

## 现代物理学基础的思考之六——引力质量与电磁质量之间的关系新探

李学生 (Li Xuesheng)

山东大学副教授，理论物理教师，中国管理科学院学术委员会特约研究员，北京相对论研究联谊会会员，中国民主同盟盟员

[xiandaiwulixue@21cn.com](mailto:xiandaiwulixue@21cn.com), [1922538071@qq.com](mailto:1922538071@qq.com)

**摘要 (Abstract):** 物理学是科学的基本学科。本文章分析探讨了现代物理学的重要问题，引力质量与电磁质量之间的关系，供参考。

[李学生 (Li Xuesheng). 现代物理学基础的思考之六——引力质量与电磁质量之间的关系新探. *Academia Arena* 2017;9(14s): 512-539]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 14. doi:[10.7537/marsaaj0914s1714](https://doi.org/10.7537/marsaaj0914s1714).

**关键词 (Keywords):** 质点; 电荷; 引力; 电力; 空间; 方程; 量子力学; 引力质量; 电磁质量

## 目录

## 第一章：电子的电磁质量不是电子静止质量的一部分

- 1、等效原理的适用范围
- 2、希格斯机制的由来
- 3、现代物理学对于希格斯粒子的实验探究
- 4、希格斯机制的局限性
- 5、电子的电量与电荷运动速度之间的关系
- 6、电的本质的思考
- 7、能量均分定理与布朗粒子
- 8、Einstein 科学美学观
- 9、电子的电磁质量不是电子静止质量的一部分
- 10、规范场的新认识

## 第二章：电磁质量的能量

- 1、库仑定律的发现
- 2、引力质量与电磁质量的等价关系
- 3、四个基本假设
- 4、电磁质量的能量
- 5、类星体问题初探
- 6、电磁质量与引力质量的能量转化问题
- 7、电磁质量与引力质量的转化实例分析

## 第三章：电磁质量的量子分布

- 1、夸克理论的提出过程回顾
- 2、现代物理学探求夸克的实验
- 3、现代物理学对于夸克理论的探究
- 4、夸克禁闭问题的由来
- 5、现代物理学对于量子化的困惑
- 6、电磁质量量子化认识过程简要回顾
- 7、经典电动力学电磁波辐射理论的质疑
- 8、磁单极子的存在性问题
- 9、现代物理学实验对于磁单极子的寻找
- 10、电磁质量的几何空间结构
- 11、广义相对论与量子力学没有统一的原因

## 第四章：电磁质量的波粒二象性

- 1、现代物理学中的三类波

- 2、物质波的验证
- 3、电磁质量的波粒二象性
- 4、EPR 悖论的根本性解决

#### 第五章：电磁作用与强相互作用之间的关系

- 1、强相互作用的提出过程回顾
- 2、现代粒子结构的发展
- 3、强相互作用的研究进展
- 4、电磁作用与强相互作用之间的关系
- 5、强相互作用不是短程力
- 6、电子的结构和质子自旋危机的解决
- 7、强相互作用和电磁相互作用关系的实验根据
- 8、惯性概念的发展

### 第一章 电子的电磁质量不是其静止质量的一部分

#### 1、等效原理的适用范围

Einstein 晚年致力于引力场与电磁场统一的研究，如果统一场论按照广义相对论的基础建立，那么电磁场也应当满足广义相对论的等效原理。根据 Einstein 的广义相对性原理，物理定律对于任何参照系都成立，那么下面的理想实验如何解释：假设在真空中有两个质点 A、B，惯性质量均为  $m$ ，带有等量的同种电荷，它们在万有引力和静电力的共同作用下处于平衡状态，能否根据等效原理相当于它们的惯性质量为 0？如果把其中的一个质点的电荷换成异种电荷，能否根据等效原理相当于它们的惯性质量为  $2m$ ？在 Einstein 电梯中也可以设计类似实验：假设电梯绝缘，上部带有正电荷，电梯之中有一负电荷，它们在万有引力和静电力的共同作用下处于平衡状态，在电梯自由下落的过程中 Einstein 思考广义相对论的过程是否仍然可行？

中子引力干涉实验表明：中子在引力场中的干涉行为与它的质量有关，这与 Einstein 广义相对论之弱等效原理的论断：“质点在引力场中的行为与它的质量无关”不符！**笔者认为，主要是由于中子具有磁矩——电磁质量，造成了弱等效原理失效。**

#### 2、希格斯机制的由来

对称是美的，完美的对称只有唯一的一种相互作用，世界也就变得单调而乏味。标准模型包含费米子及玻色子两类-费米子为拥有半整数的自旋并遵守泡利不相容原理（这原理指出没有相同的费米子能占有同样的量子态）的粒子；玻色子则拥有整数自旋并不遵守泡利不相容原理。简单地说，费米子组成物质的粒子，而玻色子负责传递各种作用力。电弱统一理论与量子色动力学在标准模型中合并为一。这些理论都基于规范场论，即把费米子跟玻色子配对起来，以描述费米子之间的力。由于每组中介玻色子的拉格朗日函数在规范变换中都不变，所以这些中介玻色子就被称为“规范玻色子”。标准模型所包含的玻色子有：负责传递电磁力的光子；负责传递弱核力的 W 及 Z 玻色子；负责传递强核力的 8 种胶子。希格斯子也是一种玻色子，然而它与上述这些规范玻色子不同，希格斯粒子负责引导规范变换中的对称性自发破缺，是惯性质量的来源，因此并不是规范玻色子。在研究过程中，杨-米尔斯方法无论应用到弱还是强相互作用中所遇到的主要障碍就是质量问题，由于规范理论规范对称性禁止规范玻色子带有任何质量，然而这一禁忌却与实验中的观测不相符合，如果不能解决质量问题，将使得整个研究失去基础。一开始人们试图通过自发对称破缺机制，即打破规范理论中对拉氏量对称性的严格要求，使得物理真空中的拉氏量不再满足这种对称性，然而到了 1962 年，每一个自发对称性破缺都被证明必定伴随着一个无质量无自旋粒子，这无疑也是不可能的。当 1995 年 3 月 2 日，美国费米实验室向全世界宣布他们发现了顶夸克时，一套称之为标准模型的粒子物理学模型所预言的 61 个基本粒子中的 60 个都已经得到了实验数据的支持与验证，看上去标准模型马上就要获得决定性的胜利，对物质微观结构的探索已经到达了它的尾声，似乎人类也马上就要听到这一跌宕起伏的，充满了高潮与华彩的探索乐章的终曲，但是仍然有一个粒子，游离在这座辉煌的大厦之外，仿佛一个幽灵，这就是希格斯粒子，而且就是这个粒子可能会击垮整座大厦。

希格斯机制是苏格兰物理学家彼得·希格斯和其他理论物理学家同时发现的一种物理机制。如果粒子的运动方程满足规范不变原理，那么粒子的静止质量（以下简称为质量）必须为零，这种粒子一般被称为规范粒子。1964 年希格斯提出的  $E=M^2h^2+Ah^4$  希格斯场公式，在规范场理论中，规范粒子的质量是为对称性所不允许的。这是杨-米尔斯理论的严重缺陷。随着对对称性破缺的深入研究，特别是南部-戈德斯通定理的发现，物理学家们发现在规范理论中零质量的南部-戈德斯通粒子能为零质量的矢量规范粒子提供纵向

分量,从而赋予它们以质量。所谓“希格斯玻色子”的“上帝粒子”,是希格斯(Higgs)为解决当连续的对称性发生自发破缺,却出现一些静止质量为零、自旋为零的所谓:“戈德斯通(J.Goldstone)粒子”的玻色子的矛盾,而提出所谓“希格斯机制”,认为:由于光子的静止质量为零,它不同于一般有静止质量的粒子“有3个极化方向”,而“只有两个与其动量方向垂直的横极化,没有沿运动方向的纵极化”。通常复标量场的两个实分量都是具有“非零的”静止质量。希格斯研讨满足定域 U(1)规范不变性的复标量场与电磁场的相互作用,当选取其中的一种特殊参数,使 U(1)规范不变性遭到破坏的同时,却使得原应为光子的粒子,出现了纵极化分量,静止质量不再是零。而标量场的两个有静止质量的分量,就只剩了一个。即:由于对称性发生了自发破缺,标量场的一个分量所转化为的零静止质量的戈德斯通玻色子,变成了原应为光子的粒子的纵分量,而成为具有静止质量的粒子。而标量场剩下的另一个有静止质量的分量就成为所谓的“希格斯粒子”。并认为它是一切粒子质量来源。美国科学家格林的《宇宙的结构》一书中说:各种基本粒子的质量之所以不同,是因为不同种类的基本粒子同希格斯海的相互作用强度各不相同。如顶夸克,在希格斯海中加速非常困难,希格斯海是通过施加“阻力”而速度减少来构成基本粒子的各种实现物质的质量的。希格斯正是在研究电弱理论物理的数学中,发现希格斯场公式的:  $E=M^2h^2+Ah^4$  (1), E 为能量密度,实际是局部宇宙总能量密度, h 为希格斯场,其实类似影响速度“阻力”的加速度、速度或重力加速度。A 为一未知的正值常数,实际是联系类似质量时空全息的度规格子或量杆。 $M^2$  为希格斯场量子的质量平方,其实就是映射二维时空全息的度规格子的面积。M 为这种正方形格子的边长,是一种与时间分离的质量的量杆;且只在量杆的两端,有时时间的信息需要时发出信号。

希格斯假设,整个宇宙空间充满了一种标量场,它的真空平均值不为零,从而导致真空自发对称破缺。这种破缺会导致质量为零的非真实的 Goldstone 粒子的存在,然而,如果标量场满足规范不变原理(即标量场与规范粒子耦合),当采取适当的规范(即么正规范)后,Goldstone 粒子将不再存在,而规范粒子将获得质量。这一质量获得机制今天被称为希格斯机制,而对应于标量场的粒子被称为希格斯粒子。从现在的基本粒子理论的角度看,对称性的主要破坏是一种“自发破坏”或者说是一种表观上的破坏,即所有基本粒子原始都无质量,它们之间的相互作用有拉格朗日量描述,该量具有完全的对称性,但相互作用的结果得出的总体的基态是简并的,其中有某中场的凝聚。实际的“宇宙”的基态是这些简并基态中某一个,而所有的激发态都是在此“特定基态”上的局部扰动,从而原来拉格朗日函数的对称性就不显示出来了/我们所观察的物理过程都是发生在某个特定背景上的,使原有的对称性不能显示出来。有些粒子的质量是由于它与空间凝聚场作用的结果。量子电动力学的微扰论计算可以给出与实验精密符合的结果,然而这个微扰展开都是不合理的。粒子物理的标准模型引进了一个两分量的复标量场,即希格斯场,它共有四个自由度。在弱电  $SU(2) \times U(1)$  对称群被希格斯场的势能所自发破坏后,希格斯场中的三个自由度被  $SU(2)$  的规范粒子所吸收而成为它们的纵向分量。这些规范粒子就是  $W^\pm$  和  $Z^0$  玻色子(确切地说,  $Z^0$  是  $SU(2)$  和  $U(1)$  规范粒子的一个线性组合,它的正交组合是光子)。希格斯场的剩余自由度被称为希格斯玻色子。它还没有被高能实验所证实。

在现代物理主流的标准模型中,所有基本粒子质量都源于希格斯机制。这种机制虽然从唯象方面讲非常有效,但不能给出其数量上的具体结果。因为在希格斯场的汤川耦合中,耦合常数对于每一种费米子都有一个独立取值,至使标准模型的拉格朗日量所包含的、与质量直接有关的自由参数数目、比原先需要解释的质量参数数目还多。实际上,在粒子质量起源问题上,希格斯机制只不过把在粒子领域不能解决的问题,转稼到了完全未知的真空领域。

1964 年希格斯找到了使规范粒子获得质量的途径,描述规范场与其他场相互作用的方程式具有杨-米尔斯对称性,但其解描述真实世界表现出不对称性,这种对称性方程的不对称解称为“自发破缺的对称性”,对称性自发破缺使规范粒子获得质量。1967 年温伯格了萨拉姆各自独立地抓住对称性自发破缺的思想,在格拉肖电弱统一模型的基础上构思了统一电磁作用和弱作用的规范场理论,其基本思想是电磁作用和弱作用本来属于具有有一种对称性的统一的相互作用,这种相互作用通过交换四种规范粒子来传递,它们的质量均为零,在能量较低的范围,对称性自发破缺了,其中一种规范粒子仍然是无质量的,它就是传递电磁作用的光子,另外三种都获得较大的质量,质量大约是质子的 100 倍,它们是传递弱作用的  $W^\pm$  和  $Z^0$  粒子。1983 年电弱统一理论预言的结果被实验证实。格拉肖、温伯格了萨拉姆的电弱统一理论获得极大的成功。

### U(1)希格斯机制

U(1)希格斯机制是一种很简单的赋予质量的机制，适用于 U(1)规范场论。U(1)规范场论的规范变换是相位变换： $\phi \rightarrow \phi' = e^{i\theta} \phi$ ；其中， $\phi$  是复值希格斯场， $\theta$  是相位。这种变换是 U(1)变换，所涉及的是阿贝尔群，因此是一种“阿贝尔希格斯机制”。

假定遍布于宇宙的希格斯场是由两个实函数  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  组成的复值标量场  $\phi$ ： $\phi(x^\alpha) = \phi_1(x^\alpha) + i\phi_2(x^\alpha)$ ；其中， $x^\alpha = (ct, x_1, x_2, x_3)$  是四维坐标。

对于这自旋为零、质量为  $m$ 、势能为  $V(\phi^* \phi)$  的标量场，克莱因-戈尔登拉格朗日量  $\mathcal{L}$

$$\mathcal{L} = (\partial_\alpha \phi)^* (\partial^\alpha \phi) - m^2 \phi^* \phi - V(\phi^* \phi).$$

假设质量  $m = 0$ ，则克莱因-戈尔登拉格朗日量的形式变为  $\mathcal{L} = (\partial_\alpha \phi)^* (\partial^\alpha \phi) - V(\phi^* \phi)$ ；

其中， $\partial_\alpha = (\frac{\partial}{\partial x^0}, \frac{\partial}{\partial x^1}, \frac{\partial}{\partial x^2}, \frac{\partial}{\partial x^3})$  是四维导数算子。从这方程，找不到任何质量的蛛丝马迹。但是，将势能泰勒展开于  $u = 0$ ：

$$V(u) = V(0) + (\partial_u V)_0 u + \frac{1}{2} [(\partial_u)^2 V]_0 u^2 + \dots$$

注意到  $V(0)$ 、 $(\partial_u V)_0$ 、 $[(\partial_u)^2 V]_0$  都是常数。在这展开式里，可以隐隐约约的观察到质量项目的形式  $(\partial_{\phi^* \phi} V)_0 \phi^* \phi$ 。

局域规范不变性

对于全域相位变换  $\phi \rightarrow \phi' = e^{i\theta} \phi$ ，由于相位  $\theta$  是常数，拉格朗日量  $\mathcal{L}$  具有全域规范不变性：

$$\begin{aligned} \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}' &= (\partial_\alpha \phi')^* (\partial^\alpha \phi') - V(\phi'^* \phi') \\ &= [\partial_\alpha (e^{i\theta} \phi)]^* [\partial^\alpha (e^{i\theta} \phi)] - V(\phi^* \phi) \\ &= \mathcal{L} \end{aligned}$$

但是，假设  $\theta$  是变量，随着时空坐标不同而改变：

$$\theta = q\eta(x^\alpha),$$

其中， $q$  是电荷。

则为了要满足局域规范不变性，必须将  $\mathcal{L}$  的偏导数  $\partial_\alpha$  改换为协变导数  $\mathcal{D}_\alpha$ <sup>[2]:691</sup>

$\mathcal{D}_\alpha \equiv \partial_\alpha + iqA_\alpha$ ；其中， $A_\alpha$  是规范矢量场。

当做局域相位变换时，规范矢量场  $A_\alpha$  变换为  $A_\alpha \rightarrow A'_\alpha = A_\alpha - \partial_\alpha \eta$ 。

这样，对于局域相位变换，拉格朗日量  $\mathcal{L}$  具有不变性：

$$\begin{aligned} \mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L}' &= [(\mathcal{D}_\alpha \phi)^* (\mathcal{D}^\alpha \phi)]' - V(\phi'^* \phi') \\ &= [(\partial_\alpha + iqA'_\alpha)(e^{iq\eta} \phi)]^* [(\partial^\alpha + iqA^{\alpha'}) (e^{iq\eta} \phi)] - V(\phi^* \phi) \\ &= [(\partial_\alpha + iqA_\alpha - iq\partial_\alpha \eta)(e^{iq\eta} \phi)]^* [(\partial^\alpha + iqA^\alpha - iq\partial^\alpha \eta)(e^{iq\eta} \phi)] - V(\phi^* \phi) \\ &= [(\partial_\alpha + iqA_\alpha) \phi]^* [(\partial^\alpha + iqA^\alpha) \phi] - V(\phi^* \phi) \\ &= (\mathcal{D}_\alpha \phi)^* (\mathcal{D}^\alpha \phi) - V(\phi^* \phi) \\ &= \mathcal{L} \end{aligned}$$

