

浅析单电子回旋辐射的研究方案

丁健*

(积成电子股份有限公司, 济南 250100)

摘要: Project 8 的实验很出色, 但预期的目标仍然难以实现。以至于某些唾手可得的成果, 也失之交臂。鉴于此, 本文的重点在于澄清几个容易混淆的概念。只有这样, 我们才能够合理地解释该实验数据。要点如下: 1、真空中光速值 c , 静质量为零的粒子, 此二者在现实中都不存在。也就是说, 所谓光子的静质量等于零却具有能量, 这是一个混淆了两个不同定义域的悖论。2、在现实中, 光子是由电磁辐射所产生的高速粒子。它们必定具有(静)质量、能量和波动等特征, 以便从不同角度来描述光子这个主体。3、任何主体在产生电磁辐射后, 它的静质量必然会相应地减少。4、电子的荷质比为物理常数, 是其电荷与物质的数量之比, 不受相对论效应和电磁辐射的影响。5、运动电子的不确定性, 是由随机性的电磁辐射所造成。最后指出, 如果在测出单电子回旋频率的同时, 也能测出它的德布罗意波长或频率, 就可以得到它的静质量。即便如此, 所预期的目标还是难以实现, 因为随机性的电磁辐射总是不断地带走被测单电子的物质成分。而这正是 Project 8 所获得的研究成果, 并具有普适性, 应该予以反思。

关键词: 电磁辐射; 电子; 荷质比; 不确定性原理; 静质量

中图分类号: 0536; 0572.2; 0571.43

A brief analysis of the research scheme of the cyclotron radiation from a single electron

DING Jian

Integrated Electronic Systems Lab Co. Ltd. Jinan 250100, China

Abstract: The experiments of Project 8 have been excellent, but the expected goals still difficult to

* 作者简介: 丁健(1953-), 男, 退休工程师。主要研究方向: meta-physics and physics... E-mail: jianus@163.com

achieve. So much so that some of the results at your fingertips were also missing. In view of this, the focus of this article is to clarify several easy confused concepts. Only in this way, we can reasonably explain the experimental data. The main points are as follows: 1. The value c of the light speed in vacuum and a particle with zero static mass, both of which do not exist in the reality. That is to say, the so-called a photon's static mass is equal to zero but has energy, which is a paradox that confuses two different definitional domains. 2. In the reality, photons are high-speed particles generated by electromagnetic radiation. They must have the characteristics of (static) mass, energy and wave, in order to describe the main body to aim at photons from different angles. 3. After any main body comes into being electromagnetic radiation, its static mass will inevitably decrease accordingly. 4. The charge-mass ratio of an electron is a physical constant, which is the ratio of its charge to the amount of matter, and is not affected by relativistic effects and electromagnetic radiation. 5. The uncertainty of moving electrons is caused by random electromagnetic radiations. Finally, it is pointed out that if the cyclotron frequency of a single electron is measured, and at the same time, its de Broglie wavelength or frequency can also be measured, then its static mass can be obtained. Even so, the expected goals are still difficult to achieve, because random electromagnetic radiations are always taking away continually the matter composition of the single electron being measured. However, this was precisely a result of the research obtained by Project 8, and had universality, which should be reflect on.

Key words: electromagnetic radiation; electron; charge-mass ratio; uncertainty principle; static mass

PACS: 41.60.Ap; 29.30.Dn; 03.75.-b; 29.20.-c

1 引言

2015年，我们在《Physical Review Letters》上见到一篇名为“单电子检测与相对论回旋辐射的光谱分析”的论文^[1]，介绍了多国科学家正在合作进行中的Project 8实验^[2]。该实验的特点，是把氪-83的 β 衰变所产生的单电子束缚在 $B=1$ (T)的磁场中，使其沿垂直于该磁场的圆形轨道运动。同时，该单电子回旋所发出频率大约为25 GHz，可以用灵敏的微波放大器来探测。科学家们认为，这意味着一种新的实验方法，可以利用单电子回旋所辐射的光谱来确定它的能量。

