

195 纵质量和横质量

主题

在狭义相对论中，有时要引入纵质量 (longitudinal mass) 和横质量 (transverse mass) 这两个概念。这是为了表示这样的意思，即一个物体在其运动方向上的惯性不同于 (大于) 与其运动方向垂直的惯性。

负担

如果我们强调质量是惯性大小的量度，我们就需要引入两个新的质量概念。事实上，一个以相对论速度运动的物体在其运动方向上的惯性比垂直于运动方向上的惯性大。

对此，有两点需要说明：

1. 无论质量是否符合我们测量惯性大小的需要，我们必定要问，对在运动过程中的物体的惯性质量如何理解。对惯性质量 T 的合理定义是：

$$T:=F/a. \quad (1)$$

(译者注：符号:=为定义号) 这个定义式不仅仅适用于经典力学中的运动，而适用于所有运动。在经典力学中，加速度正比于力，即

$$T=m.$$

我们将 (1) 写成另一种形式。根据 $a=dv/dt$ 和 $F=dp/dt$ ，我们得到：

$$T:=dp/dv.$$

这一惯性质量的定义式告诉我们，要使物体的速度改变 dv ，必须给它提供相应的动量 dp 。

由于我们已经知道了 p 和 v 之间的相对论关系，因此我们容易计算出相应的惯性质量。对于某一动量变化，在运动方向上我们有：

$$T_l(v) = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{3}{2}}};$$

在垂直于运动方向上我们有：

$$T_i(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

我们先来讨论在运动方向上的惯性质量。它既不等于静质量，也不等于相对论质量：

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

这一点在如图 1 所示的 $p(v)$ 关系图线中很容易看出。 T 由图中红色直线的斜率（即微分 dp/dv ）给出。然而，相对论质量等于图中绿色直线的斜率。只有在刚开始时， dp/dv 才近似（经典近似）等于 p/v ，即等于静质量（见图中蓝色的切线）

