

Discussion on the Essence of Mass and Energy

—And on the Invariance and Conservation of Mass and Energy

Runsheng Tu

No. 40 Sports Road, Huanggang City, Hubei Province, China

Email: 2run3@sina.com

Received: Sep.14th, 2019, published: Sep.17th, 2019

Abstract

Quantum field theory is considered to be a good theory, but it still can not describe the specific form of electron spin and the nature of Compton matter wave. The existing definition of energy is given before the formation of the concept of mass-energy equivalence, which embodies the spirit that mass is more important than energy. This has a certain conflict with mass-energy equivalence. If the dominant position of energy is established, the definition of energy is that "energy is a physical quantity that represents the level of activity". At the same time, the essence of mass is "the expression of gravitation and inertia of energy aggregate". under the premise of mass-energy equivalence, the mass does not change when the energy is unchanged, and the mass is conservation when the energy is conservation. Based on the fact that electromagnetic radiation can form electrons, the angular momentum operator of electron spin is derived, the electron radius is calculated, and the electronic structure and the specific form of electron spin are revealed. Assuming that the wave corresponding to the Compton wavelength of an electron is a real circularly polarized light wave, the model of electronic structure of light knot is the reflection of this hypothesis, and the Compton wavelength can be calculated by the intrinsic motion mode of electrons. According to "mass-energy equivalence", a new mass-velocity relationship can be derived strictly.

Keywords

Mass-Energy Equivalence, Activity Level, Energy Definition, Essence of Mass, Electron Spin Operator, Mass-Velocity Relationship

关于质量和能量的本质的讨论

——兼论质量和能量的不变性和守恒性

涂润生

中国，湖北省黄冈市体育路40号

Email: 2run3@sina.com

收稿日期：2019年9月14日；发布日期：2019年9月17日

摘要

量子场论被认为是比较好的理论,但是,它仍然不能描述电子自旋的具体形式以及康普顿物质波的本质。现有的能量定义是在质能相当观念形成之前给出的,体现了质量的地位高于能量的精神。这与质-能相当有冲突。如果确立能量的主导地位,能量的定义就是“能量是表征活跃程度的物理量”。与此同时,质量的本质是“能量集结体在引力和惯性方面的表现”。根据“质-能相当”可知,凡能量不变的场合质量也不变,能量守恒质量也守恒。根据电磁辐射能构成电子的事实导出了电子自旋角动量算符,计算出了电子半径,揭示了电子结构和电子自旋的具体形式。假定电子的康普顿波长对应的波是真实的圆偏振光波,光结电子结构模型就是这种假设的反映,且根据电子内禀运动模式可计算出康普顿波长。根据“质-能相当”可严格地导出新型质量-速度关系。

关键词

质-能相当性, 活跃程度, 能量定义, 质量的本质, 电子自旋算符, 质-速关系

1. 引言

量子场论被认为是成功的、比较令人满意的理论。但是,对于电子等基本粒子的自旋的具体形式以及康普顿物质波的本质,量子场论仍然无能为力。狄拉克对电子自旋的描述完全是直觉形式的和抽象的数学描述。在基本粒子结构理论被认为是比较深入的今天,这种现象不能不说是令人遗憾的。鉴于这种现实情况,如果有人提出了能克服量子场论的不足且能解释不少实验事实的理论,就应该慎重地考虑它的优劣,而不能急着全面否认。

在人类的认识史中,是首先感知到物质的存在及物质的质量的存在。过了漫长的时间之后才逐渐认识到能量的存在。“先入为主”的规律在人类社会中还起作用。因此,直到现在,人们还是偏爱质量概念而将质量概念的地位提高到了一个不应有的高度。最初,能量被叫做“活力”。后来发现能量不是力,且基本上确认:能量是活动能力。现在使用的能量定义为:能量(energy)是质量的时空分布可变化程度的度量,用来表征物理系统做功的本领。这个能量定义依赖于质量或物质,只有质量比能量更基本,该定义才有价值。也可以说这种能量定义默认了质量的地位高于能量的地位。大家都知道,在相对论问世之后,质-能相当的概念就形成了。现在可以说是非常牢固地确立了质量与能量相当的观念,将质量与能量看作是完全平等而可互换的两个概念。好奇心重的人就有这样的问题:“质-能相当性”能排除质量和能量有主次之分和先后之分吗?将这个疑问撇开一下并改变一下方式就是:“质量与能量是完全等价的”、“质量是本源的,能量是非本源的”、“能量是本源的,质量是非本源的”这三种观点哪种最接近现实呢?既然这三种观点都不与“质能相当”矛盾,我们不妨先采用第三种观点,看看有没有优势。

