

论经典力学与量子力学中质点的属性

〔关键词〕 宏观 微观 质点 属性 归一化 时空变换 〔中图分类号〕 O4

赵国求

(武钢基础物理研究所, 研究员 武汉 430080)

一、经典力学中质点的属性^{〔1〕}

1. 牛顿力学中质点的属性

唯物主义哲学认为: 时间、空间是运动着的物质的存在形式, 既没有脱离物质的时空, 也没有脱离时空的物质。根据唯物主义关于时空的论述, 物理学中人们对物体运动状态的描述, 就应包含对物体自身时空特性的描述。物体的运动状态是由物体间的相互作用决定的, 但描述物体运动状态的自然定律, 物体在时空中表现的形象特征, 都必须通过人类的观察发现。观察需要观测信号和观测仪器。现今人类能利用的场信号有 4 种: 一是电磁场(光), 二是引力场, 三是弱力场, 四是强力场。因此, 人类认识的物体运动状态及物体在时空中表现的形象特征, 必然带有上述 4 种场的烙印, 必然随场的作用性质、作用强弱和作用速度的变化而变化。

按照物理学的定义方法, 如果物体的线度在所研究的问题中不起作用, 或所起的作用可忽视不计, 我们就可以近似地把物体看作是一个没有大小和形状的理想物体, 称作为质点。一般, 物体质心所在的位置就是质点所在位置。

牛顿的三大定律构成了牛顿力学的基础, 而牛顿三大定律又都是以质点为研究对象的, 可以说, 牛顿力学就是质点力学。质点无大小, 谈不上时空形象。人类在对运动物体的观察中, 总结运动规律, 凡涉及到物体自身时空特性的变化全都忽略不计。牛顿力学中, 物体在时空中的运动状态, 只能由质点的动量、能量及质点的运动轨迹决定, 要么直线, 要么曲线, 而质点的运动速度则是这种时空形象建立的速度。

从数量上定量确定物体相对参照物的位置或位置随时间的变化速度, 需要在参照物上选用一个固定的坐标系, 通常在参照物上选定一点作为坐标系的原点。通过原点标明长度的线就是坐标轴。通常有直角坐标系、极坐标系、柱面和球面坐标系。

牛顿力学中, 物体被简化为质点, 因此, 在牛顿力学中, 当把坐标系建于物体之上时, 常常是表明物体的质点就是坐标系的原点, 参照物的运动、坐

标系的运动、质点(原点)的运动等价。这时物体相对于参照物的运动, 也可抽象为质点相对于坐标系的运动。

然而任何具体的物体都绝不会是质点。只要物体不是质点, 当我们用某种场信息去观察它时, 物体自身的时空特征, 必然与物体的运动状态以及我们使用的场信息的性质、强弱和作用的传播速度相关, 这在狭义相对论里已经有了完全的证明。但在牛顿力学中, 人们在建立力学体系时, 在从参照物到坐标系的抽象中, 根据点粒子力学的原则, 物体自身的几何形象及运动中形象的变化都全部抽掉, 任何物体都变成了质点, 没有了时空形象。这表明, 牛顿力学中完全忽略了运动及观察中使用的场信息对物体时空特征的影响。此外, 坐标系是建于物体之上的, 抽掉运动及观察信号对参照物时空特性的影响就是抽掉了运动及观察信号对坐标系时空特性的影响。因此, 牛顿力学中坐标系的运动及观察信号对时空没有影响。这也是牛顿力学中“质点”模型对时空绝对性的逻辑要求。可见, 牛顿力学中“质点”的意义远远超过了其最初的意义。

必须特别指出, 牛顿力学中, 在对物体作质点抽象时, 代表物体的质点在运动中具有确定的动量、能量、位置和时间, 因此牛顿力学中质点的运动有确定的运动轨迹。

2 狭义相对论中质点的属性

狭义相对论中, 爱因斯坦是用电磁场(光)作为观察物体时空特性的场信号的, 时空体系建立之前参照物不是质点, 爱因斯坦“火车对时”实验就是最好的说明。在“火车对时”实验中, 爱因斯坦设“火车”的长度为 $A'B'$, $A'B'$ 中点 M' 有一个观察者, 地面对应的长度为 AB , AB 的中点为 M 。下面分 4 种情况进行讨论。

(1) 把火车当成质点。按照质点的定义, 质点没有大小, 火车上的 A' 、 B' 、 M' 重合在一起, 不管火车“运动”还是“静止”, 显然, 两事件之间相互感知的场信号通过火车不需要时间, 火车上的观察者 M' 可以同时收到 $A'B'$ 的闪光。当然, 地面上的观察者 M 肯定是同时观察到 AB 发来的闪光的。火车和地面具有相同的同时性定义, $t=t'$ 的时空机制即可形成。可见, 当把火车看成质点时, 火车坐标系(K')与

