

波元素物质结构新理论及其应用评述

涂润生

(湖北省黄冈市市场监督管理局检验检测中心, 黄冈市 438000)

【摘要】 现有的物质结构理论和量子场论都无法描述基本粒子的具体来源（量子场论中，粒子的产生都是场的瞬时转化，而不是真正的粒子创生）。有必要探索基本粒子或场的下一个层次的组成（或来源）。“所有基本粒子都主要来源于光子”的物质结构理论在逻辑与事实的结合上有很大的优势。利用这种新的物质结构理论，可以混合使用量子理论、玻尔量子论和经典电磁学理论来描述同一个粒子。这种新的物质结构理论及其应用实例同时说明了，在基本粒子自旋角动量、原子电离能、分子的离解能的计算方面，不再存在微观世界与宏观世界之间的鸿沟。

关键词： 波元素物质结构理论，光结电子结构模型，电子自旋磁矩算符，量子力学，量子力学与经典电磁学的兼容。

Review of the Substance Structure Theory and Its Application of Wave Elements

Runsheng Tu

(Inspection and Testing Center of Huanggang Market Management Bureau, Hubei Province, 438000, China. E-mail: 2run3@sina.com. ORCID: 0000-0001-5349-8007)

Abstract

Existing theories of material structure and quantum field theory cannot describe the specific sources of fundamental particles. In quantum field theory, the generation of particles is the instantaneous transformation of the field, rather than the true creation of particles. It is necessary to explore the composition (or source) of the next level of elementary particles or fields. The material structure theory of "all fundamental particles mainly originate from photons" has great advantages in combining logic and fact. By utilizing this new theory of material structure, quantum theory, Bohr theory, and classical electromagnetic theory can be mixed to describe the same particle. Both this new theory of material structure and its application examples demonstrate that there is no longer a gap between the micro world and the macro world in calculating the spin angular momentum of basic particles, atomic ionization energy, and molecular dissociation energy.

Keywords: theory of material structure of wave elements, Light-knot electronic structure model, electron spin magnetic moment operator, quantum mechanics, compatibility between quantum mechanics and classical electromagnetic.

1. 物质结构理论及其应用的研究进展^[1]

在漫长的时间里，人们一直认为电子的内部结构是未知的。对于光子衰变成正负电子偶的具体过程，其解释应该不止一种。第一种是量子场论的解释：“光子和电子，它本身在场中就存在，光子衰变成电子偶类似于光场跃迁电子场，电子是光场的激发[2-3]”。本文提出的是第二种解释——离散的光子沿弯曲的路径传播而构成定域的电子[4]（简称光结电子结构模型）。以公正、公平的心态判断，这两种解释应该各有优势。量子场论的解释优势是数学基础雄厚，提出的时间早，人们已经接受了。缺点有：对于电子的

组成、结构和内禀运动状态的描述不完整、不具体；对于描述电子的自旋角动量和自旋磁矩的本质无能为力。光结电子结构模型解释的优势和缺点与量子场论解释的几乎完全相反：前者的优势是后者的劣势；前者的劣势是后者的优势。另外，光结电子结构模型在量子化学中的应用非常成功[4-6]。本文介绍的新理论的体系的逻辑性及其成功应用表明，我们既可以独立使用又可以混合使用玻尔行星模型[7]和波动力学（这表明这两种方法不是等价就是高度兼容的）。特别有说服力的，我们不仅可以克服旧量子论的缺点，而且可将行星模型扩展到可成功描述和计算一些分子的键长和离解能。与玻尔行星模型对应的有关原子、分子、电子的计算方法是利用经典转动和经典电动力学的方法。

有朋友在看到这篇文章之后，提出了建议和评论。建议作者为光结电子结构模型提供实验证据。我自己其实也非常想做一些验证实验。例如：将高能光子分解成最简圆偏振光子的实验和最简圆偏光子与电子的湮灭实验【最简圆偏振光子存在（所谓最简就是不能再分了）；最简平面偏振光可以分解成最简圆偏振光；最简圆偏振光子存在（所谓最简就是不能再分了）】；光结电子结构模型预言：平面偏振光可以分解成最简圆偏振光；高能最简圆偏振光子与电子相遇可以发生湮灭；最简高能圆偏振光线在磁场中可能发生偏转）。但是，作者的条件有限，不能完成这些实验。我希望有更多的人看到本文，从而使有条件的读者有兴趣做验证实验（特别是作者预言的实验）。我认为，光结电子结构模型的大量成功应用事例正是它的证据。理由也很简单：理论探索的重要目的之一是理论的应用。既然量子场论解释与光结电子结构模型解释各有优缺点，“光子衰变成电子偶和电子偶湮灭为光子”的实验成为光结电子结构模型的实验证据的概率可达50%。发表和阅读本文的价值之一是，让更多的研究者了解我的新想法和探索过程以及得到的结果的应用事例，以便他吸取经验或教训。在哥白尼提出日心说的时候，地心说的维护者也可以说哥白尼的日心说没有证据。因为，在他们看来，当时的天文学观测数据只是地心说的证据。而实际上，在当时可以说天文学观测数据既是日心说的证据又是地心说的证据。可见，实验证据与人们的认识水平有关。光结电子结构模型的成功应用事例也有可能若干年之后，被人们视为光结电子结构模型的证据。

探索未知有多种方式。在科学技术史上，有许多探索过程是先提出假设，然后建立理论体系，最后讨论假设和新的理论体系的应用（能解决哪些问题？作出哪些预言？）。这种研究方式的成功事例很多。最著名的是相对论。相对论在提出假设之后，建立理论体系，得出一些结论并作出预言。实验验证是后来被读者完成的。我这篇文章的研究方式也是“假设→理论体系→应用”。文章未问世就要求由作者提供实验证据，这个要求不过份，但要求很高，不利探索未的新思路的传播。如果因作者没有满足这个过高的要求就阻挡这样的文章问世，则不得不使人怀疑是否采用了双重标准。

在光子的质心坐标系中看，光子的电场仅向两翼伸展，光场不是球对称中心力场。但是，电子的电场是球对称中心力场。量子场论就没有对这非球对称光场衰变成球对称稳恒电荷的电场的详细过程作出解释。另外，光子的电场没有极性，而光子衰变成的正-反电子具有两种不同的极性（由电子的负电荷和反电子的正电荷表现出来）。量子场论对此也没有详细描述。它所说的真空极化，不是光子极化，且真空极化出来的是虚电子对，而不是实电子对。它的光子衰变成电子的程的类跃迁说也没有详细说明作为玻色子的光子怎样变成了作为费米子的电子。光子是电子的共振态 (resonance)，是指光子是正-反电子的共振复合体。共振复合程度高就是光子，共振复合的程度低就是正-反电子偶。共振态都是强子，而电子是轻子。可见，这样的共振态及其变化方式也是很离奇的，也不是对光子衰变过程的详细解说。鉴于量子场论对电子的内部结构和运动的描述不详细的情况，应该允许我们对电子的内部结构和运动状态作出推测。

通俗地说，光结电子结构模型就是一个假设，假设光子可以卷起来而构成电子。科学探索过程中的假设都是人类在认识自然时遇到了困难时才做出的主观推测和选择。一旦假设有积极的作用（可以建立逻辑自洽的理论体系和或用于解决实际问题）假设就成了研究成果，是研究进展。既然科学上的假设都是对未知的推测和选择，就必然存在一种现象或规律——用已知的知识判断新假设的内容，新假设一定是离经叛道的或奇怪的。这方面的例子不胜枚举。例如，能量变化不连续的假设，日心说假设，等。光子可以卷起来的假设也逃脱不了这个规律。因此，根据现有的知识判断，光子可以卷起来的假设也是离奇的。作者希望读者不要立刻强求新假设与公认的知识完全一致，而是着重审视新假设的好处（即重点审查新假设的使用价值）。

关于光结电子结构模型的应用，主要分以下几个方面。第一，利用它建立完善的量子力学的数学形式体系（美化量子力学逻辑体系）。第二，根据它计算“电子半径、自旋角动量、自旋磁矩及氢分子等几个小分子；明确电子自旋函数，从而导出电子自旋解动量算符、电子自旋磁矩算符、氢原子的电子轨道运动角动量算符。第三，可以混合利用或独立利用玻尔行星模型和波动力学计算电子、原子和分子的相关数据，导出量子力学基本方程。上述三个方面的应用决定了，认为光结电子结构模型完全错误证据不足。即使所有的物理学家都认为光结电子结构模型不重要，上述应用也能决定量子化学家需要它。

本文最后一节列出了光结电子结构模型的十个有利因素。这无疑使光结电子结构模型具有一定的参考价值。对光结电子结构模型不利的因素实际上都是思想观念问题或理解问题。由于本文介绍的与事实一致的应用结果数量不少，“结果全是偶然”的概率非常低。因此，除非概率论失效，或者量子场论（特别是标准模型理论）没有一丁点瑕疵才能否认光结电子结构模型以及根据它建立的定域实在论的量子力学方法。我们先在介绍光结电子结构模型及利用它的计算方法和结果，然后及给出相应的评论（也可说是夹叙夹议）。

本文是在文本文是在光结电子结构模型[8]的基础上增加一个基本假设而将光结电子结构模型和理论扩展成为波元素物质结构理论。对《Progress and Review of Applied Research on New Theory of Electronic Composition and Structure》一文的追加评论被安排在每一节的末尾。

2. 前提假设及其说明

经典光学中，圆偏振光是由相位不同而频率相同的两束光合成的复合光束。平面偏振光可以分解成两束圆偏振光。再也不能分解成平面偏振光的圆偏振光就是最简圆偏振光。最简圆偏光子也叫非复合圆偏振光子。光结电子结构模型的前提假设是“频率达到阈值的高能平面偏振光子分解成阳简左旋圆偏光和最简右旋圆偏振光，然后遇到强电场环境而沿闭合路径传播，从而形成定域的电子-反电子偶”。这样的电子和反电子的整体是一种二维旋量。但它是三维空间中的实体（因为其中的电磁矢径是绕相轨线旋转的）。这样的电子和反电子的质心运动是一种二维旋量。但它们是三维空间中的实体（因为其中的电磁矢径是绕相轨线旋转的），且这种实体是旋转的但不再是二维的旋转。它们不再受二维旋量特性的限制（它们与光子这种二维旋量是不同的：光子中的电磁矢径的旋转不是能量体或实验的旋转）。这就是离散的光子变成可以变成定域粒子的一种数理机制。它决定了微观粒子的自旋可以是实体的旋转。在光子沿一个很小的圆周传播而形成电子之后，原来的离散的波中的电场就具有了稳恒电场的特征。这其中又用到一个新的假设——电磁波中电场和磁场的持续时间是一个电磁波的一个周期而不是无穷小。面对不相信这新假设的人，我要说的是，光子是一种很复杂的粒子。目前人们对它的认识很有限（人类还没有完全了解光子的特性）。一种假设是否有价值，还要看它能不能具有应用价值（即要看它能否解决实际问题）。下面各章节的论述就是展示本文所使用的理论的应用成果。“两个正弦函数垂直相交可以形成一个圆”的事实可以在理论支持光结电子结构模型。我们可以预言，不需要让光子掠过重核，而让光子正相交，也可以制造出电子和反电子。