质-能完全等价而相当就好比给一个男孩取 Bob 和 Tom 两个名字。这样, Bob 和 Tom 指的是同一个肉身(Bob 和 Tom 同生共死)。在质量与能量完全等价的前提下,能量和质量也是指同一种事物,或者说它们具有共生关系。如果重新确立能量的主导地位,采用的能量定义就是:能量是表征活跃程度的物理量。这种能量定义包容了“能量是作功能力的量度”的内容。在这种能量定义下,质量也是活跃程度的特定表现。在“能量具有主导地位的及能量是表征活跃程度的物理量”的前提下,质量的定义为:质量

是为方便描述“能量集结体在引力和惯性方面的外在表现”而选用的物理量。下面我们来找一找质量-能量关系的证据并讨论质量和能量的不变性和守恒性。

2. 哲学论据和光子质量的事实

哲学领域常说“运动是绝对的，静止是相对的”。自然界及物理学领域也一样。既然运动是绝对的，而运动的表现之一就是有能量。这样，运动是绝对的，就是指“能量的存在是绝对的、本源的”。因此，质能相当性就决定了“动质量是绝对的，静止质量是相对的”。

世界万物是不断运动的，在物质的一切属性中，运动是最基本的属性，其他属性都是运动的具体表现(包括引力质量和惯性质量)。可以说光子的运动是它的存在形式。能量是表征物理系统做功的本领的度量。有运动最起码有动能或辐射能。所以，质量是运动的具体表现，相当于质量是能量的具体表现。“运动是最基本的属性，其他属性都是运动的具体表现和质量由能量决定”决定“物体的质量全部是动质量”。静止质量只是有限而相对静止的空间中的能量集结体的内禀运动决定的动质量。

光子的质量完全由其能量决定： $m = hv/c^2$ 。而不是光子的质量决定它具有 $E = hv$ 的能量。就是说，对于光子而言，是能量决定质量而不是质量决定能量。光子的这种情况不会是个例外。如果这不是例外而是普遍规律，那普遍规律就是能量决定质量(能量是本源的，质量是由能量导出的)。一般情况下认为光子是“能量子”，而不认为光子是“质量子”，光子的质量是为了方便“描述它在引力和惯性方面的表现”而定义的一种物理量。

将“世界万物是不断运动的，在物质的一切属性中，运动是最基本的属性，其他属性都是运动的具体表现”这句话中的“运动”换成“质量”是说不通的。将“能量传递有三种方式：传导、对流和辐射”之中的“能量”换成质量也是说不通的。运动是能量的存在形式和表现形式。这充分表明，能量与质量不是平等的(尽管动质量与能量同时产生和消失)。

3. 质量变化实验结果的能量主导地位解读

在加速器中运动的电子，能量越来越高，质量也越来越大。加速器首先给予被加速粒子的是能量而不是质量。这是一个能量决定质量的实验证据。光子衰变成静止的电子和正电子之后，能量全部构成了静止质量，这是另一个非常重要的“能量决定质量”的实验证据。证明质量-速度关系的实验都是证明能量决定质量的实验。质-速关系有许多实验事实精确证实了其正确性。质-能关系 $E = mc^2$ 和质速关系可以相互导出(见第7节)，荷电粒子的电磁偏转实验、回旋加速器的运转、高速粒子飞行时间的测量、原子光谱精细结构分裂的解释等都为质速关系提供了证据。原子能发电、原子弹和氢弹的实现都以质-能关系为理论基础。频率等于阈频的光子衰变成电子和正电子，其中的能量全部转化成了电子和正电子的静止质量。正、反物质相遇而湮灭成能量也表明物质本来就是由能量构成的。贝托齐初步验证了相对性质量-能量关系。

处于原子中的质子不再是静止质子(即，原子中的静止质子不存在)。因此，原子中的质子的静止质量(自由质子的静止质量)也是不存在的，而是主观定义的。处于原子中的静止电子是不存在的，因此，原子中的电子的静止质量也是主观上的存在(是主观定义的，或主观地从总质量中划分出来的)。复合物体的静止质量不变也就不是本质上的不变。只要能量决定质量，动质量就是普适的，而静止质量只能是相对的。如果说动质量是本源的，静质量就是非本源的。

我们再次强调，静止质量是人为的将质量划分为几个略有不同的种类中的一类。静止质量不是本源的。物体的静止质量是组成该物体的能量集结体的中心“在无转动、无位移和无辐射”的情况下的内

