

现代物理学基础的思考之六——引力质量与电磁质量之间的关系新探

李学生 (Li Xuesheng)

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

xiandaiwulixue@21cn.com, 1922538071@qq.com

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

[李学生 (Li Xuesheng). 现代物理学基础的思考之六——引力质量与电磁质量之间的关系新探. *Academia Arena* 2017;9(14s): 555-582]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 16. doi:[10.7537/marsaaj0914s1716](https://doi.org/10.7537/marsaaj0914s1716).

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

目录

第一章: 电子的电磁质量不是电子静止质量的一部分

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

第二章: 电磁质量的能量

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

第三章: 电磁质量的量子分布

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

第四章: 电磁质量的波粒二象性

- 1、现代物理学中的三类波

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

第五章：电磁作用与强相互作用之间的关系

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

第一章 电磁质量的量子分布

- 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，强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·戈尔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？

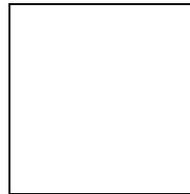
- 二、夸克模型

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、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，满怀着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），由此扩充了夸克模型，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甚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, 并推导得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？这道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，属于更深一层次的基础粒子，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·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 的-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。在高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 9 7 个悬而未决的难题：7 3。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：夸克倒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，猜想在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况的。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，每一个重子由三个夸克组成。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。它能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。”波尔认为：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充分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区分。

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。”

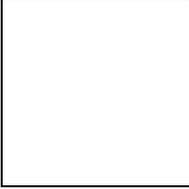
量子场论的发展是从电磁场的量子化开始的,它是由狄拉克在1927年首先实现的。他把电磁场分解成无穷多种振动方式的迭加。然后把每一种振动方式仿照海森堡的做法进行量子化,使其能量取一系列分立的数值。频率为 ω 的振动方式受到激发,跳到高一个能级,就相应于产生了一个频率为 ω 的光子。激发消失时,该振动方式跳回到原来的能级意味着一个光子的湮灭。1928年约当和维格纳(E.Wigner)引入了电子场的概念,认为狄拉克提出的电子的相对论量子力学方程,实际上是电子场的运动方程。他们仿照电磁场量子化的方式,建立起了电子场的量子化理论。电子场的激发相应于电子的产生、电子场激发的消失相应于电子的湮灭。电磁场是矢量场,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。

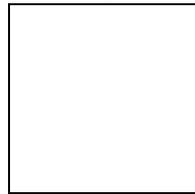
此外，电子场的量子化还自然地导致两种粒子出现，即除了电子之外，还有它的反粒子-正电子。光子的反粒子就是它自己。1929年，海森堡和泡利进一步研究了电子与电磁场之间相互作用的量子理论。对应经典电动力学，通常人们把这种理论称之为量子电动力学或QED。在QED中，电子以电流的形式与电磁场相耦合。电子之间的相互作用过程都可以看成电流之间通过电磁场为媒介发生耦合。

《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。

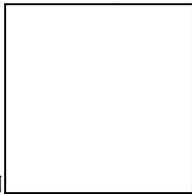
电子的动量仅指引力质量的动量，此时电磁质量无动量，引力质量的速度为0；因为电磁质量在度量空间中运动，它的能级没有变化，所以一个系统的总电磁质量不因带电体的运动状态改变，电磁质量不满足 Lorentz transformation，电磁质量的动量是数量，等于 QC ；electric field 的动量是向量，是电磁质量动量在引力场中观察到的 space-time 量子形式。

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 $E=2q^2a^2/(3c) \times 10^{-1} J \cdot s^{-1}$ ，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，需要它们在该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茨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。

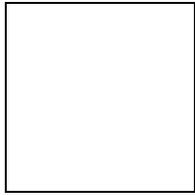
电磁一元论的历史比较短，H.C. Oersted 先生在 1820 年 7 月 21 日发表了《关于磁针上电碰撞效应的实验》，1864 年 J.C. Maxwell 先生发表了《电磁场的动力学理论》，为确立电磁一元论的统治地位奠定了理论基础。1892 年 H.A. Lorentz 先生发表了《Maxwell 电磁学理论及其对运动物体的应用》一文，创立了电子论的基础。J.J. Thomson 先生在 1892 年测定了电子的荷质比，证实了 Lorentz 先生的电子假说。1927 年 G.E. Uhlenbeck 先生和 S.Goudsmit 先生发现了电子自旋，随即磁本质被诠释为电子自旋。1928 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。

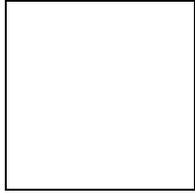
第一种是磁单极子（北磁子或南磁子）模型，由 Coulomb 先生于 1787 年正式提出来。但是，由于这种模型不能解答为何一个条形磁棒不论碎成多少段，每一段均还能保持南北两极，便被他抛弃了，转而选择了磁偶极子模型。1843 年 W.E. Weber 先生发表《单极感应和磁流体存在假说》一文。1931 年 Dirac 先生提出了磁单极子的量子假说。1974 年以来发展起来的 M 理论，再次预言了磁单极子的存在性。1982 年 5 月，Blas Cabrera 先生宣布他用 20cm 直径的超导线圈和超导量子干涉仪组成的磁强针发现了一个可能的磁单极子的事例。这一事件促使 IBM 实验小组，神户大学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