依据相关理论，在负 β 衰变中，核内的一个中子转变为质子，同时释放出一个 β 粒子和一个反中微子。 β 粒子就是电子。科学家们实施Project 8的目的，就是遵循质能守恒定律^[3]，企图通过对单电子回旋时电磁辐射频率的精确测量，确定它的能量。如果能够确定衰变时 β 粒子的能量，就可以通过爱因斯坦狭义相对论的动力学公式计算出它的静质量。再与中子和质子的静质量之差进行比较，就有可能确定中微子的静质量。

所谓相关理论，是指1930年W.E.泡利提出，在负 β 衰变中，放出一个电子的同时，还释放出一个静质量为零且自旋为 $1/2$ 的中性粒子。后来，该粒子被称之为中微子，并声称已被实验所证实。

2 电磁辐射必然会带走物质

若想对Project 8进行比较深入的讨论，就必须在最基础的概念^[3]方面形成共识，不能含混。因此，有必要预先给出两点提示，以利共识。首先，以真空中的光速值 c 运动的光子，严格地遵循牛顿第一运动定律所确定的规律，它的静质量只能等于0，是现实中运动光子的极限值，在现实中是不存在的。也就是说，所谓光子的静质量等于零却具有能量，这是一个混淆了两个不同定义域的悖论。再者，现实中的光子，是由电磁辐射所产生的高速粒子。它们必定具有（静）质量、能量和波动等特征，是为了从不同角度来描述光子这个主体。这意味着，任何主体在产生电磁辐射后，它的静质量必然会相应地减少^[4]。

因此，正确地理解并区别真空中光速与现实中光速二者之间的关系^[5]，是至关重要的事情。那么，对于上述两点提示，Project 8的科学家们又是如何看待呢？

从他们的实验目的来看，是为了确定中微子的质量。但他们所面对的难题，是该单电子所产生的电磁辐射。辐射出的光子能量为 $\Delta E = \Delta mc^2$ ，具有随机性。如上所述，就光子这个主

体而言，该能量必定包含着代表物质数量的静质量 $\Delta m_0 = \Delta m / \gamma$ ，此二者被统称为质能。这里， m 是电子以速率 v 运动时，所显示出的动质量 (*dynamic mass*)，或称相对论质量 (*relativistic mass*)，是代表惯性的质量。而 m_0 是电子的静质量 (*static mass*)，或称静止质量 (*rest mass*)，是代表是物质数量的质量； $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ 为洛伦兹变换的膨胀因子。^[4]

这意味着，该单电子每回旋一圈，它的静质量 m_0 都要伴随着其能量的辐射而逐渐地散失。而且，辐射的发生具有随机性，所散失的静质量也各不相同。这些辐射所产生的每一个光子所带走的静质量，几乎都远远地高于中微子的静质量。因此，中微子的质量极有可能被淹没在由辐射所散失的质量误差之中。

试问，如果 Project 8 的科学家们能够意识到这些，他们还会采用这样的实验方案来确定中微子的质量吗？针对中微子的研究，是当今科学的前沿。以上关于 Project 8 的论述，并非想要阻止他们，只是一种善意的提醒。此外，还告诉他们，可以利用单电子回旋辐射的实验数据，去反思不确定性原理，并论其本质。

3 更具普适性的拉莫尔定理

单电子被束缚在 $B=1$ (T) 的磁场中，沿着垂直于该磁场的方向做半径为 r 、回旋频率为 f_γ 的轨道运动。在不考虑相对论效应的前提下，可直接由向心力 $m\omega^2 r$ 与洛仑兹力 eBv 的等式，求出它的角频率

$$\omega = 2\pi f_\gamma = \frac{e}{m} B \quad (1)$$

这与拉莫尔定理 (Larmor Theorem) 是一致的。

公式 (1) 中，再一次涉及到与荷质比相关的概念^[4]问题。最初，在定义荷质比这个概念的时候，人们还没有意识到相对论效应的存在。因此，那时的荷质比 e/m ，是在非相对论的低速状态下所定义的。质量 m 完全可以和谐地代表惯性和物质的数量，似乎没有必要再去强调，或特指电荷与物质的数量之比了。

但现在，我们必须考虑到相对论效应。就高速运动的电子而言，原来经典力学中的质量概念被一分为二， m_0 和 m ，分别代表物质的数量和惯性。由此揭示出，所谓的荷质比 e/m 是一个变量，而真正的荷质比应该是 e/m_0 ，即电荷与物质的数量之比。只有通过这样的理念所