禀运动的动质量。物体的总质量是组成物体的基本粒子的“内部动能与粒子间的相互作用的势能之和”相当的质量。静止质量是个不变量，是由于人们主观地选择了相部分的质量。就像一条皮带，无论这条皮带有多宽有多长，用同一个打孔器挖出的那部分的大小都是相同的、不变的。

受电场或磁场加速的带电粒子，环境传递给它的是能量而不是质量。粒子的本体的质量因能量升高而升高。但站在物质上看，物质的量没有增多(连光子也没有净吸收)。只是站在实验系中观察，被加速粒子的速度升高，能量也升高 ΔE 。在实验室系中观察，被加速粒子的传统意义的物质也没有增加(如果电子上再增加一些传统物质，就不再是电子了。事实是被加速的电子仍然是电子，表明电子上传统物质没有因速度的升高而增加)，其质量增加量由升高的能量 ΔE 决定(定量的导出方法是 $\Delta m = \Delta E/c^2$)。以前，人们只是注重这种从能量导出质量的定量方法，而严重忽视了与这种定量导出方法的定性意义——能量决定质量。 $\Delta m = \Delta E/c^2$ 的定量导出方法正是由这种定性的意义决定的。我们否认由质量导出能量($\Delta E = \Delta mc^2$)的理由是，站在被电场加速的粒子上观察，粒子上的物质的量没有增加。站在实验室系中观察，在粒子被加速的过程中，没有质量传递而只有能量传递导致被加速粒子的动能增加。最后粒子的相对质量增加了。

上述认识是本节提到的实验现象的“能量决定质量解释”的理由。

4. 光结粒子结构模型[1]的应用结果构成的质能关系

大家已经承认电子具有内禀自旋运动。如果电子的能量全部是其内禀运动的能量(如果电子的能量全部是这种内部自旋运动的能量)情况如何？我们以定量计算结果来回答。

现有物理学中定义了康普顿波长。波长是波所有的。既然有康普顿波长就应该有对应的康普顿波(以前，它被虚构成康普顿物质波)、康普顿频率和康普顿波波动能量。自由电子的康普顿波长为 $\lambda_c = h/m_0c$ (式中 $m_0 = m_e$ 是电子的静止质量)。实验表明，平面偏振光子可以衰变成电子和正电子。我们先假设电子的康普顿波是真实的波(而不是虚构的物质波)，再假设平面偏振光子先分解成左旋圆偏振光子和右旋圆偏振光子，然后分别围成电子和正电子。电子的康普顿波就是左旋圆偏振光子。

平面偏振光子衰变成电子和正电子。光子的能量全部转变成了新形成的电子和正电子的总内能与总动能之和。如果不考虑新形成的电子和正电子的动能，那么，新形成的电子和正电子的内能之和就等于“频率恰好为阈频的平面偏振光子”的能量。频率等于阈频的平面偏光子在衰变时先分解成左旋圆偏振光子和右旋圆偏振光子，然后圆偏振光子沿一个周长等于波长的圆周传播，而分别构成电子和正电子。这样的左旋圆偏振光子构成电子，右旋圆偏振光子构成正电子。为了方便称这种电子结构模型为“光结电子结构模型”。

左旋圆偏振光子改直线传播为沿圆周传播，线速度不变，线动量为 $p_{\text{圆}}$ ，对应的能量就一定是

$$E_{\text{圆}} = p_{\text{圆}}c . \quad (1)$$

由左旋圆偏振光子构成的电子的内禀运动动量也是这个值。这样的电子内禀运动既是卷曲在其内部的圆偏振光子的圆周运动又是电子的自旋运动。当光子变成了电子之后，其整体(或中心)可以静止(运动质量全部变成了静止质量)。电子内部的圆偏振光子的自身相互作用维持这种闭合路径的运动。这样的自身相互作用与环境无能量交换不会改变体系的总能量。因此，像沿直线传播的情况一样，我们有

$$p_{\text{圆}} = mc \quad (2)$$

的关系。将 $p_{\text{圆}} = mc$ 代入 $E = p_{\text{圆}}c$ ，可得

$$E = mc^2 . \quad (3)$$

(3)式的变形就是

$$m = E/c^2. \quad (4)$$

(4)式表示电子的静止质量全部由构成它的左旋圆偏振光子的能量或动质量决定。

前面说过，光子在变成电子的时候，先是一个平面偏振光子分解成两个最简圆偏振光子：左旋圆偏振光子和右旋圆偏振光子。左旋圆偏振光子和右旋圆偏振光子再分别沿一个周长为一个波长的圆周传播 ($\lambda = 2\pi r$ ，式中的 r 为电子半径)，就分别构成电子和正电子。这样，电子中的圆偏振光子的线动量就只有分解前的平面偏振光子的动量的一半

$$p_{\text{圆}} = \frac{1}{2} p_{\text{平}} = \frac{1}{2} \frac{h}{\lambda}. \quad (5)$$

