

# 第6讲 狭义相对论

---

GEB 3301 空间、时间和爱因斯坦，人人有份 胡小倩

# 对上一轮的审查

- 你们对康德有什么印象？

# 阿尔伯特-爱

**因斯坦** 1879年3月14日，在德国乌尔姆市

- 童年时代：德国和意大利
- 教育背景：在瑞士苏黎世的联邦理工学院学习物理学和数学
- 公民身份：成为瑞士公民
- 荣获博士学位：1905年在苏黎世大学获得博士学位
- "Annus Mirabilis"（奇迹年）：在1905年发



阿尔伯特-爱

表了五篇有影响力的理论论文

因斯坦

深刻地影响了现代物理学的发展

# 阿尔伯特-爱

## 因斯坦

- 职业理想：想在大学里教数学和科学
- 在测试方面有困难：不是一个强势的应试者
- 难以获得大学工作：考试成绩影响了就业前景
- 传闻中的数学考试失败：由于当时的评分方法而产生的不确定性
- 照片：16岁的爱因斯坦在高中时代



# 阿尔伯特-爱因斯坦

## - 1905年

- 1905年6月：爱因斯坦，一个专利审查员，向 "Annalen der Physik "提交了一篇论文
- 标题：包含了他的狭义相对论
- 宗旨：解决电动力学中的某些问题
- 建议的想法：改变我们对空间和时间行为的理解



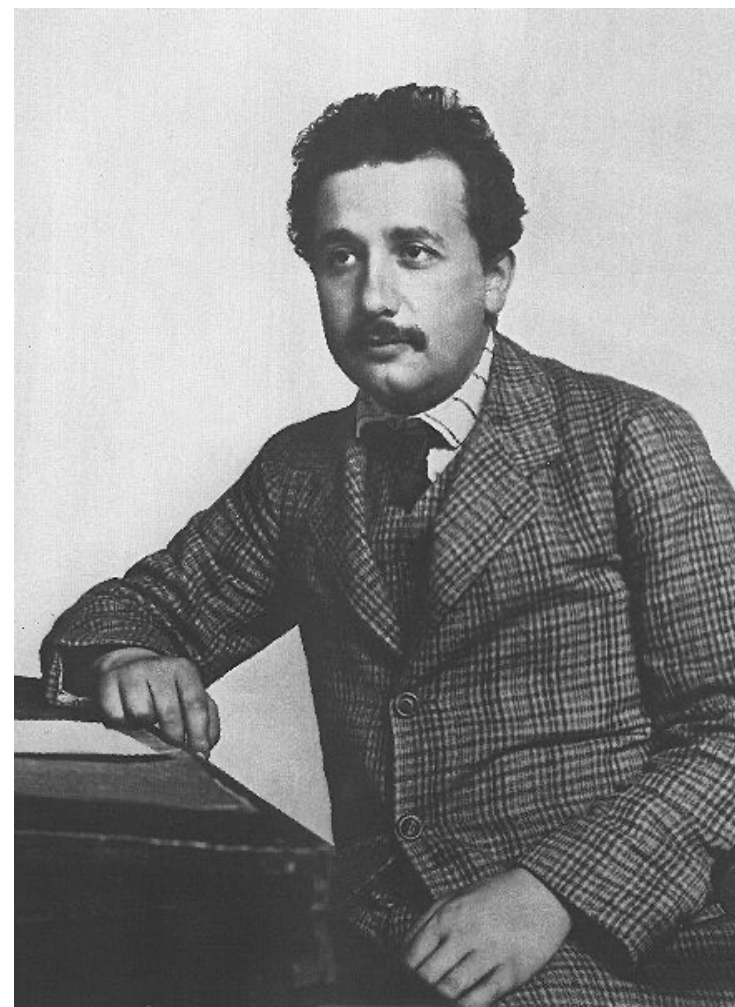
# 阿尔伯特-爱因斯坦

- 重要性：具有突破性的理论，影响深

- 1905年

# 阿尔伯特-爱因斯坦

- 爱因斯坦描述的理论现在被称为 "特殊相对论"。  
- **1905年**。它是一种 "相对论"，因为它是以**惯性运动的相对性为基础**。"特殊"这个限定词最初并不是该理论的一部分。
- 在接下来的十年里，爱因斯坦试图发展他1905年的理论，将相对运动的处理方式扩展到加速运动，并同时纳入引力。
- 1905年的理论被称为 "特殊"理论，以区别于后来





阿尔伯特-爱因斯坦  
的扩展理论，即 "广义相对论"。

- 1905年

# 爱因斯坦在

然而，**1905年**1905年，当爱因斯坦第一次介绍它时，它是一个奇怪的、甚至令人震惊的理论。当时，爱因斯坦并没有得到一本简单的狭义相对论的教科书，他可以从中学学习这个理论。他不得不看到这种理论的必要性。然后，他必须设计出这个理论，并知道它不是疯狂的猜测。

- 他是如何做到的？
- 他利用每个人都能得到的资源和方法工作。我们将看到他是如何

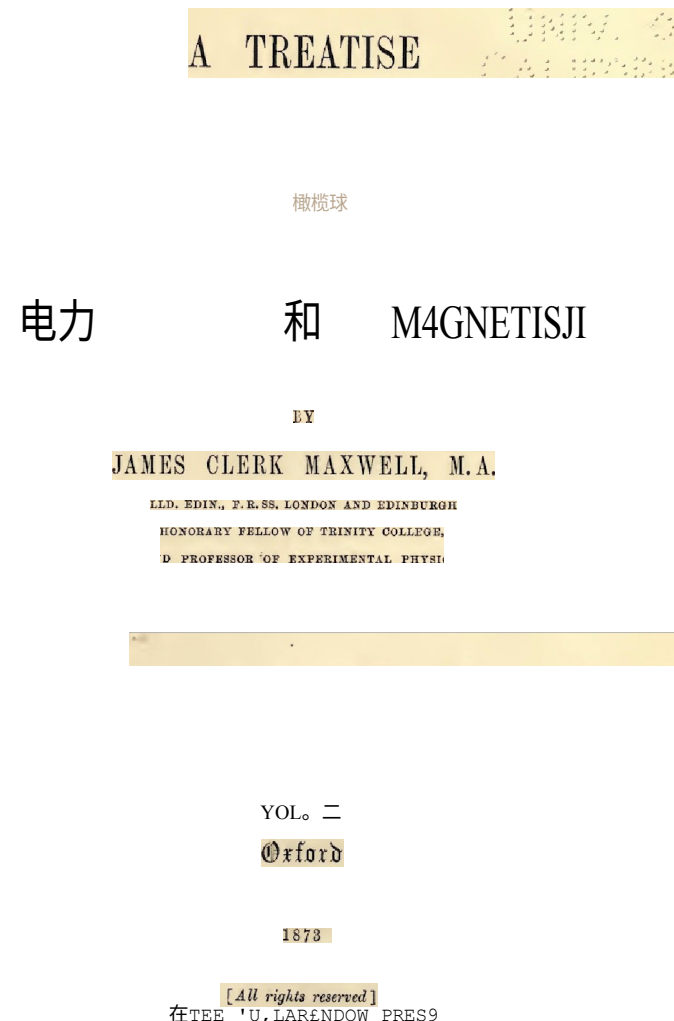
爱因斯坦在

利用每个人都有的同样的碎片，在其他人都失败的地方组装出一

1905年

# 爱因斯坦在

1905年为了预言将要发生的事情，我们会发现，在爱因斯坦时代之前，狭义相对论没有良好的实验基础。也就是说，在相对论拥有坚实的实验基础之前，我们需要在运动速度非常快、接近光速的事物上获得可靠的结果。十九世纪麦克斯韦等人的电磁理论为我们奠定了这个基础。它首次可靠地说明了一些非常快速运动的事物是如何表现的，其中最明显的是光本身。在爱因斯坦时代之前，相对论无法正常出现。



# 电力和M4GNETISJI

橄榄球

3iJ0。 ELECTROMAGNETIC THEORY OF LIGHT. [79I.