作为电磁波的光子，也可以说是正弦波。两个相同频率的光子垂直相交也应该能形成一个圆或两个圆。与高能光子衰变成定域的电子-反电子偶的过程对应。就是说，当高能光子掠过重核的一瞬间，有可能写成了“光子分解成旋转方向相反的最简圆偏振光子，且这样的圆偏振光子沿很小的圆周传播而形成定域的电子-反电子偶”的过程。我们不能将高能光子衰变的实验排除在光结电子结构模型验证实验之外。

光结电子结构模型表明了，光子（即电磁波）是基本粒子下一个层次的组成或来源之一。秉承无静止质量实体比有静止质量实体更基本的原则，我们再根据实验事实假设中微子也是基本粒子的组成之一。这样，基本粒子的组成或下一个层次的来源就是光子和中微子。对应的物质结构理论也就是波元素物质结构理论。

3. 根据光结电子结构模型计算电子半径和自旋角动量^[1]

一般人认为，自己对电磁波或者光子比较了解。其实不然。兹举例说明如下。〈1〉光子或电磁波中的电磁场在每个静止的空间点上生存时间多长？即，电磁波或光子中的电磁波的相轨线划过的静止空间点上的

新生的电磁知量的寿命是多长？原子发射光子时的持续时间 10^{-8} 秒。电磁波的波矢在每个静止空间点上停留时间为无穷小。这两种时间都不是电磁波的同根电矢径在同一个空间点上的停留时间，即都不是光子或电磁波中的电磁场的寿命。真空中光子的自然寿命是非常长的，但光子中的电场在它的相轨线掠过的空间点上的停留时间极短（在电磁波传播过程中，上一个点上的电磁场矢量很快会被下一个点上的因感应而新生的电磁场取代）。光子的寿命是光子中电磁场的重复迭代的持续时间。<2>非复合“平面偏振光”能否分解成左旋圆偏振光和右旋圆偏振光？<3>在数学上，两正弦波垂直相交可变成一个圆。两个同样的是正弦波的光子垂直相交，是否也可以变成一个圆？<4>光子能否卷起来（无论是是平直空间中还是在非平直空间中），从而形成质心可以不发生平移的波环？在教科书中找不到这些问题的答案。这表明人类对光子或电磁波的认识并未到达终点。没有彻底了解光子或电磁波的人，应该不方便否认别人对电磁波或光子的未知特性的推测和探索。在现有的电磁理论中，在电磁波的传播过程中，电量和磁矢量都没有位移（而是空间定向新生，具有位移的效果），波矢是在移位。

文献[4]已经对电磁波和光子的未知特性作了大胆推测（为上述问题提供了推测性答案，即，提出了假设）。问题<1>的答案：光子或电磁波中的电矢量的寿命是电磁波的一个周期。问题<2>的答案：最简正面偏振光可以分解成左旋圆偏振光和右旋圆偏振光。一束复合的平面偏振光可以通过四分之一晶体而分解成两束圆偏振光。因此，一束最简平面偏振光可分解成两束最简圆偏振光完全有可能。问题<4>的答案：最简圆偏光可以卷起来而形成首发相接的波环。化学家都了解当年人们为找不到苯的化学结构而伤透了脑筋。后来凯库勒（Kekule）梦见一条蛇咬着自己尾巴构成一个环，从而提出苯环结构。环状结构是一种神奇的结构，直线状态变环状可实现实体的三大统一或转化：质心位移与质心静止的统一和转化；离散与定域的统一和转化；非稳恒与稳恒的统一和转化。光子衰变成电子愉快需要这三种统一和转化。我们将一个光子比作一条百足蜈蚣。这样，上述三个答案的综合结果就是一条首尾相接的环形实体蜈蚣（它的腿相当于电场的电力线或电矢量的矢径）。它的运动变化特点是，在头部不断生长的同时尾部不断消失，效果就是头部在没有位移的情况下沿着圆推进（在表观上，其躯体是在作蠕动式旋转）。环形蜈蚣的身躯和足都处于稳恒状态（大小和伸展方向恒定）。上面的三个答案就是一个假设系列。为了方便，我们称本自然段赋予光子的特性的假设系称为假设 1。也可以把它叫做光结电子结构模型或波旋子电子结构模型。

根据**假设 1**可知，光子衰变成正反电子偶的过程就是，能量达到或超过阈频的最简平面偏振光子分解成一个左旋圆偏振光子和一个右旋圆偏振光子，这两个圆偏光子。它们再卷起来而形成电子和反电子。在达到解释光子衰变成正反电子偶的变化过程的前提下，上述三个分假设不是相互独立的而是相互关联的。一旦提出了其中一个分假设，为达到解释光子衰变过程的目的，另两个分假设的内容就不能任意选择（否则就达不到目的）。如果给第<3>个问题选择肯定的答案，则能为“光子可以卷起来”的假设提供数学依据。原因是，只要有这种波圆稳定存在，光子就一定可以以别的方式形成这种波圆。另外，这种波圆符合暗能量或暗物质的身份。

我们再谈光子与蜈蚣的类比。**假设 1**描述的光子就是一条头部不断新生而尾部不断消失的方式实现整体向前传播的立体蜈蚣。而经典电磁理论描述的一个光子就是一条“切片蜈蚣”（只有两只脚和一个薄片状躯体的二维实体）。其传播方式是，在下一个切片蜈蚣诞生的同时，上一个切片蜈蚣消失，从而导致了电磁波或薄片状蜈蚣的实体向前移动的假象。而真像是切片蜈蚣或电磁场在空间中定向隔空迭代。根据**假设 1**可知，自由电子就是一个波环（类似于一段较大的闭弦）。这个环的半径就是电子的半径（当然，因为从这样的环上发出的电场也属于电子实体，所以，可认为电子半径大于这个环的半径）。平面偏振光是由电矢量旋转方向相反的两种最简圆偏振光组成的。最简圆偏振光子的能量只是对应的平面偏振光子的一半（波长和频率未变）：

$$E_c = h\nu/2. \quad (1)$$

式中， E_c 是最简圆偏振光的能量， E_e 是电子的能量， ν 是最简圆偏振光的频率也是分解前的平面偏振光的频率。光子衰变时波长和频率没有变。根据**假设 1**可知，自由电子半径的值是光子衰变的阈频对应的波长与 2π 之商。

$$r_e = \lambda/2\pi. \quad (2)$$

(2) 中的 λ 与频率的关系为 $c=v\lambda$. 将 $c=v\lambda$ 和光子衰变成电子-反电子偶的阈频代入 (2) 式, 得 1.929×10^{-13} 米。计算结果是文献[8]公布的理论计算值 $r_e=3.86 \times 10^{-13}$ 米的一半。不难发现, 这个半径值就是电子的康普顿波长与 2π 之商: $(h/mc)/2\pi=\hbar/mc$ 。

根据**假设 1** 可知, 自由电子的内禀运动 (自旋) 也是电子内部的最简圆偏振光子的圆周传播的内禀运动。电子自旋角动量就相当于其内部的元光子作匀速圆周运动的角动量 L_e 。大家知道, 平面偏振光子的动量为 $p=h/\lambda$, 那么, 对应的元光子的线动量只有它的一半:

$$p_e=p/2=h/2\lambda=mc. \quad (3)$$

式中, m 是电子的质量, p_e 是最简圆偏振光的动量, mc 是电子内部运动的线动量。根据**假设 1** 和质能相当规律可知, $h\nu/2c^2=m$. 电子自旋就是质量为 $h\nu/2c^2$ 的物质的旋转, 其角动量为

$$\vec{L}_e = \vec{r}_e \times \vec{p}_e. \quad (4)$$

电子内的元光子的角动量的方向随时间而变。因此, 一般情况下我们只考虑其标量。将 (2) 式和 (3) 式代入 (4) 式的标量形式中, 可得 $L_e=h/4\pi=(1/2)\hbar$ (不少书中用 M_s 表示 L_e)。计算结果与实验值完全一致 (没有误差)。这是人类首次利用电子内禀运动状态及经典力学方法计算出的电子自旋解动量。这也是电子自旋角动量的一个分量 (Z 方向分量)。Z 方向不变, 电子翻转 180 度, L_e 就是 $-(1/2)\hbar$ 。用“波沿一个小圆周传播”的电子结构模型准确地计算出了电子自旋角动量。这与当年玻尔利用行星模型计算出了氢原子的能量的情况极为类似。现在公认的一种认识是: 自旋以旋量表示, 而旋量存在于二维复空间中, 对应的三维欧氏空间是一个长度为零但有方向的矢量, 所以我们说自旋没有经典对应。人们也一直没有为电子自旋找到合适的经典对应。现在, 我们能为电子自旋找到经典对应。这种经典对应具有相互关联的二象性 (第一种特性是光的卷曲, 尽管也是二维平面上的旋转, 但属于与经典电磁学对应的旋转; 第二重特性是拟合的经典对应, 与卷起来的电磁波的能量相当的质量在二维平面上的旋转, 被习惯性地看作是经典旋转)。可见, 承认“有关电子的旋转产生的旋量”是二维复空间中的旋转并不能否认光子卷起来的旋转模型。

有相当多的朋友认为, 只要考虑光场变成了电子的稳恒场就行了, 不需要描述得这么仔细 (不需要探索这个变化的具体过程)。但是, 探索这个具体的变化过程并不需要否认量子场论。从 (4) 式及其计算结果可知, 探索这个具体过程是有好处的。特定光子中的电磁场沿一个圆周传播而形成相对定域的能量集中体——其本质是场但其整体具有粒子的特性。可以说这就是波粒二象性的本质。这种电子结构模型结合它的成功应用可以促使人们重新认识微观世界及微观世界与宏观世界之间的关系。

根据**假设 1** 可以预言: 频率较高的最简圆偏振光子具有稳恒电荷 (或电子) 的部分特性。例如: 最简圆偏振光子在磁场中偏转、能产生类似于电磁感应的电场感应、能与电子或反电子发生湮灭, 等。值得注意的是, 验证了这个预言可以证明光结电子结构模型的正确性, 不能验证这个预言却不能否认**假设 1** (原因是, 人们对圆偏振光的性质了解得不全面)。

本节的重点是人类首次利用经典结构和经典转动计算出了电子的自旋角动量。以前, 人们断言, 不可能利用经典结构和经典的旋转计算出电子的自旋角动量。

4. 利用经典旋转和经典物理学方法计算电子自旋磁矩^[1]