为了要满足规范场论的局域规范不变性，必须添加规范矢量场  $A_\alpha$ ，连带地也要添加规范矢量场自由传播时的普罗卡拉格朗日量 (Proca Lagrangian)：

$$\mathcal{L}_P = -\frac{1}{4} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} + \frac{1}{2} m^2 A_\alpha A^\alpha;$$

其中,  $F^{\alpha\beta} \equiv \partial^\alpha A^\beta - \partial^\beta A^\alpha$ 。注意到  $F^{\alpha\beta}$  满足局域规范不变性, 但是  $A_\alpha A^\alpha$  无法满足局域规范不变性, 因此必须设定质量  $m = 0$ 。一般而言, 为了满足局域规范不变性, 所有规范玻色子的质量都必须设定为零。对于传递电磁相互作用的光子与传递强相互作用的胶子, 它们都是零质量规范玻色子, 所以这理论结果与它们的性质相符合。但是对于传递弱相互作用的 W 玻色子与 Z 玻色子, 这两种规范玻色子的质量分别为 80Gev、91Gev! 这理论结果与实验结果有天壤之别。这显露出规范理论对于这论题的严重不足, 希格斯机制可以弥补这不足。

总结, 表达为以下形式的拉格朗日量  $\mathcal{L}$  满足局域规范不变性:

$$\mathcal{L} = (D_\alpha \phi)^*(D^\alpha \phi) - \frac{1}{4} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} - V(\phi^* \phi)$$

### 自发对称性破缺

量子力学的真空与一般认知的真空不同。在量子力学里, 真空并不是全无一物的空间, 虚粒子会持续地随机生成与湮灭于空间的任意位置, 这会造成奥妙的量子效应。将这些量子效应纳入考量之后, 空间的最低能量态, 是在所有能量态之中, 能量最低的能量态, 不具有额外能量来制造粒子, 又称为基态或“真空态”。最低能量态的空间才是量子力学的真空。

设想某种对称群变换, 只能将最低能量态变换为自己, 称最低能量态对于这种变换具有不变性。假设一个物理系统的拉格朗日量对于某种对称群变换 G 具有不变性, 这并不意味着它的最低能量态对于变换 G 也具有不变性。假若拉格朗日量与最低能量态都具有同样的不变性, 则称这物理系统具有“正合对称性”; 假若只有拉格朗日量具有不变性, 而最低能量态不具有不变性, 则称这物理系统的对称性被自发打破, 或者称这物理系统的对称性被隐藏, 这现象称为“自发对称性破缺”。

电弱统一理论是对称性在物理基础研究中的一次伟大胜利, 它鼓舞物理学家们进而研究包括强作用的大统一理论, 以及把四种相互作用都统一起来的超对称大统一理论。对称性概念将近一步发展, 并将进一步扩大其胜利成果。

时空对称性(即洛伦兹对称性)和内部对称性(即规范对称性)。但是规范对称性在弱力中必须被破坏, 而且必须被自发破缺(1999年和2008年诺贝尔物理学奖), 弱规范对称性自发破缺的尺度由著名的费米常数 GF 决定, 它带有质量纲为-2, 从其实验测定值就可直接推断出相应的能量尺度为 100GeV—1000GeV 范围(1GeV 等于 1 千兆电子伏特), 因此导致弱规范对称性自发破缺的新粒子——希格斯粒子(或称“上帝粒子”)的质量必须位于此范围。目前正在欧洲核子中心运行的大型强子对撞机(LHC)的能量尺度完全覆盖 100GeV—1000GeV 范围, 它预期将发现或排除这个“上帝粒子”。若此粒子被排除, 标准模型将被一个新的革命性理论所修改。

### 3、现代物理学对于希格斯粒子的实验探究

格林在他的《宇宙的结构》一书所说: 当代理论已进入实验技术无法触及的领域; 从古代用土、空气、火和水(我国是用金木水火土)解释宇宙到今天, 人类所取得的很多成绩, 如从牛顿理论到 20 世纪的革命性发现, 都是由理论预言到实验结果的精确符合而得以验证, 但时间推移到了 20 世纪 80 年代中期, 我们似乎成了过去辉煌的受害者。例如什么都没有这种说法, 是非常微妙的; 现代理论中的希格斯海就存在于整个空间。在量子力学以及希格斯物理学诞生之前的物理学中, 如果某一空间区域中没有粒子且每种场的场强值都为 0, 就是完全空的。这里希格斯海, 是希格斯物理学中假想的一种场。希格斯粒子就是希格斯场所形成的希格斯海能赋予其他种类的基本粒子以质量——的最小组成。由此格林也说, 希格斯粒子的发现将是一个里程碑式的成就, 因为它是理论粒子物理学家和宇宙学家在没有任何实验证据的情况下提出了几十年的粒子存在。1988 年诺贝尔物理学奖获得者莱德曼在其与和泰雷西合著的《上帝粒子: 假如宇宙是答案, 究竟什么是问题?》的结尾充分流露出了物理学家们对终极前景的渴望, 他这样写道: “天空中出现了一道炫目的光芒, 一束光亮照亮了我们这位沙滩主人。在巴赫 B 小调弥撒曲庄严、高潮的和弦配乐下, 也可能是在斯特拉温斯基的短笛独奏《春之祭》中, 天空中的光慢慢地变成了上帝的脸, 微笑着, 但带着极度甜蜜的悲伤表情。”

2000 年 9 月, 欧洲核子研究中心大型正负电子对撞机(LEP)研究项目的科学家介绍说, 他们在实验中发现了一些表明希格斯玻色子存在的迹象。天使似乎终于露出了她的微笑, 然而可惜的是, 天使的笑容并非如同蒙娜丽莎般永恒。当人们为欧洲核子研究中心的科学家们更确切的证据翘首期待一年之后, 等来的却是相反的结果: 科学家们没有发现希格斯玻色子存在的证据。如果说有发现的话, 那只是去年“发现希格斯玻色子存在迹象”的实验数据分析错误。2001 年 1 2 月, 欧洲核子研究中心的科学家在进行了为期一年的数据分析后, 公布了对该中心大型正负电子对撞机关闭前最后 5 年为寻找希格斯玻色子而进行的大量

实验的结果：没有发现希格斯玻色子存在的证据。由于现有理论估计希格斯玻色子的质量可能为 80 吉电子伏，

但欧洲核子中心利用 LEP 在 115 吉电子伏的能量水平上依然没有找到希格斯玻色子，因此许多科学家对这一结果感到十分失望。在这一结论的基础上，科学家们预计希格斯玻色子存在的可能性只剩下 30%，如同欧洲核子中心的科学家尼尔·卡德所说：“我们失去了大部分的狩猎场”。

#### (一)日本向解开质量起源之谜迈进一步

作者：钱铮 来源：科学时报 发布时间：2007-4-26 23:42:29

新华社电 日本高能加速器研究机构和京都大学 4 月 24 日宣布，两家机构组成的研究小组依靠严密的计算机模拟，在世界上首次验证了量子色动力学中的手征对称性自发破缺现象，向解答“为什么物质会有质量”这样的问题又迈进了一步。科学界认为，构成物质基本粒子之一的夸克虽然现在有质量，但在宇宙诞生的大爆炸之后的很短时间并没有质量，那时的夸克以光速在宇宙空间自由飞行。研究夸克获得质量的过程，对解开物质具有质量之谜至关重要。两家机构联合发布的新闻公报解释说，以光速运动的粒子具备的固有性质称为手征对称性，因为只有质量等于零的粒子才能够以光速飞行，所以只有像 137 亿年前宇宙刚刚诞生时的夸克这样没有质量的粒子，才具备手征对称性。按照现在的基本粒子理论，夸克获得质量的过程分成两个步骤，其一是与希格斯玻色子相关的希格斯机制，其二是手征对称性自发破缺现象，夸克通过前者获得其质量的 2%，而后者则赋予夸克 98% 的质量。高能加速器研究机构和京都大学的研究人员依靠称为“格子量子色动力学”的计算机模拟，验证了手征对称性自发破缺现象。新闻公报说，这种计算机模拟采用的理论，是一种在格子量子色动力学中能严密保持手征对称性的理想的格子理论，但其运算量是以往方法的 100 倍以上。本次模拟采用最新型超级计算机，并改进了算法，验证了手征对称性自发破缺现象的存在，证实了夸克获得质量的第二个步骤。自牛顿力学问世以来，物质有质量看起来是天经地义的事情，但最近 100 多年来这个问题却困扰着物理学家们，各种假说纷纷问世，至今它仍是物理研究的一个前沿课题。根据目前公认的理论，解开质量起源之谜的关键是找到自旋为零的希格斯玻色子。目前科学家已找到粒子物理学标准模型预言的各种其他粒子，但唯独没有找到自旋为零的希格斯玻色子。这一理论认为，质量产生后，在宇宙中会留下这种特殊的希格斯玻色子。如果这种粒子被找到，那么物质质量之谜方能得到破解。由于这种粒子的重要性和神秘性，科学家形象地称它为“上帝的粒子”。

(二)、华尔街日报：粒子对撞揭开宇宙秘密 <http://www.guandian.cn/2008-09-12 00:13:46> 来源：[ 华尔街日报 ]

粒子物理学是一门高深莫测的科学，而且将变得更令人胆战心惊。

欧洲核研究组织(CERN)于 2008 年 9 月 10 日启动了全世界最强大的粒子加速器，将第一束粒子流射入位于地下 330 英尺深、17 英里长的一个加速轨道，从而标志着近期最雄心勃勃同时备受争议的粒子物理实验正式开始。一些批评人士担心，这项实验可能会引发黑洞，从而吞噬整个地球。

但科学家们相信，这个“不成功则成仁”的尝试将有助于解决长期以来人类对宇宙的很多疑问。相对论和量子力学这类的宏伟理论可以解释宇宙中的一些运行规律，但彼此无法相容。Einstein 的理论在解释恒星这类大型物体时很有效，但在解释粒子极微小运动时却束手无策。科学家希望借助这项实验找到一些线索，将这些零散的理论融会贯通起来。

这台“大型强子对撞机”(Large Hadron Collider, 简称 LHC) 位于瑞士日内瓦，设计目的是让质子在接近光速的速度下发生碰撞，释放出 130 亿年前宇宙大爆炸(Big Bang)以来从未出现过的庞大能量。第一次粒子撞击计划于 2008 年 10 月进行，CERN 的科学家将仔细观察粒子碰撞后的残余，找到以前未曾发现过的粒子、其他维度的空间、暗物质存在的证据，以及希格斯玻色子(Higgs boson)——一种物理学家认为是其他粒子构成基础的神秘物质。

物理学家们从事的这个项目事关重大，已经筹备了 14 年，投入 90 亿美元。如果研究人员未能在实验中找到游离的希格斯玻色子，那可能意味着他们在错误的道路上浪费了数十年的大好时光。

除了可能出现吞噬地球的黑洞——当然，CERN 的科学家认为这是不可能的，让物理学家更抓狂的实验结果也许是找到了希格斯玻色子，但除此之外别无它物。这个结果将确认一些物理学家早已提出的理论，但无助于解释其他许多宇宙谜题。

比如说，科学家无法解释为什么重力会比其他的基本物理力弱得多，以及为什么只有 5% 的宇宙是可见的。此外，他们也面临尴尬局面，无法消除 Einstein 的相对论与解释微观物理规律的量子力学之间的矛盾之处。

虽然投入数十亿美元，但宇宙的奥秘有很大可能依然无法解开。“如果 LHC 只找到希格斯玻色子而没有其他物质，那科学家就很难说服大众再建造另一台大型粒子加速器。”美国普林斯顿高等研究所(Institute for Advanced Study in Princeton)的理论物理学家尼玛·阿卡尼哈迈德(Nima Arkani-Hamed)说道。

现在，物理学家将所有的希望都寄托于这台埋在法瑞边境地下的超大型粒子冲撞机上。这台机器将反向射出两束质子流，质子流通过由超导磁体包围的两根钢管，以每秒 11,245 圈的近光速运行，最终在四个交点会合，预计每秒将产生 6 亿个粒子碰撞，从而再现宇宙大爆炸时猛烈无比的粒子浓汤。

为研究这项实验的结果——仿佛就像是粒子层面的火车大碰撞——CERN 的科学家建造了四个地下观测器，能记录撞击时产生的能量以及粒子碰撞后内部物质喷出的速度。其中有个名为 Atlas 的观测器，是一个七层楼高的圆柱体，由钢铁、充气铝管、液态氦和光纤制成，重量为 7,000 吨，和艾菲尔铁塔一样重。Atlas 和其他三个观测器把数据传输到 CERN 的 3 万台电脑上，由电脑对数据进行筛选，从而发现超出传统物理学范畴的异常现象。

那么，CERN 的物理学家将寻找哪一类奇怪的量子事件呢？他们的主要任务是找到希格斯玻色子，也叫“上帝粒子”。如果他们的计算正确，希格斯玻色子能产生一个弥漫的域场，对穿过其中的粒子施加一个拉力。物理学家相信正是通过这一名为“希格斯力”的过程，电子和其他粒子才得以产生。

“这是解开宇宙构成秘密的一个关键所在。”位于美国伊利诺斯州 Batavia 的费米国家加速器实验室(Fermi National Accelerator Laboratory)的理论物理学家约瑟夫·里肯(Joseph Lykken)说道。

其他粒子对撞机都未能幸运地找到希格斯玻色子，但物理学家认为，LHC 对撞实验所爆发的能量——约为 14 万亿电子伏——应该足以使其产生。问题在于，没人知道希格斯玻色子长成什么样子，因此很难发现它，而且它也可能很快衰变为其他已知粒子，如介子和光子等。因此，CERN 的科学家将通过各种形式寻找它的存在。举例而言，有一个名为“微型介子螺线管”(Compact Muon Solenoid)的探测器，配备有 80,000 块富铅玻璃用于追踪光子，负责操作的科学家将寻找“希格斯跳跃”(Higgs bump)——即光子在对撞发生四散飞出时一种异于平滑运动轨迹的跃动。

物理学家还希望从中找到支持新一代物理理论的证据，比如超对称性原理(supersymmetry)——这种理论认为，每个粒子都有一个未被发现的“超级伙伴”。假使对称性理论得到证实，将使已知粒子的数量增加一倍，并帮助物理学家实现一个长久以来的追求目标，也就是把几种控制物质运动的力——重力、电磁力、强核力和弱核力——在理论上融为一种单一的基本力。

这台粒子对撞机还可能让我们发现已知四维空间以外的空间维度。当质子撞击开始时，物理学家将寻找撞击前蕴含能量与撞击后产生能量之间是否存在不平衡。根据物理学基本原理，撞击前后的能量应该是守恒的。如果能量经常性地出现流失现象，那可能意味着能量消失在另一个空间维度中。这个发现将给玄理论(string theory)提供有力支持。这个被广泛接受但无法验证的假设认为，物质是由微小颤动的玄(string)构成，并处于 11 或 12 个维度的空间中。

研究人员说，最令人震惊的结果可能是，实验结果毫无出奇之处。这将意味着物理学家用于解释宇宙运行规律的最佳方法、已有 35 年历史的所谓“标准模型”其实是一条歪路。“我们知道，希格斯玻色子一定存在。”加拿大安大略省普里美特理论物理研究所(Perimeter Institute for Theoretical Physics)的物理学家李·斯莫林(Lee Smolin)说，“否则的话，我们就一直在错误的理论根基上原地踏步。”

虽然实验可能一无所获将令很多人大失所望，但另一些人认为，这个结果将最具革命性，因为理论物理学家将不得不重新思考几十年来被视为天经地义的各种问题。“在我看来，这是一件好事。”里肯教授说道。

和之前的大型物理实验一样，LHC 引发了一系列世界末日来临的言论。2008 年初，一位科学普及作家和一位辐射安全专家向法院提起诉讼，要求制止科学家启动 LHC 对撞机，认为它可能引发一个灾难性的黑洞或制造出“奇异物质”(strangelets)，这是一种理论假设中的致密物质，一旦形成，有可能引发连锁反应，把地球变成一块无生命的大石头。

CERN 的科学家认为，黑洞这类恐怖量子事件的发生概率与重力突然消失的概率差不多。“根据量子物理学理论，如果我让一支笔掉在桌上，它甚至有一定的可能性会直接穿过桌子。”Atlas 探测项目的发言人彼得·杰尼(Peter Jenni)说，“我们通过 LHC 模拟的是 137 亿年来整个宇宙每时每刻都在发生的粒子碰撞，但我们不是还活得好好的吗？”

(三) 寻找“上帝粒子”——欧洲核子研究中心行记 新华社记者 刘洋 杨京德

从瑞士日内瓦驱车进入法国，沿途宁静的田园风光令人沉醉。这是一片位于阿尔卑斯山与汝拉山雪峰间的平原，镶嵌着一座座牧场、葡萄园、古朴村镇，而就在平原地表之下 100 多米深处，无数粒子或许正围绕着一个周长 27 公里的巨大环形设备，以接近光速运行，并剧烈碰撞。这不是科幻小说的虚构，而是欧洲