肛门由于没有介质的运动，方程 (15)，艺术。 598H. (17)

Hence  $u = -\frac{K}{4\pi} \frac{d^2 F}{dt^2}$ ,  $v = -\frac{K}{4\pi} \frac{d^2 G}{dt^2}$ ,  $w = -\frac{K}{4\pi} \frac{d^2 F}{dt^2}$ , (18)

将这些值与方程 (14) 中给出的值相比较，我们发现

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 K}{dz^2} &= K\mu \frac{d^2 G}{dt^2}, \\ 0 &= K\mu \frac{d^2 H}{dt^2}. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

form 这些方程的解是  $F = f_1(z - Vt) + f_2(z + Vt)$ , 其解是众所周知的。

第三个方程的解是  $K H = A \sqrt{\quad} \quad (*)$

因此，N要么是常数，要么直接随时间变化。 在这两种情况下，它都不能参与波的传播。

791.j 从中可以看出，无论是磁共振的方向，还是磁共振的方向，都是不一样的。

净干扰和电干扰位于波的平面内。因此，扰动的数学形式与构成光的扰动的形式一致，都是横向于传播的方向。

我们建议G=0，4Jetui'balance将对平面极化的光线作出反应。

在这种情况下，磁力与y轴平行，等于g'，而电力与z轴平行，等于-。 磁力

\*18 因此，在一个类似于包含电力的jiane perJien- dieiilar中，净力iii。

在给定的瞬间，在不同的点上的磁力和电磁力的值用Fi{,-: fi6表示、

# 爱因斯坦在1905年

- 一旦电磁理论得到发展，有一种感觉是相对论已经存在于理论之中。洛伦茨（H. A. Lorentz）已经发现了爱因斯坦后来在狭义相对论中使用的基本方程式。相对论或类似的东西会出现，这已经是**不可避免的**了（或者不是吗？这实际上只是一个问题，即谁会有聪明才智和灵活的头脑来首先发现这个理论。这个人被证明是爱因斯坦。
- 让我们首先弄清楚爱因斯坦的特殊理论（和他的两个

假设)。

# 惯性和加速运动

- 在空间中有一种首选的运动，称为惯性运动。任何物体在空间中任其自生自灭，都会默认为惯性运动，也就是在一条直线上以匀速运动。
- 作为自然默认的这种运动的存在是一个关于空间和时间的基本事实。我们需要发现，在空间的所有可能的运动中，哪些运动是由惯性运动组成的。我们通过观察运动中的事物，当它们没有偏转力的时候；或者通过纠正我们观察到的运动，以消除这些运动的



# 惯性和加速运动

偏转效应来做到这一点。

# 惯性和加速运动

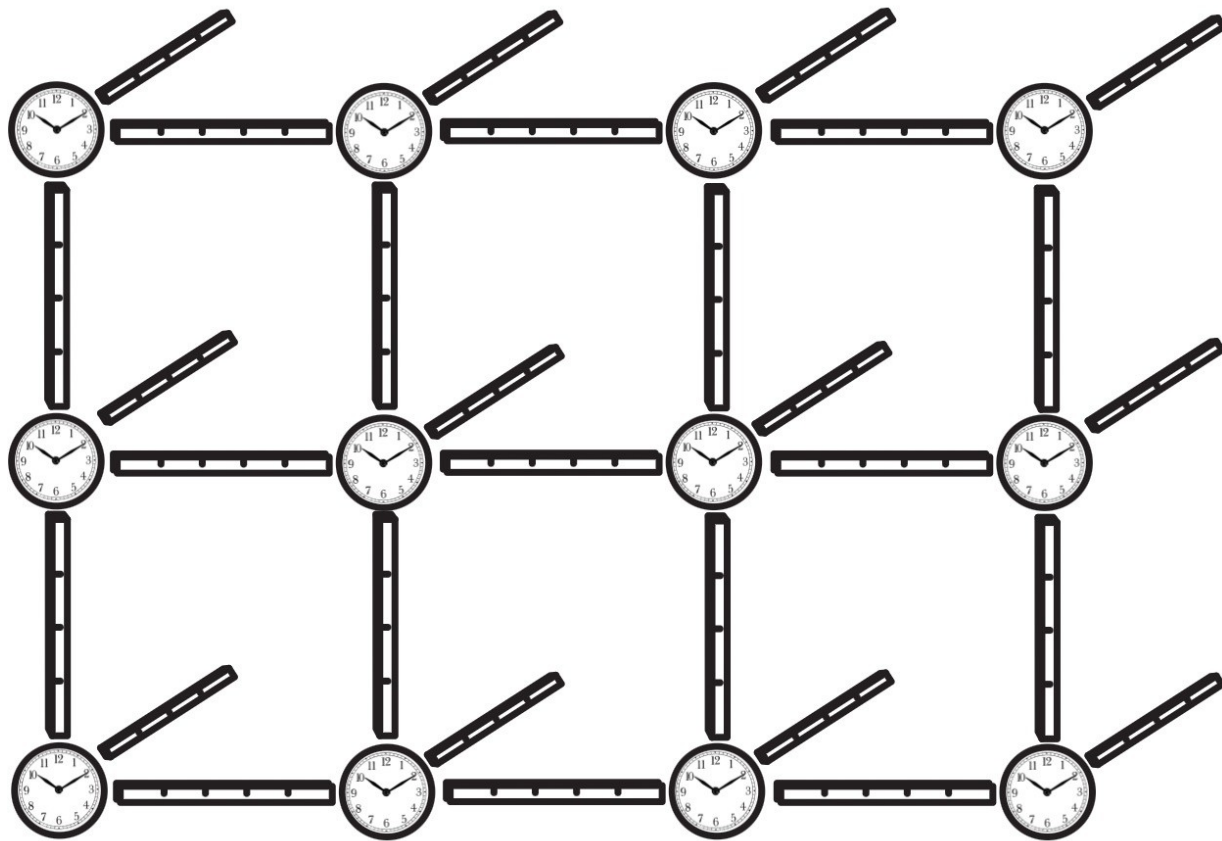
- 任何其他运动都是加速的。这包括在圆内的匀速运动。虽然速度保持不变，但方向却没有变化。所以运动是加速的。
- 有时我们会谈论一个 "惯性观察者"。它只是一个惯性运动的观察者。
- 这样的观察者可能会建立一个精心设计的测量棒和其他物理设备系统来固定事件的位置；以及一个精心设计的时钟系统来固定其时间。这样一个系统是一个惯性参考框架。

# 惯性和加速运动

我们可能建立一个惯性框架的一种方式，我们用一个时钟阵列填充空间，用它们来确定与时钟重合的事件的时间。

举个例子：我们用测量棒连接时钟，这样我们就可以通过三个数字的形式给出方向来定位框架中的任何一点。

"(4,3,7)"意味着，比如说，从起点向右



# 惯性和加速运动

走4杆，向上走3杆，然后向后走7杆。

# 惯性和加速运动

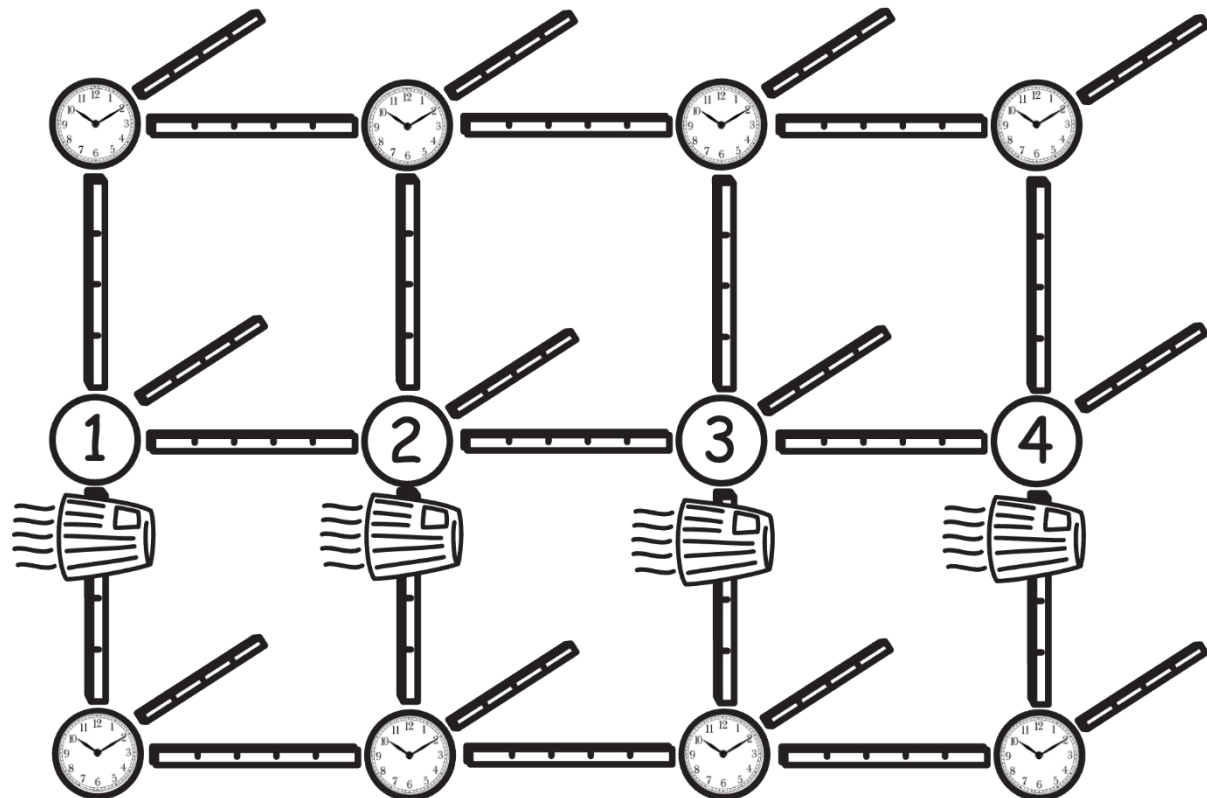
- 重要的是，这个框架由物理设备组成--通常是测量棒和时钟--它们相对于惯性观察者处于静止状态。这一点很重要，因为我们很快就会看到，根据狭义相对论，这些设备读取的长度和时间会受到其运动的影响。