定义的荷质比，不受相对论效应和电磁辐射的影响，仍旧保持原来的常数值， $e/m_0 = -1.75882 \times 10^{11} (C/kg)$ ，即电子的物理常数荷质比。对此，我们已经借助被广泛应用的电子储存环作为实验事实，证明了高速电子的电荷量 e 跟随着它的静质量 m_0 而同步地散失，其荷质比 e/m_0 保持不变。^[4]

如果继续认为荷质比为 e/m ，在给定磁感应强度 B 的前提下，依据公式 (2)，就有可能推导出这样一个错误的结论：环中电子的回旋频率 f_γ 与它的运动速率 v 无关。

这个结论肯定是错误的，由于受到相对论效应的影响，这个所谓的荷质比 e/m 已经不再是常数了，而是伴随着电子的运动速率 v 在变化。电子的荷质比是否恒为常数至关重要，因为它揭示出一个大自然的基本规律。也就是说，电子和它所辐射出的光子，都是由电的终极粒子^[3]所构成，因为它们的质地是一样的，即具有相同的荷质比。总而言之，荷质比 e/m_0 为电荷与物质的数量之比，正是这个物理概念被定义时的初衷。

于是，把爱因斯坦狭义相对论的质速公式 $m = m_0\gamma$ 代入公式 (1)，我们就得到了更具普适性的拉莫尔定理。如下：

$$\omega = 2\pi f_\gamma = \frac{e}{m_0} B \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (2)$$

公式 (2) 中，其定义域也为 $0 < |v| < c$ ，与爱因斯坦狭义相对论的各动力学公式^[3]相同。

现以单电子回旋辐射实验 (Project 8) 为例。公式 (2) 揭示出，在给定磁感强度 B 的前提下，由于荷质比 e/m_0 为常数，如果能借助于对电磁辐射的精密测量，确定出该电子的回旋频率 f_γ ，那么它的运动速率 v 也就随之被确定了。之后，依据回旋电子的相对速率公式^[4]

$$\beta = \frac{v}{c} = \sqrt{\frac{(\frac{e}{m_0})^2}{(\frac{e}{m_0})^2 + (\frac{c}{Br})^2}} \quad (3)$$

还可以把它的轨道半径 r 确定下来。

如欲讨论单电子回旋辐射实验 (Project 8)，公式 (2) 和 (3) 至关重要。因为我们可以通过它们建立一个非惯性参照系的平台，其依托的背景，就是通过牛顿第一运动定律在现实中所确定的惯性系。也就是说，在给定磁感应强度 B 的前提下，如果排除辐射和其它干扰，单电子的回旋频率 f_γ 、轨道半径 r 以及运动速率 v ，是三个相互关联的值。在它们之间，只要

知道任何一个，另外两个值就可以通过公式（2）和（3）计算出来。而它们各自的初值，取决于该单电子被捕获到磁场中时的运动速率 v 。

4 再论不确定性原理

由于电磁辐射的影响，每个电子的静质量 m_0 并不相同，但它们的荷质比 e/m_0 却恒为常数。这意味着，在该平台的任意轨道上，只要运动速率 v 遵循公式（3）所确定的规律，每个回旋电子的静质量 m_0 可具有不同的值。也就是说，运动速率 v 相同的电子，它们的回旋频率 f_γ 和轨道半径 r 必定是相同的，而动量 p 或能量 E 却可以不同。

此处，荷质比 e/m_0 就好像一堵墙。在这堵墙的一侧，有三个相互关联的值：回旋频率 f_γ 、轨道半径 r 和运动速率 v ，它们是描述位置特征的参量。而在这堵墙的另一侧，也有三个相互关联的值：静质量 m_0 、动量 p 和能量 E ，它们被统称为质能。如果你仅仅得到其中一侧的值，必定无法据此计算出另一侧的任何值。因此，测定回旋电子的无损光谱，只能确定它的回旋的频率 f_γ ，以及轨道半径 r 和运动速率 v ，却无法据此计算出它的动量 p 或能量 E 。这意味着，Project 8 的科学家们所面临的难点，就是不确定性原理（Uncertainty principle）。