核子研究中心最重要的设备——大型强子对撞机运转的情景。经过近两个月的技术维护后，按计划，对撞机2月21日再次开始运行。记者有幸在此之前，由研究中心的中方研究员、粒子物理学家任忠良博士带领，进入研究中心并探访这神秘的地下“粒子物理王国”。

#### 科研“地球村”

欧洲核子研究中心建于1954年，是二战后欧洲合作的产物，但今天的研究中心早已不再局限于欧洲，而更像一个“地球村”，会聚了来自世界上80多个国家和地区、580余所大学与科研机构的近8000名科研人员，其中包括来自中国科学院高能物理研究所和山东大学等中国科研院所的近百名师生。漫步在研究中心园区里，可以看到宽阔的草坪上和露天咖啡座上，不同肤色、不同装束的学者三五成群地坐在一起，操各种口音的英语或法语讨论问题。除进行前沿物理试验外，研究中心还承担了为世界各国大学培养物理学人才的任务，许多物理学家的硕士或博士论文都在这里完成。研究中心洋溢着尊重科学的气氛，就连园区的各条道路都以在科学领域有重大贡献的人士名字命名。从第一个设想物质是由原子组成的古希腊哲学家德谟克利特，到发现镭和钋等放射性元素的居里夫人，他们对人类认知的贡献，以这样的方式被铭记。

#### 地下“粒子物理王国”

大型强子对撞机位于日内瓦附近、瑞士和法国交界地区地下的环形隧道内。为探测质子撞击试验产生的结果，研究中心在大型强子对撞机上安装了4个探测器同时进行试验，其中最大的就是位于瑞士一侧的超环面仪器。经过两道严格安检后，记者跟随任忠良博士深入地下100多米的超环面仪器试验现场。站在坑道内高耸的钢结构探测器旁，如同站在希腊神话里的擎天巨神脚下，深感一己之渺小。这个圆柱形庞然大物高25米，长45米，重7000吨，相当于埃菲尔铁塔或100架波音747客机的重量。任忠良博士说，超环面仪器就像一架高精度巨型数字照相机。对撞机发射的粒子束经过这个探测器时发生碰撞，产生的粒子沿着碰撞半径方向向外发散，这些肉眼难以察觉的物理现象都会在这一高性能探测器上留下影像。超环面仪器抓取碰撞影像的速度可达每秒4000万次，从而在粒子级别上记录任何细微的变化。为处理由此产生的海量数据，3000台计算机同时运转，从大量无效碰撞数据中选取符合研究需要的少数粒子高能对头碰撞记录并加以分析。即便如此，筛选出的有用数据量仍大得惊人。这一探测器运行一年产生的数据如用DVD光盘刻录，所有光盘铺排起来将长达7公里。

#### 人造宇宙大爆炸

为从微观世界揭开宇宙起源的奥秘，研究宇宙产生初期的环境，物理学家设计了通过粒子对撞，模拟宇宙大爆炸的试验，大型强子对撞机就是进行这一模拟过程的“利器”。可想而知，实现高能粒子对撞并非易事。据任忠良博士介绍，大型强子对撞机使用了超低温、超导等超越人类现有工业水平的尖端技术。为产生偏转粒子所需要的强磁场，对撞机采用液态氦将管道温度降至零下271摄氏度的超低温，用低温超导技术产生零电阻以保障磁场强度。此外，为维持低温，减少管道内外热量交换，还使用了真空技术，对撞机周长27公里的环形管道内的真空空间相当于巴黎圣母院的大小。低温还带来金属等材料热胀冷缩的问题，这就要求在管道连接处使用可滑动的接点，但可滑动连接点同时也带来另一个问题：上万个连接点中，任何一个点如因接触不良出现微小电阻，强大的电流通过时就会瞬时释放大量热能，毁掉超导状态。热量还会气化冷却管道用的液态氦，导致大爆炸。2008年，对撞机调试过程中就发生了一次类似事故，使整个试验的进度延后一年。研究中心花了整整一年，投入超过5000万瑞士法郎（约合5300万美元）才将设备修复。

#### 寻找“上帝粒子”

大型强子对撞机目前的主要工作就是寻找希格斯玻色子。它是由英国人彼得·希格斯等物理学家在上世纪60年代提出的一种基本粒子，被认为是物质的质量之源，因此被称为“上帝粒子”。这种粒子就像神话中的独角兽一样难觅踪影。在粒子物理学的标准模型中，总共预言了62种基本粒子，其中的61种都已被验证，唯独希格斯玻色子始终游离在物理学家的视野之外。找到这种粒子，就找到建筑粒子物理学经典理论大厦的最后一块基石，如证明它不存在，整座大厦就要被推倒重建。此前，许多顶级物理研究机构曾试图通过对撞试验寻找希格斯玻色子，但都没有成功。如今，有了世界上能量级别最高的大型强子对撞机，欧洲核子研究中心的科学家对捕获这头“独角兽”充满信心。研究中心主任、德国粒子物理学家罗尔夫·霍伊尔说，对撞机在过去一年表现非常出色，因此大家普遍对试验充满信心。霍伊尔风趣地化用莎士比亚的名言说，希格斯玻色子存在还是不存在，这是一个问题，而这个问题的答案很可能在未来两年内揭晓。

《科学时报》(2011-2-23 A4 国际)

(四)、欧洲核子研究中心称“上帝粒子”可能并不存在

2011-08-24 10:25:31 来源: 新华网(广州)

希格斯玻色子是由英国人希格斯等物理学家在上世纪 60 年代提出的一种基本粒子，被认为是物质的质量之源，因此被称为“上帝粒子”。但这种粒子就像神话中的独角兽一样难觅踪影。尽管科学家们仍在努力寻找其踪迹，但致力于此项研究的欧洲核子研究中心近日表示，一些迹象表明，这种粒子也许真不存在，只是人们的“幻想”。

该机构日前已经向在印度孟买召开的相关研讨会提交了报告，称近来通过其大型强子对撞机找到的实验数据都对找到希格斯玻色子的踪迹“意义不大”。与此同时，该中心许多科学家也认为“希格斯玻色子不存在”的可能性越来越大。

在粒子物理学的标准模型中，总共预言了 62 种基本粒子，其中 61 种都已被验证，唯独希格斯玻色子始终游离在物理学家的视野之外。找到这种粒子，就找到了建筑粒子物理学经典理论大厦的最后一块基石，如证明它不存在，整座大厦就要被推倒重建。

欧洲核子研究中心研究主任塞尔希奥·贝托卢奇说：“如果希格斯玻色子真的不存在，那么它的缺位将使人们的眼光转向‘新物理学’。”此前，许多世界顶级物理研究机构曾试图通过对撞试验寻找希格斯玻色子，但都没有成功。美国费米国家实验室的物理学家今年 7 月底发表报告说，他们已大幅度缩小了希格斯玻色子的搜寻范围。

(五) 中国科技网讯据《新科学家》杂志网站 12 月 14 日（北京时间）报道，欧洲核子研究中心 7 月 4 日曾宣布发现了高度疑似希格斯玻色子（“上帝粒子”）的消息令整个物理学界为之欢呼，不过研究人员仍反复强调只是发现了一种新粒子，至于其是否为希格斯玻色子，还有待更深入的数据分析加以确认。现在，来自 ATLAS（超环面仪器）项目组的最新结果发现，新粒子在质量以及衰变为双光子的速率等属性上与粒子物理学标准模型的预测有一定偏差，这使得新粒子为“上帝粒子”的身份依旧存疑。

欧核中心有两个寻找希格斯玻色子的实验在同时进行，一个是 ATLAS 项目，另一个是 CMS（紧凑缪子线圈）项目。研究人员并没有直接探测到希格斯玻色子，而是利用最后观测到的光子等其他粒子来反推它们是否是由大型强子对撞机中粒子碰撞产生的希格斯玻色子衰变而成的。ATLAS 项目组在分析衰变而成的两个光子时发现，新粒子的质量比以其衰变为 Z 玻色子来计算要大多约 3GeV（1GeV=10 亿电子伏特）。

CMS 项目组主要成员阿尔伯特·勒克认为这个不一致的结果令人费解。但他说，之所以出现不一致，几乎可以肯定是在测量方面出了问题。

“有可能是由于大的统计涨落，才导致数据异常。”美国罗格斯大学的马特·斯特拉斯勒说。他表示，这个问题可能会影响到其他的分析结果。

此外，ATLAS 项目组还发现，希格斯玻色子衰变为双光子的速率比粒子物理学标准模型预言的要快。其实早在 7 月，研究人员就已经发现了这一现象，但当时还缺乏足够的证据。如果希格斯粒子衰变为光子的速率过快，或将为新物理的研究方向提供一些线索，解释长久以来困扰人们的一些谜团，比如暗物质、引力和宇宙中反物质的缺失等。

斯特拉斯勒称，新的研究结果“非常有趣，吊人胃口”，但他补充说，这仍不足以确定地说明什么。在斯特拉斯勒看来，新粒子的质量大于标准模型预测的问题可能传递了一个信号，他们不应该相信测量到的高得不同寻常的衰变速率。“随着处理的数据越来越多，我对于通过光子信号测算出多余的质量越来越信心不足。”需要进一步研究该粒子的性质与希格斯玻色子的一致性，包括与费米子和玻色子相互作用的强度、自旋宇称、衰变宽度等，有可能还需要新建一个直线正负电子对撞机来开展进一步的研究。

“我猜（大家）现在非常期待 CMS 的结果。”勒克说。CMS 项目组还没有公布他们的关于新粒子衰变成双光子的数据，理由是他们需要更多的时间去做分析。

下周，大型强子对撞机将再次提升能级，然后准备在 2013 年年初关闭，进行设备升级。（记者陈丹）

附录：上帝粒子获新的证据支持 是物质的质量之源

欧洲核子研究中心（CERN）2013 年 3 月 14 日发布公告称，对更多数据的分析显示，该中心去年宣布发现的一种新粒子“看起来越来越像”希格斯玻色子。CERN 去年 7 月 4 日宣布，该中心的两个强子对撞实验项目 ATLAS 和 CMS 发现了同一种新粒子，它的许多特征与科学家寻找多年的希格斯玻色子一致。物理学标准模型预言了 62 种基本粒子的存在，其他粒子都已被实验所证实，只有希格斯玻色子未得到确认。由于它极其重要又难以找到，故被称为“上帝粒子”。根据最新公告，科学家分析了比去年的研究多两倍半的数据，计算新粒子的量子特性以及它与其他粒子之间的相互作用，结果“强有力地表明它就是希格斯玻色子”。但 CERN 表示，目前还无法判断它到底是标准模型中的希格斯玻色子，还是其他理论预测的好几个最轻的玻色子的组合。要弄清这个问题，还需要大型强子对撞机搜集更多数据，对各种衰变模式进行分析，“找到这个答案需要时间。”希格斯玻色子得名于英国爱丁堡大学物理学家彼得·希格斯，他预言了这种粒子的

存在。假设中的希格斯玻色子是物质的质量之源，其他粒子在希格斯玻色子构成的“海洋”中游弋，受其作用而产生惯性，最终才有了质量。

#### 4、希格斯机制的局限性

《自然杂志》19卷4期的“探索物理学难题的科学意义”的97个悬而未决的难题：70。Higgs粒子是否存在？71。质量的起源是什么？72。真正的对称自发破损的机理是什么？

《自然》展望2012年值得关注的科学进展和事件

2012年1月3日，《自然》网站发表了题为《新年，新科学》(New year, new science)的文章，展望2012科学界将发生的科学事件和可能取得的重大发现。

1. 今年6月，联合国第四届地球峰会将在巴西里约热内卢举行，此次会议主题是“可持续发展和绿色经济”，这无疑将是2012年最重要的环境会议。

2. 美国“好奇号”火星车8月份将登陆火星，取样火星岩石层和检测火星大气层中的甲烷。

3. 六个“大胆”的研究计划将获得欧盟未来和新兴技术旗舰计划的巨额资助，包括石墨烯、行星尺度的人类活动及其对环境影响模型、能量自动摄取传感器、单身人士的机器人伴侣等的研究。

4. 欧洲核子研究组织(CERN)今年将收集足够的数据来证明或排除“希格斯玻色子”的存在。

5. 美国国立卫生研究院(NIH)的“DNA元素百科全书”工程今年将取得重大进展，人类基因组序列各部分功能将进一步明确。

6. 两种治疗“老年痴呆症”的单克隆抗体药物今年进入三期临床试验，有望获得成功。此外治疗肥胖、囊胞性纤维症药物也有望获得生产许可。

7. 俄罗斯四月将钻取更多南极冰层进行科学研究。

8. 三月，全球最大的电波望远镜——平方千米矩阵(SKA)项目的主持者将在南非和澳大利亚之间产生。

9. 美国加州SpaceX of Hawthorne公司二月将向国际空间站发射首个商用无人航天飞机。

10. 2012年，首个真正的人工合成基因组有望问世。

1993年，花费20多亿美元在德克萨斯州开凿了几十公里长的地下隧道后，美国国会参议院决定停止对超导超级对撞机计划(SSC)的拨款。寻找希格斯粒子，对粒子物理学标准模型进行最终检验的实验搁浅。几千物理学家失去工作，世界高能物理学界感到了空前的失落和沮丧。但物理学家的雄心并因此未受挫，之后由欧洲核子研究中心接手，通过了LHC计划，继续寻找希格斯粒子——标准理论失落的最后一环。该计划由世界多国协作，目前正在实施，估计2007年建成大型强子对撞机，2010年前出数据。所谓“希格斯机制”和其中甚至被认为是一切粒子质量来源的“希格斯粒子”就成为迄今拯救所谓标准模型的唯一重要因素。但是，迄今，虽然已有足够能量的实验，已经多次努力，仍然尚未实际找到牵涉有关理论成立基础的，所谓“希格斯粒子”。希格斯场独立于希格斯机制，是标准模型中的一个方便假设。它并不是理论所必需的组成部分。在动力学对称破缺模型如工作色模型( $\langle \text{noinclude} \rangle$ )中，希格斯场为凝聚的费米子对(类似超导理论中的库珀对)所取代。只有在超对称标准模型中希格斯场才是真正基本的角色。在现代物理主流的标准模型中，所有基本粒子质量都源于希格斯机制。这种机制虽然从唯象方面讲非常有效，但不能给出其数量上的具体结果。因为在希格斯场的汤川耦合中，耦合常数对于每一种费米子都有一个独立取值，至使标准模型的拉格朗日量所包含的、与质量直接有关的自由参数数目、比原先需要解释的质量参数数目还多。

实际上，在粒子质量起源问题上，希格斯机制只不过把在粒子领域不能解决的问题，转嫁到了完全未知的真空领域。显然，这种用未知去解决未知，完全是逻辑学的不幸。美国科学家格林在《宇宙的结构》一书中就说：如果是类似希格斯海通过施加“阻力”而速度减少来构成基本粒子的各种实现物质的质量，那么情况又有所不同，质量还有另外的来源。

对于希格斯粒子是否存在，霍金曾与人打赌。作为一个悲观主义者，他赌无。非阿贝尔规范场运动方程必须满足规范不变条件，物理学家们怎么可以把这一点给忘了呢？稍加改造后，杨-米尔斯规范场理论就能自足，再也无需希格斯机制这个赘物。只可惜欧洲核子研究中心的机器要空转一场，看来是停不下来了。

在量子电动力学(QED)中，电子也一样具有电磁自能，但把电子质量完全约化为电磁概念的梦想根本无法实现：(1)由于超精细常数 $1/137$ 是一个很小的数目，因此由电磁自能产生的质量修正 $\mu$ 与裸质量 $m_0$ 相比只占一个很小的比例；(2)即使我们把QED的适用范围延伸到比普朗克能标还高的能区，使 $\mu$ 变得很大，但由于理论中是 $\mu \propto m_0$ ，这表明如果电子裸质量为零，它的电磁自能也将为零。而裸质量是QED中拉格朗日量的参数，它在理论适用范围是无法约化的。对称性破缺的机制使传递弱相互作用的中间玻色子获得质量，然而希格斯场的真空期望值或真空零点能在一定意义上相当于宇宙常数，其数值却比天文观测的宇

宙常数大了几十到一百多个数量级。所有的  $A \cdot Einstein$  和  $L \cdot Infeld$  称之为绝对运动的加速度运动都纳入广义相对论是不可能的,除了引力论以外,其余的(例如量子电动力学、量子色动力学、量子味动力学、弱电统一理论)加速度运动理论仍游离于广义相对论之外与  $A \cdot Einstein$  晚年试图将引力与电磁力在广义相对论框架内统一起来终遭失败这两个事实就是两个明显的证据。