# 惯性和加速运动

如果一些宇宙飞船在框架中均匀地沿直线运动，这意味着它在框架中以相等的时间覆盖相等的距离，同时向一个方向运动。

"相等的距离"是由框架的杆子所测量的距离。  
"相等的时间"是由框架的时钟测量的时间。

宇宙飞船从一个时钟到另一个时钟的时间是相等的，正如它经过时钟时记录 "1"、"2"、"3" 等



# 惯性和加速运动

所显示的那样。各个时钟之间的距离是相同的

：一个杆长。

# 绝对运动与关系运动(再次)

- 当一个物体相对于另一个物体运动时，就产生了相对运动。例如，我们的宇宙飞船可能会相对于附近的一个星球移动。
- 绝对运动（回顾牛顿）："绝对运动是指一个物体从一个绝对的地方平移到另一个地方；而相对运动，是指从一个相对的地方平移到另一个地方。"



# 绝对运动与关系运动(再次)

- 爱因斯坦的理论确实抛弃了牛顿物理学的绝对性，引入了所有惯性运动的相对性思想。这意味着我们无法在所有的惯性运动中区分出任何特殊的运动，如首选静止状态。
- 我们不能说这个是快的，那个是慢的，另一个是静止的。我们必须始终添加一个限定条件。我们必须说，这个人相对于那个人来说是快的；那个人相对于另一个人来说是慢的；或者相对于另一个人来说又是静止的。

# 绝对运动与关系运动(再次)

- 在爱因斯坦的狭义相对论中，运动的相对性只对惯性运动实施。它并没有延伸到加速运动。它们是改变其速度或方向或两者都是。
- 我们仍然可以说某物加速，而不需要再加上 "相对于..... "的限制。因此，对于爱因斯坦的特殊理论来说，加速度是一个 "绝对"。

# 绝对运动与关系运动(再次)

- 加速是可以通过在一个封闭的身体内的实验发现的。如果身体正在加速，这将由身体内的效应来揭示。例如，一架飞机以惯性飞行，直到遇到一个空气袋。然后飞机摇晃--加速--里面的东西被抛来抛去。里面的每个人都对加速没有疑问。
- 然而，要小心过度简化的口号：如 "一切都是相对的。" 或 "所有运动都是相对的"。这不是我们从爱因斯坦的特殊理论中学到的东西。它根除了绝对运动。我们了解到，某物只有在相对于其他

事物处于静止状态时才能处于静止状态。因此，更好的口号是 "所有静止都是相对的"。

# 两个假设

- 爱因斯坦发现，将他的相对论作为基础是最方便的。  
在两个假设上；一旦它们被假定，发展整个理论就成为一种逻辑练习。
- 这两个假设是：
  - I. 相对论原理和
  - II. 光的定理。

# 相对论原理

- 第一个原则，即相对性原则，对所有的物理学定律说了一些话。  
为了说明这一原理，我们必须首先以一种特殊的方式来表达这些定律，即以在惯性参照系内定义的量来表示。
- 以牛顿的第一运动定律为例。(这是一个在狭义相对论中也成立的定律。) 它在牛顿的原始措辞中说
- "每个物体都继续保持其静止状态，或在一条正确的[直线]上做匀速运动，除非它因受力而被迫改变这种状态。"

# 相对论原理

- 在牛顿第一定律的这种表述中所使用的术语要求我们指的是某种惯性参考框架。
- "静止状态"是指身体在惯性框架内随着时间的推移保持在同一位置。
- "匀速运动"意味着身体在相同的时间内覆盖相同的距离，其中距离是由框架的测量棒测量的，时间是由框架的时钟测量的。

# 相对论原理

- 相对性原理断言：**物理学定律在所有的惯性参照系中都是相同的**。
  -
- 这只是意味着：如果我们用一个惯性参照系的量来表达一些物理定律，那么在任何其他惯性参照系中，该定律的结果陈述将是完全相同的。



# 相对论原理

- 我们可以用牛顿第一运动定律的例子来说明这个原理。假设我们有三个不同的惯性参照系，对应于下图所示的三个观察者，那么该定律的陈述在每个参照系中都是一样的。



In this inertial frame of reference, Newton's first law of motion reads:

*Every body continues in its state of rest, or in uniform motion in a right [straight] line, unless it is compelled to change that state by forces impressed upon it.*

# 相对论原理



In this inertial frame of reference, Newton's first law of motion reads:

*Every body continues in its state of rest, or in uniform motion in a right [straight] line, unless it is compelled to change that state by forces impressed upon it.*

# 相对论原理

例2

# 相对论原理



In this inertial frame of reference, Newton's first law of motion reads:

*Every body continues in its state of rest, or in uniform motion in a right [straight] line, unless it is compelled to change that state by forces impressed upon it.*

# 相对论原理

例3

# 相对论原理

- 该法则在每个惯性参照系中具有完全相同的形式，这就排除了绝对运动。
- 考虑一下前牛顿的运动观点。根据它，所有的运动都会自动减慢，直到它们到达一个独特的静止状态。这一定律在所有的惯性参照系中不能以相同的方式表述。如果有争议的框架是真正的静止框架，我们将需要该定律的一种形式。在所有其他参照系中，我们将需要一种不同的形式。

# 相对论原理

- 假设中间运动是独特的静止状态 "A"。那么前牛顿定律在其他两个框架中的表达方式不同，而且需要具体提到独特的静止状态 "A"。



In this frame of reference, the pre-Newtonian law reads:

*Every body alters its motion until it moves like "A".*

例1

# 相对论原理



The unique state of rest "A".

In this frame of reference, the pre-Newtonian law reads:

*Every moving body slows to rest.*



# 相对论原理

例2

# 相对论原理



In this frame of reference, the pre-Newtonian law reads:

*Every body alters its motion until it moves like "A".*

# 相对论原理

例3

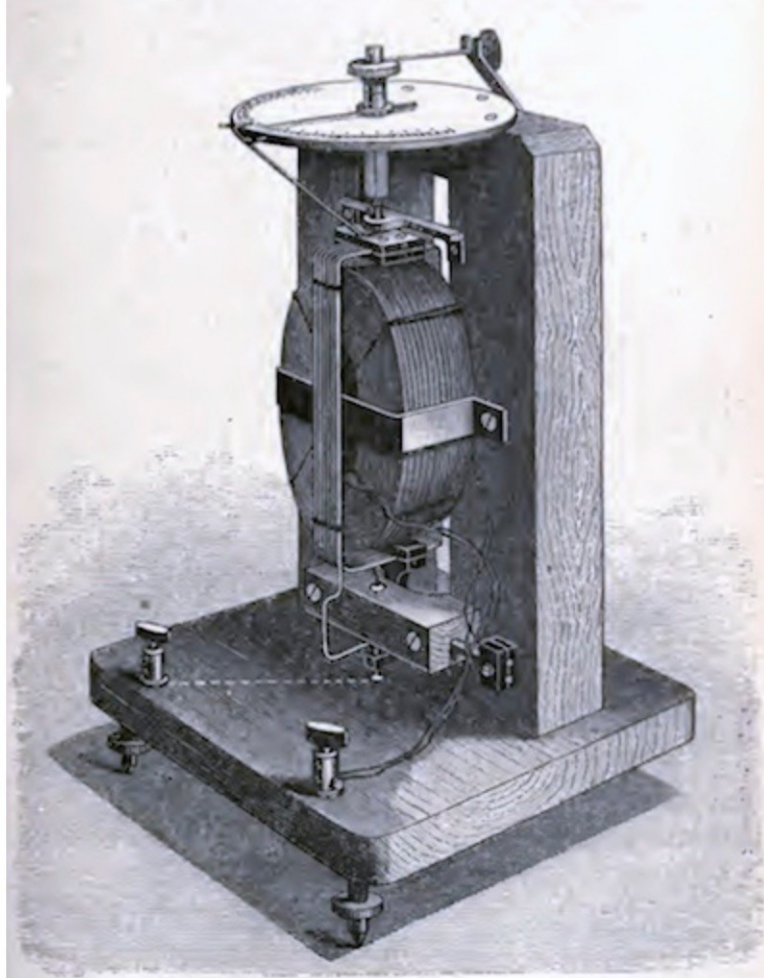
# 相对论原理

- 也就是说，我们从相对论的原则中**推断**：
- **绝对运动不能出现在任何物理学规律中。**（注意：我们从相对论原理中推断出这一点。所以这个结论可能并不像原理那样说明问题。它在逻辑上可能更弱。也就是说，这个结论不是原则本身）。
- 我们将从相对论原理中得出更重要的结论。其中最有用的一个与实验有关。为了建立这种联系，我们需要看到，自然规律实际上是对大量可能性的紧凑总结。

# 相对论原理

- 例如，欧姆定律 ( $V=IR$ ) 只是告诉我们，电阻上的电压与流动的电流成正比。这种比例关系实际上是对大量事实的总结性陈述，其中每个事实都适用于一个特定的情况。

# 相对论原理



Siemens electro-dynamometer for measuring strong currents.

p.58 in J. E. H. Gordon, School Electricity. London: Sampson Low, Marston, Searle, & Rivington, 1886.

It says:

For a 1 Ohm resistor:

When the voltage is 1V, the current is 1A.

When the voltage is 2V, the current is 2A.

When the voltage is 3V, the current is 3A.

When the voltage is 4V, the current is 4A.

...

For a 2 Ohm resistor:

When the voltage is 2V, the current is 1A.

When the voltage is 4V, the current is 2A.

When the voltage is 6V, the current is 3A.

When the voltage is 8V, the current is 4A.

...

And so on indefinitely for many more cases.

# 相对论原理

- 这些可能性中的每一个都描述了一个小实验，并告诉我们结果必须是什么。例如，其中之一告诉我们，如果我们采购一个1欧姆的电阻，并对其施加2V（"伏特"）的电压，将有2A（"安培"）的电流流过。
- 想象一下，现在我们在一个惯性参考框架内进行这个实验。假设实验成功，返回上述电流为2A的结果。我们现在知道，这种可能性是适用的物理学定律所列出的可能性之一。

# 相对论原理

- 由于定律**在每个惯性参照系中都是相同的**，因此，每个惯性参照系中的可能性清单也是相同的。因此，如果实验按照一个惯性参照系的描述进行，那么在任何其他惯性参照系中也必须以同样的方式进行。
- 结论：**所有的实验在所有的惯性参照系中运行都是一样的。**



# 相对论原理

- 所有的实验在所有的惯性参照系中运行都是一样的。这意味着，在一个惯性框架中发生的任何事情也可以在任何其他框架中发生。由此可见，**不可能有任何迹象**表明你所在的惯性框架在本质上是特殊的，也就是说，本身就与其他框架不同。
- 实验所能做的是确定**惯性框架是否相对于其他东西在移动**。这并不表明惯性框架在本质上有什么特殊之处。

# 相对论原理

- 因此，任何实验都不可能只挑出一个有区别的惯性参照系。由于绝对静止和绝对运动，如果可以检测到，将需要这样一个区分的静止框架，我们可以得出结论：
- **没有任何实验可以揭示观察者的绝对运动。**
- 这是相对性原则的一个结果。另一种方法是回顾一下，相对性原理使我们得出结论，绝对运动不可能出现在任何物理学定律中。但如果它不在定律中，而定律决定了什么是可以的，那么绝对运动就不可能存在。因此，没有任何实验可以检测到它。

# 相对论原理

- 爱因斯坦的特殊理论的相对性原理仅限于**惯性运动**。它所宣称的相对性**并不延伸到加速运动**。如果某物加速，那么在爱因斯坦的理论中它是绝对加速的。没有必要说它 "相对于.....而加速"。
- 加速的一个传统指标是惯性力。如果你在一架均匀直线飞行的飞机上，你对运动没有感觉。如果飞机遇到湍流并加速，你会立即感觉到加速度。惯性力在机舱内把东西抛来抛去。这些影响显示了飞机的绝对加速度。

# 相对论原理

- 这里是相对论原理和三个重要的后果收集在一个地方：
  - **相对性原则：物理学定律在所有的惯性参照系中都是一样的。**
- 由此可见，：
- 绝对运动不能出现在任何物理学定律中。
- 所有的实验在所有的惯性参照系中运行都是一样的。

# 相对论原理

- 没有任何实验可以揭示观察者的绝对运动。

# 光的假设

- 光定理的范围要窄得多。它没有像相对论原则那样提到所有的物理学定律。相反，它指的是光的传播。如果有光在任何惯性框架中传播，我们用该框架的**棒和钟来测量它的速度**。
- 我们会发现：
- **光速在所有惯性参照系中都是一样的。**
- 帽子的速度是每秒186,000英里或每秒300,000公里。因为这个速度在相对论中经常出现，所以用字母 " $c$ " 来表示。

# 光的假设

- 这里所指的速度是指**真空中的光速**。光通过任何密集的介质，如玻璃或水，都会被介质明显地减慢。光在水中的速度是其在真空中的75%。在空气中甚至有一个非常轻微的影响。但这是非常轻微的：0.03%的减速。
- 爱因斯坦应该相信相对论的原则，这不应该是一个令人惊讶的事情。我们在地球上通过空间快速运动。但我们的运动对我们来说几乎是看不见的，正如相对论原理所要求的那样。

# 光的假设

- 为什么几乎看不见？
- 这是因为地球表面上任何一点的运动都不完全是惯性的。在一整天的时间里，该点的运动方向将转过整整360度。这种非常缓慢的转动产生的效果是可以测量的，例如，在科学博物馆里非常流行的傅科摆实验。
- 为什么爱因斯坦要相信光的假设，这就有点难看了。



# 光的假设

- 爱因斯坦接受光的假设的主要原因是他对电动力学的长期研究，即电场和磁场的理论。该理论是当时最先进的物理学。
- 大约50年前，麦克斯韦已经表明，光只是一个在电磁场中传播的波纹。麦克斯韦的理论预测，波纹的速度是一个非常明确的数字： $c$ 。

橄榄球

电力 和 M4GNETISII

BY

JAMES CLERK MAXWELL, M.A.

LL.D. EDIN., F.R.SS. LONDON AND EDINBURGH  
HONORARY FELLOW OF TRINITY COLLEGE,  
D. PROFESSOR OF EXPERIMENTAL PHYSICS

YOL。二

Oxford

在TEE 'U, LARENDOW PRES9

1873

3iJ0。 ELECTROMAGNETIC THEORY OF LIGHT. [79I.

$$=-\frac{dF}{dt}, \quad Q=-\frac{dG}{dt}, \quad R=-\frac{dH}{dt}.$$
 (17)

Hence  $u=-\frac{K}{4\pi}\frac{d^2F}{dt^2}, \quad v=-\frac{K}{4\pi}\frac{d^2G}{dt^2}, \quad w=-\frac{K}{4\pi}\frac{d^2H}{dt^2}.$  (18)

肛门由于没有介质的运动，方程（B），艺术。n 98,  
将这些值l'与方程（i 4）中给出的值相比较，我们发现

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2F}{dz^2} &= K_{\mu} \frac{d^2F}{dt^2}, \\ \frac{d^2G}{dz^2} &= K_{\mu} \frac{d^2G}{dt^2}, \\ 0 &= K_{\mu} \frac{d^2H}{dt^2}. \end{aligned} \right\}$$
 (19)

这些方程的fil'Ut和sccoJkd是平面波pk'o- pagation的eC[nation]，其解是众所周知的。

form 
$$\left. \begin{aligned} F &= f_1(z-Vt) + f_2(z+Vt), \\ G &= f_3(z-Vt) + f_4(z+Vt). \end{aligned} \right\}$$
 (20)

第三个方程的解是

$$K II - A \wedge$$
 (\*1)

