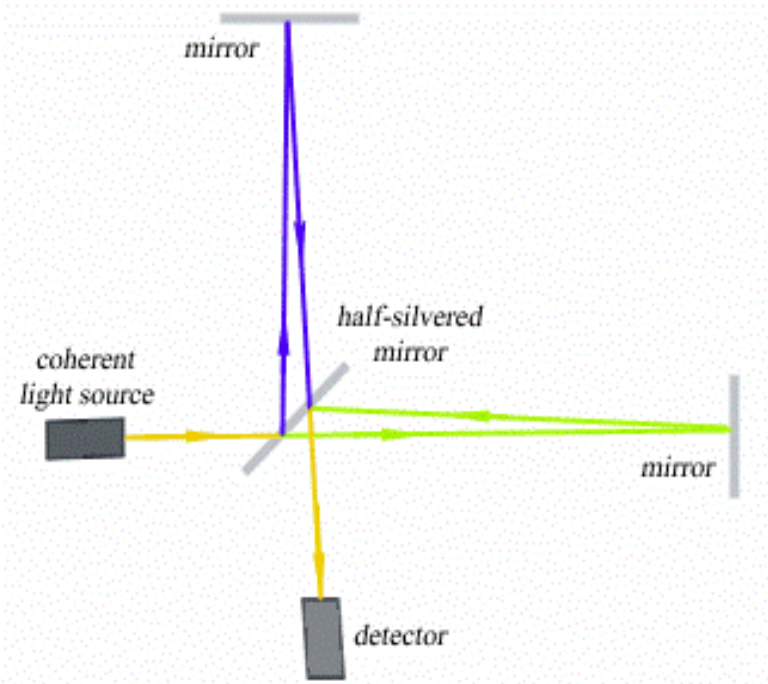
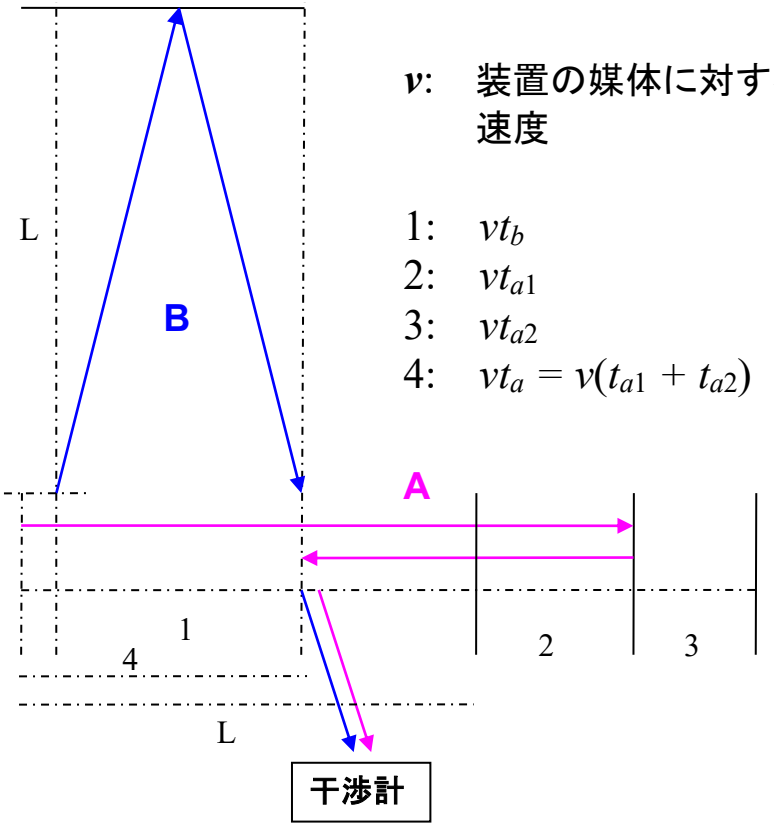


Figure S-10-2. Michelson-Morley experiment (from Wikipedia)

この実験デザインで干渉縞の位置変化の検出が本当に可能か？

© All copy rights reserved by the author.

媒体に静止した座標系でのマイケルソン・モーリーの実験



v: 装置の媒体に対する速度

1: vt_b
2: vt_{a1}
3: vt_{a2}
4: $vt_a = v(t_{a1} + t_{a2})$

- 波の媒体に対する伝搬速度は一定で、光も媒体に対し発光器の速度に関係なく一定の速度で伝搬する。
- 装置の動きに平行な **Beam A** のミラー間往復の光路は垂直方向の **Beam B** の光路より長くなる。

$$D_a = L + \sqrt{L^2 + v^2 t_a{}^2}^{\,*} \quad , \quad D_b = \sqrt{4L^2 + v^2 t_b{}^2}$$