假设 1 表明, 电子的内部运动就是波的旋转运动 (沿一个圆形相轨线推进)。我们可以通过德布罗意关系和德布罗意物质波概念而将波的旋转运动拟合为经典转动。实际上, 这种工作在写出 (4) 式的时候就已经开始了。下面几乎是处处都用这样的思路工作。这种拟合方式也是有根据的。因为, 波的旋转运动就是能量的旋转运动, 而相对论认为能量又与质量相当。因此, 波的旋转运动就相当于质量的旋转运动。质量的轨道运动以前一直被看作是经典转动。这样, 电子内部的旋转就既是波的旋转又是有质量物质的旋转。给同时使用经典力学和波动力学是必然的。这种思路的优势也是明显的。因为, 波的旋转不会向外发射电磁波, 波的惠更斯迭代必然是量子化的, 不需要像玻尔那样硬性规定要发生量子化。能描述量子化过程,

就能解释光谱线。波的运动符合波动方程，因此，经典力学与波动力学能很自然的兼容。我们就可以在克服了玻尔模型的不足的情况下将经典转动模型用到量子力学之中（导出量子力学基本方程，计算电子、原子和分子的一些物理量）。

根据**假设 1**可知，自由电子的内禀运动就是电磁波沿一个小圆周传播。根据相对论的质能相当原理可知，自由电子内部的光元子的绕转相当于一个质量为 $h\nu/2c^2$ 的带电点粒子或环的经典旋转（上一节计算电子自旋角动量也利用了这利观念）。由于电子内部的光元子沿一个小圆周传播，因此，其整体（或质心，或能量中心）是静止的，且 $h\nu/2c^2$ 成了静止质量。这就是质-能相当性为电子赋予静止质量的道理。根据电子自旋角动量与自磁矩的关系可知，光结电子结构模型框架内的电子自旋磁矩为

$$\mu_e = -\frac{e}{2m} L_e = -\frac{e\hbar}{4m}. \quad (5)$$

式中， $\eta=2L_e$ ，而 L_e 是电子的自旋角动量。考虑到 (4) 式，并将相应的物理量的值代入 (5) 式计算得到电子自旋磁矩为 $9.27400968 \times 10^{-24} \text{J/T}$ 。这个值是理论值，它与实验值 $9.28476430 \times 10^{-24} \text{J/T}$ 有微小的差别（约万分之一）。其原因值得探索（也许电子中的元光子的磁场起了作用）。

根据 (4) 式的计算结果和 (5) 式可知，自由电子的自旋磁矩与它的自旋角动量之比为

$$-\frac{e\hbar}{4m} / \frac{\hbar}{2} = -\frac{e}{2m}. \quad (6)$$

本节的意义也是展示了可以利用经典结构的旋转计算电子的自旋磁矩。在此之前，人们认为办不到。现在办到了，就是一种进步，具有一定的价值。

5. 根据光结电子结构模型导出电子内禀动量算符和电子自旋算符^[1]

无论是平面偏振光，还是圆偏振光，其波动方程都为

$$\psi(x, t) = A e^{-i2\pi(vt - x/\lambda)}. \quad (7)$$

不同的是，对于平面偏光，其中的 $E=h\nu$, $p=h/\lambda$ ，而对于最简圆偏振光， $E_e=h\nu/2$, $p_e=h/2\lambda$ 。平面偏振光分解成圆振光后，波长和频率不变。因此，波长和频率还是用相对的符号 λ 和 ν 。但它们的动量关系为： $p_e=p/2$ 。(7)

式还可以写成 $\Psi(x, t) = A e^{-(i/\hbar)(Et - xp)}$ 。当惠更斯原理中的波迭代过程发生时，式中的 A 的含义由母波振幅变为子波的振幅。根据光结电子结构模型可知，电子的最简圆偏振光子虽然沿圆周传播。但在一个曲面上弯曲空间中描述，其波函数当然也是 (7) 式。在**假设 1**的前提下，自由电子内部的波是实在的单色波而不是几率波和波包。我们先在弯曲空间中使用 1 维的 (7) 式，待求出了一维线动量算符之后，再推广到三维空间。当相同的粒子或波在平直空间和弯曲空间中的运动规律相同时，在弯曲空间中和平直空间中计算线动量，得到的结果完全相同。因此，在计算粒子的线动量时，可以不区分是弯曲空间还是平直空间。**假设 1** 告诉我们，对于自由电子的内禀波动，(7) 式中的波长 $\lambda = h/2p_e = \pi\hbar/p_e$ [见 (3) 式]。考虑到这个自由电子内禀波动的波长表达式 $\lambda = h/2p_e = \pi\hbar/p_e$ ，求 (7) 式对 x 的偏导数，我们有

$$\frac{\partial}{\partial x} \psi(x, t) = \left[i2 \frac{p_e}{\hbar} \right] \psi(x, t). \quad (8)$$

将此式变形得

$$\left[-\frac{i\hbar}{2} \frac{\partial}{\partial x} \right] \psi(x, t) = p_e \psi(x, t). \quad (9)$$

根据算符的定义， $-\frac{i\hbar}{2} \frac{\partial}{\partial x}$ 就是自由电子的内禀运动的线动量算符 \hat{p}_e ，即

$$\hat{p}_e = -\frac{i\hbar}{2} \frac{\partial}{\partial x}. \quad (10)$$

假设 1 指明电子的内禀运动（自旋运动）是最简圆偏振光子沿一个小圆周传播，且首尾相接（这个小圆的周长恰好是波长）。因此，在一个弯曲的空间中，电子自旋的波函数的形式仍然是 (7) 式。考虑到 $p_e=mc$,

在(10)式两边同乘以 r_e (r_e 的表达式为 $r_e=\lambda/2\pi=h/4\pi p_e=\hbar/2mc=\hbar/2p_e$), 得 $r_e \times \hat{p}_e = -i \frac{\hbar^2}{4mc} \frac{\partial}{\partial x}$. 考虑到 $L_e=r_e p_e$,

以及算符定义，我们有

$$\hat{L}_e = -i \frac{\hbar^2}{4mc} \frac{\partial}{\partial x}. \quad (11)$$

式中， m 是电子的静止质量，其值为 $h\nu/2c^2$ （一个平面偏振光子衰变成一个电子和一个反电子）。(11) 式就是电子自旋角动量算符。上述推导过程表明：如果**假设 1** 成立，电子自旋函数就是 (7) 式，电子自旋算符是 (11) 式。将 (11) 式作用于 (7) 式，可得到电子自旋解动量本征值。

在使用了经典结构模型计算出了电子自旋角动量之后，“电子自旋没有经典对应”的观念实际上已经被打破了。

电子的自旋磁矩的算符也可以根据光结电子结构模型(相轨线电子模型)导出。(9) 式两边同乘以 μ_e/mc . 再利用 (5) 式消去式中两个 μ_e 中的一个，同时用 mc 消去等号右边 p_e 可得

$$i \frac{e\hbar^2}{8m^2c} \frac{\partial}{\partial x} \psi(x,t) = \mu_e \psi(x,t). \quad (12)$$

根据算符的定义，电子自旋磁矩的算符为

$$\hat{\mu}_e = i \frac{e\hbar^2}{8m^2c} \frac{\partial}{\partial x}. \quad (13)$$

单位制是 CGS 单位制（下同）。利用大家熟知的算符导出方法也可以导出 (13) 式。根据自旋角动量与自旋磁矩之间的关系可知 $\mu_e = -\frac{e}{2m} L_e$. 考虑到 $L_e=r_e p_e$ 和 $r_e=\hbar/2mc$, 可得

$$\mu_e = -\frac{e\hbar}{4m^2c} p_e. \quad (14)$$

利用 (10) 式将 (14) 式中的 p_e 换成算符，可得 (13) 式。

本节给出了很具体的电子自旋算符。它是从根据电子的内部结构和电子的内禀运动方程得到的。在本文之前，人们不知道电子自旋的具体形式，也就不知道电子自旋运动方程，电子自旋算符是根据实验结果猜测而建立矩阵得到代用品（不知道它的具体结构和运动方式，想准确地描述它的运动实际上是办不到的）。参考文献[1] 及本文给出了电子的内部组成和运动的具体形式，肯定方便得多。

6. 根据光结电子结构模型导出薛定谔方程^[1]

无论是薛定谔方程不是狄拉克方程，都与一种能量求和公式对应。可以所根据这一特点而检查推导出的薛定谔方程和狄拉克方程的正确性。

惠更斯原理说的是，球形波面上的每一点都是一个次级球面波的子波源，子波的波速与频率等于初级波的波速和频率。为了方便，我们称惠更斯原理描述的波的变化过程为波的惠更斯分裂或波的惠更斯迭代过程（波的惠更斯繁殖）。另一条波动规律是，在势场中，波的能量变，但波的形式不变。在原子核（或原子实）的电场中，电子的波动方程仍然是平面偏振光或圆偏振光的波动方程。

只是，根据惠更斯原理，在氢原子中，核外电子的已经扩展为一个波列（拍波一拍），该波列中的子

波数为 274（这就是**假设 2**）。**假设 2** 包含“在势场中，特殊的电磁波可以完成惠更斯迭代过程”，它的本质仍然是惠更斯原理。惠更斯原理还告诉我们，系列子波与母波的波速相同、波长相同、频率相同、振幅不同。这种拍波以前总是被当作德布罗意波。德布罗意波是联系微观异界与宏观异界的桥梁。既然利用德布罗意波的处理微观体系是成功的，我们就将势场中的拍波拟合为德布罗意波。它的波长与动量的关系为 $p=h/\lambda=mv$ 。其中 v 为德布罗意波速， p 是核外电子的整体运动的线动量。其总能量是核外电子的考虑了势能 (V)、动能 (T) 和与静质量对应的能量 (m_0c^2) 之和（我们还是用 E 表示）。在拍长也用 λ 表示之后，德布罗意关系为 (15) 式（对于轨道为圆形的 s 电子而言）。在势场中，电子内部的波动的速度仍然是光速，能量增加是通过改变振幅（和波数）改变完成的。以原子为例，其核外电子的拟合经典运动不是在内部圆偏振光子的高速运动基础上的运动，而仅仅改变圆偏振光子的振幅。从上面的论述可以看出，关于德布罗意波，的内涵和应用都与以前完全一样，只是对它的理解有些不同。在本文中，德布罗意波的本质是标准的波，但可以将它拟合为物质波。

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{2\pi\hbar}{p} = 2\pi r. \quad (15)$$

将 (7) 式对 x 求一阶偏导数，得：

$$\frac{\partial}{\partial x} \psi(x,t) = i \frac{p}{\hbar} \psi(x,t). \quad (16)$$

将此式变形，得 $p\psi(x,t) = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x} \psi(x,t)$ 。根据算符的定义可知：

$$\hat{p} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}. \quad (17)$$

(17) 式就是原子分子中的电子的动量算符。将上述过程中的“求一阶导数”改为“求二阶偏导数”，可得：

$$\hat{p}^2 = -\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2}. \quad (18)$$