于是，触发了我们对不确定性原理的回顾。1927年，德国物理学家海森堡（Heisenberg）首次指出，某些粒子的位置越精确，其动量就越不准确，反之亦然。该原理也可表述为：当动量 p 确定时，速度 v （或位置）无法确定；当速度 v （或位置）确定时，动量 p 又无法确定。

通过这个平台，我们可以看到不确定性原理的内在机制。静质量各不相同的电子，它们的荷质比 e/m_0 始终是同一个常数。当它们以不同的速率运动时，动量或能量可以相同。因此，所呈现出现象是“当动量 p 确定时，速度 v 无法确定”。反之，当它们以相同的速率 v 运动时，动量或能量**必定**是各不相同的。因此，所呈现出现象是“当速度 v 确定时，动量 p 又无法确定”。

这恰恰证明了每一个电子的静止质量是不同的。对于非相对论状态下低速运动的电子，它们的电荷量、静质量以及荷质比都被认为是物理常数，这是一百年以前人们所形成的共识。换言之，在海森堡那个时代，物理学家们普遍认为电子不会被进一步地分解。而现在我们

必须认识到，由于电磁辐射的影响，它们的电荷量与静质量都不再是常数了。只要有能量 $\Delta E = \Delta mc^2$ 被辐射出来，就必定会伴随着静质量（即一定数量的物质）的散失，它们分别是不同的角度（能量和物质）来描述同一个事件。对此，却一直没有形成共识。

之前，借助电子储存环作为实验事实，我们曾经证明了高速电子的电荷量跟随着它的静质量而同步地散失，此二者已经不再是常数，但它们的荷质比却恒为物理常数。也就是说，对于电子是由一定数量电的终极粒子所构成，并且它们都具有相同的荷质比这个推断，由此而揭示出了一个大自然的基本规律，应该予以正视。^[3]

作为大自然的背景，以太介质也是由电的终极粒子所构成，其运动速率为现实中的最高值，仅次于真空中的光速值 c 。所谓的磁力线，其本质就是电的终极粒子和由其所衍生出的带电粒子流。当电子在以太中做半径为 r 的圆周运动时，会有电流的周期性变化。正是它迫使该圆周所确定平面附近的带电粒子流改变了密度与方向。这意味着，如上所述由单电子回旋所辐射的光谱，可视为两部分的合成。一是由单电子的回旋电流所产生，二是电磁辐射。论其本质，都是电磁波。

再者，电子在以太介质中运动，其波动的规律遵循德布罗意（de Broglie）物质波关系式，其动量 $p = mv = h/\lambda$ 和能量 $E = mv^2 = hf$ 不能无限制地增长，要受到普朗克常数 h 的制约。这意味着，如果在测出单电子回旋频率 f_γ 的同时，也能测出它的德布罗意波长 λ 或频率 f ，那么就可以计算出它的静质量 m_0 ，以及与之相对应的动量 p 和能量 E 。但即便如此，所预期的目标还是难以实现，因为随机性的电磁辐射总是不断地带走被测单电子的物质成分，应该予以反思。

电子可以被进一步地分解，这是产生随机性电磁辐射的内因。因此，以太介质与电子之间的相互作用，以及洛仑兹力 eBv ，是产生随机性电磁辐射的外因。整个电磁辐射的过程，遵循质能守恒定律，即电子内部的部分结合能，以光子辐射的形式，转换为动能。^[6]