両ビームの光速は等しいので、

$$c = D_b / t_b = D_a / t_a \ . \qquad t_b{}^2 = \frac{2Lt_a{}^2}{L + \sqrt{L^2 + v^2 t_a{}^2}}$$

$$t_b < t_a \quad \text{if} \quad v \neq 0 \ . \qquad \Delta t \equiv t_a - t_b$$

* $D_a = L + vt_{a1} + L - vt_{a2} = 2L + 2vt_{a1} - vt_a$ と
$t_a / t_{a1} = D_a / (L + vt_{a1})$ から t_{a1} を消去。

互いに干渉する両ビームの変位は測定器の**同じ場所**に**同時**に到着する必要がある。

従って **Beam A** の変位は **Beam B** の変位より Δt **早く**ハーフミラー（分光器）を出る。

媒体に静止した座標系でのマイケルソン・モーリーの実験（2）

混合波（A+B）の**合流点**から**検出器**への伝搬：

$$
\begin{aligned}
\varphi_{\perp} + \varphi_{\parallel} &= A\exp\big(i(kx - \omega t)\big) + A\exp\Big(i\big(kx - \omega(t + \Delta t)\big)\Big) \\
&= A\exp\left(i\left(kx - \omega t - \frac{\omega\Delta t}{2} + \frac{\omega\Delta t}{2}\right)\right) + A\exp\left(i\left(kx - \omega t - \frac{\omega\Delta t}{2} - \frac{\omega\Delta t}{2}\right)\right) \\
&= A\left(\exp\left(i\frac{\omega\Delta t}{2}\right) + \exp\left(-i\frac{\omega\Delta t}{2}\right)\right)\exp\left(i\left(kx - \omega t - \frac{\omega\Delta t}{2}\right)\right) \\
&= 2A\cos\frac{\omega\Delta t}{2}\exp\left(i\left(kx - \omega t - \frac{\omega\Delta t}{2}\right)\right)
\end{aligned}
$$

A ： Beam A, Beam B の最大振幅
x ： 合流点からの干渉計方向への距離
ω ： 角振動数
k ： 角波数　　$k = \omega/c$

Δt の**変動**により：　**最大振幅**と**位相**は変化するが、
振動数、**波長**および**波数**は変化しない。

装置に固定した座標系でのマイケルソン・モーリーの実験

- 光伝搬距離: Beam A、Beam B とも同じ ($2L$)
- 時間: 媒体座標での時間と同じ
- ミラー間往復の平均光速度:
  Beam A と Beam B で異なる: $c_A = 2L/(t+\Delta t)$, $c_B = 2L/t$
- 媒体に対し v で動く座標での光速度: $c_v = c - v\cos\theta$ (θ: 光伝搬方向と座標速度 v の角度)
- 測定器での光の伝搬方向: Beam A も Beam B も **同一**
- 従って、測定器での光速度: Beam A と Beam B で **共通**

装置座標での、混合波の検出器への伝搬:

$$\varphi'_{\perp} + \varphi'_{\parallel} = 2A\cos\frac{\omega\Delta t}{2}\exp\left(i\left(k'x' - \omega t - \frac{\omega\Delta t}{2}\right)\right)$$

$$k' = \omega/c'$$

$\varphi'_{\perp}, \varphi'_{\parallel}, k', x'$: 装置座標での各々の値

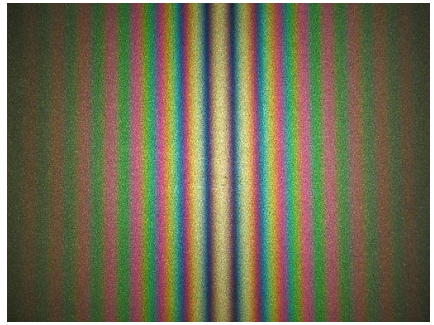
c': 装置座標による x' 方向での光速度

装置座標での結論は媒体座標での結論と同様:

Δtの変動により、振動数、波長および波数は変化しない。

マイケルソン・モーリーの実験： 干渉縞

- 混合波が干渉計内に入り、微かな間隔のあいた二つのスリットの両方を通る。（各ビームが別々のスリットを通るのではない。）
- その後、測定用スクリーン上に干渉縞が写し出される。
- 干渉縞の場所やパターンはスリットの間隔とスリットからスクリーンまでの距離で変化する。
- 干渉縞の場所やパターンは光の振動数や波長の変動で変化するが、位相の変動では変化しない。



Fringe pattern by white light
(from Wikipedia)

マイケルソン・モーリー型実験の**結論**：

> Δt の**変動**により、干渉縞の**明るさ**は変化するが**位置**は**変化しない**。

マイケルソン・モーリー型実験が干渉縞の位置変化を検出できない**理由**：

二つのビームは最終的には干渉測定のため**同一方向**になる。