

相对论



教学基本要求

一 了解爱因斯坦狭义相对论的两条基本原理，以及在此基础上建立起来的洛伦兹变换式。

二 了解狭义相对论中同时的相对性，以及长度收缩和时间延缓的概念，了解牛顿力学的时空观和狭义相对论的时空观以及二者的差异。

三 理解狭义相对论中质量、动量与速度的关系，以及质量与能量间的关系。

一 伽利略变换式 经典力学的相对性原理

相对于不同的参考系，经典力学定律的形式是完全一样的吗？

牛顿力学的回答：

对于任何惯性参照系，牛顿力学的规律都具有相同的形式。这就是经典力学的相对性原理。

伽利略变换

当 $t = t' = 0$ 时

O 与 O' 重合

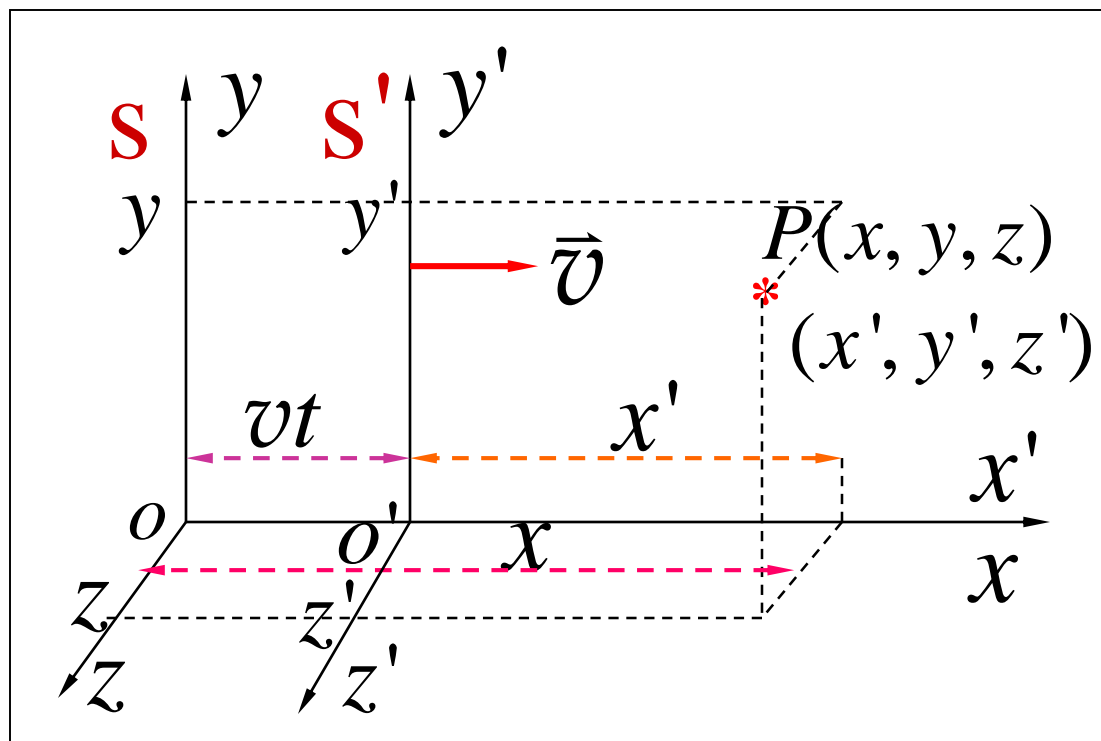
位置坐标变换公式

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$