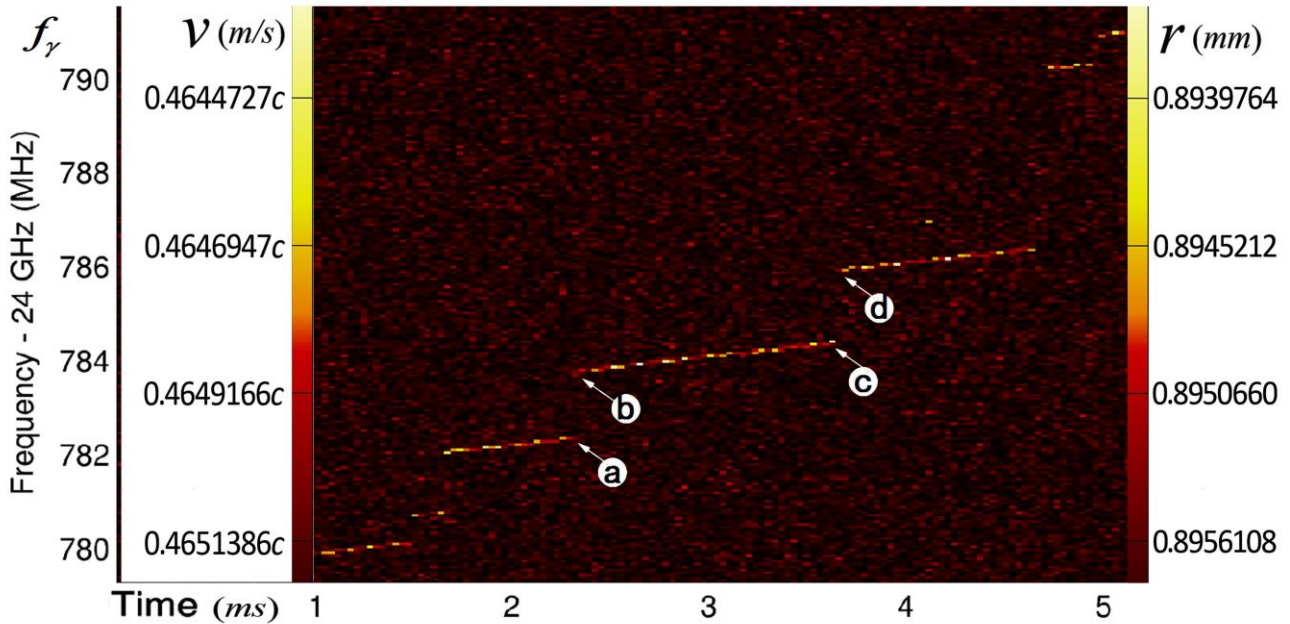
电子在回旋时，如果没有电磁辐射的发生，其静质量和电荷量就不会散失，此二者将会始终保持在它们各自的物理常数值附近。也就是说，所谓的不确定性，就不会存在。因此，运动电子的不确定性，是由随机性的电磁辐射所造成。

下面，在公式（2）和（3）所确定的这个平台上，我们使用单电子回旋辐射的一些实验数据，暂时回避其它干扰因素，只是针对随机性的电磁辐射而适度地计算并予以讨论。

5 合理地解释 Project 8 实验数据

图 1 源自上述《Physical Review Letters》的那篇论文^[1]。为了进一步阐明本文的观点，在尊重原始数据的前提下，做了适度的增删。单电子在 $B=1$ (T) 的磁场中运动，左侧纵轴分别代表回旋频率 f_γ 和运动速率 v ，右边纵轴为轨道半径 r ，横轴为时间的变化。

图 1: 单电子在 $B=1$ (T) 磁场中的位置特征随时间变化的规律



理论和实验都已证明，做圆周运动的电子会持续且随机性地发出电磁辐射。因此，该电子的电荷量 e 跟随着它的静质量 m_0 同步地散失，并显示为能量 E 逐渐地减少，即呈现出收敛现象。如果仅单纯地依据公式 (2) 和 (3) 去判断，你就会发现能量 E 减少的原因是静质量 m_0 在散失，但这不应该改变它的回旋频率 f_γ 、轨道半径 r 以及运动速率 v 等三个相互关联的值。那么，图 1 中所显示的回旋频率 f_γ 增加，必定是随机性的电磁辐射改变了它的运动速率 v 。

为了便于说明，在图 1 中，依据该单电子的回旋频率 f_γ ，特标明了 4 个点 (a、b、c、d)。将各点的回旋频率 f_γ 分别代入公式 (2)，可求出与之对应的运动速率 v 。同理，将各点所对应的运动速率 v 分别代入

表 1: 单电子在垂直于 $B=1$ (T) 磁场中 4 个点的运动数据

	回旋频率 f_γ (GHz)	运动速率 v (m/s)	轨道半径 R (mm)
a 点	24.7823	0.4649832c	0.8952338
b 点	24.7838	0.4648811c	0.8949832
c 点	24.7845	0.4648335c	0.8948662
d 点	24.7861	0.4647246c	0.8945988

