# 第十五章 3 狭义相对论的其他结论

大家早已熟悉了这样的问题：河水的流速是3 m/s；小船顺流而下，由于划船，它相对河水的速度是1 m/s；那么，船相对于岸的速度是多少？答案是

3 m/s+1m/s = 4 m/s

这种情况下应该把两个速度相加，这似乎是不言而喻的，无需证明。但是，实验表明，光对任何运动物体的速度都是一样的，好像对于以3×108 m/s的速度传播的光，速度变换的法则不再适用。那么，对于一列火车、一艘飞船、一个微观粒子，如果它们高速运动，速度的变换要遵守什么法则？

由于这个法则的导出比较烦琐，这里直接给出结果。本节其他两个结论也是这样处理的。

## 相对论速度变换公式

仍以高速火车为例，设车对地面的速度为*v*，车上的人以速度*u*ʹ沿着火车前进的方向相对火车运动，那么他相对地面的速度*u*为

*u*＝ （1）

在狭义相对论的书籍中，通常用*v*表示两个参考系的相对速度。所以物体相对于参考系的速度就用*u*表示，以免混淆。

如果车上人的运动方向与火车的运动方向相反，则*u*ʹ取负值。当这两个速度的方向垂直或成其他角度时，情况比较复杂，上式不适用，我们不讨论这种情况。

按照经典的时空观，*u*=*u*ʹ+*v*。而从（1）式来看，实际上人对地面的速度*u*比*u*ʹ与*v*之和要小，不过只有在*u*ʹ和*u*的大小可以与*c*相比时才会观察到这个差别。

### 思考与讨论

（1）如果*u*ʹ和*v*都很大，例如*u*ʹ=0.6*c*，*v*=0.6*c*，它们的合速度会不会超过光速？如果*u*ʹ和*v*更大些呢？

（2）若*u*ʹ=*c*，即在运动参考系中观察光的速度是*c*，求证：*u*=*c*，即在另一个参考系中光的速度也是*c*，而与*v*的大小无关。

这两项讨论的重要性在于，任何理论都应该是自恰的，即不应该自相矛盾。狭义相对论的基本假设之一是光对任何参考系的速度都是一样的，这两项结果应该与它一致。这种自恰性检验是对一个学说、一项工作的最基本的评估。

## 相对论质量

按照牛顿力学，物体的质量是不变的，因此一定的力作用在物体上，产生的加速度也是一定的，这样，经过足够长的时间以后物体就会达到任意的速度。但是相对论的速度叠加公式表明，物体的运动速度不能无限增加，这个矛盾启发我们思考：物体的质量是否随物体速度的增加而增大？严格的论证证实了这一点，实际上，物体以速度*v*运动时的质量*m*与静止时的质量*m*0之间有如下关系

*m*= （2）

由于物体的速度*v*不可能达到光速，所以总有*v*<*c*，1－（）2<1；根据（2）式，物体运动时的质量*m*总要大于静止时的质量*m*0。

微观粒子的运动速度很高，它的质量明显地大于静止质量，这个现象必须考虑。例如，回旋加速器中被加速的粒子，在速度增大后质量增大，因此做圆周运动的周期变大，它的运动与加在D形盒上的交变电压不再同步，回旋加速器粒子的能量因此受到了限制。

关于回旋加速器，可以复习《选修3-1》第三章。

## 质能方程

相对论另一个重要结论就是大家都很熟悉的爱因斯坦质能方程

*E*=*mc*2 （3）

式中*m*是物体的质量，*E*是它具有的能量。

**图15.3-1 爱因斯坦的质能方程震撼了人类社会，它甚至反映在街头雕塑中。**



### 思考与讨论

静止时质量是1 kg的物体，以10 m/s的速度运动，它具有的动能是多少？与这个动能相对应，它的质量增加了多少？

按照运动物体的质量与速度的关系式（2），这个物体的质量增加了多少？

学过《选修3-5》第十九章后就会发现，这个关系使我们看到了蕴藏在原子核中的巨大能量。

## 问题与练习

1．两个电子相向运动，每个电子对于实验室的速度都是*c*，它们的相对速度是多少？在实验室中观测，每个电子的质量是多少？本题和下题计算结果中的光速*c*和电子的静质量*m*e不必代入数值。

2．上题中，在实验室观测，两个电子的总动能是多少？以一个电子为参考系，两个电子的总动能又是多少？计算时应由电子运动时的能量减去静止时的能量得到电子的动能。

物理学的研究常常要用到高速粒子的相互撞击。通过这个习题我们看到，为使相互碰撞的粒子达到一定的相对速度，同时加速两束粒子，使它们迎头相撞，这样所需的能量要比只加速一束粒子，用它去轰击静止靶所需的能量少，因而在技术上容易实现。由于这个原因，有时候人们使用粒子对撞机，而不用普通加速器。

3．一个原来静止的电子，经过100 V的电压加速后它的动能是多少？质量改变了百分之几？速度是多少？