

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（作者为中国科学院高能物理所研究员）

xiandaiwulixue@21cn.com, 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. *Academ Arena* 2017;9(13s): 394-474]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 6. doi:[10.7537/marsaaj0913s1706](https://doi.org/10.7537/marsaaj0913s1706).

关键词 (Keywords): 质点; 电荷; 引力; 电力; 空间; 方程; 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
- 12、因果论浅析

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而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($\langle \text{noinclude} \rangle$)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，但并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，致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， ϕ 是复值希格斯场， θ 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 ϕ_1 、 ϕ_2 组成的复值标量场 ϕ ：
 $\phi(x^\alpha) = \phi_1(x^\alpha) + i\phi_2(x^\alpha)$ ；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 θ 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 θ 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 ∂_α 改换为协变导数 \mathcal{D}_α ^{[2]691}

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

当做局域相位变换时，规范矢量场 A_α 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_α ，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 G_F 决定，它带有质量量纲为 -2 ，从其实验测定值就可直接推断出相应的能量尺度为 $100\text{GeV}—1000\text{GeV}$ 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 $100\text{GeV}—1000\text{GeV}$ 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，究竟是什么问题？》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12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内并没有质量, 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。”加拿大艾略特省普里美理论物理研究所 (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失望，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，就连园区的每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1000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目光转向‘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 9 7 个悬而未决的难题：7 0。Higgs 粒子是否存在？7 1。质量的起源是什么？7 2。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“希格斯波色子”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柏对)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黑格斯机制。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。因为在黑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,致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,黑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)由于超精的常数 $1/137$ 是一个很小的数目,因此由电磁自能产生的质量修正 μ 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 μ 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,然而黑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·Einstein*和*L·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·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'Hoof)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，Glashou Weieberg 和 Salam 用 SU(2) XU(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，万亿电子伏特增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增速器(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增速器。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传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

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

论动量，加速器理论中常用的基本公式是：

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！

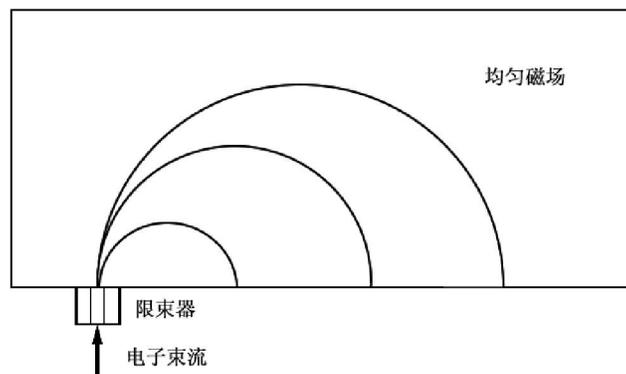


图 1. 不同能量电子在均匀磁场中运动轨迹的实验

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倾都向

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 γ 能谱仪来测量 β^- 粒子（电子）的能量。实验中使用 ^{90}Sr 作为放射源提供能量为 2.274MeV 的 β^- 粒子。测量 β^- 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 β^- 粒子的能量动量是否满足相对论关系 $E = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}$ 。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. 不同的磁场对动量值的测量有影响，2. 相同能量的 β^- 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体产生的均匀磁场，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，但洛伦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。

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}C/kg)	$R_{B=121\text{T}}$ (cm)	e_R (10^{-19}C)	m_R (10^{-31}kg)	e_R/m_R (10^{11}C/kg)
1	0.6870	1.7670	1.331806	1.598451	9.08820553	1.75882
2	0.5154	1.7630	0.847233	1.600273	9.09856406	1.75882
3	0.4281	1.7600	0.667298	1.601640	9.10633295	1.75882
4	0.3787	1.7610	0.576400	1.601184	9.10374332	1.75882
5	0.3173	1.7520	0.471332	1.605283	9.12705000	1.75882

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弟-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耳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 β 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该两类力的症结所在。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悬而未决的问题，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 $\frac{3}{4}$ 起源于电磁， $\frac{1}{4}$ 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 lectric 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，也许留给后代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--二十世纪一个新生理论《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。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有可靠的(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理。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日的时候，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； μ 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，原因有十九个方面：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成

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

正比。如果电子的电磁质量与运动速度有关，满足 Lorentz transformation，那么电子的电荷具有的能量也满足 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 Lorentz transformation。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 ${}^1_1\text{H}$ 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 $2m_1$ ，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观念，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 $P=MV=h/\lambda=h/(V/\nu)=h\nu/V$ ，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：

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

子的频率。又由动量守恒定律有：

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

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

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

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

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：

(3)，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

$$\text{守恒定律有：X 方向：} \quad \frac{h\nu}{c} = m_2u_2 \cos \theta = \frac{m_0u_2 \cos \theta}{\sqrt{1-u_2^2/c^2}}; \text{ Y 方向：} \quad m_1u_1 = m_2u_2 \sin \theta = \frac{m_0u_2 \sin \theta}{\sqrt{1-u_2^2/c^2}}; \text{ 将}$$

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

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

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。

18、所有的基本粒子间电荷同质量间找不出一个固定的关系：不同静止质量的基本粒子可以具有相同的基本单位电荷，在所有的基本粒子的静止质量和所带的电荷间也没有一个共同的质量与电荷的关系。

19. 电磁场具有能量和质量，电磁场以光速运动，静止质量应当为 0，所以电磁质量不是静止质量的一部分。

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。

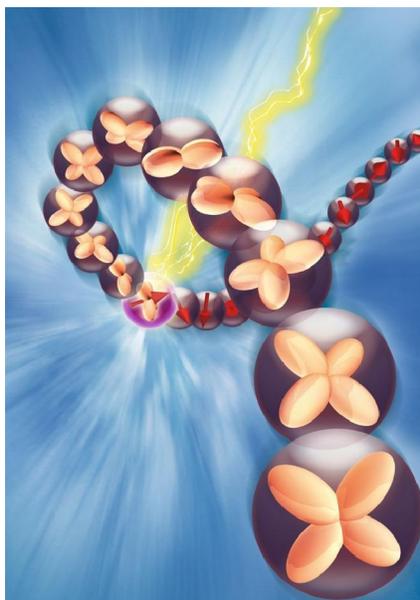
Einstein 在相对论导论里指出：“所有思想，特别是科学思想，本质上都是构建性、推断性的。”例如，麦克斯韦认为“整个宇宙是一个电磁场”，这是他将电磁理论进一步泛化，推论出的一个思想；Einstein 认为“整个宇宙是一个引力场”，这是他将广义相对论进一步泛化，推出的又一个思想。

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（orbion）。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 Sr_2CuO_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。 Sr_2CuO_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。Sr₂CuO₃ 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巨高能量的粒子。

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2x2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 2×2 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 3×3 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，可以为规范场理论找到合理的几何化解释。另一方面，规范场理论和一般量子场理论之间又存在着密切的关系。由于量子场理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（超引力与现代卡拉比-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 π 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。

第二章 电磁质量的能量

1、库仑定律的发现

现在物理学思想，与传统物理学思想的最大不同是：前者是解释和预测宇宙的现象，后者是揭示宇宙的“本质”。解释和预测宇宙的现象就是：按人类业已形成的数理逻辑体系，解释和预测宇宙。在现代物理学基础理论中，一般所使用的物理学基本原理，不可能在实验中得到验证，只能验证由这些物理学基本原理，产生的物理学理论所带来的实际效应（在经典物理学中叫物理“现象”）。因此，我们可以用这样或那样的基本原理，建立这样或那样的理论。在“众多”的“正确”理论中，我们可能淘汰一部分，只留下少数几种，甚至只保留一种。淘汰的标准就是理论的扩展性，或叫理论的普适性、广泛性，因为我们力求用尽量少的原理，解释尽量多的宇宙现象，这是一个涉及物理学中美学范畴的问题。这种思想看起来带有浓重的人性化色彩（即主观性），带有强烈的“强人择原理”味道。这不仅有人问：宇宙为什么要符合我们建立的数理逻辑？这又变成一个哲学问题了，回答只能是：因为他是我们的宇宙，既然她孕育了我们，就应该让我们以自己的方式来了解她。恩格斯说：“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假设。”【1】

假设电荷是虚数的 $\pm iQ$ 。因为电荷无法直接测量，粒子携带电荷的大小，只能从作用力来推算，所以不必拒绝虚数单位。

设两个粒子各带电荷 iQ_1, iQ_2 ，两个粒子之间电力满足库仑公式：

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{R^2}, \text{ 此时应该把库仑定律微调，就是电荷带上虚数符号 } i.$$

当 Q_1 与 Q_2 都为正电荷，则： $iQ_1 \times iQ_2 = -Q_1 Q_2$ ，此时电力为负，相斥。

当 Q_1 与 Q_2 都为负电荷，则： $i(-Q_1) \times i(-Q_2) = -Q_1 Q_2$ ，此时电力为负，相斥。

当 Q_1 与 Q_2 一正一负，则： $i(-Q_1) \times iQ_2 = Q_1 Q_2$ ，或者： $iQ_1 \times i(-Q_2) = Q_1 Q_2$

此时电力 F 为总为正，相吸。

电力总体规律表现为：同性相斥，异性相吸。这个明显的规律性现代物理并没有给出合理的解释，而一旦把电荷看作是虚数物理量，电作用规律再显然不过。

最早提出电力平方反比定律的是 Priestley。Priestley 的好友富兰克林曾观察到放在金属杯中的软木小球完全不受金属杯上电荷的影响，他把这现象告诉了 Priestley，希望他重做此实验。1766 年，Priestley 做了富兰克林提出的实验，他使空腔金属容器带电，发现其内表面没有电荷，而且金属容器对放于其内部的电荷明显

地没有作用力。他立刻想到这一现象与万有引力的情况非常相似。因此他猜想电力与万有引力有相同的规律,即两个电荷间的作用力应与他们之间距离的平方成反比。在 1767 年 Priestley 写了一本《电的历史和现状》。1769 年,爱丁堡的 John Robison 首先用直接测量方法确定电力的定律,他得到两个同号电荷的排斥力与其距离的 2.06 次方成反比。他推断正确的电力定律是平方反比律,他的研究结果是多年之后(1801 年)发表才为人所知。

1772 年英国物理学家 Cavendish 遵循 Priestley 的思想以实验验证了电力平方反比定律。他将一个金属球形容器固定在一绝缘支柱上。用玻璃棒将两个金属半球固定在铰链于同一轴的两个木制框架,使这两个半球构成与球形容器同心的绝缘导体球壳。用一根短导线连接球形容器和两个半球,利用一根系于短导线上的丝线来移动导线。Cavendish 先用短导线使球形容器与两半球相连。用莱顿瓶使两半球带电,莱顿瓶的电位可事先测定,随后通过丝线将短导线抽去。再将两半球移开,并使之放电。然后用当时最准确的木髓球静电计检测球形容器上的带电状态。静电计并未检测到球形容器上有任何带电的迹象。他用实验和计算的方法得出电力与距离成反比的方次与 2 的差值不大于 0.02。Cavendish 的实验得出的定量结果与十三年后(1785 年)Coulomb 用扭秤直接测量所得的结果的准确度相当,但他的研究成果都没有发表。是一百年后 Maxwell 整理 Cavendish 的大量手稿时才将上述结果公诸于世的。

最为著名的是法国物理学家 Coulomb 的研究工作。Coulomb 曾从事毛发和金属丝扭转弹性的研究,这导致他在 1777 年发明了后来被称为 Coulomb 秤的扭转天平或扭秤。1784 年 Coulomb 发表论文,介绍他发现的扭转力与线材直径、长度、扭转角度以及与线材物理特性有关的常数之间的关系,还介绍了用扭秤测量各种弱力的方法。同年, Coulomb 响应法国科学院有赏征集研究船用罗盘,他的科学生涯开始从工程、建筑转向电、磁的研究。1785 年 Coulomb 设计制作了一台精确的扭秤,用扭秤实验证明了同号电荷的斥力遵从平方反比律,用振荡法证明异号电荷的吸引力也遵从平方反比定律。他的实验误差偏离平方为 4×10^{-2} 。Coulomb 的研究工作得到了普遍的承认,而平方反比定律也就以 Coulomb 的名字 (Coulomb's law) 来命名了。

经典的引力公式和电力公式是: $F_{引} = Gm^2/r^2$ (1) $F_{电} = Kq^2/r^2$ (2), 其中,引力常数 $G = 6.673 \times 10^{-8}$ 达因厘米²/克², 电力常数 $K = 8.988 \times 10^{18}$ 达因厘米²/库仑²。G 和 K 都是实验值,它们各自有着复杂的量纲和远离 1 的系数,在两者之间看不出有什么内在的联系。我们期待,如果用最基本的自然常数组合取代经典的引力公式和电力公式中的系数,那么这两个物理公式之间的联系就会自然地浮现在我们面前。

引力场依赖于两次微分。但是电磁场在特殊的情形下也满足两次微分的形式。此时, $\nabla \cdot \mathbf{A} = \mu_0 \rho$; 同时还有许多性质,如旋度为零,散度等于电荷的平均密度。这正是静电场的形式,而所谓的电磁场则是这类特殊形式破缺的结果。引力场也是 conservative force field,引力线也不是闭合线, circulation theorem 依然成立。由于 Gauss' theorem 与 Coulomb's law 的实质都是电力与距离的平方成反比,两者是完全等价的,正如《费曼物理学讲义》卷 2 中指出:“Gauss' theorem 只不过是使用一种不同的形式来表述两电荷间的 Coulomb's law。它们是完全等价的,只要我们记住电荷之间的作用力是径向的。”这里“电荷之间的作用力是径向的”是空间旋转对称性的必然结果。

由电磁理论知,静电荷周围存在静电场 E , 当电荷以速度 v ($v \ll c$) 运动时,其周围除存在电场外,还存在与电荷运动有关的磁场 B , 电场场强与磁感应强度的数学表达式为:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qr}{r^3} = k \frac{qr}{r^3} \quad (1)$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv}{r^3} = k' \frac{qv}{r^3} \quad (2)$$

库仑定律仅仅适用于真空中两个相对静止的点电荷之间的相互作用。

历史上对库仑定律的检验是用 ϵ 表征的,它的定义是: $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2 + \epsilon}$, 其中 ϵ 表征了电的相互作用力对平方定律的偏离程度。到目前为止,检验库仑定律的实验所确立的最好上限是: $\epsilon \leq 6 \times 10^{-16}$ 。

表 1 历史上各次实验的结果

作者	实验年份	ϵ
Robison (罗比逊)	1769	$\leq 6 \times 10^{-2}$
Cavendish (卡文迪许)	1773	$\leq 2 \times 10^{-2}$

Coulomb (库仑)	1785	$\leq 4 \times 10^{-2}$
Maxwell (麦克斯韦)	1873	$\leq 4.9 \times 10^{-5}$
Plimpton (普里斯顿) 和 Lawton (洛顿)	1936	$\leq 2 \times 10^{-9}$
Cochran (珂却任) 和 Franken (弗兰肯)	1967 1968	$\leq 9.2 \times 10^{-12}$
Bartlett (罢脱力) 和 Goldhagen (戈尔德哈呈)	1969 1970	$\leq 1.3 \times 10^{-13}$
Williams、Faller (威利斯)、福勒) 和 Hill (希尔)	1970 1971	$\leq 6 \times 10^{-16}$

参考文献:

【1】恩格斯 《自然辩证法》 于光远 等编译，第 24 页。

2、引力质量与电磁质量的等价关系

在 Einstein 看来, 理论物理学的完整体系是由概念, 被认为对这些概念是有效的基本原理(亦称基本假设、基本公设、基本定律等), 以及用逻辑推理得到的结论这三者所构成的。因此, 理论物理学家所运用的方法, 就在于应用那些作为基础的基本原理, 从而导出结论; 科学家必须在庞杂的经验事实中间抓住某些可精密公式来表示的普遍特征, 由此探求自然界的普遍原理。Einstein 指出, 一旦找到了作为逻辑推理前提的基本理, 那么通过逻辑演绎, 推理就一个接着一个地涌现出来它们往往显示出一些预料不到的关系, 远远超出这些原理依据的实在的范围。

现代物理学的进步表现为相对论和量子论的建立, 前者提出了光速不变原理, 依托的是光速 c ; 后者则提出了测不准原理, 依托的是普朗克常数 h 。这两个自然常数是描述自然界的两个最重要参数, 在许多基本的物理公式中都可以看到它们的身影, 所以我们首先考虑应用这两个自然常数。

根据等式两边量纲一致的原则, 周建先生认为可以建立以下的方程组: $G = r_0^5 / h \tau_0^3$ (3), $\{ K = hc^2 / 2\pi A^2 r_0 \tau_0$ (4), 式(4)中的 $A = 1$ 安培。对于式(4), 有两点需要补充说明: 第一, 由于(2)式中的电力常数 K 的定义, 通过 $c^2 = 1/(\epsilon \times \mu)$, 与导磁率相关, 而导磁率是用 A 的平方定义的, 所以在 K 中隐含着 A 的平方。于是, 在新的电力常数表达式(4)中出现了 A 的平方, 这样才能保持等号两边的量纲一致。

第二, 在新的电力常数中引入了 2π 。这是因为电力是有方向的矢量, 需要用 $h/2\pi$ 取代 h , 这是在量子电动力学中普遍采用的做法。

在上面这个方程组中, 除了 c 、 h 之外, 还有两个待定参数, 它们是 τ_0 和 r_0 。前者的量纲是秒, 与时间相关; 后者的量纲是厘米, 与空间相关。我们希望它们也是自然常数, 这样就实现了用自然常数的组合取代作用力系数的想法。在下一节, 我们将证实, 它们确实是自然常数。于是, 我们现在有了 4 个自然常数, 并由它们的不同组合来分别取代了引力系数 G (即式(3)) 和电力系数 K (即式(4))。

由式(3)和式(4), 可以解出 τ_0 和 r_0 : $\tau_0 = (h^4 c^{10} / G (2\pi K)^5 A^{10})^{1/8} = 3.621 \times 10^{-12}$ 秒, $\{ r_0 = (G h^4 c^6 / (2\pi K)^3 A^6)^{1/8} = 2.913 \times 10^{-14}$ 厘米。

按照现代物理学的观点, Newton 的万有引力定律是广义相对论的一级近似, Coulomb's law 被修正为各种非线性 Maxwell's equation 的类型, 它们都与广义相对论在形式上不同。在“二级近似”下, 广义相对论实际上具有麦克斯韦理论的特征。笔者认为, 既然它们在经典物理学中类似, 应该有内在的联系。在引力场中也存在高斯定理和环路积分定理, 也可以定义引力势、引力势差等概念, 在静电场中也存在电势能守恒定律。当 A、B 两 electric charge 相互吸引时, 它们的万有引力与 Coulomb 力只是大小不同, 没有任何区别, 因此根据 Einstein 的局域等价性原理, 引力质量与电磁质量具有等价性, 等价原理的局域特征对当代物理学的思想具有深远的影响。万有引力定律与 Coulomb's law 在现代物理学中被修正, 只能说明上面的数值应该修正, 但数量级不会变化。对于相同的自然现象, 必须尽可能地寻求相同的原因(10)。在物理学方法论方面, Einstein 巨大的、真正具有永恒启发意义的功绩在于, 没有根据任何新的实验材料, 而仅仅从对于经典力学的基本概念的方法论分析出发就指出, 那些“放置着”我们感兴趣的一切客体的空间度量本身的变化, 也就是甚至最简单的匀速直线运动的必然结果。对看来是十分“明显的”同时性概念的实质内容所作的非常深刻的操作分析, 至今仍是建立一种全新的从前甚至无法想象的联系, 即最简单的物理过程同建立物理理论时所使用的抽

象数学空间的最深刻的度量特征的变分、变化之联系的榜样。引力质量与惯性质量的相等使Einstein坚信，这是一个精确的自然规律，它应当在理论物理学中找到它自身的反映，同样Coulomb's law与万有引力定律的相似也应当在理论物理的原理中找到它自身的反映。

电磁场方程组是麦克斯韦约一个世纪前用流体力学三个方程,加一个假设方程而建立的。鉴于量子力学,电动力学,以及相对论理论的统治地位,有人尝试电磁方程反推流体方程,从规范场论推导NS方程。使用电动力学的推迟势算法加相对论来计算力学问题,倒是可以算出激波的斜角等简单问题,但是由于介质力学方程远要比电动力学与量子力学方程推出的方程复杂。对实际介质力学问题基本没有意义。洛仑兹于是给电磁场方程的位移电流里面加上一些项,以便使电磁方程有物质方程的性质,却未得到主流学者认可。把问题翻过来做却不一样。1998年美国的Dr. Haralambos Marmanis精彩地从欧拉方程,NS方程及湍流方程推导出Maxwell方程。俄罗斯罗蒙洛索夫大学的Dmitriyev教授也作了类似工作。(甚至还用流体力学推导了非线性薛定谔方程。和我国学者在孤波方面的研究相似)从不可压缩流体力学推导新的电动力学方程比原来多出许多高阶小项,这些项到底有什么物理意义?和试验相容程度如何?引起多方关心,也关心把它延拓到可压缩流动里面去。哪怕这种延拓是近似的,只要它与试验相容即可。理论上矛盾焦点在于电动力学方程是协变不变的,属于洛仑兹时空,它满足真空光速不变假设,而连续介质方程是守恒型的,属于伽利略时空,声速度不但可变,而且可以超越,如此大的差异,所以一般的物理学家就认为这两种方程相似是貌似而神离。本质差异,不能混为一谈。为了解决这个矛盾,本课题将设法探求洛仑兹变换加上非常微小的高阶修正以后,可以变成可压缩流方程简化时的某一种小扰动可压缩变换。这种变换在空间上和洛仑兹变换完全相同,在时间只相差高阶小量。通过分析说明这种差别与现有实验精度测量结果相容。从而把相对论的时空变换与可压缩修正的某种辅助函数近似等同起来。进而研究与电磁场和其他的物质场理论平行的可压缩性介质表达形式。这种理论上的延拓有着他的实验基础。物理所的张元仲教授著书说,历史上曾经提出过几种和相对论平行的假设,唯一剩下来还不能够被实验所否定掉就是物质相互流动和运动的假设。物质世界本身是复杂和多样的,别的力学性质暂时无需多加涉猎,流体可压缩性的描述可以和不可压缩场的协变不变原理相容就值得分析。如果二者都与现有的实验结果相容,那么谁更正确,就有待于进一步的实验。选择更复杂的介质力学性质,谁更与实验结果相容就会有分晓。从力学的角度来看,这种描述不仅给对微观物质世界认识提供新的武器。同时也是力学学科一个新的生长点。我国数学物理科学有许多积累可资借鉴。除了冯康,刘高联等一批物理学家的介质方程哈密顿描述之外,在相对论方面,秦元勋教授指出罗伦兹变换的奇点,意味着方程越过光速以后从椭圆型转变成双曲型,此时粒子随速度增高而减小质量和能量。这正是可压缩流动的特点。杨文熊教授得出一个结论,相对论的质能关系只不过描述了介质方程守恒性和随体导数性质。卢鹤跋院士1996年从连续介质角度出发,突破真空均匀构造的局限,提出对于相对论的质疑,并对迈克尔孙-莫雷的经典试验给出新的解释。黄志洵教授进行超光速的研究,借鉴Sommerfeld提出的理论,提出利用量子隧道效应来产生光波越过光速时的非线性效应,并提出利用介质孤波方程代替量子力学方程计算光纤特性的看法。这些都和国际上的研究同步。所以,进一步把前述的电磁场和流体场方程之间的相同结构的规律延拓到可压缩流体和非牛顿粘性中去。研究电磁场方程加洛仑兹变换着一套数学描述改写成空气动力学方程的描述形式以后误差到底有多大,尤其是粘性和压缩性在“误差里面”影响有多大,加上这些强非线性项以后的新数学描述是否能够满足迄今为止的实验结果。从而建立起介质力学和电动力学(甚至引力场论及量子力学),描述微观世界的数学方法的平等地位。并通过进一步实验来进行新一轮的验证。

现代物理告诉我们,夸克u、d的静止质量都约 $330\text{MeV}/c^2$ 。质子由uud组成,可它的静止质量不是 $990\text{MeV}/c^2$,而是 $938.27231\text{MeV}/c^2$ 。因为,uud结合时,释放出了结合能。中子由ddu组成,可它的静止质量是 $939.56563\text{MeV}/c^2$,比质子重些。这表明,中子释放出的结合能要比质子少些,它实际处于比质子能量稍高的亚稳态,而质子则处于基态。从而,自由质子是稳定的,而自由中子则会通过 β 衰变(弱相互作用)转变为质子,其平均寿命约887秒。中子、质子释放出的结合能主要是由强相互作用贡献的,其次才是电磁相互作用的贡献,引力相互作用和弱相互作用的贡献则更小。原子核除了氢外,都是由质子和中子结合而成的,这种结合主要是强相互作用,它克服了核内质子间的电磁斥力,故放出的结合能主要是由强相互作用贡献的,它是相当大的。例如,氦核是由一个质子和一个中子结合而成的,它释放出的结合能约: 2.2244MeV ;所以,它的核质量较一个质子和一个中子的静止质量之和小了 $2.2244\text{MeV}/c^2$ 。氦核由二个质子和二个中子结合而成的,它释放出的结合能约: 26.73MeV ;所以,它的核质量较二个质子和二个中子的静止质量之和小了 $26.73\text{MeV}/c^2$ 。它比二个氦核释放出的结合能大得多,所以,氦是远比氦稳定的元素。原子核与电子结合成原子,那主要靠的是电磁相互作用。所以,它释放出的结合能小得多。例如,氢核是质子,它与一个核外电子结合成原子仅释放出 13.59eV 的结合能。所以,氢原子的静止质量仅比一个质子与一个电子的静止质量之和小了

13.59eV/C²。所以，使氢原子电离（使质子和电子分离）需要的电离能仅需13.59eV/个。但要将氦核分离为一个质子和一个中子就需要2.2244 MeV/个，要困难十万多倍！二个氢原子结合而成一个氢分子，释放出的结合能约：4.5eV。分子中单键的化学能大致也就这么多，这表明靠化学反应获得的化学能要比核能小得多，这是电磁相互作用远小于强相互作用之故。物质从气态凝结成液体，放出凝结能；反之，则要给予气化能，气化能等于凝结能。物质从液态凝结成固体，放出凝固能；反之，则要给予熔化的能，熔化的能等于凝固能。这些也都是电磁质量与惯性质量的转化，都是有形物质与无形物质的转化问题。

下面是杨新铁先生对于电磁场方程（研究电磁质量）和不可压流体介质方程（研究引力质量）的等价关系的推导：

（一）无粘情况下,不可压流体介质方程和电磁场方程的等价关系推导

欧拉方程的动量方程表达如下 $\partial \mathbf{V} / \partial t = -\nabla(P/\rho + \mathbf{V} \cdot \mathbf{V} / 2)$ <1>

F_1 称作兰姆矢量,如果流动是沿着同心圆的环流,那么兰姆矢量表示的力就是离心力。下面我们就来设法证明兰姆矢量和涡矢量构成四个和电磁场完全对等的方程组。为简单起见,用 F_1 代表兰姆矢量,用 \mathbf{V} 代表压力和速度的势函数 这里 F_1 和 \mathbf{V} 都是 x 和 t 的函数,其中 $F_1 = \nabla^2(P/\rho + \mathbf{V} \cdot \mathbf{V} / 2)$

于是有: $\partial \mathbf{V} / \partial t = \nabla F_1$ <2> , 对方程 1 求旋度,得到涡强的方程: $\nabla \times \partial \mathbf{V} / \partial t = \nabla \times \nabla F_1$ <3>, 另一方面,由连续方程得到: $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$ <4>

再对连续方程再求旋度,就有: $\nabla \times \nabla F_1 = 0$ <5>

方程 2 又可以写成: $F_1 = -\partial \mathbf{V} / \partial t - \nabla^2 \mathbf{V}$ <6>

对上式两边取散度 $\nabla \cdot F_1 = -\nabla \cdot \partial \mathbf{V} / \partial t - \nabla \cdot \nabla^2 \mathbf{V}$

进一步可以写成: $\nabla \cdot F_1 = -\nabla^2 \nabla \cdot \mathbf{V}$

所以,兰姆矢量的散度就表示了伯努里能量方程的一种起伏,如果把 $-\nabla^2 \nabla \cdot \mathbf{V}$ 这样的量定义成类似电荷一样的量 n 的话,从 5 和 7 式就得到了兰姆矢量和涡矢量的散度都类似于磁场和电场的散度的等价方程:

$\nabla \cdot F_1 = n$ <7>

前面还有从方程 3 得到了涡的时间变化等于兰姆矢量的环量的类似于电场变化等于磁场环量的类似表达式。这样我们就已经有了电磁场和介质场的三个等价表达式,略去繁杂的证明还可以求的最后一个表达式即兰姆矢量对时间的导数的表达式:

定义介质流动矢量 \mathbf{j} : $\mathbf{j} = \nabla \times (\mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} - \nabla^2 \mathbf{V}) + \nabla (F_1 \cdot \nabla) + \nabla \times (\nabla^2 \mathbf{V})$ <8>

这样,可以写出第四个方程: $\partial F_1 / \partial t = \nabla^2 \nabla \times \mathbf{j}$ <9>

于是欧拉方程就和电磁场方程一一就如下所列,完全对应了起来。

微观 Maxwell 方程组 $\nabla \cdot \mathbf{E} = 4 \pi \rho$ $\partial \mathbf{E} / \partial t = \mathbf{C}^2 \nabla \times \mathbf{B} - 4 \pi \mathbf{j}$ $\partial \mathbf{B} / \partial t = -\nabla \times \mathbf{E}$ $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	连续介质力学方程组 $\nabla F_1 = -\nabla^2 \mathbf{V}$ $\partial F_1 / \partial t = \nabla^2 \nabla \times \mathbf{j}$ $\partial \mathbf{V} / \partial t = -\nabla \times F_1$ $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$
--	---

在微观 Maxwell 方程组中, $\mathbf{E}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \rho, \mathbf{j}$ 分别表示微观电场强度,磁场强度,光速,和位移电流。从上两方程组的数学描述中可以很明显的看出,电场和涡场等价,而磁场和拉姆矢量的力场等价。

（二）康普顿效应的分析

远在康普顿以前,观察已经指出,当伦琴射线尤其是 γ 射线散射时,波长有改变,在散射的辐射中除原有波长外,还出现了较长的波。关于散射时频率的改变,可以赋予伦琴射线以粒子的本性得到解释。对于散射辐射出现较长波的现象,在 1922-1923 年康普顿利用伦琴摄谱仪仔细地研究,认为它不可以归结为附属因素的影响,而且直接地和散射的机构本身相联系。在实验中,用的是一组银的 $K\alpha$ 线 ($\lambda=0.5267\text{\AA}$) 在同一散射角被不同物质散射时,得出的实验结果是: 1) 新谱线位置的移动与散射物性质无关; 2) 当散射物的原子序数增加时,不移动的谱线的强度升高,而移动的谱线的强度降低。发现锂所散射的辐射实际上几乎全部是移动的谱线,而铜的移动谱线的强度与不移动谱线的强度比较并不大。本来这些完全可以用波动理论的多普勒原理得到简单说明。而相对论的理论家为了用粒子理论说明这一现象,把辐射看成是一群光子流,认为每个电子散射一个完全的光子。下面看看在“康普顿效应”中的数学证明。

由于根据相对论的质速关系公式 $m=m_0/\sqrt{1-B^2}$ (此处 $B=v/C$) ,“光子”的静止质量一定等于零。并又独立的提出一个所谓适用于以速度 C 运动着的粒子的另一个动量公式,即

$$P = vE / C^2 \quad (1)$$

$$\text{假定此处的 } v=C, \text{ 得到 } P = E/C \quad (1a)$$

$$\text{又用“光子”的能量 } E=hf, \text{ 那么, } P = hf/C \quad (1b)$$

上面就是所谓“光子”的动量公式。注意：在上述(1)及(1a)式的关系中，表示能量的 E 就已蕴涵着具质量函数的 mC^2 。在解释散射辐射波长只与散射角有关的现象，根据如图所示作用力关系，解释“光子”对电子传递能量过程。

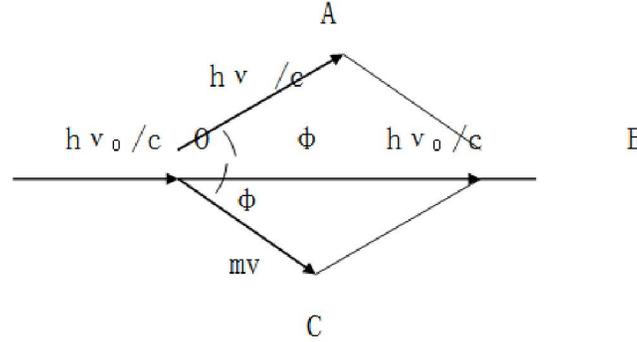


图 3

在“光子”和电子碰撞之前，电子的动量等于零，“光子”的起始动量等于 $h v_0 / C$ 。碰撞之后电子获得动量 $m v$ ，此处的 $m = m_0 / \sqrt{1 - B^2}$ ，而“光子”的动量变为 $h v / C$ 。

应用能量和动量守恒定律，列出

$$h v_0 + m_0 C^2 = h v + m_0 C^2 / \sqrt{1 - B^2} \quad (2)$$

此处 $m_0 C^2$ 是电子的“静能”，以 m 表示电子的“运动质量”，重写上式为

$$h v_0 + m_0 C^2 = h v + m C^2 \quad (2a)$$

用动量守恒定律给出

$$h v_0 / C = h v / C + m v \quad (3)$$

由上述矢量方程及图示的三角形关系有

$$m^2 v^2 = h^2 v_0^2 / C^2 + h^2 v^2 / C^2 - 2 h^2 (v_0 v / C^2) \cos \phi$$

$$\text{或} \quad m^2 v^2 C^2 = h^2 v_0^2 + h^2 v^2 - 2 h^2 v_0 v \cos \phi \quad (3a)$$

$$\text{又将 (2a) 式重写为 } m C^2 = h (v_0 - v) + m_0 C^2 \quad (2b)$$

$$\text{并取其平方: } m^2 C^4 = h^2 v_0^2 + h^2 v^2 - 2 h^2 v_0 v + 2 h m_0 C^2 (v_0 - v) \quad (2c)$$

$$\text{从 (2c) 中减去 (3a), 并经简单变换后, 得到 } C/v - C/v_0 = (h/m_0 C) (1 - \cos \phi) \quad (4)$$

$$\text{因 } C/v = \lambda \text{ 及 } C/v_0 = \lambda_0, \text{ 得出波长的改变公式为 } \lambda - \lambda_0 = \Delta \lambda = (h/m_0 C) (1 - \cos \phi) \quad (4a)$$

上式中，量纲为长度的数量 $h/m_0 C$ 是三个常数的组合，它并称为康普顿波长，并用 Λ 标记： $\Lambda = h/m_0 C = 6.624 \times 10^{-27} / (9 \times 10^{-28} \times 2.99 \times 10^{10}) = 0.242 \text{ \AA}$

