

文章编号:1007-6492(1999)01-0082-02

从理想实验出发导出质能关系式

于天池<sup>1</sup>, 郭青山<sup>1</sup>, 王佳菱<sup>2</sup>

(1. 郑州工业大学数理力学系, 河南 郑州 450002; 2. 黑龙江工商学院基础部, 黑龙江 哈尔滨 150076)

**摘 要:** 为加强对爱因斯坦质能关系式的直观性认识, 更透彻地理解其深刻的物理含义, 借助于理想实验导出爱因斯坦质能关系式.  
**关键词:** 质心; 相对论; 理想实验  
**中图分类号:** O 412 **文献标识码:** A

质能关系式  $E = mc^2$  又称质能联系定律, 它是爱因斯坦从相对论的假设中得到的关于质量与能量相互间的关系式, 是相对论的一个著名结论. 经过近一个世纪人们对核物理和放射性的研究, 业已证实它是自然界普遍遵守的一条基本定律.

质能关系式在各种物理教材<sup>[1~3]</sup>, 甚至有关相对论的专著<sup>[4~9]</sup>中, 都是根据相对论力学原理采用数学的方法推导得出. 尽管导出过程极为严密, 但对学习相对论的读者来说, 却缺乏直观性的认识, 从而影响对该关系式的正确理解. 此外, 物理学既然是一门以实验为基础的科学, 其概念的引进、理论的论述都应以实验为其出发点. 因此笔者认为, 该关系式还是从实验中导出更有意义. 下面我们将借助于一理想实验导出质能关系式, 并作适当的注释.

1 理想实验

假设有一质量为  $M$ , 长为  $L$  的箱子, 静止放置. 它与外界无任何相互作用(可视箱子为孤立系统), 为计算简单起见, 设箱子上下、前后 4 个侧面没有质量, 左右两端面的质量均为  $\frac{M}{2}$ , 如图 1 所示.

箱内左端面处发射一电磁波向右传播. 按照电磁理论, 能量为  $E$  的电磁辐射具有动量为  $E/c$ , 假定其尚有质量为  $m$ . 在发射电磁波的同时, 静止箱获得的运动速度为  $v$ . 由于系统的总动量始终保持为零, 即有:  $(M - m)v = E/c$ , 由此可知箱向左的移动速度  $v = E/(M - m)c$ . 因  $m \ll M$ , 故可认为箱的速度为

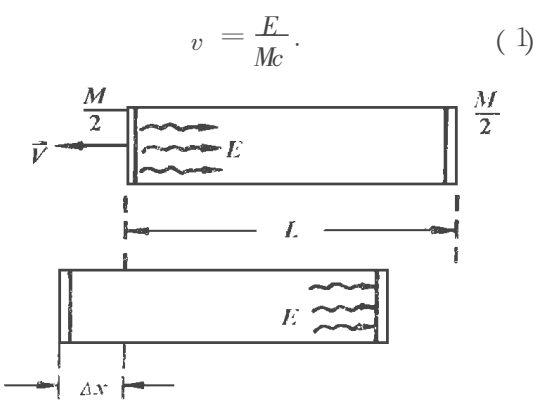


图 1 理想实验

发射出的电磁波经时间  $\Delta = \frac{L}{c}$  后, 它将传播至箱的右端面并给予右端面以冲量, 该冲量的大小恰好等于箱子初时所获得的动量, 但方向相反, 因此箱将恢复其原来的静止状态.

整个辐射过程结束后, 箱子将向左移动一段距离为  $\Delta x = v \cdot \Delta$ , 将式 (1) 代入, 得

$$\Delta x = \frac{LE}{Mc^2} \tag{2}$$

由于电磁波自左向右发射, 使箱的左、右两端面的质量分别变为  $\frac{M}{2} - m$  和  $\frac{M}{2} + m$ . 但又由于箱为孤立系统, 其质心的位置不会因系统内部进行物理过程而有所变动, 即应有

$$\left(\frac{M}{2} - m\right)\left(\frac{L}{2} + \Delta x\right) = \left(\frac{M}{2} + m\right)\left(\frac{L}{2} - \Delta x\right) \tag{3}$$

由此式可得到  $m = \frac{M \cdot \Delta x}{L}$ . 将式 (2) 代入, 最后得

到

$$m = \frac{E}{c^2} \quad \text{或} \quad E = mc^2, \quad (4)$$

这正是著名的爱因斯坦质能关系式.

2 两点注释

(1) 箱内发生的物理过程是:在能量自左向右辐射的同时,伴随有一定数量的质量由左向右转移.众所周知,质量是惯性大小的量度.因此,该实验表明:能量具有惯性,其量值由式(4)所确定.

初看起来,本实验似乎仅仅显示出辐射形式的能量才具有惯性.然而进一步分析本实验,当辐射能到达右端面被吸收后,鹅会转变为端面物质的热能.因此可得出结论:任何形式的能量都具有由式(4)所确定的质量.

(2) 物理学家常常用质能关系式来研究核的转变过程,给人的印象似乎是只有原子范围内的微观粒子诸如核、质子和氘子等的行为才遵守质能关系式.然而这一重要关系式却有其普遍的意义,它说明:任何物体如其能量的变化为  $\Delta E$ ,则其惯性质量也必有相应的变化  $\Delta m$ ,二者的关系必须满足式(4),或常表示成:  $\Delta E = c^2 \cdot \Delta m$ .

例如:一运动的高尔夫球,要比静止的同样高

尔夫球具有较多的质量,一被弹簧拉伸的物体,要比未受拉伸的同样物体具有较多的质量;点燃的灯丝,要比已冷却的同样灯丝具有较多的质量;充电电容器,要比放完电的同样电容器具有较多的质量.不过根据式(4)可知,所增多的质量数量非常非常小,使人们难以觉察,甚至无法进行测量,这也正是该关系式迟迟未被发现的一个原因.

结论:从理想实验出发,可导出爱因斯坦质能关系式.该实验证明:任何形式的能量都具有式(4)所确定的质量.

参考文献

[1] BUECHE F J . 物理学导论(上)[M] . 殷大钧译. 北京:人民教育出版社,1979.180—182.  
[2] SEARS F W, 大学物理学(第一册)[M] . 郭泰运译. 北京:人民教育出版社,1979.429—432.  
[3] 李怡严. 大学物理学(第二册)[M] . 台湾:台湾东华书局,1978.471—474.  
[4] FRENCH A P . 狭义相对论[M] . 魏元烈译. 台北:徐化基金会出版社,1975.13—17.  
[5] STEPHENSON G, 狭义相对论[M] . 沈立铭译. 上海:上海科学技术出版社,1979.63—65.  
[6] EINSTEIN A, 相对论原理[M] . 赵志田译. 北京:科学出版社,1980.58—60.

Derivation of the Formula of Mass —energy Equation  
Through an Ideal Experiment

YU Tian —chi<sup>1</sup>, GUO Qing —shan<sup>1, 2</sup>, WANG Jia —ling<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>.Department of Mathematics, Physics and Mechanics, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Department of Mathematics Science, Heilongjiang Institute of Commerce, Harbin 150076, China)

**Abstract** :For the purpose of understanding the Einstein's formula of mass —energy equation fully the formula is derivated with the aid of an ideal experiment .

**Key words** center of mass ;theory of relativity ;ideal experiment