因此，N要么是常数，要么直接随时间变化。 在这两种情况下，它都不能参与波的传播。

791.j 从中可以看出，无论是磁共振的方向，还是磁共振的方向，都是不一样的。

净干扰和电干扰位于波的平面内。因此，扰动的数学形式与构成光的扰动的形式一致，都是横跨二维的。

传播的反应。  
我们建议G a 0，4Jetui'bance。

将对平面极化的光线作出反应。  
在这种情况下，磁力与y轴平行，等于

g'，而电力与z轴平行，等于-。 磁力

\*18 因此，在一个类似于包含电力的jiane perJien- dieiilar中，网状力iii。

在给定的瞬间，在不同的点上的磁力和电磁力的值用Fi{,-: fi6表

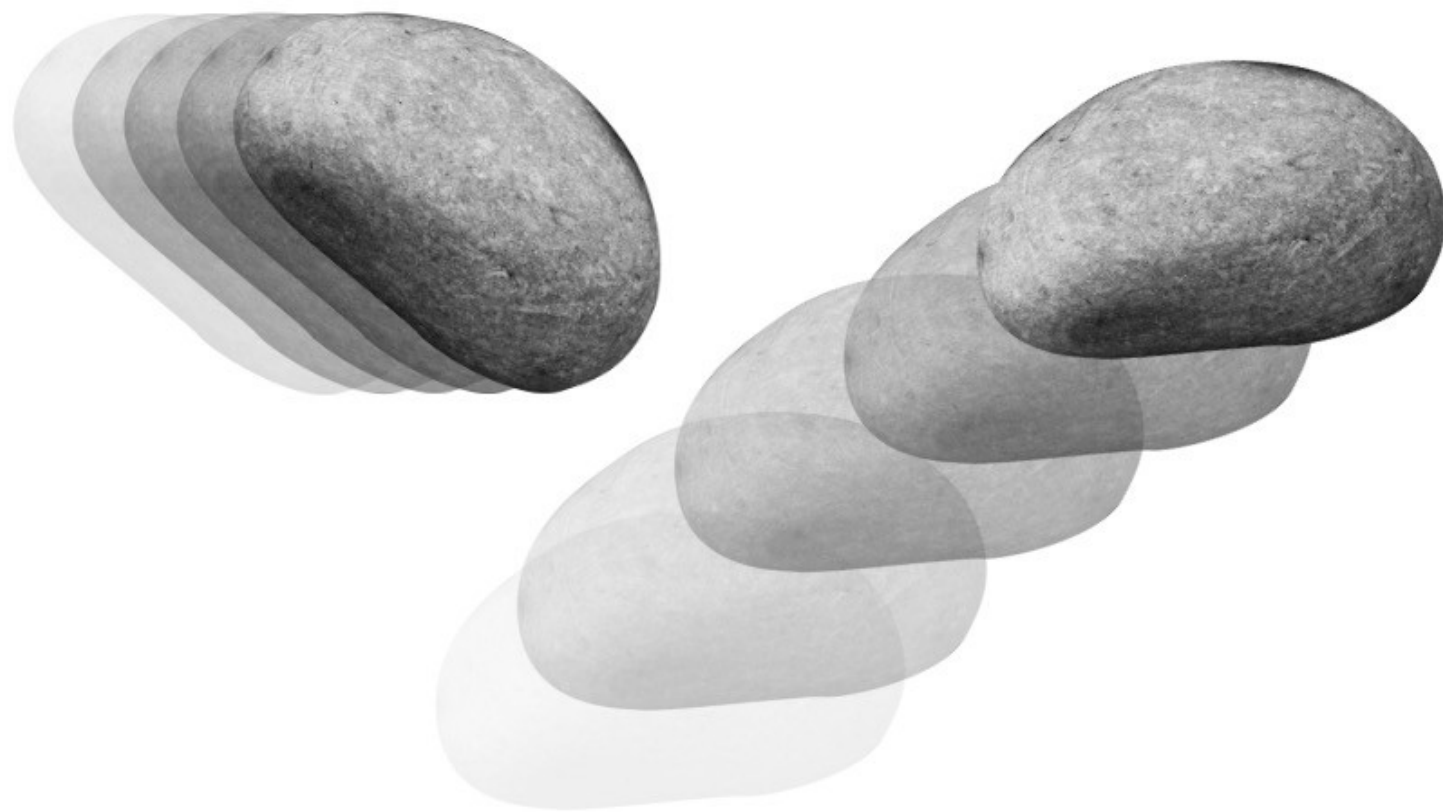
示、

[ *All rights reserved* ]

# 光的假设

- 光信号的速度**与卵石的速度完全不同**，比如说。鹅卵石可以以任何速度移动，这取决于它被投掷的力度。麦克斯韦理论中的光则不同。无论光信号是如何产生和投射的，其速度总是相同的。对于麦克斯韦来说，这个速度在一个参照系中始终是相同的，即他的电磁场的静止参照系。

# 光的假设



# 光的假设

- 相对论原则向爱因斯坦保证，自然规律对所有惯性观察者都是一样的。光总是以相同的速度传播是麦克斯韦理论中的一个定律。如果它在一个惯性参照系中成立，那么它在所有的参照系中也一定成立。因此，如果**相对论原则被应用于麦克斯韦关于光的定律**，那么光的假设立即产生。

# 相对论原则的天文学渊源

- 相对论原理告诉我们，我们无法探测到我们的匀速运动。匀速运动是否可以检测到，在十六、十七世纪成为一个紧迫的问题。
  -
- 直到那时，人们普遍接受的观点是，地球在宇宙的中心处于静止状态。太阳、月亮和行星围绕它运行。

# 相对论原则的天文学渊源

- Nicolaus Copernicus有其他想法。他在1543年的《*论天体的旋转*》中使用了强有力的天文论据，敦促**地球并非一动不动**。相反，处于宇宙运动中心的是太阳，而不是地球。在这种日心主义（以太阳为中心）的宇宙论中，地球只是另一颗围绕太阳运行的行星。
- 此外，太阳、月亮和星星每天的升起和落下不是来自于它们的运动，而是来自于地球在其轴上的每日旋转。



# 相对论原则的天文学渊源

- 如果哥白尼的想法得以延续，物理学就必须更新，使地球在我们脚下的运动无法通过物理手段检测出来。
- 用后来的话说，我们需要一种符合相对论原则的新物理学。虽然哥白尼在这个方向上做了一些小的努力，但这个挑战被伽利略-伽利莱最充分地接受了。他对哥白尼体系最成熟的辩护是在1632年的《*关于两个主要世界体系的对话*》中。这两个系统是托勒密系统和哥白尼系统。

# 相对论原则的天文学渊源

- 伽利略的工作指出了新物理学将是什么样子。发展新物理学的工作由艾萨克-牛顿在其1687年的巨著《*自然哲学的数学原理*》中完成。牛顿的物理学从一开始就符合相对论的原则。
- 要想知道如何，请考虑从对世界上普通事物的随意观察中产生的天真的物理学。身体的默认 "自然 "状态是处于静止状态。  
。
- 牛顿的《原理》一开始就改变了这种默认的概念。

# 相对论原则的天文学渊源

- 根据他的第一个运动定律，身体的自然状态是在一条直线上的均匀运动。如果任其自生自灭，用后来的说法，物体将持续处于惯性运动状态。惯性运动的偏离是由于受力所致。
- 根据牛顿的第二运动定律，这些力并不引起运动，而是引起运动的变化。在一个较新的表述中，我们将力与加速度联系起来。

# 相对论原则的天文学渊源

- 这两个原则使牛顿的物理学有可能在最重要的方面符合相对论原则：我们可以测量和检查的过程在所有均匀运动的系统中以同样的方式运行。它们中的任何东西都不允许我们把其中一个的运动挑出来作为首选。我们可能是在一个快速运动的地球上，但随意的观察和实验不会显示出来。

# 相对论原则的天文学渊源

- 牛顿并没有明确地写出相对论原理。把它作为一个原则来关注是19世纪末和20世纪初的创新。相反，正如我们在以前的课程中所看到的，他的物理学建立在绝对静止的概念之上。
- 相对性原则在较弱的意义上得到了尊重，即我们在地球上所做的任何实验都无法揭示我们相对于这种绝对运动状态的运动。