上述结论是：当散射角给定时，谱线的位移与任何散射物和任何能量或动量的入射“光子”无关。

上面的推导也说明了电磁质量与引力质量的等价性，这是光子与电子的一种动量交换。

附录 1：以前，科学家只是从理论上推测，在太阳风暴、核反应中，“应该存在”一个非常重要而奇特的“点”——磁零点。而最近，我国天文学家通过卫星观测数据，真实地“捕捉”到了宇宙中的磁零点。最新成果发表在近期出版的《自然·物理学》杂志上。磁零点是什么？它就像地球上的台风眼——别看台风呼啸横扫数百公里，小小的台风眼里却风平浪静。我国天文学家发现，来自太阳的电磁风暴同样也有台风眼——尽管“太阳风暴”袭击地球磁场时，甚至可以引起无线通讯中断，但在台风眼之中，却有个磁场为零的地方。多年来，为寻找磁零点，欧洲宇航局启动了“星簇”计划，连续发射了四颗卫星，中国也实施了“双星”计划。日前，卫星在离地球约 12.6 万公里的太空中，观测到一次“太阳风暴”侵袭下的地球磁场。根据观测数据，国家天文台肖池阶副研究员、大连理工大学王晓刚教授、北京大学濮祖荫教授等为主的研究小组，首次发现了自然界中存在的磁零点。当期杂志配发评论，认为这是磁重联研究领域“极其重要的”进展。在神奇的

磁零点上，发生着太空中十分常见的物理过程——磁重联。在太阳风暴的“劲吹”下，“背风”处的地球磁场从原先的圆球形，被“吹”得好像飘扬的长发。长发般的磁力线在太阳风的“逼迫”下，不断逼近磁零点。当两条磁极方向相反的磁力线与磁零点无限接近的那一瞬间，两条磁力线开始“重新联结”：同时从中断开，并连接成两条新的磁力线——一条带着太阳风暴的等离子体飞向浩淼的太空，另一条则如同拉满的橡皮筋，缩向地球，它所携带的高能粒子“撞”进地球南北两极的大气层，形成美丽的极光。据国家天文台汪景琇研究员介绍，以前人们只是在理论上推测磁零点的存在，但这次他们利用该台赵辉博士发展的微分拓扑学方法，通过实际观测数据分析，发现了磁重联的中心区域存在磁零点，并计算出磁零点周围的磁力线存在螺旋结构。由于磁重联存在于太阳耀斑、磁约束核聚变等重要物理过程中，是能量转换和加速带电粒子的基本机制之一，因此，这一发现有助于彻底解决磁重联理论中一些长期悬而未决的难题。

3、四个基本假设

我认为是科学的想象力需要严谨的实验证据支持。提出科学问题很重要，要勇于挑战已有的科学理论，勇敢的提出质疑，但是这种质疑绝不是胡思乱想，绝不是毫无根据的，狂妄的去挑战已有的真理，而是需要严谨的实验作为依据。”“伽利略身上闪耀着渴望认识和驾驭客观世界的科学精神，宇宙的探索是永无止境的科学前沿，需要有志者像伽利略那样，不畏艰险，不断探索、开拓新的科学领域，深化人类对宇宙的认识。

-----路甬祥

恩格斯说：“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假设。”-----恩格斯

方程式之美，远比符合实验结果更重要 -狄拉克

世界著名物理学家费恩曼：“重要的是要认识到，在今天的物理学中，我们不知道能量究竟是什么”（《费恩曼物理学讲义》第1卷P34）。美籍华人著名的物理学家、诺贝尔奖金获得者李政道把“一些物理现象理论上对称，但实验结果不对称”、“暗物质问题、暗能量问题”、“类星体的发能远远超过核能，每个类星体的能量竟然是太阳能量的 10^{15} 倍”、“夸克禁闭”称为是 21 世纪科技界所面临的四大难题。

Einstein 说：“适用于科学幼年时代以归纳为主的方法，正让位于探索性的演绎法。由经验材料作为引导，……提出一种思想体系，它一般是在逻辑上从少数几个所谓公理的基本假定建立起来的。”亚里斯多德学派指出：需要有未加定义的名词-原始概念(如:点,线,面,体)。定义了公理,公设,创立了独立的逻辑学,其中的基本逻辑规律:矛盾律和排中律,成为数学中证明的核心。亚里斯多德的形式逻辑为欧几里德演绎几何体系的形成奠定了方法论基础。

基本假设:1、电磁质量间不存在万有引力，数值在实数集上呈量子分布，具有波粒二象性；引力质量间不存在 Coulom 力，数值在实数集上呈连续分布,单个物体或基本粒子的引力质量可以被任意分割，相互之间存在万有引力和弱相互作用，不具有波粒二象性。

2、电磁质量与引力质量可以互相转化，在转化过程中作用力大小不变。

3、引力质量与电磁质量之间没有相互作用，当电磁质量与引力质量结合在一起时，电磁质量之间具有库仑力和强相互作用。

4. 只具有电磁质量的粒子为波色子，遵循波色——Einstein 统计；同时具有引力质量和电磁质量的粒子为费米子，遵循泡利不相容原理。

由于电磁质量与引力质量之间没有相互作用力，光子（电磁质量----后面分析）与真空（引力质量）没有作用力，在真空中光速不变，否则由于万有引力作用光子的速度会发生改变，电磁以太是不存在的，狭义相对论的观点是正确的。狄拉克光子真空与电子真空的观点是错误的，虚光子也是不存在的。

自旋为半整数（1/2, 3/2...）的粒子统称为费米子，服从费米-狄拉克统计。费米子满足泡利不相容原理，即不能两个以上的费米子出现在相同的量子态中。轻子，核子和超子的自旋都是 1/2，因而都是费米子。自旋为 3/2, 5/2, 7/2 等的共振粒子也是费米子。费米子(fermion)：费米子是依随费米-狄拉克统计、角动量的自旋量子数为半奇数整数倍的粒子。费米子遵从泡利不相容原理，得名于意大利物理学家费米。根据标准理论，费米子均是由一批基本费米子，而基本费米子则不可能分解为更细小的粒。基本费米子分为 2 类：夸克和轻子。而这 2 类基本费米子，又分为合共 24 种味道 (flavour)：12 种夸克：包括上夸克 (u)、下夸克 (d)、奇夸克 (s)、魅夸克 (c)、底夸克 (b)、顶夸克 (t)，及它们对应的 6 种反粒子。12 种轻子：包括电子 (e)、渺子 (μ)、陶子 (τ)、中微子 ν_e 、中微子 ν_μ 、中微子 ν_τ ，及对应的 6 种反粒子，包括 3 种反中微子。中子、质子：都是由三种夸克组成，自旋为 1/2。奇数个核子组成的原子核。(因为中子、质子都是费米子，故奇数个核子组成的原子核自旋是半整数。) 由全同费米子组成的孤立系统，处于热平衡时，分布在能级 ϵ_i 的粒子数为， $N_i = g_i / (e^{(\alpha + \beta \epsilon_i)} + 1)$ 。 α 为拉格朗日乘子、 $\beta = 1 / (kT)$ ，有体系温度，粒子密度和粒子质量决定。 ϵ_i 为能级 i 的能量， g_i 为能级的简并度。根据自旋倍数的不同，科学家把基本粒子分为玻色子和费

米子两大类。费米子是像电子一样的粒子，有半整数自旋(如 $1/2$, $3/2$, $5/2$ 等)；而玻色子是像光子一样的粒子，有整数自旋(如 0 , 1 , 2 等)。这种自旋差异使费米子和玻色子有完全不同的特性。没有任何两个费米子能有同样的量子态：它们没有相同的特性，也不能在同一时间处于同一地点；而玻色子却能够具有相同的特性。基本粒子中所有的物质粒子都是费米子，是构成物质的原材料(如轻子中的电子、组成质子和中子的夸克、中微子)；而传递作用力的粒子(光子、介子、胶子、 W 和 Z 玻色子)都是玻色子。费米子(fermion)：自旋为半整数的粒子。比如电子、质子、中子等及其反粒子。它们符合泡利不相容原理，以及费米-狄拉克统计：由全同费米子组成的孤立系统，处于热平衡时，分布在能级 ϵ_i 的粒子数为， $n_i = g_i / (e^{(\alpha + \beta \epsilon_i)} + 1)$ 。 α 为拉格朗日乘子、 $\beta = 1 / (kt)$ ，有体系温度，粒子密度和粒子质量决定。 ϵ_i 为能级 i 的能量， g_i 为能级的简并度。

在一组由全同粒子组成的体系中，如果在体系的一个量子态(即由一套量子数所确定的微观状态)上只容许容纳一个粒子，这种粒子称为费米子。费米子所遵循的统计法称为费米统计法。费米统计法的分布函数为式中 $n(\epsilon)$ 为体系在温度 T 达热平衡时处于能态 ϵ 的粒子数； α 为温度和粒子总数的函数。

费米子，得名于意大利物理学家费米。玻色子是依随玻色-Einstein 统计，自旋为整数的粒子。玻色子不遵守泡利不相容原理，在低温时可以发生玻色-Einstein 凝聚。玻色子包括：。胶子-强相互作用的媒介粒子，自旋为 1 ，有 8 种；光子-电磁相互作用的媒介粒子，自旋为 1 ，只有 1 种这些基本粒子在宇宙中的“用途”可以这样表述：构成实物的粒子(轻子和重子)和传递作用力的粒子(光子、介子、胶子、 w 和 z 玻色子)。在这样的一个量子世界里，所有的成员都有标定各自基本特性的四种量子属性：质量、能量、磁矩和自旋。这四种属性当中，自旋的属性是最重要的，它把不同将粒子王国分成截然不同的两类，就好像这个世界上因为性别将人类分成了男人和女人一样意义重大。粒子的自旋不像地球自转那样是连续的，而是是一跳一跳地旋转着的。根据自旋倍数的不同，科学家把基本粒子分为玻色子和费米子两大类。费米子是像电子一样的粒子，有半整数自旋(如 $1/2$, $3/2$, $5/2$ 等)；而玻色子是像光子一样的粒子，有整数自旋(如 0 , 1 , 2 等)。这种自旋差异使费米子和玻色子有完全不同的特性。没有任何两个费米子能有同样的量子态：它们没有相同的特性，也不能在同一时间处于同一地点；而玻色子却能够具有相同的特性。基本粒子中所有的物质粒子都是费米子，是构成物质的原材料(如轻子中的电子、组成质子和中子的夸克、中微子)；而传递作用力的粒子(光子、介子、胶子、 w 和 z 玻色子)都是玻色子。**由于同向电流相互吸引，因此费米子的自旋方向必须相反。**

在 1954 年致玻姆(D.Bohm)的信中，Einstein 陈述了自己对非空时的看法：“用像场这样的基本概念如果不可能作客观描述的话，那么人们就不得不寻找完全避免连续区(连同空间和时间)的可能性。但是对于哪一类基本概念能够用于这样的理论，我却一无所知。”在 1949 年对门格尔(K.Menger)的答复中，Einstein 表明：“所以要坚持连续区，并不是由于偏见，而是由于我已经不能想出任何有系统的东西来代替它。”把这两段话联系起来，我们不难看出，相对于他所宠爱的连续场论，非空时的实在论思想对 Einstein 来说是可以接受的选择物。由于广义相对论只研究引力场----引力质量，因此在实数集上是连续的，Einstein 在一定程度上是正确的。

由基本假设可知万有引力定律与 Coulombs law 本质是一样的，即可以将万有引力定律从引力质量推广至电磁质量，它们是一个问题的两个方面，从而解决了围绕物理学界多年的难题——Coulombs law 与万有引力定律相似性的本质。

间隔性原理依赖于实在论的描述(实在的状况或状态)和因果联系，这必然不容许远隔的实在事物相互有直接的因果影响。如果我们要在空时背景中追求实在论的描述，Einstein 就要求该背景遵循他的间隔性原理。间隔性是 Einstein 空时理论的必要部分，虽然空时描述和间隔性在实在论纲领内是次要的。**由于引力质量与电磁质量之间没有相互作用力，因此 Einstein 对于量子力学的批判具有一定的局限性。**笔者认为既然引力质量在实数集上连续分布，那么引力波是不存在的，光电效应就是电磁质量转化为引力质量的一个实例。

4、电磁质量的能量能量实际上构成所有基本粒子、所有原子，从而也是万物的实质。在人类思想发展史中，最确定成果的发展几乎总是发生在两种不同思维方法的交会点上。它们可能起源于人类文化中十分不同的部分，不同的时间，不同的文化环境或不同的宗教传统。因此，如果它们真正地汇总，也就是说，如果它们之间至少关联到这样的程度，以致于发生真正的相互作用，那么我们就可以预期将继之以新颖有趣的发展。

——海森堡

根据场的 space-time 本质的观点，能量是物质与 space-time 的相互作用，如果认为引力质量具有正的能量，那么必须认为引力场具有负能量，自然界不存在负引力质量的物体，物理学家预言宇宙中存在负引力质量，但是没有发现由负引力质量形成的物质原因在于此。引力定律确保了宇宙中所有质量之间的(负的)引力位能，必定永远和每个质量 m 相关联的(正的)能量 mc^2 的总和大小相等、符号相反。因此总的结果准确

的等于 0。现代物理学认为物质的引力场的质量是静止质量的 10^{-37} 倍，原因在于它只是计算的其相对时空部分。

引力质量与电磁质量具有等价关系。由于电磁质量与引力质量在转化过程中作用力不变。在万有引力定律中，令两物体引力质量均为 1kg ，转化后的电磁质量 为 Q ， R 不变，得 $G/R^2 = KQ^2/R^2$ ， $\therefore Q = (G/K)^{0.5} \approx 8.61 \times 10^{-11}\text{C}$ 。 $\therefore 1\text{kg} \approx 8.61 \times 10^{-11}\text{C}$ 。 $1\text{C} \approx 1.16 \times 10^{10}\text{kg}$ ， $1\text{A} \approx 1.16 \times 10^{10}\text{kg/s}$ ， $1\text{V} \approx 8.61 \times 10^{-11}\text{m}^2/\text{s}^2$ ， $1\Omega \approx 7.422 \times 10^{22}\text{m}^2/\text{kg}\cdot\text{s}$ ，把国际基本物理量可以进一步变为 5 个。Maxwell 的微分方程是联系起 electric field 及磁场的空间和时间的微分系数。带电体质量（电磁质量）是 electric field 中散度不为零的地方。光波显现为空间中 electric field 的波动过程。这说明 electric field 与引力场具有等价性的一面。电磁质量与引力质量的等价关系是对称的绝对性的表现形式。electric charge 是物质存在的一种状态，电磁质量本质就是 quantity of electricity。引力场中的质量就是引力质量（惯性质量），因此广义相对论的假设是正确的。1 个电子的电磁质量为 $1.856 \times 10^{-9}\text{kg}$ ，远大于其引力静止质量 $9.10956 \times 10^{-31}\text{kg}$ ，电磁质量间作用力远大于引力质量间作用力， $e/m \approx 2.04 \times 10^{22}$ （注：无单位），因此在化学变化中物质的化学性质主要决定于电磁力。由于牛顿力学只适用于引力质量，因此牛顿力学不适用于微观世界。

由于引力质量与电磁质量之间可以互相转化，引力质量与能量之间满足质能方程： $E = m_{\text{惯性}} c^2$ ，因此电磁质量与能量之间应满足电能方程： $E = kQc^2$ ，令 $Q = 1\text{C}$ ，则 $E = kc^2(\text{J})$ ， $k \approx 1.16 \times 10^{10}\text{kg/C}$ 。这样可将 Einstein 质能方程从引力质量推广至电磁质量。由引力质量产生的能量为引力能，机械能是引力能的一部分。由电磁质量产生的能量为 电磁能量，二者可以相互转化，在转化过程中能量守恒。1C quantity of electricity 具有能量 $1.044 \times 10^{27}\text{J}$ ，1 个电子的电磁能量为 $1.673 \times 10^8\text{J}$ 。我们可以发现电磁能是相当大的。1900 年，彭加勒也明确提出电磁场具有质量（笔者注：此时应当为电磁质量），电磁场的质量等于其能量除以光速的平方 $m = E/c^2$

经典电磁理论只在处理标量偏微分方程组时才呈现出严格性，但 Maxwell 方程组是矢量偏微分方程组，人们一直缺少解决方法。当由矢量波方程在单色波条件下转为矢量 Helmholtz 方程，就会发现在一般曲线坐标系时只能得到分量的耦合方程，不能进行分离变数。1935—1937 年，W.W. Hansen 在一组研究天线辐射问题的文章中提出了直接求解矢量波方程的建议；他针对矢量波方程构造出独立矢量函数解 M 、 N ，因而矢量波函数又被称为 Hansen 函数；他实际上是用标量 Helmholtz 方程的本征函数作原基，进一步构造成新的正交基，使之直接满足矢量 Helmholtz 方程和相应的边界条件；这样的泛函 $M \setminus N$ 直接满足矢量波方程，使直接求解的工作有了开端。1941 年，J.A. Stratton 介绍了 Hansen 的思路，给出解法，讨论了解的形式，补充引入了矢量函数解 I ；当时及以后，人们不认为 L 函数与 M 、 N 在性质上有重要的区别。1971 年，C. 丁，Tai（戴振铎），指出可以用并矢 Green 函数直接求解 Maxwell 方程组的边值问题，给出了形式完美对称的表达式；但随即有人指出其公式两边不恒等，解是不完备的；具体讲，Tai 所得到的并矢 Green 函数虽满足坐标对称，但不包含乙函数。1973 年 Tai 自己作了修改，给出的新表达式多加了一个包含工函数的奇异项（代表源区场），这引起了争论。

1991 年宋文淼在其专著《并矢 Green 函数和电磁场的算子理论》中给出的推导是没有奇异项的。由于上述工作数学上艰深复杂，又无法用实验来证明何者正确，学术界难以取得共识。这就是争论中的“电磁场完备性问题”。1998 年，任晓雨在其博士论文中指出，有关矩形腔电并矢 Green 函数的争论源于对乙函数的不同理解——人们一直未认识到乙和 M 、 N 是物理意义不同的波函数（ L 满足的方程不是无源时电磁场的解，而另两个是）；他认为 L 函数只是一种数学工具。同年，任晓雨、宋文淼等在《微波学报》上发表论文，提出不计入 L 函数也许是正确的——虽然没有 L 函数的电磁场本征函数系似不完备，但这可能正是电磁场本身的特性，即电磁波场在 Euclid 空间中本来就不完备？！从物理意义上看，一种观点认为非奇异项（Tai 解答的主体部分）就是所需的物理场，奇异项则代表非物理场或“伪模”。宋文淼则认为电磁场实际上包含了电磁波场（光子场）和描述带电粒子间相互作用的场（虚光子场），即不再忽略粒子性——这与笔者近年来的学术观点和研究工作相接近……总之，人们从不同角度对现有理论表明了看法。1964 年，P.A. M. Dirac 在纽约的一次演讲中曾指出，关于 Maxwell 方程组不精确成立的可能性是存在的。当人们进入到离电荷（它们产生了场）非常近的区域时，经典场论恐怕就要修改，因为在这里需要一种非线性电动力学。实际上 Born—Infeld 的电动力学正是基于一个不同的作用量积分对 Maxwell 理论作了修正——该积分在弱场时与 Maxwell 作用量一致，在强场情况下就不相同。Born—Infeld 的理论属于量子场论（或叫量子电动力学），而在 1964 年时 Dirac 认为量子场论的成功还“非常有限、不断陷入困难”，人们必定要考虑电磁场波的量子化问题。在经典理论中，电磁场矢量的运动方程是 Maxwell 方程；在量子理论中，场矢量是作为算子来对待并受 Maxwell 方程支配。物理系统的状况由状态矢量代表。量子化系统描述中，Heisenberg 图象是把本征矢量看作描述不随时间变化的状态矢量时形成的基底矢量。Schroedinger 图象视状态矢量为时间函数，其运动方程则由 Schroedinger 方程规

定。...虽然电磁波的量子化已不是新问题,量子电动力学也早已确立。但完全的量子化处理在理论上太复杂,故常用半经典法。电子学家们发现,现在常把 Schrodinger 方程介入到宏观电磁问题(金属壁波导、介质波导、光纤等)中来。工程技术人员对这个不太熟悉。但是就是它是经典(maxwell 方程为基础)电磁理论矛盾缓解和解决电子学家工程技术问题理论工具而言。maxwell 方程时代已经过去。人们依靠 schoedinge,Klein-Gordon,dirac 相对论性波方程处理复杂电磁系统。微波回旋器件是 maxwell 方程+valasov 方程组成动力学理论。

四维时空描述的是物质结构及所对应的能量,即第一变化率的积分形式。它只描述物质结构,因此是精确解,即物质结构状态。即物质的粒子性,正是物质粒子具有稳定的结构才使费米子具有 1/2 自旋,不可叠加性,不可入性。而第二变化率才描述场,是物质结构的变化形成场,因此场才具有叠加性,才是玻色子,具有波动性。从第二变化率的推论的量纲推导看引力场与电磁场的惯性度量是质量和电荷度量是互换的,也就是在讨论电磁场时是不考虑质量的,这也符合电磁力远大于引力可以忽略不计。

5、类星体问题初探

类星体是宇宙中最明亮的天体,非比寻常的亮,比正常星系亮 1000 倍。在可见光及无线电波段都有此特征。类星体的绝对星等 M_v 在 -25 等到 -33 等之间,用哈勃定律可由红移值推算出距离,再由距离推算出光度。这样算出的类星体光度,在太阳光度的 1012 倍到 1014 倍之间,约 10^{38} 瓦到 10^{40} 瓦。能量释放的功率是星系的千倍以上。

伽玛射线是电磁波中能量最强的部分,它通常伴随着极剧烈的物理过程产生。每星期科学家们都可以检测到几次伽玛爆。这种爆发在天空中具有各向同性,但在同一位置上从不重复发生。伽玛爆会放出巨大的能量,我们至今不清楚它的产生原因。一些天文学家认为伽玛爆可能来自于银晕中的中子星,更多的人则认为伽玛爆是由距离我们极遥远的剧烈过程(中子星或黑洞之间的碰撞)产生的。黄克谅:“因此,十几年前,类星体的发现构成了对近代物理学和现代天文学的挑战;今天,这个挑战仍然在继续。可以肯定,战胜这种挑战,更深刻地认识类星体的本质,将意味着人类对自然规律认识的一次巨大飞跃。”《天文学的新进展》1983。李宗伟,肖兴华:“总之,类星体发现以来 30 年中,红移的原因一直争论不休的问题,解决之日也是颁奖之时,盼望这一天早日到来。”《普通天体物理学》p569, 高等教育出版社 1992。卞毓麟:“所以,类星体的本质,迄今仍是个未解之谜。”《宇宙之谜》p50。周又元:“类星体是 60 年代四大天文发现之一,因其争论不休的奇特性质,而被号之为谜。”《天体物理、电路分析、脉冲分析》

李政道认为:“关于类星体,类星体的能量是太阳的 10^{15} 倍,超新星的能量是太阳的 10^{10} 倍。可是超新星仅有约一年的寿命。而类星体一直还在发光,它如此巨大的能量来自何处,我们不知道。”李政道(T.D. Lee)把这个问题列为 21 世纪科技所面临的四大问题之一。《自然杂志》19 卷 4 期的‘探索物理学难题的科学意义’的 9 7 个悬而未决的难题: 6 7。类星体的能源是什么?笔者认为伽玛射线爆与类星体的能量其实就是电磁能。在物理学的体系中有各种各样的守恒量,如质量、电荷、自旋、动量和能量等等。在封闭系统中所有的物理量中只有能量是无条件守恒的,无论物体发生怎样的运动、变化和相互作用,它总是保持守恒。与能量的无条件守恒不同,质量、电荷、自旋等等的守恒是有条件的。比如在正反粒子的相互作用后所谓的质量、电荷、自旋等特性都会消失。

通过上面的分析可知:电磁能与引力能在一定条件下可以相互转化,electric charge 与 electric field 在一定条件下可以相互转化,这也符合唯物辩证法的观点:矛盾着的双方依据一定的条件,各向其相反的方向转化,自然界中的物质都是互相联系着的。质量守恒定律与 electric charge 守恒定律可统称为广义质量守恒定律,通过质能方程与电能方程可将广义质量守恒定律与能量守恒定律联系在一起。Maxwell's equation 与 electric charge 守恒有密切的关系。

附录:哈勃拍到超新星爆炸残留下的惊人光带

哈勃望远镜最近拍到了银河系中一颗已经在 1006 年 5 月 1 日爆炸了的超新星残余的特写镜头。此爆炸是历史记载中最明亮的爆炸之一。

据英国《新科学家》杂志报道,尽管中世纪的观天人在 1000 多年前看到了一颗恒星爆炸的景象,但直到现代天文学爱好者才全面获得了其爆炸残余的惊人画面。因为哈勃望远镜最近已经拍到了银河系中一颗已经在 1006 年 5 月 1 日爆炸了的超新星残余的特写镜头——是一条非常壮观的光带。此爆炸是历史记载中最明亮的爆炸之一,肉眼就能看见。

科学家表示,此精巧模样的残余其实是来自此恒星爆炸的部分冲击波。而且,此暴动的残余还在爆炸之中,每小时大约移动 1 千万公里。此哈勃图像主要是由此残余的氢原子发射出的可见光、蓝光、黄绿光和近红外线光共同生成的合成图像。此扭曲光带的明亮部分是来自此爆炸的冲击波位于我们视线的边缘。

此超新星爆炸的残余在可见光下较昏暗，但天文学家用 X 射线光谱制成了极好的图像。

注释：该超新星距离地球 1002 光年远，我们现在看到的对方就是公元 1006 年的情景。

6、电磁质量与引力质量的能量转化问题

根据对称的相对性与绝对性原理，反中子是电中性的,但是它与普通的中子又不完全相同。一个反中子经过 β 衰变后就变成一个反质子，而不是一个带正电的质子。粒子和反粒子相遇时不但要发生湮没，而且还会释放出巨大的能量。反质子带负 electric charge，它的质量与质子相同。一个质子和一个中子发生热核聚变反应形成氦核时大约释放出 2Mev 的能量，而一个质子和一个反质子湮没时释放出的能量大约是 1800Mev。由此可见，湮没释放出的能量大约是核能的一千倍。

现代物理学的实验也证明了电磁质量的能量的转化问题，下面列出了有关实验结果：在 2008 年 8 月 14 日于美国圣路易斯市布什会议中心召开的新闻发布会上，一个由中国物理学家和中国留美学者组成的研究小组宣布他们在 7 月 12 日完成了一项革命性的实验，实验结果表明在电磁相互作用中能量是不守恒的，能量可以在电磁相互作用中获得增值。这项发现彻底推翻了物理学理论中一贯默认的能量守恒定律，并为未来能源生产开辟了全新的道路，人类将从能源危机中获得解放。

参加此项研究的物理学家是来自中国原子能科学研究所的梁祺昌教授和美国华盛顿大学博士后研究员刘晓东。他们发现在环型螺线管和平板电容之间的能量传输是不平衡的，平板电容可以从环型螺线管的感应电场中获取能量，而环型螺线管的输入能量却为零，"这显然违反能量守恒定律"，刘晓东博士解释说，"如果能量是守恒的，那么一方电磁能的增加必然要求从另一方输入能量，但是实验结果却截然不是这样。"

此项研究成果可以追溯到 140 多年前英国的物理学家麦克斯韦。麦克斯韦是电磁学理论的鼻祖，他的电磁学理论今天被称作麦克斯韦方程组，这个方程组描述了电磁波是如何产生并传播的。在 1861 年，麦克斯韦根据他的理论预言电磁波可以在真空中以光速传播，这个预言在 26 年以后，即 1887 年，被德国物理学家赫兹用实验证实，为了纪念赫兹，他的名字被记作频率的单位。今天我们所用的电视，广播，雷达，无线通讯都离不开麦克斯韦和赫兹的贡献。

在麦克斯韦的理论中，最神秘和最吸引人的部分就是位移电流，位移电流是空间电场的瞬间变化率，麦克斯韦发现变化的空间电场可以产生磁场，而变化的磁场又可以感生新的电场，由此电磁波可以在空间传播。如果我们考察位移电流与导体中自由电子的相互作用，就会发现，位移电流产生的感生电场可以推动自由电子运动，使电子获得能量，但是反过来，运动的电子产生的感生电场却不能对位移电流有任何影响，原因是位移电流里只有电场而没有电子。在这个相互作用过程中，位移电流既不损失能量，也不获取能量，只有导体中的自由电子获得了能量，这样一来，能量就不守恒了。原理如此简单，可是麦克斯韦本人也没有想到他提出的位移电流理论直接导致能量不守恒。这个秘密不幸被隐藏了 140 多年。

从牛顿时代开始，能量守恒一直被当作物理学的基本理论，欧美的科学家在 19 世纪的时候做了大量研究，希望找到能量不守恒的途径，但是都没有成功，在这种情况下科学家们不得不承认能量守恒定律是“正确”的。有意思的是，吃不到葡萄的狐狸也会提出酸葡萄定律，两个定律听起来很相似。“只要吃到一个甜葡萄，酸葡萄定律就被打破了。”梁祺昌教授介绍说，“19 世纪的研究工作集中在机械能和热能的转化上，这条路被证明是走不通的，但是电磁能守恒的问题从未被仔细地研究过。在 1901 年的时候，有个叫亨利·庞加莱的法国物理学家曾经怀疑过位移电流导致能量不守恒的问题，但是他没能提出可靠的实验证据，结果他的工作就被后人遗忘了。”

刘晓东博士介绍说：“我们的工作没有超越麦克斯韦的理论，我们只是在他的理论中找到了一个隐含的推论。我们在实验中观测到的效应非常显著，甚至超过我们的预料。我们已经与多位中国的及美国的著名物理学家交换意见，请他们检查我们的实验原理和实验结果，均没有发现任何问题。我们准备将论文投给美国著名的学术期刊《科学》。这项研究历时五年，开始的时候我们走了很多弯路，这是一个漫长的历程，我们得到了亲友的资助。现在我们终于知道如何在电磁相互作用中使能量增值，在这个过程中，不需要从外界输入额外的能量，虽然现在的能量增益还很小，但是我们正在设计功率更强大的装置，我相信在这项技术得到应用以后，人类将不再需要石油和煤炭。”

1992年，芬兰一位物理学家制造了一个直径为1.45厘米、厚度为6厘米的超导体。他将超导盘的温度降到零下

于生导电而磁本当到一现上的速重经学于减的物1家的器到时会同速时怎一家压身重场力在下这个径模其动

3 的体，磁使场都超5个了的重度量研家"少引体2发电极，沿，度几么系才带形力，没移位原为型带。

°C 个旋感力得旋挺导0奇：物量越丧究认了力重现容板整着电甚百回列明电成场从有动科理3上动这

， 产 然 后 将 其流中 置产超电到从着原

， 交转 应的超转 正盘 怪置体，快失，为地，力，器间 个正容至千事研白的了， 而动。学，重个

生 常 的于 丧 而，得这， 球从丧一大，的 电极器可米呢究，电一这 使力 家在 成物碟

感 流用盘一 转 现超 且物越位这 对而失 量当电 0容方的达。？，原容个个 电的 8利一的 功快形

应 受，跟切 速 象导 旋体多物是作物使了科充电压 万器向移每这经科来器人重 容情 年用个碟地速模

但 钟 了 " 蔽 位 3 地 球

是 时 出盘 1 转的。理由用体得。学电容达伏就移动小是过学高自造力重器况，这直形使移型

， ， %

既没有设置在一场碟会感于局个感妙
 没有，自个“做有觉相部试到用
 有喷，只身“快任，同重验了。
 推射是周人内速何因的力首“反
 进装利围造的运被为变场次重
 器置用产反重动移它了中使
 ，，电生重物时动们形。人
 也更装场了力在不的处的这们的

众所周知，我们目前正面临着越来越严重的能源危机，按目前的消费速度，地球上的石油只能够使用50年左右，煤炭也只能使用80年到100年，原子能大概能使用60年到70年，也就是说，在最迟100年以后，我们的子孙后代将没有能源。而且，在能源消耗的过程中，能源价格将越来越高，争夺能源的战争将越来越频繁。可能有其他的替代能源吗？有，但是不够用，比如美国目前正在大力发展生物能源，可是即使把全美国的玉米都酿成酒精，也只能满足美国12%的能源消耗。太阳能成本高，效率低，风能不稳定，那么原子能呢？曾经有人设想到月球采集氦3回来做核聚变的燃料。“利用氦3实现核聚变的技术问题本身还没有解决，载人登月的难度也很大”，从50年代即参加中国核物理研究工作的梁祺昌教授对核聚变技术非常了解，“至于在月球开采矿藏，困难更是不可预料。如果不能从根本上解决能源问题，中国的现代化建设将受制于人，甚至会停滞”。另外，由于大量燃烧石油和煤炭，排放二氧化碳，全球气候变暖也成为一个大问题，干旱，沙漠化，冰川融化，海水上升，陆地淹没，热带风暴频发，等等。这些问题使我们不得不担忧我们的未来。现在物理学家为我们提供了全新的原理和技术，人类将从灾难中得到解放。毕业于北京大学物理系的余美祥博士评价此项发现是“一个将得到诺贝尔奖的工作”。

笔者认为，此时只是电磁质量的能量转化为引力质量的能量问题，能量并没有增加，能量守恒定律依然成立。当电磁质量与引力质量结合在一起时，电磁质量才可以转化为引力质量，例如正负电子由于电磁力互相吸引，运动速度增加，质量增加。

在历史上，每一次物理学的重大突破都会改变我们的生活，中国古代四大发明之一的指南针即是人类在电磁学领域的第一个重大发现，这个发现对人类文明的进程产生了重大影响。近代物理学的发展更是为我们提供了日新月异的技术革命，从牛顿。法拉第。麦克斯韦，到特斯拉。Einstein。费米，物理学家前进的脚步从未停止过。

7、电磁质量与引力质量的转化实例分析

(一) 英国发现银河系外“神秘天体”不同于已知天体

(来源：大洋网-广州日报)

这片极具魅力的星云距太阳有2.2万光年，并以惊人的速度孕育新恒星。

据新华社电英国天文学家14日报告说，他们在以产生新天体而著名的星系“M82”中发现了一个“神秘天体”，它不同于银河系中所知的任何天体，也许会被划入“微类星体”之列。

英国皇家天文学会发布公告说，曼彻斯特大学研究人员当天在天文学会年会上报告了这一发现。这个天体属于距离地球约1000光年的“M82”星系，该星系以频繁产生新的恒星而闻名，而这些新恒星通常又会很快死亡，使得该星系中每二三十年就会出现一次在其他星系罕见的超新星爆发现象。

据介绍，研究人员去年5月利用射电天文望远镜观测到这一神秘天体，开始他们认为这是一次超新星爆发，但通常超新星爆发的亮度持续几周后就会减弱，而这一天体的亮度在随后几个月中都没有减弱的迹象。

研究人员初步认为，它也许可以被归为“微类星体”，可能与一个大规模黑洞有关。“类星体”因其光谱性质不同于恒星等天体而得名，而“微类星体”则是更少见的小型类星体。不过，这一新天体的亮度和持久度等特征都超过银河系中已知的微类星体，是没有在银河系中见过的类型。(来源：广州日报)