公式 (3)，可求出与之对应的轨道半径 r 。见表 1。

表 1 中已经计算出，该单电子的运动速率 $v \approx 0.465c$ 。那么，光子辐射的光锥是以回旋轨道的切线为中轴，沿着该单电子的运动速率 v 的方向，其半张角 $\theta_{1/2} \approx 1/\gamma$ 很大，接近 70° 。也就是说，辐射光子沿着回旋轨道切线方向所传递的冲量，会导致该电子的运动速率 v 降低。见图 2。

图 2: 辐射光子传递给单电子的动量分解示意图

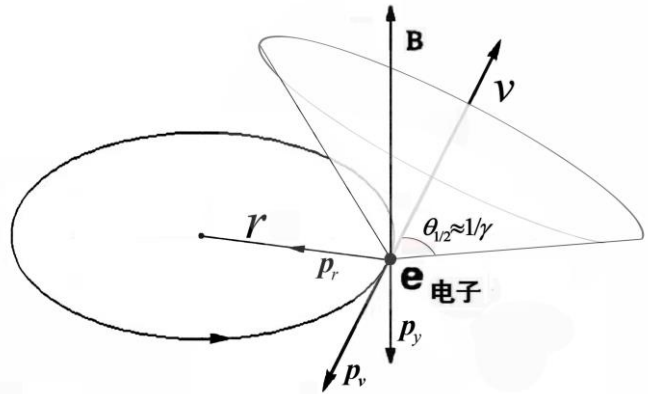


图 2 中，当辐射发生时，每个光子都会以冲量的形式，把一个与自身大小相等，但方向相反的动量 p_L 传递给该单电子。动量 p_L 可分解成 p_v 、 p_r 和 p_y 三个矢量。动量 p_v 沿着回旋轨道的切线方向，与该单电子运动速率 v 的方向相反，导致其运动速率 v 逐渐地降低。动量 p_r 沿着轨道半径 r 的方向，动量 p_y 垂直于 p_v 和 p_r 所确定的平面。动量 p_r ，将导致该单电子在回旋轨道所确定的平面上位移。动量 p_y ，将导致由该单电子回旋轨道所确定的平面发生倾斜。此二者 (p_r 和 p_y) 共同作用在该单电子上，直到它触及真空室的内壁。是的，一个完整的单电子回旋过程到此结束。

动量 p_v 使得该电子的运动速率 v 降低。因此，依据公式 (2) 和 (3)，它的回旋频率 f_γ 将有所增加，而轨道半径 r 则相应地减小。就动量 p_v 而言，当其量值变化较小时，可以采用图 1 中从 b 点到 c 点略微倾斜的直线段为例。如表 1 所示，在这个时间段中，该单电子的运动速率 v 从 $0.4648811c$ 缓慢地下降到 $0.4648335c$ ，导致回旋轨道的半径 r 也相应地从 0.8949832 (mm) 下降到 0.8948662 (mm)。于是，该单电子的回旋频率 f_γ 也从 24.7838 (GHz) 增加到 24.7845 (GHz)。

然而，每个辐射光子的角度和能量都具有随机性，因此动量 p_v 的量值也会呈现出急剧地跳变。譬如，在图 1 中，它从 a 点跳变到 b 点，以及从 c 点跳变到 d 点。如表 1 所示，该单电子的运动速率 v 分别从 $0.4649832c$ 剧降到 $0.4648811c$ ，从 $0.4648335c$ 剧降到 $0.4647246c$ ；同时引起回旋轨道的半径 r 也分别从 0.8952338 (mm) 剧降到 0.8949832 (mm)，从 0.8948662 (mm) 剧降到 0.8945988 (mm)。于是，该单电子的回旋频率 f_γ 也分别从 24.7823 (GHz) 跳