# 亮

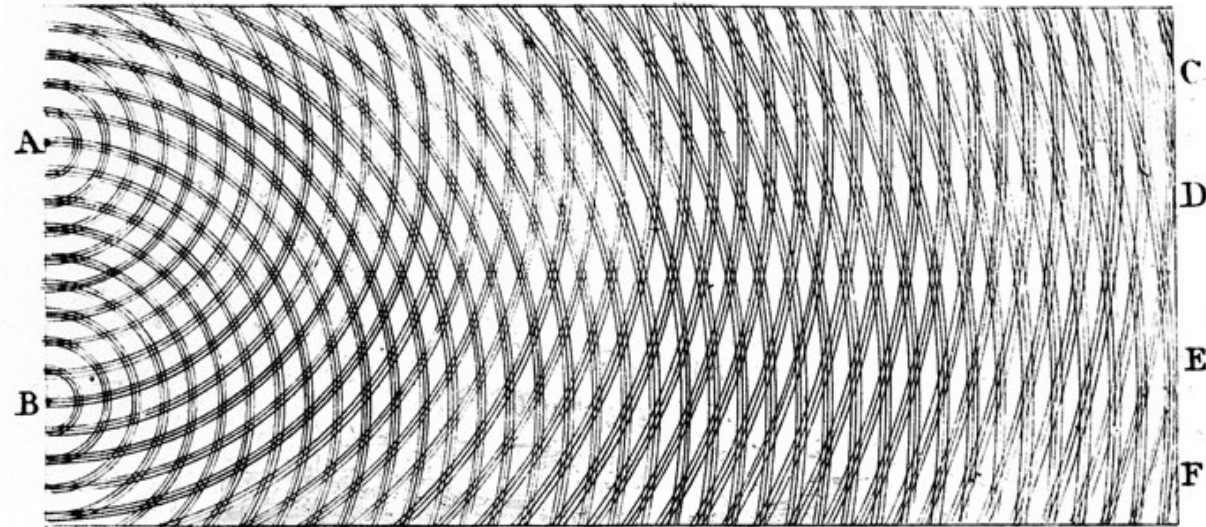
度19世纪，改变这一幸福安排的是光的理论的进步。

- 牛顿认为，光是由快速运动的细胞组成的；它们和他宇宙中的其他东西一样服从相对性原则。在19世纪初菲涅尔和其他人的工作之后，这种说法被作为传播波的光的说法所取代。

# 亮

度是一个波状过程的最重要迹象之一是干涉效应的发现，如下图所示为托马斯-杨著名的双缝实验。两个光源产生了任何人都熟悉的特征性的干扰模式，即把两个小石子扔进一个平静的池塘里。

# 亮度





# 亮

度 如果光是一种波，人们认为波一定是由某种介质携带的，就像声波是由空气携带的，水波是由水携带的。否则，如果波不是在某种介质中的位移，两个波的波峰和波谷怎么会相互湮灭而产生干涉图案呢？

- 这种介质被称为**发光的（=带光的）乙醚**。现在，运动的地球被认为是通过一种介质运动，这种介质必须流过地球，就像水流过在海洋中运动的船一样。

# 以太电流实验失败

- 现在，这种乙醚使得我们星球的绝对运动可以通过地球上的实验来检测。我们所要做的就是设法**看到流过的乙醚的电流**。事实证明，设计实验来做到这一点非常容易。回顾一下，乙醚携带光波，就像空气携带声波或水携带水波一样。因此，如果乙醚从我们身边流过，这种流动就应该在对光的测量中显示出来。

# 以太电流实验失败

- 在19世纪，人们设计了一系列的实验来检测这种乙醚电流。它们是关于光的实验。通常情况下，它们涉及到让光通过棱镜、透镜等组合，产生推理条纹，然后在这些条纹中寻找一种效果。所有这些实验的引人注目的结果是，乙醚的流动对光学实验没有影响。在这个意义上，所有的实验都失败了。

# 以太电流实验失败

- 奇怪的是，仿佛地球恰好在乙醚中处于完全静止状态。现在回想起来，这是一个令人费解的结果。然而，在当时，并没有出现你所期望的危机感。相反，乙醚漂移对我们来说是看不见的，这已经成为实验的一个简单规律。
- 在某些方面，这种态度与我们现在认为的对原子的合理态度没有多大区别。我们知道它们是存在的。但与此同时，我们知道它们是如此之小，以至于没有任何（19世纪）仪器能让我们看

以太电流实验失败  
到它们的个体。

# 以太电流实验失败

- 实验可以根据他们希望探测到的效应的大小进行分类，因此，所需仪器的灵敏度也是如此。最大的效应是 "一阶" 效应。它们需要最不敏感的仪器，也最容易进行。许多这样的一阶实验已经进行，但都未能证明有乙醚电流。

# 以太电流实验失败

- 一阶效应的大小与乙醚的速度成正比，是光速的一小部分。二阶效应与这个分数的平方成正比。由于这个分数非常小，它的平方也更小。这意味着二阶效应比一阶效应更难发现。

# 以太电流实验失败

- 为什么要看一阶，然后是二阶，然后是三阶效应，以此类推？  
使得这个序列变得自然的是把效应看作是乙醚风的分速度的函数。在一个常数之后，系列扩展中的第一项是一阶效应，第二项是二阶效应，以此类推；这样，考虑这些阶数就可以穷尽所有的可能性。

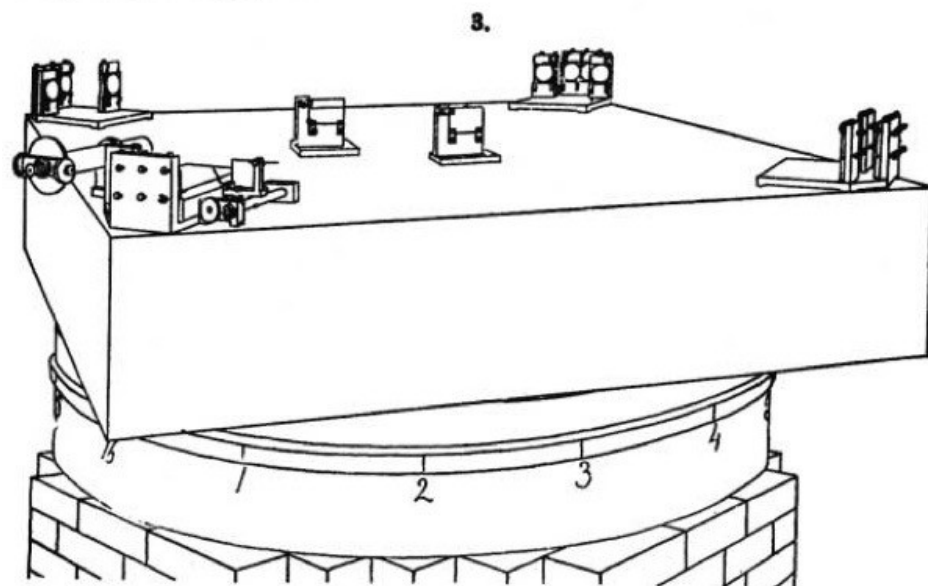


# 米歇尔森-莫利实验

- 19世纪只有一次成功的实验，即1887年阿尔伯特-A-迈克尔逊和爱德华-W-莫利的著名实验，它完成了迈克尔逊早先在这种实验方面的努力。
- 事实上，这个实验是如此困难，以至于迈克尔逊获得诺贝尔奖，主要是因为他在实验中使用了高灵敏度的光学干涉仪。

## AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE.

[THIRD SERIES.]