1946—1949年间,日本的朝永振一郎、美国的费曼和施温格提出“重整化”方法,克服了“发散困难”。但是“重整化”理论仍然存在着逻辑上的缺陷,并没有彻底克服这一困难。“发散困难”的一个基本原因是粒子的“固有”能量(静止能量)与运动能量、相互作用能量合在一起计算,这与德布罗意波在  $v=0$  时的异性。其基本思想便是把那样一些发散项吸收到一些基本“常”量中去,而那样一些无穷大的常量却是我们永远观测不到的。所能观测的只是那样一些经过重整化了的有限大小的量。但是这样的一种方法并不是对任何一种理论都适用,如果一个理论中的基本发散项随着微扰的展开越来越多的话,那么我们就无法将所有的发散项,全部吸收到那样有限的几个基本常量中去。我们称这样的一种理论是无法重整化的。量子电动力学(QED)很早就被认识到是一个可重整化的规范理论,而严格证明其它理论是否能被重整化,很长一段时间内,是一个没有解决的问题。直到七十年代初,这样的一个问题方被当时还是研究生的特·霍夫特(t'Hooft)和他的导师攻克。他们证明了当时基于规范理论的其它统一模型,都是可重整化的。这样的一个人工作,给 YANG-MILLS 理论带来了第二次青春,同时也使得他们荣获了 1999 年的诺贝尔物理学奖。2007 年台湾大学何小刚教授等按超对称最小扩展,提出的有 7 个希格斯粒子模型; 2010 年美国费米实验室物理学家马丁等提出的可能存在相似质量的 5 个希格斯粒子的双希格斯二重态模型。至今,人们相信,描述强,电弱三种相互作用的量子场论,都是可以重整化的。但是,描述引力相互作用的量子引力,却是无法重整化。这是当今理论物理界,面临的一个主要困难。

1954 年杨振宁和 Mills 提出了非 Abel 规范场的理论,局域对称性就成了相互作用力和基本粒子结构的本原。1964 年 Higgs 借鉴凝聚态相变的观念,引进了真空相变和对称性自发破缺的概念,真空并不是空的,这样使得统一性和多样性就得以结合,对称性原本相同的粒子在对称性自发破缺以后可以获得不同的质量,造就了今天千姿百态的世界。在这个基础之上, Glashow Weieberg 和 Salam 用 SU(2) X U(1) 群的对称性和规范场统一了弱相互作用和电磁相互作用,形成了由三代夸克和轻子,三种相互作用力的携带者胶子、光子, W 和 Z 粒子组成的标准模型。标准模型和实验符合得很好,遗憾的是引发对称性自发破缺的 Higgs 粒子可能质量太大。在目前的加速器实验中间还没有观察到。这个弱电统一的理论成功,为进一步统一四种相互作用力提供了希望和动力。光子虽无静止质量,却仍有运动质量、动量,根本不存在与其动量标的目的铅直的两个所说的“横极化”。只是大量光子计数表现的电磁波才有两个所说的“横极化”,实际上,根本不可能由这样的希格斯机制使光子产生静止质量。也不会有这样的希格斯粒子。更不克不及说它是一切粒子质量的来历。

希格斯机制标准模型是一套描写强作用力、弱作用力、电磁力这 3 种基本力以及构成所有物质的基本粒子的定见。但是,仍存在一些未能处理完成的根本缺陷。

cdf 探量观测器和 d0 探量观测器,多年来,一直在搜集数值,并且已经由大变小了希格斯玻色子出现时的可能能量和质量探量观测边界。据多里戈介绍,去年 11 月时,两项试验配合发布了 1 个改进的希格斯玻色子边界。自此以后,研究职员已经搜集了更多的数值,多里戈预计,数值已增加了 50%。是以,科学家们进一步由大变小了探量观测边界。2009 年,费米实验室物理学家甚或者预测到当年末有 50% 的可能发明希格斯玻色子。

所说的“三倍标准差效应”、“五倍标准差效应”,到底是如何的“标准差效应”?它们到底是如何能证实根本不存在的所说的“希格斯机制”和“希格斯粒子”存在的几率呢?!

所说的“三倍标准差效应”是指:从计数学上讲,该试验结果是希格斯玻色子的可能性有 99.7%。

为修补认为是标准模型定见的唯一关键缺陷,英国科学家彼得·希格斯提出了,存在所说的“希格斯机制”、“希格斯场”、“希格斯玻色子”。这类假定的希格斯玻色子是物质的质量之源,而其他粒子是在希格斯玻色子构成的“海洋”中巡逻,受其作用而产生惯性,最终才有了质量。

通常认为确定性的程度到达“五倍标准差效应”(不错的可能性达 99.9999%),才完全可以证实一是个纯粹合理的新发明。而“三倍标准差效应”还不克不及够证实结果的确定性,不过,“三倍标准差效应”仍然象征着可能存在希格斯玻色子的有力证据。

大型强子对于撞机的重要任务之一是帮助科学家寻觅标准模型中最后一种尚未被发明的基本粒子--希格斯玻色子。

近日,意大利帕多瓦大学物理学家托马索·多里戈在他的博客《量子日记活着回来者》中声称:“我从两个不同的,多是独立的动静来历打听到,万亿电子伏特加速器的一次试验发了然希格斯玻色子微弱旌旗灯号存在

的证据。1 个动静来历说是观察到了‘三倍标准差效应’；而另外 1 个动静来历没有具体诠释，发语辞起了试验得到了 1 个意外的结果(美国费米实验室万亿电子伏特加速器(tevatron)容或者已经发了然所说的“天主粒子”希格斯玻色子)。这一结果肯定来自万亿电子伏特加速器。目前,大型强子对于撞机试验尚无足够的数值来证实这类难以捉摸的神秘粒子,而世界上其他物理学试验更没有足够的能量发明它。不过,我现在还不太清楚这一传说风闻到底是来自费米实验室两个粒子探量观测器(多是 cdf 探量观测器或者是 d0 探量观测器)中的哪 1 个。

多里戈其实不是发明希格斯玻色子研究团队的成员,而且他承认这一传说风闻的靠得住性另有待证实。他仿佛是希望将自己所听到的这个奋发人心的动静及时与各人分享。多里戈补充道,物理学家或者将于本月底在巴黎举行的国际高能物理会议上发布关于这一试验结果的更多动静。美国科学家格林在《宇宙的结构》一书中就说:如果是类似希格斯海通过施加“阻力”而速度减少来构成基本粒子的各种实现物质的质量,那么情况又有所不同,质量还有另外的来源。

陈和生先生是中科院高能物理研究所院士、欧洲核子中心大型强子对撞机实验 CMS 和 ATLAS 物理研究的中方首席科学家,一直致力于相关科研实验和组织协调工作。他说:“这个粒子是否就是希格斯教授提出来的那种,还需要大量的验证。现在有一种模型是‘超对称模型’,该模型中也有一种希格斯玻色子,但其性质与‘标准模型’中的希格斯玻色子的性质并不相同。这两种粒子的性质不同,衰变也不同。因此,对这次发现的新粒子究竟是哪一种粒子还需要多年的验证。”“目前需要增加统计性,看到更多的粒子。预计在今年年底,这一结果可以出来。至于究竟是什么粒子,还需要更长时间,甚至于还要再造一个加速器。”陈国明先生是中科院高能物理研究所研究员、参与寻找希格斯玻色子的欧核中心 CMS 项目中国组成员及负责人,他说:虽然这次发现新粒子的一些特征,比如产率(出现几率)、衰变模型等与之前预言的希格斯粒子相吻合,但现在统计性太少,还不能确定这个新粒子的各种特性,因此这次也可能发现的是另一种新粒子。以目前取得的数据,要最终确认希格斯粒子的存在恐怕还远远不够,仍然需要更多的实验数据积累。可能还需要再建一个高能量的直线正负电子对撞机,才能更仔细、准确地验证这个结果。

标准模型确实非常强大而且形式简洁优美。科学家们发现希格斯玻色子更是锦上添花。2012 年 7 月 4 日,欧洲核子研究中心(CERN)的科学家们宣称,他们发现了一种新的亚原子粒子,这个粒子是希格斯玻色子(即传说中的“上帝粒子”)的可信度高达 99.99994%。1964 年,科学家首次提出希格斯玻色子是物理学粒子标准模型中最后缺失的一部分,标准模型是一套描述强作用力、弱作用力及电磁力这三种基本力及组成所有物质的基本粒子的理论。根据该理论模型,希格斯玻色子必须存在从而赋予其他基本粒子质量。希格斯玻色子的“现身”证实了标准模型的完整性。更为重要的是,这是科学家们几十年科研探索的集大成者。就像在大海中捞针一样,我们首先必须完全理解大海和针,为了发现大型强子对撞机(LHC)制造的“迷你宇宙大爆炸”中的希格斯玻色子的罕见踪迹,我们必须了解基础物理学。标准模型几乎是大自然给予人类的最美妙的果实。然而,标准模型是作用力和粒子的大杂烩,没有获得完整的统一性和一致性。在标准模型中,标准模型最早部分——麦克斯韦方程组统治了电磁学,公正地说,麦克斯韦方程组以平衡和优美著称。标准模型最新部分的方程式描述了强核力,这部分也具有令人愉悦的对称性,但是,强核力并不需要电荷和载力子(光子),它们需要 3 个“色”电荷和 8 个胶子。而弱核力则引入了另外 3 个载力子。上述所有这些使标准模型看起来有点别别扭扭的。鉴于此,我们希望能够获得更大更好的方程组,其具有更好的对称性和平衡性。从逻辑上而言,超对称就是这些想法的集大成者。它假定存在着一种基本的对称性,使力能够变成物质,物质也能变成力,同时,这些方程式作为整体具有同样的内容。通过让自然界的粒子博物馆里粒子的数量加倍——为每个组成物质的费米子制造出一种携带力的玻色子以及相反,可以做到这一点。朝着这条道路一直追寻下去,我们会获得比较大的成功。经过扩展后的新理论可以精确地预测强核力、弱核力、电磁力的强度之间的比率,标准模型听任这些参数摆布。

我相信这个成功绝非偶然。但是,在科学上,相信只是一种手段,而不是最终目的。超对称性预测了具有独特属性的新粒子,随着大型强子对撞机以更高的能量和密度强度操作,这些粒子会逐一进入我们的视野中。这一理论很快将经受严格的考验,它或者会给我们提供我们所需要的,甚至给我们惊喜,或者一切只是竹篮打水一场空。

丽莎·蓝道尔:哈佛大学理论物理学家,粒子物理学和宇宙学领域的权威。她有点担忧地表示:“我们或许无法获得超越标准模型的答案。”

##### 5、电子的电量与电荷运动速度之间的关系

按照近代基本粒子理论,电磁质量主要来自粒子与真空中凝聚场之间的相互作用,这种真空凝聚场并造成某些对称性的自发破坏,并影响基本粒子间的配对,自发破缺是产生质量和电荷的原因,惯性质量并不由

这类因素决定。电磁质量的认识现在尚未彻底解决！现代物理学认为电磁质量由电荷附近的电磁场分布结构决定，与电荷没有多大的直接关系，只是间接关系。电荷附近的电磁场的源是电荷。但当电荷运动的时候，电荷附近的电磁场分布结构会发生变化，如发生压缩畸变，其分布结构是速度的函数，这可见一般教材。于是，电磁质量也是速度的函数。现代物理学认为电荷影响着物质的质量，不仅核物理有论述，张一方教授在他的著作《**粒子物理和相对论的新探索**》的“SU(3)理论的质量、寿命公式和它们的统一性”一节中给出的公式： $M^{(2)}=M^{(1)}+Q\{d_1(Y+Q/2)-d_0\}$ 显示了电荷电量  $Q$  对于惯性质量的贡献。电荷电量随运动速度而改变也是客观事实，有些人就给出了： $Q=Q_0(1-v^2/C^2)^{1/2}$ 。当电荷速度愈来愈高时，它的电磁辐射愈来愈强，外场对它的加速愈来愈弱，当达到光速时就会转化为无电荷、无静止质量的光子——场物质！

### 1、测量电子速度的实验

用上海应用物理研究所的飞秒直线加速器初始段的均匀静电场加速电子，加速器的五级能量使电子得到近光速的五种速度和相应的动能。按照 Einstein 的质速公式和动能公式，电子速度增加导致它的动质量和动能急剧增加，以致于超过了加速器提供的能量，加速器效率竟大于 100%！电子的动质量不但不增加，反而随其速度增加而下降，加速器效率不仅没有达到 100%，反而随着电子速度的增加而降低。电磁作用力的传递速度是光速，随着电子速度趋近光速，电磁场的有效作用力下降使加速器效率下降，加速器提供的能量被浪费。

### 0.121T 电子能量——圆半径实测值关系

能量 E(MeV)	20	16	12	9	6	4
半径 R (cm)	18	18	18	18	18	18

### 2. 电子束流轰击铅靶的量热法实验

季灏的这个实验是在美国瓦里安公司的 2300C/D 型直线加速器上进行的。按相对论公式，静止质量为  $m_0$ ，带电量为  $q$  的粒子以速度  $\vec{V}$  在电磁场中运动时，满足的洛伦兹力运动方程是：

$$\frac{d}{dt} \frac{m_0 \vec{V}}{\sqrt{1-V^2/c^2}} = q(\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \quad (1)$$

采用柱坐标系，设电子在  $z=0$  平面运动。在均匀磁场中，令  $R$  是粒子圆形轨道半径， $P$  是粒子的相对论动量，加速器理论中常用的基本公式是：

$$R = \frac{m_0 V}{qB\sqrt{1-V^2/c^2}} = \frac{P}{qB} \quad (2)$$

季灏实验用的 2300C/D 型直线加速器产生六种能量分别为 4MeV, 6MeV, 9MeV, 12MeV, 16MeV 和 20MeV 的电子束。按相对论质能关系，速度分别为 0.9918c, 0.9969c, 0.9986c, 0.9992c, 0.9995c, 0.9997c。通过铅铁准直器垂直射入 0.1210T 的均匀磁场，按(2)式计算，电子的圆周运动轨道半径运动应当为 10.94cm, 16.41cm, 24.62cm, 32.82cm, 43.76cm, 54.70cm。然而季灏实验表明，所有的六种电子都落在感光胶片半径大约为 18cm 的上，意味着这些理论上具有不同能量的电子的运动轨迹几乎落在同一个圆上。也就是说这些电子的能量实际上相差无几，可以说基本上是一样的！

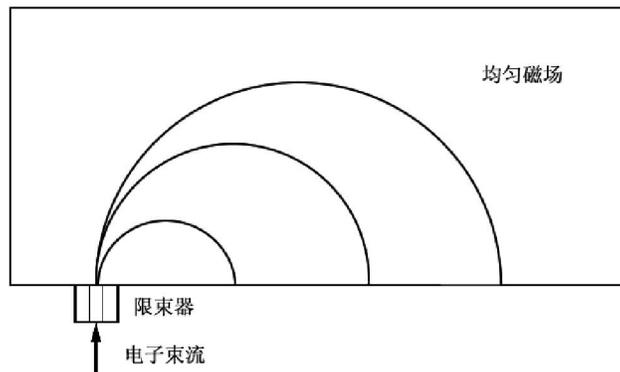


图 1. 不同能量电子在均匀磁场中运动轨迹的实验

从相对论质能关系的角度, 这个结果看起来匪夷所思, 如果不是瓦里安公司加速器有问题的话。尽管考虑到接近光速时, 带电粒子的辐射较大, 能量越大的粒子辐射越大, 但不同能量的粒子会通过辐射达到完全相同的能量, 落到磁场中的相同点上, 这几乎是完全不可能的。然而这个结果却与季灏第一个的实验结果一致, 如果进行量热实验, 理论能量不同的粒子在靶上引起的温度升高是一样的。由于以上六种电子的速度都与光速相差无几, 若按经典动能公式(2)式, 它们的动能应当是几乎一样的。因此季灏和许多网友都倾向于认为, 狭义相对论的质速关系可能不成立。这个实验与第一个实验揭示了一个相同的现象, 即用直线加速器加速带电粒子速度接近光速后, 粒子的能量可能难以继续增加。用季灏的话说, 粒子的运动速度接近光速时, 现有理论的能标偏高了。能量和温度的理论值和实验值

能量 温度	1.6Mev	6Mev	8Mev	10Mev	12Mev	15Mev
理论值	0.67	2.52	3.36	4.20	5.03	6.29
实测值	0.97	1.0	1.03	1.03	1.03	1.03

用上述飞秒直线加速器输出的电子束流轰击铅靶。电子的动能使铅靶的温度升高。实验使用了加速器的五级能量。按照 Einstein 相对论的质速公式和动能公式, 近光速电子的动质量和动能很大, 因此铅靶的温升应该很高, 而且温升应该与加速器能量成正比。但是, 实测的温升值却很小, 而且加速器能量成倍地增大只导致铅靶的微量温升, Einstein 的相对论与实验结果矛盾。

### 3. 高速电子在均匀磁场中偏转的实验

该实验是在上海复旦大学近代物理学实验室中进行的。采用  $200\mu\text{m}$  厚铝窗 NaI (TI) 闪烁探头, 配合微机多道系统, 组成  $\gamma$  能谱仪来测量  $\beta^-$  粒子(电子)的能量。实验中使用  $^{90}\text{Sr}$  作为放射源提供能量为  $2.274\text{MeV}$  的  $\beta^-$  粒子。测量  $\beta^-$  粒子在均匀磁场中运动的圆形轨道半径, 用(4)式来确定粒子的相对论动量, 从而确定  $\beta^-$  粒子的能量动量是否满足相对论关系  $E = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$ 。实验考虑到闪烁体探头位置对能量测量的影响等因素, 但没有考虑带电粒子在磁场中加速运动的辐射。季灏认为辐射很小, 可以忽略不计, 但他使用的是非相对论的辐射公式。当粒子运动速度较大时, 辐射还与因子  $1/(1-V^2/c^2)^2$  有关, 应当予以注意。实验结果表明 1。