式中： $p_{\text{圆}}$ 为最简圆偏振光子的线动量， $p_{\text{平}}$ 为平面偏振光子的线动量， λ 为平面偏振光子和它分解成的最简圆偏振光子的波长(平面偏振光子分解时，波长、频率和波速都不变)。同理，我们有 $E_{\text{平}} = h\nu = 2E_{\text{圆}}$ 的关系。比较(2)和(5)式，我们有

$$\lambda = h/2mc = 2\pi r. \quad (6)$$

(6)式中的波长也是自由电子的康普顿波长的一半。如果追求康普顿波的真实性，静止的基本粒子的康普顿波长最好重新定义为 $\lambda_c = h/2m_0c$ 。如果康普顿波长对应的波是真实的波，静止的基本粒子的康普顿波的波动能量和频率分别应该为 $E_c = (1/2)h\nu_c = m_0c^2$ 和 $\nu_c = 2m_0c^2/h$ 。在这种情况下，光结电子结构模型就是康普顿波真实化的结果。

根据电子质量计算电子半径的式子为

$$r = h/4\pi mc = h/2mc. \quad (7)$$

(7)式是从未有过的电子半径计算结果。将电子的质量和普朗克常数及光速代入上式可得电子半径为 1.93×10^{-13} 米。以前的估计值是 2.8×10^{-15} 米[2][3]。两者相差 2 个数量级。汤姆森散射截面是指电子散射低能光子的散射截面，将电子当作实体饼或实体球，这个散射截面等于 $2\pi r$ 。根据这个关系可以用实验方法估计电子半径。静电自能等于 $mc^2 = (c/4\pi\epsilon_0)e^2/r$ ，将电子当作实体球，则 $r = e^2/4\pi\epsilon_0 mc = [e^2/2\pi\epsilon_0]/2mc$ 。将一个环状物紧缩成一个球，体积肯定是要小许多的。这就是现有的电子半径估计值偏小的原因。认为电子是实心球体肯定存在许多不合理之处。例如，不能根据球形电子模型计算出与实验值相符的电子自旋磁矩，球形物体都存在“自能贡献的电磁质量及真空极化作用产生的附加电荷均为无穷大”的发散困难，很难解释光子衰变成电子和正电子的事实。

将 $\lambda\nu = c$ 和(5)式代入(2)式，整理可得，

$$m = \frac{h}{2\lambda^2\nu}. \quad (8)$$

(8)式右边的分子分母同乘以 ν ，并考虑到 $\lambda\nu = c$ ，上式变为

$$m = \frac{h\nu}{2c^2}. \quad (9)$$

再考虑到 $E = (1/2)h\nu$ ，(9)式变为 $m = E/c^2$ 。注： $E = (1/2)h\nu$ 是最简左旋圆偏振光子的波动能量表达式。(8)式和(9)式就是电子的静止质量与频率之间的关系。此式虽然简单，但以前从没有人用本作者的方法得到过[因为，不根据光结电子结构理论是得不到(2)式的]。实验已经证实，能量达到 1.022 MeV 以上的平面偏振光子，才可以衰变成电子和正电子[4]。根据(9)式计算得到的电子静止质量就是 0.511

MeV/c²。静止电子的总能量实验值恰好是 0.511 MeV [4]。这类实验结果可以说是光结电子结构模型的定量实验证据。

前面提到“电子内禀运动既是卷曲在其内部的圆偏振光子的圆周运动又是电子的自旋运动”，这样，电子的自旋角动量就为

$$S = p_{\text{偏}} r . \quad (10)$$

将(5)式和 $\lambda = 2\pi r$ 代入(10)式可得

$$S = \frac{1}{2} \frac{\hbar}{2\pi} = \frac{1}{2} \hbar . \quad (11)$$

电子自旋角动量实验值恰好为 $\frac{1}{2} \hbar$ 。如果不认为电子和内禀运动全部是构成电子的左旋圆偏振光子的

运动，就得不到正确的自旋角动量计算值。根据上面的电子结构模型，还可以方面地写出电子自旋角动量算符[1]：

$$\hat{S} = -i \frac{\hbar^2}{4mc} \frac{\partial}{\partial x} . \quad (12)$$

由于电子不是球形结构且内禀自旋运动路线是点沿圆周的运动路线，在空间弯曲的语境下，构成电子的圆偏振光波是沿短程线传播的(即，沿球面上的一个坐标轴传播，仍然是一维的运动。电磁波改“以直线传播”为“沿圆周传播”，黎曼空间中的波动方程的形式不变)。因此，我们只考虑沿黎曼空间的 x -轴的位移。很容易看出，在光结电子结构模型中，黎曼几何语境下，电子自旋运动被大大简化了，电子自旋角动量算符也大大简化了。