在平衡的电动力学体系中，维里定理成立，且粒子的动能与质量有确定的关系。在氢原子为例，此关系为：

$$T = p^2/2m. \quad (19)$$

根据 (18) 式而将 (19) 式中的 p^2 换成算符形式，可得：

$$\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2}. \quad (20)$$

$T+V=H$ 是除与静止质量相当的能量以外的电动力学平衡体系中的粒子的动能与势能之和。考虑到 $T+V=H$ ，再根据算符的定义 (V 的算符就是 V 本身)，可得

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V. \quad (21)$$

(21) 式就是以氢原子为例得到的电动力学平衡体系的哈密顿算符。它作用于波函数得到的就是能量本征值 H (哈密顿量)。

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V \right] \psi = H\psi. \quad (22)$$

(22) 式就是非相对论薛定谔方程。式中的 ψ 是平面偏振光的波动方程（其中， $E=h\nu$, $p=h/\lambda$ ）。含时薛定谔方程将在第 7 节中导出。(22) 式与 $T+V=H$ 能量求和公式对应。

薛定谔方程在量子力学数学形式体系中的地位很高。以前，在导出薛定谔方程时，使用波函数 $\psi(x,t)$ 的理由是“微观粒子的运动类似于 (7) 式”。在光结电子结构模型下，模糊的“类似于”变成了肯定的“是”。这显然使薛定谔方程的导出过程离直觉更远而逻辑更严密。

薛定谔方程是根据直觉得到的，而不是推导出来的。推导薛定谔方程无疑是一次科学进步。况且，本文建立了电子结构→电子自旋角动量→电子自旋磁矩→电子波动方程的系列。

7. 根据光结电子结构模型计算氢原子^[1]

假设 2 认为自由电子的小环在成为氢原子核外电子时发生惠更斯迭代过程而成为一个大环。即 $1s$ 电子的半径是自由电子半径的 274 倍。这样，一个基态氢原子的结构是：氢核处于由 274 节次级子波围成的一个圆的圆心之上，基态电子闭弦半径（也是玻尔半径，记为 r_d ）为

$$a_0 = r_{1s} = 274\lambda/2\pi, \quad (23)$$

式中的 λ 仍然是“与能量恰好为光子衰变为电子偶的阈频对应”的 γ -光子的波长。它是电子的康普顿波长 λ_c 的一半（即， $\lambda = \lambda_c/2$ ），数值为 $\lambda = h/2mc = 1.213 \times 10^{-12}$ 米。自由电子半径为： $r_e = 1.213 \times 10^{-12} \div 2\pi = 1.929 \times 10^{-13}$ 米。所以 $r = 274r_e = 274 \times 1.929 \times 10^{-13}$ 米 $= 5.29 \times 10^{-11}$ 米，计算结果与玻尔半径数值吻合。将势能函数 $V = -e^2/r$ 代入推广到三维空间中的 (42) 式也能得到同样的结果。“将 (22) 式推广到三维形式”是一种纯数学方法。与它对应的物理学内容是氢原子核外电子的运动是四维流形的运动。拟合的经典旋转模型与四维流形方法得到的氢原子半径的数值相同。这表明，这两种方法并不是势不两立。即使它们之间有不可调和的矛盾，也有可能是空间的四维流形方法失真。认为核外电子是做四维流形的运动会导致电子的运动方式不可知（或者非常模糊），且必须使用电子云的丑陋概念。按**假设 2** 所述，氢原子核外电子是一个波环。它也决定“一定半径的球壳中的能量密度具有最大值”。

在光结电子结构模型的框架内，氢原子核外 $1s$ 电子的非相对论性轨道角动量 (L_s) 可以用两种不同的方法计算电子自旋解动量。第一种方法是将核外电子除内禀运动以外的运动拟合为德布罗意物质波，从而利用经典转动和德布罗意关系。氢原子核外 $1s$ 电子的轨道运动角动量为 $\hat{L}_s = \vec{r} \times \hat{p}$ 。将德布罗关系 (15) 式及 $r = \lambda/2\pi$ 代入 $L_s = rp$ 可得到它的一个分量的绝对值

$$L_s = r(h/2\pi r) = \hbar. \quad (24)$$

它恰好是自由电子的自旋角动量的 2 倍。第二种方法轨道自旋算符作用于波函数 [算符见 (28) 式。自旋函数仍然是 (7) 式]。

电子绕核运转离心力与电荷间的吸引力达到平衡。电子的环状实体与点状实体在绕核运动的情况下，这种力学平衡情况完全相同。这种平衡状态下的平衡状态方程为

$$\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{mv^2}{r}, \quad (25)$$

$1s$ 电子绕氢核的转动速度为 $v = Zac$ (这是上面的方程的解)。式中， a 为精细结构常数， Z 为核电荷数。推导 $v = Zac$ 时，使用 $mvr = \hbar$ 这种轨道运动角动量表达式消除了一个变量 r ，从而使上述力学平衡方程有确定解 $v = Zac$ 。按照**假设 2**，当氢原子的核外电子处于 n 能级时，轨道半径为 $r_n = n^2 r_{1s}$, [7] 可记为 r_{ns} 。将玻尔半径

量子化公式 $r_n = n^2 r_{1s}$ 及角动量子化公式 $L_{ns} = r_n m v_{ns} = n L_{1s} = n \hbar$ [6] 代入 (25) 式，重新解这个方程并与第一次的解 $v_{1s} = Zac$ 比较，可得到速度量子化公式 $v_{ns} = (Z/n) v_{1s} = (Z/n) ac$ 。这个速度量子化公式显然同样源于行星模型背景下的玻尔的量子化假设。含有 Z 的经典模型背景下的量子化公式可以表明行星模型可成功用于氢原子以外的原子的 s 电子（此处所说的“成功”的决定主要决定因素是可波的卷曲运动拟合为经典转动。我们很快就会谈到这种拟合）。

(25) 式是经典行星运动轨道运动公式，土星环的运动也符合此式。凡是利用了这个式子以及它的导出式 $v=Zac$ 和 $E_k=T=p^2/2m$ ，都是利用了经典运动规律和经典运动模型。这样导出的量子力学数学形式体系，与玻尔行星模型必然是兼容的。读者很快就能看到，狄拉克方程的导出也可以利用经典力学运动公式。尽管出现了“从 Lorentz 群下的旋量变换性质推导 Dirac 方程”的方法，但是，该方法并不能否认经典导出法（狄拉克本人当年使用的方法）。薛定谔方程的导出和应用也绕不开经典动量-能量关系和经典电动力学势能公式。这是玻尔行星模型与波动力学兼容的理论基础。迷信量子场论的学者排斥经典运动，可以说是情感作祟而不是严密的逻辑的结论。

氢原子中的 1s 电子的非相对论性轨道磁矩理论值及其与电子自旋磁矩的关系为

$$\mu_s = -\frac{e}{2m} L_s = -\frac{e\hbar}{2m} = 2\mu_e. \quad (26)$$

这些计算结果与实验事实相符。电子轨道磁矩恰好是该轨道上电子的自旋磁矩的 2 倍（电子的轨道运动有相对论效应，但自旋运动没有。因此，考虑到相对论效应，这个倍数略大于 2）。这个结果是根据光结电子模型自然得到的。可见，利用拟合的经典旋转也能导出朗德（Landé）因子 g 。读者们请注意：以前，玻尔磁子和核磁子都是定义的，而在本文中是计算出来的。

根据（25）和（26）两式可知，玻尔氢原子的 1s 电子的轨道磁矩与它的自旋角动量之比为 $-[e\hbar/(2m)]/\hbar=-e/(2m)$ 。根据（11）式和 $p=2p_e=2mc$ 可知，

$$\hat{L}_s = -i \frac{\hbar^2}{2mc} \frac{\partial}{\partial x}. \quad (27)$$

这就是核外电子的轨道运动角动量算符。在光结电子结构模型建立之前，氢原子中电子的轨道磁矩被错误地认为是电子自旋磁矩（氢原子被认为是球对称的，不存在电子的经典力学轨道）。

根据（26）式和（13）式可知，

$$\hat{\mu}_s = i \frac{e\hbar^2}{4m^2c} \frac{\partial}{\partial x}. \quad (28)$$

这就是基态氢原子的核外电子的轨道运动磁矩算符。氢原子 1s 电子的轨道磁矩的 Z 方向分量的绝对值为 $\mu_s=(e/2m)rp$ 。考虑到 $r=\lambda/2\pi=(\hbar/p)/(2\pi)=\hbar/2m$ ，可以得到 $\mu_s=(e/2m)(\hbar/2m)p$ ，即 $\mu_s=-\frac{e\hbar}{4m^2c} p$ 。将这个式子中的 p 更换成（17）式表示的算符，可得（28）式。

本节的计算可以说是玻尔氢原子模型的延续，计算结果解释了玻尔氢原子模型为什么能得到一些正确的结果。以前人们认为玻尔的行星式氢原子模型进入了死胡同。现在看来，玻尔氢原子模型与现有的量子力学甚至量子场论是高度兼容的。本文中的所有计算结果表明，玻尔行星模型的应用还可以扩展到所有原子甚至小分子的范围。

根据能量与质量相当的规律可知，光波流就是能量流也是质量流。这样，沿圆形路径传播的光子构成的电子就等同于一个实体圆环，具有经典带电圆环的一些特性。在这种前提下，核外以光波构成的沿圆环运动的电子在某些方面就类似于环状电子实体以经典方式运动。根据这种模型计算出的结果与事实相符就表明这种电子结构是正确的（至少具有一定的实用性）。特别是这种电子结构模型消除了经典力学与量子力学之间的鸿沟。本文介绍的可以同时利用经典模型和波动模型计算同一个微观粒子，也是这种波元素粒子结构模型的成功应用。

8. 根据光结电子结构模型导出克莱因-高登方程和狄拉克方程^[1]