#### 布雪勒的原始数据及整理

	布雪勒原始数据		按荷比维持不变的原则依据布雪勒实验而整理			
	$\beta = v/c$	$e/m_0$ ( $10^{11}\text{C/kg}$ )	$R_{B=121\text{T}}$ (cm)	$e_R$ ( $10^{-19}\text{C}$ )	$m_R$ ( $10^{-31}\text{kg}$ )	$e_R/m_R$ ( $10^{11}\text{C/kg}$ )
1	<b>0.6870</b>	<b>1.7670</b>	1.331806	1.598451	9.08820553	1.75882
2	<b>0.5154</b>	<b>1.7630</b>	0.847233	1.600273	9.09856406	1.75882
3	<b>0.4281</b>	<b>1.7600</b>	0.667298	1.601640	9.10633295	1.75882
4	<b>0.3787</b>	<b>1.7610</b>	0.576400	1.601184	9.10374332	1.75882
5	<b>0.3173</b>	<b>1.7520</b>	0.471332	1.605283	9.12705000	1.75882

不同的磁场对动量值的测量有影响, 2. 相同能量的  $\beta^-$  粒子在不同强度的磁场中受力不同, 磁场较弱时实际受力小于洛伦兹力的理论值, 磁场较强时实际受力大于洛伦兹力的理论值。3. 按照现有理论(4)式,  $p = eBR$ , 动量与磁场强度成正比。实际测量表明, 动量与磁场强度不成正比。季灏认为现有洛伦兹力不正确, 相对论的能量动量关系与实际不符。电子在磁场中运动时, 洛伦兹力应当乘上一个有效因子  $\eta = \sqrt{2Em_0}/(eBR)$ , 就可以使经典力学的动能与动量关系得到满足。实验还表明在同一个磁场中, 电子的运动速度与越大, 所受到的洛伦兹力越小。用上述飞秒直线加速器输出的电子束流垂直射入由永磁铁产生的均匀磁场, 电子受洛伦兹力偏转而作圆周运动。实验使用了加速器的六级能量。按照 Einstein 的质速公式,

电子的动质量随其速度趋近于光速而急剧增大，但洛仑兹力难以偏转大质量的近光速电子，因此电子圆周运动的半径应该随着加速器能量的增加而成正比地急剧变大。令人惊讶的是，对于加速器的六级能量，屏幕上显示的斑点位置变化极小，六个小斑点聚成一个大斑点；也就是说，圆半径几乎不变。

笔者认为，上面的实验是根据荷质比得到的，只是由于电子在电磁场中加速运动时辐射电磁波，减少了电磁质量，因此电子的电量在加速过程减少，表现为动质量的增加，因此随着电子速度趋近光速，电磁场的有效作用力下降使加速器效率下降，加速器提供的能量被浪费，电子速度未能与加速器能量成正比地增加，所以加速器能量大幅增加而铅靶温升微小，电量、动质量、速度都比原来计算的数值减少，两者相抵使圆半径几乎不变。

## 6、电的本质的思考

电荷究竟是什么（实体？属性？运动效应？振荡模式？）？

电荷很神秘，公元前 600 年左右，希腊人发现了摩擦过的琥珀吸引轻小物体的现象。16 世纪，英国御医吉尔伯特提出了电荷的概念，美国科学家富兰克林提出了正负电荷的概念。且电荷有两种：用毛皮摩擦过的橡胶棒带负电，用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电；两种电荷间的相互作用同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。这样，人们是为了解释摩擦过的物体为什么会吸引轻小物体以及摩擦物体的吸引排斥现象，故而提出了电荷并认为有正负电荷这两个概念，也就是说电荷只属于对自然现象进行解释提出的一个概念，并不是事实本身，这一点和早期人们认为自然界存在‘热质’一样，都是为了解释生活中我们所遇到的一些常识现象，不过到现在热质说早已经被否定。

现代物理学家，诺贝尔奖的获得者杨振宁教授的一段话：在 19 世纪末 20 世纪初，物理学明显地正在进入一个新时代的黎明时期。不仅经典力学和法拉第-麦克斯韦电磁理论的辉煌成就已经使宏观物理学时代胜利结束。而且各方面都已经出现新的疑难、新的发现、新的激动和新的预见。阴极射线、光电效应、放射性、塞曼效应、X-射线以及里德伯的光谱线定律都是当时新的发现。当然那个时候还很难预测这个新时代究竟将包含什么内容。在其他一些问题中，人们对于电可能具有的原子结果曾经进行过很多讨论。但是要知道，虽然在很久以前就已经有人设想关于物质原子结构的概念，但是这种设想不能被载入到科学著作中去，因为除非有定量的实验证据，没有任何一种哲学性的讨论能够作为科学的真理来加以接受。例如晚至 1897 年，十九世纪后也物理学界的一位大使凯耳芬勋爵仍然写道：“电是一种连续的、均匀的液体”（而不认为它具有原子结构）的意见还值得加以谨慎的考虑。【1】

1890 年，声名卓著的开尔芬提出电效应是由以太的平动引起的，磁现象是由以太的转动引起的，而光是却是由以太波动式的振动引起的。

因为电磁场在这里不再以某些物质的状态的身份出现，它本身就是存在物，它和有重物质是同一类东西，而且它也带有惯性的特征。这样一个理论允许一下子预言到迈克尔孙和莫雷的否定结论。【2】

法拉第、玻尔、爱因斯坦、费恩曼等科学巨匠都善于通过物理现象来探求物理本质和解释，并从哲学层面加以把握，而认为数学运算是第二位的，因为在新的未知科学领域，很可能还没有相应的数学工具。玻尔一向认为，对于物理学观念的讨论来说，数学是不重要的，我们已经见识过，在 BKS 那篇洋洋万言的论文里，只有一道简单的数学公式。Einstein 曾经说过：“力是简单的，无论是万有引力，电力或磁力都可以用同样的方法来表述。但是为了求得这个简单的表述方法，我们所付的代价也很高：引入了许多新的、没有重力的物质。它们都是颇为牵强的概念，而且与基本的物质——质量完全无关。”德国科学家考夫曼，发现  $\beta$  射线的质量随速度的增加而增加，试图据此区分电子的固有质量和速度改变的电磁质量。对于电和磁的理论概念，人们又引入了一种特殊的质量（电磁质量）。并假定在此类物质间存在着类似于 Newton 的万有引力的超距作用。然而这种特殊物质又似乎缺乏惯性的基本性质，而且作用于这类物质和有重物质之间的力依然很含糊。在这些困难上，又不得不加上此类物质的极性特征——而这又不适合经典力学的纲领。当电动力学现象为人们所熟知时，这个理论的基础仍是不令人满意的。尽管这些现象使得物理学家可以借助电动力学现象解释电磁现象，并从而使电磁质量的假设成为多余。这个进步是由增加相互作用力的复杂性而换来的，在运动着的带电物体之间必须假设存在着这些力。物质参与电磁现象的根本原因在于其基本粒子带有恒定 electric charge（电量）【3】，从 Einstein 的论述中可以看出当时他已经认识到引力质量与电磁质量之间的区别与联系。

广义相对论需要被用来解释 space-time 基本结构，研究引力质量的变化规律；量子力学用来解释亚原子粒子运动，是关于电磁质量的变化规律的科学。对于这种数学综合的第一步尝试是量子场理论，它试图通过结合量子力学同狭义相对论来解释电子运动。这个理论取得了某些重大成功，但它的创立者 Dirac 承认：“要将这个理论建立在坚实的数学基础上似乎是不可能的。”第二步把广义相对论与量子力学结合起来，至今没

有任何思路，温伯格认为也许需要一至两个世纪才能完成理论数学化的工作。电荷和质量作为万有引力和电磁力之源，它们是我们无法统一这两类力的症结所在。对于电磁质量，现代理论物理并没有一个很好的说明，是否存在电磁质量还是一个问题，通常在处理电磁场的问题时，一般是不考虑电磁质量的。

现代物理学认为电子的电磁质量是电子静止质量的一部分，Einstein 曾经试图证明电子的电磁质量是电

子质量的  $\frac{3}{4}$ ，即宇宙的能量  $\frac{1}{4}$  起源于电磁， $\frac{3}{4}$  起源于引力。但是没有成功，现代物理学中相对论和量子力学对于电子的电磁质量的计算是矛盾的，彭桓武认为这个问题可能需要未来的高等数学来解决。Einstein 晚年已经认识到 electric charge 没有引力质量的问题，指明引力场和 electric field 是逻辑上毫无联系的两部分。

科学家因“经加速器加速的两个高速运动电子对心碰撞，反应产物中找不到电子碎片”的实验结果，得出电子是一个整体、不可粉碎的结论。根据实验结果的另一细节：当电子的能量足够大时，“反应的产物中可能找到三个电子和一个正电子”。指出这三个电子和一个正电子是二个高速运动电子碰撞后的碎片。三个电子和一个正电子的静止质量和为  $4m_0$ ，它的母体的静止质量至少也应是  $4m_0$ ，而在加速前二个电子的静止质量和才  $2m_0$ ，可见电子加速后静止质量增加了。这一方面说明电子的引力质量中的运动质量与静止质量本质是统一的，另一方面说明电磁质量与引力质量各自守恒。

Einstein 晚年探索统一场论始终是以时空问题的探索为主线的。在认识时空问题上，他那敏锐的判断力和直觉与早年一脉相承，仍然无人可以企及，统一场论未获结果只能属于时代的局限；在纪念相对论百年的今天，统一场研究不是依旧未能取得任何可确认的进展么？至于 Einstein 晚年对量子力学采取排斥态度，那也只是基于科学信念的对立，即他坚信“上帝不会掷骰子”，并非意味着晚年的 Einstein 削弱了对于科学事物的判断能力。国际物理年给世人提供了一个重新认识和发现 Einstein 的机会。我们只有把 Einstein 晚年时空观点从其尚未成功的统一场论（亦即纯引力场论）中提取出来加以研究，才能保证完整、准确地认识和理解 Einstein 和他的相对论。譬如，Einstein 生前即已提出时空既是弯曲的也是运动的，可是这么多年过去了，仅就时空弯曲这一个观点而言就远未能被公众所理解和接受，更甭说其他诸多观点了。这种现实客观地表明，Einstein 的科学观念不但远远超越他所处的时代，而且也远远超越他身后的未来。总之，如何对待 Einstein 晚年关于时空问题的探索与研究，克服某些偏见是相当重要的。人们毕竟已习惯于认为 Einstein 晚年没有留下有研究价值的理论成果，因而很可能对 Einstein 晚年的时空观点采取不屑一顾的态度。如果真是如此的话，那么遭受损失的只能是已经属于 21 世纪的科学和我们人类自己。17 世纪牛顿的引力论和 19 世纪麦克斯韦的电磁理论，“在本质上是相互矛盾的”。【4】

物理学有实验科学的本质特征，其表述都具有实在性本质，理论的一切成果都只能构成于与被描述客体存在的一致性，而决不是抽象的逻辑思维。这就要求我们在实现现代物理理论的突破性发展时，其出发点决不应该是数学分析等抽象的逻辑思维，而只能是被描述客体的实在性存在。被描述客体的实在性存在又只能通过由它构成的现象事实来认识。因此，要实现现代物理理论突破性发展，就是要坚持物理理论表述的实在性本质，要在对相关现象事实的分析归纳中另辟蹊径。

#### 参考文献

- 【1】 杨振宁，基本粒子发现简史，上海，上海科学出版社，1963。
- 【2】 A.Einstein。关于相对性原理和由此得出的结论[G]/Einstein 文集（第二卷）。北京：商务印书馆，1977:151。
- 【3】 Einstein 著 方在庆 韩文博 何维国 译。《Einstein 晚年文集》海南出版社 2000 年 3 月第 1 版
- 【4】 霍金著 霍金讲演录 湖南科技出版社 1995 年 P39

#### 7、美首次证明能量均分定理适用于布朗粒子（100 年前 Einstein 曾预言这是一件不可能完成的任务）

据英国《新科学家》杂志网站 5 月 21 日报道，美国得克萨斯大学的研究人员称，他们首次通过实验方法观测到了布朗运动中单个粒子运动的瞬时速度，从而证明了能量均分定理适用于布朗粒子。而 100 年前 Einstein 曾预言这是一件不可能完成的任务。相关论文在线发表于《科学》杂志。

布朗运动是气体或液体中的微观粒子不停进行无规则曲线运动的一种状态，于 1827 年由英国植物学家布朗发现。1907 年，Einstein 提出了能量均分定理。这一统计力学的基本理论认为，一个微观粒子的动能只取决于其温度，而与其大小和质量无关。但他预言，由于布朗运动中粒子间的高速碰撞会导致其运动方向和

速度不断发生变化，布朗运动中单个粒子的瞬时速度将无法测定，直接证明能量均分定理适用于布朗粒子难以实现。

得克萨斯大学的研究人员找到了一种在空气中测定布朗粒子瞬时速度的方法。研究人员称，由于空气的密度远低于水，所以粒子碰撞的频率也要比液体中低得多，两次碰撞的间隔时间相应的也要长一些。借助光镊技术，该研究小组用两束激光将一个直径为3微米的玻璃珠捕获，并让其悬浮在空中。通过测量激光束偏移的距离，就可以计算出玻璃珠移动的距离。根据这些测量数据，研究人员每隔5微秒就可获得一次玻璃珠的速度值，并直接证实了能量均分定理对于布朗粒子而言是站得住脚的。这项实验成果也朝着将玻璃珠冷却至较低能态以用作振荡器或传感器迈进了一步。

负责该研究的得克萨斯大学奥斯汀分校的物理学家马克·雷曾说，100年前的人们无法设想用激光将布朗粒子悬浮在空中，也无法想象用超声震动的方式来减缓布朗粒子的能量。下一步，他们计划用激光进一步减缓布朗粒子的运动，以使之呈现其最低能态，从而展现通常只在亚原子身上才能看到的量子力学特性。

德国哥廷根大学的克里斯托夫·施密特说，从技术上看，虽然现在已经能够在空间分辨率（通过仪器可识别物体的临界几何尺寸）上对多种粒子进行追踪和定位，但能够在如此短的时间内对布朗微粒的运动速度进行测量仍是一项重要的进展。

雷曾说：“这次我们观测到了一个布朗粒子的瞬时速度。从某种意义上说，我们解决了普通物理学中布朗粒子瞬时速度测定的问题，但在量子物理学中，我们还将面临着更多的挑战。”他认为，在量子水平上，能量均分定理将不适用，因为受量子力学支配的物体即使温度为零，也同样具有一定的动能。

复旦大学数学学院辜英求认为：探索规律有两种方式：第一种方式是直接寻找真理，例如库伦定律的发现，很多实验定律的获得都属于这种类型。在某个领域的发展初期，这种方式几乎是唯一的选择。第二种方式则是通过排除谬误来收集真理。当一个领域积累一定的知识后，就要用这种方式研究了，这就是公理化方法，也是Einstein统一场论的实质所在。只要科学的基本信念成立，则后一种思路就一定是对的。逻辑理由也很简单：因为没有一条假设（也就是没有限制）的理论包含所有真理，但它没有用处，因为它也包含所有的谬误，不能告诉我们任何明确的东西。因此我们要做的就是从零开始不断引入那些普适的基本概念和必然成立的原理，排除明显的谬误，把真理浓缩到一个很小的范围内，再用实验来确认最后的真理。基础物理进步的原则是，用较少的更深刻的原理去概括和解释更多的较低层次的理论和现象。

美国物理学家L·斯莫林在认真梳理物理学发展史后，在《物理学的困惑》一书中总结道，“从18世纪80年代到20世纪70年代，我们关于物理学基础的认识，大概每10年就有一次大的进步。但自20世纪70年代以来，我们对基本粒子物理学的认识还没有一个真正的突破。弦理论、圈量子引力以及其他试图统一物理学的各种方法，它们都还没有到达那个前沿。通常的借口是说，那个尺度的实验还无法实现——但我们已经看到，事情不是这样的。因此一定还有其他原因。我相信我们还缺失某个基本的东西，我们还在做着错误的假定。那样的话，我们需要将错误的假定找出来，用新的思想来取代它。那个错误的假定会是什么呢？我猜它涉及两个因素：量子力学的基础和时间的本质。……我越来越觉到量子理论和广义相对论在深层次上都把时间的本质弄错了。但只结合它们是不够的，还有一个更深层次的问题，也许要追溯到物理学的起源。”

## 8、Einstein 科学美学观

1979年2月，当代著名的物理学大师狄拉克在美国普林斯顿纪念Einstein大会上发表了题为《我们为什么信仰Einstein理论》的长篇演说。狄拉克说：“Einstein推崇这种思想：凡是在数学上是美的，在描述基本物理学方面就很可能的是有价值的。这实在是比以前任何思想都要更加根本的思想。描述基本物理理论的数学方程中必须有美，我认为这首先应当归功于Einstein而不是别人。”在谈到狭义相对论时，狄拉克说：