ART. XXXVI.—*On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*; by ALBERT A. MICHELSON and EDWARD W. MORLEY.\*

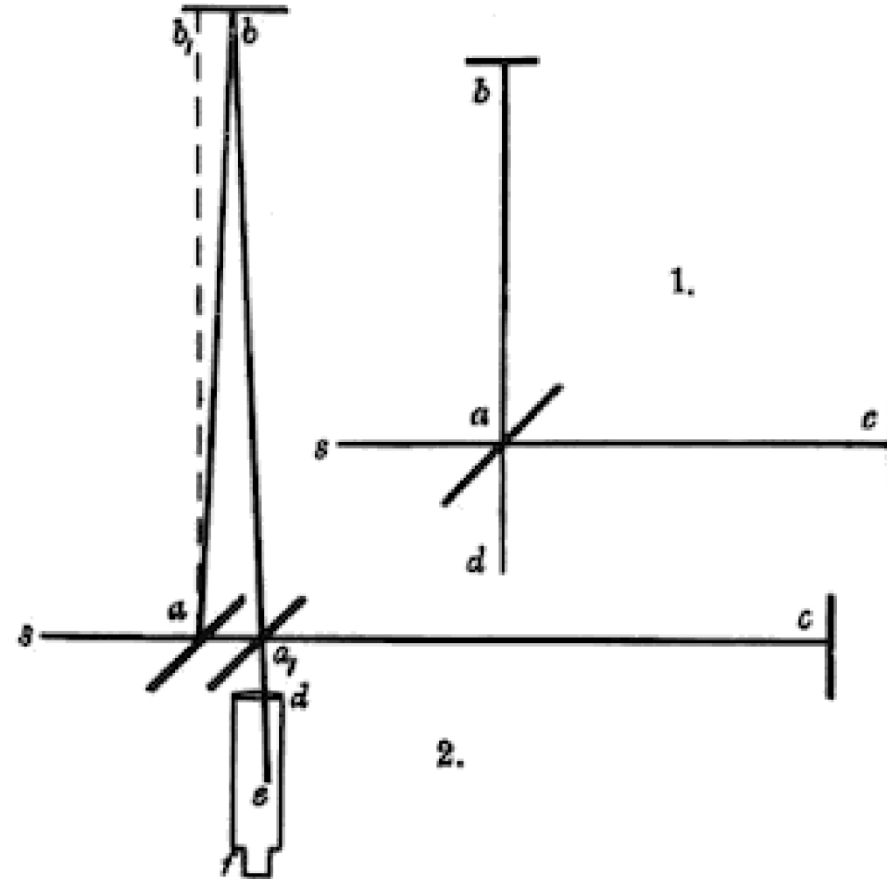
THE discovery of the aberration of light was soon followed by an explanation according to the emission theory. The effect was attributed to a simple composition of the velocity of light with the velocity of the earth in its orbit. The difficulties in this apparently sufficient explanation were overlooked until after an explanation on the undulatory theory of light was proposed. This new explanation was at first almost as simple as the former. But it failed to account for the fact proved by experiment that the aberration was unchanged when observations were made with a telescope filled with water. For if the tangent of the angle of aberration is the ratio of the velocity of the earth to the velocity of light, then, since the latter velocity in water is three-fourths its velocity in a vacuum, the aberration observed with a water telescope should be four-thirds of its true value.†

\* This research was carried out with the aid of the Bache Fund.

† It may be noticed that most writers admit the sufficiency of the explanation according to the emission theory of light; while in fact the difficulty is even greater than according to the undulatory theory. For on the emission theory the velocity of light must be greater in the water telescope, and therefore the angle of aberration should be less; hence, in order to reduce it to its true value, we must make the absurd hypothesis that the motion of the water in the telescope carries the ray of light in the opposite direction!

AM. JOUR. SCI.—THIRD SERIES, VOL. XXXIV, No. 203.—Nov., 1881.

Let  $sa$ , 6g. 1, 1'e z ray colligii i which is pnrty re ficted  
in  $ab$ , and 在一个, be/ng eturoe'J by, pari]y traaamitted the mir-  
 $q''$  S和c, chong Es和m & in "arçIy trai aroitteü aloog  $od$ .



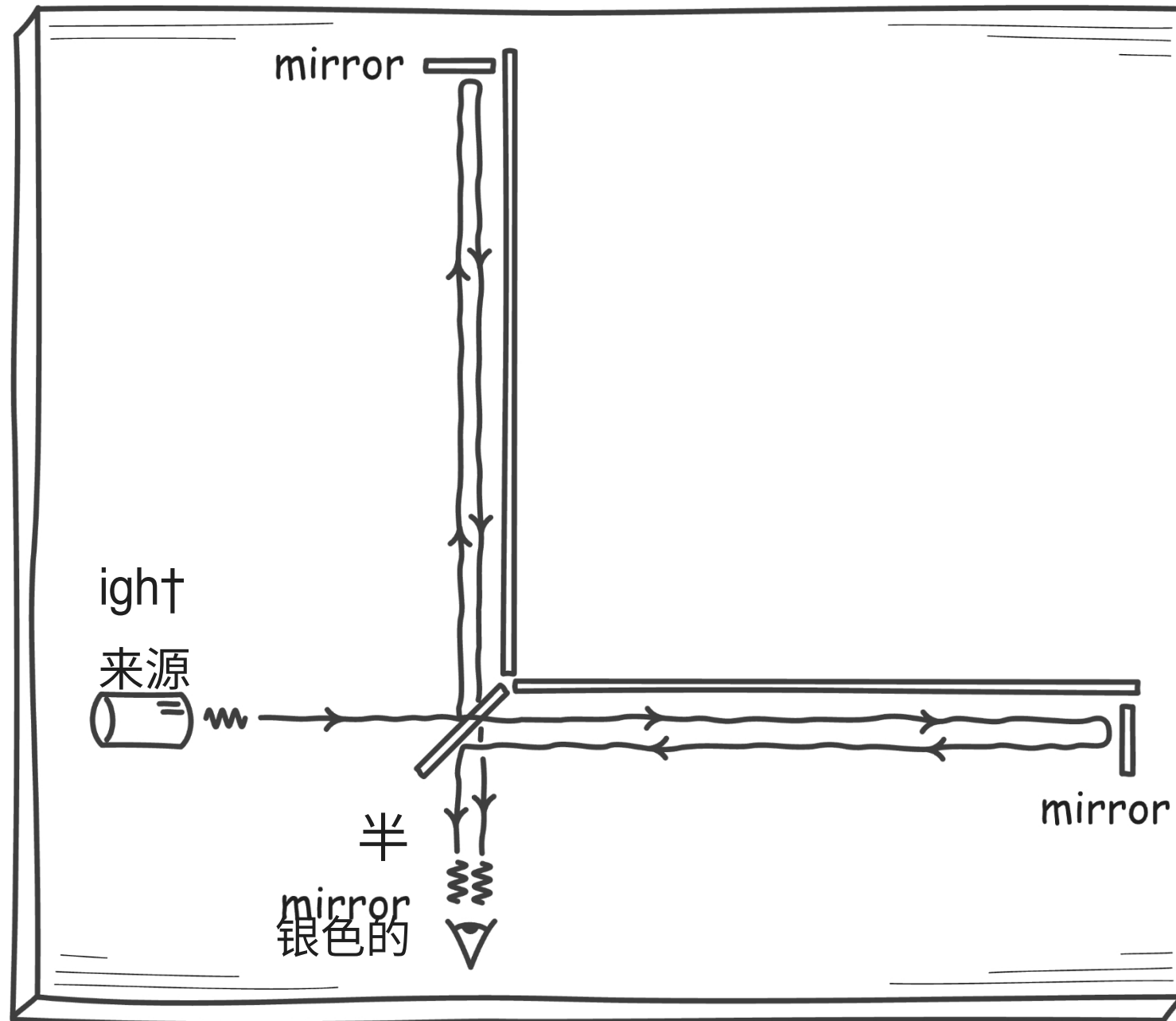
and  $ca$  is partly reflected along  $ad$ . If theo Abe pxths  $aó$  cod  $ac$   
are equal, the two rays interfere along  $ad$ . Suppose now,  
ether being at rest, chet dia n bolo nparatim nova io the di.  
讽刺的是，这是个不折不扣的骗子。

# 米歇尔森-莫利实验

- 实验的基本思想是，光在运动的地球上的**运动方式不同**，取决于它是横向传播还是平行传播。
- 在第一种情况下，乙醚电流流过传播的光，使它稍微慢一点。  
在第二种情况下，它提供一种头风，使光更慢，或提供一种尾风，使它加速。
- 以下是该实验寻求寻找这些差异的方式的示意图。

# 米歇尔森-莫利实验

- 一个光源将一束光送到一个半银镜上，该镜将光束一分为二。
- 一半继续朝同一方向前进；另一半则以90度角送走。它们都以相等的距离撞击镜子，镜子将它们反射到一个可以看到的地方。
- 镜子与半银镜的距离是相等的，这一点由图中连接它们的两根等长的杆子表示。



# 米歇尔森-莫利实验

- 如果你不想象一束光，而只是想象一个**光的脉冲**，你可以最简单地掌握实验的工作方式，如图所示。
- 由于到两个镜子的距离是相同的，两个脉冲将需要相同的时间来穿越出去和回来的距离，它们将在同一时间被检测到。

# 米歇尔森-莫利实验

- 在实践中，不使用脉冲。使用的是一束稳定的光。然而，基本的分析仍然是相同的。
- 光束中的每个单独的峰值和谷值都表现为一个单一的脉冲。传播时间的任何差异将表现为波峰和波谷在检测屏幕上结合时的错位。这两个波的结合在检测屏幕上产生干涉条纹。波峰和波谷排列的任何变化都会显示为**干涉条纹的变化**。