(二) 德科学家在纳米层次上实现光能和机械能转换 (2002年05月15日09:47 摘自新华网)

新华网柏林5月14日电(记者潘治)德国科学家日前发现一种单分子聚合物,在光照条件下可引起其纳米尺度的链式结构长度发生变化,即在纳米层次上实现将光能转化为机械能。科学家认为,这一发现使未来纳米机器找到简便可控的动力成为可能。德国慕尼黑大学与马克斯-普朗克学会的科学家说,他们发现的这种新型纳米机械是单个的感光聚合分子,呈链式结构,由物质偶氮苯构成。偶氮苯由两个苯环连接构成,具有顺、反两种异构体形式,两者物理性质差异较大。这种物质已在许多实验中表现出感光性,可以起到如同“光学开关”般的作用。

科学家发现,当他们利用紫光对这种单分子聚合物进行多次照射后,其链式结构长度变长,而用波长相对较短的紫外线照射后,其长度也随之变短。实验中,这种聚合物的长度变化可重复实现多次,直到其链式结构断裂为止。科学家解释说,他们的这一发现具有实际应用价值。如他们在实验中还将一个质量微小的“重物”垂直悬挂在纳米结构末端,组成一个如同弹簧吊起重物的机械,结果成功实现了利用光照将“重物”吊起放下的过程。他们在发表于新一期《科学》杂志的论文中表示,这是人类首次在纳米层次上将光能转化成动能,这一成果给未来各种纳米机械找到了新的潜在能源。

(三) 通古斯之谜

1908年6月30日7时15分俄罗斯西伯利亚现今克拉斯诺亚尔斯克边疆区的通古斯卡河地区伴随着雷鸣声飞来一个巨大的火球,紧接着,爆炸使叶尼塞河、勒拿河与贝加尔湖之间方圆百万平方公里内都感觉到了震动,蘑菇云升起,欧洲许多国家在夜空中看到了白昼般的闪光,甚至远在在洋彼岸的美国,人们也感觉到大地在抖动。陨石坠落地区,总面积约为2200平方公里的森林6千万棵树呈扇面形从中间向四周倒伏,爆炸能量相当于1500-2000万吨TNT炸药。这个爆炸被横跨欧亚大陆的地震站所记录,其所造成的气压不稳定甚至被当时英国刚发明的气压自动记录仪所侦测。接下来几个星期,欧洲和俄国西部的夜空有如白昼,亮到晚上不必开灯读书。在美国,史密松天文物理台(Smithsonian Astrophysical Observatory)和威尔逊山天文台(Mount Wilson Observatory)观察到大气透明度有降低的现象至少数月。一些科学家认为通古斯陨石的质量不小于百万吨,速度达30-40公里每秒,但在现场却找不到陨石,这就是所谓通古斯之谜。

附录:【科学家新发现年轻脉冲星 宛若“上帝之手”】2013年5月22日讯,这颗年轻的脉冲星被命名为“PSR B1509”,脉冲星是一种高速旋转的中子星,它向太空喷射大量能量形成复杂和壮观的结构,它有时像一个巨大的“上帝之手”。

第三章 电磁质量的量子分布

1、夸克理论的提出过程回顾

对强子结构和标准模型研究的一再成功已表明夸克和色场是强子世界的最基本组成部分。尽管如此,量子物理还存在一些悬而未决的困难,如夸克幽禁、质子自旋危机、质子衰变等。

一、质子、中子不是点状粒子

1. 质子和中子的发现

质子是1919年卢瑟福任卡文迪许实验室主任时,用 α 粒子轰击氮原子核后射出的粒子,命名为proton,这个单词是由希腊文中的“第一”演化而来的。卢瑟福被公认为质子的发现人。

1918年,卢瑟福在使用 α 粒子轰击氮气时,他注意到闪烁探测器记录到氢核的迹象。卢瑟福认识到这些氢核唯一可能的来源是氮原子,因此氮原子必须含有氢核。他因此建议原子序数为1的氢原子核是一个基本粒子。在此之前,尤金·戈德斯坦就已经注意到阳极射线是由正离子组成的,但他没有能够分析这些离子的成分。卢瑟福发现质子以后,又预言了不带电的中子的存在。

1921~1924年,B.查德威克协助卢瑟福做了大量从硼到钾的粒子轰击试验。当时,人们正在研究金属钾在 α 粒子轰击下产生的贯穿性极强的次级辐射,以为这是一种硬 γ 射线。例如约里奥-居里夫妇用次级辐射去轰击石蜡,打出的竟是能量约为5MeV的质子。

按照康普顿散射公式计算,入射的次级辐射流(他们以为是 γ 光子)能量至少要有50MeV。查德威克打破了前人的思路,根据卢瑟福1920年提出的原子中可能存在中性粒子的假设,轻易地解释了约里奥-居里的实验,即次级辐射是能量为5MeV的中子。他还把实验的轰击对象由石蜡推广到氢、氦、氮、氧等气体,并计算出从这些气体打出的反冲核的能量,与实验数据符合得很好。1932年,查德威克在《皇家学会学报》上发表了以《中子的存在》为题的论文。

对于物质结构的探索是科学的重要任务,自从有人类出现,这种探索从来没有停止过。在19世纪,人们逐渐弄清楚物质是由分子原子构成的。1932年查德威克发现了中子,人们认识到原子核应由质子和中子构成。人们对物质结构的研究就如剥笋一样层层盘剥下去,每一个层次的发现,都是对物质结构认识的深化。

在原子核层次下面，质子和中子是否还有其内部结构呢？那么质子、中子内的这些点状粒子是什么呢？具有些什么性质？

二、夸克模型

1964年，美国科学家盖尔曼提出了关于强子结构的夸克模型。强子是粒子分类系统的一个概念，质子和中子都属于强子这一类。“夸克”一词原指一种德国奶酪或海鸥的叫声。盖尔曼当初提出这个模型时，并不企求能被物理学家承认，因而它就用了这个幽默的词。夸克也是一种费米子，即有自旋 $1/2$ 。因为质子和中子的自旋为 $1/2$ ，那么三个夸克，如果两个自旋向上，一个自旋向下，就可以组成自旋为 $1/2$ 的质子、中子。两个正反夸克可以组成自旋为整数的粒子，它们称为介子，如 π 介子、 J/ψ 子，后者由丁肇中等人于 1974 年发现，它实际上是由粲夸克和反粲夸克组成的夸克对。凡是由三个夸克组成的粒子称为重子，重子和介子统称强子，因为它们都参与强相互作用，故有此名。原子核中质子间的电斥力十分强，可是原子核照样能够稳定存在，就是由于强相互作用力（核力）将核子们束缚住的。由夸克模型，夸克是带分数电荷的，每个夸克带 $+2/3e$ 或 $-1/3e$ 电荷（ e 为质子电荷单位）。现代粒子物理学认为，夸克共有 6 种（味道），分别称为上夸克、下夸克、奇夸克、粲夸克、顶夸克、底夸克，它们组成了所有的强子，如一个质子由两个上夸克和一个下夸克组成，一个中子由两个下夸克和一个上夸克组成，则上夸克带 $+2/3e$ 电荷，下夸克带 $-1/3e$ 电荷。上、下夸克的质量略微不同。中子的质量比质子的质量略大一点点，过去认为可能是由于中子、质子的带电量不同造成的，现在看来，这应归于下夸克质量比上夸克质量略大一点点。

质子和中子的组成：一个质子由两个上夸克和一个下夸克组成，一个中子由两个下夸克和一个上夸克组成。

虽然夸克模型当时取得了许多成功，但也遇到了一些麻烦，如重子的夸克结构理论认为，象 Ω^- 和 Δ^{++} 这样的重子可以由三个相同夸克组成，且都处于基态，自旋方向相同，这种在同一能级上存在有三个全同粒子的现象是违反泡利不相容原理的。泡利不相容原理说的是两个费米子是不能处于相同的状态中的。夸克的自旋为半整数，是费米子，当然是不能违反泡利原理的。物理学家给它们来个编号或着上“颜色”（红、黄、蓝），那三个夸克不就不全同了，从而不再违反泡利原理了。的确，在 1964 年，格林伯格引入了夸克的这一种自由度——“颜色”的概念。当然这里的“颜色”并不是视觉感受到的颜色，它是一种新引入的自由度的代名词，与电子带电荷相类似，夸克带颜色荷。这样一来，每味夸克就有三种颜色，夸克的种类一下子由原来的 6 种扩展到 18 种，再加上它们的反粒子，那么自然界一共有 36 种夸克，它们和轻子（如电子、 μ 子、 τ 子及其相应的中微子）、规范粒子（如光子、三个传递控制夸克轻子衰变的弱相互作用的中间玻色子、八个传递强（色）相互作用的胶子）一起组成了大千世界。夸克具有颜色自由度的理论得到了不少实验的支持，在 70 年代发展成为强相互作用的重要理论——量子色动力学。

2、现代物理学探求夸克的实验

一、欧洲核子研究中心（CERN）的大型强子对撞机（LHC）预计年内竣工，这确是 2007 年世界科技界的一件大事。

物理学家对于它运转后可能获得的一系列重大发现，满怀美好的憧憬和急切的期盼。因为理论上的突破、建树、延拓，离不开实验实践的步步深入；尤其是一些标志性仪器的创制，对实验探索和理论研究至为关键。凡大型的加速器，往往是粒子物理发展的必要凭借，也是其发展水准的标志之一。LHC 当然如此，它预示着：由相对论和量子论之百年辉煌所造就的现代物理学，还会在本世纪迎来其基本理论深层发展的热潮。LHC 是世界上迄今最庞大、最高超的加速器。27 千米周长的环形隧道中安装两个粒子（质子等强子或重离子）束流管道，又配有四个非常精致、灵敏度极高的探测器（左图即为最大的探测器 Atlas），中国科学家也参与其研制。两质子束分别沿两管道反向穿行，加速后对头碰撞；质子-质子相互作用的速率为 109 个事件/秒，而每个事件又会产生 106 信息组的数据。筛选、分析如此大量的数据，要求目前已相当发达的电子信息技术“更上一层楼”。再者，那么长的环形管道四周置有能产生甚强磁场的超导电磁铁，须用 1.9K 的液氦（有 70 万升之多）冷却，如此大规模的极低温设施实属罕见。建造这台“顶级”加速器，不仅是粒子物理高度发展的标志，也称得上是当今高科技、“大科学”的一个里程碑式宏伟工程。

1、窥探大自然奥秘

众所周知，绝大部分微观粒子是在加速器里发现的。经过加速和碰撞，实现粒子反应，产生新粒子，并探测粒子的性状、结构以及相互作用机制。利用加速器，不仅会发现新粒子，而且可验证，并由此修缮、扩充相关的理论模型。譬如说，CERN 的超质子同步加速器（SPS）于 1983 年发现了传递弱相互作用的中间玻色子 W 和 Z0，这便证实了弱-电统一理论；美国费米实验室的太电子伏（TeV）质子-反质子对撞机（Tevatron）于 1995 年发现了第六种最重的夸克——顶夸克（t），由以扩充了夸克模型，并确认物质的“基底”粒子层次

——夸克-轻子共有三“代”。这两台加速器的能量标度分别高于 W、Z 玻色子和 t 夸克的质量。后来，在 Tevatron 等加速器里，没有产生质量比 t 更大的夸克和其他特异粒子。LHC 里的质子束可加速到极其接近于光速、质子的碰撞能量高达 14TeV，此标度比 Tevatron 提高了约 10 倍。其束流达到 1034 个质子/厘米² 的甚高亮度，质子-质子相互作用的速率为 109 个事件/秒，而每个事件又会产生 106 信息组的数据。筛选、分析如此大量的数据，要求目前已相当发达的电子信息技术“更上一层楼”。再者，27 千米长的环形管道四周置有能产生极强磁场的超导电磁铁，须用 1.9K（即约为-271℃）的液氦（有 70 万升之多）冷却，如此大规模的极低温设施实属罕见。由此可见，建造这台“顶级”加速器，不单是粒子物理高度发展的标志，也算得当今高科技、“大科学”的一个里程碑式的宏伟工程。LHC 即将运转。物理学家对它期望颇高，主要有如下几项。其一，或许会有质量大于 t 夸克的新夸克产生，那末，已发现的三代夸克-轻子的“代”数就该突破，抑或有四代或更多代？其二，致使 W、Z 玻色子等粒子获得质量的假设希格斯场的量子——希格斯粒子，其质量预言值正在 LHC 所达到的能量范围，似当出现。其三，所有已发现粒子的超对称对偶粒子隐蔽很深，不仅质量较大，而且有特异的性状和相互作用机制，LHC 能否使其崭露其容、即便只是寻觅到间接地证明其存在的隐约踪影？其四，与以往已实现的粒子碰撞反应相比，LHC 对撞反应所产生的物质气泡，其密度会更大、温度会更高，能量达到 103TeV 以上，可能与大爆炸后一瞬间的早期宇宙状态相仿佛。其五，LHC 或许会产生多种新的特异粒子（包括超对称对偶粒子），并披露其特异相互作用机制，则为所谓的暗物质、暗能量乃至真空背景的微观机理提供较为确切的解释。凡此种种，都联系着大自然的深层奥秘，涉及宏观、微观、宇观各个物质层面；LHC 乃是窥探这大自然奥秘的新窗口。

2、扩展粒子世界疆域

通过高能粒子反应产生重粒子，其实是量子场论与狭义相对论的质能方程相结合的推理结论。基于此，加速器工程的改进和增建，不断地提高其能量标度，则便使有目的地搜索、扩展粒子世界的宽阔疆域成为可能。仅凭这一点，就足以证明，相对论和量子论有无限深厚的物质基础和真理涵容，尚待进一步探索、更充分地展示。诚然，这两个伟大理论之形式结合的结晶，不限于上述之推理结论，相对论量子力学、量子场论本身、量子统一理论等皆然；的确，现代物理的基本理论研究已趋于深入。然而，所谓“形式结合”者，意指这两个理论的概念基础、基本观念相互抵牾。就量子统一理论而言，从 1960 年代起，弱-电统一理论和强作用、弱作用、电磁作用的“大统一”理论先后告捷，后者又称为粒子物理标准模型。虽然成功，却有美中不足之处，比如所假设的希格斯粒子等尚未发现。进而，包括引力在内的四种相互作用的“超统一”理论以“超弦-超膜”理论为首选模型，也受到普遍关注。该理论还被有些人称作“万物论”，因为它将所有已知的实物粒子及其相互作用场都囊括无遗，甚至还导出引力场和黑洞的量子性状。那末，本已容纳狭义相对论一些原理的量子场论与广义相对论亦便结合一体。所谓“超”者，假设每种粒子都有其超对称对偶粒子；又假设直观的三维空间扩张成非直观的高维超空间，弦和膜即为其中的量子客体。看来，LHC 首先要承担的重任是，搜索希格斯粒子和超对称对偶粒子、尽可能辨认从高维空间紧缩并呈现为三维空间的“蛛丝马迹”。LHC 倘若搜索到比 t 夸克更重的新夸克，因“夸克禁闭”之故，谅必以强子喷注的形式显示。物理学家希望有很多未知的强子露面，希望 LHC 展现一个品种增添而繁富得多的“粒子动物园”；最期盼出现的是特异粒子和特异相互作用机制，因为这关系到对宇宙早期的具体面貌以及对宏观尺度的真空背景的物质构成这两方面的细致探讨。其实，标准模型和弦-膜模型已预言数量可观的未知粒子和未知相互作用（包括非常规的粒子和相互作用）可能出现。所以，无论从基本原理还是具体理论模型，从理论研究结论还是实验探索成果，从微观层面还是宇观和宏观层面来看，粒子世界的疆域必定不断扩展、越来越宽阔。而唯有了解更宽阔的粒子世界，才能充分揭示大自然的深层奥秘。

3、物理学理论发展趋势

20 世纪初叶起始的现代物理学，以相对论和量子论为理论支柱，成就了无与伦比的辉煌功业；无疑，这辉煌会延续到 21 世纪，现代物理的理论支柱更显稳固。这两个伟大理论依然充满着蓬勃向上的生命活力，表现在两个方面。一是应用：它们对于现代科技的应用非常广泛，新应用的生长点层出不穷，在新生长点上并形成新的学科和科技前沿领域，如量子信息论即是前景看好之一例。二是理论本身，且就此稍作评述。其一，两理论有深厚的真理涵容，有待进一步挖掘和阐发。例如，20 世纪末叶由天文观测确定宇宙因暗能量驱使而在加速地膨胀，并测出暗物质、暗能量对于物质总量所占的比例数值，这就促使对广义相对论重作考查，深入研究后已得到满意的理论诠释。而 LHC 运转后的新发现，也会促成对粒子物理标准模型中尚存疑难深入探讨后予以适当解释。其二，两理论体系在继续拓展。例如已延拓出的相对论宇宙学标准模型、相对论天体物理、黑洞理论、粒子物理标准模型、超统一理论以及与技术应用联系较密切的量子电子论、量子光学等等，都尚待进一步充实、修缮、拓展。其三，两理论的结合体系还会延拓出新的理论领域，例如量子宇宙学、

量子黑洞理论、量子真空理论等。其四，量子统一理论探索会取得更大进展，此探索或许会成为新世纪（以至更晚）物理学基本理论深层研究的主流。超弦-超膜理论的缔造者之一威腾说得明白：“弦论是 21 世纪的物理学，它是出于偶然才闯入 20 世纪的”。有人以其无实验验证而质疑之。但是优越的实验条件要待 21 世纪高科技总的水准一再提升以后才可逐步创造；而 LHC 或许会使近十余年来粒子实验搜索的（相对）冷落景况有所转机。超弦-超膜理论是粒子物理标准模型的逻辑拓展体系，采用优美的对称性数学表述，属于量子规范场论范畴。它虽然没有化解相对论与量子论的观念抵牾，却从原则上实现了引力场的量子化，并推导出广义相对论的一些结论。而圈量子引力论是另一种超统一模型。它更推崇广义相对论的基本观念，从时空量子化着手实现引力场量子化，以达成其引力理论与量子场论相结合的结果，并可望部分地解除观念抵牾所造成的统一困难。不同的超统一模型都旨在使相对论与量子论进一步结合；这是现代物理基本理论研究最重要、也最棘手的课题，此难题从 20 世纪遗留到 21 世纪。解决此难题或许宜以解析真空本质作为切入口。当然，此难题不是短时间所能解决的，因为这归结到对一些最基本概念（诸如时空、量子场等）之认识的革命性转变。然而，本世纪的探索者或许会尽量避开上述观念抵牾的障碍，依然着力于构建一个比现有超统一模型更巧妙、更圆满的高级统一理论体系，把两个理论作为适用于不同场合的特例包容其内；这不失为一种聪明而气度非凡的设想。尚须指出一点，LHC 的能量标度与实现大统一、超统一所需的甚高能量尺度相去很远，故而它还只能为弦论等模型提供间接的验证。甚至可能连希格斯粒子和超对称对偶粒子的隐约踪影也搜索不到，则便至少表明这些粒子具有比理论预言值更高的质量下限，抑或就需修改理论模型；即使如此，也算得是一项进展。可见，困难终究不小；但 Einstein 所倡导之统一场论的壮美建树，毕竟是现代物理基本理论之深层研究的最高目标。所幸者，相对论、量子论及其诸多延拓体系，在 21 世纪将会显示愈益强大的应用能力；反过来，或可另辟蹊径，亦即为基本理论本身开发多样化的深入探讨和有效验证的途径和手段。因此，以后可能会掀起大统一、超统一研究的新热潮；这研究热潮将会带来基本理论体系的卓越创新和巨大发展，而无数新奇应用更会出乎意料、出神入化。所以说，相对论和量子论还会再创新的百年辉煌，新世纪物理学必定精彩异常、前程似锦。

二、科学家“称”出了三个最轻夸克的质量

2010 年 05 月 05 日 09:20 来源：科技日报

据美国物理学家组织网 5 月 4 日(北京时间)报道，美国科学家以超细微的误差幅度成功计算出了三个最轻的夸克——上夸克、下夸克和奇异夸克的质量。此项研究将夸克质量的误差幅度从 10—20 倍降低到了百分之几。相关研究发表在最新一期《物理评论快报》上。有科学家认为，所有的亚原子粒子都由三个夸克组成，夸克是组成质子和中子的基本粒子。质子由两个上夸克和一个下夸克组成；中子由两个下夸克和一个上夸克组成。夸克本身“体态轻盈”，非常难以“捉摸”。100 多年前，科学家就知道了质子的质量，但是要获取质子内的单个夸克的质量一直是困扰科学界的一个难题。夸克存在于与其他夸克、反夸克以及胶子(一种理论上假设的无质量的粒子)等粒子组成的“夸克汤”中，经由强作用力混杂在一起，由于它们之间的作用力太过强大，以至于科学家很难将夸克隔离开来单独研究。美国康奈尔大学文理学院院长彼得·勒佩吉解释说，为了确定夸克的质量，首先必须充分了解它们之间的强作用力。研究人员利用大型超级计算机来解决这个问题。超级计算机使科学家得以模拟质子等基本粒子中的夸克和胶子的“言行举止”。勒佩吉表示，夸克之间的质量差异大得惊人。最轻的是上夸克，其质量只有一个质子的 1/470；最重的是顶夸克，其质量是质子的 180 倍，与整个铅原子的质量差不多。勒佩吉研究团队最终成功计算出了三个最轻的也因而最难捉摸的夸克的质量。上夸克的质量约为 2 兆电子伏(MeV，能量单位)；下夸克的质量约为 4.8 兆电子伏；奇异夸克的质量约为 92 兆电子伏。勒佩吉称，它们的质量为什么会有如此大的差别，目前依然是理论物理学面临的巨大难题之一。事实上，连夸克为什么有质量也还是个未解之谜，或许欧洲大型强子对撞机(LHC)可以告诉人们答案。(刘霞)

一张五角钱的纸钞等同于十个五分钱的硬币。但它仅仅是一算式呢，还是你真有可能把这张纸钞撕成十份，并且发现每一份都是一个实实在在的五分钱硬币？这类类比夸克和物质结构的难题不仅阿西莫夫答不上来，理论物理学家们也莫衷一是。夸克理论做出的几乎所有预言都已被实验测量证实，仅此一点就足以让我们对勒佩吉团队的成就刮目。

3、现代物理学对于夸克理论的探究

近 20 年来不少物理实验说明基本粒子有其内在结构，基本粒子之间存在着某种内在联系。人们曾先后提出多种关于重子和介子内部结构的模型。最早提出强子结构模型的是 1949 年的费米-杨振宁模型，1956 年日本的坂田模型。这些模型能够说明一些情况，但是在系统地解释重子的性质方面遇到了困难。到 1964 年盖尔曼等人分析了重子和介子的对称性质，在坂田模型的基础上进一步提出了“夸克模型”。按照夸克模型，强子是由夸克组成的，重子由 3 个夸克组成，介子由一个夸克和一个反夸克组成。夸克的重子数 B、电荷 Q

和超荷 Y 都是分数。按照盖尔曼的想法,所有已知的强子都由三种更为基本的“积木块”堆积而成,即三种类型的夸克 (u 、 d 、 s) 和反夸克 (\bar{u} 、 \bar{d} 、 \bar{S})。这一模型能很好地解释重子和介子的性质,预言 Ω 超子的存在。1974 年发现 J/ψ 粒子,需要引入第四种粲夸克 c ; 1978 年发现 γ 粒子,需要引入第五种底夸克 b 。盖尔曼认为:所有的强子都是由这三种具有一定对称性的夸克及它们的反粒子所组成。它们分别称为“上夸克(u)”、“下夸克(d)”和“奇异夸克(s)”。与坂田模型一致的是,新模型也使用三种“积木块”,但是这里的“积木块”是一种理论上的推测,属于更深层次的基础粒子,而在坂田模型中,身为“积木块”的 p 、 n 、 L 却同时又是“复合粒子”,它们三个同时扮演着两种角色。但利用夸克模型,能够较好地说明许多现象,而且还预言了一些未知粒子,比如夸克模型预言存在着一个新的粒子 W^- , 以后的实验果真找到了这个粒子。

早在 1970 年格拉肖等人就提出第 4 种夸克-粲夸克 (c)。1974 年,美籍华裔物理学家丁肇中领导的一个小组和斯坦福加速器中心的 $B \cdot$ 里克特领导的另一个小组同时独立地发现一个新的粒子 J/ψ , 这个粒子的质量数很大,寿命很长。即丁肇中和里克特发现了第四个夸克——粲夸克(c)。 J/ψ 粒子是由粲夸克和反粲夸克组成的。1977 年莱德曼发现一种比质子重 10 倍的中性介子— r 粒子。新粒子正是由第 5 种夸克-底夸克 (b) 所组成。为了形象和方便,人们又从量子规范理论来描述,把 u 、 d 、 s 、 c 、 b 称为 5 种味夸克,每种味又分红、黄、蓝三“色”。“色”和“味”都代表不同的量子态。这样,正、反夸克的数目就成了 30 种。已知的几百种强子,都是由这五种夸克构成的。比如,质子是由两个上夸克加一个下夸克组成。从对称性的观点看,似乎存在第六个夸克,虽然当时尚未发现,但已取名为“顶夸克(t)”,使所提出的夸克已有 6 种 18 类,它们的性质也显示了类似化学元素周期表的排列,这很可能表示夸克还有内部结构。可是,夸克(或层子)曾长时间没有获得实验上的支持,出现了所谓“夸克禁闭”现象。70 年代,丁肇中等科学家在实验室发现了胶子存在的迹象,为夸克层次的存在提供了间接证明。1994 年美国费米国家实验室宣布,找到顶夸克存在的证据。找到的“顶夸克”约 174GeV,质量是质子的 180 多倍。 c 、 b 、 t 3 种夸克的质量很大,称为重夸克,原有的夸克 u 、 d 、 s 则称为轻夸克。

为了说明夸克的自旋统计问题,假设夸克具有色自由度,每一种(味)夸克可处于 3 种不同的色状态。1973 年建立描述夸克之间强相互作用的量子色动力学理论,夸克之间的作用力是由于带有色荷的夸克相互交换胶子而产生的。胶子静质量为零,自旋为 1,且带有色荷,胶子之间也有强作用。但实验上未观察到自由状态夸克,也未观察到自由胶子,一种可能的解释是夸克很重,目前所达到的能区还不足以把它们从强子中打出来;另一种可能的解释是认为夸克由于某种原因被囚禁在强子内部,而不可能以自由状态存在,这就是所谓夸克禁闭。解释夸克禁闭的一种看法是色相互作用犹如弦,近距离时相互作用弱,远距离时相互作用增强;夸克分离越远,弦的能量越大;而弦的断裂则产生一对新的相反色荷,也就是说以很高能量量子轰击的结果,要么是未能将强子击开,要么产生出一些强子,因而夸克永远禁闭在强子内部。

粒子物理学使人类的认识已深入到亚原子(或亚原子核)阶段,了解到物质构成的单元已小到夸克和轻子,其尺度都小于 10^{-17} 次方 cm , 认识的尺度缩小到原子的十亿分之一。但因在夸克模型中,所有强子都是由夸克和它们的反粒子组成,夸克模型解释粒子静态性质取得很大成功,而对解释粒子的动态性质上则未涉及。因此,与夸克理论的提出差不多同时,1965 年我国由中科院原子能所、数学所、中国科技大学近代物理系和北京大学物理系等单位的朱洪元、胡宁、何祚庥、戴元本等共 39 人组成的北京基本粒子理论组,提出层子模型,来研究强子结构的粒子的动态性质,并于 1966 年夏在北京召开的国际物理讨论会上以北京基本粒子物理组的名义提出了“强子结构模型理论”。层子模型的主要思想是:(1)物质结构有无限的层次,在粒子层次上的构成组分是层子,但层子并不是物质的始元,它只不过是物质结构无穷层次中的一个层次;(2)要解释强子的动态性质,只考虑对称性是不够的,必须涉及强子的内部结构,在最终建立起层子之间的动力学理论之前,可以通过表达层子在强子内部运动的波函数来着手研究;(3)由于强子是层子和反层子的束缚态,不能当做点粒子处理。因此要发展计算含束缚态的矩阵元的方法,自恰地处理束缚态的内部运动波函数;(4)层子在强子内部的运动,可以作为非相对论近似,但强子作为一个整体运动,必须具有相对论协变的性质;(5)不同的强子的动态性质,通过对称性及内部运动波函数有着一定的关系。

“北京基本粒子理论组”从结构的角来研究重子和介子的衰变和转化现象,认为重子、介子都是由更为基本的层子、反层子所组成,重子、介子的相互作用归结为它们内部的层子的相互作用,还提出组成重子、介子的层子的波函数,并假定量子场论对层子也适用。这一模型对重子、介子的各种相互作用,特别对弱相互作用和电磁相互作用的衰变,进行了大量的计算,提出了一些预言,其中绝大部分计算和预言同当时实验结果相吻合,同样引起了国际物理学界的关注。1972~1975 年间,中科院数学所戴元本等人对层子模型的强相互作用过程又进行了一系列研究;中科院原子能所洗鼎昌发展了用解析延拓和选择特殊坐标的方法,解决

从欧氏空间延拓到闵氏空间的问题，从而利用贝特-沙波方程研究介子的波函数及其电磁形状因子；中科院原子能所何祚庥、张肇西和谢怡成应用层子模型研究了深度非弹性散射。

4、夸克禁闭问题的由来

科学界经过近百年研究实验，已经确认：所有重子衰变的最终产物除质子外是电子、中微子和光子；所有介子和轻子衰变最终产物也是电子、中微子和光子；中微子伴随着弱相互作用，电子和光子在一定条件下可以互相转化。在所有粒子衰变整个过程中，其能量、动量、角动量、电荷数、重子数均完全守恒，而且是朝着能量降低方向自发进行的。在人类科学实验目前所能达到的最高能量的粒子碰撞反应中，单位电荷始终是最基本的，能自由分离出来，稳定存在的带电单位。在能粒子加速器中靠粒子碰撞反应寻找比子体能量还大得多，带分数电荷的“夸克”作为最基本粒子的想法是不明智的。经过几十年的努力，最终只找到一些少得可怜的间接证据，至今仍无法将其分离出来，并使之稳定存在。

按群论的语言讲，电磁场是 $U(1)$ 规范场，是一种阿贝尔规范场，群元可以交换，而胶子场是 $SU(3)$ 规范场，是一种非阿贝尔规范场，群元不可以交换。一般来说，“非”总比“不非”要麻烦得多。电荷只有一种，而色荷却有三种（红、黄、蓝）； $U(1)$ 群的生成元只有一个，就是 1，所以光子只有一种，而 $SU(3)$ 群有八个生成元，一个生成元对应一种胶子，所以胶子共有八种；光子不带电荷，而胶子场由于是非阿贝尔规范场，场方程具有非线性项，体现了胶子的自相互作用，因而胶子也带色荷，夸克发射带色的胶子，自身改变颜色。所以胶子场比电磁场复杂，因而出现了许多不同寻常的现象和性质，其中最重要的恐怕要数“渐近自由”和“夸克幽禁”了。

现代物理学认为：由于弱相互作用的媒介子质量太大，夸克有幽禁，所以弱相互作用和强相互作用只在微观世界呈现。不过宏观上的现象也有，原子弹爆炸，就是宏观的强相互作用现象。在强相互作用中，红夸克与红夸克也是排斥的，所以在介子中，只有红夸克与反红夸克才束缚在一起。强作用力存在于夸克之间，它是原子核内起维系作用的力量，它将质子和中子中的夸克束缚在一起，并将原子中的质子和中子束缚在一起。夸克之间越接近，强作用力越弱。当夸克之间非常接近时，强作用力是如此之弱，以至于它们完全可以作为自由粒子活动。这种现象叫作“渐近自由”，即渐近不缚性。与此相反，当夸克之间的距离越大时，强作用力就越强。有人认为夸克之间越接近，强作用力越弱，是由于进入凝聚态，色电、色磁耦合削弱了强相互作用之故！此时也不是单个夸克的自由活动，而是无色的夸克对或环的自由活动，而且适用玻色统计。色胶子和夸克在极度接近时（此时它们具有极高的能量和色温）发生色电、色磁耦合，表现为吸引，强相互作用极大地削弱！而将色电、色磁耦合的色胶子和夸克分离需要极大的能量，这就是“夸克禁闭”和电子极难粉碎，无法观测到单独的夸克和胶子。没有达到极度接近时（例如大于 11 倍普朗克尺度—— $11L_{PL}$ ），要想使粒子能进入 $11L_{PL}$ 尺度附近或之内，就要给粒子以足够的动能（使之具有极高的能量和色温），这就显示着越接近，强相互作用为强斥力；而更远距离，核力又显示着微弱的吸引力（弱相互作用）美国的三位物理学家因为研究这个问题荣获 2004 年诺贝尔物理学奖金。笔者认为此时应当是电磁力与强相互作用的合力。《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：73。自由夸克能否直接在实验中被发现？

“渐近自由”说的是两个夸克之间距离很小时，耦合常数也会变得很小，以致夸克可以看成是近自由的。耦合常数变小是由于真空的反色屏蔽效应引起的。真空中的夸克会使真空极化（即它使真空带上颜色），夸克与周围真空的相互作用导致由真空极化产生的虚胶子和正反虚夸克的极化分布，最终效果使夸克色荷变大，这称为色的反屏蔽效应（对于电荷，刚好相反，由于真空极化导致电荷吸引反号电荷的虚粒子，所以总电荷减少，这称为电的屏蔽效应。与它作比较，色的反屏蔽效应这一术语由此而来）。由于这一效应，在离夸克较小距离上看来，大距离的夸克比它带的色荷多，所以小距离上强作用相对而言变弱了，这就是所谓“渐近自由”。渐近自由是量子色动力学的一项重要成果，它使得高能色动力学可以用微扰理论计算。但是在低能情形或者说大距离情形，由于耦合常数变强及存在幽禁力，计算变得困难。量子色动力学可以预言小距离的“渐近自由”，但是对大距离的“夸克幽禁”，量子色动力学就无法预言了，这是量子色动力学的困难。

“夸克幽禁”说的是夸克无法从质子中逃逸出去。红黄蓝三色夸克组成无色态，强子都是无色的。一旦夸克可以从质子或强子中跑出来，自然界就会存在带色的粒子；带色的粒子引起真空的进一步极化，色荷之间的幽禁势是很大的，整个真空都带上了颜色，能量很高，导致真空爆炸。实际这些都没有发生，暗示自然界不存在游离的夸克，那么我们会问：夸克到底是一个数学技巧还是一个物理实在？研究这一问题，是对夸克模型的考验。不过，现在因为已有了夸克存在的间接证据，物理学家相信夸克是应该的确存在的。夸克为什么要被幽禁起来，物理学家已提出了几个理论。有人提出口袋模型，如认为质子是一只受真空挤压的口袋，可将夸克束缚住而逃不出来；有人提出了弦理论，认为夸克绑在弦的两端，而这条弦却难以断裂，即使一旦断