本节介绍的原创性内容表明，即使是相对论性量子力学，也可以利用玻尔行星模型背景下的经典运动规律而得到正确的处理结果。

考虑到“势场中，波的能量改变，而波的形式不变”，核外电子的波动方程仍然是（7）式。其总能

量也是 (7) 式中的 $E=hc, hc=\sqrt{m^2c^4 + p^2c^2}$. 将核外电子运动的波动方程 (7) 式对 t 求一阶偏导数, 可得

$$\frac{\partial}{\partial t}\psi = \frac{-iE}{\hbar}\psi. \quad (29)$$

根据算符的定义可得

$$\hat{E} = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}. \quad (30)$$

这就粒子的总能量算符。

基态氢原子核外电子的总能量 E 为: (电子的轨道运动动能 T)+(势能 V)+(电子的内禀能量 mc^2):

$$T + V + m_0c^2 = E, \quad (31)$$

式中, m 是电子的质量。维里定理 (Virial theorem) 是经典多质点平衡体系的动力学定理。相对论效应也不能破坏它。在玻尔氢原子模型中, 它肯定成立。对于**假设 2** 之下的类土星的环氢原子, 维里定理也成立。现有量子力学也使用维里定理。比较维里定理 $2T + V = 0$, $p = mv$ 以及“根据经典力学平衡方程 (25) 式导出”的 $v = \alpha c$ (此处 $Z=1$) 和 (31) 式, 可得: $T = mv^2/2 = \alpha cp/2$, $V = -2T = -mv^2 = -\alpha cp$, $T + V = -(1/2)\alpha cp$ 以及

$$T + V + m_0c^2 = -(1/2)\alpha cp + mc^2 = E. \quad (32)$$

运动粒子的动能与相对论能量的关系为 $mc^2 - m_0c^2 = T = (1/2)\alpha cp$. 利用此式消去 (32) 式中的 m_0c^2 , 我们有

$$-\alpha cp + mc^2 = E. \quad (33)$$

(33) 式可直接表示: 运动粒子的总能量减去粒子的动能等于粒子的内能。将 (33) 式中的 p 和 E 分别用 (17) 和 (30) 式表示的算符作用于 $\psi(x,t)$ 替换。可得

$$-\alpha c \hat{p} \psi + mc^2 \psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi. \quad (34)$$

(34) 式就是狄拉克方程。本文导出的狄拉克方程的意义是, 在氢原子的电动力学平衡体系中, 体系中的电子的总能量等于其相对论总能量与其势能之和。如果描述是负能量粒子的运动, 式中各项的符号都要改变。这样改变后等于没有改变。只有单独改变质量的符号, 才能得到与狄拉克方程完全相同的形式。但是, 质量负值是人们错误地将反粒子当作负能量 (或负质量) 粒子造成的。(34) 式中的 α 是具体的常数——精细结构常数, 且 αc 是基态氢原子核外电子的拟合经典运动速度。但是, 在本文以前, α 不是简单的常数 (满足一定的条件, α 可取 ± 1)。 α 的矩阵形式是不狄拉克导出来的, 而是为满足狄拉克方程在洛伦兹变换下协变而写出来的。从这一点来看, 我们不能以原狄拉克方程为标准而判断本文导出的狄拉克方程的正确性。可见, 想否认本文给出的 α 的意义也不是很容易。具体地解若干个狄拉克方程, 看结果是否与事实相符。(34) 式必须与能量求和公式 (32) 式对应, 否则就是错误的。

如果是有效电荷数为 Z^* 的原子实外的 ns 电子, 适用于基态氢原子的狄拉克方程为

$$-\frac{Z^*\alpha c}{n} \hat{p} \psi + mc^2 \psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi. \quad (35)$$

与 (34) 式对应的原狄拉克原方程为

$$\alpha c \hat{p} \psi + \beta mc^2 \psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi. \quad (36)$$

式中, $\beta = \pm 1$. 就是说, (36) 式中包含以下内容。

$$\alpha c \hat{p} \psi - mc^2 \psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi. \quad (37)$$

(37) 式的等号两边的能量符号不一致, 是错误的。原因稍后陈述。(37) 式的问题也是 (36) 式的问题。由于式中的 ψ 是 (7) 式定义的, 因此, (36) 式和 (37) 式中的 $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi$ 是粒子的内能。大家知道, 运动粒子

相对论总能量为 $\sqrt{m^2c^4 + p^2c^2}$ 。(36) 式和 (37) 式的等号两边的绝对值都不可能大于它。它等于

$\sqrt{(mc^2 + pc)^2 - 2pmc^3}$ 而小于 $(mc^2 + pc)$. 如果 α 和 β 都取+1, 则, (36) 式的左边大于右边 (方程不成立)。

在 α 和 β 都取-1 的前提下, 即使利用 (37) 式描述负能量粒子, 方程同样不成立。与 (36) 式对应的体系能量求和方式是 $cp + mc^2 = E$. 这与正确的能量表达式 (31) 式不一致, 也与玻尔氢原子模型不兼容。原狄拉克方程 (36) 式中左边第一项 ($\alpha c \hat{p} \psi$) 是被狄拉克错误地扩大了 137 倍的结果。在承认 $\alpha = \pm 1$ 的前提下,

无论 α 和 β 的称号是相同还是相反, (36) 式都存在错误。

与 (36) 式表达的原狄拉克方程比较, 本文导出的狄拉克方程 [(34) 式] 至少有几个优势: 第一, 明确发 α 的意义; 第二, 方程更符合能量求和方式; 第三, 本文给出的狄拉克方程是推导出来的, 而原狄拉克方程是凭直觉写出来的。

将 (7) 式对 t 求 2 阶偏偏导数, 并与 (30) 式比较, 可得

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi = \hat{E}^2 \psi. \quad (38)$$

对于粒子的整体运动适用的相对论总能量为 $E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$. 方程两边平方, 各项同除以 c^2 并移项得

$$(E/c)^2 - p^2 = m^2 c^2. \quad (39)$$

分别用 (38) 式和 (18) 式表示 (39) 式中的 E^2 和 p^2 , 得

$$-\frac{\hbar^2}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi + \hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi = m^2 c^2 \psi. \quad (40)$$

(40) 式就是克莱茵-高登方程 (Klein-Gordon's equation)。式中的 ψ 是平面偏振光的波动方程。(40) 式与相对性动量平方 $(E/c)^2 = m^2 c^2 + p^2$ 的表达式对应。

德布罗意波 (即, 假设 2 中的拍波), 也是拟物质波。该拟合波的频率为元光子频率的 274 分之一。 $h\nu_d$ 是该拟合波的动能 T (其中, ν_d 是拟合波的频率, 即德布罗意波的频率)。该拟物质波的拟合速度 (表观速度) 为 $v = \alpha c$. 这种速度以前被叫做德布罗意波的群速度。拟物质波的能量与动量的关系同时是经典力学关系: $T = pv/2 = \alpha cp/2$. 既然拟合出了经典运动, 所用的计算方法就一定包括经典力学方法。在这种情况下, (7) 式中的 $h\nu = E$ 就是粒子的动能 $E_k = T$. 同时, 我们有 $\frac{\partial}{\partial t} \psi = -i \frac{E_k}{\hbar} \frac{\partial}{\partial t} \psi$, $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = E_k \frac{\partial}{\partial t} \psi$. 比较 (20) 式与 (30) 式, 考虑到 $E_k = T$ 及 $T + V = E$, 可得含时薛定谔方程。

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi + V\psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi. \quad (41)$$

如上所述, 非含时薛定谔方程、含时薛定谔方程、狄拉克方程和克莱茵-高登方程分别描述体系的不同形式的能量。这些能量形式依次是: 体系的动能+势能、动能、包括与静质量相当的能量的运动粒子的总能量、运动粒子的与静止质量相当的能量与质量之积。只要我们选定了粒子的波动方程是 (7) 式, 将相应的算符作用于它们, 就能得到相应的本征值, 而与 (7) 式到底是圆偏振光子的还是平面偏振光子 (或德布罗意波) 的无关。

以光结电子结构模型为基础导出了量子力学基本方程, 建立了量子力学数学形式体系。就不能说, 利用量子力学数学形式体系的计算不是应用了光结电子结构模型的计算。可以说, 只要理由明确地利用 (7) 式导出的量子力学或量子场论的基本方程, 就可以肯定, 导出这些基本方程利用了光结粒子结构模型。原因是, (7) 式就是光子的波动方程。这与以前猜测性地 (原因不明地) 利用这两个式导出量子力学基本方程的情况不同。因此, 本文可以利用经典力学方法计算电子自旋解动量和自旋磁矩, 等物理量的本征值。而本文以前的量子力学和量子场论办不到。

以上的传述表明，建立量子力学逻辑体系时，前提减少，逻辑性增强了。这就是美化了量子力学数学形式体系。

在较长的一段时间里，人们认为狄拉克方程也是凭直觉写出来的，而不是根据严密的逻辑方法推导出来的。后来出现了根据张量运算导出狄拉克方程，情况才有所改观。本节根据电子结构模型和原子结构模型导出狄拉克方程无疑是一种创新。本节导出的狄拉克方程中的 α 是确定值 $1/137$ 。而不再是不能完全确定的值。电子自旋函数和自旋算符也是明确的，而不再是意义模糊。

9. 同时根据定域实在论的物质结构模型和波动力学计算氢分子^[1]

量子化学家计算分子和原子需要知道体系的势能函数。然而，由于电子的运动状态未知，因此，大多数原子分子体系的势能函数是未知的，即使有些是已知的，也不能根据它轻松地计算出正确的原子分子数据。必须主观地试探势能函数的形式，即量子化学家使用的体系势能函数是试探函数。这使量子化学方法是半经验方法。摘掉半经验方法的帽子而轻松计算出一些分子的数据一定是量子化学家梦寐以求的。

利用纯数学的方法将 (22) 式推广到三维情况，可得

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \right] \psi = H\psi. \quad (42)$$

对于氢原子而言，这种“推广”操作相当于承认核外电子的运动不是经典意义的简单运动。将势能函数 $V = -Ze^2/r$ 代入 (42) 式计算，可得到氢原子的电子的能量在核外一个球壳中有最大值。这个最大值处的球壳半径就是氢原子的半径。氢原子的电子能级也可以从薛定谔方程的解中反映出来。简单地说，就是光结电子结构模型不排斥已有的量子力学计算方法（只要能给出势能函数，原子和分子都可以利用类氢原子而大大简化计算过程）。只需将“几率密度”概念修改为“能量密度”概念。

根据**假设 1-2**可知，无论是自由电子还是核外电子，都是环状的波，且核外电子环是核外电子波动的相轨线又恰好是核外电子的经典运动轨道。在光结电子结构模型的框架内，以电子环的直径为轴，将电子环旋转 180 度就制造出了自旋方向相反的电子。电子配对就是这样的自旋方向相反的电子完全重合。两个自由电子配对后，其总能量降低。势场中两个电子配对，不会出现无穷大势能。这是因为，在电子轨道的尺度内，非自由电子配对不符合库仑定律（大家知道，库仑定律只对点电荷源的中心力场适用。但是，光结电子结构模型表明，电子不是点电荷）。这就是本文的**假设 3**。**假设 1**和**假设 2**决定了**假设 3**中的电子配对就像频率相同的两束光重叠（其机制就像左旋圆偏振光与右旋圆偏振光组合成平面偏振光。当自旋方向相反的两个电子之间的距离小到一定程度时，将严重偏离库仑定律）。**假设 3**满足超导理论中的库珀对的条件和功能。可用归纳法找到电子配对能的规律和经验公式。**假设 1-3**就是光结电子结构模型的主要内容（可以说，**假设 1-3**与光结电子结构模型是等价的描述）。

