

相对论的实验基础

马孟森

山西大同大学物理与电子科学学院

November 30, 2013

本章重点:

本章重点:

- 相对论基本原理、洛仑兹变换

本章重点:

- 相对论基本原理、洛仑兹变换
- 时空理论

本章重点:

- 相对论基本原理、洛仑兹变换
- 时空理论
- 相对论四维形式和四维协变量

本章重点:

- 相对论基本原理、洛仑兹变换
- 时空理论
- 相对论四维形式和四维协变量
- 相对论电动力学、力学的基本理论,质能关系

本章重点:

- 相对论基本原理、洛伦兹变换
- 时空理论
- 相对论四维形式和四维协变量
- 相对论电动力学、力学的基本理论,质能关系

本章难点:

本章重点:

- 相对论基本原理、洛仑兹变换
- 时空理论
- 相对论四维形式和四维协变量
- 相对论电动力学、力学的基本理论,质能关系

本章难点:

同时的相对性、尺缩钟慢效应

teaching objectives

- ① 相对论产生的历史背景;

- ① 相对论产生的历史背景；
- ② 相对论的实验基础；

- ① 相对论产生的历史背景;
- ② 相对论的实验基础;

1. 相对论产生的历史背景

力学的基本运动定律对所有惯性系成立，
电磁现象的运动规律呢？

1. 相对论产生的历史背景

力学的基本运动定律对所有惯性系成立，
电磁现象的运动规律呢？

根据麦克斯韦方程组推知，电磁波满足波动方程：

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

1. 相对论产生的历史背景

力学的基本运动定律对所有惯性系成立，
电磁现象的运动规律呢？

根据麦克斯韦方程组推知，电磁波满足波动方程：

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

因此得出电磁波在真空中的速度

$c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ ，与参考系选取无关！

1. 相对论产生的历史背景

按照旧时空概念，如果物质运动速度相对于某一参考系为 c ，则变换到另一参考系时，其速度就不可能沿各个方向都为 c 。

1. 相对论产生的历史背景

按照旧时空概念，如果物质运动速度相对于某一参考系为 c ，则变换到另一参考系时，其速度就不可能沿各个方向都为 c 。电磁波只能够对一个特定参考系的传播速度为 c ，因而麦氏方程组也就只能对该特殊参考系成立。

1. 相对论产生的历史背景

按照旧时空概念，如果物质运动速度相对于某一参考系为 c ，则变换到另一参考系时，其速度就不可能沿各个方向都为 c 。电磁波只能够对一个特定参考系的传播速度为 c ，因而麦氏方程组也就只能对该特殊参考系成立。如果确是这样，则经典力学中一切惯性参考系等价的相对性原理在电磁现象中就不再成立。

1. 相对论产生的历史背景

按照旧时空概念，如果物质运动速度相对于某一参考系为 c ，则变换到另一参考系时，其速度就不可能沿各个方向都为 c 。电磁波只能够对一个特定参考系的传播速度为 c ，因而麦氏方程组也就只能对该特殊参考系成立。如果确是这样，则经典力学中一切惯性参考系等价的相对性原理在电磁现象中就不再成立。即，力学规律在不同惯性系中形式是相同的，而电磁场规律在不同惯性系中形式是不同的。