裂，断裂处生成一对正反夸克，原来的强子碎裂为两个新的强子，从而自由的夸克从来不可能出现；也有人说，既然胶子带色荷，胶子之间也会有色磁吸引力，从而色力线被拉紧呈平行状，就如一个带电电容器两板因为有平行的电力线因而彼此有吸引一样，夸克之间也有类似这种吸引力；格点规范理论的面积定律证明夸克之间有线性禁闭势存在；90年代中期塞伯和威滕用他们发展的四维空间量子场论证明磁单极凝聚也会导致夸克幽禁。关于夸克幽禁的理论有许多，正好说明了我们对强力的了解还不够充分。

按照洗鼎昌院士的说法，夸克模型是在当时不知道在强子内部是否有新的力学规律在起作用的情况下，朱洪元院士考虑到在当时已知的最高能量下，物理实验结果表明量子数、本征值、几率波这些概念仍然有效，猜想强子内部的小尺度范围中，用波函数描述状态、用算符描述物理量的基本概念和方法仍然有效，于是朱洪元院士才提出引入强子内部的结构波函数来描述强子内部结构的状态的。朱洪元院士认为，在引入波函数以描述运动着的强子时，应当区分描述内部运动和整体运动的两个概念；通过对已知实验数据的分析，可提出层子在强子内部的运动速度远小于光速，是非相对论性的；但强子的整体运动，可以是相对论性的，这样，可以在强子的静止坐标系中定出非相对论性的结构波函数，然后通过洛伦兹变换得到作自由运动的强子的波函数。目前科学界提出了夸克理论，指出存在且已验证存在六种夸克，对于每一种夸克，都存在着相应的反夸克，反夸克的质量、自旋同于夸克，而电荷、奇异数和重子数的数值相同、符号相反，在强相互作用中奇异数守恒。夸克带有分数 electric charge，夸克之间的相互作用随着夸克之间的距离增加而增加，以致巨大的撞击能量未分离夸克，而产生两个或三个夸克组成的强子，夸克之间存在着强相互作用，靠这种相互作用，每一个介子由一个夸克和一个反夸克组成，每一个反重子由三个反夸克组成，每一个反重子由三个反夸克组成。这个理论又称为夸克的禁闭理论。按照这个理论单个夸克是不能从强子中分离出来的。李政道认为：“现在所知道的基本粒子有6种轻子、6种夸克，但是夸克不能单独存在，是看不见的，这很奇怪。”，把这个问题列为21世纪科技界面临的四个问题之一。1994年美国物理学家 Seiberg 和 Witten 的一系列工作在严格求解量子场论方面取得了突破，第一次从理论上证明了磁单极子的凝聚给出夸克禁闭。

所谓夸克的概念只是量子论的推论出的某个结论！在实验中并没有找到自由的夸克又怎么可以确定自由夸克的静质量呢？夸克模型本质上是建立在变种的量子力学的基础上的。几十年来的实验只是提供了一些非常间接的证据来证明夸克的存在并没有发现自由的夸克存在！而且用夸克处理核物理问题困难重重！更重要的是夸克的概念违背了世界简单和谐统一的美的要求！世界真的有那么多种类的夸克？今天夸克的概念就如同二十世纪初的以太概念一样严重的阻碍和束缚着我们对世界形成统一认识！

5、现代物理学对于量子化的困惑

美籍华人著名的物理学家、诺贝尔奖金获得者李政道把“一些物理现象理论上对称，但实验结果不对称”、“暗物质问题、暗能量问题”、“类星体的发能远远超过核能，每个类星体的能量竟然是太阳能量的 10^{15} 倍”、“夸克禁闭”称为是21世纪科技界所面临的四大难题。日本著名理论物理学家益川敏英说，理论物理学的主要任务，是阐述应用物理学中发现的新现象及其产生的原因、所需具备的条件等。但在很多证明过程中，由于条件不充分，不容易解释现象背后产生的问题，只有经过漫长等待之后，才会发现最终的结果。

费曼断言“没有人理解量子理论”。量子：泛指这样体系，这个体系在运动、变化和相互作用的过程中，保持其体系的整体结构、大小、和物理性质不变的整体总称为量子。在薛定谔方程中，只有原子中电子具有某些离散的能量值时，方程的解才有意义。由薛定谔方程能得到 Bohr 氢原子理论。电子与质子的电磁质量相等，当亚核粒子带电时，它所带的 electric charge 总是正好等于一个电子或一个质子的 electric charge。卢瑟福认为：物理学家们陷入了矩阵力学和波动力学的迷雾，陷入了数学运算之中。他们可以保证结论的正确性，但同时却不理解这些结论后面的物理现实。

普朗克在1920年6月2日为答谢诺贝尔奖的著名演讲中说：“对于一个不愿违背事实的评论家来说，除了肯定作用量子之外，没有别的选择。在各种各样的过程中，对于作用量子都得到了相同的结果，即它的量值是 6.52×10^{-34} 焦耳秒。这是一个名副其实的物理学普适常数。说起来也是一个巧合，正当广义相对论概念刚刚建立并导致了传奇般结果时，自然界却在最无希望的地方出现了一个‘绝对’，即出现了一个不变的单位。事实上，有了这个不变的单位，包含在时空元中的作用量子就可以用一个完全确定的非任意数来表示，因而也就抛弃了它(到现在为止)的相对性。”

提出能级跃迁理论的玻尔讲到：“谁不对量子力学困惑，谁就不懂量子力学”，提出波函数的薛定谔坚决反对状态共存，海森伯认为量子力学不是对自然的真实描述，波恩将电子的干涉和衍射解释为发现粒子的概率，狄拉克认为量子力学的形式不是最终的形式。可见，历史上量子力学的创立者和对量子力学作出过贡献的人们没有一个人对量子力学持肯定态度，对于量子力学的形式只是一种无奈。从这些物理大师们的态度上都表明一切有理性的人们都坚持物理的实在性，他们都没有把量子力学当作真理，Einstein 还说：“我坚定地

相信，有人会找到一种比我的命运所能找到的一种更加符合实在论的方法，说得妥当点儿，是一种明确的基础”。对于由量子力学演绎出来的被当作最有希望的前沿理论“超弦”，诺贝尔奖获得者温伯格讲到：“所谓超弦（superstring）理论，最终提供了一个数学框架。它用量子力学的术语描述引力，就像描述其它场一样，但是必须承认的是，所有这些辉煌的纯物理，还不能用精确的数字预言任何新的东西，更谈不上实验的验证，因而也不能让我们确信我们走在正确的路上”（《亚原子粒子的发现》[美]斯蒂芬·温伯格 杨建邺 肖明 译 P209）。

在自然哲学观上，量子论带给了我们前所未有的冲击和震动，甚至改变了整个物理世界的基本思想。它的观念是如此地革命，乃至最不保守的科学家都在潜意识里对它怀有深深的惧意。现代文明的繁盛是理性的胜利，而量子论无疑是理性的最高成就之一。但是它被赋予的力量太过强大，以致有史以来第一次，我们的理性在胜利中同时埋下了能够毁灭它自身的种子。以致量子论的奠基人之一玻尔（Niels Bohr）都要说：“如果谁不为量子论而感到困惑，那他就没有理解量子论。”

“Einstein 的脑力实验正是歌德所明确定义的，打开科学大门的钥匙：‘科学上的任何成就取决于对事物现象本质的直觉，而具有这种直觉会有无限收获的。’”【1】怀特海说过：“一个质子甚至一个电子，都可能是这种（振动的）原始体互相叠加的组合。”恩格斯讲：“在物理学中，我们也不得不承认有某种——对物理学的考察来说——最小的粒子；它们的排列制约着物体的形态和内聚力，它们的振动表现为热等等。”玻尔认为：如果谁不为量子论而感到困惑，那他就没有理解量子论。

北京师范大学物理系教授赵峥曾经讲过：“人类探索自然的过程，一般都是这样进行的。开创性的发现大都是在不够成熟的条件下取得的。对当代自然科学前沿有所了解的哲学家，几乎是凤毛麟角。这一现象肯定会影响哲学的发展，当然现代科学技术发展迅猛，要求每一位哲学家了解其中的精髓也是勉为其难的事情。这个问题需要解决，否则哲学不可能健康发展。著名的量子论专家也说：有人告诉我他懂得量子论。他错了，我敢说世界上还没有一个人真正懂得了量子论。”

杨振宁院士认为，20 世纪物理学真正辉煌的基调是三条主线，即三个主旋律：一个是量子化，一个是对称性，一个是相位因子；这三条到 21 世纪还要继续有决定性的影响。中国科学院院士、两弹元勋于渌先生，最近在浙江大学召开的 2009 杭州量子物质研讨会上说：“科学技术的革新，很多都来自物理方面的基础研究，而物理学研究的核心领域之一就是量子物质。”电子的电磁质量问题，利用经典电动力学的讨论在 100 年来有很多文章，但电子的电磁质量问题不适用经典电动力学来讨论，应该用量子场论来讨论，即使是量子场论，也只能用重整化来讨论，也不是很令人满意。这是一个古老而又焕发青春的问题。

我们说“一个粒子惯性质量为 m ”，是指在无穷远处观察该粒子，粒子携带的质量加上它的场能之和才是它的惯性质量 m 。电磁质量应该是电量分布的函数，电量分布也决定电磁场分布，所以电磁质量应该与电磁场分布有关。运动电子，按照相对论，会变成椭球体，电量分布发生变化，其电场分布也不再是球状，所以电磁质量与它的运动速度有关。电磁质量也是会变化的。假如一个箱子里面有电磁驻波，那么箱子里面有电磁质量。当箱子运动起来后，电磁质量会增加。运动的电荷与静止的电荷其周围电磁场分布不同，电磁质量也就不同。所以电子的电磁质量是与运动状态有关的。

尽管电子电荷值不变，但是运动的电荷与静止的电荷其周围电磁场分布不同，电磁质量也就不同。所以电子的电磁质量是与运动状态有关的。电磁质量并非由电荷大小唯一决定，而是由电磁场分布决定，电磁场的分布也可能含有（负）的结合能，所以也会发生“系统总质量不等于各部分质量之和”。

从电荷的量子化、Planck 的黑体辐射理论到 Einstein 的光电效应、Bohr 量子化轨道理论，反映了对电磁质量的数值在实数集上量子分布的认识过程，但是始终没有指明引力质量与电磁质量的差别。

美国物理学家席夫在假设入射光为单色线偏振光射到原子的 K 层电子上，得出电子数与入射光频率的定量关系式，其结论是：“在光强 P 一定时，光电子数 N 正比于 $V^{-9/2}$ ，即随着频率的增加光电子数迅速减少。”也就是说“并不是入射光的频率越高，光电效应越明显”。目前其它相关试验资料证明：频率过高，有些物体的光电效应反而会减弱直至停止。这种事实说明 Einstein 光电效应方程存在缺陷。**笔者认为这一现象符合电磁质量的量子分布，不在某个能级范围内，电磁质量不能吸收。**叶荣科先生也认为根据金属原子吸收光谱特性，每一种金属产生光电效应所对应的入射光频率不是连续的，是选择性的。如果入射光的频率不符合金属原子吸收光谱中所对应的频率，则无论入射光的频率多高均不能产生光电效应。

参考文献：

【1】《Einstein 传》49 页【美】A·弗尔辛 著 薛春志 遥遥 译 时代文艺出版社出版，1998 年 10 月第 1 版

6、电磁质量量子化认识过程简要回顾

物理学的发展与人类社会的发展背景密切相关，也同样充满着新与旧，正确与错误甚至是水火不容的斗争。物理理论的逐步完善符合个别到一般，一般到个别，实验——认识——再实验——再认识的规律。

1、电荷的量子化

关于电荷不是无限可分的，而是以离散的单位存在的第一个实验证据是法拉第得到的。法拉第于 1833 年发现电解定律，即当电流通过导电的化合物溶液时，在一定时间内电极上释放出来的物质质量，与电量成正比、与物质的化学价成反比。对此法拉第认为，在电解过程中导电溶液的原子或原子团都携带一定的电荷，带电的原子或原子团称为离子；电解时，正离子朝阴极运动，负离子朝阳极运动；在电极上，正负离子转变成中性原子（或根）被释放出来，或参与第二次反应。

电解定律暗示存在电荷的基本单位，正如亥姆霍兹所指出的那样：“如果我们假说化学元素原子是存在的，就不得不得出这样的一个推理，电荷无论正负都是由基本电荷组成的，基本电荷的行为类似于电的原子”。然而，在法拉第试验的年代，电荷以离散的单元而存在的概念，似乎与来自其他的电学现象（如金属导电实验中显示出电流的连续性）不完全符合。因此，法拉第等都只是勉强地接受这个概念。事实上，电荷的“自然单位”存在的假设，只是到 1874 年才由斯托里提出。

对电荷本质具有决定意义的是关于气体导电的研究。随着“盖斯勒真空管”的发明，于 1859 年开始真空放电研究，对于阴极管壁上产生的辉光，认为是阴极上所产生的某种射线射到玻璃上引起的，称之为“阴极射线”。对于“阴极射线”的本质，存在“带负电的粒子流”和“电磁波”两种观点，后来的实验不断否定“电磁波”的看法，特别是伦琴于 1895 年发现了 X 射线，为揭示阴极射线的粒子性提供了一定的证据。

对电子发现作出重大贡献的是英国物理学家 J·J·汤姆孙。他首先通过实验发现了阴极射线不仅可被磁场偏转，也能被电场偏转，从而断定这是一种带负电的粒子；其次，他测定了这种荷电粒子的荷质比，其值比氢离子荷质比大 1000 多倍；他还发现，阴极射线的荷质比与放电管中的气体和电极材料均无关。由此，汤姆孙于 1897 年 4 月在英国皇家学院的一次讨论会上宣布：阴极射线是一种带负电的粒子。后来，人们普遍采用斯托里对阴极射线的称呼“电子”。

在确定电子的荷质比之后，汤姆孙和他的学生试图直接精确测量电子的电荷，结果却失败了。1909 年，美国物理学家密立根通过油滴实验，精确测定了电子的电荷。

1913 年 R.A. 密立根从实验中测定带电体的电荷是电子电荷的整数倍，即 $q=ne$, $n=1,2,3,\dots$ 。电荷的这种只能取离散的、不连续的量值的性质叫做电荷的量子化。电子的电荷绝对值 e 为元电荷，或称电荷的量子。 $e \approx 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 。

2、电磁辐射的量子化

引力质量在实数集上连续分布造成 space-time 弯曲，电磁质量在实数集上量子分布使空间结构表现为不同的能级。电磁质量的速度只有 0 与光速两种状态，带电体在 electric field 中加速运动的本质是电磁质量的能级发生变化，这样可以解释原子核外的电子一般不辐射 electromagnetic field，只有能级降低时才辐射 electromagnetic field，能级增加时吸收 electromagnetic field，例如光电效应。电子从高能级跃迁至低能级，释放电磁质量（光子），从而保持电磁质量不变。在同一能级内作加速运动的电子，很可能处在电磁“辐射”与“吸收”的动平衡之中。虽然在总体上并没有表现出电磁辐射的存在，但是并不表明根本没有电磁辐射与吸收的过程存在。现代物理学认为经典电动力学中点电荷模型成立的条件是：考察电荷运动的尺度远大于电荷本身的尺度。而在原子尺度内，电子已不能看成点电荷了，所以不能用经典模型，而必须用场分布模型。现在的量子理论主要处理场的本征态，所以是一个代数问题，因此流行的观点认为微观过程是离散化的（量子化）。我的观点是：物质是 4 维存在，其性质只有用分布场量来描述才是完整的。只是因为本征态之间的跃迁过程很短，而本征态只涉及代数问题，比连续方程容易求解，所以关于微观粒子主要发展了量子理论。按照经典电磁辐射理论，如果粒子的加速度与运动速度平行，比如电子在电场中的运动，辐射功率为：

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q^2 a^{*2}}{3c^3 (1-V^{*2}/c^2)^3}$$

，如果加速度与速度垂直，比如电子在磁场中的运动，辐射功率为：

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q^2 a^{*2}}{3c^3 (1-V^{*2}/c^2)^2}$$

，式中 V^* 是推迟速度， a^* 是推迟加速度。然而实验上只发现带电粒子做直线周期性振荡运动时，以及在与介质碰撞的减速运动时会产生辐射，并没有发现带电粒子在均匀电场中做匀加速运动时也会产生辐射。

Einstein认为：“凭这一小点既不保险而又互相矛盾的理论基础，居然足以使玻尔这样一位具有独特直觉和洞察力的人发现了光谱线的主要规律，……，这对我来说真是一个奇迹。”

量子场论的发展是从电磁场的量子化开始的，它是由狄拉克在1927年首先实现的。他把电磁场分解成无穷多种振动方式的迭加。然后把每一种振动方式仿照海森堡的做法进行量子化，使其能量取一系列分立的数值。频率为 ω 的振动方式受到激发，跳到高一个能级，就相应于产生了一个频率为 ω 的光子。激发消失时，该振动方式跳回到原来的能级意味着一个光子的湮灭。1928年约当和维格纳(E.Wigner)引入了电子场的概念，认为狄拉克提出的电子的相对论量子力学方程，实际上是电子场的运动方程。他们仿照电磁场量子化的方式，建立起了电子场的量子化理论。电子场的激发相应于电子的产生、电子场激发的消失相应于电子的湮灭。电磁场是矢量场，由它经过量子化得到的光子是自旋为1的粒子。而电子场是旋量场，量子化后得到的电子是自旋为1/2的粒子。这两种粒子遵从很不相同的统计物理规律。光子是玻色子，而电子是费米子。此外，电子场的量子化还自然地导致两种粒子出现，即除了电子之外，还有它的反粒子-正电子。光子的反粒子就是它自己。1929年，海森堡和泡利进一步研究了电子与电磁场之间相互作用的量子理论。对应经典电动力学，通常人们把这种理论称之为量子电动力学或QED。在QED中，电子以电流的形式与电磁场相耦合。电子之间的相互作用过程都可以看成电流之间通过电磁场为媒介发生耦合。

《量子力学》认为两个电荷之间通过交换“虚光子”作用的，即加速运动的电荷向外辐射出“虚光子”（能量为零的光子）——其实根本不辐射任何粒子。这也证明，加速运动的电荷不辐射能量。《电动力学》当然知道其中的困难，并把这称为“自身的局限性”，但又无法抛弃这个观点（即加速运动的电荷向外发射能量），这是因为，如果抛弃这个观点的话，它将面临一个更大的困难——电磁波是如何产生的呢！在“量动”下，“地球观察者认为电子相对于自己有加速运动”并不一定会得出电子一定就发射“光子”的结论，他还要考察这个电子联系的场函数的变化。比喻在量动中，用“虚光子”概念，推导出两个电子的散射公式。其中虽有“电动”概念下的“加速运动”，但却并没有“实光子”的地位，但也和实验符合的很好。

电子的动量仅指引力质量的动量，此时电磁质量无动量，引力质量的速度为0；因为电磁质量在度量空间中运动，它的能级没有变化，所以一个系统的总电磁质量不因带电体的运动状态改变，电磁质量不满足Lorentz transformation，电磁质量的动量是数量，等于QC；electric field的动量是向量，是电磁质量动量在引力场中观察到的space-time量子形式。

理论物理发展到分析力学的阶段，最小作用量原理和欧拉-拉格朗日方程，哈密顿方程逐渐升起，经过普朗克写出狭义相对论力学的拉氏量，希尔伯特写出广义相对论的拉氏量后，渐渐占据了主要位置。其中，在欧拉-拉格朗日方程中，广义坐标，广义速度是关键变量。在哈密顿方程中，广义动量和广义坐标是关键变量。他们之间差别在一个拉朗德变换。量子场论的出发点，就是把波函数算符化，其中作为广义坐标和作为广义速度，构建拉氏密度。这个是波恩，约当等为了量子化电磁场而开始的。因为电磁场是连续变量。后来对狄拉克方程的研究，特别是兰姆位移的出现，导致了费米子场的量子化。总结发现，拉氏密度主要有以下形式：标量场拉氏密度，旋律场拉氏密度，矢量场的拉氏密度。这些分别是原有的克莱因-戈登方程，狄拉克方程，麦克斯韦方程反推而来的。最小作用量原理成为主流后，经过多年的发展，对如何构建拉氏密度，逐渐形成了一定的经验。

因为根据未来的统一场论，电力是引力的一个分量，那么电子就如普通质量一样，不应该发射电磁波。但是，这是仅对低级近似而言的。如在广义相对论中，质量粒子的加速，没有考虑它会发射引力波，但在高级效应中，加速的质量应该发射引力波。所以，在高级效应中，电荷在引力场中也应该辐射电磁波（当然要扣除那种导致能量不守恒的自我加速效应）。如果能量守恒把物体辐射的电磁波考虑在内，由于对于电磁力宇称是守恒的，电磁波向空间各个方向辐射是等可能，因此电磁波的动量应当为0。按照经典的电磁理论，带电体每秒辐射的能量为 $E=2q^2a^2/(3c) \times 10^{-1} \text{J.s}^{-1}$ ，根据狭义相对论经过时间t，带电体的质量为由质子组成的物体速度应当大，能量仍然不守恒。有人认为引力质量相等是有条件的，在某参照系中A,B两质点的静止质量相等，那么要A,B运动起来质量仍然相等，需要它们在参参照系中运动速率相等。如果由质子组成的物体B做加速运动，向空间辐射电磁波，那么它的运动能量将会减小，即它的速率会减小，向空间辐射的电磁波的能量来源于B的动能，或者如果有某种驱动B运动的机制，那么能量将进而来源于该机制，但总的能量是守恒的。那么这种机制又是什么呢？根据上面的理论，电磁质量在引力场中运动，它的能级没有变化，所以不辐射electromagnetic field。在地球的表面磁场近似认为均匀，原子在地磁场中运动但是并非连续辐射electromagnetic field，这一现象证明了上面观点的正确性。由此可知，在自由落体的升降机内，测不到静止electric charge的辐射，进一步验证了广义相对论的正确，因为这一问题是在众所周知的广义相对论正确与否的一个悬案。王仁川先生区分了space-time变量和space-time参数，常规可测量和广义量，在此基

础上圆满地解决了这个问题，电磁波的波印廷矢量为零，所以不辐射电磁波。【2】，因此它实际上验证了上面的理论的正确性。正如 Bohr 所讲的：“一切矛盾的消除，是由表述形式的数学一致性来保证的，而这种描述在它自己的范围内的详尽无遗性则由其对于任意可设的实验装置的适用性指示了出来。”

粉碎电磁波【3】是一种新的电磁波，是由无穷个源以无穷个相位在一个局部范围有限空间内发射的波，它与普通电磁波有完全不同的性质，波动性几乎已消失，而以粒子性为主。当粉碎电磁波谐振子能量小于导体内局部电子浓度起伏能量时，导体就不会接受粉碎电磁波谐振子能量，这样它穿透导体的能力几乎大了一百倍。同时它的传播是以粒子扩散方式进行的，因为粉碎电磁波是一团在空间自我碰撞的电磁波谐振子，使它具有一种保持在地球原来位置的特性，因此它具有与运动载体反方向运动的趋势。**粉碎电磁波的存在进一步验证了电磁质量的量子化分布的特性。**以波尔为首的哥本哈根新量子论学派是一群科学界最彻底的思想革命者，他们用科研实证否定了传统的自然哲学思想。实际上，量子力学规律的存在已经强烈暗示了存在一种与经典连续运动完全不同的新的运动形式，甚至是更基本的运动形式，它将为我们提供一幅单独的实在图景，并且它可以自然地表现出在经典框架内看来是互斥的性质。量子力学并没有阻止我们去寻找这种运动形式，阻止我们的只有我们自己，我们的偏见，我们的自傲，还有我们的无知。现在，量子运动及其规律的发现无疑用事实揭示了互补性思想的局限性，同时它让人们不得不痛苦地放弃经典连续运动的唯一性偏见，但这种痛苦是短暂的，它所给我们带来的对实在理解的快乐却是永久的。

参考文献：

- 【1】《Einstein 传》49 页【美】A·弗尔辛 著 薛春志 遥遥 译 时代文艺出版社出版，1998 年 10 月第 1 版。
- 【2】王仁川 著。《广义相对论引论》中国科学技术大学出版社 1996 年版。
- 【3】朱永强等，粉碎电磁波的性质和应用、物理学报，2001 年 5 月，P832—836。
- 【4】赵凯华、陈熙谋。电磁学（第二版）。北京：高等教育出版社，1985 年版。
- 【5】虞福春，郑春开。电动力学。北京：北京大学出版社，1992.10。
- 【6】戈鲁（Guru, B.S）赫兹若格鲁（Hiziroglu, H.R）著；周克定等译。电磁场与电磁波。北京：机械工业出版社，2000.8。

7、经典电动力学电磁波辐射理论的质疑

1881 年，J.J. Thomson 在《哲学杂志》上发表一篇论文《论电体运动产生的电和磁效应》，文中根据 Maxwell 的电磁理论，提出一个运动的带电物体的（引力）质量随速度的增加而减小，因而第一次提出了电磁质量的概念，但是这一现象与狭义相对论显然矛盾。假设在一个强引力场中有两个物体，一个不带电荷，另一个带有电荷，它们的引力质量相等（较小，它们之间的引力作用可以忽略），分别位于 A、B 两点，观察者处于强引力场中，两个物体同时由静止出发相向运动，它们所受的力相等。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，由带电的物体速度应当大，能量仍然不守恒。

现代物理学认为：同一能级内做加速运动是同一能级的电子交换能量，不能引起辐射电磁波；若跃迁（在加速且不在同一能级）加速运动的电荷能够辐射电磁波...。经典电动力学并非总是认为加速运动的电荷能够辐射电磁波，比如电荷在稳恒磁场中受洛伦兹力的作用作加速运动——即匀速圆周运动，此时带电粒子并不向外辐射电磁波。复旦大学博士生导师辜英求教授认为：**经典电动力学中点电荷模型成立的条件是：考察电荷运动的尺度远大于电荷本身的尺度。而在原子尺度内，电子已不能看成点电荷了，所以不能用经典模型，而必须用场分布模型。现在的量子理论主要处理场的本征态，所以带有很强的代数特点，因此流行的观点认为微观过程是离散化的（量子化）。物质是 4 维存在，其性质只有用分布场量来描述才是完整的。只是因为本征态之间的跃迁过程很短，而本征态只涉及代数问题，比连续方程容易求解，所以关于微观粒子主要发展了量子理论。但这是不彻底的，我们甚至不知道质子和电子是什么东西，也不知道 Pauli 不相容原理的原因是什么。在物理界大家信奉 Feynman 的‘少说话，多计算（Shut up and calculate）’的政策，只会计算，但没有人能解释清楚量子的本质。这多少有点自欺欺人，因为科学的最根本目的是理解大自然的工作原理，而不是搞一个‘知其然而不知其所以然’的理论。**

只有当我们改变磁场大小，电荷被迫作径向运动时才做功向外辐射电磁波。这个经典图像可以作为理解原子的核外电子为何只是在能级跃迁时才会发射或者吸收光子。等势面的环路积分为零，是保守力场，无能量损耗，无论是天体的开普勒运动，还是同能级的电子运动，都是这样。但电子在加速器中的回旋运动，是

非保守力场的运动，其加速获得的能量和电磁辐射（同步辐射光）的能量都来自于加速器。

定态的量子力学并不明确阐述电子是否在同一能级内做加速运动。其实不要任何其它假设，只需海森堡的一个假设——即测不准关系，也可以很好地诠释氢原子的稳定性。根据 $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$ ，稳定的氢原子能级没有跃迁时有稳定能级，表明 $\Delta E=0$ 。这就意味： $\Delta t=\infty$ 。氢原子的稳定性和时间变化无关。这些都说明了经典电动力学的局限性。在同一能级内作加速运动的电子，很可能处在电磁“辐射”与“吸收”的动平衡之中。虽然在总体上并没有表现出电磁辐射的存在。在加速器中运动的电子都要辐射，但辐射频率是连续的，有各种光子。在原子内只能辐射特定的光子。自由态的电子可以发射各种频率的光。从电磁辐射这方面来说，电子在做圆周运动的时候，有一个加速度：径向： $a=mv^2/r$ ，切向： $a=mdv/dt$ ，根据麦克斯韦的经典电磁理论，可知电子在运动中将辐射出电磁波，从而损失能量，这种能量的损失叫做辐射损失，当做匀速圆周运动时，辐射的功率等于： $p=4.22 \times 10^{-24} E^4/R$ ，上式中的 p 的单位为 eV/s ， E 是电子的能量，单位为 eV ， R 是轨道的半径，单位为米，电子回旋一周的能量损失为： $W=8.85e-32 E^4/R$ ，从上面可以看出，电子的辐射损耗随电子能量的增加而迅速增加。1947年4月16日，在美国的通用电气公司的实验室中，当科学家在调试一台能量为 70MeV 的电子同步加速器的时候，有一个技工从特制的透明真空室（为了方便观察七种装置）中某个反光镜看到了在水泥防护墙内的加速器发出强烈的“蓝色的弧光”。后来经过科学家的验证，发现这并不是气体的放电，而是有加速运动的电子所产生的。随后的研究表明这种辐射光的颜色可以随电子的能量不同而不同，例如，电子能量为 30 时为黄光，为 40 时为红光，再低就什么都看不到了，进入了红外区。因为这种光是在同步电子加速器上发现的，所以它就被命名为了“同步辐射光”。

在一个参照系中，如果电荷是静止的，那么电荷的电场是空间稳定的电场，不会发出辐射，如果电荷在某个参照系中有加速运动，那么电荷将会发出辐射。根据经典电动力学，自由真空中的电子，如果给它一个加速度，它也能发射电磁波，进一步造成自我加速，一边加速，一边产生电磁波，这里能量的确不守恒。这是经典电子论的缺陷。在一些书上有描述。在自由降落的升降机内，虽然相对地球升降机是一个非惯性系，但是根据广义相对论的“所有参照系等价”原理在升降机这个参照系中，电荷是静止的，那么电荷不会发出辐射，这是符合经典电动力学的。而按照狭义相对论，电场和磁场本质是统一的，因此在升降机参照系电荷具有稳定静电场，而在地球参照系中电荷具有辐射。传统的非惯性系电动力学无法证明，在自由落体的升降机内，测不到静止电荷的辐射，说明传统的非惯性系电动力学没有抓住电磁辐射的本质。有人认为在自由降落的升降机内不能观察到静止电荷的电磁辐射，与经典电动力学和广义相对论都不冲突——因为经典电动力学是处理平直空间中的电磁辐射过程的。实际上，静止处于引力场中的荷电粒子并非作测地线运动，严格地将，存在电磁辐射，只不过在弱引力场（如地球）中的表现可忽略而已。可是在原子内的同一能级内为何不存在电磁辐射？科学理论的唯一出路是，物理理论必须处处成立，包括宏观与微观（因为二者没有绝对的界限），这样才能满足对应原理，电磁理论才具有和谐性，著名的理论物理学家 Abdus Salam 认为：“我认为我们的理论只是引向内在和谐的阶梯、、、对内部和谐的信仰过去曾带来过好处。我相信，将来也会是这样。”Newton 认为：“科学的终极基础，就是关于大自然将在相同条件下，显示出相同效应的预期。”Bohr 认为：“科学解释的本意，就在于将比较复杂的现象解释为比较简单的现象”。

笔者认为，带电物体在引力场中加速运动并不辐射电磁波，因为引力质量与电磁质量之间没有作用力，所以上面的实验很容易解释，电荷在电磁场中运动只有所在位置的能级不同才辐射电磁波。经典电动力学的观点有一定的局限性，它只是能级不同的一个宏观效应。通过电磁质量的量子化，实际上已经把 Maxwell's equation 与 Bohr 的原子模型统一在一起，周期性变化的 electric field 辐射 electromagnetic field 的实质是电磁质量的能级发生变化。现代物理学的能级理论与经典电动力学加速运动的电荷辐射电磁波之间的矛盾并没有真正得到解决，经典电动力学的观点是错误的，电磁质量的量子分布才是问题的本质。

下面的理想实验用现代物理学理论无法解释，而用上面的理论很容易解释：假设一个带电体在引力与电磁力作用下匀速运动，按照 Maxwell 电磁理论带电体不会辐射 electromagnetic field，但是它的能级发生了变化，应当辐射 electromagnetic field；相反一个带有大量 electric charge 的带电体围绕另一个带有大量相反 electric charge 的带电体做圆周运动，由于能级没有变化，也不会辐射 electromagnetic field，这一现象可以运用实验证明。电磁感应与量子跃迁本质是一致的，一个带电体在匀强电场中垂直于电力线方向作加速运动，由于能级没有变化，也不会辐射电磁波。现代物理学认为同一能级上的电子不辐射电磁波是一种误解，兰姆位移就是电子在同一能级上加速的结果，笔者认为此时并非真正的同一能级，而是几个不同的能级，只是差别太小。

笔者认为，夸克的禁闭与电磁质量的数值在实数集上量子分布有关，当能量达到一定程度时，夸克也会分离出来，例如欧洲粒子物理实验室的科学家在让铅离子相撞时，短暂产生的温度超过太阳中心温度 10 万

倍，能量密度达到一般核物质的 20 倍。在这极不寻常的情况下，他们发现名叫夸克和胶子的最微小粒子在转瞬间飞快自由转动，然后，这些小粒子便粘在一起。他们相信这就是构成原子的基础物质。对应原理是正确的，但是 Bohr 对于原子辐射现象的解释是错误的，本质在于电磁质量的数值在实数集上量子分布，electromagnetic field 在发射与传播过程中以光子的形式。

作自由落体运动的带电物体，可以辐射电磁场的现象是一个熟知的事实，这个现象是可以实验观测的。笔者认为这是因为带电物体在电磁场中运动的结果，如果屏蔽掉地磁场，则不可能观察到。

8、磁单极子的存在性问题

《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：93。自然界手征不对称起源的关键是什么？69。磁单极是否存在？

关于科学美的层次和分类，哈奇森认为，科学家感知的美的对象分别处于抽象程度不断增加的三个层次中。位于最低层次上的对象是构成科学题材的那些实体和现象，例如星星在夜空中以高度的多样性中的一致性排列。第二个抽象层次上的对象是自然定律，它在现象中不能直接看到，但是在理论提出的模型或阐明中变为明显的对象。第三个是数学定理和科学理论本身。在这里，他实际上区分了现象美和理论美。杨振宁建议，存在三种美：现象之美，理论描述之美，理论结构之美。当然，像所有这一类讨论一样，它们之间没有截然明确的分界线，它们之间有重叠，还有一些美的发展，人们发现很难把它们归入哪一类。科学美主要体现在实验美、理论美和数学美三个方面。实验美包括实验现象之美、实验设计之美、实验方法之美、实验结果之美。理论美分为描述美、结构美和公式美。数学美包括理论的数学表达的质朴美、和谐美和涵盖美。引用一下迪昂对于结构美的描绘：秩序无论在那里统治，随之都带来美。理论不仅使它描述的物理学定律更容易把握、更方便、更有用，而且也更美。追随一个伟大的物理学理论行进，看看它宏伟地展现了它从初始假设出发的规则的演绎，看看它的推论描述了众多的实验定律直至最小的细节，人们不能不被这样的结构之美而陶醉，不能不敏锐地感到这样的人的心智的创造物是真正的艺术品。