本文中的三个假设不是独立的，而是有联系的。具体地说，它们都围绕同一个核心。该核心就是最简圆偏振光子首尾相接而沿一个圆周传播，构成一个能量定域、电荷恒稳的基本粒子。这样的电子有三大特点：组成——最简圆偏振光子；结构——首尾相接的波环；重要特性——在势场中，一段波可按惠更斯原理而扩展成为一个拍波。

氢原子的 $1s^2$ 电子的主能级相同，电离能应该相同。这两个电子的电离能之差就是氢原子中的 $1s^2$ 电子的配对能。原因是，如果没有另一个电子的影响， $1s^2$ 这两个电子的电离能就是相同的。它们的电离能的不同正是这两个电子间的相互作用的结果。在化学手册中可以找到各原子的 $1s^2$ 电子的电离能之差。根据元素电离能数据，用回归分析法可以得到 $1s^2$ 电子配对能与有效核电荷数的回归方程——(43)式^[8]。

$$\Delta I_{\text{paired electron}} = E_{e-e} = (-0.03100Z^{*2} - 16.619Z^{*} + 3.1613)/n^2. \quad (43)$$

(43) 式中的能量单位是电子伏。利用不同数量的电离能数据和不同的软件计算出的回归方程略有不同（有条件的读者请选择更好的统计工具）。(43) 式可以看出，当有效核电荷数为零时，自由电子配对时放出的能量为 $3.1613eV$ 。这就是自由电子的配对能 Δ 。(43)式具有两个重要作用：它使电子-声子相互作用假设不再是必须的；它提供了测量电子配对能的实验方法。电子本对能不需要利用微扰法计算。两个电子完全

重合不会出现无穷大的势能。这可以消除一些过程的重正化 renormalization 需要。

根据本文中的**假设 1**，**假设 2**和**假设 3**可知，氢分子离子就是一个电子球在两个氢核之间的电动力学平衡体系。

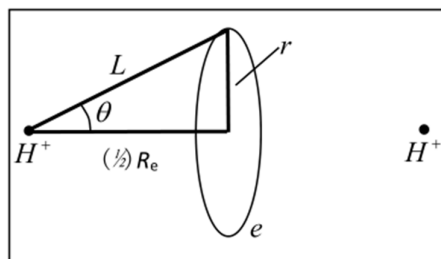


图 1. 氢分子离子 H_2^+ 的结构示意图。

Figure 1. Hydrogen molecule-ion H_2^+ .

基态氢分子就是两个氢核之间有一对电子重合而的电荷环。这种结构可以达到经典的电动力学平衡。可以用类氢原子计算。计算结果为：离解能和键长分别是 $D_e = -4.2eV$ ，键长 $R_e \approx 0.71 \times 10^{-10} m$ [9]。相对的实验值为： $D_e = -4.75eV$ ， $R_e = 0.74 \times 10^{-10} m$ 。误差与没有考虑核间的磁矩相互作用有关。文献 [4] 对氢分子离子的计算结构为： $D_e = -6.2eV$ ， $R_e \approx 1.1 \times 10^{-10} m$ 。对应的实验值为 $D_e = -2.8eV$ ， $R_e \approx 1.06 \times 10^{-10} m$ 。对于氢分子离子，离解能的计算结果的误差大。原因是，氢分子离子只有一个电子，其轨道磁矩与核磁矩的相互作用不对称，导致分子不对称而产生较大的误差。

这是人类首次利用经典结构计算出的有关氢原子的数据。尽管计算过程中利用了经验公式计算电子配能对能，但是，这个经验公式是通用的公式，且是根据实验归纳出来的。这比以前主观方法给出经验势能函数的方法要客观得多。计算方法是定域实在论的方法。

利用相同的方法可以计算锂分子 Li_2 。与氢分子不同的是，锂分子的成键电子处于 $n=2$ 的能级上。计算结果为：离解能 $D_e = -1.19eV$ ，键长 $R_e \approx 2.56 \times 10^{-10} m$ [10] 对应的实验值是 $D_e = -1.06eV$ ，键长 $R_e \approx 2.67 \times 10^{-10} m$ 。误差同样与两核之间的核磁相互作用有关。根据本文的基本思想可知，氢分子离子有三个磁偶极子：两个核磁偶极子和一个电子偶极子，且它们的相互作用不对称，导致氢分子离子不像氢分子那样对称。我们可预言同相同的方法计算氢分子离子，相对误差要比氢分子的大。实际情况的确如此 [11]。

从图 1 可以直观地看出，本文提供的量子化学计算方法是定域实在论的方法。

本节内容表明，波动力学(量子力学)也可以是定域实在论的。前面几节预示的是定域实在论与波动力学可以兼容。本节将这一点落到实处（在应用方面将其推向了高潮）。

10. 行星式原子模型应用到氢原子以外的原子和原子实之上 [11]

原子的行星式原子模型是沿用概念。在光结电子模型的框架下，将行星模型改为土星模型概念更贴切一些。实际上，原子的土星模型是拟合出来的而又符合经典物理学规律的模型。原因是，原子中的类卫星环并不是固体环，而是波环，但从整体上看，与环状波的能量相当的质量的确是分布在环状电子上的（这样，就不存在稳定性疑难和量子化疑难）。由于原子的土星模型与波动力学模型是高度兼容的，因此，我们可以同理使用波动力学方法和土星模型下的经典电动力学方法计算原子的能量。换言之，我们可以为所有的原子增加一个行星模型计算方案。

在本文中，以下计算方法可以混合使用：波动力学或矩阵力学方法、玻尔行星模型背景下的经典电动力学方法和将原子或小分子撤分（拟合）成类氢原子或类氢原子实的方法 [类氢体系拟合好以后，直接利用形如 (44) 式的计算结果，不需要重新求解氢原子的薛定谔方程]。氢原子的能量本征值量子力学计算结果的表示方法之一是

$$E_n = -Z^2 \times 1312.0 / n^2. \quad (44)$$

式中, Z 是核电荷数。原子实释放出来的相对有效核电荷数用 Z^* 表示。(44)式是将氢原子的势能函数 $-e^2/r$ 代入薛定谔方程的计算结果, 能量单位是 kJ/mol 。用 Z^* 代替中的 Z , 可以根据 (44) 式计算原子实的相对有效核电荷数。类氢原子的确定方法是将双电子势能函数撤分为两个单电子势能函数 (原本是单电子环的显然不必撤分了), 然后将其除以氢原子的势函数。得到的常数就是类氢原子的约化核电荷数 (用 z 表示, 以便区别于有效核电荷数 Z 和 Z^*)。 z 与氢原子的势能函数之积就是类氢原子的势能函数。其薛定谔方程的解为 $E_n = -z^2 \times 1312.0/n^2$ 。根据行星模型和维理定理可知, 氢原子的能量本征值的计算方法为 $-Ze^2/2r$ 。类氢原子的行星模型计算方法也与氢原子的相同。

下面我们分别利用行星式原子模型及经典电动力学和波动力学计算锂和铍两种元素的原子和原子实的大小和能量本征值。锂原子核外有 3 个电子: $1s^2 2s^1$ 。根据假设 1-3 可知, 这三个电子构成两个电子环。其中, $1s^2$ 是一个电子已经配对的双电子环, $2s^1$ 电子是一个单电子环。这样的锂原子就类似于土星。不过, $1s^2$ 双电子环和 $2s^1$ 单电子环的环平面不在一个平面上。 $1s^2$ 双电子环的半径为 $r_{1s} = 0.33333a_0 = 0.1764 \times 10^{-10} m$; $2s^1$ 电子环的半径为 $r_{2s} = 3.177a_0 = 1.681 \times 10^{-10} m$ 【半径 r 都可以根据大家认可的玻尔半径表达式——(44) 式——计算出来】。原子实 (也是 Li^+) 相对 $2s^1$ 电子的有效核电荷不是 1 而是 $Z^* = 1.2594$ 。它是将锂元素第 1 电离能 $E_n = -520.2 \text{ kJ/mol}$ 和 $n=2$ 代入 (44) 式计算出来的。对于锂原子的土星模型及经典电动力学计算方案,

我们先分别计算三个核外电子的势能与动能之和 ($-\frac{3 \times 2e^2}{2r_{1s}} - \frac{1.2594e^2}{2r_{2s}}$), 再计算三个电子之间的相互作用

用势能 [$1s^2$ 电子配对能用 (43) 式计算, 其值为 4530.3 kJ/mol 。 $1s^2$ 电子与 $2s^1$ 电子之间的相互作用势能已经体现在有屏蔽效应或者说有有效核电荷数之中了], 最后求和 ($-23616.2 - 520.2 + 4530.3 = -19606.1 \text{ (kJ/mol)} = -203.3 \text{ eV}$ 。想减小误差必须作相对论校正)。对应的实验值为 $-19633.3 \text{ kJ/mol} = -203.6 \text{ eV}$ 。在本文

中, 利用薛定谔方程计算是以类氢原子的方式计算。方法是, 建立单电子相对于核的势能函数: $-\frac{3e^2}{r_{1s}}, -\frac{3e^2}{r_{1s}}$

和 $-\frac{1.2594e^2}{r_{2s}}$, 并将 e^2/r 以外的常数部分合并成约化有效核电荷数 z , 然后将氢原子的计算结果中的

Z 更换成拟合有效核电荷数 z 。得到的能量本征值分别为 -11808.0 kJ/mol , -11808.0 kJ/mol 和 -520.5 kJ/mol 。结果为 $-11808.0 \times 2 - 520.5 + 4530.3 = -19606 \text{ (kJ/mol)} = -203.3 \text{ eV}$ 。它们的和再加上电子配对能 ($1s^2$ 中的两个电子之间的相互作用能) 4530.3 kJ/mol , 可得到同样的结果。

铍原子核外有 4 个电子: $1s^2 2s^2$ 。它的土星模型与锂原子的极为相似——核外电子也是两个电子环。只是这两个电子环都是个已经配对的双电子环。这两个双电子环也不在同一个平面上。 $1s^2$ 双电子环的半径为 $r_{1s} = 0.2498a_0 = 0.1322 \times 10^{-10} m$; $2s^2$ 电子环的半径为 $r_{2s} = 1.7278a_0 = 0.9143 \times 10^{-10} m$ 。 $2s^2$ 电子感受到的有效核电荷数不是 2 而是 $Z^* = 2.3135$ 。紧接着的土星模型的计算步骤如下。分别计算 4 个核外电子的势能与动能之和

($-\frac{4 \times 2e^2}{2r_{1s}} - \frac{2.3145 \times 2e^2}{2r_{2s}} = -42017.6 \text{ kJ/mol} - 3514.1 \text{ kJ/mol}$)。再计算电子之间的相互作用势能。两个 $1s$ 电