狄拉克根据电子自旋角动量实验值凭直觉写出的电子自旋角动量算符 $\hat{S} = \frac{\hbar}{2} \hat{\sigma}$ ，其中， $\hat{\sigma}_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ ， $\hat{\sigma}_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$ 和 $\hat{\sigma}_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ 。电子自旋本征函数 $S_z = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ 也是根据自旋角动量实验值和不确定的电子自旋算符凑出来的(根据自旋波函数和自旋算符凑出与实验值相符的结果，自旋波函数和自旋算符的形式不是唯一的，就像 $x+y=0$ 这个方程有多种解的情况一样)。另外，只要电子的球形结论不合理，狄拉克电子自旋算符就不正确。可见，(12)式表示非常具体的电子自旋算符要比狄拉克电子自旋算符要优越得多。(12)的具体的推导方法如下：将(7)式代入(10)式得 $S = (\hbar/2mc) p_{\text{圆}}$ 。考虑到 $-i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ 作用于波函数 $\psi = A e^{-i2\pi(vt-x/\lambda)}$ 得到的是 $p_{\text{平}}$ ，我们将 $p_{\text{圆}}$ 的算符选为 $\hat{p}_{\text{圆}} = -i \frac{\hbar}{2} \frac{\partial}{\partial x}$ (这样做相当于考虑了下面的情况：对于圆偏振光子， $\psi_{\text{圆}} = A_{\text{圆}} e^{-i2\pi(vt-x/\lambda)}$ 中的振幅 $A_{\text{圆}}$ 只有由左、右旋圆光子叠加成的平面偏振光波函数中的 $A_{\text{平}}$ 的一半。因为左、右旋圆光子的叠加是线性叠加)。换言之，平面偏振光的波函数为 $\psi_{\text{平}} = A_{\text{平}} e^{-i2\pi(vt-x/\lambda)}$ 而平面偏振光分解成圆偏振光的波函数为 $\psi_{\text{圆}} = A_{\text{圆}} e^{-i2\pi(vt-x/\lambda)}$ ，其中， $A_{\text{平}} = 2A_{\text{圆}}$ ，圆偏振光的波函数也是电子自旋本征函数。以圆偏振光动量算符 $\hat{p}_{\text{圆}} = -i \frac{\hbar}{2} \frac{\partial}{\partial x}$ 代替 $S = (\hbar/2mc) p_{\text{圆}}$ 之中的 $p_{\text{圆}}$ ，即可得到(12)式。(12)式的验证：将(12)式作用于电子自旋本征函数，可得 $S = -\hbar/2$ 。这个结果与(11)中的结果相差一个负号。原因是电子的自旋有两种取向。不使用狄拉克方程只能算出一种电子自旋取向。根据光结电子结构模型可知，环形电子的圆平面翻转 180 度，电子的自旋角动量就改变符号。电子群体中各个个体虽然不同，

但是，各个电子的取向是随机的和不断变化的，群体中的电子是不可分的。

以上运算结果是光子的能决定电子的静止质量的证据，也是光结电子结构模型的定量证据。

5. 爱因斯坦场方程的启示

“世界万物是不断运动的，在物质的一切属性中，运动是最基本的属性，其他属性都是运动的具体表现”。而运动是能量的存在形式和表现形式。所以，物质就是能量集结体。如果没有特指，本文所说的物质都是这种新定义下的物质。

爱因斯坦场方程为

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \quad (13)$$

选择适当的单位，光速可变成 1，上式可写为

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu} \quad (14)$$

方程中： $R_{\mu\nu}$ 是从黎曼张量缩并而成的里奇张量，代表曲率项，表示空间弯曲程度； R 是从里奇张量缩并而成的标量曲率(或里奇数量)； $g_{\mu\nu}$ 是(3+1)维时空的度规张量； $T_{\mu\nu}$ 是能量-动量-应力张量，表示了能量分布和能量集结体的运动状况(物质就是能量集结体)； Λ 为宇宙学常数(cosmological constant)； G 是引力常数； $G_{\mu\nu}$ 称为爱因斯坦张量； c 是真空中光速。这样，整个方程式的意义是：空间物质的能量 - 动量($T_{\mu\nu}$)分布 = 空间的弯曲状况($R_{\mu\nu}$)。