电磁一元论的历史比较短，H.C. Oersted 先生在 1820 年 7 月 21 日发表了《关于磁针上电碰撞效应的实验》，1864 年 J.C. Maxwell 先生发表了《电磁场的动力学理论》，为确立电磁一元论的统治地位奠定了理论基础。1892 年 H.A. Lorentz 先生发表了《Maxwell 电磁学理论及其对运动物体的应用》一文，创立了电子论的基础。J.J. Thomson 先生在 1892 年测定了电子的荷质比，证实了 Lorentz 先生的电子假说。1927 年 G.E. Uhlenbeck 先生和 S.Goudsmit 先生发现了电子自旋，随即磁本质被诠释为电子自旋。1928 年 P.A.M. Dirac 先生创立了相对论性量子力学，同年 W.Heisenberg 先生以 1927 年 Heithler 先生和 London 先生提出的电子波交换作用能为出发点创建局域电子自发磁化理论模型。1936 年 F.Bloch 先生开创了自旋波理论。1951 年 C.Herring 等人提出了无规近似方法，创立了 RPA 理论。1973 年 T.Moriga 等提出了比 RPA 理论更进一步的自洽的重整化的 SCR 理论。至此，电磁一元论取得了绝对优势的统治地位。

电磁二元论要比电磁一元论源远流长。早在 1780 年 C.A. Coulomb 先生就断言电与磁是完全不同的实体，并在 1787 年的《论电和磁》的论文中发表了静磁作用和静电作用两个形式相同的数学定律。而电磁二元论关于磁荷模型历来存在两种针锋相对的观点。

第一种是磁单极子（北磁子或南磁子）模型，由 Coulomb 先生于 1787 年正式提出来。但是，由于这种模型不能解答为何一个条形磁棒不论碎成多少段，每一段均还能保持南北两极，便被他抛弃了，转而选择了磁偶极子模型。1843 年 W.E. Weber 先生发表《单极感应和磁流体存在假说》一文。1931 年 Dirac 先生提出了磁单极子的量子假说。1974 年以来发展起来的 M 理论，再次预言了磁单极子的存在性。1982 年 5 月，Blas Cabrera 先生宣布他用 20cm 直径的超导线圈和超导量子干涉仪组成的磁强针发现了一个可能的磁单极子的事例。这一事件促使 IBM 实验小组，神户大学实验小组，Tokyo, Bologna 和 Kamioka 等实验小组做了大量相同和相似的观测实验，最终一概否定了 Cabrera 等人的实验结果。

第二种则是磁偶极子（磁双极子或最小磁针）模型，也是由 Coulomb 先生于 1787 年提出。尤其是 1961 年 B.Deaver 和 W.Fairbank 这两位先生在纯锡管状样品的冻结磁通的实验中发现了量子化的磁通量——即磁通量子 Φ_0 。促使笔者认为 Φ_0 正是磁偶极子模型的基元，我们称它为“磁子”——即最小磁针或最小磁荷，并认为只有建立在这种最小磁偶极子基础上的一切相关的唯象的或量子的理论，才是正确的磁-电学理论。实验上确认的量子化的磁通量 Φ_0 的存在性，宣告了电磁二元论的真实性和正确性的同时，也宣判了磁单极子假想模型的死刑！

Coulomb 先生 1787 年提出的真空中宏观的电相互作用定律和磁相互作用定律分别为

(1)

(2)

对于任何一对各携带一个基本电荷 e 且相距一定距离的粒子，根据(1)式，令，我们可得电相互作用能为
(3)

类似地，对于任何一对各携带一个基本磁荷 Φ_0 且相距一定距离的粒子，根据(2)式，令，我们可得磁相互作用能为
(4)

如果任何一对各携带一个基本电荷 e 的粒子之间的距离和任何一对各携带一个基本磁荷 Φ_0 粒子之间的距离相等，那么由(1)、(2)；(3)、(4)式可得
(5)

这就是说，一对各携带一个基本磁荷 Φ_0 粒子之间的相互作用力约是一对各携带一个基本电荷 e 的粒子之间的相互力的 1174 倍，相互作用磁力比相互作用电力大 10^3 数量级；静磁能远远大于静电能，相互作用磁能比相互作用电能大 10^3 数量级。所以，我们可以说静电力相对静磁力；静电能相对静磁能而言，仅仅是一个微扰力而已。这一结果物理意义极其深远。

右手坐标系中的经典电动力学中，波动性的 Maxwell 方程组：

其中，

粒子性的 Lorentz 方程：

我们在上述方程中采用下标和来表示一个物理量的电性或磁性。在经典电动力学方程中，总是电-磁二元方程组为一个独立整体方程，上述的这样的三个独立二元方程组构成了经典电动力学的核心方程集。

有趣的是，当我们把波动性的 Maxwell 方程组和粒子性的 Lorentz 方程结合的时候，表示一个物理量的电性或磁性的下标或就自动消失的同时，得到了一个普遍适用的波粒二象性的动力学方程：

左手坐标系中的经典磁动力学中波动性的 Maxwell 方程组：

其中，

粒子性的 Lorentz 方程：

同样，在经典磁动力学方程中，也是磁-电二元方程组为一个独立整体方程。

类似地，当我们把波动性的 Maxwell 方程组和粒子性的 Lorentz 方程结合，就能得到如下的普遍适用的波粒二象性的动力学方程：

如果选择四维时-空几何模型重新描写上述经典电动力学和经典磁动力学方程就会显得更自然了。波动性的 Maxwell 方程组和粒子性的 Lorentz 方程联合起来才能完整阐述电磁理论——表明了经典电磁理论是一种凸现了电荷或磁荷的波粒二象性唯象的理论。经典电磁理论内蕴的 Einstein 相对论也是一种包含了波粒二象性的理论。相形之下，经典 Newton 动力学则是没有波粒二象性的典型的粒子理论。这就是为何经典电磁理论以及相对论可以自然地和量子力学结合，产生出量子电动力学和量子磁动力学等等；而经典 Newton 动力学则和量子力学格格不入，除非经过根本改造否则和量子力学在本质上无法相容。

当两个粒子之间的距离和粒子本身的波长在同一个数量级的时候，微观的量子力学就取代了宏观的经典电磁学。任凭何人，只要利用，就能巧妙地逃避了量子电动力学和量子磁动力学无穷大发散的恶魔。

这个时候，粒子对携带的 Planck 能量为

(6)

分别把 (3)、(4) 式和 (6) 式结合，则可得电相互作用常数和磁相互作用常数分别为

电（磁）相互作用常数 (7)

磁（电）相互作用常数 (8)

由(7)、(8)两式，我们可得和的关系为 (9)

由(5)、(9)两式，我们可得 (10)

可见， (11)

电-磁相互作用常数和磁-电相互作用常数并不相等这一事实，充分必要地展现了“电磁的二元独立性”，(11) 式从理论上进一步地论证了这种电磁二元论的正确性。

此外，(10)式令人惊异地看到：经典电磁理论和量子理论竟然给出了完全相同的比值——即电相互作用和磁相互作用的比值相同！这无疑说明了经典电磁理论和量子理论在本质上是相容的。

一个携带一个基本电荷 e 且质量为 m 的粒子的磁矩为：

(12)

一个携带一个基本磁荷 Φ_0 且质量为 m 的粒子的磁矩为: (13)

一个携带一个基本磁荷 Φ_0 且质量为 m 的粒子的电矩为: (14)

一个携带一个基本电荷 e 且质量为 m 的粒子的电矩为: (15)

量子电动力学可以给出(12)式;量子磁动力学可以给出(13)、(14)、(15)式。光子是传播电磁相互作用和磁电相互作用的唯一粒子。

从 1931 年开始,物理学界又面临着新的困惑,当时英国著名物理学家、诺贝尔奖获得者狄拉克根据对称理论,论证有磁单极子(磁荷)存在。虽然当时麦克斯韦电磁方程组已经否定了磁单极子存在,但人们认为:麦克斯韦的理论毕竟是对麦克斯韦时代之前的实验总结,而过去的实验,是否有遗漏而有待于新的发现呢?谁也不敢断定!况且,狄拉克曾预言正电子存在、并在宇宙线中观察到,因而震惊物理学界,而其磁单极子的新预言看来又持之有理。更何况,还有很多知名物理学家对磁单极子存在的理论作了不少的补充和论证,遂使很多科学家深信磁单极子存在的理论无误。

于是从二十世纪三十年代开始,掀起了寻觅“磁单极子”的热潮——到宇宙线中去发现、用太空飞行器到太空去找、钻入极深的矿井中寻、下潜到深海中去找、又去从古地质中去查、再用对撞机尝试着人造……总之用了各种不同的途径来“捉拿”“磁单极子”,努力了近八十个寒暑,但“磁单极子”总是顽固地不显其身!“磁单极子”到底存在还是不存在?除了狄拉克当年的对称理论而外,能不能再以更有说服力的理论来判断,这是当今这个领域亟待解决的问题,也是当今跨世纪的难题。磁单极子问题也是当代物理学一个饶有兴味的课题。1931年狄拉克研究磁场里运动的电子的波函数相位与电磁场量之间的关系时,考虑到量子原理波函数的相位的不确定性,导出了电荷量子化的条件、从而推出任何带电粒子所带电荷都一定是单位电荷的整数倍;任何带磁荷粒子所带磁荷也必定是单位磁荷的整数倍。因此、如果磁荷确实存在,狄拉克的推理在一定程度上解释了观测上的电荷量子化。研究表明,SV(5)弱电强大统一规范理论存在磁单极解。从该理论里的超重矢量玻色子的大质量可推出磁单极的质量在 10^{16} 吉电子伏的量级。这是目前实验室能量所不能达到的。目前,实验上的探测主要从三方面着手:高能加速器的实验,宇宙线的观测,古老岩石的观测。用第一种方法还未观测到磁单极子,一般认为这是能量尚不够高的缘故。从宇宙线中找磁单极子的物理根据有两方面:一种是宇宙线本身可能含有磁单极子,另一种是宇宙线粒子与高空大气原子、离子、分子等碰撞会产生磁单极子对。

附录:根据伦敦纳米技术研究所的最新研究成果,在某些物质中,磁荷具有同电荷一样的表现。刊登在自然杂志上的这篇文章证明了原子级磁荷的存在,它们的表现和相互作用就像我们所熟悉的电荷一样。同时,该研究还说明了电和磁之间存在一个完美的对称性,这种现象被作者称为“磁化电”。

研究小组根据 Onsager 在 1934 年的理论,绘制了在被称为自旋冰的物质中,磁流离子在水中的运动图谱。他们在非常低的温度下给自旋冰样品施加一个磁场,使用了 ISIS 的 μ 介子来观察整个过程。他们探测了自旋冰中的磁荷,

测量了电流,探明了该物质中磁荷的基本单位。所观察到的磁单极子在自旋冰

的磁性状态下呈现出紊乱的特性,并只能存在于物质内部。Steve Bramwell 教授(这篇文章的作者之一)这样表示:磁单极子是在 1931 年被预言出的,但在多次研究之后,仍没有发现自由行动模式的基本磁单极粒子。而目前发现的这些磁单极子虽能自由活动,但只能存在于自旋冰样品内。ISIS 的仪器科学家 Sean Giblin 博士(本文的另一作者)认为:实验结果是令人震惊的,通过使用 ISIS 提供的 μ 介子,我们最终能确定在适当的温度下,磁荷确实是在一定的材料内传导的,就像水中的离子传导电流一样。

9、现代物理学实验对于磁单极子的寻找

近年,人们曾采用超导量子干涉式磁强计在实验室中进行了 151 天的实验观察记录。据 1982 年初报道,测量到一次磁单极子事件。在排除了各种可能的干扰因素后,计算出到达地球表面的磁单极子上限为每立体角的单位面积上每秒有 6.1×10^{-10} 个磁单极子,即每年用这种装置可测到 1.5 次磁单极事件。这一实验探索还在进一步进行中,人们不断改进实验装备,以求得到更加可靠的观察结果。另外,如果磁单极子含量很少,那么异号磁单极子复合湮没的几率就很低,因而它们就有可能保存下来,能在地球上的古岩石、陨石或其他天体的岩石中找到。可是,迄今还没有找到确凿的证据。与此同时,关于磁单极子的理论研究也在积极进行之中。施温格(1966 年)和兹万齐格(1971 年)分别克服了狄喇克理论中的若干困难和不足之处,利用两个电磁势建立了电荷与磁荷完全对称处理的理论。1976 年,杨振宁等利用纤维丛的新数学方法,建立了没有无物理意义的奇点的磁单极子理论,在磁单极子理论的发展中开辟了新的途径。近年来,也出现了一些超越麦克斯韦电磁方程组框架的非传统理论,例如统一规范理论、Einstein-麦克斯韦耦合场理论和超光速参考系理论。而且,有关理论还在基本粒子的微观世界和宇宙演化的宇观世界得到了应用。总而言之,在关于磁单极子实

验探索和理论研究的半个多世纪中，人们进行了遍寻天上、地下的各种现代实验探测，采用了量子论、相对论和统一场论的复杂理论手段，联系到最广袤的宇观世界(宇宙论)和最细微的微观世界(粒子物理)，涉及到极漫长的(古岩石)和极短暂的(宇宙演化早期)时间尺度。当前，这一探索和研究仍在继续之中，它不仅给物理学带来了活力，而且也向两极不可分离的哲学信条提出挑战。

附录：《科学》：首次在实物中发现磁单极子的存在——推动物理学基础理论研究，书写新的物质基本属性

德国亥姆霍兹联合会研究中心的研究人员在德国德累斯顿大学、圣安德鲁斯大学、拉普拉塔大学及英国牛津大学同事的协作下，首次观测到了磁单极子的存在，以及这些磁单极子在一种实际材料中出现的过程。该研究成果发表在9月3日出版的《科学》杂志上。

磁单极子是科学家在理论物理学弦理论中提出的仅带有北极或南极单一磁极的假设性磁性粒子。在物质世界中，这是相当特殊的，因为磁性粒子通常总是以偶极子(南北两极)的形式成对出现。磁单极子这种物质的存在性在科学界时有纷争，迄今为止科学家们还未曾发现过这种物质，因此，磁单极子可以说是21世纪物理学界重要的研究主题之一。

英国物理学家保罗·狄拉克早在1931年就利用数学公式预言磁单极子存在于携带磁场的管(所谓的狄拉克弦)的末端。当时他认为既然带有基本电荷的电子在宇宙中存在，那么理应带有基本“磁荷”的粒子存在，从而启发了许多物理学家开始了他们寻找磁单极子的工作。

科学家们曾通过种种方式寻找磁单极子，包括使用粒子加速器人工制造磁单极子，但均无收获。此次，德国亥姆霍兹联合会研究中心的乔纳森·莫里斯和阿尔·坦南特在柏林研究反应堆中进行了一次中子散射实验。他们研究的材料是一种钛酸镉单晶体，这种材料可结晶成相当显著的几何形状，也被称为烧录石晶格。在中子散射的帮助下，研究人员证实材料内部的磁矩已重新组织成所谓的“自旋式意大利面条”，此名得自于偶极子本身的次序。如此一个可控的管(弦)网络就可通过磁通量的传输得以形成，这些弦可通过与自身携带磁矩的中子进行反应观察到，于是中子就可作为逆表示的弦进行散射。

在中子散射测量过程中，研究人员对晶体施加一个磁场，利用这个磁场就可影响弦的对称和方向，从而降低弦网络的密度以促成单极子的分离。结果，在0.6K到2K温度条件下，这些弦是可见的，并在其两端出现了磁单极子。

研究人员也在热容量测量中发现了由这些单极子组成的气体的特征。这进一步证实了单极子的存在，也表明它们和电荷一样以同样的方式相互作用。在此项工作中，研究人员首次证实了单极子以物质的非常态存在，即它们的出现是由偶极子的特殊排列促成的，这和材料的组分完全不同。除了上述基本知识外，莫里斯对此结果进行了进一步的解释，他认为此项工作正在书写新的物质基本属性。一般来说，这些属性对于具有相同拓扑结构(烧录石晶格上的磁矩)的材料来说都是适用的。

研究人员认为，此项技术将产生重要的影响。不过，最重要的是，它标志着人们首次在三维角度观察到了磁单极子的分离。

10、电磁质量的几何空间结构

不管怎样，科学家、尤其是做出了重大的乃至划时代的科学发现的伟大科学家，都具有敏锐的审美感并重视科学中的美。而且，“在某种意义上，一切伟大的科学家都是伟大的艺术家。”希尔对此的阐释给人以深刻的印象：“真正的科学家也是敏锐的、敏感的艺术家的。科学家也是诗人，他的眼睛能观看到他人看不见的地方，他的耳朵能捕捉到他人听不到的宇宙的旋律，他的手指能触摸到他人感觉不到的世界的脉搏。”数学家西尔威斯特就是这样的人：他对美的和谐具有高度的鉴赏力，他感到这是一切知识之本，一切快乐之源，它构成各种行动的前提。费曼被物理学基本定律的对称性和守恒性这一“最深奥最奇妙的事实”倾倒，感到“一种不可名状的喜悦”。“它们堪称物理学中无比优美和意义深远的东西”，又是以“最小作用原理的普适性为前提的”。卢瑟福则明确表示，科学也是艺术，伟大的科学理论本身就是伟大的艺术品。他说：我坚决主张，不妨把科学发现的过程看作艺术活动的一种形式。这一点最好地表现在物理科学的理论方面。数学家依据某些假定并根据某些得到透彻理解的逻辑规则，一步一步地建立起了一座宏伟的大厦，同时依据他的想像力清楚地揭示出大厦内部各部分之间隐藏的关系。从某些方面看，一个得到良好塑造的理论毫无疑问是一件艺术品。一个美妙的例子就是著名的麦克斯韦的电动力学理论。Einstein提出的相对论，撇开它的有效性不谈，不能不被看作是一件伟大的艺术作品。狄拉克对美更为虔诚，甚至把对审美鉴赏力的信仰类比为宗教：“薛定谔和我对于数学美都有十分强烈的鉴赏力，这种鉴赏力统治了我们的所有工作。对我们来说，这是一种信仰行为，即任何描述基本自然定律的方程必须在它们之中具有巨大的数学美。它对我们来说像宗教一样。它是十分有用的宗教，这种宗教被认为是和能够被认为是我们许多成功的基础。”量子力学建立在统计学基础之上，时间似乎可以向前也可以向后，时间是可逆的。量子世界到处都是佯谬。量子论的核心不区分时间的

两个方向。高速运动的K粒子的寿命延长。没有时刻的概念，是一个给定的足够长的时间，对一个孤立系统的波函数。这样一来，量子力学并没有提供一个令人满意的基本原则，来解释时间的客观流逝，或者至少能把时间有意义地区分为过去、现在和将来。显然，它与时间就是空间及运动的天文学本质相去甚远。热力学认为系统的熵总是不断地增大，进而给出了事件发生的时间箭头。尽管也认为时间是单向不可逆的，但是，却以系统熵的增加而等于时间的本质。显然，与时间就是空间及运动的天文学本质毫不相关。

量子力学和广义相对论的矛盾，其关键是时空几何不致，量子力学的时空是离散的、无维的，但时空是连续的；广义相对论的时空是连续的三维空间，一维破坏，时空应离散的多度规的时空来统一。第三，强相互作用与引力相互作用的耦合系数相差悬殊。其三，是时空到底是有限还是无限的观念矛盾：广义相对论认为时空之大有极限，但可收缩到零；量子力学认为时空之大无极限，但小有量子极限。普朗克尺度和时间标度，但求积分时下限仍取零！现在的物理学不会为因果律而矛盾，那个矛盾过时空平权的问题，因为不必非要平权。量子力学的讨论领域基本不在广义相对论所要求的必须使用时空平权的范围内。

现代物理学认为引力与 Coulomb 力是性质完全不同的力，万有引力与 G.G. Coriolis 力属于同一类型的力——几何力，与物体的性质（例如物体的质量等）无关，而 Coulomb 力与物体的性质有关。若证明 e/m 为常数，则电磁力也可化为几何力。引力场区别于其它力场，它在局域 space-time 内能被惯性力抵消，说明它本身可能与 space-time 结构有关，虽然它本身不反映 space-time 结构，space-time 结构会强烈影响物质存在与运动，因为影响是相互的，所以物质的运动必然影响 space-time 结构。由于电磁质量与 electric charge 的运动状态无关，因此电磁空间结构不可能与引力空间结构完全相似。现代物理学认为电磁场是规范场，规范场理论有着十分明显的几何意义。在现代微分几何的纤维丛理论中，规范势相当于曲率张量，但曲率张量满足的非线性杨-米尔斯方程则是从物理上提出来的。纯规范场（流为 0）的杨-米尔斯方程求解问题已成为数学上一个新的热门研究领域。

1913 年，Einstein 与格罗斯曼联合发表的重要论文《广义相对论和引力论》中，他们提出了引力的度规场理论，用来描述引力场的不再是标量势，而是以 10 个引力势函数的度规张量，引力与度规的结合，把物理问题几何化。Einstein 的伟大成就在于把引力解释为空间——时间结构，把物理的物质结构变化的最普遍形式理解为不仅是运动物体轨迹的变化（变分），而且是“包容”这些轨迹的空间类型的变化，看来是完全正确的。并且这种理解在物理科学中将永远保留下来，然而 Einstein 的广义相对论仅仅考察几何学的度量结构的变化。空间量度的变化可以很好地描述物理客体引力状态的变化，但是无论如何也不能由此得出，这种量度本身应对本质上根本不同于引力的物理现象（例如电磁现象）负责，也就是说在粒子物理学方面是否仅需要考察空间的度量关系呢？

描写空间的数学方法有 18 种之多，它们分别是：1、向量空间。2、欧几里得空间。3、黎曼空间。4、齐性空间。5、闵科夫斯基空间。6、拓扑空间。7、度量空间。8、复叠空间。9、泰希米勒空间。10、函数空间。11、索伯列夫空间。12、巴那赫空间。13、半序线性空间。14、西尔伯特空间。15、不变子空间。16、BMO 空间。17、抽象空间微分方程。18、HP 空间。广义相对论考察了几何学的度量结构的变化，电磁力可能与几何学的拓扑结构的变化有关（因为拓扑学是研究在运动过程中的不变量，电磁质量在运动过程中保持不变）。

迄今全部物理学是一定类型的局域——明显的分层空间的理论——科学家们的一个根深蒂固而又“显而易见”的信念在于，至少可以把任何一个物理量局域地定义为其它量的微分的乘积。杨振宁认为：“局部与整体的关系通过 20 世纪的拓扑学，李群和微分几何的发展变成了数学中的显学。近年来物理学中的整体观念也在多方面有重要的发展。”【2】1974 年杨振宁发表《规范场的积分表示》，1975 年与吴大峻（Wu T T）发表《不可积相位因子与规范场的整体性》掀开了物理理论的新篇章——物理现象的整体描述，应用了拓扑学的重要概念——纤维丛理论。所谓物理现象的整体描述是相对于局域描述而言。用微分方程表述物理定律，描述物理现象和过程。这种微分形式的物理表达形式，到麦克斯韦已完善。物理学的基本动力学规律表达为微分或偏微分方程加上初始条件或边界条件，相互作用是点接触作用，通过“场”作用为传播的媒介，从时空一点传到临近一点，即从一点及其临近处的局域描述外推及于整体。但是物理世界有一些现象是不能单纯用这种方式来表述的。例如一个经典的例子是磁单极势。1931 年，狄拉克发现不可能用单一个无奇异性的磁单极势在全空间磁单极的效应。这些奇异点构成一根曲线，成为狄拉克弦。吴大峻与杨振宁的规范场整体描述方法，就是用了纤维丛的拓扑概念解决了这个问题，得到了用纤维丛表述无奇异性弦的磁单极势。局域（微分）描述+整体（拓扑）描述=物理世界的完整认识。【1】笔者认为这些都说明了电磁质量的空间结构是拓扑空间结构，因为电磁场就是规范场。

60 年代，Nambu 和 Goldstone 发现量子场论真空会发生自发对称破缺，70 年代 A.M. Polyakov 等发现真空的拓扑结构，这些都说明真空具有丰富的结构与物性，值得去重点研究。量子化电磁场有无穷大的真空零点能，又由于负能电子的存在，导致真空具有发散的电荷密度，场论遇到了困难。取与 Lorentz 不变性相一致的正规乘积可以将零点能和背景电荷去掉，使得哈密顿算符的真空期望值为零及使真空呈电中性。这里，哈密顿量是不含时间的，这样的场论系统在不同时刻由于取正规序而扣掉了相同的零点能贡献，等价于以同一起点重新定义能量和背景，这样取正规序运算是可靠的。但是对于哈密顿量显含时间的量子场论系统，取正规序就需慎重考虑。一方面，含时系统不再具有 Lorentz 不变性，因而取正规序证据不足；另一方面，即使要对含时哈密顿量取正规序，那么不同时刻扣掉的零点能贡献不同，如此重新定义真空背景，其合法性值得怀疑。故含时系统的真空性质的研究变得十分重要。

现在在基本粒子理论中，看来必须抛弃这些直觉上“明显地”观念，相应地抛弃许多标准学理论的构造方式（拉格朗日定理、变分原理等等）。Einstein 证明：依据广义相对论，场方程中存在着能用来表述微粒的非奇性解，但是仅限于中性微粒（引力质量），解决中性微粒运动的问题，相当于发现引力方程（写成不含分母的形式）含有桥的解，因为“桥”本质上是个离散元素。但是中性微粒的质量常数 m 必须为正，因为没有不带奇点的解能同负质量的 Karl Schwarzschild 解相对应（笔者认为，这表明自然界不存在负引力质量形成的物质，负引力质量的本质就是引力场）。只有解决多桥问题，才能表明此理论方法是否能解释为经验所展示的自然界中微粒质量的互等性，以及它是否说明了那些已为量子力学所绝妙理解的事实。同时 Einstein 证明引力方程和电方程的组合（在引力方程中恰当选择电元素取的正负号）导出了电微粒的不带奇点的桥的表述。这类最简单的解为没有引力质量的电微粒的解，它是一种可能解释物质性质的场论不断加以精致阐明的第一次努力，应当基于目前所知的最简单的相对论性的场方程之上的。【4】因此 Einstein 当时已经认识到没有引力质量的电微粒的存在，即引力质量与电磁质量有着本质的区别，不过他当时得到的解是从引力质量与电磁质量的等价性得到的。Einstein 由于没有充分认识到引力质量与电磁质量的差别，因此最终没有关于多桥问题解的重要数学困难。

根据 electric field 的数值在实数集上量子分布的拓扑空间结构有可能解释经络在解剖学上观察不到的理由，因为我们在度量空间里观察。度量空间为四维 space-time（如果 space-time 维数大于四维，那么可以研究它在四维 space-time 中的投影）。在度量空间中观察拓扑空间不具有时间轴，是无穷维空间，因此量子力学运用无穷维空间研究，推算质子的寿命超过了宇宙的寿命（其实为无穷大）。Einstein 讲：“我所真正感兴趣的是，上帝是否能以不同的方式来创造世界；也就是说，必要的逻辑简单性是否为自由选择留下任何余地。”Einstein 对于量子力学中放弃时间、空间的因果说明的程度，表示了一种深深的担忧。德布罗意——Stephen Hawking 波场不可能解释为一种关于一个事件如何在空间和时间中实际发生的数学描述，尽管它们却与这个事件有关。量子力学不是为实际的空间——时间事件提供模型描述，而是以时间函数给出可能测量的概率分布。在原子现象中，在空间和时间中排列次序的任何企图，都会导致因果链条的一次中断，因为这样的企图是和一种本质性的动量交换及能量交换联系者的，这种交换发生于个体和用来进行观察的测量尺杆及时钟之间；而恰好这种交换就是不能被考虑在内的，如果测量仪器要完成它们的使命的话。拓扑结构与度量结构是空间结构的两个方面，但有时两种结构可以独立，例如光子只具有拓扑结构。由于电磁力不具有时间轴，不满足因果律，从引力场中观察时也具有因果关系，因此相对论与量子力学的哲学思考中对于

电磁质量的分析主要考虑它们等价性的一面。对于微观粒子，讨论经典意义下的因果关系和非定域问题，可能不是一个恰当的论题。

由于引力形成供自己表演的舞台，电磁力是固定在 space-time 背景中的表演，所以根据力学中的等效原理，把存在引力的平直 space-time 推断是弯曲的。space-time 是物质的存在、运动、变化的历史和现实！不能说对力学 space-time 是弯曲的，而对电磁学 space-time 是平直的。这样理论不能自恰，原因是电磁规律和力学规律不能截然分开。正负 electric charge 的电磁能的大小相同，但它们的空间结构不同，观察到夸克需要将空间的度量结构与拓扑结构分离。带电粒子的速度因所处的 electric field 的影响而连续变化，是因为在度量空间中观察的结果。所谓“量子纠缠”是指不论两个粒子间距离多远，一个粒子的变化都会影响另一个粒子的现象，即两个粒子之间不论相距多远，从根本上来讲它们还是相互联系的。笔者认为这说明了电磁质量的空间结构是拓扑空间结构，与距离无关。在电动力学中，有一著名的阿哈罗诺夫—玻姆效应（获得 1999 年沃尔夫奖），它指出当电子波分为两个分波，环绕一个磁通运动，然后再在另一端会合干涉，电子波会产生一与磁通大小有关的相位因子。在这里，电子本身并不与磁场强度发生直接相互作用，但电子却有磁通相位，这一“超距作用”体现了量子系统的整体（拓扑）性质，在数学上它与格林公式或者留数定理有关。

现代物理学从理论自恰和自然规律是简洁的信念出发，人们相信等效原理不仅适用于力学，而且适用于电磁学，乃至一切物理规律。只有这样 space-time 弯曲才算是客观存在，广义相对论自 Einstein 提出以来，无论从数学方法、理论推广和应用均获得长足的进步。然而作为它的基石的等效原理，其推广的合理性、实验的检验和理论的分析都做的不够。【3】

参考文献：

- 【1】李华钟。杨振宁学术成就——量子不可积相位因子和规范场的积分表示。《物理》32 卷第 3 期 北京 2003 年
- 【2】李华钟。简单物理系统的整体性——贝里相位及其他。上海：科学技术出版社，1998
- 【3】王仁川 著。《广义相对论引论》 中国科学技术大学出版社 1996 年版
- 【4】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】Stephen Hawking、Roger Penrose 著 杜欣欣、吴忠超 译。《时空本性》湖南科学技术出版社 2000 年 10 月版

附录：由中国科学院物理研究所和清华大学物理系的科研人员组成的联合攻关团队，经过数年不懈探索和艰苦攻关，成功实现了“量子反常霍尔效应”。这是国际上该领域的一项重要科学突破，该物理效应从理论研究到实验观测的全过程，都是由我国科学家独立完成。

量子霍尔效应是整个凝聚态物理领域最重要、最基本的量子效应之一。它是一种典型的宏观^[1]量子效应，是微观电子世界的量子行为在宏观尺度上的一个完美体现。1980 年，德国科学家冯·克利青（Klaus von Klitzing）发现了“整数量子霍尔效应”，于 1985 年获得诺贝尔物理学奖。1982 年，美籍华裔物理学家崔琦（Daniel Chee Tsui）、美国物理学家施特默（Horst L. Stormer）等发现“分数量子霍尔效应”，不久由美国物理学家劳弗林（Rober B. Laughlin）给出理论解释，三人共同获得 1998 年诺贝尔物理学奖。在量子霍尔效应家族里，至此仍未被发现的效应是“量子反常霍尔效应”——不需要外加磁场的量子霍尔效应。

意义

图二，理论计算得到的磁性拓扑绝缘体多层膜的能带结构和相应的霍尔电导

“量子反常霍尔效应”是多年来该领域的一个非常困难的重大挑战，它与已知的量子霍尔效应具有完全不同的物理本质，是一种全新的量子效应；同时它的实现也更加困难，需要精准的材料设计、制备与调控。1988 年，美国物理学家霍尔丹（F. Duncan M. Haldane）提出可能存在不需要外磁场的量子霍尔效应，但是多年来一直未能找到能实现这一特殊量子效应的材料体系和具体物理途径。2010 年，中科院物理所方忠、戴希带领的团队与张首晟教授等合作，从理论与材料设计上取得了突破，他们提出 Cr 或 Fe 磁性离子掺杂的 Bi₂Te₃、Bi₂Se₃、Sb₂Te₃ 族拓扑绝缘体中存在着特殊的 V. Vleck 铁磁交换机制，能形成稳定的铁磁绝缘体，是实现量子反常霍尔效应的最佳体系[Science, 329, 61 (2010)]。他们的计算表明，这种磁性拓扑绝缘体多层膜在一定的厚度和磁交换强度下，即处在“量子反常霍尔效应”态。该理论与材料设计的突破引起了国际上的广泛兴趣，许多世界顶级实验室都争相投入到这场竞争中来，沿着这个思路寻找量子反常霍尔效应。

在磁性掺杂的拓扑绝缘体材料中实现“量子反常霍尔效应”，对材料生长和输运测量都提出了极高的要求：材料必须具有铁磁长程有序；铁磁交换作用必须足够强以引起能带反转，从而导致拓扑非平庸的带结构；同时体内的载流子浓度必须尽可能地低。中科院物理所何珂、吕力、马旭村、王立莉、方忠、戴希等组成的团队和清华大学物理系薛其坤、张首晟、王亚愚、陈曦、贾金锋等组成的团队合作攻关，在这场国际竞争中显示了雄厚的实力。他们克服了薄膜生长、磁性掺杂、门电压控制、低温输运测量等多道难关，一步一步实现了对拓扑绝缘体的电子结构、长程铁磁序以及能带拓扑结构的精密调控，利用分子束外延方法生长出了高质量的 Cr 掺杂(Bi,Sb)2Te3 拓扑绝缘体磁性薄膜，并在极低温输运测量装置上成功地观测到了“量子反常霍尔效应”。该结果于 2013 年 3 月 14 日在 Science 上在线发表，清华大学和中科院物理所为共同第一作者单位。

图三，在 Cr 掺杂的(Bi,Sb)2Te3 拓扑绝缘体磁性薄膜中测量到的霍尔电阻

该成果的获得是我国科学家长期积累、协同创新、集体攻关的一个成功典范。前期，团队成员已在拓扑绝缘体研究中取得过一系列的进展，研究成果曾入选 2010 年中国科学十大进展和中国高校十大科技进展，团队成员还获得了 2011 年“求是杰出科学家奖”、“求是杰出科技成就集体奖”和“中国科学院杰出科技成就奖”，以及 2012 年“全球华人物理学会亚洲成就奖”、“陈嘉庚科学奖”等荣誉。该工作得到了中国科学院、科技部、国家自然科学基金委员会和教育部等部门的资助。

参考资料

- 1. [中国科学家首次发现量子反常霍尔效应 影响重大](#)。凤凰网。2013-03-15 [引用日期 2013-03-15]
笔者认为反量子霍尔效应的实现说明电磁质量的空间可能就是拓扑空间结构。

11、量子力学与广义相对论没有统一的原因

《自然杂志》1994 年 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：91。引力能否用量子理论加以描述？92。能否将引力和其他几种基本力统一起来？