子之间的相互作用能和两个 $2s$ 电子之间的相互作用能用 (43) 式计算。其值分别为 6146.9 kJ/mol 和 852.5 kJ/mol 。 $1s^2$ 电子与 $2s^2$ 电子之间的相互作用势能已经体现在屏蔽效应或者说有效核电荷数之中了。最后求和 ($-42017.6 - 3514.1 + 6146.9 + 852.5 = -38532.3 \text{ (kJ/mol)} = -399.5 \text{ eV}$)。计算结果符合实验值 $-38511.9 \text{ kJ/mol} =$

-399.3 eV 。我们再利用波动力学方法计算(方法同上)。 $1s^2$ 和 $2s^2$ 两个电子环中单电子势能函数分别为 $-\frac{4 \times e^2}{r_{1s}}$,

$-\frac{4 \times e^2}{r_{1s}}, -\frac{2.3145 \times e^2}{r_{2s}}$ 和 $-\frac{2.3145 \times e^2}{r_{2s}}$ 。即, 将它们分别看作是两个 $z_{1s} = 4$ 的类氢原子和两个 $z_{2s} = 2.3145$

($n=2$) 的类氢原子。得到的能量本征值分别为: -20992.0 kJ/mol , -20992.0 kJ/mol , -1756.2 kJ/mol , -1756.2 kJ/mol (未作了相对论校正)。各部分能量的代数和为: $-20992.0 \times 2 - 1756.2 \times 2 + 6146.9 + 852.5 = -38497(\text{kJ/mol}) = -399.2eV$ 。两个能级的电子的相对论性能量校正值分别 14.6 kJ/mol 和 1kJ/mol 。总校正值为 $32 \text{ kJ/mol} = 0.32eV$ 。校正后: $-399.2eV - 0.32eV = -399.5eV$ 。这个值与土星模型计算结果相同。相应的实验为 $-38512\text{kJ/mol} = -399.3eV$ 。

上述计算中的电子环半径是根据电离能(实验值或计算值)与电子环半径的关系得到的。它们还可以根据玻尔半径表达式得到。这两种核外电子的轨道半径(也是核外电子环的半径)计算方法都是以行星模型和土星模型(包括经典电动力学和电子的经典转动)为基础的。玻尔半径表达式为

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{\mu e^2} \frac{n^2}{Z^*} = a_0 \times \frac{m_e}{\mu} \frac{n^2}{Z^*}. \quad (45)$$

式中, m_e 是电子的质量, μ 是电子与其发生相互作用的实体之间的约化质量 $\mu = (Mm_e)/(M+m_e)$ 。其中, M 一般是原子核或原子实的质量。将相应的有效核电荷数代入上式, 且将电子质量换成约合质量, 得到的电子环半径恰好是上面用到的核外电子运动轨道半径。对于 IA 族元素和 IIA 族元素来说, 这种计算结果可以看作是原子大小的一种量度。对于其他元素来说, 最外层是 s 电子的原子实的大小也可以这样计算[即, 根据(45)式计算]。我们粗略验证一下铍原子的 2s 电子环的半径(2s 电子的运动轨道半径): $(2^2/2.3139)a_0 = 1.729a_0$ 。

也许有人会说, 利用了电离能实验值的原子能量计算没有价值。但是, 利用一个电子的电离能计算多于一个电子的能量本征值肯定是有意义的。另外, 利用电离能数据, 找到电子、原子和分子的克服了玻尔模型的弱点的经典转动也是有重大意义的。利用本文介绍的方法计算任何原子的 s 电子的能量本征值和核外电子运动轨道半径, 结果符合事实。这样的计算方法是很有价值的。它对人类对自然的认识和物理学研究能起到导向作用。我在第 8 节说过, 摘掉半经验方法的帽子而轻松地计算出一些分子的数据一定是量子化学家梦寐以求的。利用电离能而不需要根据经验给出试探函数算是摘掉了半经验方法的帽子。这一定能使真正关心量子化学计算科学家欣喜若狂。如果再加上能利用玻尔的行星模型而简洁地计算不少原子和分子的数据, 量子化学家一定会更兴奋的。

虽然 (43) 式是利用电离能实验值归纳出来的, 但是, 不同的原子都使用它计算电子配对能也是有价值的。铍原子的能量本征值需要四个电离能实验数据, 我们现在只利用一个电离能数据就计算出来的了。这无疑是一种进步。何况计算方法和计算结果还具有验证经典模型和经典方法的作用呢? 至少本文计算氢原子的能量本征值是非常简单的。在本文语境中, 计算氢原子有三种不同的方法。 $\langle 1 \rangle$ 建立氢原子中 $1s^2$ 双电子的势能函数 $-2 \times 2e^2/r$ 。按本节开头介绍的方法将这个势能函数撤分为约化有效核电荷数 $z=2$ 的两个类氢原子的势能函数: $-ze^2/r$ 和 $-ze^2/r$ 。将它分别代入薛定谔方程计算。也可以直接使用已有的氢原子薛定谔方程的解 $E = -13.606eV$ (或 -1312.0 kJ/mol) (在它的前面增加一个乘数因子 z^2)。不考虑电子间相互作用能的结果为 $-z^2 \times 1312.0 - z^2 \times 1312.0 = -8 \times 1312.0 = -10496.0 \text{ (kJ/mol)}$ 。利用 (43) 式计算得到 $1s^2$ 电子配对能为 $30.201 \text{ eV} = 2912.6 \text{ kJ/mol}$ 。基态氢原子的能量本征值为 $-10496.0 + 2912.6 = -7583.4 \text{ (kJ/mol)} = -78.60eV$ (实验值为 $-79.0eV$)。 $\langle 2 \rangle$ 根据 (44) 式计算得到的核外电子运动轨道半径约等于 $(1/2)a_0$ 。基态氢原子的能量为 $-2 \times 2e^2/a_0 + 2912.6 = -10496.0 + 2912.6 = -7583.4 \text{ (kJ/mol)} = -78.60eV$ 。 $\langle 3 \rangle$ 氢原子的第二电离能为 -5250.5 kJ/mol 。设基态氢原子的电子环半径(也是核外电子运动轨道半径) r , 我们有这样的关系 $-5250.5 = -2e^2/2r$ 。解之得 $r = 0.4976a_0$ 。基态氢原子的能量本征值为 $-2 \times 2e^2/(0.4976a_0) + 2912.6 = 7634.0 \text{ (kJ/mol)} = -79.1eV$ 。

上面的计算表明, 可以找到没有稳定性困难的满足要求的核外电子的经典轨道运动方式(假设 1-3 能克服行星式原子模型的稳定性困难, 且自然地允许能量量子化)。能量本征值表达式中的有效核电荷数是一次方(且没有主量子数 n)的计算方法是利用了行星模型(更准确地说是土星模型)的经典电动力学计算方法。能量本征值表达式中的有效核电荷数是 2 次方(且包含主量子数 n)的计算方法是波动力学计算方法。本文显示: 波动力学计算方法与行星模型计算方法可以混合使用。这至少表明, 对于 s 电子来说, 这两种方法是等价的(或者高度兼容)。

大家非常清楚，波动力学和矩阵力学都可以处理微观体系中的问题。从来没有人说矩阵力学和波动力学有一个是假的，其计算结果是偶然符合事实。本文介绍的结果表明，利用“电子的经典运动和经典的电动力学”和利用波动力学都可以处理微观体系中的问题。我们有什么理由说经典运动概念和经典电动力学对微观体系的一切处理结果都是偶然的巧合呢？为什么不是这两种处理方式等价或高度兼容呢？所有元素的原子的s电子都可以利用本语言介绍的方法计算出正确的结果。自然界有100多种元素，正确的计算结果有数百个。如果说这些计算结果都是偶合，那偶合的概率远大于理论概率。另外，利用经典转动和经典电动力学处理微观体系，不仅可以找到合理的经典模型，还可具有不少优点。我们再随机的选择一个元素的原子来计算，以便验证上面的结论。27号元素钴Co被选中了。其最后一个电子的电离能为 -966023 kJ/mol 。其中1s电子的运动轨道半径为(45)式表示的 $(1/27)a_0$ 。这个电子的行星模型电能计算值为 $-27e^2/2(1/27)a_0=956448\text{ kJ/mol}$ 。需要的相对论校正需不超过1.03%，比较合理。

不管是什么结构模型，只要根据它计算出了许多符合实验事实的结果，就不能说该模型没有实验证据。本文提到的电子环是波环，因此，不存在玻尔模型中的原子不稳定和量子需要强行假定的问题。

众所周知，量子化学方法是半经验的方法。以前，人们在利用量子化学方法计算简单的氢原子，就必须使用非常复杂的过程，势能函数需要凭经验试探，且其中的电子间的相互作用能量还不能准确地计算出来。这也是量子场论和量子力学的软肋。不再需要根据经验而试探性地建立势能函数的方法，无疑是一种进步。利用微扰法或变分法或渐近法（逐步逼近法）计算氢原子，其篇幅长可达10页。大大简化了计算过程，也是令人振奋的事情。

从第1-9节读者就可以看出，本节的应用结果是必然的。这也是定域实在论量子力学的成功应用实例。

11. 光结电子结构模型的有利因素和争议^[1]

本文2-10节介绍的内容，都对光结电子结构模型为利。因为，这些内容都是以光结电子结构模型为基础的，是光结电子结构模型（或定域实在论量子力学）的成功应用。另外，应用实例比较多，可以排除偶然因素。如果没有量子场论和标准模型理论，取得了这样成绩，量子化学家一定会欣喜若狂。但是，现实是，在量子场论和模型理论诞生之后，这种局面没有出现（相反，是光结电子组成和结构理论问世多年之后，仍然没有被广泛接受）。要知道，量子场论并不能解决电子的组成和结构问题（量子场论和标准模型理论只是描述了电子的一种来源和场的特性）。这里面透露着不公平和不可理喻。因为，量子场论和标准模型理论虽然有优点，但也不是没有弱点，和不适用的地方（它也有未探索到的领域）。它不是一种统治性的理论，也就不应该限制别的理论探索它未探索的领域。上面说“不公正和不可理解”成了光结电子结构模型的不利因素。更详细的说明如下。

标准模型理论的基础是量子场论。光结电子结构模型的不利因素就是与标准模型理论在基本粒子来源和结构方面存在冲突。于是，有人认为光结电子结构模型与量子场论也不一致。以量子场论为基础发展起来的理论不可能只有标准模型理论个分支，也有可能向如图2所示的左向发展。这个发展方向包括光结电子结构模型理论，从而实现量子场论与光结电子结构模型接轨。光结电子结构模型显然是电子的下一个层次的组成和结构的理论。既然量子场论尚未讨论电子的内部组成和结构，它就不能限制它的分支理论或别的理论讨论基本粒子的组成和结构，更不能用量子场论为强硬的标准判断新理论的正确性。本文还阐明了，一般量子场论及量子力学的数学形式体系的建立可以从光结粒子结构模型出发（以光结粒子结构模型为源头）。要知道，在本文之前，量子场论和量子力学数学形式体系的建立从来就没有找到这么统一的逻辑起点。