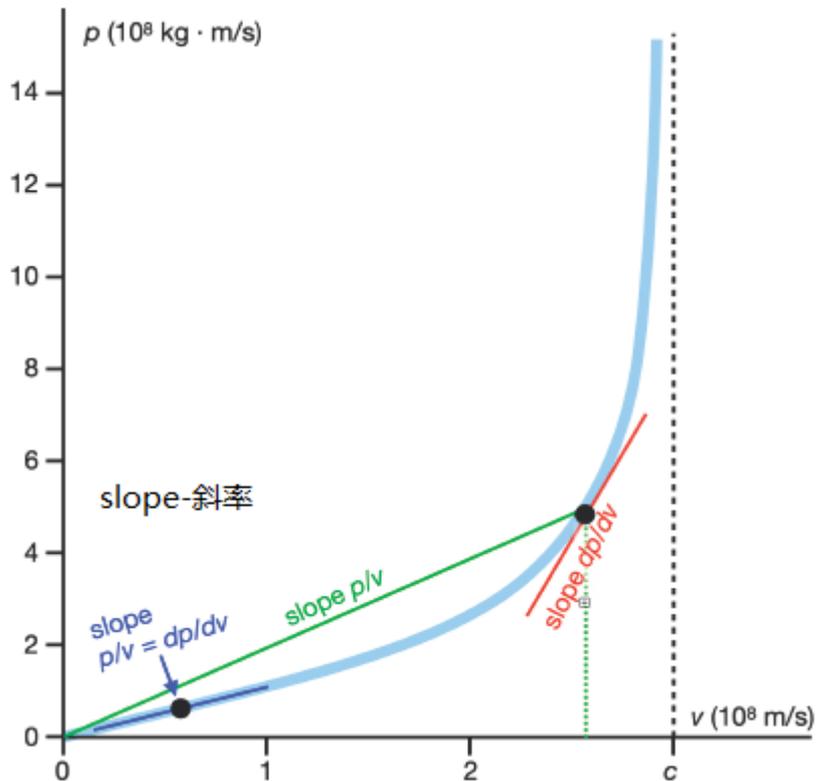


图 1. 一个物体的惯性质量由函数 $p(v)$ 的斜率给出。它由速度决定。

现在，我们来讨论横向惯性。在与运动方向垂直的方向上，物体并没有运动。

然而，这并不意味着这横向惯性是用静质量来描述的。这是因为，物体的质量由于高速的纵向运动而增加了。

简单地说，惯性质量是一个物理量，它在给定的确切方向上的值比在垂直于这个方向上的值更大。换句话说，惯性质量是一个张量。

2. 我们是否可以得出这样的结论，除了静质量和相对论质量，是否还存在另一个质量：张量质量（tensorial mass）？这个问题提得不好。一个物理量的存在是因为我们引入了这个物理量，即定义了这个物理量。让我们换一种更恰当的方式来提这个问题：除了静质量和相对论质量外，我们是否可以再引入张量质量？对这个问题的谨慎回答是：如果有必要的话，我们可以引入这个量。问题是，这有必要吗？对这个问题的回答很可能是否定的。

这是不是与把质量完美地解释为惯性大小的量度相矛盾？

有点矛盾。但是，为什么质量非得比别的物理量更具有优越性呢？请记住：

●当我们创建（发明）一个新的理论时，如果这个理论中所包含的量能直接度量出我们日常生活中所熟知的一些性质，我们会感到很满意。然而，在多数情况下，情况并不是这样。例如，力或热量就是这样的量。

●惯性质量与一些电学量有点相似。电阻是用来描述电阻器的物理量。当有人说这个电阻器的电阻为 $10\text{k}\Omega$ 时，他仅仅在告知一条信息。然而，这只有当电流与电压成正比时才有可能。如果电流与电压不成正比呢？例如，对于一个半导体二极管，我们如何描述它的电阻？这时，用一个电阻值来描述是不够的，我们必须给出它的 $U-I$ 特征曲线。对于电容也同样。对于质量，我们也遇到了同样的情况。一个物体的惯性不能用一个质量值来描述，我们需要如图 1 所示的特征曲线。

历史

纵质量和横质量的概念由洛伦兹在 1899 年引入。在 1905 年，爱因斯坦运用他的相对论对这两个质量进行了计算。从那以后，这两个概念经常出现在物理学中，尽管它们没有明显的作用。

建议

有了静质量和相对论质量就够了，不要再去讨论是否有引入纵能量和横能量的可能。如果不提纵质量和横质量，物理学不会丢失什么。在练习题中可以讨论

物体的纵向惯性和横向惯性之间的差异，但没有必要引入相应的两个新的术语。

在图 1 中包含了所有对这个情境可以理解的内容。如果不象通常那样画“动量-速度”图线，而画“速度-动量”图线（图 2），它们将更容易被理解。这是因为，在“速度-动量”图线中，我们所选择的自变量是动量，而不是速度；并且，动量的值会产生最直接的影响。我们踩加速踏板，让发动机将动量从地球泵到汽车。这时，我们可以从速度计中看到其效果，从中读出速度的值。

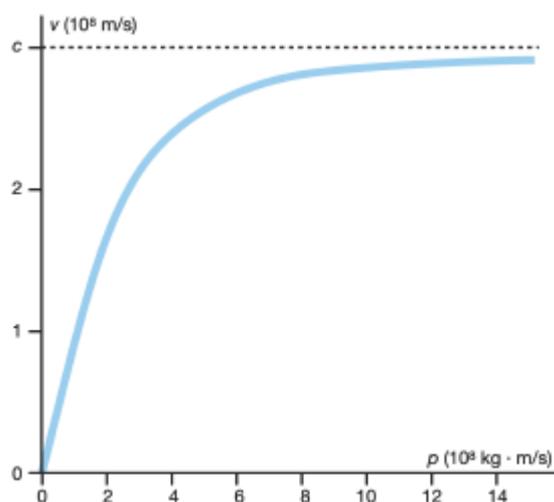


图 2. 函数 $v(p)$ 告诉我们关于物体惯性的变化情况。

然而，我们又如何去理解“质量量度惯性大小”这一被广为认可的法则呢？这时，我们应该必须稍作一些相对论的处理：只有当速度不是很大时，它量度惯性的大小。只有当 $v \ll c$ 时，惯性才是物体的内禀特性，而与它的状态无关。

Friedrich Herrmann

（陈敏华，2020 年 12 月 2 日译毕于浙江省绍兴市柯桥区鉴湖中学）