中科院自然科学研究史董光壁研究员在《21 世纪 100 个科学难题》，提出了今天科学发展是《协调相对论和量子论的困难》。李政道在该书《导言》中说：目前，微观和宏观的冲突已经非常尖锐，靠一个不能解决另一个，把它们联系起来会有一些突破，这个突破会影响科学的将来。丹尼斯·玻尔喜欢说：“我们是悬吊在文字上的”【1】。而作者在不远处看到，人们在用文字。数字以及图形编织成的绳子上荡秋千。量子力学这根绳子已不堪引力量子化的重负！普朗克提出量子论已百余年，其间 Einstein 将量子论与光辐射理论结合【2】；丹尼斯·玻尔将其引如原子内部；薛定谔等人共同建立起量子力学大厦。但引力量子的研究目前是停滞不前，是二十乃至二十一世纪物理学晴朗天空上的一片乌云！量子引力的困难，暗示了对通常物质场有效的量子化方案引力场已不再适用。这就是为什么大统一理论不能纳入引力相互作用的原因，甚至于形式上的统一也办不到。场相互作用理论认为强相互作用是传递胶子实现的；弱相互作用是通过传递中间玻色子实现的；电磁相互作用是传递虚光子实现的；引力相互作用是传递引力子实现的。

广义相对论和量子力学彼此不直接矛盾，但是它们看起来不可能融于一个统一理论，根本原因在于广义相对论是研究引力场，量子力学研究 electric field。1905 年 3 月，Einstein 发表的《关于光的产生和转化的一个启发性观点》一文，开创了辐射量子论全新领域，提出了著名的光电效应基本定律，这也使他荣获 1921 年诺贝尔物理学奖。文章一开头，Einstein 就用统一性思想分析了物理学当时面临的某些基本情况：“在物理学家关于气体或其他有重物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。这就是，我们认为一个物体的状态是由数目很大但还是有限个数的原子和电子的坐标和速度完全确定的；与此相反，为了确定一个空间的电磁状态，我们就需要用连续的空间函数，因此，为了完全确定一个空间的电磁状态，就不能认为有限个数的物理量就足够了。”这段话表明了 Einstein 当时研究辐射问题的指导方针，就是用统一性思想来改造物理理论体系内部存在的各种不统一现象：实物理论与场理论在间断性与连续性、有限性与无限性方面的深刻的形式上的不统一。Einstein 用敏锐的眼光看到物理理论体系内部的这些不统一性，并构造具有高度统一性的新理论，使其成为物理学发展的重要方向之一。

虽然 Einstein 的狭义相对论开始写作《论运动物体的电动力学》，但是它只考虑到电磁质量与引力质量的等价性，没有研究其区别，与研究引力场没有区别。狭义相对论与量子力学的结合则十分自然地产生了相对论量子力学和相对论量子场论，在这基础上又发展出粒子物理学，经受了无数实验的检验。由经典力学和

量子力学可知,物理系统其全部性质由其拉氏量 ψ 完全决定。拉氏量是由物理系统的动力学变量及其一阶时、空微商所构成。拉氏量中动力学变量的对称性,即在某类连续群变换下的不变性,反映了该系统存在的守恒量及相应的守恒流。连续群所表征的变换称为规范变换,其变换群参数是独立于背景 space-time 的常数。如将其参数改成依赖背景 space-time 位置的任意函数,其变换称为局域性变换,前者称为整体变换。由于局域性变换是 space-time 流形坐标的函数,因而它不能与 space-time 坐标微商交换。拉氏量对局域性变换不再具有原有的对称性,为了维持其对称,需将拉氏量中的普通微商改成协变微商,即在微商中引入补偿场,其场称为规范场。物质之间的相互作用是通过规范场在中间传递来实现。【3】因此物质之间的相互作用力是规范力,规范场也是研究电磁质量和引力质量的等价性的。下面的分析来自于网络,说明对于电磁质量不能只考虑其对称性,还应当考虑考察它们的非对称性:

1. 关于电磁场的算子理论。

经典场论中并矢格林函数的形式为: (1)

但是可以证明由于奇异项的存在,格林函数不再具有几何对称性,即对于一个矩形腔,取不同的领导矢量就会得到不同的结果。用算子理论可以得到没有奇异项的并矢格林函数,十多年后国外也出现了电磁场算子理论的著作,也不再出现并矢格林函数中奇异项。

2. 关于矢量偏微分算子理论。麦克斯韦方程组是经典数学所不可能精确求解的。其原因在于经典数学无法严格的处理矢量偏微分运算符,因而研究并建立了矢量偏微分算子理论。它是以拉普拉斯算子的波函数空间和广义函数理论为基础,把那些原来只对于标量函数的数学理论扩展到三维矢量函数。一个三维矢量函数的几何空间,可以从欧氏空间的尺度对矢量函数进行射影,也可以在矢量偏微分算子的矢量波函数空间的子空间上进行射影。由于欧氏空间内的射影与麦克斯韦方程组本身的数学形式不符,因而只能是近似的,而不可能精确的求解麦克斯韦方程组。

3. 关于电磁波基本方程组。在矢量偏微分算子理论下,电磁场被分成了两个子空间:旋量场子空间和无旋场子空间。而电磁波属于旋量场子空间。通过子空间的射影可以把无旋场分离出去,建立纯旋量场空间内的电磁波方程组乘电磁波基本方程组。所以它实际上就是麦克斯韦方程组在旋量场空间尺度下的新形式。它是一个以两个标量波函数和两个标量拉普拉斯运算符,在一个联立的齐次边界条件组成的方程组。这一方程组具有数学逻辑的自洽性。

4. 齐次边界和辐射边界条件下电磁波基本方程组的本征问题和格林函数问题。

由电磁波基本方程组的数学自洽性,从理论上可以解决理想边界和辐射边界条件下的本征问题和格林函数问题。也就是说现在我们对宏观的电磁场问题的认识,已经不再是 Einstein 时代的那种抽象的概念性的认识,不再只是一维平面波的认识,而是有了精确解决电磁波的各种传播特性的条件。

5. 关于现代场论与经典场论。

它并没有改变麦克斯韦电磁场理论的基本内容,麦克斯韦方程组并没有任何改变。所改变的主要只是求解麦克斯韦方程组的数学方法。麦克斯韦方程组本来就是不能直接求解的,只有通过一定的变换才能得到可以解析或计算的形式。这种变换依赖的是一种“尺度”,不同的尺度对变换的等价性有不同的定义。经典理论用的是欧氏空间的尺度,现代场论用的是矢量偏微分算子空间的尺度,特别是它的旋量场子空间的尺度。这与其说是一种改变,不如说是把原来没有找到的合适的尺度找出来了。这一旋量场空间上的尺度的发现,在物理上搞清楚了两件事:一是原来电磁波与电磁场不是一回事,电磁波是电磁场中的一个子空间,它不是欧氏空间中的任意矢量函数,它能够用两个独立的标量函数而不是欧氏空间中的三个射影来精确的表示。二是根据矢量函数的广义函数理论,麦克斯韦方程中的电流 J 也不再是经典函数形式的电流,其本身就成为了电流与电磁波相互作用所产生的激励电磁波。

参考文献:

- 【1】理查德·罗兹。原子弹出世记[M]。北京:世界知识出版社,1990:56;
- 【2】A.Einstein,Annalen der Physik,17(1905),132-148。
- 【3】王仁川 著。《广义相对论引论》中国科学技术大学出版社 1996年版

12、因果律浅析

中国科学院电子学研究所的宋文森认为:现代电磁场理论使电磁波与光量子之间的差别大大缩小了:都是有二个独立的标量波函数组成的,对于光量子一般只考虑自由空间,二个函数就退化为一个;标量波函数都需要“旋”一下才能表达出它们更丰富的空间形态;只有在特殊的环境下,才能够以单一模式存在,一般情况下都以

孪生模的形式存在。所不同的只是:1.在微波状态下,不讨论粒子性问题,而对光子要考虑粒子性,2.在量子光学中,自旋算符只是一种符号,而微波状态下,两类旋度算符与经典数学的运算方法最后是相通的。寻找这两者的更多的共同点,建立一个既有宏观机制又有粒子性电磁场理论,已经成了应该着手解决的努力方向。(2)波函数尺度下的数理逻辑的因果律。关于波函数的物理解释一直是物理学界争论不休的问题。现代电磁场理论解决了波函数空间尺度下的因果律问题。不同的数学范畴下,有它自己的运算规则和尺度。波函数空间下的尺度与欧氏空间下的尺度是不同的。在同一数学范畴下,各个量之间的等价性是可以严格的数学运算来表示的,而不同空间尺度下的物理量之间的等价性是不能直接用数学运算来表示的。这里需要的是建立一种为大量实验所认可的数理逻辑关系。这种逻辑关系不可能对于两种不同的数学范畴的运算规则和尺度,都保持严格的数学形式上的相等。

单值决定论是Einstein代表性的哲学思想 也同样折射到他的统一性思想之中。单值决定论是与经典力学相适应的一个基本哲学思想。它以经典力学中严格的动力学规律为基础,认为世界上一切事物,大到恒星,小至沙粒,只要给出某一时刻的精确的初始条件,原则上便可以根据物理规律唯一地、精确地推算出它在过去与未来的一切状态。拉普拉斯是单值决定论的典型代表,他曾宣称:“如果有一种智慧能了解在一定时刻支配着自然界的所有的力,了解组成它的实体各自的位置,如果它还伟大到足以分析所有这些事物,它就能用一个单独的公式概括出宇宙万物的运动,从最大的天体到最小的原子,都毫无例外,而且对于未来,就像对于过去那样,都能一目了然。” Einstein虽然在研究分子运动理论中运用过统计思想,但这仅仅是一种纯粹的方法论思想,而不是一种根本的哲学自然观。事实上,它仍然以单值决定论思想为基础。经典物理学认为,原则上说,统计方法可以归结为严格的动力学方法。Einstein的相对论革命,尽管在时间、空间、物质、运动、能量等一系列基本观念上引起了变革,但是却唯独没有触动以严格的单值决定论为基础的自然观。甚至可以说,相对论还进一步扩大了单值决定论的适用范围,使单值决定论这个经典自然观在相对论理论体系中获得了自己的最高表现形式。因此,可以说, Einstein是抱有严格的单值决定论思想的典型代表。Einstein的统一性思想也始终贯彻了这一基本哲学思想,表现出十分显著的单值决定论特征。他相信一切自然现象都能统一到具有因果性的客观规律上,并以此作为科学研究的指导思想(即严格因果性的统一性思想)。在这样的科学思想指导下,他不厌其烦地做着还原自然界错综繁复的现象的工作,并能卓有成效地把它们统一到某一科学公式、定律或科学体系中。而对“统一场论”的追求,则是他的严格的单值决定论思想的最高体现。他认为,“统一场论”具有完备的因果解释力,能严格地还原出物理学一切实在的客观规律。单值决定论和“统一场论”思想不仅是Einstein对待一般科学问题的态度,甚至可以说上升为一种坚定的信仰,不能推翻、无需证明的至高信仰。1924年4月,他在给波恩夫妇的信中指出:“玻尔关于辐射的意见是很有趣的。但是,我绝不愿意被迫放弃严格的因果性,而对它不进行比我迄今所已进行过的更强有力的保卫。我觉得完全不能容忍这样的想法,即认为电子受到辐射的照射,不仅它的跳跃时刻,而且它的方向,都由它自己的自由意志去选择。在那种情况下,我宁愿做一个补鞋匠,或者甚至做一个赌场里的雇员,而不愿意做一个物理学家。”后来,他又多次表达了对这种信仰的执着态度:“然而我不能为这种信念提供出逻辑的根据,而只能拿出我的手指来作证,也就是说,在我自己的皮肤之外,我提供不出凭据。

笔者认为,量子力学与相对论没有统一的根本原因在于广义相对论研究引力质量(在实数集上连续分布),而量子力学研究电磁质量(在实数集上离散分布)。

第四章 电磁质量的波粒二象性

1、现代物理学中的三类波

机械波是周期性的振动在媒质内的传播,电磁波是周期变化的电磁场的传播。物质波既不是机械波,也不是电磁波,即因为电磁波有周期性,在空间的分布能测定其位置与时间的关系,所以电磁波不是物质波(几率波)。

在当前物理学观念中,波一般划分为三类:第一类是经典介质波,在日常生活中极为多见,譬如水波、声波等等。这类波的产生有两个必要条件:介质和振源。波动方程的经典形式为

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (1.1)$$

其中 V 代表波速,是一个常数,不能分解和迭加。它由介质的性质决定,与振源无关。当空气温度为摄氏零度时,空气中声波的速率为331m/s,而空气分子的最可几速率是395m/s,平均速率为445m/s,方均根速率为485m/s,空气分子是超声速分子。物理学上波动概念一直沿用弹性介质中机械振动的传播过程所产生

的现象,并以惠更斯 1690 年所建立的原理解释之。惠更斯原理:介质中波动传到的各点,不论在同一波阵面或不同波阵面上,都可以看作是发射子波的波源;在任一时刻,这些子波的包迹就是新的波阵面。解释了波动的折射、反射、干涉、衍射等一系列机械波动与声学的现象,并建立波动方程与能流密度方程 $w=\rho A^2\omega^2\sin^2\omega(t-v)$,其中 ρ 为质量密度, A 为振动幅度, ω 周期变换角速度。在宏观世界,粒子主要表现为引力质量,一个粒子在某地,它就不能同时在另一地,一地被一粒子所占据,另外的粒子就不能占据。机械波是引力场的表现形式,一列波通过某地,另一列波同样也能通过某地,两列波在同一地点是可以叠加的。

$$\nabla^2 E = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (1.2)$$

第二类波是电磁波,方程 (1.2) 中, C 为定值,不存在速度迭加。1905 年 Einstein 提出的“光子”理论,通过赋予电磁场粒子性的方案;“使得光的瞬时效果表现粒子性,而时间平均效果表现波动性”;“电磁场以独立物理实体的地位,能够从源发射出来并且在空间不耗散地传播”。【1】洛伦次变换站在纯粹数学的观点来看,其实是场变换,把相对论称为场论没有错。场和波是天生的一对,场是波的运动空间,二者都是四维。当然,常见的定态场都是三维的。连续介质力学、柔性力学、结构力学、流体力学、电动力学、旧量子力学、其中的很多定态场都是三维的。自然其中的方程也就都不遵守洛伦次变换了。其中涉及到的定态波也是三维的。当然,场也可以是二维、一维的,甚至是 0 维的。场根据数学可以分成矢量场和标量场两大类。以经典力学的观点看,场和波是天生一对;粒子和波则是天生的对头。宏观粒子的维数最多是 3;宏观波的维数最多是 4。有波的存在则一定有场的存在。反之,则不一定。有粒子的存在则一定有场的存在。反之,则不一定。波和场的空间属性和时间属性都是全域性的;而粒子的空间属性和时间属性则是局域性的。以量子力学的观点看,波-粒-场三者是天生的三胞胎。空间维数都是四。有波的存在则一定有场的存在。反之,则亦然。有粒子的存在则一定有场的存在。反之,则亦然。波和场的空间属性和时间属性是全域性的也可以是局域性的;而粒子的空间属性和时间属性既可以是局域性的也可以是全域性的。不论是以经典力学的观点看,还是以量子力学的观点看,波-粒-场三者的关系是现有全部物理学所有分支的基本家当。对于电磁波、物质波,在实验上,微观与宏观没有截然的界限,也没有任何区别。对于粒子,在实验上,微观与宏观有截然的界限,区别明显。宏观粒子都是三维的性质的,没有波动性,尽管流行的做法是根据海森堡的测不准关系,说宏观粒子的波动性很小,比如,地球、太阳等等。

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

第三类波是量子力学物质波,以德布罗意物质波方程为代表: (1.3) 经典电动力学在微观领域受到局限的主要原因在于,它对带电物质的描述只反映其粒子性的一面,而对 electric field 的描述则只反映其波动性的一面。在量子理论中,把 electric field 的 Maxwell's equation 量子化后,发展为量子电动力学。目前量子电动力学对各种物理过程的理论计算和实验结果在很高精确度下相符,表明它有反映客观规律的正确性的一面。德布罗意天才预测到:“一束电子通过一个非常小的孔时会产生衍射现象,这也许可以证明我的观点。”Einstein 对于德布罗意的观点给予极高的赞誉,称之为“揭开了一幅大幕的一角。”

现代物理学的实验表明,电子、原子、分子、质子和中子等一切微观粒子都具有波粒二象性,而且其波长、频率、动量和能量都有德布罗意关系式联系起来。苏联物理学家 V. 法布里康教授和他的同事们已完成了一个实验,在这个实验里观察到单电子的衍射。在微观世界例如电子,在云室里它象个粒子,但在晶格衍射时它又象是波;在双缝干涉实验中通过双缝时它象是波,而落在屏幕上时它又象粒子。数学上描述微观客体波粒二重性的实验事实是容易的。海森堡的矩阵力学,薛定谔的波动力学达到了近乎完美的程度,计算与实验的精确吻合也令人惊叹。1927 年,美国物理学家戴维逊、革末用电子束投射到镍单晶上,观察到和 X 射线照射同样的衍射现象。同年英国物理学家 G.P. 汤姆生通过快速电子穿过薄金属片,也观察到了衍射图样。他们的实验证实了德布罗意的假设。德布罗意讲:“我的研究始终围绕这样的思想,对于物质和辐射(尤其是光),必须同时引入粒子的概念和波的概念,即在任何情况下粒子的存在必然伴随着波动。因此,必须首先建立起粒子的运动和波动传播之间的对应关系。”**笔者认为物质波通过电子的衍射验证进一步证明了电磁质量具有波粒二象性,中微子不具有电磁质量,应该观察不到衍射现象。**

相速用 u 表示,群速用 v_g 表示。相速是等相面运动的速度,群速是波包中心运动的速度。由德布罗意公式: $E = \hbar\omega = \hbar\nu$ (1)

$$P = \hbar k = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

$$\text{引入: } v = \frac{u}{\lambda}, \quad p = mv_g \quad (3)$$

$$\text{又由质能公式: } E = mc^2 \quad (4)$$

$$(1) (2) (3) (4) \text{ 四式联立得到: } E = \hbar\omega = h\nu = h\frac{u}{\lambda} = mc^2 \quad (5)$$

$$p = \hbar k = \frac{h}{\lambda} = mv_g \quad (6)$$

把 (6) 式代入 (5) 得到相速与群速的乘积等于光速的平方: 即

$$u \cdot v_g = c^2 \quad (7)$$

$$\text{又由相速的定义: } u = \frac{\omega}{k} = \frac{\hbar\omega}{\hbar k} = \frac{E}{P} = \frac{mc^2}{mv_g} = \frac{c^2}{v_g} \quad (8)$$

我们同样得到 (7) 式: $u \cdot v_g = c^2$

下面由相对论质能公式进行验证:

$$E = mc^2 = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} \quad (9)$$

$$\text{由相速定义: } u = \frac{\omega}{k} = \frac{\hbar\omega}{\hbar k} = \frac{E}{p} = \frac{\sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}}{p} \quad (10)$$

$$\text{由群速定义: } v_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d(\hbar\omega)}{d(\hbar k)} = \frac{dE}{dp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2c^2 p}{\sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}} = \frac{c^2 p}{\sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}} \quad (11)$$

由 (10) 乘 (11) 式同样得到 (7) 式: $u \cdot v_g = c^2$

因此 (3) 式的引入是正确的。

又由自由粒子德布罗意波可以验证以上公式:

$$u = \frac{\omega}{k} = \frac{\hbar k}{2m} \quad (12)$$

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{\hbar k}{m} \quad (13)$$

(12) 式乘 (13) 式同样得到 (7) 式: 即

$$u \cdot v_g = \frac{\hbar^2 k^2}{2m^2} = \frac{p^2}{2m^2} = c^2$$

所以对自由粒子上式可以写成:

$$\frac{p^2}{2m} = mc^2 \quad (\text{自由粒子 } m = m_0, \quad v \ll c) \text{ 得证}$$

参考文献:

【1】董光璧等著 世界物理学史 吉林教育出版社 1994 年

2、物质波的验证

莫里斯是一位研究 X 射线的实验物理学家, 当时 X 射线的研究是一个非常热门的课题, 莫里斯十分熟悉同行的工作成果。例如莫斯利用 X 射线验证了玻尔原子模型, 提出了 X 射线的微粒性。劳厄于 1912 年

发现了晶体的 X 射线衍射,既可用于决定 X 射线的波长又证明了原子的点阵结构。布喇格曾经指出要探索一种理论能阐明 X 光的波动和粒子的两重性。布里渊在关于玻尔量子条件的研究工作中,设想了一种存在于原子核近旁的“以太”层,电子在其中运动,这运动在“以太”层内部掀起的波因相互干涉而形成环形的驻波。这一情况的发现,布里渊认为,可以作为对玻尔的神秘的量子条件的一种物理解释。但是,布里渊的理论要借助于当时物理学已经摒弃了的“以太”介质,并且在数学上也遇到了困难,使得物理学家难以接受。然而由于一种尚未明了的原因,布里渊把自己的上述工作寄给了德布罗意,从而使德布罗意从中吸收了布里渊的物理思想的精华,并认真地把光的二象性假说同对玻尔模型的研究结合在一起考虑。德布罗意提到物质波方程是说明了一切物质都具有粒子性,联系了宏观和微观。Einstein 的质能方程则是由狭义相对论演算出来的,其实本质上并没有什么联系,但是德布罗意方程中的一个 $P=h/\lambda$ 是由 $E=mc^2$ 推出来的步骤如下 $p=mc=hv/c^2 \times c=hv/c$ 。考虑到 $c=hv$, 所以 $p=h/v$ 。

德布罗意曾设想,晶体对电子束的衍射实验,有可能观察到电子束的波动性。人们希望能够实现这一预见。耐人寻味的是,正在这个时候,有两个令人迷惑不解的实验结果也在等待理论上作出正确的解释。这两个实验就是冉绍尔(C.W. Ramsauer)的电子-原子碰撞实验和戴维森(C.J. Davisson)的电子散射实验。

1913 年,德国物理学家冉绍尔发展了一种研究电子运动的实验方法,人称冉绍尔圆环法,用这种方法可以高度精确地确定慢电子的速度和能量,粒子间相互碰撞的有效截面概念就是冉绍尔首先提出来的。第一次世界大战后,冉绍尔继续用他的圆环法进行慢速电子与各种气体原子弹性碰撞的实验研究。1920 年,他在题为:《气体分子对慢电子的截面》一文中报道了他发现氩气有特殊行为。

冉绍尔在腔室中分别充以各种不同的气体,例如氢、氦、氮和氩。他经过多次测量,发现一般气体的截面“随电子速度减小均趋于常值,唯独氩的截面变得特别小”。由氩的这一反常行为,冉绍尔得出的结论是:“在这个现象中人们观察到最慢的电子对氩原子是自由渗透的。”

冉绍尔综合多人实验结果而作出的惰性气体 Xe、Kr、Ar 对电子的散射截面随电子速度变化的曲线,图中横坐标是与电子速度成正比的加速电压平方根值,纵坐标是散射截面 Q,用原子单位,其中 α_0 为玻尔原子半径。三种惰性气体的曲线具有大体相同的形状。约在电子能量为 10eV 时, Q 达极大值,而后开始下降;当电子能量逐渐减小到 1eV 左右时, Q 又出现极小值;能量再减小, Q 值再度上升。事实确凿地证明,低能电子与原子的弹性碰撞是无法用经典理论解释的。这就是当年令人不解的冉绍尔效应。

戴维森的电子散射实验比冉绍尔的电子碰撞实验更早得到奇特的结果。戴维森是美国西部电气公司工程部(即后来的贝尔电话实验室)的研究员,从事热电子发射和二次电子发射的研究。1921 年,他和助手孔斯曼(Kunsman)在用电子束轰击镍靶时,发现从镍靶反射回来的二次电子有奇异的角度分布,出现了两个极大值。戴维森没有放过这一现象,反复试验,并撰文在 1921 年的《科学》(Science)杂志上进行了讨论。他当时的看法是认为极大值的出现可能是电子壳层的象征,这一研究也许可以找到探测原子结构的又一途径。

这件事引起了德国著名物理学家玻恩(M.Born)的注意,他让一名叫洪德(F.Hund, 后来是著名光谱学家)的研究生,根据戴维森的电子壳层假设重新计算电子散射曲线的极大极小值。在一次讨论班上洪德作了汇报,引起另一名研究生埃尔萨塞(W.Elsasser)的兴趣。埃尔萨塞的思想特别活跃,非常关心物理学各个领域的新进展,当他得知 Einstein 和玻色(Bose)新近发表了量子统计理论,就想找到 Einstein 的文章来阅读。Einstein 在文章中特别提到了德布罗意的物质波假说,使埃尔萨塞获得很大启发。不久,埃尔萨塞又读到了德布罗意给玻恩寄存来的论文。他的思想突然产生了一个飞跃,会不会戴维森和孔斯曼的极大极小值,就是电子波动性造成的?他迅即按德布罗意公式用计算尺估算了最大值所需的电子能量,发现数量级正确。几个星期之后,他写了一篇通讯给德文《自然科学》杂志,题为《关于自由电子的量子力学的说明》^①。在这篇短文中,他特别提到用波动性的假说不但可以解释戴维森和孔斯曼的实验,还可以解释冉绍尔效应,在文章最后,他申明要取得定量验证,有待于他自己正在准备的进一步实验。他花了三个月的时间考虑实验方案,终因技术力量不足而放弃。

戴维森从 1921 年起就没有间断电子散射实验,一直在研究电子轰击镍靶时出现的反常行为。他仍沿着电子壳层的方向进行研究,没有注意埃尔萨塞的论文。1925 年,一次偶然的事使他的工作获得了戏剧性的进展。有一天,他的助手革末(Germer)正准备给实验用的管子加热去气,真空系统的炭阱瓶突然破裂了,空气冲进了真空系统,镍靶严重氧化。过去也曾发生过类似事故,整个管子往往报废,这次戴维森决定采取修复的办法,在真空和氢气中加热,给阴极去气。经过两个月的折腾,又重新开始了正式试验。在这中间,奇迹出现了。1925 年 5 月初,结果还和 1921 年所得差不多,可是 5 月中曲线发生特殊变化,出现了好几处尖锐的峰值,如图 9-10 所示。他们立即采取措施,将管子切开看看里面发生了什么变化。经公司一位显微镜专家的帮助,发现镍靶在修复的过程中发生了变化,原来磨得极光的镍表面,现在看来构成了一排大约十块

明显的结晶面。他们断定散射曲线反常的原因就在于原子重新排列成晶体阵列。

这一结论促使戴维森和革末修改他们的实验计划。既然小的晶面排列很乱，无法进行系统的研究，他们就作了一块大的单晶镍，并切取一特定方向来做实验。他们事前并不熟悉这方面的工作，所以前后花了近一年的时间，才准备好新的镍靶和管子。有趣的是，他们为熟悉晶体结构做了很多 X 射线衍射实验，拍摄了很多 X 射线衍射照片，可就是没有将 X 射线衍射和他们正从事的电子衍射联系起来。他们设计了很精巧的实验装置，镍靶可沿入射束的轴线转 360°，电子散射后的收集器也可以取不同角度，显然他们的目标已从探索原子结构，转向探索晶体结构。1926 年继续做电子散射实验，然而结果并不理想，总得不到偶然事件之后的那种曲线。

这时正值英国科学促进会在牛津开会。戴维森参加了会议。在 1926 年 8 月 10 日的会议上，他听到了著名的德国物理学家玻恩讲到，“戴维森和康斯曼……从金属表面反射的实验”是德布罗意波动理论所预言的电子衍射的“证据”。戴维森没有想到自己三年前的实验竟有这样重要的意义。

会议之后，戴维森找到玻恩和其他一些著名的物理学家，让他们看新近得到的单晶散射曲线，跟他们进行了热烈的讨论。玻恩建议戴维森仔细研究薛定谔有关波动力学的论文。这次讨论对戴维森的工作有决定性的影响。回到纽约后，他重新制定了研究方案。有了明确的探索目标，工作进展相当迅速。这时，戴维森已经自觉接受波动理论的指导，有效地发挥自己的技术专长。戴维森和革末的实验装置极其精巧，整套装置仅长 5 英寸，高 2 英寸，密封在玻璃泡里，经反复烘烤与去气，真空度达 10^{-8} 托，即 10^{-6} 帕。散射电子用一双层的法拉第筒（叫电子收集器）收集，送到电流计测量。收集器内外两层之间用石英绝缘，加有反向电压，以阻止经过非弹性碰撞的电子进入收集器，收集器可沿轨道转动。仔细备制的样品是从晶体生产的单晶镍切割下来，经过研磨、腐蚀，取(111)面正对电子束，这是由于镍是面心型晶体，(111)面是这类晶体点阵最为密集的方向。晶体安装在沿入射束方向的轴上，可以随意改变方位。

散射电流取决于四个因素：轰击电流、方位、散射角和轰击电压。已知散射电流与轰击电流之间有简单的正比关系，实验主要考察散射电流跟后面三项的关系。他们做了大量的测试工作。

他们综合几十组曲线，肯定这是电子束打到镍晶体发生的衍射现象。于是，他们进一步做定量比较。然而，不同加速电压下，电子束的最大值所在的散射角，总与德布罗意公式计算的结果相差一些。他们发现，如果理论值乘 0.7，与电子衍射角基本相符。

他们的论文发表在《自然》杂志 1927 年 4 月 16 日的一期上。这篇论文立即引起了人们的注意。不久依卡尔特(Eckart)指出，理论和实验之间的偏差可能是由于电子在晶体中受到折射。戴维森继续实验，发现随着轰击电压增加，偏差越来越小。戴维森和革末在 1928 年 4 月发表的曲线表明电子束反射后的强度随波长改变的关系，随着波长变短，也即加速电压增大，偏差越来越小。根据戴维森的数据，贝特(W.Bethe)推算出金属表面存在内电势，对于镍，内电势约为 15 伏。如果考虑这一因素，理论值和实验值就吻合一致了。至此，戴维森完全证实了电子衍射的存在，为德布罗意的物质波假说提供了重要证据。如果说戴维森发现电子衍射走的是一条曲折的道路，那末，G.P. 汤姆生就是走了一条直路。他是电子的发现者 J.J. 汤姆生的独生子，从小接受到良好的科学教育，在父亲的指导下做气体放电等方面的研究工作。1922 年，30 岁的 G.P. 汤姆生当了阿伯登(Aberdeen)大学教授，继续做他父亲一直从事的正射线的研究，实验设备主要是电子枪和真空系统。他很欣赏 1924 年德布罗意的论文，并于 1925 年向《哲学杂志》投过一篇论文，试图参加有关物质波的讨论。1926 年在牛津召开的英国科学促进会他也参加了，不过当时没有见到戴维森。是玻恩的报告引起他对德布罗意物质波假说的进一步兴趣，促使他按照埃尔萨塞的方案去探讨电子波存在的可能性。他的实验室有优越的条件可以进行电子散射实验。果然当他把正射线的散射实验装置作些改造，把感应圈的极性反接，在电子束所经途中加一赛璐珞薄膜作为靶子，让电子束射向感光底片，不久就得到了边缘模糊的晕环照片。这就是最早电子衍射花纹。

G.P. 汤姆生的电子衍射实验原理的特点是：电子束经高达上万伏的电压加速，能量相当于 10—40keV，电子有可能穿透固体薄片，直接产生衍射花纹，不必象戴维森的低能电子衍射实验那样，要靠反射的方法逐点进行观测，而且衍射物质也不必用单晶材料，可以用多晶体代替。因为多晶体是由大量随机取向的微小晶体组成，沿各种方向的平面都有可能满足布拉格条件，所以可以从各个方向同时观察到衍射，衍射花纹必将组成一个个同心圆环，和 X 射线德拜粉末法所得衍射图形类似。

1937 年，G.P. 汤姆生和戴维森一起，由于电子衍射方面的工作共获诺贝尔物理奖。物质波理论不仅得到电子束实验的证实，还可以从分子束甚至中子束获得验证。

1930 年，分子束方法的创始人斯特恩(O.Stern)和他的合作者用氢分子和氦原子证实普通原子和分子也具有波动性，成功的关键是他们做成了极其灵敏的气压计，可用于检测分子束。原子和分子是中性的，无法用

电场加速，只能从平衡态的热分布中选择某一范围速度内的部分粒子，所以能量非常低，一般只有百分之几电子伏特，相当于波长为 1\AA 。

氢原子束或氢分子束经准直缝投向氟化锂(LiF)单晶，散射后被检测器(即气压计)接收。检测器可以绕轴旋转测不同方位的粒子数。当方位角 $\psi=0$ 时，反射束与入射束处于同一平面，强度最大；改变 ψ 角，强度锐减；当 $\psi=11^\circ$ 时，出现第一衍射峰。

1931—1933 年，斯特恩等人在分子束所经的途中加了一道速度选择器，实验结果大为改善。速度选择器是由两只同轴齿轮组成，轮上沿辐向各刻有 400 多个轮齿。齿轮的转速可以调节，不同的转速选择不同速度的分子(实际上是速度间隔为 $V \rightarrow v + \Delta v$ 的分子)自由地穿过轮齿，到达 LiF 晶体。用这个方法，斯特恩证明氢原子束经 LiF 晶体衍射所得结果与德布罗意关系一致，实验误差不超过 1—2%。

这项精采实验有很深远的意义。自由电子具有波动性可能还比较容易被人们接受，因为电子本身就是一种难以捉摸的微观粒子，波动性也许就是它的某种特性。当证明氢分子和氢原子一类的中性物质同样也具有波动性时，就不能不使人们确信波粒二象性是物质的普遍属性了。

另一项值得提到的是核粒子的波动性，其中尤以中子衍射的研究最有价值。中子是 1932 年发现的，1936 年就有人观测到中子的衍射现象。不过那时中子束是从最原始的中子源即镭铍源获得的。

40 年代以后，各种反应堆发展起来了，有可能获得较强的中子束。这时中子衍射不但又一次提供了物质波的实验证据，而且被利用于探测物质结构，成了材料科学中的一门重要实验技术。

3、电磁质量的波粒二象性

前苏联科学家瑞德尼克在他的《量子力学史话》一书中更是一针见血地指出：“今天，决定微观世界统一的最深刻本质的全部问题，就是物理学所面临的尚未征服的山峰中的最高峰：物质的两种基本形式——实物(粒子)和场(波)——之间的相互关系。” Einstein 曾说过：“科学的现代发展中所发生的最基本的问题之一是：怎样把物质和波这两种对立的观点统一起来。这是一个最基本的困难问题之一，一旦解决了，一定会导致科学的进展。”(《物理学的进化》)