光结电子结构模型不总是处于劣势，在某些方面它比量子场论更成功。这些成功之处是：量子场论对解决量子力化学计算中的半经验方法的问题毫无帮助，而光结电子结构模型可以摘掉量子化学中的半经验方法的帽子；光结电子结构模型可证明源于行星式原子模型方法（经典电动力学方法）与波动力学方法等价和兼容，而量子场论不能完成这种工作；光结电子结构模型可使量子力学理论体系得到美化且可大大简化量子化学计算（量子场论也没有这种功能）。量子场论的某些计算可准确到超过十位有效数字。光结电子结构模型对自由电子自旋角动量的计算结果也呆以实现没有误差。

光结电子结构模型中，电子的静止质量来源于波的卷曲而产生一个质量心无平移的实体，其整体表现就是可静止的（具有静止质量的）实体（玻色子变成了费米子）。

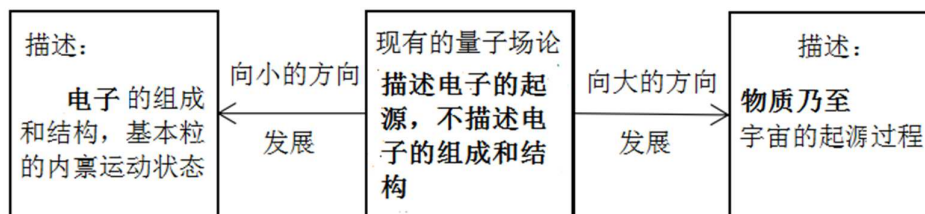


图 2. 量子场论的现状和两个发展方向（向下发展仅针对电子而言）。 **Figure 2.** The rationale and two development directions of quantum field theory (downward development is for electrons only).

量子场论和标准模型理论只确实为探索基本粒子的下个层次的组成和结构提供了一种原则(例如，黑格斯机制)。它们也试图揭示微观物质结构的全部秘密。然而，这种原则和这种努力对于电子来说并没有成功。因此，在量子场论和标准模型理论中，电子仍然是最基本的粒子之一。既然这种原则对于电子来说并没有成功，就不能以此原则作为判断标准来评论新的电子的内部组成、结构和运动状态模型。

理论物理学发展的一种现实的格局是，数学、量子场论和标准模型理论引领物质结构理论的发展。本文介绍的工作格局相反：物质结构理论影响量子力学理论的完善和发展。在人类认识到原子是由原子核和电子组成的时候量子力学就建立起来了。在随后日子里，物理结构理论向下发展了两三个层次却对量子力学没有任何帮助。我们没有理由认为本文选择的理论研究格局在任何时候的任何分支领域中都劣于大众化的理论研究格局。本文介绍的物理学理论研究格局效果有可能正是本文的价值所在。本文的另一种价值的体现是，同时从理论上和应用事例上证明玻尔行星模型与量子力学等价或高度兼容（两种背景下计算方法可以混合使用）。作者的完成了下面列出的 11 个“在人类社会第一次发生”的科学事件。就是说，以下十项都科技史上首次被完成的填补世界空白的突破性工作。以下 11 个科学事件的发生都是以揭示了电子的内部组成、结构和运动形式为基础的。

(1) 创建了完整的光结电子结构模型（提出了一种新的电子内部组成、结构和运动的方案，并提供了数百个应用事例）。

(2) 利用经典结构、经典转动和经典电磁学计算出了电子半径。

(3) 利用经典结构和经典力学方法计算出了电子自旋角动量和电子自旋磁矩，以及电子自旋角动量算符和电子自旋磁矩算符。

(4) 利用经典结构、经典转动和经典力学方法计算出了氢原子的电子轨道角动量（注：以前人们认为氢原子中的电子没有轨道运动）。

(5) 利用经典结构和经典力学方法计算出了氢原子的电子轨道磁矩及其算符（注：以前人们认为氢原子中的电子没有轨道运动）。

(6) 利用经典结构和经典力学方法得到了电子配对能的实验测量方法——已经配对的两个电子的电离能之差。

(8) 利用经典结构和经典力学方法计算出了氢分子的和氢分子离子的键长和离解能。

(9) 利用电子内部的组成、结构和内禀运动形式，以及经典力学规律（例如：经典动量速度关系 $p=mv$ ，经典动能动量关系 $E_k=p^2/2m$ ，电动力学下的行星运动方程，角动量表达式 $\hat{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ 和行星式平衡体系的电势能表达式 $f(r, Z, e, \dots)$ 等）建立量子力学的数学形式体系。这为量子力学方法与玻尔行星模型背景下的经典力学方法兼容甚至等价奠定了理论基础。

(10) 利用电子内部的组成、结构和内禀运动状态给出了电子自旋函数的具体形式、电子轨道运动的角动量算符、电子轨道运动的磁矩算符、狄拉克方程中的 α 的具体意义——精细结构常数。

(11) 建立了行星模型或土星模型方法与量子力学方法兼容的理论基础以及这两种方法混合使用的大量

事例。

上述主要成果可以用列表的方式直观的展示。

表 1. 利用行星模型或混合利用行星模型背景下的经典力学方法和量子力学方法处理微观体系的主要结果 (一)

分类	角动量		磁矩	
	值或表达式	算符	值或表达式	算符
电子自旋	$\vec{L}_e = \vec{r}_e \times \vec{p}_e$ $= (1/2)\hbar$	$\hat{L}_e = -i \frac{\hbar^2}{4mc} \frac{\partial}{\partial x}$	$\mu_e = -\frac{e}{2m} L_e = -\frac{e\hbar}{4m}$ $\mu_e = -\frac{e\hbar}{4m^2 c} p_e$	$\hat{\mu}_e = i \frac{e\hbar^2}{8m^2 c} \frac{\partial}{\partial x}$
氢原子中 1s 电子的轨道运动	$L_s = r(h/2\pi r)$ $= \hbar$	$\hat{L}_s = -i \frac{\hbar^2}{2mc} \frac{\partial}{\partial x}$	$\mu_s = -\frac{e}{2m} L_s = -\frac{e\hbar}{2m}$ $\mu_s = -\frac{e\hbar}{4m^2 c} p$	$\hat{\mu}_s = i \frac{e\hbar^2}{4m^2 c} \frac{\partial}{\partial x}$

表 2. 利用行星模型或混合利用行星模型背景下的经典力学方法和量子力学方法处理微观体系的主要结果 (二)

分类	内容	备注
电子半径	$r_e = \lambda/2\pi = \hbar/mc = 1.929 \times 10^{-13} m$	恰好是电子的康普顿波长与 2π 之商
氢原子 ns 电子的轨道半径	$r_{ns} = n^2 r_{1s}$	氢原子 s 电子的轨道半径的量子化条件
基态氢分子离子的离解能和键长	$D_e = -6.2 eV, R_e \approx 1.1 \times 10^{-10} m$	电-核磁耦合对称的分子的计算结果都接近实验值。氢分子离子的 R_e 的计算结果接近实验值与实验值很接近，但 D_e 与实验值差别较大。这预示着电子与核的磁矩相互作用不对称，导致分子结构不对称。这些结果恰好能说明，玻尔行星模型的应用能拓展到分子和其他原子。
基态氢分子的离解能和键长	$D_e = -4.2 eV, R_e \approx 0.71 \times 10^{-10} m$	
基态锂分子的离解能和键长	$D_e = -1.19 eV, R_e \approx 2.56 \times 10^{-10} m$	
氢原子的电离能总值	79.1 eV	
轨道速度量子化公式	$v_{ns} = (Z/n)v_{1s} = (Z/n)ac$	它对所有原子 s 电子都适用
ns ² 双电子的电子配对能	$(-0.03100Z^{*2} - 16.619Z^* + 3.1613)/n^2$	根据许多电离能数据，拟合回归曲线得到的经验公式。
已经配对的自由电子的配对能(自由电子对的离解能)	$\Delta \approx 3.1613 eV$	与超导理论中库珀对的情况相符

上面提列出的工作已经完成是已经发生的事件，是事实。不能说那些事件没有发生，最多只能从情感的角度认为它们不重要。我们应该避免在评价科研成果的价值时掺杂情感因素。

理论的美有以下几种：真实美、简洁美、通达美、对称美、实用美。其中没有复杂美。从这美这个方面看，高深的数学也不一定的必须的。目前认为越复杂越可靠的观念不一定正确，更不能作用为评判理论正确性和可靠性的标准。

计算能量和大小时必须作相对论校正。但是相对论与量子力学之间的结合问题还没有解决。自旋相反的两个电子配对是它们完全重合修正电动力学。这是不符合现有的电动力学规律的。为了避免这个问题，人们提出了电子声子相互作用理论。但是，对于两电子完全重合的经典电动力学的势能无穷大的情况，电子声子相互作用理论是不能完全解决的。根据光结电子结构模型，自旋相反的两个电子的完全重合是不会出势能无穷大情况的。但是，当两个电子之间的距离小到一定程度时，它们之间的电动力学相互作用会偏离

库仑定律。这也是在光结电子结构模型语境下，电荷不是点电荷，电场的中心力场模型也是近似的。

本文表明了适用于宏观体系的经典力学与适用于微观体系的量子力学之间并没有以前认为的那种不可逾越的鸿沟（经典电动力学在宏观领域和微观领域都适用）。经典力学认定的因果律，物质之间的相互作用或相互联动必须有信号、物质或力等媒介，且需要有限的作用时间，等公理没有过时。量子力学解释体系需要一场重大的革命，且该革命已经被推动了。标准模型理论和量子场论需要改进。对于波元素物质结构理论，无论是理论上还是实验上或应用上都值得我们花大力气探索。

参考文献

- [1] Runsheng Tu. Progress and Review of Applied Research on New Theory of Electronic Composition and Structure. *Infinic energy*, 2023. 166: 35-37.
- [2] Mark Srednicki. *Quantum Field Theory*. Cambridge University Press, Cambridge. 2010: 641.
- [3] 温伯格《量子场论》(第2卷). 2014年5月. 世界图书出版公司.
- [4] 涂润生. 量子力学之定域实在论回归, 剑桥学者出版社. 2015年, 泰恩河畔, 纽卡斯尔: 290.
- [5] 涂润生. 定域实在论量子力学的一些成功应用——揭示了共价键的性质和几种分子的力学平衡的定量分析. *现代物理学杂志*, 2014年第5卷, 第6期: 309-318.
- [6] 涂润生. 测量原子中电子相互作用能的实验方法的原理和应用. *国际学术研究报告*, 2016; 2(8): 187-200.
- [7] 唐敬友. *原子物理与量子力学*. 北京大学出版社, 2011年, 北京: 235.
- [8] 费因曼. *今天的物理学 (M)*, 叶悦等译, 北京: 科学出版社, 1981: 168—173.
- [9] 文献 [3]之 p199
- [10] 文献 [3]之 p202
- [11] 文献[3]之 p215-244