变到 24.7838 (GHz)，从 24.7845 (GHz) 跳变到 24.7861 (GHz)。

就上述从 b 点到 c 点略微倾斜的直线段而言，广泛使用的电子储存环就是按此原理而建造的大科学装置。在储存环中，磁感应强度 B 和轨道半径 r 都被设计成标定值。因此，依据公式 (3)，每个电子的运动速率 v 也是标定值，而荷质比 e/m_0 只能是常数。否则，如果每个电子的电荷量 e 不能跟随着它的静质量 m_0 而同步地改变，即使运动速率 v 可以被保持不变，半径 r 也必然会跟随着荷质比 e/m_0 的变化而改变，电子将会撞击到储存环管状真空室的内壁上。但储存环中电子束流的寿命一般在几个小时以上，这可以用作实验事实。换句话说，我们已经证明了公式 (3) 中的荷质比 e/m_0 恒为常数。再者，为了弥补因同步电磁辐射而引起的电子运动速率 v 的逐渐降低，每个存储环中还有一个高频腔系统。电子束流每回旋一圈，都会在高频腔内适度地补充能量，以便确保其运动速率 v 遵循公式 (3) 所确定的规律。

6 结 论

Project 8 的实验的确很出色，尽管实验方法变换了很多的花样，但预期的目标仍然难以实现。以至于某些唾手可得的成果，也失之交臂。本文指出，Project 8 的科学家们所碰到的难点，正是电磁辐射所引起的不确定性。现将上述各要点归纳如下：

- 1) 真空中的光速值 c 以及静质量为零的粒子，它们都不存在于现实中。作为现实中事物变化的极限值，它们严格地遵循牛顿第一运动定律所确定的规则。
- 2) 在现实中，光子是由电磁辐射所产生的高速粒子。它们必定具有（静）质量、能量和波动等特征，以便从不同角度来描述光子这个主体。
- 3) 任何主体在产生电磁辐射后，它的静质量必然会相应地减少。
- 4) 电子的荷质比为物理常数，是其电荷与物质的数量之比，不受相对论效应和电磁辐射的影响。
- 5) 电子在回旋时，如果没有电磁辐射的发生，其静质量和电荷量就不会散失。所谓的不确定性，就不会存在。因此，电子运动的不确定性，是由随机性的电磁辐射所造成。
- 6) 在给定的磁场中，单电子的运动速率降低，将导致其轨道半径减小、回旋频率上升，包括轨道圆形平面被移动或倾斜，所有这些都是由随机性的电磁辐射所造成。

最后指出，如果在测出单电子回旋频率的同时，也能测出它的德布罗意波长或频率，就可以得到它的静质量，以及与之相对应的动量和能量。但即便如此，所预期的目标仍然难以实现，因为随机性的电磁辐射总是不断地带走被测单电子的物质成分。电子可以进一步被分解，并且每一部分碎片的质地都是相同的，这正是 Project 8 徘徊数年后所获得的研究成果，具有普遍性，应该反思。

真理不是依靠某个所谓完美的实验就可以证明^[6]，而是要在艰难困窘的环境中，以偏渐全地逐步逼近它。就像那些大规模的粒子物理对撞机一样，投资和支出呈指数般的增长，最终证明的一个具有普适性的客观规律，也不过如此。物质是可以被分解的，希望你不要轻视这个具有普适性的客观规律。

仅举一例，依据德布罗意物质波关系式，你就会发现引起光谱红移的主要因素，就是光子因电磁辐射而被进一步分解。那么，你是否仍然仅仅根据多普勒效应认为，几乎所有的天体都在远离我们而去呢？

参考文献：

- [1] D M Asner et al. (Project 8 Collaboration). Single-electron detection and spectroscopy via relativistic cyclotron radiation [J]. *Physical Review Letters*. April 20, 2015, DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.162501.
- [2] [DB/OL]. <http://www.project8.org/index.html>
- [3] Jian DING, Xiuqin HU. *Piercing the Veil of Modern Physics. Basics & Philosophy* [M]. Germany: *Lambert Academic Publishing*, 2017.
- [4] DING Jian, HU Xiuqin. *Piercing the Veil of Modern Physics. Part 1 & Basics* (in Chinese) [DB/OL]. <http://vixra.org/abs/1706.0489>, 2017-06-26.
- [5] DING Jian. *Piercing the Veil of Modern Physics. Part 2 & Philosophy* (in Chinese) [DB/OL]. <http://vixra.org/abs/1709.0155>, 2017-09-12.
- [6] DING Jian, HU Xiuqin. *Piercing the Veil of Modern Physics: Part 3 & Superconductivity* [J]. *Open Access Journal of Physics*. 2019, 3(1): 26-48. (And in Chinese [DB/OL]. <http://vixra.org/abs/1806.0084>, 2018-06-07)