Einstein 多次强调：物理学目前的局面是：有一些现象可以用量子论来解释，但不能用波动说来解释，光电效应就是这样一个例子”又有一些现象只能用波动说来解释而不能用量子论来解释，典型的例子是光遇到障碍物会弯曲的现象”还有一些现象，既可用量子论又可用波动说来解释，例如光的直线传播”我们以前曾经提出过：光到底是波还是一阵微粒？现在我们又问：电子是什么？是一阵粒子还是一阵波？电子在外电场或外磁场中运动时的行为像粒子，但在穿过晶体而衍射时的行为又像波”对于物质，我们又遇到了在讨论光时所遇到的同一困难”Einstein 和玻尔们虽然接受了马赫的思想，但并未充分认识经验实践主义对形而上学对立性批判的伟大意义，他们挺枪跃马冲破了形而上学重围，却在最后一道壁障前止步，仍限于微观与宏观的对立。玻尔提出了互补原理(或称并协原理)，认为微观粒子具有波粒二象性，波动性和粒子性不能同时同一实验中表现出来，只能在互斥的两类实验中分别表现出来。玻尔的互补原理参考了中国的阴阳理论，玻尔认为太极图可以图示互补性，并把太极图作为自己的徽章。其实波粒二象决不能看作是波与粒两种孤立形式放在一起，也不能认为是此时为波，彼时为粒，它是一个不可分割的整体。从局部看为粒，从整体看为波、为场。

1926 年德国物理学家玻恩提出物质波的某个地方的强度跟在该处粒子痴线几率成正比，物质波是一种几率波。

量子力学认为宏观物体存在物质波，显然这与广义相对论是矛盾的，由于广义相对论反映了引力质量的物理特性，引力质量不具有波粒二象性，因此不能利用相对论解释波粒二象性，德布罗意的假设不适用于宏观物体，广义相对论的基础更加牢靠，文章开始时的矛盾不存在。现代物理学实验中观察的电子的物质波原因在于电子具有电磁质量，说明电磁质量具有波粒二象性，而非群体效应。

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：

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

根据能量守恒定律可知，在仅考虑电磁相互作用时，如果带电粒子在运动过程中既不辐射也不吸收电磁波，那么其能量将保持不变。在这种情形下，由(5)式和(6)式可知，带电粒子的运动必须满足下面的两个基本条件：

$$\nabla \times \vec{J} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{1}{\epsilon_0} \nabla \rho + \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \vec{J} = 0 \quad (8)$$

根据矢量分析，可由(7)式引入一个标量场 φ ，使得：

$$\vec{J} = \nabla \varphi \quad (9)$$

把(9)式代入(8)式可得 $\nabla(\rho + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \varphi}{\partial t}) = 0$ 。从电磁场理论本身所固有的对称性来看，应该令该式括号内的部分为零。于是有：

$$\rho = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (10)$$

另外，电荷守恒定律是自然界的精确规律之一，其表达式为：

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial}{\partial t} \rho = 0 \quad (11)$$

把(9)式和(10)式代入(11)式，可得波动方程：

$$\nabla^2 \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \varphi = 0 \quad (12)$$

上述论证表明，在能量保持不变的情形下，带电粒子的运动必须采用波动方式来描述，而且波的相速度应为光速。

质子和中子不是点粒子，它们都具有内部结构。在 30 年代，理论物理学家认为作为核子的质子和中子是基本粒子，应该象点粒子，根据狄拉克的相对论性波动方程，质子的磁矩是一个单位核磁子，中子由于不带电，因而磁矩是零。但出乎意料的是，实验家斯特恩测得的质子磁矩却为 5.6 个单位核磁子，中子磁矩也不是零，而是 -3.82 个单位核磁子，与点粒子理论相悖。这些都清楚地说明质子、中子并不是我们想象的那样简单，它们可能是具有内部结构的。60 年代，霍夫斯塔特等人用高能电子轰击核子，证明核子电荷呈弥散分布，核子的确具有内部结构。既然核子并不是点粒子，那么其内部的物质是怎样分布的呢？也许有三种情形：或者核子内有一个硬核，核子象一枚桃子；或有许多颗粒，象石榴一样有许多子；或没有颗粒，疏松如棉絮状。具体属哪一种情形，要靠深度非弹性散射实验来作进一步决定。深度非弹性散射实验指用极高能电子去撞击质子或中子，使后者激发到一个个分立的能级即共振态，甚至达到使 π 介子离化出来的连续激发态。非弹性散射实验会改变质子、中子的静止质量。实验表明，质子、中子内部有一个个点状的准自由的粒子，它们携带有一定动量和角动量。

中子虽然不带电，没有轨道磁矩，但实验表明中子具有自旋磁矩。中子具有自旋磁矩这个事实说明，中子作为一个整体虽然不带电，但其内部却存在电荷分布，并且其自旋磁矩与自旋角动量的方向相反，与电子的情形相似。现代的精确测量表明，质子的磁矩 $m_p = 2.79285 \text{ mN}$ ，中子的磁矩 $m_n = -1.91304 \text{ mN}$ 。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。在原子物理中中性粒子的变速运动并不是绝对地不辐射电磁波，事实上现代物理使用中就是利用中性粒子的磁矩辐射来探索其中的电荷分布的。中性粒子的变速运动不辐射电磁波，只是在低速情况下的低阶近似而已。任何微观粒子都有自旋，有自旋就有自旋磁矩，这个是中子场的内禀旋转对称性造成的。因

此在实验上可以观察到中子的波动性，如果换成只有引力质量的中微子应该没有波动性，鉴于此笔者认为物质波和电磁波应该是同一种波。

2008年2月，瑞典龙灯大学的一组物理团队首先拍摄到电子能量分布的视讯影像。科学家使用非常短暂的闪光，称为阿托秒脉冲，率先捕捉到电子运动的实际运动状况。**笔者认为这主要是电子不但具有引力质量也具有电磁质量的缘故。**

甘永超给出了“波粒二象关系式（简称‘甘永超公式’）”：

$$\begin{bmatrix} \varepsilon \\ p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hbar & 0 \\ 0 & \hbar \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ k \end{bmatrix}$$

波粒二象关系式（Gan 矩阵与Gan 变换）

公式 $\varepsilon = \hbar\omega$ 获1918年诺贝尔物理学奖

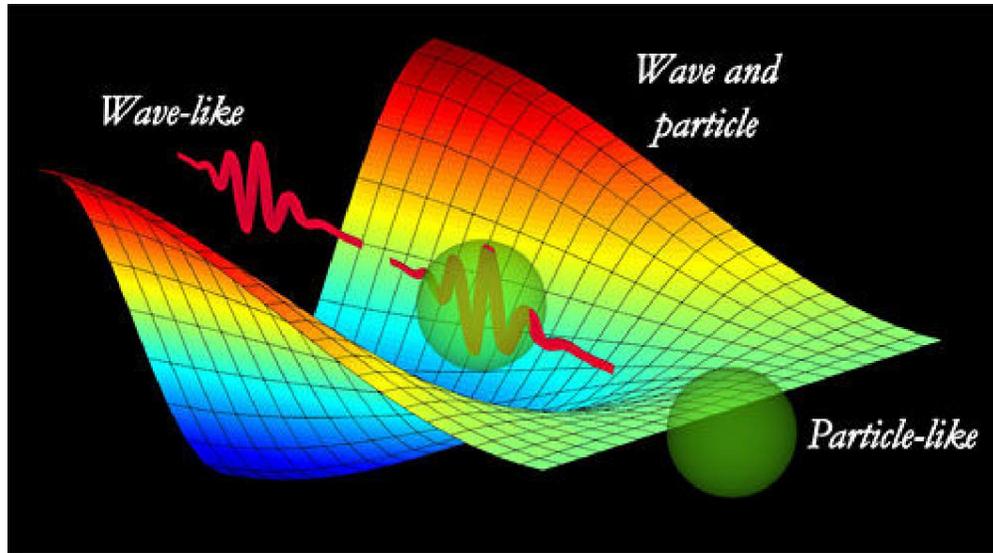
公式 $p = \hbar k$ 获1929年诺贝尔物理学奖

”

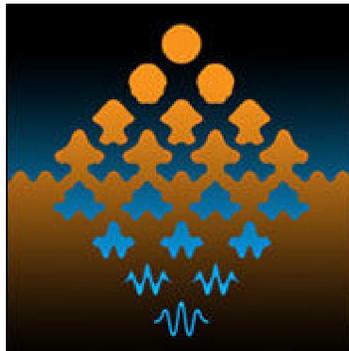


最基本的物质单元——太极粒子（黑）波（白）

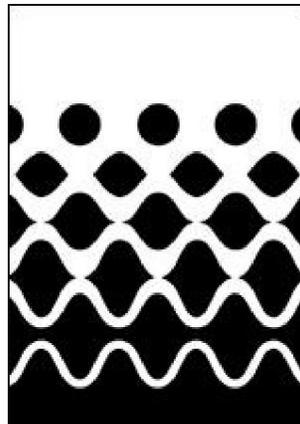
附录：科学家同时观察到光的波粒二象性



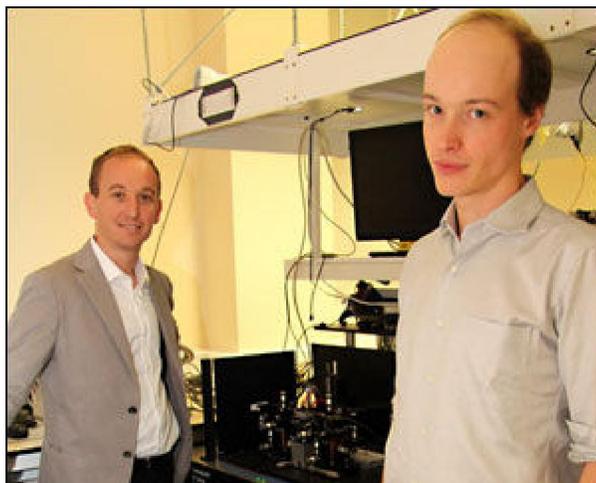
上面的想象图演示的是单光子穿过干涉仪时的情景，干涉仪的输出端装有量子分光镜。图中远处可以看到正弦振荡的波形，表示的是单光子干涉，是一种波动现象。而在图片近处，观察不到振荡，说明只表现出粒子的特性。在两种极端之间，单光子的行为连续不断地从波的形式向粒子形式转变，图中显示了这两种状态的重叠。



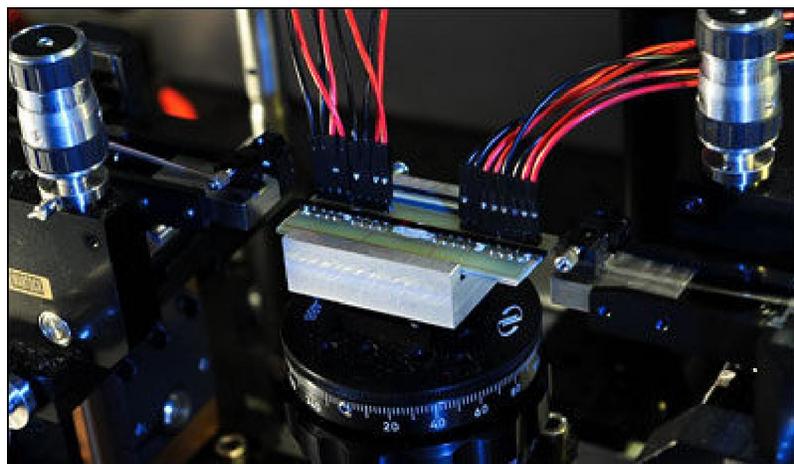
受艺术家毛里茨·科内利斯·埃舍尔作品的启发绘制的艺术图，显示了光在粒子态和波形态之间的连续变化。



受艺术家毛里茨·科内利斯·埃舍尔作品的启发绘制的艺术图，显示了光在粒子态和波形态之间的连续变化。



阿尔贝托·佩鲁佐(左)和彼得·夏伯特(右)，研究论文的并列第一作者。



实验中用以检测波粒二象性的量子光子芯片。单光子通过光纤进入环路，在输出端被极其敏感的探测器检测到。

北京时间 11 月 8 日消息，长久以来，人们都知道光既可以表现出粒子的形式，也可以呈现波动的特征，这取决于光子实验测定时的方法。但就在不久之前，光还从未同时表现出这两种状态。

关于光是粒子还是波的争论由来已久，甚至可以追溯到科学最初萌芽的时候。艾萨克·牛顿提出了光的粒子理论，而詹姆斯·克拉克·麦克斯韦的电磁学理论认为光是一种波。到了 1905 年，争论出现了戏剧性的变化。Einstein 提出光是由称为“光子”的粒子组成，借此解释了光电效应。他也因此获得了诺贝尔物理学奖。光电效应的发现对物理学影响深远，并为后来量子力学的发展作出了重大贡献。

量子力学在对微小粒子，如原子和光子的行为预测上，具有惊人的准确性。然而，这些预测非常违反直觉。比如，量子理论认为类似光子的粒子可以同时在不同的地方出现，甚至是同时在无穷多的地方出现，就像波的行为一样。这种被称为“波粒二象性”的概念，也适用于所有的亚原子粒子，如电子、夸克甚至希格斯玻色子等。波粒二象性是量子力学理论系统的基础，诺贝尔奖获得者理查德·费曼将其称为“量子力学中一个真正的奥秘”。

刊于《科学》杂志上的两组独立研究，利用不同的方法对光从波形态向粒子态的转变进行了测定，以揭示光的本质面貌。两组研究都来源于理论物理学家约翰·惠勒于上个世纪 80 年代进行的经典实验。惠勒的实验提出，观察光子时应用的方法，将最终决定光子的行为是像粒子还是像波。

阿尔贝托·佩鲁(Alberto Peruzzo)是布里斯托大学量子光子学中心的研究员，在他的带领下，一个由物理学家和量子理论物理学家组成的团队根据惠勒的实验设计了新的方法，以同时观测光的粒子性和波动性。他们利用光分离器使一个光子纠缠另一个光子。通过对第二个光子的测定，来决定对第一个光子的测定方法。这一过程使研究者得以探索光从波的形式向粒子态转变的过程。

“这种测量装置检测到强烈的非定域性，证实了实验中光子同时表现得既像一种波又像粒子，”佩鲁佐说，“这对光或者是波形态，或者是粒子态的模型是非常有力的反驳。”

量子光子学中心的主管杰里米·奥布莱恩(Jeremy O' Brien)说：“为了进行这项研究，我们使用了一项新颖的量子光子芯片技术。这种芯片具有可重构性，即它可以根据不同的电子环路来进行编程和操控。这项技术在今天的量子计算机研究中处于十分领先的地位，而在未来，它还将带来更多有关量子力学尖端研究的重要成果。”

尼斯大学国家科学研究中心的弗洛里安·凯瑟(Florian Kaiser)利用纠缠光子对实现了惠勒的实验。一个光子通过干涉仪被探测到，使研究者能够测定第二个光子的状态，是像波的形式还是粒子形式，或者是二者之间。他们的实验也实现了光子从波的形式向粒子状态的连续转变。(来源：新浪科技 任天)

4、EPR 悖论的根本性解决

《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：36。薛定谔的猫是死还是活？37。EPR之谜能否解决？量子力学诠释的另一派系是所谓的决定论诠释。它的代表人物是薛定谔、德布罗意、Einstein、马德隆、玻姆、玻普尔、布洛欣采夫等人。薛定谔把电子看作实质上是一团带电物质作松紧振动的实体波，物质波完全可以象电磁波、声波那样在时空上传播，原子发光就象无线电发射机的天线发射无线电波那样容易地解释。这就排除了量子跃迁之类含糊不清的粒子概念。薛定谔在赋予 ψ 电磁意义的同时，把 $m|\psi|^2$ 当作物质密度分布，把 $e|\psi|^2$ 当作电荷密度分布， $|\psi|^2$ 被理解为“权值函数”，电子的“流动行为”遵从连续性方程，电子的粒子性和波动性分别由“波包”和“密度分布”来体现。葛

薛氏的电磁解释面临四大困难：一是波包扩散，二是波包收缩，三是对动量和位置表象变化的理解，四是波函数多维空间困难。薛定谔完全放弃粒子图景，把电子看成一团带电物质的连续分布或一个波包实体的观点，不能被哥本哈根学派所接受。葛

德布罗意是决定论的又一重要代表人物。德布罗意认为，量子力学的波动方程具有两种不同的解，一个是具有统计意义的连续波 ψ 函数，另一个是奇异解。奇点构成所讨论的粒子。具有统计意义的连续解 ψ 为平面单色波，它起着导航作用，指导电子的行动。在德布罗意那里，构成物理实在的不是波或粒子，而是粒子和波。粒子和波既不是分离物，也不是有机的统一体，而是一种混和物，粒子骑在波上，波引导粒子而行。德布罗意模型中粒子骑在波上，波是什么？从哪里而来？当粒子遇到障碍或照相底片时波又哪里去了？凡此种种德布罗意难以提供任何有说服力的解释。1927年夏，在布鲁塞尔索耳威大会上，德布罗意模型遭到了大会全体一致的否定。“从形而上学的角度看，Einstein过去一直在努力发现上帝的意图，找出上帝是怎样创立这个世界的。现在Einstein进一步扩展了自己的视野，他想证明上帝在创造世界时是否真的有所选择。他经常说：‘我最感兴趣的是上帝在建造这个世界时是否有所区别，换句话说，这种对逻辑简单性的追求是否有所遗漏。’”【1】1935年5月，在Physical Review上Einstein和他的两位同事B. Podolsky和N. Rosen共同发表了一篇名为「Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?」(量子力学对物理世界的描述是完备的吗?)三个人异口同声地回答：「不!」。在这篇著名的文章中，作者首先阐述了他们对物理理论的看法：一个严谨的物理理论应该要区别「客观实体」(object reality)以及这个理论运作的观点。客观实体应独立于理论而存在。在判断一个理论是否成功时，我们会问自己两个问题：(1)这个理论是否正确?(2)理论的描述是否完备?只有当这两个问题的答案是肯定时，这样的理论才是令人满意的。理论的正确性当由实验来决定。而关于量子力学的描述是否完备则是这篇文章探讨的主题。在进一步讨论理论的完备性之前，我们必须先定义什么是完备性。作者们提出了一项判别完备性的条件：每一个物理实体的要素必须在理论中有一对应物(every element of the physical reality must have a counterpart in the physical theory)因此我们决定了什么是「物理实体的要素」，那么第二个问题就容易回答了。那么，究竟是什么「物理实体的要素」呢？作者们以为：「如果，在不以任何方式干扰系统的情况下，我们能准确地预测(即机率为一)某一物理量的值，那么必定存在一个物理实体的要素与这个物理量对应。」他们认为，只要不把这个准则视为一必要条件，而看成是一充分的条件，那么这个判别准则同样适用于古典物理以及量子力学中对实在的概念。举例来说，在一维系统中，一个以波函数 $\varphi(x) = \exp(ip_0x/2\pi\hbar)$ (其中 p_0 是一常数， i 表纯虚数， \hbar 为Planck常数)描述的粒子。其动量的算符为 $\hat{p} = -i\hbar \frac{d}{dx}$ ，因此： $\hat{p}\varphi(x) = p_0\varphi(x)$ ，所以动量有一确定的值 p_0 。因此在这种情形下动量是一物理实体。反之，对位置算符 \hat{q} 而言， $\hat{q}\varphi(x) = x\varphi(x) \neq a\varphi(x)$ ，

因此粒子的位置并没有一确定的值。它是不可预测的，仅能以实验测定之。然而任何一实验的测定都将干扰到粒子而改变其状态，被测后的粒子将再也不具动量 p_0 了。对于此情况，我们说当一粒子的动量确定时，它的位置并非一物理实体。一般来说在量子力学中，对两个不可对易的可观察量(observable)而言，知道其中一个物理量的准确知识将排除对另外一个的准确知识。任何企图决定后者的实验都将改变系统的状态而破坏了对前者的知识。至此，作者们发现我们面临了如下的两难局面：(1)或者，在量子力学中波函数对物理实在的描述是不完备的。(2)或者，两个对应于不可对易算符的物理量不能同时是实在的(即具有确定的值)。因为，若两个不可对易的物理量同时具有确定的值，根据作者们对完备性的条件，在波函数的描述中应包含这些值。但事实上并非如此，因此波函数的描述是不完备的。在量子力学中，通常假设了波函数包含了描述物理系统一切完备的资讯。乍看之下，这样的假设似乎很合理。然而，Einstein 等人指出，在这个假设之下，配合他们对物理实体的判别准则，将导出(2)也是错的。因此这是一个矛盾。这就是著名的 EPR 悖论(EPR paradox 或 EPR dilemma)。

Einstein 等设计了一个理想实验来证实他们的观点。假设现在有两个粒子在 $t=0$ 到 $t=T$ 的时间之内相互作用，但在 $t>T$ 之后分开，不再有任何交互作用。根据 Schrodinger 方程式，我们仍然可以算出以后任何时刻两个粒子的状态。现在，注意到两个粒子动量和算符 p_1+p_2 及位置差算符 x_1-x_2 是可对易的。因此可以同时具有确定的值，即有共同的本征态(eigenstate)。例如 $\Psi(x_1, x_2) = D(x_1 - x_2 - a)$, D 是 Dirac 的 delta 函数。这代表了动量和为零以及位置差为 a 的本微态。现在假如我们去测量粒子 1 的位置，而得到结果 x_1 ，那么，我们可以同时地肯定粒子 2 的位置必定是 $x_1 - a$ 。换言之，在不扰动粒子 2 的情形之下我们便可确定粒子 2 的位置。因此，根据 EPR 的判别准则，粒子 2 的位置是实在的。同样的，若是我们去测量粒子 1 的动量而得到结果 p ，我们也能肯定粒子 2 具有动量 $-p$ 。因此粒子 2 的动量也是实在的。由于两个粒子已经足够地分开，而没有任何交互作用，粒子 2 不可能知道我们究竟要测量粒子 1 的位置还是动量，从而「决定」它要在位置 $x_1 - a$ 或具有动量 $-p$ ，这两个量必定是同时存在的(即使我们不能同时去量它们)。换言之，就是违反了前面 (2) 的条件。

在假设 (1) 错的情形之下，Einstein 等推出了 (2) 也是错的结论，而这是不可能的。因此(1)一定是对的。所以 Einstein 等大胆的宣布，量子力学的描述必是不完备的。在获得了这样的结论之后，Einstein 等同时期待了一个新而完备的理论将会出现。

纵观 Einstein 的论证，我们发现他们的推论中隐含了两项假设：(1)物理实在是独立于观测者而客观地存在的。(2)两粒子间传递讯息的速度不能超过光速，不存在超距作用(action-at-a-distance)。这项假设后来被称为 Einstein 定域性原理(locality principle)。

将 Einstein 的物理实在观与光速极限性结合起来，可以得出 Einstein 可分隔性原理或定域性原理，它可以表述为：不存在瞬时超距作用；若没有以不大于光速的速度传递的物理信号建立联系，空间中分离的客体的实在状态是彼此独立的。为了论证量子力学的不完备性，早在 1935 年，Einstein 和波多尔斯基、罗森一起提出了一个假想实验(通称为 EPR 理想实验或 EPR 论证)。他们考虑两个自旋为 $\pm 1/2$ 的粒子 A 和 B 组成的总自旋为零的体系。设在 t_0 之前的一段时间内两个粒子之间存在相互作用，然后用不影响每个粒子自旋的方法使其分开，当 $t > t_0$ ，二者在空间上相距甚远，不再有相互作用。按照 Einstein 可分隔性原理，在这种情况下，对粒子 A 的测量不应当立即对粒子 B 发生任何影响。量子力学预言，只要测出 A 自旋的某一分量，就能立即得知 B 自旋的同一分量值。按照量子力学理论，微观客体在测量之前一般并不处于确定的本征态，测量操作得出粒子 A 自旋在某一方向上的分量，粒子 A 本身也就进入取该自旋分量值的本征态。可是，相距甚远的粒子 B，既不与粒子 A 也不与仪器有相互作用，怎么会使自己的自旋在同一方向上立即取相反的值呢？考虑到上面的叙述对任意方向的自旋测量都成立，即可以任意改变仪器测量的方位都得到上述结论，问题就变得更为严重。这意味着仪器测量 A 自旋的事件对粒子 B 产生了影响，并且这种影响是超光速瞬时传递的。这在 Einstein 看来是不可接受的。Einstein 认为，为了消除上述悖论，人们只能肯定下述两个论断中的一个：“要么量子力学不完备，要么就必须假设存在超距作用。”我们知道，Einstein 断然维护了定域性原理，否定了量子力学的完备性。

同年十月，Bohr 也在 Physical Review 上发表了一篇同名的论文，反驳 Einstein 等人的观点。Bohr 首先批评了 EPR 对物理实体的判别准则。Bohr 以为一个物理量只有在当它被测量之后才是实在的。在 EPR 的理想实验中，虽然我们对粒子的测量的确会得到预期的结果，然而只有在我们安排此一实验测量之后，该物理量(位置或动量)才是实在的。所以 EPR 的判别准则是有问题的。其次 Bohr 分析了 EPR 的理想实验，认为两个粒子在分开之后，仍然存在着某种关联性。因此在对粒子 1 做测量时，仍应视为对整个系统的扰动。换言之，Bohr 并不赞同 Einstein 的定域性原理。量子力学是一个和谐的数学形式体系。它的预测与微观领域

的实验结果都符合得很好。既然一个物理理论的预测都能够被实验所证实，而且实验又不能得出比理论更多的东西，那么，我们还有什么理由对这个理论提出更高的「完备性」要求呢？量子力学确实描述了微观客体对宏观仪器的度量表现，这种巨观度量只能得出微观客体运动的统计结果。量子力学也只能透过这些巨观表现去猜测微观客体的某些属性，它确实反映了以作用量子为下限的客体之运动状况。因此，从它自身逻辑的相容性与和经验符合的程度来看，Bohr 认为，量子力学是完备的。

量子移物最现实的应用是量子计算领域，它的优点是使接收者可以立即收到传输的信息，而无须等待信息以普通方式传输，因此倍受重视。而量子移物实验，正是 Einstein 与玻尔的争论直接引发的。Einstein 主张，应该尝试把握独立存在于观测之外的现实，但他也意识到，当把独立的物理现实赋予纠缠对中个体粒子时，就会落入玻尔的整个系统考虑的主张。即对纠缠对而言，就是必须把两个粒子的组合放在一起考虑，这样 Einstein 所需要的每个粒子的独立真实状态对于纠缠的量子系统来说毫无意义。同样，这对海森伯也是一个冲击。海森伯测不准原理决定了不可能同时知道某一物体的精确位置和它的动量，因此也就不可能对远距离传送的物体进行理想的扫描，每个原子和电子的位置和速度都可能出现误差。这也适用于其它成对的量，从而使人们不可能准确而全面地测定任意物体的量子状态，但这种测量又必须获得全部必要信息才能准确地描述物体。然而运用量子学的纠缠特性，却能回避海森伯测不准原理所施加的限制，而不违反其法则。这就是 1993 年由 IBM 科研组的 Charles H · Bennett 等人发现的运用量子力学本身来进行传送的途径。

这道理是：两个光子偏振的纠缠是随机的，但却是完全一致的，因此它们的相速度与群速度也是随机的，但在真空中又是一致。光束甚至单个光子都由电磁场振荡构成，而偏振与电场振荡的取向有关。当一束激光通过如 硼酸钡之类的晶体时产生纠缠的光子对，晶体有时把单个的紫外线光子转变为两个低能光子，一个垂直偏振，一个水平偏振。如果光子恰好沿锥面交线通过，那么两个光子的偏振都不确定，但它们的相对偏振是互补的，因而它们产生纠缠现象。而非偏振的光包括在各个方向上振动的光子。在偏振光中光子的电场振荡全部具有相同的方向。方解石晶体把一束光线一分为二，其偏振方向与它的轴平行的光子形成一束光线，而偏振方向与它的轴垂直的光子形成另一束光线。处于中间角度的光子则进入两束光线的量子叠加状态。每个这样的光子都能够在这束或那束光线中探测到，其概率依它的角度而定。由于涉及到概率问题，我们不能确切地测出单个光子的未知偏振状态。因此理想的量子移物过程，是依靠发送者（她）和接收者（他）分享一对纠缠粒子 A 和 B 来完成。发送者有一个处于未知量子状态 X 的粒子，她对粒子 A 和 X 进行了贝尔态测量，得出 4 种可能结果中的一种。她使用普通方法把结果告诉接收者。接收者根据发送者的结果使粒子保持不变（1）或者让它改变（2、3、4）。两种方法都可以产生初始粒子 X 的理想复制品。这里，发送者获得这四种可能结果中的哪一种是完全随机的，不依赖于光子 X 的初始状态。因此接收者在了解发送者的测量结果之前一直不知道如何处理他的光子。可以说，接收者的光子在一瞬间便包含了来自发送者的初始态光子、并通过量子力学原理的作用传输过来的所有信息。然而，要知道如何解读信息，接收者还必须坐等经典信息传输过来，此信息包含两个比特，其传输速度不能大于光速。这里是否可以说，传输的东西仅仅是光子的偏振，或者是它的量子状态，而不是光子“本身”呢？不能，由于光子的量子状态就是它的确切特征，所以传输光子的量子状态便等同于传输光子本身。但由于完全复制量子信息是不可能的，因此发送者的测量实际上使得光子 A 和光子 X 纠缠，而光子可以说失去了所有有关它初始状态的记忆。作为纠缠中的一个光子，它没有单独的偏振。所以，光子 X 的初始状态从发送者处消失了。

此外，光子 X 的状态是在发送者和接收者都完全不了解的情况下传输给接收者的。发送者的测量结果是完全随机的，没有显示有关光子状态的任何信息。测量过程就这样避开了海森伯原理，即只要不试图去测量其状态，这个原理并不影响整个状态的传输。并且，传输的量子信息实质上没有从发送者传到接收者。实际传输的所有信息只是有关发送者测量结果的消息，它告诉接收者如何处理他的光子，却没有传送关于光子 X 状态本身的信息。

在四种情形中的一种情况下，发送者顺利地完成了测量，接收者的光子便立即变得与发送者的光子的初始状态完全相同。看起来似乎是信息立即从发送者传到了接收者，从而打破了 Einstein 的速度限制。但是这个奇怪的特征不能用于发送信息，因为接受者没法知道他的光子已经变成了发送者的光子的复制品。这又说明，即使量子力学在相隔一定距离的情况下幽灵般地发生瞬时作用，也不能以大于光速的速度传送有用信息。

量子移物还可以是一种搭骑在发送者的辅助光子 A 背上的量子状态：辅助光子对根据光子的位置纠缠，光子 A 被分束器分裂后，发送到发送者的装置的两个不同部分，而这两部分通过纠缠与接收者的光子 B 的相似分裂联系起来，要传输的状态也被发送者的光子 A 所携带，即它的偏振状态。1997 年罗马第一大学的研究组成功地演示了这一方案。他们所利用的光子偏振特性是离散的量，其中任何偏振状态都可以恰好表示为两个离散状态（例如垂直偏振和水平偏振的叠加）。和光相联系的电磁场同样具有等于无穷多个基本状态

的叠加的连续特性。比如，光速能够被“压缩”，这意味着可以把光的一个特性变得极其精确，或是无噪声，但付出的代价是另一个特性变得更加不确定。这里又把缠结同模糊联系起来，确定的界是与模糊的界缠结在一起的。1998年加州理工学院的 Jeffrey Kimble 研究组将这样一个压缩状态从一束光传输给另一束光，由此演示了连续特性的传输。

缠结在量子计算领域的运用是跟采用量子比特有关。例如量子逻辑可以是 0 和 1 的量子叠加态，就像光子可以是水平偏振和垂直偏振的叠加态一样。事实上，三旋正是能够同时将许多不同输入的叠加进行工作，从而说明它具有缠结的特性。从缠结特征出发，来审视物理学中从经典到现代前沿的平衡、对称、守恒等概念，它们全都有些相通之处。例如，如果把汤川秀树说的基本粒子的自旋是一种内禀现象，和卡鲁扎-克莱因遗产中的第五维是微小圈结合起来，就是我们说的 50 年前萌生的三旋环量子理论。一个环量子类圈体能作面旋（如圈体的滚动）、体旋（如圈体的翻动）、线旋（如圈体表层绕中心的免动）。线旋又分为平凡线旋（如普通的圈体免动）、不平凡线旋（如墨比乌斯体类扭动）、收敛线旋（如克莱因瓶类反馈）、节点线旋（如艾根指的从化学进化到生物学进化阶段中的超循环运动）、孤立线旋（如水中的孤波）。因收敛线旋、节点线旋和孤立线旋不具有全对称性，计算自旋态时应除开外，在存在一个不动点质心的情况下，一个全对称的环量子类圈体能不相矛盾具有 62 种自旋状态，即 31 倍于球量子粒子客体自旋态。所以波姆对隐秩序的维数计算，从环量子类圈体模型的角度也是可以理解的，即隐秩序存在于非粒子环量子圈态客体中。有了隐秩序这种三旋模型，反过来对于 Einstein、波多尔斯基、罗森发现的量子 EPR 效应也好理解。

笔者认为，波粒二象性是电磁质量的物理特性，对于宏观物体主要表现为引力质量，薛定谔的猫是死还是活以及 E P R 之谜根本就不存在。

参考文献：

【1】《Einstein 传》 744 页【美】A·弗尔辛 著 薛春志 遥遥 译 时代文艺出版社出版，1998 年 10 月第 1 版

第五章 电磁作用与弱相互作用之间的关系新探

1、强相互作用的提出过程回顾

粒子结构理论既是粒子物理的基础理论，又是粒子物理的前沿课题。由于它讲的是物质的基本组成，所以这个理论正确与否，对粒子物理及许多相关学科的发展有极大的影响。所谓粒子结构理论都包含有两部分内容：一是确定现已发现的全部粒子（习惯上通称基本粒子）中，哪些是基本粒子，哪些是复合粒子。二是说明这些基本粒子如何组成复合粒子的。

1935 年，汤川秀树提出“介子论”，对质子和中子的结合做了很圆满的解释。汤川秀树假设质子和质子间，质子和中子间，中子和中子间，都另有一种交互吸引的作用力，在近距离时远比电荷间的库仑作用力为强，但在稍大距离时即减弱为零（为了解释从氦核到氦核（ α 粒子）结合能迅速增加的事实，他和维格纳一起认识到，核力的力程一定很短），这种新作用称为核子作用或强作用，它是由于交换一种粒子称为介子而生的交互作用。他说，质子（为费米子）和中子会扭曲周围的空间（核力场），为了抵消此一扭曲，遂产生了虚介子（介子为玻色子），藉着介子的交换，质子和中子才能结合在一起。结合相对论和量子理论以质子和中子间新粒子的交换（介子叫“ π 介子”）描述原子核的交互作用，汤川秀树推测粒子的质量（介子）大约是电子质量的 200 倍，这是原子核力介子理论的开端。质量为电子 200 倍的粒子在宇宙射线中被发现，那时物理学家最先想到的是，它就是汤川秀树的 π 介子，后来才发现它是 μ 介子。

物理学家把质子（P）、中子（N）， π 介子，K 介子等一类参与强相互作用的粒子叫强子；把像电子、 μ 子等一类只参与弱相互作用、电磁相互作用而不参与强相互作用的粒子叫做轻子。那些和质子差不多重的粒子叫重子；而重得多的粒子则叫超子。如 Λ 超子、 Σ 超子等；质量介于重子和轻子之间的粒子称介子，但现在看来这种分法有点过时了，如 τ 轻子的质量达 $3477.4m_e$ 。

在大阪大学工作不久，在 1935 年汤川秀树提出介子学说，以“基本粒子的相互作用”为题，发表了介子场论文。当时量子电动力学正处于初始阶段，人们已逐渐认识到，电磁相互作用可以看作是在荷电粒子之间交换光子，光子是电磁场的“量子”，它以光速运动。参照这一理论，汤川把核力设想为带有势函数 $U(x,y,z,t)$ 的特定场中的相互作用，这种场导致所谓 U 量子，U 量子是核强相互作用时交换的粒子，其静质量约为电子的 200 倍（后来命名为“介子”），即质子和中子通过交换介子而相互转化（《论基本粒子的相互作用》）。

他预言，作为核力及 β 衰变的媒介存在有新粒子即介子，还提出了核力场的方程和核力的势，即汤川势的表达式。按照这一理论，质子和中子通过介子可以带正、负电荷或者是中性的，一个介子可以转化为一个电子和不带电的轻子（即中微子）。交换介子而互相转化，核力是一种交换介子的相互作用。1937 年 C.D.