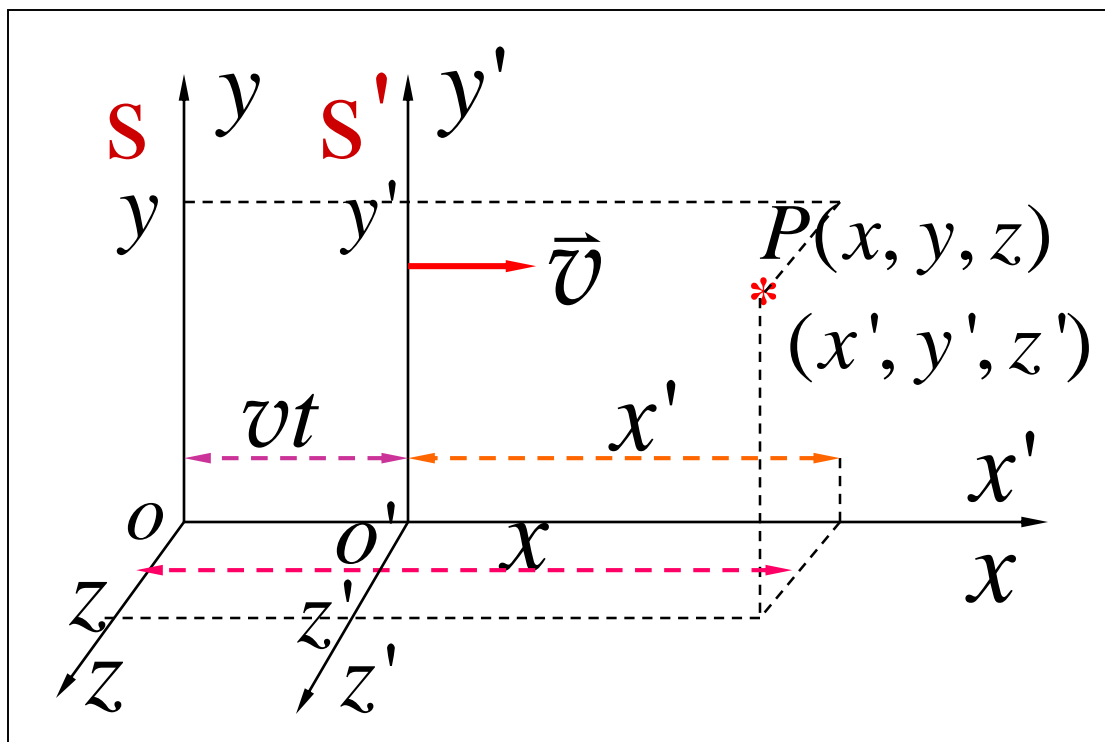
经典力学认为：**1)** 空间的量度是绝对的，与参考系无关；**2)** 时间的量度也是绝对的，与参考系无关。

伽利略速度变换公式

$$\begin{cases} u'_x = u_x - v \\ u'_y = u_y \\ u'_z = u_z \end{cases}$$

加速度变换公式

$$\begin{cases} a'_x = a_x \\ a'_y = a_y \\ a'_z = a_z \end{cases}$$



$$\vec{a} = \vec{a}'$$

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \longleftrightarrow \quad \vec{F} = m\vec{a}'$$