爱因斯坦场方程中不要质量概念只要能量概念，却描述了引力相互作用。这也表明了“在广义相对论中，能量与质量的地位不平等”。

6. 质量与能量有关的实例

质量的本质是什么？物体的质量是物体内部所含能量在引力和惯性方面的外在表现。根据前面的质量定义及以上质量的定义可知，静止质量是相对的。也可以说只有动质量而根本没有静止质量。原因是，静止质量也是物体内部运动的动质量的外在表现。也可以说静止质量是根据动质量导出来的(导出方法是 $m = E/c^2$)。以电子为例，电子的静止质量是电子的内禀运动动质量的外在表现。运动是绝对的，静止是相对的。反过来不成立(即，“静止是绝对的，运动是相对的”说不通)。

可见，即使是基本粒子，其静止质量也是由动质量引起的和导出的。对于复合粒子，更是静中有动(即复合粒子的静止质量包括各组成部分的静止质量与各组成部分的运动质量及结合能相当的质量之和)。以铁原子为例，铁 56 原子的质量等于 26 个质子的静止质量、30 个中子的静止质量及 26 个电子的静止质量加上质子与“中子的结合导致的质量变化量 Δm 核子、电子运动导致的质量增量 Δm 电子”的总和。铁原子的原子量也是上述总量再考虑同位数丰度计算出来的。一块铁陨石的静止质量也就有上述所说的 Δm 的贡献。世界统一的元素周期表中的元素的原子量都将 Δm 进去了。但还是有人说 Δm 不是质量人组成部分。

再拿太阳来说，太阳静止质量与 Δm 关系则更明显。因为，太阳内部的温度高，粒子的热运动速度高，粒子动能对质量的贡献 Δm 热运动相当可观。我们能说太阳与地球之间的引力没有太阳的质量增量总量 Δm 总贡献吗？通俗地说，太阳的静止质量包括组成太阳的粒子的动质量 Δm 。

为了方便讨论时的表述，我们将一个物体的质量分成 m_0 和其内部粒子的运动和组成结构引起的质量增量 Δm 两部分。有人说， Δm 只是具有与质量相同的量纲，而不是质量。这就相当于说“窃书不算偷”。

Δm 对原子量和物体的引力作用及惯性表现与 m_0 的贡献和作用完全一样，能不算质量吗？

7. 根据“质-能相当”导出质-速关系

根据质能相当，很容易得出“外力对基本粒子所做的功等于该粒子的质量增量与光速平方之积”的结论。该结论的数学表达式为

$$W = Fdx = (m - m_0)c^2, \quad (15)$$

$$dW = Fdx = c^2 dm. \quad (16)$$

对于基本粒子而言，上式中的 W 还等于动能增量， F 为力。我们先定义力。与经典力学类比，把力定义为质量与加速度之积(注：相对论力为 $F = m dv/dt + v dm/dt$)：

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma. \quad (17)$$

将(17)式代入(16)式可得 $\left(m \frac{dv}{dt}\right) dx = c^2 dm$ 。考虑到 $dx = v dt$ 就有 $\frac{dm}{m} = \frac{dv^2}{2c^2}$ 。对此式两边积分可得

$$\ln m \Big|_{m_0}^m = \frac{v^2}{2c^2} \Big|_0^v,$$

$$m = m_0 \exp(v^2/2c^2) = \gamma m_0. \quad [5] \quad (18)$$

式中 $\gamma = \exp(v^2/2c^2)$ 。(18)式是相对论性质量-速度关系。它的导出过程表明，只要质-能相当，就一定存在相对论性质-速关系(质量是速度的函数)。质量与速度有关，与能量有关。就是说，在开放体系中，质量是可变的。

8. 小结

所有由能量决定或者与能量有关的物理量，在与外界有能量交换的前提下，都不是不变量。所有由能量独立决定的物理量，在与外界无能量交换的前提下都是不变的。质量在洛伦变换下是个不变量，正是与外界无能量交换的情况下(“对能量决定的质量作洛伦兹变换”符合这个条件)，由能量决定的质量是不变的。能量决定质量，也进一步决定了质量与能量一样是守恒的。但是，静止质量不是守恒量，在一定条件下静止质量可以是个不变量。光子衰变成电子和正电子，静止质量创生了。电子与正电子相遇，静止质量消失。这是静止质量可变和不守恒的例证。“洛伦兹变换的操作”不能与“粒子衰变过程”对应。质量在洛伦兹变换下不变，不代表在所有条件下都不变。