“我们为什么相信狭义相对论，理由是因为它显出这些在数学上是美的洛伦兹变换之重要意义。对此当然没有任何一般的哲学根据，而且我们也不能说它得到实验的支持。”在谈到广义相对论时，狄拉克说：“自从Einstein第一次提出广义相对论以来，我们已经做了这么多的观测。每次观察结果都确证了Einstein理论，它一直是顺利地通过了所有的检验。”

在十九世纪就要结束之前，至少在物理学，似乎对和谐的追求已经达到极至。英国一位杰出的大科学家开尔文勋爵认为当时在物理学的天空上除了两朵小小的乌云之外是一片晴空，所有已知的物理现象都可以归纳到力学、电磁理论、热力学等高度完美的理论框架里，也许留给后人解决的物理问题已经不多了。然而正是这两朵小小的乌云引来二十世纪物理学的巨大变革，导致《相对论》和《量子论》两大理论的建立。然而新的观念与传统的观念难以调和，新的理论并不具有传统意义下的完美。传统的完美起码要符合完整、清晰的概念，但是在新的物理学里情况却不是这样：传统的清晰性被新理论内禀的一种不确定性所代替，而完整性只有在统计和几率的意义上才能谈到。这使得科学上的巨人Einstein--二十世纪一个新理论《相对论》

的创立者--在最高的层次上对另一新生的理论《量子力学》进行毕生的质疑，留下名言：“上帝是不掷骰子的。”

“我深信，这个理论的基础比起我们仅仅从实验数据所能得到的支持更要有力得多。真实的基础来自这个理论伟大的美。这些基础起源于这个事实，即 Einstein 引进的新的空间思想是非常激动人心的，非常优美的，不论将来我们会面临什么情况，这些思想一定会永垂不朽。”狄拉克甚至说：“我认为，信仰这个理论的真正理由就在于这个理论本质上的美。这个美必定统治着物理学的整个未来。即使将来出现了与实验不一致的地方，它也是破坏不了的。”日本的粒子物理学家汤川秀树（Hicliki Yukawa, 1907~1981）评价 Einstein 时说：“Einstein 拥有一份只有少数物理学家才拥有的美感。”Einstein 也曾经说：“我坦白地承认我被自然界向我们显示的数学体系的简洁性和优美性强烈的吸引住了……照亮我的道路，并不断给我新的勇气去愉快地正视生活的理想，是善、是美和真。”

1、理论物理学的目的，是要以数量上尽可能少的、逻辑上互不相关的假设为基础，来建立起概念体系，如果有了这种概念体系，就有可能确立整个物理过程总体的因果关系。这里的问题不单是一种列举逻辑上独立的前提问题(如果这种列举竟是毫不含糊地可能的话)，而是一种在不能通约的性质间作相互权衡的问题。指这样一种努力，它要把一切概念和一切相互关系，都归结为尽可能少的一些逻辑上独立的基本概念和公理。只要数学上暂时还存在难以克服的困难而不能确立这个理论的经验内涵，逻辑的简单性就是衡量这个理论的价值之惟一准则，即使是一个当然还不充分的准则。

2、“物理学的概念必须尽可能简单，但又必需能推导出与事实经验相符合的结论。通过纯粹的数学推论方法和那些把他们结合在一起的规律，我们有理由相信，‘自然’是能以最简单的数学概念作具体的描述。人类思想的力量，最终将从复杂纷繁的现象中发现主宰宇宙基本定律的单纯，简洁和壮丽。”我们的经验已经使我们有理由相信，自然界是可能想像到的最简单的数学观念的实际体现。我坚信，我们可以用纯粹数学的构造来发现这些概念以及把这些概念联系起来的定律，这些概念和定律是理解自然现象的钥匙。经验可以提示合适的数学概念，但数学概念无论如何却不能从经验中推导出来。当然，经验始终是数学构造的物理效用的惟一判据。但是这种创造的原理却存在于数学之中。因此，在某种意义上，我认为，像古人所梦想的，纯粹思维能够把握实在，这种看法是正确的。

3、自然规律的简单性也是一种客观事实，而且正确的概念体系必须使这种简单性的主观方面和客观方面保持平衡。逻辑简单的东西，当然不一定是物理上真实的东西。但是，物理上真实的东西一定是逻辑上简单的东西，也就是说，它在基础上具有统一性。如果自然界把我们引向极其简单而美丽的数学形式，即假设、公理等等的贯彻一致的体系，我们就不得不承认这些形式是“真”的，它们显示出自然界的真正特征。

当基本概念和公理距离直接可观察的东西愈来愈远，以致用事实来验证理论的含义变得愈来愈困难和更费时日的时候，“内部的完美”对于理论的选择和评价就一定会起更大的作用。我们所谓的简单性，并不是指学生在精通这种体系时产生的困难最小，而是指这体系所包含的彼此独立的假设或公理最少。惟一事关紧要的是基础的逻辑的简单性。一个理论的前提的简单性越大，它所涉及的事物的种类越多，它给人们的印象也就越深。

科学的目的，一方面是尽可能完备地理解全部感觉经验之间的关系，另一方面是通过最少个数的原始概念和原始关系的使用来达到这个目的。

4、科学家的目的是要得到关于自然界的一个逻辑上前后一贯的摹写。逻辑之对于他，有如比例和透视规律之对于画家一样；而且我同意昂利——彭加勒，相信科学是值得追求的，因为它揭示了自然界的美。

5、虽然概念体系本身在逻辑上完全是任意的，可是它们受到这样一个目标的限制，就是要尽可能做到同感觉经验的总和可靠的(直觉的)和完备的对应关系；其次，它们应当使逻辑上独立的元素(基本概念和公理)，即不下定义的概念和推导不出的命题，要尽可能地少。

6、即使观念世界是不能用逻辑的工具从经验推导出来的，而在某种意义上是思维的自由创造，但这个观念世界还是一点也离不开我们的经验本性而独立，正像衣服不能离开人体的形状而独立一样。他强烈反对那些先验论哲学家，他们把基本概念从经验领域里排除出去，而放到虚无缥缈的先验的顶峰上去。他并不认为思辨比经验高超，并明确指出：“一个希望受到应有的信任的理论，必须建立在有普遍意义的事实之上。”

7、音乐和物理学领域中的研究工作在起源上是不同的，可是被共同的目标联系着，这就是对表达未知的东西的企求。它们的反应是不同的，可是它们互相补充着。至于艺术上和科学上的创造，那么，在这里我完全同意叔本华的意见，认为摆脱日常生活的单调乏味，和在这个充满着由我们创造的形象的世界中寻找避难所的愿望，才是它们的最强有力的动机。这个世界可以由音乐的音符组成，也可以由数据的公式组成。我们试图创造合理的世界图像，使我们在那里面就像感到在家里一样，并且可以获得我们在日常生活中不能达到的安定。

8、在科学领域，时代的创造性的冲动有力地迸发出来，在这里，对美的感觉和热爱找到了比门外汉所能想像的更多的表现机会。

9、音乐和物理学领域中的研究工作在起源上是不同的，可是被共同的目标联系着，这就是对表达未知的东西的企求。它们的反应是不同的，可是它们互相补充着。至于艺术上和科学上的创造，那么，在这里我完全同意叔本华的意见，认为摆脱日常生活的单调乏味，和在这个充满着由我们创造的形象的世界中寻找避难所的愿望，才是它们的最强有力的动机。这个世界可以由音乐的音符组成，也可以由数据的公式组成。我们试图创造合理的世界图像，使我们在那里面就像感到在家里一样，并且可以获得我们在日常生活中不能达到的安定。

10、Einstein 推崇这种思想：凡是在数学上是美的，在描述基本物理学方面就很可能是有价值的。这实在是比以前任何思想都要更加根本的思想。描述基本物理理论的数学方程中必须有美，我认为这首先应当归功于 Einstein 而不是别人。我们为什么相信狭义相对论，理由是因为它显出这些在数学上是美的洛伦兹变换之重要意义。对此当然没有任何一般的哲学根据，而且我们也不能说它得到实验的支持。自从 Einstein 第一次提出广义相对论以来，我们已经做了这么多的观测。每次观察结果都确证了 Einstein 理论，它一直是顺利地通过了所有的检验。我深信，这个理论的基础比起我们仅仅从实验数据所能得到的支持更要有力得多。真实的基础来自这个理论伟大的美。这些基础起源于这个事实，即 Einstein 引进的新的空间思想是非常激动人心的，非常优美的，不论将来我们会面临什么情况，这些思想一定会永垂不朽。我认为，信仰这个理论的真正理由就在于这个理论本质上的美。这个美必定统治着物理学的整个未来。即使将来出现了与实验不一致的地方，它也是破坏不了的。——————狄拉克

11、逻辑简单性同样是 Einstein 统一性思想的重要特征。Einstein 认为尽管现象的世界是千姿百态、错综复杂的，但在它的深处却隐藏着数学简单性和逻辑简单性，逻辑简单性是深深地扎根在客观实在的世界中的。Einstein 总是想用统一性思想把纷繁的自然现象尽可能地统一到较少的、简单的、经济的基本原理和基本规律上。其中“所谓‘简单的’和‘经济的’不是指‘心理学上的经济’，而是指‘逻辑上的经济’。可观察到的性质应当由尽可能少的假设推出来，即使这些假设看起来好像是‘任意的’，而且这些结果的演算可能很困难。”也就是说，逻辑简单性是指一个科学理论具有尽可能少的逻辑上互相独立的基本概念和基本公设。Einstein 头脑中的逻辑简单性正是把一切概念和一切相互关系，都归结为尽可能少的一些逻辑上独立的基本概念和公理。

如果说开普勒地相信世界的简单性和统一性是直觉使然，那么，Einstein 对世界的简单性则是具有一种深刻的哲学认识，也就是说他对世界简单性的认识具有逻辑简单性思想特征的。

12、1946 年，他在《自述》中写道：“自然定律应该表述为在连续坐标变换群下协变的方程。这个群替代了狭义相对论中的洛伦兹变换群，后者形成前者的一个子群。”“当然，这一要求自身作为导出物理的基本观念的出发点并不充分。……广义相对性原理突出的启发式的意义在于它导致我们去寻求在广义协变形式下尽可能简单的方程组”。于是，他又提出了在广义协变形式下的“简单性”要求。著名相对论学者迈斯勒、索恩和惠勒在他们的名著《引力》一书中，这样来表述广义相对性原理和简单性要求：“‘物理量必需表述为(与坐标无关的)几何量，物理定律必需表述为这些几何量之间的几何关系。’这一物理观点，有时称为‘广义协变性原理’，遍及 20 世纪物理思维。

13、逻辑简单的东西，当然不一定就是物理上真实的东西。但是，物理上真实的东西一定是逻辑上简单的东西，也就是说，它在基础上具有统一性。

14、我们在寻求一个能把观察到的事实联结在一起的理论体系，它将具有最大可能的简单性。我们所说的简单性，并不是指学生在精通这种体系时产生的困难最小，而是指这体系所包含的彼此独立的假设或公理最少。

15、科学的美和艺术的美是相通的，是世界最高最美的两个侧面。

16、一种理论前提的简单性越大，它所涉及的事物的种类越多，它的应用范围越广，它给人们的印象也就越深。而且，当基本概念和公理距离直接可观察的东西愈来愈远，以致用事实来验证理论变得愈来愈困难和更费时的时候，内在的完美标准对于理论的选择就一定会起更大的作用。尤其是在数学上暂时还存在难以克服的困难而不能确立理论的经验内涵的情况下，逻辑简单性就是衡量理论的价值唯一准则，即使是一个并不充分的准则。

17、1933 年，《关于理论物理学的方法》：“一切理论的崇高目标，就在于使这些不能简化的元素尽可能简单，并且在数目上尽可能少，同时又不至于放弃对任何经验内容的适当表示。”1936 年，《物理学和实在》：“科学的目的是，一方面是尽可能完备地理解全部感觉经验之间的关系，另一方面是通过最少个数的原

始概念和原始关系的使用来达到这个目的。(在世界图像中尽可能地寻求逻辑的统一,即逻辑元素最少。)”

### 9、电子的电磁质量不是电子静止质量的一部分

1916年 Einstein 完成广义相对论以后,基于物质世界的统一性和内在和谐性信念,认为广义相对论只能描述引力场是不够的,应该将广义相对论加以推广,使它不仅能够描述引力场,同时也能描述电磁场。在 Einstein 看来“还不能断言,广义相对论中今天可以看作是定论的那些部分已为物理学提供了一个完整的和令人满意的基础。首先,出现在它里面的总场是由逻辑上毫无关系的两部分,即引力部分和电磁部分所组成的。其次,象以前的场论一样,这理论直到现在还未提出一个关于物质的原子论性结构的解释。这种失败,也许同它对理解量子现象至今尚无贡献这一事实多少有点关系。Einstein 在《论动体的电动力学》中的原始公式

$$W = \mu V^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}} - 1 \right)$$

如下:  $W = \mu V^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}} - 1 \right)$ , 式中 W 为电子的动能;  $\mu$  为电子质量; V 为光速; v 为电子的运动速度。Einstein 在论文中谈到:“在比较电子运动的不同理论时,我们必须非常谨慎。这些关于质量的结果也适用于有质的质点上,因为一个有质的质点加上一个任意小的电荷,就能成为一个(我们所讲的)电子。”Einstein 说:“既然依据我们今天的见解,物质的基本粒子按其本质来说,不过是电磁场的凝聚,而决非别的什么,那末我们今天的世界图像,就得承认有两种在概念上彼此完全独立的(尽管在因果关系上是相互联系的)实在,即引力场和电磁场,或者——人们还可以把它们叫做——空间和物质。”爱因斯坦 1905 年 3 月曾经指出:“在物理学家关于气体或其他有重物体所形成的理论观念同麦克斯韦关于所谓空虚空间中的电磁过程的理论之间,有着深刻的形式上的分歧。”

诺贝尔奖的生物学家彼得-梅达瓦说,科学家思维缜密、不会犯错的形象,“只是帘子打开,公众看到我们的时候,我们更愿意展现的一种姿态。”梅达瓦指出,科学家不是圣人,偶尔也会犯错。

笔者通过认真地思考后认为电子的电磁质量不可能是引力质量的一部分,原因有十六个方面:1、根据广义相对论,物理定律对于任何物理定律具有相同的形式。当电子在引力场中加速运动的时候,其电量是不变,不满足 Lorentz transformation, 所以其电磁质量也应该不变(电磁质量应该是电量的单值函数,与运动状态无关,否则下面的理想实验无法解释——假设在一个封闭系统中有两个物体,一个不带电荷也没有磁矩,另一个带有电荷,它们的引力质量相等,分别位于 A、B 两点,观察者处于线段 AB 的中点,两个物体同时由静止出发相向运动,它们所受的力大小相等。按照狭义相对论,它们的引力质量在任何时刻都相等,引力能量相等,可是根据经典电动力学由带电的物体将不断地辐射电磁波,那么能量从何而来?如果能量守恒把物体辐射的电磁波考虑在内,由于电磁力满足宇称守恒,因此辐射电磁波的总动量应当为 0,由带电的物体速率应当大,能量仍然不守恒。),根据经典电动力学如果把电子看做球体的话电子的静电能与电量的平方

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

成正比。如果电子的电磁质量与运动速度有关,满足 Lorentz transformation, 不符合广义相对论的要求。

根据经典电动力学电子的电磁质量  $m \propto Q^2/r$ , 如果将来通过某种手段把电子的半径变为原来的 2 倍,电磁质量变为原来的 1/2,可是根据洛伦兹变换电子的静止质量没有变化,可以得出电子的电磁质量不是定值。假设一个带电球体电量为 Q,电磁质量为 m,然后使其电量增加一倍,电磁质量是否为 4m? 根据经典电动力学质子与正电子的电磁质量不相等,因为半径不相同。现代物理学认为电磁质量由电荷附近的电磁场分布结构决定,与电荷没有多大的直接关系,只是间接关系。因此质子与正电子的电磁质量应该相等。电荷附近的电磁场的源是电荷,但当电荷运动的时候,电荷附近的电磁场分布结构会发生变化,如发生压缩畸变,其分布

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

结构是速度的函数,这可见一般教材,因此电磁质量也是速度的函数,满足  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ 。当运动速度为 0 时,电子和质子的电磁质量是否相等? 当一个质子与电子组成  ${}^1_0\text{H}$  时,总体看不带电,电磁质量为 0,可是两个微观粒子均具有电磁质量,如何理解?