在两相互作用匀速直线运动的惯性系中，牛顿运动定律具有相同的形式。



注意

牛顿力学的相对性原理，在宏观、低速的范围内，是与实验结果相一致的。

二 经典力学的绝对时空观

相对于不同的参考系，长度和时间的测量结果是一样的吗？

◆ 绝对时空概念：时间和空间的量度和参考系无关，长度和时间的测量是绝对的。

牛顿的绝对时空观



牛顿力学的相对性原理

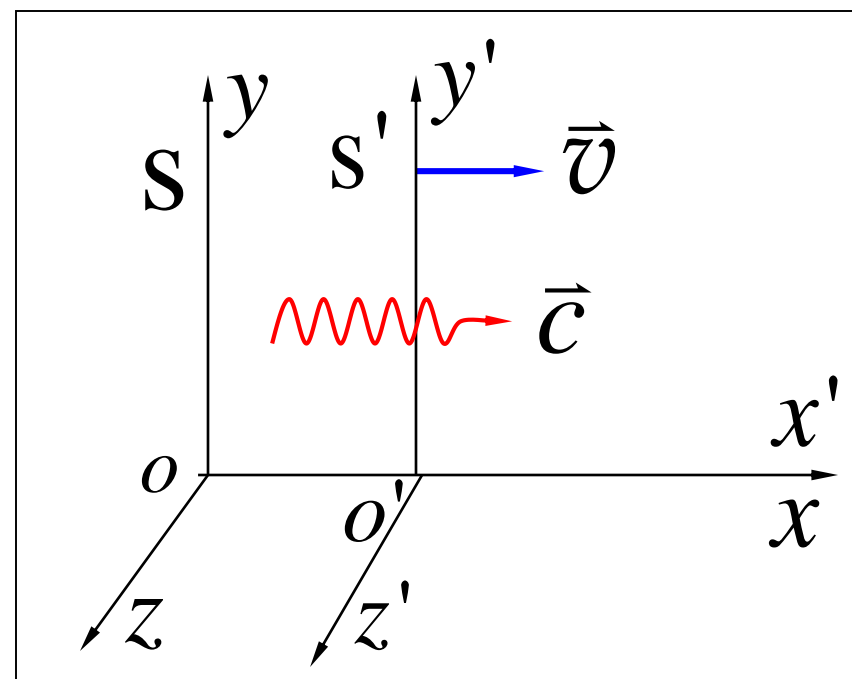
实践已证明，绝对时空观是不正确的。

对于不同的惯性系，电磁现象基本规律的形式是一样的吗？

真空中的光速 $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$

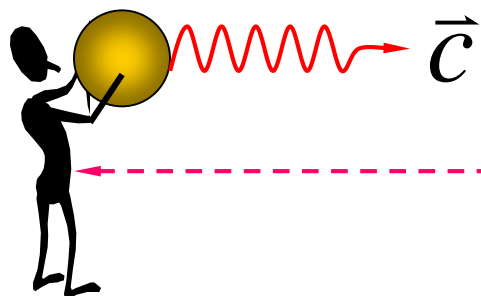
对于两个不同的惯性参考系，光速满足伽利略变换吗？

$$\vec{c}' = \vec{c} \pm \vec{v}?$$



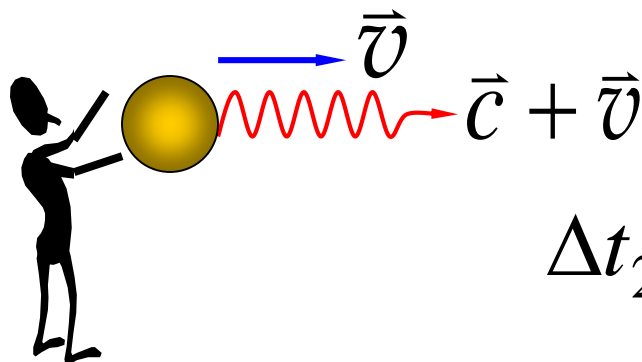
试计算球被投出前后的瞬间，球所发出的光波达到观察者所需要的时间。(根据伽利略变换)