如果没有理解“能量决定质量”这个大前提，就永远理不清“在质量是个守恒量的前提下，为何有时质量是个不变量，有时质量是个可变量”这个问题。

电荷的守恒情况就非常简单明了。原因就是“电荷不是由能量决定的”。因此，无论是否与外界有能量交换，电荷都是不变量的。电荷守恒和不变与粒子的衰变与否无关。无论是否发生衰变和湮灭，体系内的电荷代数和也都是不变量和守恒量。与电荷守恒比较可以帮助理解质量守恒和不变问题(见表 1)。

之所以多数人不能接受创新性强的观点，是因为大多数人是受“因大数据而形成的思维框架”束缚的，而能量决定质量的观点不在大数据的范围之内。人们容易理解和接受“在大数据的形成的思维框架之内”的观点。有些人不考虑“承载被讨论物理量的体系是否与环境有能量交换”的前提条件，而谈论质量是否是不变量，浪费了资源。

能量与运动是不可分割的。能量决定质量决定了“所有质量都是动质量”(静止质量也是物质内部的动质量的集中表现)。动质量与静质量的区别是由物质结构的不同引起的,是能量集结体内部的能量分布(和能量形式)不同引起的。静止质量是由“定域的能量集结体静止”决定的。电荷与质量不变和守恒及其原因见表1。

Table 1. Comparison of the constant and conservation of charge and mass and their causes

表 1. 电荷与质量不变和守恒及其原因的比较

项目	被考察的部分	与速度及能量的关系		是否守恒		是否是不变量	
		结论	原因	结论	原因	结论	原因
电荷	个体	无关	电荷与能量无关	守恒	电荷与能量无关	不变量	
	整体	无关	电荷与能量无关	守恒	电荷与能量无关	不变量	
质量	个体(局部)	有关	质量由能量决定, 能量与速度有关。	(是否不变视条件而定)	质量由能量决定。个体与外界有能量交换则可变, 无能量交换则不变	可变量	原因与前面的相同
	整体	有关	质量由能量决定, 能量与速度有关。	守恒	整体的能量守恒决定整体的质量守恒	不变量	
静止质量	局部和整体	稳定的物质的静止质量是常量(不变量)	主观选定的或定义出的与外界无能量交换的局部	不守恒	静止是相对的; 物体内部的状态是可变的	可变量	

能量的本质是“活跃程度”。质量的本质是“活跃程度的外在表现”。能量与质量的关系: 能量决定动质量, 特定的动质量被定义为静质量。能量与质量的主次顺序: 能量→动质量→静质量。

任何物体或粒子, 只要它的能量变了, 其质量就要变。可见, 能量可变决定质量可变, 能量守恒决定了质量也是守恒的。而且, 能量守恒与质量守恒的条件是完全相同的: 孤立体系中的质量和能量都守恒。开放体系的质量和能量都可变。只要体系内局部的能量改变, 该局部的质量就会改变。例如, 在电场驱动下的电子的速度改变、能量变化, 质量也变化。离散的能量集结了, 且该集结体静止, 动质量就改称为静止质量。

原子中不存在自由的质子、自由的中子和自由的电子。原子中与自由质子、自由中子和自由电子的质量对应的静止质量实际上不存在。因此, 原子内部的质子、中子和电子的静止质量只存在于人们的观念中(是人们为了方便而在观念上划分出来的质量组成部分)。即使是基本粒子, 其静止质量也是人们将其内禀运动的动质量的名称换了“静止质量”的名称。以电子为例, 人们根据它具有内禀运动角动量和自旋磁矩而承认它具有内禀运动。这实际上就是承认电子的静止质量至少有一部分是它的内禀运动的动质量。考虑到基本粒子这一层, 太阳的静止质量是组成太阳的基本粒子静止质量与动质量之和(当然还要减去势能相当的质量)。没有绝对的静止, 也没有绝对的静止质量。

假设质量为本源的存在, 会有许多问题: 光子衰变成电子, 电子的静止质量哪里来的? 电子与正电子湮灭而变完全变成了光子, 电子和正电子的静止质量哪里去了? 相反, 认为“能量是本源的存在”就不会出现上述问题。能量守恒决定能量只能改变形式而不会凭空产生和消失。所以, 至少静止质量不是本源的存在。既然静质量不是本源的, 就很难保证质量是本源的。质量与能量完全相当。但是, 在实践中到底使用哪个概念, 要看应用的方便程度。这是用反证法对“能量决定质量”的证明。