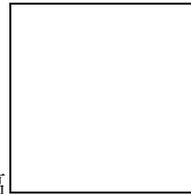
Coulomb 先生 1787 年提出的真空中宏观的电相互作用定律和磁相互作用定律分别为



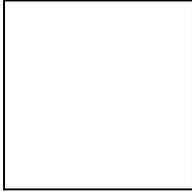
(1)



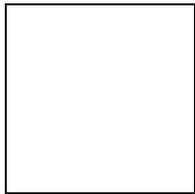
(2)



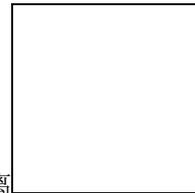
对于任何一对各携带一个基本电荷 e 且相距一定距离



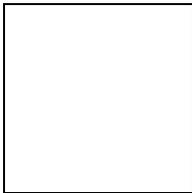
的粒子，根据(1)式，令



(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

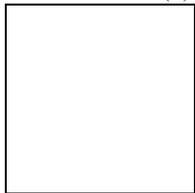


的粒子，根据(2)式，令



(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

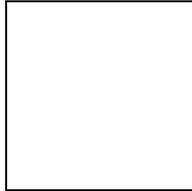


(5)

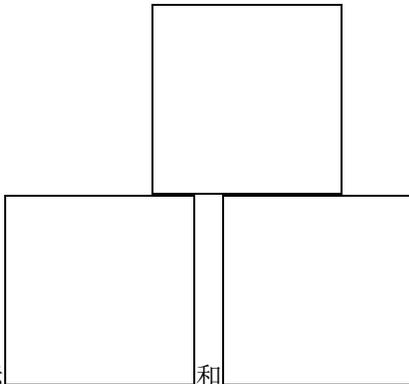
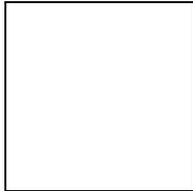
这就是说，一对各携带一个基本磁荷 Φ_0 粒子之间的相互作用力约是一对各携带一个基本电荷 e 的粒子

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：

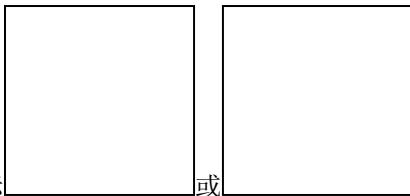


其中，
粒子性的 Lorentz 方程：

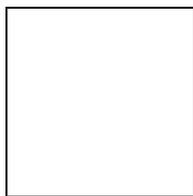


我们在上述方程中采用下标 ϵ 和 μ 来表示一个物理量的电性或磁性。在经典电动力学方程中，总是电-磁二元方程组为一个独立整体方程，上述的这样的三个独立二元方程组构成了经典电动力学的核心方程集。

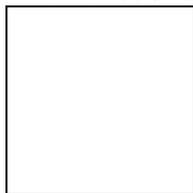
有趣的是，当我们把波动性的 Maxwell 方程组和粒子性的 Lorentz 方程结合的时候，表示一个物理量的



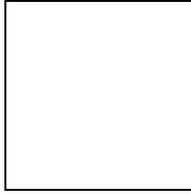
电性或磁性的下标 ϵ 或 μ 就自动消失的同时，得到了一个普遍适用的波粒二象性的动力学方程：



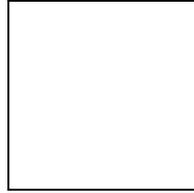
左手坐标系中的经典磁动力学中波动性的 Maxwell 方程组：



其中，

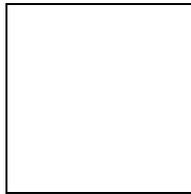


粒子性的 Lorentz 方程：



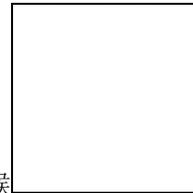
同样，在经典磁动力学方程中，也是磁-电二元方程组为一个独立整体方程。

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：

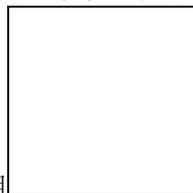


如果选择四维时-空几何模型重新描写上述经典电动力学和经典磁动力学方程就会显得更自然了。波动性的 Maxwell 方程组和粒子性的 Lorentz 方程联合起来才能完整阐述电磁理论——表明了经典电磁理论是一种凸现了电荷或磁荷的波粒二象性唯象的理论。经典电磁理论内蕴的 Einstein 相对论也是一种包含了波粒二象性的理论。相形之下，经典 Newton 动力学则是没有波粒二象性的典型的粒子理论。这就是为何经典电磁理论以及相对论可以自然地与量子力学结合，产生出量子电动力学和量子磁动力学等等；而经典 Newton 动力学则和量子力学格格不入，除非经过根本改造否则和量子力学在本质上无法相容。