1. 相对论产生的历史背景

为什么麦克斯韦电磁理论与旧物理学原理发生矛盾？

1. 相对论产生的历史背景

为什么麦克斯韦电磁理论与旧物理学原理
发生矛盾？

经典电磁理论有问题？

1. 相对论产生的历史背景

为什么麦克斯韦电磁理论与旧物理学原理
发生矛盾？

经典电磁理论有问题？

存在特殊介质—以太？

1. 相对论产生的历史背景

为什么麦克斯韦电磁理论与旧物理学原理发生矛盾？

经典电磁理论有问题？

存在特殊介质—以太？

光借助以太媒质传播，相对静止的以太，光的传播速度各向同性，均为 C 。

1. 相对论产生的历史背景

为什么麦克斯韦电磁理论与旧物理学原理发生矛盾？

经典电磁理论有问题？

存在特殊介质—以太？

光借助以太媒质传播，相对静止的以太，光的传播速度各向同性，均为 C 。

- 充满宇宙，透明而密度很小；

为什么麦克斯韦电磁理论与旧物理学原理发生矛盾？

经典电磁理论有问题？

存在特殊介质—以太？

光借助以太媒质传播，相对静止的以太，光的传播速度各向同性，均为 C 。

- 充满宇宙，透明而密度很小；
- 具有高弹性；

1. 相对论产生的历史背景

为什么麦克斯韦电磁理论与旧物理学原理发生矛盾？

经典电磁理论有问题？

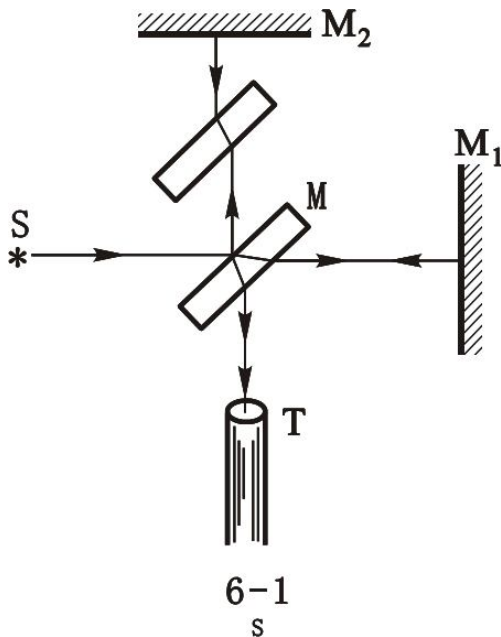
存在特殊介质—以太？

光借助以太媒质传播，相对静止的以太，光的传播速度各向同性，均为 C 。

- 充满宇宙，透明而密度很小；
- 具有高弹性；
- 只在牛顿绝对时空中静止不动，即在特殊参照系中静止。

2. 相对论的实验基础

迈克尔孙—莫雷实验装置：由光源 S 发出的光线在半反射镜 M 上分为两束，一束透过 M ，被 M_1 反射回到 M ，再被 M 反射而达目镜 T ；另一束被 M 反射至 M_2 ，再反射回 M 而直达目镜 T 。



2. 相对论的实验基础

光线由 $M \rightarrow M1 \rightarrow M$:

2. 相对论的实验基础

光线由 $M \rightarrow M1 \rightarrow M$:

$$t_1 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2cl}{c^2-v^2} = \frac{2l}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}$$
$$\approx \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$$

光线由 $M \rightarrow M2 \rightarrow M$:

2. 相对论的实验基础

光线由 $M \rightarrow M1 \rightarrow M$:

$$t_1 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2cl}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}$$
$$\approx \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$$

光线由 $M \rightarrow M2 \rightarrow M$:

$$t_2 = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \approx \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right)$$

两束光光程差：

$$c\Delta t \approx l \frac{v^2}{c^2}$$

将实验装置转动 90° 时，可观察到干涉条纹移动个数：

$$\frac{2c\Delta t}{\lambda} \approx \frac{2lv^2}{\lambda c^2}$$

利用多次反射可以使有效臂长 l 达到10米左右， $\lambda = 5 \times 10^{-7} m$ ， $(v/c)^2 \approx 10^{-8}$. 干涉条纹应该移动0.4左右，而实验观察到的上限仅为0.01个.

2. 相对论的实验基础

迈克尔逊—莫雷实验否定了特殊参考系——以太的存在，并表明光速不依赖于观察者所在参考系，不存在绝对惯性系，也就是说麦克斯韦方程在地球上始终是正确的，而且在地球上真空中光速还始终是 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，从而也否定了伽利略变换的绝对正确性。