在实践中, 大家都说太阳在不断向外辐射能量, 而不是说太阳不断向外辐射质量。太阳的静止质量

的减小是由太阳不断向外辐射出大量的能量造成的。这也是能量决定质量的一个例子。

“能量决定质量”的观点有利于“以从无到有的观点”解释宇宙的形成。对于宇宙从无到有的起源来说，是先有能量，后有实物粒子，再往后就是星云和星系。量子场论对于真空的描述是有真空能或零点能。不是先有真空质量或零点质量。种种迹象表明，在人们的心中，是先有能量后有质量的。只是多数人不承认这种内心的声音。

本文解决了现有的理论物理中不能解决或解决不好的几个问题：电子半径的计算方法；虚构的电子康普顿物质波的真实形式；电子自旋角动量算符的具体形式；电子自旋的具体形式(及电子自旋函数的具体形式)；电子的内部结构；质-能相当性前提下的新型质-速关系。做到了理论的逻辑自洽，也实现了与旧理论的衔接。这项工作与量子场论比较起来，既有优点也有缺点。因为，量子场论毕竟仍然不能描述电子等基本粒子的自旋的具体形式和康普顿物质波的本质。缺点就是与量子标准模型理论有冲突。

现实社会中，大多数人受“因大数据形成的思维框架”的束缚。对于物理学而言，其中的“大数据”是指“理论框架和观点的市场占有率，物理学的数学化程度”等普及程度度的现实和趋势。这是一个社会现状，也是一种社会规律。思辨哲学——试图从概念中推出实在，使客观宇宙的发展服从于人的思维构造出来的一般法则的哲学。”物理学的数学化也是试图从概念中推出实在，使客观世界的发展服从于人的思维构造出来的一般法则。物理学的数学化也存在上述哲学问题。(Occam's razor)认为，在两个相互竞争的理论中做选择时，更简单的那个通常是正确的。“奥卡姆剃刀”用在物理学领域，也会告诫人们“别过度追求物理学的数学化”。希望读者注意本自然段陈述的原理。因为本文的新观点是对“因大数据形成的思维框架”的冲击。

科学革命的前夜革命性的观点总是受到不公正的对待。在科学大革命之前，没有哪种新理论没有受到旧势力的打压。所谓基础知识都是在“因大数据形成的思维框架”之内的知识。嘴上承认“现有的理论不一定永远正确”的人在“以不符合现有的基本知识”为由而反对创新思想时，实际上还是没有冲出“因大数据形成的思维框架”。

我们在此列举一个非常典型的例子。当狄拉克建立了相对性量子力学方程，且得到了电子的负能量解(也是负质量解)之后，人们普遍认为这种电子的负能量解和负质量解预言了正电子的存在。直到现在，们还是这么认为的。就是说，这种观点已经成了“大数据”。但是，正电子的能量仍然是正能量，正电子的质量的符号仍然是正号。一个电子与一个正电子湮灭而转变成了双倍的电子能量，而不是电子与正电子的能量相消而变成零。很明显，电子狄拉克方程的负能量解不与正电子的正能量对应。电子狄拉克方程的负能量解应该与负能量电子对应。正电子的发现只能预示着自然界存在四种不同的电子：正能量电子，正能量反电子，负能量电子和负能量反电子。为什么没有发现负能量电子和负能量反电子呢？这是因为在正能量世界中，少量负能量粒子无法生存。然而，这种正确的观点至今仍然受到“大数据形成的不正确思维框架”的打压。认为狄拉克方程的负能量解与正能量的粒子对应，存在明显的逻辑错误。但是，人们受“大数据形成的不正确思维框架”的束缚，而强硬地不承认它是错误的。这个活生生的例子表明，“大数据形成的不正确思维框架”是多么顽固、多么厉害、多么消极。大数据形成的正确的思维框架也是有的，那就是以物理学公理构成的大数据形成的思维框架。将大数据构成元素的范围扩大到原理极别，就增加了风险。扩大到旧理论框架的全部定理、定律和结论，风险就大大增大了。

参考文献

- [1] Runsheng Tu. (2018) Quantum Mechanics' Return to Local Realism. Cambridge Scholars Publishing. Newcastle upon Tyne. 175-192.

- [2] Hans Dehmelt. (1988) A single Atonic Particle Forever Floating at Rest in Free Space: New Value for Electron Radius. *Phys. Scr.* 22, 102-110.
- [3] 赵国求. 电子大小的估算与测量[J]. 现代物理知识, 1993, 5(2): 42-46.
- [4] R, T, Weidner R, L, Sells 著, 汤发宇 译. 近代物理学基础[M]. 北京, 高等教育出版社. 1983: 116.
- [5] 涂润生. 吹响科学革命的号角[M]. 香港, 光大出版社. 2010: 119.