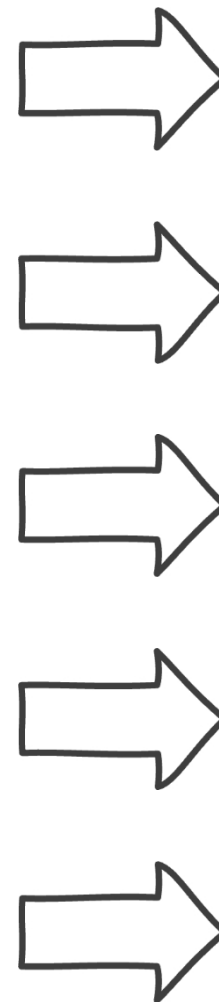
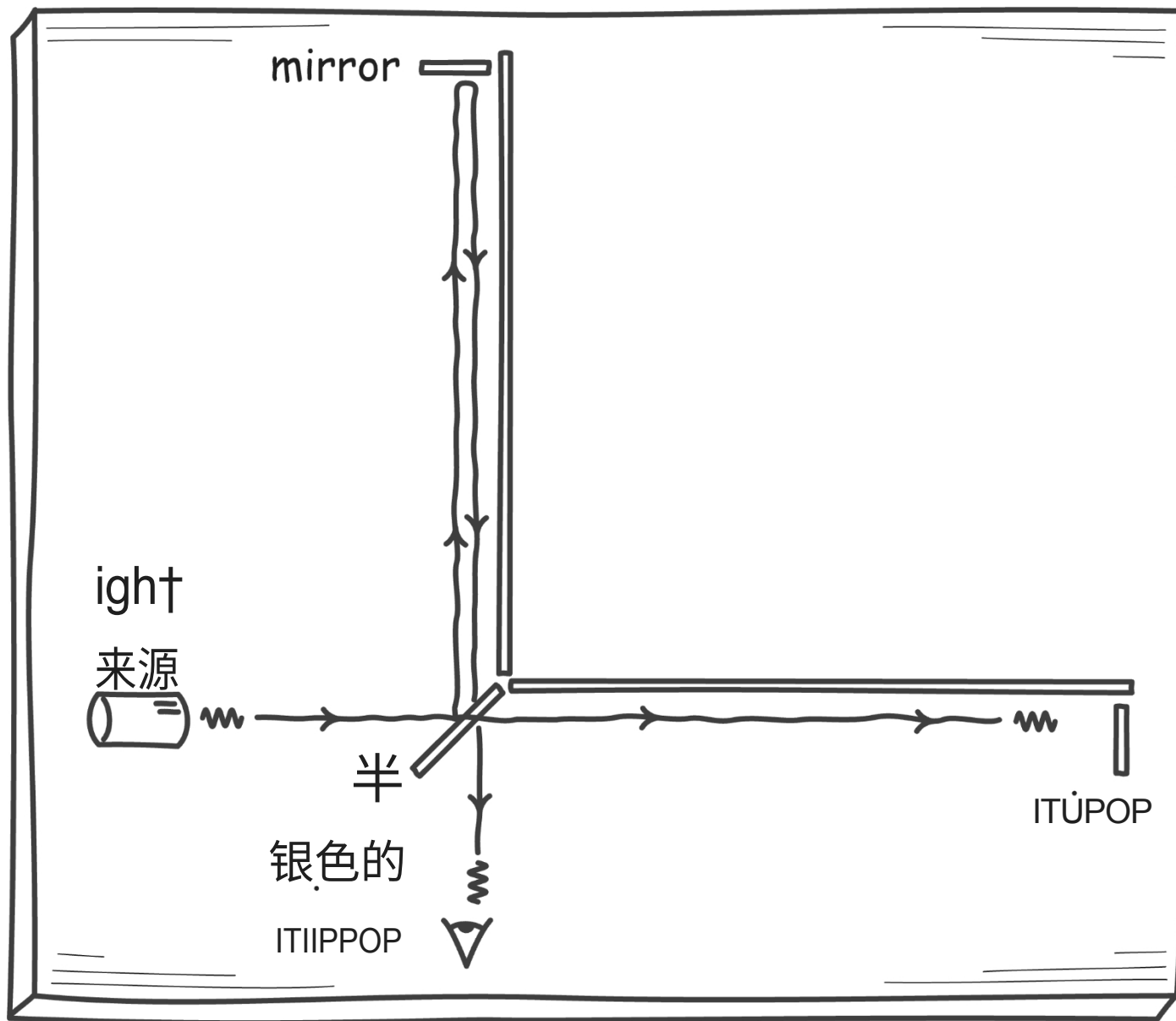


# 米歇尔森-莫利实验

- 在使用过程中，仪器被非常缓慢地转动，使乙醚电流从连续的不同方向通过它。
- 在这个转动过程中，乙醚电流以不同的方式影响在两个方向上传播的光，这些变化预计将表现为观察到的干涉模式的变化。

# 米歇尔森-莫利实验

- 例如，想象一下，下图中的水平方向与地球在乙醚中的运动方向一致。
- 那么，从经典的角度考虑，我们希望乙醚电流能够减缓光脉冲的旅行时间，使其在与乙醚电流横向的方向上往返。乙醚电流对平行于乙醚电流往返的脉冲的净影响是更大的减速。



# 米歇尔森-莫利实验

- 例如，在一个极端的情况下和不现实的情况下，如果仪器以 $0.866c$ 的速度移动，那么横向脉冲的传输时间就会增加一倍；而纵向脉冲的传输时间会增加四倍。
- 因此，如图所示，当横向脉冲到达检测器时，纵向脉冲仍在穿越仪器。
- **结果是否定的。**迈克尔逊和莫利发现了干涉条纹的偏移，但它们远远小于从已知的地球轨道运动中预期的效果大小。

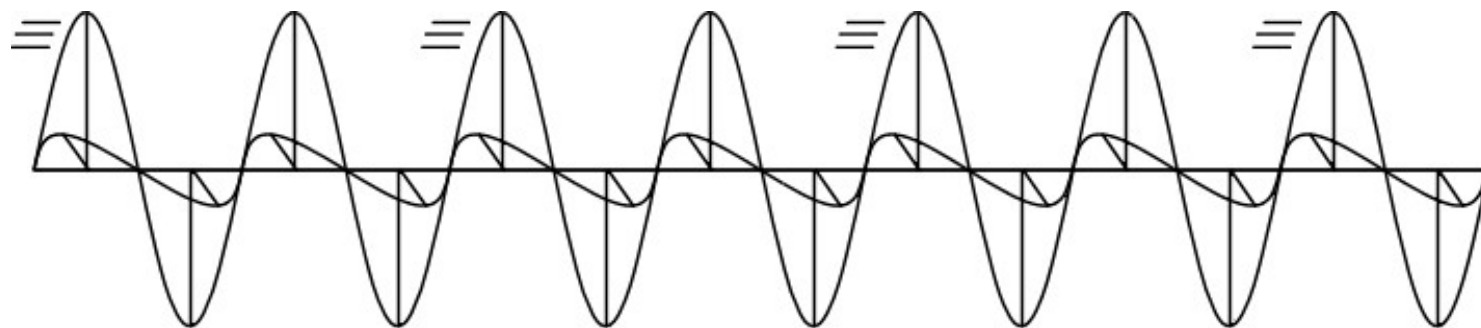
# 米歇尔森-莫利实验

- 这些到达时间的差异将随着仪器的旋转而改变，它们将表现为可观察到的干涉条纹的变化。
- 19世纪旨在检测乙醚电流的传统实验的结果是负面的。19世纪的光波理论依赖于这个乙醚。它是承载光波的东西，就像空气承载声波一样。然而，没有任何实验能显示出乙醚电流的方向或大小。

# 米歇尔森-莫利实验

- 到19世纪末，通过将光学纳入麦克斯韦的电场和磁场理论，这一难题得到了深化和拓展。在19世纪60年代，麦克斯韦表明

**一个光波实际上是一个电场和磁场的波，一个电磁波。所以现在发光的乙醚也是承载这些场的乙醚。**





# 出席情况

<https://www.wjx.cn/vm/h4hwle8.aspx#>

# 迈克尔逊-莫里实验 - 星期四的教程

- 星期三，请讨论以下内容：
- 迈克尔逊-莫里实验未能揭示地球通过乙醚的运动。讨论一下迈克尔逊-莫利实验的实验装置及其结果。你如何解释这一失败（提示：H.A. Lorentz有一个解释）？