

电磁相对论梗概

冯天岳

摘要：根据光速不变和惯性系平等假设，推导出洛伦兹变换。由洛伦兹变换导出事件的可观测量和光速合成公式。借助两个假设证明了电磁动量遵从洛伦兹变换。于是从理论上，证明了质速公式。

关键词：相对论 电磁学 洛伦兹变换 质速关系 质能公式

1. 参照物

以光源为参照物，区分静止坐标系 S 和运动坐标系 S' 。运动光源为运动坐标系 S' 。静止坐标系中只有观测者没有观测对象，运动坐标系中没有观测者只有被观测的对象，光和电磁源是被观测对象。

2. 本征值

静止坐标系 S 中的光矢为本征值，与其对应的坐标值也是本征值。当 S 系与 S' 系相对静止并重合时，如图 1 所示，有

$$OA = O'A' \quad OB = O'B' \quad x = x' \quad (1)$$

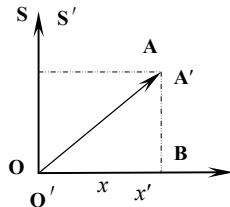


图 1

3. 惯性系平等

当 S' 系相对于 S 系运动时， S' 系中的 $O'A'$ 与 S 系中的 OA 仍然相同，叫作惯性系平等。如图 2 所示，(1) 式成立。



图 2

4. 观测值

把图 2 改为图 3 的形式。

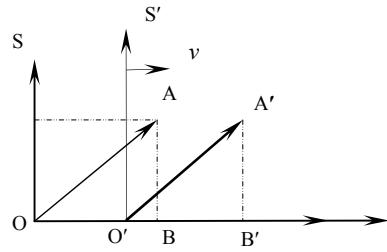


图 3

在图 3 中，**S** 系中的观测者对 **S'** 系中的 **O'A'** 进行观测，观测的结果是 **S** 系中的 **O'A**，如图 4 所示。

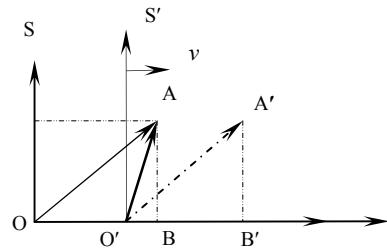


图 4

O'A 的坐标为 **S** 系中的 x' ，即 **O'B**。它们叫观测值。从图 4 中看出

$$OA \neq O'A \quad OB \neq O'B \quad x \neq x' \quad (2)$$

这个结果称为观测效应。

5. 光速不变假设

假设光的速度相对于任何惯性系都是常数 c ，则图 4 中，有

$$OA^2 - c^2 t^2 = 0 \quad (3)$$

$$O'A^2 - c^2 t'^2 = 0 \quad (4)$$

6. 洛伦兹变换

图 4 中，当 O' 趋近于 O ， A' 趋近于 A ， OA 很短时，可以认为 OA 与 $O'A$ 是同一条光线。相当于 (3) 和 (4) 式同时成立，从而导出洛伦兹变换式：

$$x' = \frac{x \pm vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5)$$

$$t' = \frac{t \pm \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6)$$

7. 可观测量

众所周知，测量长度须同时确定它两端的坐标值。由于无法对洛伦兹变换的结果完成这种操作，所以洛伦兹变换的结果不具有可观测性。

引入事件的概念之后，再由同地异时和同时异地导出本征值的相对量，即可可观测量。如

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (7)$$

$$\Delta x' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8)$$

式中 Δt 叫原时， Δx 叫原长。它们是 S 系或 S' 系中本征值的相对量。当 S' 系相对于 S 系运动时，这些相对量在 S 系中表现为 $\Delta t'$ 和 $\Delta x'$ ，这是观测效应，即钟慢和尺胀。原时和原长在静止坐标系中最小。

8. 光速合成

速度中的 dx 和 dt 是微分，满足局域性要求。由洛伦兹变换推导出的速度合成公式具有可观测性。实质上，速度合成公式是光速的相对论效应公式，即

$$u' = \frac{u \pm v}{1 \pm \frac{uv}{c^2}} \quad (9)$$

9. 电子动量

电子内部和外部电场构成了电子的自有场。动量在自有场中的平衡速度即是动量的传递速度。由于自有场的线度很小，所以满足洛伦兹变换的局域性要求。借助两个假设能够证明电磁动量遵从洛伦兹变换^[1]，即

$$\Delta p' = \frac{\Delta p}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (10)$$

已知动量的本征值是

$$p = m_0 v \quad (11)$$

所以

$$p' = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (12)$$

$$p' = m v \quad (13)$$

其中

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (14)$$

10. 电磁惯性

宏观物体的惯性性质为

$$m_0 = \frac{F}{a}$$

电荷受到电磁力的作用后，表现出的惯性性质为

$$m_0 \neq \frac{F}{a}$$

而是公式 (14)。这个公式叫质速公式。正确的名称是，电磁惯性质量的质速公式。

11. 电磁能量

根据电磁动能定理，功率的变化等于动能的变化，即

$$v \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{d\mathbf{T}}{dt} \quad (15)$$

再应用公式 (12) 得到

$$E = mc^2 \quad (16)$$

其中 m 由公式 (14) 表示； E 是电子的总能量。把质速公式 (14) 推广到中性粒子之后，则 E 也是中性粒子的总能量。

公式 (16) 的物理意义是

$$\Delta T = \Delta m c^2 \quad (17)$$

ΔT 是动能的变化， Δm 是质量的变化。

总质量是引力质量与惯性质量之和。惯性质量包括引力惯性质量和电磁惯性质量。 Δm 是电磁惯性质量，是非线性的。与 Δm 对应的是电磁动能 ΔT 。这表明公式 (17) 的实质是电磁能量的转变。公式 (16) 只具有象征性意义。电磁动能的释放可能伴随着物质的迁移。

在能量的转变过程中，引力质量和引力惯性质量是不变的。

参考文献

- [1] 冯天岳, 电磁相对论, 武汉出版社, 2010.4

<http://phys.org.cn>

fty163@163.com