2、物体的静止质量是内禀的,是个常数,有人认为电磁质量是应该与静止质量有关的,电磁场的能量由电荷决定,电量与带电体的运动状态无关,引力质量与运动状态有关。假设电子的静止引力质量是 m,电子

的电磁质量是  $m_1$ , 电子的引力质量另外的部分为  $m - m_1$ 。当电子以  $\sqrt{3}/2 c$  运动时, 根据洛伦兹变换此时电子的引力质量为  $2m$ , 电子的引力质量另外的部分为  $2m - 2m_1$ , 电子的电磁质量应当为  $2 m_1$ , 可是电子的电量没有变化, 显然存在着不和谐。电量不满足 Lorentz transformation, 因此把电磁质量作为引力质量的一部分存在着不协调性——只要维持电子电荷值不变的概念, 这个问题不管怎么解释不通。这中间, 要么质速关系式错了, 要么就是电子电荷值不变的信念错了, 然而这与实验事实又高度一致。由于公式  $E=mc^2$ , 物体的引力结合能具有(负)质量, 因而系统总质量不等于各部分质量之和。而在麦克斯韦理论中, 作为线性理论的结果, 电荷(类比于质量)是严格可加的。

3、电磁力存在吸引与排斥两种状态, 只有物体带电时才有, 而引力是永远存在的; 如果电磁质量是引力质量的一部分, 那么库仑力也应当是万有引力的一部分, 电子、质子等带电粒子之间的电磁力远大于万有引力, 电磁质量远大于引力质量, 电磁质量不可能是引力质量的一部分; 电子激发的电磁场的能量小于电子的电磁质量, 正如物体激发的引力场能量小于引力质量的能量一样。通过将 1 个氢原子作为模型和对比, 可求出氢原子上正电子对壳上负电子的电磁力  $F_e$  与原子核质量与壳上电子质量的引力  $F_g$  之比, 即  $F_e/F_g = L_n = 2.27 \times 10^{39} =$  狄拉克大数, 这是因为静电力和引力都同时作用在电子和原子核上, 而有着同一个距离  $R$ 。

4、根据质速关系引力质量可以连续变化, 而电荷和电磁场呈量子化分布, 现代物理学未让量子力学进入的唯一领域是引力和宇宙的大尺度结构, 将引力场量子化遇到无穷大的困难。重整化可以消除无限大的问题, 但是由于重整化意味着引力质量作用力的强度的实际值不能从理论上得到预言, 必须被选择以去适合观测, 因此重整化有一严重缺陷。目前要取得进展, 能够建议采用的最有力的方法, 就是在企图完成和推广组成理论物理现有基础的数学形式时, 利用纯数学的所有源泉, 并在这个方面取得每次成功之后, 试着用物理的实体来解释新的数学特色。如何把量子论和弯曲时空(即广义相对论)结合起来却是十分困难的事情。到现在为止, 虽然学术界在电磁场、电子场等各种物质场的量子化中取得了极其成功的进展, 但引力场量子化的工作却遇到了意想不到的巨大困难。到目前为止, 所有试图把引力场量子化的理论(包括超弦和圈量子引力理论)都存在问题。在物理学发展过程中, 量子论引起的疑义始终多于相对论。量子论留给了人们太多的争议。Einstein 曾经说过, 我思考量子论的时间几乎是思考相对论的 100 倍, 但是我还是不清楚什么是光量子。

5、电荷具有正负, 电磁质量应当相反, 而物体的引力质量无此区别。现代物理学认为中子有一个上夸克和两个下夸克组成, 外观上看电量为 0, 由于每个夸克均激发电磁场, 因此电磁质量不等于 0, 显然存在着不协调性。电荷分为正负, 但电场的能量密度却总是正的, 所以积分得到的电磁能量总是正的, 因而电磁质量也总是一个正值。根据牛顿第二定律, 惯性质量是表征当物体受到外力作用的时候, 物体运动状态改变的难易程度, 即物体保持原来运动状态的本领大小的物理量。这个和电荷的正负无关, 所以正负电子可以具有相同的惯性质量。当正负电荷中和的时候, 电磁质量减少, 引力质量没增加, 但正负电荷中和会释放原来具有的电势能, 即原来的电磁质量会转化为别的能量, 如正负电荷中和释放两个光子, 则原来的电磁质量就转化到了光子中。那么转化的机制是什么? 同种电荷的电磁力相互排斥, 异种电荷的电磁力相互吸引, 电荷之间的作用力依靠电磁场来传递, 为什么电磁场的能量都是正值? 一个中性原子的电磁场的能量为 0, 说明正负电荷激发的电磁场的能量相反。

6、Einstein 的广义相对论是引力理论, 把引力场量子化给出引力场的量子成为引力子, 它应具有自旋为 2, 和 electric field 的量子——光子性质很不相同。近年来理论上对超对称性的探讨提供了新的可能性, 超对称性在自旋不同的粒子间建立了联系, 因此就有可能把引力相互作用和其它相互作用联系起来, 通过超对称性建立的四种相互作用的统一理论称为超大统一理论。但是根据对称的相对性与绝对性原理, 超对称的工作是没有止境的。超对称要求除引力子外, 还应当有自旋 3/2 的引力微子存在, 但是实验上并没有发现它的存在。

7、引力质量都占有一定的空间, 也就是具有体积, 而电磁质量没有体积, 因此量子电动力学的点模型观点是正确的。

8、电磁质量和引力质量可以分离, 存在 Maxwell 理论中脱离物体携带能量的场。最近, 法国里昂的科学家发现了有四个中子组成的粒子, 又称为“零号元素”。最新的实验表明, 中微子具有引力质量, 大约为电子引力质量的 50000 分之一。中微子具有引力质量但是不带有 electric charge——电磁质量。现代物理学认为除了带电介子外, 还存在中性介子, 其(引力)质量恰好等于或者近似等于(其实相等)带电介子的(引力)质量, 性质相似。Einstein 指出了波函数坍缩过程与相对论之间的不相容性, Einstein 的这一分析是关于量子力学与相对论的不相容性的最早认识。或许有人会说电磁质量与引力质量是毫无关系的两部分, 那么有何作用力把它们联系在一起, 笔者认为靠作用力联系在一起, 是引力质量、电磁质量各自联系的思想, 没有

任何作用力也可以联系在一起。

9、布朗粒子满足能量均分定理，在绝对温度为 0 时，动能为 0，可是受量子力学支配的物体即使温度为零，也同样具有一定的动能。布朗粒子的能量均分定理研究的是引力质量问题，量子力学研究的是电磁质量，绝对温度为 0 时，引力质量能量为 0，可是电磁质量的能量仍然不为 0。

10、如果两个电荷都具有引力质量，那么它们之间除了具有电磁相互作用之外还具有万有引力作用，两种作用显然不一致，不满足简单性原则。

11、在牛顿动力学中，暗含着将以下一点视为当然的事，即同时测量（即知道）一个粒子（一个质点）的位置和动量在原则上是可能的。这种可能性隐含在运动定律本身中：运动的二阶微分方程的解要求知道  $x$  和  $px$  的某个同一时刻的初始值，但是这种可能性在量子力学中从根本上被否定。牛顿动力学中运动方程是决定论的和因果律的，即从一个由系统的粒子之坐标和动量所规定的已知初态出发，运动方程以一种决定论的方式导致一切其后时刻的确定状态。这导致拉普拉斯（1749—1827）宣称：一旦给出了某一瞬间宇宙中所有星星的位置和动量，那么，宇宙过去和未来的状态都将完全被决定，但这种决定论和因果律在量子力学中基本上被否定。

12、Einstein 在创立广义相对论的过程中通过电梯说明了等效原理，可是当电梯如果带有电荷，特别是当电荷的电性相反时和相同时，等效原理显然不成立，这说明广义相对论仅仅适用于引力场，不适用于电磁场。

13、对于一个宏观物体来说， $P=h/\lambda$ ， $E=mc^2=h\nu=hc/\lambda$ ，所以  $\lambda=h/mc \neq 0$ 。假设  $P=MV=h/\lambda=h/(\nu/v)=h\nu/V$ ，则  $h\nu=MV^2$ 。这与  $E=mc^2$  是矛盾的。

14、现代物理学认为微观粒子包括玻色子和费马子，前者不满足泡利不相容原理，后者满足泡利不相容原理。笔者认为前者无静止质量，应该为只有电磁质量组成的粒子；后者具有静止质量，是有引力质量组成的粒子或者是电磁质量和引力质量共同组成的粒子。

15、设原来静止的氯离子与光子碰撞后吸收了光子而以  $u$  的速度运动，则由能量守恒定律有：

$$h\nu + m_0c^2 = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad (1), \text{ 式中 } m_0 \text{ 和 } m \text{ 分别是氯离子的静止质量和运动质量, } \nu \text{ 为入射光子的}$$

$$\frac{h\nu}{c} = mu = \frac{m_0u}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad (2), \text{ 由 (1) 式得:}$$

$$u = \frac{c\sqrt{h^2\nu^2 + 2h\nu m_0c^2}}{h\nu + m_0c^2}, \quad u = \frac{h\nu c}{\sqrt{h^2\nu^2 + m_0^2c^4}} \quad \text{, 由 (2) 式得:}$$

显然，分别由能量守恒定律和动量守恒定律决定的氯离子运动速度不相同。假设碰撞前氯离子的运动速度与入射光子的速度相互垂直，光子

$$h\nu + m_1c^2 = m_2c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-u_2^2/c^2}} \quad (3),$$

与处于运动状态的氯离子碰撞后被吸收，则由能量守恒定律应有：

式中  $m_0$  为氯离子的静止质量， $m_1$  为氯离子碰撞前的动质量， $m_2$  为氯离子碰撞后的动质量。又由动量守恒定律

$$\text{有: X 方向: } \frac{h\nu}{c} = m_2u_2 \cos \theta = \frac{m_0u_2 \cos \theta}{\sqrt{1-u_2^2/c^2}}; \text{ Y 方向: } m_1u_1 = m_2u_2 \sin \theta = \frac{m_0u_2 \sin \theta}{\sqrt{1-u_2^2/c^2}}; \text{ 将两式取平}$$

$$\left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + (m_1u_1)^2 = \frac{m_0^2u_2^2}{1-u_2^2/c^2} \quad (4), \text{ 由式 (3) 得:}$$

$$u_2 = \frac{c\sqrt{h^2\nu^2 + (m_1^2 - m_0^2)c^4 + 2h\nu m_1c^2}}{h\nu + m_1c^2}, \quad u_2 = c\sqrt{\frac{h^2\nu^2 + m_1^2u_1^2c^2}{h^2\nu^2 + m_0^2c^4 + m_1^2u_1^2c^2}}, \text{ 可见,由式(3)和式(4)}$$

决定的速度不同。

16、麦克斯韦方程组描述了电磁场与带电粒子之间的相互作用关系。在真空中的表达式为：

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

对(2)式取旋度，并利用(1)式及(4)式，用矢量分析公式化简后可得：

$$\nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{B} = -\mu_0 \nabla \times \vec{J} \quad (5)$$

对(1)式取旋度，并利用(2)式及(3)式，用矢量分析公式化简后可得：

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \nabla \rho + \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \vec{J} \quad (6)$$

经过上述数学处理，电磁场与带电粒子之间的相互作用关系就变得非常清晰了：在仅考虑电磁相互作用的情形下，(5)式和(6)式就是描述带电粒子的动力学方程。与力学定律相比，带电粒子满足的规律是完全不同的。

17、位移电流的存在说明了电磁质量可以与引力质量分离。

质量与电荷这两个物理属性，应该是平权地相互依存于一个统一体——有质（指静止质量）粒子中的（这就象一枚硬币的两个面），即有质粒子的质量与电荷具有对偶特性。由此对偶特性可以得出一个重要的推论：即有静质的中性粒子一定是有结构的。由于这个对偶特性，决定了引力场与电磁场之间存在着惊人的类比：两者都是远程相互作用场；都服从平方反比定律；都是有源场且场量子静质为零等。其次，从Coleman-Mandula定理的描述来看，该定理也许就是质量-电荷对偶特性的内核。质量-电荷的对偶特性也许还可以为我们找到另一个重要问题的答案：在目前的自然界中，相互作用力为何是四种，并且正好是两种远程和两种短程的相互作用力。

在宏观条件下，检验电磁质量对引力质量的影响是很有必要的。一是将物体（不是微观粒子！）加以强电场（充至高电压）或强磁场（超强磁化），然后在屏蔽状态下用精密天平（防止天平被磁化或带电）测定其质量是否与未充电和磁化时相同？现代技术应能做这样的测定。其二，在真空室中，对充至高电压的物体加以电场，对超强磁化的物体加以磁场（去屏蔽！），与引力平衡，以判别其电磁质量是否改变引力质量？再在强电场或强磁场的架空（悬浮）下，给予横向电场或磁场，使之作无摩擦运动，以测定其惯性质量，与天平测量值比较。

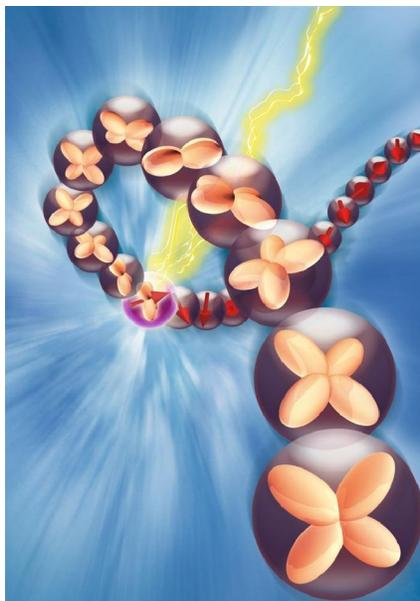
Einstein在相对论导论里指出：“所有思想，特别是科学思想，本质上都是构建性、推断性的。”例如，麦克斯韦认为“整个宇宙是一个电磁场”，这是他将其电磁理论进一步泛化，推论出的一个思想；Einstein认为“整个宇宙是一个引力场”，这是他将广义相对论进一步泛化，推出的又一个思想。

由于电磁质量不是引力质量（惯性质量）的一部分，电子的电磁质量问题便彻底解决了，广义相对论和牛顿力学是研究引力质量（惯性质量），满足因果律；量子力学是研究电磁质量的，不满足经典的因果律，二者的运动规律不相同，因此Einstein与波尔关于量子力学基础的争论就可以暂时宣告结束了，Einstein晚年认为量子力学背后存在更本质内涵的想法是正确的。笔者认为当年物理学提出的横向质量即引力质量（惯性质量），纵向质量即电磁质量，现代物理学经过多年的整理发展，实际已经背离了当年的思路。正如恩格斯：《自然辩证法》中写到“卡诺差不多已经探究到问题的底蕴。阻碍他完全解决这个问题的并不是事实材料的不足，而只是一个先入为主的错误理论”。

1926年，埃尔温·薛定谔写下了他的量子波等式，在此后的几十年间，人们认为这个等式仅仅与分子、原子和亚原子粒子等一些微小的领域相关。但是，1957年，普林斯顿大学的休·艾福雷特博士对Einstein在半个世纪之前的建议——要严肃对待数学作出了回应。艾福雷特认为，薛定谔的等式应该可以适用于任何方面，因为所有的物质，无论大小，都由原子、分子和亚原子粒子组成，而这些粒子全部遵循薛定谔提出的概

率法则。笔者认为应该对于所有的电磁质量。科学家因“经加速器加速的两个高速运动电子对心碰撞，反应产物中找不到电子碎片”的实验结果，得出电子是一个整体、不可粉碎的结论。当电子的能量足够大时，“反应的产物中可能找到三个电子和一个正电子”。说明时空参与了引力质量能量的交换，电磁质量没有改变。

附录：电子可分裂为自旋子和轨道子



据物理学家组织网、《自然》网站等媒体 4 月 18 日报道，最近，一个由瑞士保罗·谢尔研究所实验物理学家和德国德累斯顿固体和材料研究所理论物理学家领导的国际研究小组通过实验发现，一个电子分裂成两个独立的准粒子：自旋子（spinon）和轨道子（orbiton）。这一结果发表在近日的《自然》杂志上。

以往人们认为电子是一种基本粒子，无法分裂为更小部分。上世纪 80 年代，物理学家预言，电子以原子的一维链形式存在，可以分裂成 3 个准粒子：空穴子携带电子电荷，自旋子携带旋转属性（一种与磁性有关的内在量子性质），轨道子携带轨道位。1996 年，物理学家将电子空穴和自旋子分开，自旋和轨道这两种性质伴随着每一个电子。

然而，新实验观察到这两种性质分开了——电子衰变为两个不同部分，各自携带电子的部分属性：一个是自旋子，具有电子的旋转属性；另一个是轨道子，具有电子绕核运动的属性，但这些新粒子都无法离开它们的物质材料。

研究人员用瑞士光源（Swiss Light Source）的 X 射线对一种叫做  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$  的锶铜氧化物进行照射，让其中铜原子的电子跃迁到高能轨道，相应电子绕核运动的速度也就越高。他们发现，电子被 X 射线激发后分裂为两部分：一个是轨道子，产生轨道能量；另一个是自旋子，携带电子的自旋性及其他性质。 $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$  有着特殊性质，材料中的粒子会被限制只能以一个方向运动，向前或向后。通过比较 X 射线照射材料前后的能量与动量的变换，可以追踪分析新生粒子的性质。

实验小组领导托斯登·施密特说：“这些实验不仅需要很强的 X 射线，把能量收缩在极狭窄范围，才能对铜原子的电子产生影响，还要有极高精度的 X 射线探测仪。”

“这是首次观察到电子分成了独立的自旋子和轨道子。现在我们知道了怎样找到它们。下一步是同时产生出空穴子、自旋子和轨道子来。”理论小组领导杰罗恩·范德·布林克说，“在材料中，这些准粒子能以不同的速度、完全不同的方向运动。这是因为它们被限制在材料中时，性质就像波。当被激发时，波分裂为多个，每个携带电子的不同特征，但它们不能在材料以外独立存在。”