球
投
出
前



$$\Delta t_1 = \frac{d}{c}$$

球
投
出
后



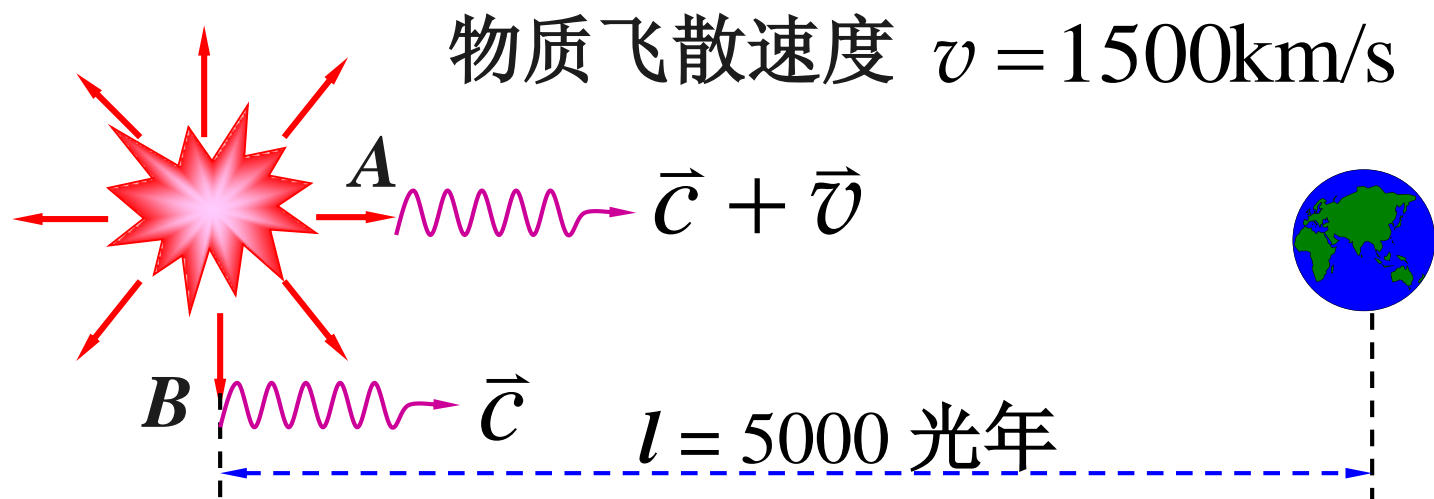
$$\Delta t_2 = \frac{d}{c + v}$$

$$\Delta t_1 > \Delta t_2$$

结果:观察者先看到投出后的球，后看到投出前的球。

900 多年前（公元1054年7月）一次著名的**超新星爆发**，这次爆发的残骸形成了著名的金牛星座的蟹状星云。北宋天文学家记载从公元 1054年 ~ 1056年均能用肉眼观察，特别是开始的 23 天，白天也能看见。

当一颗恒星在发生超新星爆发时，它的外围物质向四面八方飞散，即有些抛射物向着地球运动，现研究超新星爆发过程中光线传播引起的疑问。



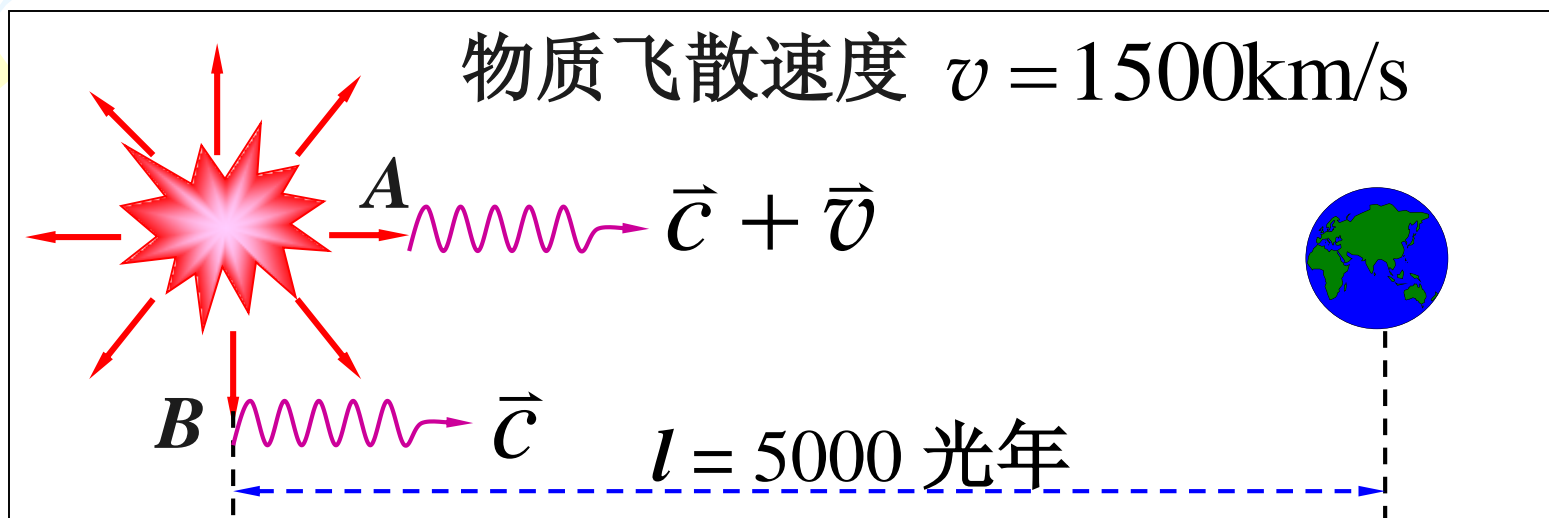
A 点光线到达地球所需时间 $t_A = \frac{l}{c+v}$

B 点光线到达地球所需时间 $t_B = \frac{l}{c}$

理论计算观察到超新性爆发的强光的时间持续约

$$\Delta t = t_B - t_A \approx 25 \text{年}$$

实际持续时间约为 22 个月，这怎么解释？





这个星云是在1731年被英国的一位天文爱好者比维斯发现的。

因为这个星云的形状有点像螃蟹被取名为**蟹状星云** (Crab Nebula)。

根据中国历史记载，在现在蟹状星云的那个位置上，曾经有过超新星爆发，那就是1054年7月出现的、特亮的金牛座“天关客星”。它爆发过程中抛射出来的气体云，就应该是现在看到的蟹状星云。