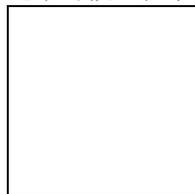
当两个粒子之间的距离和粒子本身的波长在同一个数量级的时候



取代了宏观的经典电磁力学。任凭何人，只要利用



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 k_e 和磁相互作用常数 k_m

分别为

电(磁)相互作用常数 k_e (7)

磁(电)相互作用常数 k_m (8)

由(7)、(8)两式, 我们可得 k_e 和 k_m 的关系为 $k_e = k_m$ (9)

由(5)、(9)两式, 我们可得 $k_e = k_m$ (10)

可见, $k_e \neq k_m$ (11)

电-磁相互作用常数 k_e 和磁-电相互作用常数 k_m 并不相等这一事实, 充分地展现了“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 的粒子的磁矩为:

(12)

一个携带一个基本磁荷 Φ_0 且质量为 的粒子的磁矩为: (13)

一个携带一个基本磁荷 Φ_0 且质量为 的粒子的电矩为: (14)

一个携带一个基本电荷 e 且质量为 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、下潜到深海中去觅、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锆单晶体，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、敏感的艺术师。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“最深奥最美妙的事实”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主要之一就是重整化的问题，其次是时空几何不一致，量子力学的时空是离散的、无穷维空间的，时间虽是一维的，但不连续；广义相对论的时空是连续的三维空间，一维时间。这问题根据同时性破坏，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！现在的物理学学家不会再为因果律而矛盾，那个矛盾过时了。量子力学也不存在时空平权的问题，因为没必要平权。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, 因为没有有一个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本质区别, 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】

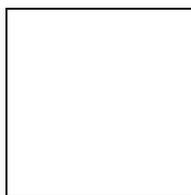
参考文献：

- 【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。

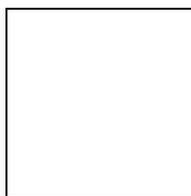
意义



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] 笔者认为反常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》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：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？

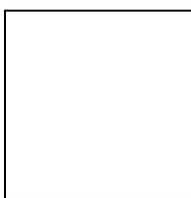
中科院自然科学研究史董光壁研究员在《21世纪100个科学难题》，提出了今天科学发展是《协调相对论和量子论的困难》。李政道在该书《导言》中说：目前，微观和宏观的冲突已经非常尖锐，靠一个不能

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;薛定鄂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。

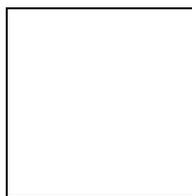
广义相对论和量子力学彼此不直接矛盾,但是它们看起来不可能融于一个统一理论,根本原因在于广义相对论是研究引力场,量子力学研究electric field.1905年3月,Einstein发表的《关于光的产生和转化的一个启发性观点》一文,开创了辐射量子论全新领域,提出了著名的光电效应基本定律,这也使他荣获1921年诺贝尔物理学奖。文章一开头,Einstein就用统一性思想分析了物理学当时面临的某些基本情况:“在物理学家关于气体或其他有重物体所形成的理论观念同麦克斯韦关于所谓空虚空间中的电磁过程的理论之间,有着深刻的形式上的分歧。这就是,我们认为一个物体的状态是由数目很大但还是有限个数的原子和电子的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,取不同的领示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——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淼认为: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,而对光量子要考虑粒子性,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通过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，而只能拿出我的小指来作证，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）。

作者 (Author):

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

主要深入理解阅读的部分文献:

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

18. 《哈雷彗星今昔》 张钰哲著 32K、P97 1982 年 3 月知识出版社。
19. 《天体力学浅谈》 [苏]尤·阿·里五波夫著, 李五行、陈晓中译 32K、P201 1984 年 11 月科学普及出版社。
20. 《地学基本数据手册》 主编: 张家诚, 副主编: 李文范 16K、P1377 1986 年 3 月海洋出版社。
21. 《彗星十讲》 胡中为、徐登里编著 32K、P158 1986 年 4 月科学出版社。
22. 《中国百科年鉴·1986》 1986 年 10 月中国大百科全书出版社。
23. 《简明天文学词典》 叶叔华主编 32K、P880 1986 年 12 月上海辞书出版社。
24. 《中国百科年鉴·1987》 1987 年 12 月中国大百科全书出版社。
25. 《哈雷彗星及彗星-地球关系》 天地生综合研究论文集 胡中为、阎林山 16K、P471. 1989 年 11 月中国科学技术出版社。
26. 1995 年 6 月 21 日 《中国青年报》。
27. 1997 年 12 月 19 日 《中国科学报》。
28. Einstein 著, 方在庆、韩文博、何维国 译。《Einstein 晚年文集》 海南出版社 2000 年 3 月第 1 版。

5/4/2017