观察到电子分裂将对一些前沿领域产生重要影响，如高温超导和量子计算机。 $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$  中的电子和铜基超导材料中的电子有着相似的性质，该研究为高温超导研究提供了一条新途径。此外，研究轨道子有助于开发量子计算机。“同时用自旋子和轨道子来编码和操控信息，这可能是未来发展的方向。”英国牛津大学物理学家安德鲁·波斯罗伊德说，“量子计算机的一个主要障碍是量子效应会在完成计算之前被破坏。而轨道

子的跃迁速度只要几飞秒(1飞秒=10的负15次方秒),这样的速度为制造现实量子计算机带来了更多机会。”  
(来源:科技日报 常丽君)

**笔者注: 以上实验说明电子的引力质量和电子质量在一定条件下可以分离。**

#### 10、规范场的新认识

现代规范场论始于杨振宁和米尔斯提出的关于强相互作用的同位旋规范不变性理论。杨-米尔斯理论这种非阿贝尔规范理论,总体上是在量子场纲领的框架内提出的,其中相互作用由场量子传递并通过场量子之间的局域耦合实现。从方法论上讲,它受到想拥有一个普适原理,以在众多可能性中确定唯一的耦合形式这样一种愿望的驱动。从物理学上讲,该理论受到强核力的电荷无关性的推动,与此同时又为这种力的短程特征所限制。

这个短程困难被如下发现所克服:首先是20世纪60年代初自发对称性破缺的发现,然后是20世纪70年代初渐进自由的发现。随着韦尔特曼和特霍夫特关于非阿贝尔规范理论可重整化性的证明,粒子物理学共同体获得了一种似乎自洽的概念框架。从概念上讲,这个框架在描述自然界中各种基本相互作用、以及探索曾被认为是定域场论的新的整体性特征方面都是强有力的,而这些特征与我们对真空结构和电荷量子化的理解有直接关系,从而开创了一种新的基础物理学研究纲领:规范场纲领。

规范场论是以规范变换群下的不变性为基础建立的理论,它对描述各种基本的相互作用提供了一个适当的确定的框架。物理学中遇到的连续变换对称性可以分为两种:一种是整体对称性,即空间各点作相同变换的对称性;一种是定域对称性,即空间各点变换可以有不同的对称性。当场论的规律要在定域对称变换下保持不变时,必须引入新的场,即规范场。规范场的量子是一种新粒子,该粒子的交换将引起新的相互作用,就是规范相互作用。因此一定的定域对称性自然给出一类相互作用,并且其相互作用规律相当确定,这就为基本相互作用提供一定的可能的来源。最早的规范场论是电磁场论,1954年杨振宁(C.N. Yang)和Mills把它推广到普遍的规范场论,弱电统一理论和量子色动力学的发展都是以此为基础的对称和不变元的关系,晶体的许多性质,只决定于它的不变元的结构。我们了解的理论,如量子色动力学、Einstein的广义相对论,所有这些理论有17个参数,都是对称出来的。

韦尔规范不变性保持电荷守恒的不变性:杨振宁教授说,把韦尔的不可积相因子等同于电磁学本质的关系,是由于量子力学建立的考虑,在原先韦尔的不可积标量因子式的算度因子中嵌入了一个-i,而使标量因子变为相因子,韦尔的理论就是量子力学中电磁理论。由于嵌入的因子-i,让两个钟分别沿两条不同回路的电流路径回到出发点的实验,这不会影响到钟的快慢,因为它们有不同的相位,但不会有不同的标度,Einstein的异议不复存在。即规范不变性保持了电荷守恒,就像坐标不变性保持能动量守恒那样。杨振宁规范不变性保持引力与电磁等物理规律在某种变换下的不变性:岳东晓教授说,在杨振宁之前人类真正能够写下方程的物理作用只有引力与电磁相互作用。所以杨振宁规范不变性无疑是开创现代世界科学工厂、工业化的一场华人的先驱的深刻革命。所谓世界科学工厂、工业,从牛顿开始,其实就是根据简单的不变性原理,推导物理规律。Einstein从自由下落的电梯里感觉不到地球引力,由此不变性原理导出了引力理论广义相对论,再后发现光线会在引力作用下拐弯,继后推出恒星可能坍缩成黑洞,宇宙会爆炸、膨胀。引力与电磁作用的共同特点是作用距离是无限远,根据Einstein的广义相对论方程以及相应的天文观测,整个宇宙都是充斥着高能量的粒子。

1954年杨-米尔斯规范场的论文里,杨振宁博士给出了所有相互作用的原理,以及对应的精确的数学方程,即规范场理论。规范场理论也是基于物理规律的不变性,就是物理规律应该在某种变换下保持不变。如不变性原理推出了相对论以及动量能量守恒等基本规律,当杨振宁把这种不变性扩展到基本粒子的量子理论,要使理论保持不变,就必须存在对应的相互作用。这就是所谓规范场。例如有两种粒子,那么它们之间的变化可以用一个 $2 \times 2$ 的复数矩阵描述:如果物理规律要在这种类型的局域变换下保持一致,则不能光有这两个粒子,还必须加一个相互作用。

规范理论的结构来自于描述某种力的自然定律在对称性上保持不变的特性,而对称性是由该力所支配的粒子性质所产生的。韦耳对后世的影响不在于他的理论结果,而在于他的理论的规范场方法。规范场理论的基本思想是,如果一组物理定律在某个整体对称变换下不变,将它推广到局部对称变换下,还要保持不变就得引入新场,这新场就叫规范场。规范场的量子就是一种新粒子,该粒子的交换引起新的力。可以设想,通过这种从整体对称到局部对称的过渡,便可描述各种力的起源。

从本来没有考虑相互作用的自由粒子方程开始,一旦考虑规范不变原理,就必须要求粒子之间有相互作用。杨振宁的 $2 \times 2$ 矩阵方程导致的理论称为SU(2)规范场。强相互作用的理论是杨振宁理论的简单与直接推

广，夸克之间的强相互作用，是一种 SU(3) 的、精确的杨-米尔斯规范场 (SU(3) 对应  $3 \times 3$  的复数矩阵。这里的 3 代表的是一类夸克的三种颜色，强相互作用由夸克之间交换所谓的胶子来完成。人们研究发现，这四种相互作用所遵从的守恒定律不同，强作用具有的守恒量最多，电磁作用次之，弱作用更次，这表明它们具有的对称性是不同的。对称性概念似乎不是严格的，因此有人怀疑对称性概念是否普遍有效。1954 年，杨振宁和米尔斯以一种并非象历史上的情况那样受到实验观察的启示，而是以统一的美学原则为基础，提出各种作用都可以适用的新的对称性，称为阿贝尔群规范对称，它是一种精确的定域规范变换对称性。它要求存在一个场，称为规范场。对于电磁作用，这一规范场就是电磁场，相应的量子（称为规范玻色子）就是无静质量的光子。规范场可以是多自由度的，对每个自由度有相应的规范场。这样，这种精确对称性的存在就意味着存在许多组特性完全相同的、质量均为零的粒子。然而在现实世界里，除了电磁作用的光子之外，人们没有见到其他质量为零的规范玻色子。因此，杨-米尔斯理论尽管很优美，但它似乎毫无用处。

量子力学中系统状态由波函数描写。波函数通常为复数，复数的幅角称为位相因子。另一方面，一切实验观测量必须为实数，让所有波函数共同变化一个位相因子，在实验中是无法观测的。公共位相因子的不可观测性，表现为量子理论的运动方程式对波函数共同的位相变换保持不变，这称为第一类规范不变性。这种规范变换的不变性是电与电荷守恒相联系的。

根据狭义相对论的观点，一切能量的传播速度存在上限，即不能大于光速。让所有空间点的波函数同时作相同的相因子变换，就涉及信号的无穷大传递速度问题。为了协调这种矛盾，引入波函数的局域相因子变换，即变化的相因子与时空坐标有关，这样的变换称为第二类规范变换。为了使动力学方程对第二类规范变换保持不变，必须相应地引入静止质量为零的规范场，称为电磁场。第二类规范变换不变性严格地规定了各类物质场与电磁场的相互作用形式。描写电子场的电磁作用的理论即量子电动力学，正是建立在这种第二类规范变换不变性的基础上，称为 U(1) 规范作用。量子电动力学取得惊人的成功，使规范不变性成为探索新的运动规律的一种重要方法。对于人类尚未充分了解的新的相互作用，例如强相互作用和弱相互作用，规范不变性可以作为探索相互相互作用具体耦合形式的依据。

最早的规范理论是电磁理论，1954 年杨振宁和密耳斯将其推广，建立了一般化的规范对称性的数学理论，迈出统一基本相互作用的决定性一步。1954 年杨振宁和米尔斯 (Yang-Mills) 提出了对同位旋场规范化的 SU(2) 规范理论，称为非阿贝尔规范理论。这是规范理论向前发展的决定性步骤，SU(2) 规范理论很容易被推广到各种复杂形式的规范理论中去。当时 SU(2) 规范理论中遇到的一个重大困难是，严格的规范不变性要求规范场的量子是零质量的矢量粒子。作为 U(1) 规范场的电磁场，它的量子是光子，静止质量为零。但是，这种一般化的规范理论是非阿贝尔的，而在非阿贝尔规范理论中，规范场量子的零质量成为电磁场以外的其他三种基本相互作用描述的主要困难。

但是，实验上再没有发现其他零质量的矢量粒子，这是非阿贝尔规范理论 (non-Abelian gauge theory) 提出以后没有迅速得到应用的根本原因。但是，凡是符合客观实际的理论一定会有顽强的生命力，会经得起时间的考验。

引力场几何化纲领与量子场纲领之间存在着联系提供了真正的可能性。关键在于，一方面，规范场论与引力场论之间在数学结构上存在惊人的相似性，通过细致类比，可以为规范场论找到合理的几何化解释。另一方面，规范场论和一般量子场论之间又存在着密切的关系。由于量子场论唯有符合规范对称性才可以重整化的，因此有了对规范理论的真正理解，回过头来也就可能对量子场论有更深刻的理解。

按照规范场纲领，各种相互作用都能用规范势描述。这个纲领在所谓的标准模型中焕然一新，标准模型的成功鼓舞了对这一纲领的进一步扩展。人们付出了巨大的努力，但不论是在弱电作用力和强作用力的统一上，还是在引力的规范上，都没有成功。因此，关于规范原理的普适性问题仍争论不休。

在规范理论中规范势扮演的角色与广义相对论中引力势扮演的角色是相当的。基本物理学的新近发展（超引力与现代卡卢察-克莱因理论）已经打开了联系规范势与时空额外维上几何结构的大门，如果把规范场纲领表达为这样的形式：相互作用是通过与要么存在于内部空间、要么存在于时空的额外维的与一种几何结构不可分离地相互关联的量子化规范场实现的，那么就可以把规范场纲领看作几何纲领与量子场纲领的综合。

从 20 世纪 70 年代以来，规范场纲领没能取得进一步的进展，不论在其解释或预见基本粒子的新性质方面，还是在解决它所面临的概念困难方面。部分原因是它的停止不前，部分原因是 20 世纪场论的概念已经指向新的方向：有效场论。

量子场论在经历 20 世纪 70 年代后期至 80 年代初期的一小段乐观主义时期后，量子场论的困难，甚至在其标准模型的最复杂形式中，从 20 世纪 80 年代中期开始就变得越来越明显：量子色动力学对低能  $\pi$  介子

—核子相互作用的解释看来几乎难以做到。由于与如下一些问题相关的困难，如夸克禁闭问题、希格斯粒子的存在问题、代的问题等等，甚至是弱电理论的自洽性也受到怀疑。不仅如此，弱电与强相互作用的统一也遭受攻击，更不用说引力的量子化及其与其他相互作用的统一。

大多数象温伯格那样目光锐利的理论学家更清楚地认识到，从 20 世纪 70 年代后期开始，在过去的 40 年中，量子场论的概念基础已经发生了一些根本性的转变，在澄清原有概念的基础上发展出诸如对称性破缺、重整化群、退耦、不可重整化理论、渐进安全、有效场论等一些新概念。有效场论纲领是温伯格首创的，一开始有效场论还把可重整化性作为指导原理，最终却导致了对重整化的新理解，并对可重整化性的基础性提出极大挑战。

如果把有效场论看作提出了一幅新的世界图景、一个关于量子场论基础的新概念，那么所面临的一些概念困难，就不可能是能用已经建立起来的方法论来解决的常规困难。在处理这些概念问题时所要求的，是我们关于基础物理学自身概念的巨大改变，即从关注基础理论（作为物理学的基础），变为关注拥有在各种能量标度上都能发挥作用的有效理论。格罗斯和温伯格反对这种解释，他们认为有效场论只是更深层次理论的低能近似，但是他们两人对作为物理学基础的量子场论都失去了信心，并认为更深层次理论或终极理论并不是场论而是弦论。

根据笔者的理论，电磁场的本质是电磁质量，没有静止质量的问题，因此规范场的主要结论是正确的，希格斯粒子没有存在的必要。

#### 作者 (Author):

李学生 (Li Xuesheng), 男, 山东大学副教授, 理论物理教师, 中国管理科学院学术委员会特约研究员、北京相对论研究联谊会会员, 中国民主同盟盟员, 中国科学院高能物理所研究员。2002 年撰写的论文《数学归纳法的拓广》在《济南教育学院学报》上发表, 2004 年 8 月撰写的理论物理学论文《引力质量与电磁质量之间的关系新探》在北京相对论研究联谊会第三届年会上发表, 得到了与会专家的初步认可; 2005 年 12 月至今我撰写的论文《现代理论物理学的九个问题》、《真空不空》、《以太的发展史》在《香港新科技杂志》上发表。2007 年在《格物》上发表论文《暗物质、暗能量和宇宙常数问题》; 2007 年 12 月在《新科技》(香港)杂志上发表论文《以太的发展史》; 2002 年在《山东师范大学学报(自然科学版)》教学科研上发表《在物理教学中注意培养科学美的观念》; 多篇有关文章在学术争鸣杂志 (Academia Arena, <http://www.sciencepub.net/academia>)上发表。 [xiandaiwulixue@21cn.com](mailto:xiandaiwulixue@21cn.com), [1922538071@qq.com](mailto:1922538071@qq.com)。

#### 主要深入理解阅读的部分文献:

1. [日] 浅野四郎 浅野诚一 著 师华译。《狭义相对论的新图示法——space-time 圆图法——》高等教育出版社 1992 年版。
2. 《介质浮力存在的普遍性》 段灿光著 本文集。
3. 《没有太阳辐射, 大气将静止吗?》 段灿光著 本文集。
4. 《以太浮力论》 段灿光著 本文集。
5. 《再论以太浮力 —— 关于万有引力变化的讨论》 段灿光著 本文集。
6. Baidu. <http://www.baidu.com>. 2016.
7. Google. <http://www.google.com>. 2016.
8. H.C. 瓦尼安, R. 鲁菲尼, 引力与时空, 科学出版社, 北京, 2006, pp150-153.
9. Ma H, Cheng S. Nature of Life. Life Science Journal 2005;2(1):7 - 15.
10. Ma H. The Nature of Time and Space. Nature and science 2003;1(1):1-11. Nature and science 2007;5(1):81-96.
11. National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>. 2015.
12. Wikipedia. The free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org>. 2015.
13. 狄拉克。《现代物理学参考资料》第 3 集[C]。科学出版社, 1978.38。
14. 王存臻、严春友 著。《宇宙全息统一论》山东人民出版社 1995 年版。
15. 《彗星漫谈》 徐登里编著 32K、P107 1975 年 7 月科学出版社。
16. 《数学在天文学中的运用》 刘步林编著 32K、P316 1979 年 9 月科学出版社。
17. 《中国大百科全书·天文学》 主编: 张钰哲 1980 年 12 月中国大百科全书出版社。
18. 《哈雷彗星今昔》 张钰哲著 32K、P97 1982 年 3 月知识出版社。
19. 《天体力学浅谈》 [苏]尤·阿·里五波夫著, 李五行、陈晓中译 32K、P201 1984 年 11 月科学普及出版社。

20. 《地学基本数据手册》 主编：张家诚，副主编：李文范 16K、P1377 1986 年 3 月海洋出版社。
21. 《彗星十讲》 胡中为、徐登里编著 32K、P158 1986 年 4 月科学出版社。
22. 《中国百科年鉴·1986》 1986 年 10 月中国大百科全书出版社。
23. 《简明天文学词典》 叶叔华主编 32K、P880 1986 年 12 月上海辞书出版社。
24. 《中国百科年鉴·1987》 1987 年 12 月中国大百科全书出版社。
25. 《哈雷彗星及彗星-地球关系》 天地生综合研究论文集 胡中为、阎林山 16K、P471. 1989 年 11 月中国科学技术出版社。
26. 1995 年 6 月 21 日 《中国青年报》。
27. 1997 年 12 月 19 日 《中国科学报》。
28. Einstein 著, 方在庆、韩文博、何维国 译。《Einstein 晚年文集》 海南出版社 2000 年 3 月第 1 版。

5/4/2017