安德森等在宇宙线中发现新的带电粒子（后被认定为 μ 子）之后，经 C.F. 鲍威尔等人的研究，于 1947 年在宇宙射线中发现了另一种粒子，认定是汤川秀树所预言的介子，被命名为 π 介子。由于在核力理论的基础上预言介子的存在。

汤川秀树和坂田昌一等人于 1937 年展开了介子场理论的研究。1947 年提出了非定域场理论，试图解决场的发散问题。在 1953 年 9 月在京都召开的国际理论物理学会上，汤川秀树发表了非定域场的统一理论。

早在 20 世纪 50 年代末，费米和杨振宁曾把 π 介子看成是正、反核子对组成的复合粒子（费米—杨模型）。后来坂田认为质子、中子和 Λ 超子以及它们的反粒子是基本粒子，其他强子都是由这些基本粒子组成的（坂田模型）。这两个模型都很粗糙。1964 年美国科学家盖尔曼提出《夸克模型》：几百种强子皆是由少数几种夸克组成的。介子由一对正、反夸克组成，重子由三个夸克组成。这个模型大有进步，它可以解释重子、介子的自旋、电荷特征。但仍有许多问题无法解释，其中最著名的是 $e-\mu$ 之谜，盖尔曼把它列为粒子物理中的头号大难题。

由于盖尔曼 1961 年提出的粒子周期表成功预见 Ω -新粒子的存在，使他荣获了 1969 年诺贝尔物理学奖，因为他把获奖原因说成是他提出了《夸克模型》，使人们误认为《夸克模型》已被实验证实，从而对它的正确性深信不疑。然而实际情况是：《夸克模型》一提出，实验科学家就一直在寻找这个模型中的基本粒子夸克，可是至今没有找到。

1973 年，维尔切克，格罗斯，波利策三位物理学家用完美的数学公式提出了一种新理论。乍一看，他们的理论是完全矛盾的，因为对他们的数学结果的解释表明，夸克间的距离越近，强作用力越弱。当夸克间彼此非常接近时，强作用力是如此之弱，以至它们的行为完全就像自由粒子。物理学家们将这种现象称为“渐近自由”，即渐近不缚性。反过来也是正确的，即当夸克间的距离越大时，强作用力就越强。这种特性可用橡皮带的性质来比喻，即橡皮带拉得越长，作用力就越强。渐近自由理论解释了质子和中子的成分夸克为何从来都不会分离。这一发现导致了一个全新的理论——量子色动力学的诞生。这一理论对标准模型有着重要的贡献。标准模型描述了与电磁力、强作用力、弱作用力有关的所有物理现象，但它并没有包括重力。在量子色动力学的帮助下，物理学家终于能够解释为什么夸克只有在极高能的情况下它才会表现为自由粒子。量子场论中已经指出：在弱作用去耦前，引力和电磁力是统一的，弱作用去耦后二者才分离。另外，电子的质量主要是耦合成电子的色胶子间的强相互作用导致的，电磁相互作用倒是次要的。

2、现代粒子结构的发展

（一）《自然》：最新研究证实存在物质—反物质分子

作者：任霄鹏 来源：[科学网 www.sciencenet.cn](http://www.sciencenet.cn) 发布时间：2007-9-13 15:38:27 图片说明：超高真空室靶室。在这里，正电子被射入多孔石英膜。

美国科学家的一项最新研究，找到了物质和反物质结合的确凿证据。在 9 月 13 日《自然》杂志发表的一篇文章中，加州大学河畔分校的 David Cassidy 和 Allen Mills 表示，他们发现了两个电子偶素（positronium，简称为 Ps）可以相互结合，形成分子电子偶素 Ps_2 （molecular positronium）的确凿证据。

所谓电子偶素，其实就是一对正电子（positron，电子的反物质形态）和电子形成的原子。由于正电子和电子的电荷差异，它们很容易发生吸引，相互结合。从理论上而言，电子偶素原子（即电子—正电子对）之间也能够相互配对，形成 Ps_2 分子，这就好比两个氢原子形成 H_2 。由于正电子的质量只有质子的 $1/1836$ ，因此电子偶素分子的质量也比 H_2 分子要轻得多。

然而， Ps_2 有着不同寻常的一面。加州大学圣地亚哥分校的物理学家 Clifford Surko 表示，与普通原子可明确描述的结合不同，这四个粒子好像“在围绕彼此跳着欢快的舞蹈”。

Ps_2 分子难以被发现的一个重要原因是物质和反物质在极短的时间内结合并发生湮灭，以伽马射线的形式释放出能量。在实验室中，Ps 原子在自我毁灭之前的存活时间仅有不到百万分之一秒。

不过，Cassidy 和 Mills 发现，只要他们能捕获足够的 Ps 原子，其中的一些就可以在消失之前发生结合。利用 Surko 开发的一种技术，研究人员制造出了一束正电子流，并将它射入多孔的石英薄膜中，试图让正电子与电子结合，并制造出 Ps_2 。研究人员估计，两个 Ps 结合形成分子的几率约为十分之一。（参见更多阅读 2）

科学家的进一步研究验证了两个事实。 Ps_2 中电子—正电子的湮没速度比单独的 Ps 原子更快，这是由于结合成分子后，电子和正电子碰撞几率更大。此外，在温度较低时 Ps 混合原子结合成分子的比率更大，因为低温让分子更加稳定，而随之释放出的伽马射线也更加强烈。

新的研究将为解答一些最复杂的物理学基本问题带来希望，比如为什么宇宙中物质比反物质多得多（宇称不守恒）。而 Mills 等人也已经确立了一个实际目标，即制造大量的 Ps_2 分子，利用湮灭释放的高能伽马射

线来创造激光。(科学网 任霄鹏/编译)

这一段报道可以看作是反引力的一个重要的实验例证：试想，如果正负电子对（电子偶素）之间的万有引力是正引力——吸力，那么，它们间的电磁相互作用也是吸力，这只能使它们进一步接近，而越接近这种吸引力将越发强大，而且，随之而发生的弱作用力和强核力也是吸引力，这只能使正负电子对单调地接近，复合而湮没为 γ 光子，不可能有机会暂时稳定为电子偶素分子！正是正负电子对（电子偶素）之间的万有引力是反引力——斥力，而且，由于其间的电磁场很强，因而其间的光速会很低，这样引力耦合系数 G 会大得多，从而它不会是电磁耦合系数的 10^{-36} 倍，这样，反引力会抗拒电磁吸力，使之有机会暂时稳定为电子偶素分子！正、负电子不仅绕共同质心旋转，并在其相对平衡位置处振动，一旦它们接近到弱作用力和强核力吸力发生作用时，这种平衡被打破，正、负电子耦合，湮没为 γ 光子。所以， Ps 原子在自我毁灭之前，有一段短暂的存活时间！

（二）超新星爆发时的重元素合成速度远高于理论预测值。

新华网东京2月6日电日本理化研究所日前发表公报说，该所研究人员与国内外同行通过对38种中子过剩的放射性同位素的寿命进行精确测定，发现质量数在110左右的放射性同位素的衰变速度超过理论预测值的两三倍。这表明超新星爆发时的元素合成速度远高于预想。

公报说，科学界认为，从铁到铀，自然界稳定存在的重元素中有约半数是大质量恒星在生命终结阶段发生超新星爆发时生成的。为了验证这一假说，有必要人工合成超新星爆发时生成的中子过剩的放射性同位素，并测定它们的寿命。

研究小组利用仁科加速器研究中心的重离子加速器“放射性同位素束流工厂”将铀238束流加速到345兆电子伏特，然后轰击铍9，从而人工制造出从氦97到镅117等数十种中子过剩的放射性同位素。接着，研究人员把这些放射性同位素分离，并让分离后的原子核束射入理化研究所研发的高性能寿命测定装置，精确测定它们的寿命，也即同位素衰变前保持稳定的时间。测定结果显示，质量数在110左右的放射性同位素的寿命只有理论预测值的二分之一到三分之一。这表明，超新星爆发时的重元素合成速度远高于理论预测值。

本次研究成果将发表于美国《物理评论通讯》周刊。

3、强相互作用的研究进展

2007年2月16日，在旧金山举行的美国科学促进会的新闻发布会上，1976年诺贝尔物理学奖得主之一伯顿·里克特，说了这样一段话：“近百年来，物理学家探究物质基本构成的方法，本质上并没有改变，那就是用加速器使粒子束获得极高的速度和能量，用来轰击原子核或基本粒子，观察撞击产生的“碎片”。但随着研究的深入，撞击所需要的能量增加了许多数量级，建造加速器的费用也增加了许多数量级。在实验室里用几块金属板拼装出一个加速器就可以使用的时代早已过去，现在的加速器动辄需要上亿甚至几十亿美元，超出了一所实验室乃至一个国家的能力范围。许多加速器因为经费问题而关闭或即将关闭，当前世界最强大的加速器——美国费米实验室的对撞机也不能幸免，即将在2009年关闭”。当前，原子核物理的发展进入了一个令人瞩目的新阶段。由于大型实验装置的兴建和巨大发展，人们已经或即将把正常状态的原子核推向极端条件，如：高速旋转（转动频率高达 10^{20} Hz）、超形变（长短轴比达2:1）甚至巨形变（长短轴比达3:1）、奇异形状（梨形、香蕉形等）、反常中子质子比（轻晕核、如 ^{11}Li 、已达8:3）、常温低密（如晕核等）、常温高密（如核天体等）、高温高密（高能核碰撞产生的核物质、核天体等）、乃至新的物质形态——夸克胶子等离子体。这些新的运动模式和状态下的原子核的发现既对传统的量子核多体理论提出了严重挑战，同时也密切了与其他学科（如：粒子物理、天体物理、凝聚态物理、等）的关系。这些极端条件下原子核状态的发现对核物理研究不仅产生了巨大的冲击，也提出了严重的挑战，并提供了重大机遇，成为当前原子核物理发展的主攻方向。通过对这些极端条件下原子核的研究，可以深化原子核理论的基础知识的认识，并了解极端条件下强相互作用物质的形态、性质及相用机理，发展新的量子多体理论。同时，该方面的研究也有可能对国民经济及国防建设产生重大影响，例如：利用稳定的超形变核态到正常形变核态的退激制造核X射线激光可以使激光器的能量增益成数倍提高。

强相互作用是作用于强子之间的力，是所知四种宇宙间基本作用力最强的，也是作用距离最短的（大约在 $10^{-15}\sim 10^{-10}$ m范围内）。核子间的核力就是强相互作用，它抵抗了质子之间的强大的电磁力，维持了原子核的稳定。现在物理学家认为强相互作用的产生与夸克、胶子有关。它将质子和中子中的夸克束缚在一起，并将原子中的质子和中子束缚在一起。一般认为，称为胶子的另一种自旋为1的粒子携带强作用力。它只能与自身以及与夸克相互作用。强核力具有一种称为禁闭的古怪性质：它总是把粒子束缚成不带颜色的结合体。由于夸克有颜色（红、绿或蓝），人们不能得到单独的夸克。反之，一个红夸克必须用一串胶子和一个绿夸克以及一个蓝夸克联结在一起（红+绿+蓝=白）。这样的三胞胎构成了质子或中子。其他的可能性

是由一个夸克和一个反夸克组成的对（红+反红，或绿+反绿，或蓝+反蓝=白）。这样的结合构成称为介子的粒子。介子是不稳定的，因为夸克和反夸克会互相湮灭而产生电子和其他粒子。类似地，由于胶子也有颜色，色禁闭使得人们不可能得到单独的胶子。相反地，人们所能得到的胶子的团，其迭加起来的颜色必须是白的。这样的团形成了称为胶球的不稳定粒子。

强相互作用的理论是量子色动力学(QCD)。带电粒子之间有电磁相互作用,带色荷的粒子之间有强相互作用。两个中性原子之间没有相互作用,靠近电子云重叠出现作用力称为范德瓦尔斯力,出现强相互作用强子之间的力程都很短。

强相互作用与电磁作用不同的是,它不止一种电荷(叫色荷)。电磁作用只有一种电荷,当然这一种电荷可以是正,也可以是负;同号相斥;异号相吸。对于强作用,除了同一种“色荷”可以有正负外,还可以有其他种色荷,量子场论关于强相互作用的研究还处于非常初级的阶段,量子色动力学面临的困难,以及各种大统一理论和超统一理论的失败,使我们目前还无法真正确认强相互作用的物理本质。为了解释原子核中稳定的构造,物理学家认为在强子间又存在着一种既不是电磁力,也不是万有引力的强相互作用——核力,并对这种作用提出了种种设想,其中交换力是得到较多认可的。交换力是由于交换中介粒子而在基本粒子之间产生的作用力。设想两个人争夺一个球,那么其结果相当于它们之间产生一种引力。如若他们相互掷抛这个球,则相当于它们之间产生一种斥力。在核子之间相互争夺的这个球就是 π 介子。现代物理学认为强相互作用只适用于微观世界,可是微观与宏观没有截然的界限,这显然存在着不协调性,而且与宇宙全息统一论的思想不一致。现代物理学认为,核力用一个标量场来描述,这标量场满足真空中的波动方程。按照量子场论的普遍原理,场论不可避免地是和粒子或量子相伴随的,后者的质量为 $\mu = \hbar k/c$,其自旋为0,服从玻色——Einstein统计法。传递电磁作用的是光子,是自旋为1的零质量的向量粒子,而传递强相互作用的 π 介子,却是自旋为0的非零质量赝标粒子。如果用快速 α 粒子来轰击重核, α 粒子可以进入核内形成复核,说明 α 粒子和原子核接近到一定距离时,除电磁斥力外,还有吸引力的存在,它随距离的变化比Coulomb力快的多。核子间的作用力也是一种交换力,中间的交换媒介为 π 介子。现代物理学认为核力与核子的取向有关。

量子力学的有效范围是高能领域,一般来说微观物理是高能范围,所以量子力学适用于微观领域。从数学上可以知道,在最低能级层面,无论是强力、弱力还是电磁力,带同种性质的力荷的粒子之间都是排斥力,而带不同性质力荷的粒子之间是吸引力。这是数学上的必然结果。随着能量的增高,各种量子修正都会逐渐变得越来越重要,强力是吸引的,弱力是排斥的,是一种近似说法。王令隽是从中国科学院理论物理研究所在1979年派往美国的留学生,以后长期在田纳西大学物理系当教授,他说:将核力分为弱相互作用和强相互作用两个基本相互作用力是错误的。中子不是“夸克”的组合,最基本的粒子是质子和电子。

4、电磁作用与强相互作用之间的关系

物理学是研究物质的最简单运动规律的科学,其最终目的是:找到物质运动、变化与相互作用的内在联系,以最少的假设,通过分析、推理解释所有相关实验结果,预言新的实验现象。从二十世纪初的费米——狄拉克统计确立以来,已经过了八十年,但是至到今天物理学家们对它的认识都还停留在种种猜想的表面现象上,不识其庐山真面目。2004年的诺贝尔物理学奖授予夸克禁闭的渐渐自由猜想,也表明物理学界对1/2自旋的无可奈何。

(一) 靴祥理论简介

量子场论也不是一开始就有很多人相信的。直到路径积分出现,还是如此。60年代就受到S矩阵,靴祥理论的有力冲击。

靴祥理论认为:在两个强子的相互作用中,没有任何粒子表现为单独负责传递这种作用。参加相互作用的粒子既可以作初、末态粒子,又可以作为负责引起相互作用的被交换粒子。这一事实对描述这类反应的散射振幅提供了自恰性约束,并且强子是互为组成部分的。这种相互嵌合的粒子体系是通过“自恰性原理”而组成动力学系统的。事实上物质世界是不能归结为最基本的实体的,所谓“基本粒子”只是一组向外散射着的关系,每一个粒子的行为是由所有其他粒子的行为决定的。因此,其性质可由其他粒子的性质推导出来。物质世界没有“部分”,只有性质。现代物理学已经把强相互作用与电磁作用统一起来,根据上面的观点电磁作用与强相互作用是互为反作用力,所以电磁作用也满足靴祥理论。

由于新强子的不断产生,人们很快认识到场论无法用来描述强相互作用。由于高自旋强子共振态的存在,场论无法避免一些令人不快的性质,如不可重正性。朗道等人也早就证明即使是最成功的量子场论,量子电动力学,在根本上是不自恰的理论。量子电动力学是可重正的,但是它的耦合常数随着能量的提高而变大,且在一定的能量上达到无限大。这个能量叫朗道极点。朗道极点的来源是有限的电子质量和在这个能量上有限的耦合常数。如果我们希望将朗道极点推到无限大,那么低能的耦合常数只能是零,这就是有名的莫斯科

之零。由于以上所说的原因，整个 60 年代量子场论被看成是过时的玩意。丘(Geoffrey F. Chew)等人强调场本来就是不可观察量，只有散射振幅是可观察的，所以散射矩阵理论成了 60 年代的时尚。

(二) 电磁作用与强相互作用之间的关系

笔者认为现代物理学中的强相互作用、电磁力应当是它们的合力，在 10^{-14}cm 的尺度范围，可通过超高能电子与质子碰撞后的散射来研究，实验结果似乎表明电力比预期的要弱。强相互作用力是按牛顿万有引力定律计算出的万有引力的 10^{38} 倍，说明强相互作用与万有引力是不同的。现代物理学认为强相互作用靠胶子传递，胶子的静止质量为 0，与光子相同，笔者认为胶子可能是光子的反粒子或者说是虚光子。

笔者认为在任何范围内，实验观测到的都是它们的合力，与 Coulombs law 都有部分偏差，只是偏差大小不同而已。中性 π 介子应当没有强相互作用。Hideki Yukawa 认为强相互作用通过 π 介子传递，而它带有 electric charge，正说明了这一问题。强相互作用与电磁力方向相反，可以认为是电磁力的反作用。每一种力都有自己的反作用，这是矛盾着的双方，是由对称的绝对性所决定的；根据对称的相对性，它们的变化规律不同，例如分子的引力与斥力是相互对立的，只是变化规律不同，电磁力与强相互作用是它们的微观机理，因此它们应当如此。强相互作用与电磁力的变化规律不同，才导致了量子电动力学的局限性。

(三) 宇称守恒定律的新认识

守恒定律表现为 CPT 定理，用 P、T、C 分别表示空间反向、时间反演和电荷共轭变换。在强作用和电磁作用中，P、T 或 C 中任一变换下都是不变的。量子场论可以证明，符合相对论的基本粒子理论在 CPT 联合变换下总是不变的。这表明，P、T、C 三个守恒定律任两个成立，使得第三个也成立。这种关系称为 CPT 定理。空间反向变换不变性表现为宇称守恒。宇称守恒指一孤立体系的宇称不随时间变换，即当体系内部发生变化时，变化前体系的宇称等于变化后体系的宇称，这就是宇称守恒定律。宇称守恒定律是与微观规律对空间反射的不变性相联系，即一个微观物理过程和它的镜像过程的规律完全相同时，该微观体系的宇称是守恒的。实验表明，在强相互作用和电磁相互作用过程中，宇称是守恒的。这说明电磁质量在引力空间中运动不变。

5、强相互作用不是短程力

在已知的主要的相互作用中，都有着明显的区间作用性：在强子内部和周围，强相互作用起着主要作用；在原子世界，电磁相互作用占着主导地位；引力相互作用在微观世界是微不足道的，到了太阳系世界，它才成了支配天体运动的主宰。现代物理学认为弱相互作用和强相互作用只适用于微观世界，可是微观与宏观没有截然的界限，微观、宏观、宇观是人为规定的，人类的生存空间并不是宇宙大的方面和小的方面的绝对分界线，这显然存在着不协调性。从表面上看，强相互作用是接触力，表现为短距离，只有在粒子之间发生，同两个粒子所带的 electric charge 没有关系，在中子与质子之间，质子与质子之间，中子与中子之间（中子也具有磁矩，电磁质量没有表现出来），这种相互作用力的强度是相同的。现代物理学认为强相互作用把核子紧密地束缚在一起，大约在 0.4 费米距离时，表现为吸引；距离再小，成为很强的排斥；距离大于 1 费米就可以忽略不计了。这种力有一部分是非中心力，即其方向并不在相互作用的粒子的联线上。泡利不相容原理在一定程度上反映了物质之间的排斥作用，但是只是说同性粒子不能占有同一个空间位置，没有说明正负粒子之间是不是会相互排斥。

现代物理学的实验证明，Coulombs law 的使用范围是 10^{-13}cm —— 10^9cm 。空间物理和天体物理的实验和观测表明，在比这更大的尺度范围内，Coulombs law 或许仍适用。

(1) 在高能光子产生轻子对或重子对的量子现象中，正反轻子或正反重子的电荷是异性的，其电磁相互作用是吸引力，刚产生时，二个粒子几乎是无限接近的，电磁相互引力极其强大。如果二者间的万有引力也是吸力，无限接近时，引力也是极其强大的，这二种力只有使正反粒子对重合而湮灭为光子，而不可能成为我们看到的正反粒子对正反粒子对在无限接近时的强相互作用是斥力，它比电磁相互引力和万有引力强的多，使正反粒子分开了！

(2) "美国科学家的一项最新研究，找到了物质和反物质结合的确凿证据。在(2007年)9月13日《自然》杂志发表的一篇论文中，加州大学河畔分校的 David Cassidy 和 Allen Mills 表示，他们发现了两个电子偶素(positronium, 简称为 Ps)可以相互结合，形成分子电子偶素 Ps2(molecular positronium)的确凿证据。

所谓电子偶素，其实就是一对正电子(positron, 电子的反物质形态)和电子形成的原子。由于正电子和电子的电荷差异，它们很容易发生吸引，相互结合。从理论上而言，电子偶素原子(即电子-正电子对)之间也能够相互配对，形成 Ps2 分子，这就好比两个氢原子形成 H2。由于正电子的质量只有质子的 1/1836，因此电子偶素分子的质量也比 H2 分子要轻得多。

然而，Ps₂有着不同寻常的一面。加州大学圣地亚哥分校的物理学家 Clifford Surko 表示，与普通原子可明确描述的结合不同，这四个粒子好像“在围绕彼此跳着欢快的舞蹈”。

Ps₂分子难以被发现的一个重要原因是物质和反物质在极短的时间内结合并发生湮灭，以伽马射线的形式释放出能量。在实验室中，Ps原子在自我毁灭之前的存活时间仅有不到百万分之一秒。”

这一段报道可以看作是反引力的又一个重要的实验例证：试想，如果正负电子对(电子偶素)之间的万有引力是正引力-吸力，那么，它们间的电磁相互作用也是吸力，这只能使它们进一步接近，而越接近这种吸力将越发强大，而且，随之而发生的弱作用力和强核力也是吸引力，这只能使正负电子对单调地接近，复合而湮灭为 γ 光子，不可能有机会暂时稳定为电子偶素分子！正是正负电子对(电子偶素)之间的万有引力是反引力--斥力，而且，由于其间的电磁场很强，因而其间的光速会很慢，这样引力耦合系数G会大得多($G=G_0\beta^{-2}$ ， G_0 是我们测得的引力耦合系数， $\beta=1-v^2/c^2$ ， v 是粒子的运动速度， c 是那儿的，并非是我们测得的约每秒三十万公里那个光速C。由于 c 可能远远小于C， v 可能很大， β 可能远小于1， β^{-2} 可能很大，G会比 G_0 大得多！)从而，它不会是电磁耦合系数的10-36倍。这样，反引力会抗拒电磁吸力，使之有机会暂时稳定为电子偶素分子！正、负电子不仅绕共同质心旋转，并在其相对平衡位置处振动，一旦它们接近到弱作用力和强核力吸力发生作用时，这种平衡被打破，正、负电子耦合，湮灭为 γ 光子。所以，Ps原子在自我毁灭之前，有一段短暂的存活时间！

上面的实验现象说明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

电子内部的构造是怎么样的？在人类心目中，电子是闪耀的坚固的无从捉摸的高弹性精灵，它的结构简直无从设想。美国科学家把问题提得非常深刻又无奈：“是什么把电子结合成整体的，正如是什么使电子保有这样精确固定的电荷值一样，令人迷惑不解。电子不同部分间的静电作用力是相互排斥的，所以电子内必定还包含一种比电作用力更强的作用”【1】。

质子中的点粒子是夸克，实际上它们还包括胶子和不断产生、湮灭的海夸克。过去认为质子自旋为1/2，是由三个夸克提供的，而如今的研究却不能支持这一观点，质子中的三个夸克的总角动量只占质子自旋的15%，而大部分自旋也许由胶子和海夸克承担。这被称为“质子自旋危机”，是个热门课题。

泡利不相容原理在一定程度上反映了物质之间的排斥作用。但是泡利不相容原理只是说同性粒子不能占有同一个空间位置，没有说明正负粒子之间是不是会相互排斥。

电磁力与强相互作用互为反作用力是对称的绝对性的表现形式，其变化规律不同是对称的相对性的表现形式，进一步说明了对称的绝对性与相对性原理的正确。根据这一理论根本不存在质子的自旋危机，电子结构问题自然迎刃而解，靠强相互作用聚集在一起，泡利不相容原理也是强相互作用的表现形式之一。

在原子内部四种相互作用力必须同时考虑，现代物理学根据结合能判定原子的稳定性有一定的局限性，例如1) 铁的结合能最大，意味着它和附近的几个元素(钒铬锰铁钴镍)最稳定。2) 比铁轻的元素结合能比较小，所以理论上应该趋向于结合成更稳定的重元素。这可以定性地解释为什么氢的同位素会产生核聚变。3) 比铁重的元素的比结合能也比铁小。这可以定性地解释为什么铀和钚等重元素会裂变成比较稳定的轻元素。但是比结合能曲线也有一些没有被实验结果印证的地方：1) 按照比结合能曲线，锂和其他轻元素应该能够聚变成较重的元素，比如碳和氧。可是这并没有实验印证。2) 按照比结合能曲线，凡是比铁重的元素应该能够裂变成较轻的元素，可是我们知道，这没有实验支持，比铁重的铅才是最重的稳定元素。3) 铀 233，铀 235，铀 236 和铀 238 的比结合能相差微乎其微，可是他们的稳定性相差好多个数量级。铀 233，铀 235 和铀 236 都是裂变铀，而铀 238 是相当稳定的，其半衰期约四千五百万年。4) 稳定的轻元素原子核中质子数和中子数大致相等，而稳定的重元素原子核中中子数可以比质子数多一半。质子和中子的这种不对称性没有在这一比核结合能曲线中得到反映。

参考文献：

【1】 [美国]E.M. 珀塞尔，电磁学。[M]。北京：科学出版社。1979.6

7、强相互作用和电磁相互作用关系的实验根据

(一) “同性相吸，异性相斥”现象

新华社伦敦5月23日电(记者黄堃)“同性相斥，异性相吸”，这是大家都熟知的基本物理现象，但一项理论研究指出，两个带同种电荷的物体在特定条件下也可能出现“同性相吸”现象。

新一期英国《皇家学会学报 A》刊登的一篇文章说，新西兰惠灵顿维多利亚大学的约翰·莱克纳指出，英国科学家威廉·斯诺·哈里斯曾在 1836 年进行带电物体实验后报告，有些时候带同种电荷的物体之间的斥力会消失，转而变成引力。

莱克纳提出这样一个理论模型，两个本身导电效果足够好的球体带上同种电荷，通常它们会像人们预计的那样表现出“同性相斥”现象。但如果它们离得足够近，其中一个球体的电荷斥力作用非常明显，以至于另一个球体上的同种电荷被排斥到球体远端，这时其近端就可能出现局部带异种电荷的情况，最终导致两个整体看来带同种电荷的球体不可思议地产生“同性相吸”现象。莱克纳的这篇论文引起许多科研人员的兴趣，他们最初都不太相信这个与“常理”不符的结论，但在仔细思考和计算后又觉得这是可能的，现在已有研究者计划用超导体等设计精密的实验装置来测试相关理论。因此，与传统理论相悖的“同性相吸”是否真的成立，还有待科研人员的实验结果给出答案。

(二) 原子物理学中的液滴模型的局限性

原子物理中的液滴模型更能反映这种非对称性。液滴模型的比结合能中除了体结合能和面结合能以外，还加上了一项“非对称项”，得到了一个能够更好地定性解释核能的贝蒂-维兹萨克尔关系(Bethe-Weizsacker Relation)。这一“非对称项”反映了质子和中子在核结合能中的作用并不是完全一样的。强相互作用同液体分子之间的力很相似，并且就象液体的情形那样。尽管这种力能够防止各个粒子完全离开，却并不妨碍它们发生相对位移，因为它们之间同时存在电磁力。因此原子核物质就具有某种程度的流形，它在不受到任何外力的干扰时，总是像普通的水滴那样呈球形。最近在美国 Jefferson 实验室进行的结果显示，质子不一定总是球形的。在该实验室的一项新的实验中，科学家们将电子在耽搁的质子（氢原子核）上的散射与在氦核上的散射做了比较，表明这两种核以不同的方式“捏塑”它们所包含的质子，使质子内的夸克有时会蔓延出来一些，或使质子成为像花生那样的形状，尽管其平均形状还是球形的。【1】

(三) 自然界中的有关事实

许多生物大分子（如 DNA）虽然具有相同符号的电荷，但却能相互吸引并在水中聚集成团，称为丛生现象。科学家们认为丛生现象的产生一定是由于某些溶于水中的离子或带电小分子抵消了大分子的电荷所形成的，但却不能破解其中的机理与细节。最近美国的生物物理学家 G.Wong 和他的同事们对同种电荷相互吸引进行了一些简单实验后发现，想使同种电荷发生相互吸引必须要在离子大小的范围内才有可能。【2】一个电荷的能量极其微弱，只有“同性电荷相吸”才能形成叠加的电量，才能到达云彩以下对地放电，甚至可以绕过避雷针进入室内放电，这是一种隐形的物质，放电时才能看到它是线条的形状，并且伴随着许多分叉，衣服放电就是一种小型的雷电现象。

笔者认为这两种现象都是强相互作用的表现形式。基本相互作用并不是汤川型强相互作用,现代基本粒子相互作用是用规范场描述的,汤川型已是过时的东西。

参考文献:

- 【1】《物理》第 32 卷 12 期 89 页 2003 年 北京
- 【2】《物理》第 32 卷 11 期 2003 年 北京

8、惯性概念的发展

从科学的结果看，作为科学活动结果的理论和公式也有美学价值。科学构想的美学像艺术作品的美学一样，是丰富多彩的。我们认为某些伟大的综合，如牛顿的综合之所以漂亮，是由于其经典的简单性，而在波动方程的相对论性扩展中，或者在对脱氧核糖核酸结构的解释中，由于出乎意料的联系，我们则看到另一类的美。因此，“无论从活动的过程或者从结果看，科学都有其美学内容。”当然，对美和审美在科学中的存在和作用，我们也不可反客为主，人为地估价过高。毕竟，美不是科学追求的最终目的，而是这种追求的伴随物。审美只是科学方法论之一的臻美方法，而不是科学家工作的全部。库恩对此有清醒的见解：考虑对称性以及符号表示的简单性和精巧性，考虑数学美学的其他各种形式，这在艺术和科学中都很重要。不过在艺术中，美学本身就是创作的目的；而在科学中，它顶多也只是一个工具，亦即当几种理论在其他方面旗鼓相当时进行选择的标准，或者只是一种能启发想像以设法解决麻烦的技术疑点的指南。只有当它解开了疑点，只有当科学家的美学终于与大自然的美学相一致时，美学才在科学发展中发生良好作用。在科学中，美学很少是目的本身，而且从来不是首要的。

(1) 电磁质量的惯性

麦克斯韦电磁场理论建立和被赫兹电磁波实验证实之后，人们认识到电磁作用是通过场实现的，电磁场的实在性在认识上开始形成，场中不仅贮存有能量，能量的传送也是通过场来传输的，即存在能流：能流与

场的动量联系在一起。人们研究电子的运动，运动电子周围存在变化的电场，变化的电场又产生磁场，两者的共存又导致存在能流和动量，它们同电子的速度平行。因此这一附加的动量意味着电子存在附加的惯性质量。有一时期，甚至有人猜测可能电子的全部质量来源于电磁场。这里第一次遇到电磁能量的惯性，提示了惯性与能量的联系。电磁质量的惯性表现为三个方面：静 electric field 中静电感应阻碍电通量的增加，electric field 中的电阻阻碍电流的增加，场中的电磁感应阻碍磁通量的增加。电磁质量的惯性是保持电磁质量的不变。楞次定律也是电磁质量惯性的一种表现形式。电磁质量之间既有电磁力也有强相互作用，从而保证电荷不可能完全中和消失，电荷也不可能分崩离析。

(2) 引力质量的惯性

引力质量之间既有万有引力，也有弱相互作用，从而保证了物体尽量保持原来的状态。引力质量的洛伦兹变换是牛顿第一定律的发展，也是惯性的一种表现形式。黑洞既不可能出现，宇宙也不可能分崩离析。物体平动有惯性，转动有转动惯性。这样我们对于惯性的认识就更加深刻了。

(3) 惯性维护平衡与作用造成变化的辩证关系

时效波先生在二十世纪末期论述“生命的产生”时，提出了惯性维护平衡与作用造成变化的辩证关系：“物质是运动的，运动的物质有保持其原有平衡状态（干扰前状态）的属性，即惯性。这里提到的惯性是广义质能意义上的概念，不仅指宏观物体，构成宏观物体、维系着微观结构形态运动着的分子、原子、电子同样具有惯性。物质是运动的，运动的物质之间是相互联系、相互作用的。物质在相互作用的过程中，会发生物质和能量的运动转化，原有的平衡状态（宏观的运动状态、微观的结构形态）就会被改变或打破，形成具有新的运动状态和结构形态的物质。运动的物质有保持原有平衡状态的属性，而运动物质间的相互作用又时刻破坏着平衡，惯性维护平衡与作用造成变化成了物质最基本属性的矛盾统一体。无机物在物质间的相互作用中，只能被动地接受宏观的、微观的冲击和破坏，改变其原有的运动状态和结构形态。如被海水冲刷和风吹日晒的礁石会移动位置和逐渐破碎。原始生命则能为维护自身的平衡状态作出反应，主动地吸收利用物质能量（新陈代谢）来维护有机体的结构形态不受破坏，以维持其原有性能，获得生存。事实上，由碳水化合物构成的蛋白质分子就已经能有选择地从外界吸收营养物并排出分解物，不断与环境中的某些物质进行代谢。”

5/4/2017