1921年，美国科学家把两批相隔12年的蟹状星云照片进行了仔细和反复的比较之后，确认星云的椭圆形外壳仍在高速膨胀，速度达到每秒1300千米。1942年，荷兰天文学家奥尔特以其令人信服的论证，确认蟹状星云就是1054年超新星爆发后形成的。

我国史书《宋会要》记载：“嘉佑元年三月，司天监言：‘客星没，客去之兆也’。初，至和元年五月，晨出东方，守天关，昼见如太白，芒角四出，色赤白，凡见二十三日”。说的是公元1054年7月4日清晨，天空中出现了一颗特别明亮的超新星，在金牛座（中国古星名“天关”）附近，白天也能看见它亮如金星，光芒四射，一直持续了23天。这颗超新星爆发过程中抛射出来的气体，至今还在以每秒上千公里的速度迅速地向四面八方膨胀……”这是关于一颗超新星的记载，它的残骸，就是我们现在看到的蟹状星云。

蟹状星云还是强红外源、紫外源、X射线源和 γ 射线源。它的总辐射光度的量级比太阳强几万倍。1968年发现该星云中的射电脉冲星，它的脉冲周期是0.0331秒，为已知脉冲星中周期最短的一个。目前已公认，脉冲星是快速自旋的中子星，有极强的磁性，是超新星爆发时形成的坍缩致密星。蟹状星云脉冲星的质量约为一个太阳质量，其发光气体的质量也约达一个太阳质量，可见该星云爆发前是质量比太阳大若干倍的大天体。星云距离约6300光年，星云大小约12光年 \times 7光年。



1888年出版《星云星团新总表》列为NGC1952，《梅西耶星团星云表》中列第一，代号M1。蟹状星云的名称是英国天文爱好者罗斯命名的。M1是最著名的超新星残骸。这颗位于金牛座的超新星爆发当时估计其绝对星等达到了-6等，[注：绝对星等——假设天体在一个标准距离远处——32.6光年的亮度，太阳的绝对星等为4.8]相当于满月的亮度，它的实际光度比太阳高5亿倍，在白天也能看到，给当时的人们留下了极深刻的印象。

不仅如此，它的遗迹星云至今的辐射也比太阳大，射电观测发现它的辐射强度和波长之间的关系不能用黑体辐射定律解释，要发射这样强的无线辐射，它的温度要在50万度以上，对一个扩散的星云来说，这是不可能的，前苏联天文学家什克洛夫斯基1953年提出，蟹状星云的辐射不是由于温度升高产生的，而是由“同步加速辐射”的机制造成的。这个解释已得到证实。



蟹状星云中央脉冲星的发现，获得了1974年的“诺贝尔物理奖”，它是1982年前发现的周期最短的脉冲星，只有0.033秒，并且直到现在，能够在所有电磁波段上观察到脉冲现象的只有它和另一颗很难观测的脉冲星。这颗高速自旋的脉冲星证明了30年代对 neutron star 的预言，肯定了一种恒星演化理论：超新星爆发时，气体外壳被抛射出去，形成超新星遗迹，就象蟹状星云，而恒星核心却迅速坍缩，由恒星质量决定它的归宿是颗白矮星或是中子星或是黑洞。



中子星内部没有热核反应，但它的能量却又大的惊人，比太阳大几十万倍，这样大的能量消耗，靠的是自转速度的变慢，即动能的减少来补偿，才能符合能量守恒定律。第一个被观测到的自转周期变长的中子星，恰好是M1中的中子星。总之，人类对蟹状星云的研究占了当代天文学研究的很大比重，也的确得到了相当比重的研究成果。