[23] 约翰·巴罗. 艺术与宇宙. 上海科学技术出版社, 2001, 74

[24] 徐光宪. 物质结构的层次和尺度, 科学导报, 2002 (1), 3

[25] 喀兴林. 量子力学与原子世界. 山西科学技术出版社, 2000, 1- 5

[26] 冯端. 科学新闻周刊, 1999(11), 10

[27] L. F. 菲利浦斯. 基础量子力学. 科学出版社, 1974, 2

[28] 阿热. 可怕的对称——现代物理学中美的探索. 湖南科学技术出版社, 2002, 114- 120

(责任编辑 王宏章)

地面坐标系(K)中的时空度量是相同的。

(2) 光速无限大(感知事件发生的信号速度无限大)。当光速 $c \rightarrow \infty$ 时, 不管火车有无长度, 运动与否, 也不管是地面坐标系(K), 还是火车坐标系(K'), 光通过任何距离都不需要时间。M 同时看到闪光, M 也同时看到闪光。坐标系 K、K' 的时空量度相同。可见, 把火车当成质点与承认光速无限, 在时空度量机制上是等价的。所以牛顿力学中的质点模型, 实际上承认了有无限大作用信号速度的存在。这是牛顿力学对时空信号的特点。其实, 当令光速无穷大时, 经验上我们只能把物体当成质点, 因为无穷大的光速使物体不同部分发出的光全部同时到达观察者, 物体的形状无法区分, 只能是一个质点。

(3) 火车不动, 即 $v = 0$ 。这时火车与路基属同一参照系, A'、B'、M' 与 A、B、M 永远重合, 不管光速如何, M、M' 总是同时收到闪光, 坐标系 K、K' 内的时空量度相同。可见, 把火车看成质点, 承认对时信号速度无穷大与火车不动 ($v = 0$), 三者时空机制的建立上都是等价的, 都可回到伽利略变换。

(4) 光速有限, 火车有长度 A'B', 且以速度 v 运动。爱因斯坦假设火车长度为 A'B', 且以速度 v 运动, 因而才出现了一个中点对时方案, 推导出坐标系 K 与 K' 时空量度的差异。如果火车速度 v 为零, 显然没有火车上感知事件发生的信息与地面的不同时。可见, 火车坐标系与地面坐标系时空的区别依赖于 3 个前提: 一是火车不是质点, 二是感知事件发生的信号速度不是无穷大, 三是火车必须有一个不等于零的速度。正是上述 3 个前提条件造成了火车和地面坐标系中时空量度的差异, 并有形或无形地表现在洛伦兹变换中。

牛顿力学与狭义相对论相比, 在从参照物到坐标系的抽象中, 有如下 3 点重要区别。

其一, 牛顿力学中, 在运动物体(参照物)上建立坐标系时, 把动体当成了质点, 因而也把物体因几何大小和观察信号在运动中引起的同时性的变化忽略掉了。而狭义相对论不同, 起初它并不把运动物体(参照物)当成质点, 而是认为物体(参照物)有一定的几何大小, 尔后则把运动物体上因对时信号的变化(时空信息的传递者)引起的时空量度的变化, 通过从参照物到坐标系的抽象, 变成了坐标系中时空框架的属性。

其二, 感知事件发生的相互作用信息的速度不能是无穷大。如果传递事件发生的信号速度无穷大, 那么人类将无法感知物体的几何大小, 因为物体任何部位发来的信号都同时到达观察者。在无限大作用速度中, 被观察的任何物体都只能是质点, 除非发光体不同部位不同时发光。狭义相对论中, 爱因斯坦用以观察事件发生的信号是电磁场(光), 光的传播速度是有限的。从理论上讲, 当传递事件发生的信号速度不是无穷大时, 任何物体在时空中都不能看作是质点, 因为物体不同部位发来的光(不同事件)不可能同时到达观察者。人类头脑中的时空概念的建立最初也应源于此。

其三, 爱因斯坦狭义相对论中, 讨论物体的运动规律时, 物体仍然是质点。这如何与光速有限形成的时空机制统一呢? 原来狭义相对论在讨论质

点的运动规律之前, 做了一次从参照物到坐标系的抽象, 把一个不是质点的物体因运动而引起的时空量度的变化, 在参照物到坐标系的转换中, 变成了坐标系的固有属性, 参照物还原成了质点。由于运动的相对性, 于是同时规定凡是以此参照物描述的其他任何物体都具有这样的属性, 被描述的物体就又可归为原点。这样, 坐标系变成时空量度可变的框架, 被描述的物体还原成了质点, 并据此讨论质点的运动规律, 建立起狭义相对论。狭义相对论在揭示时空产生的本质方面, 显然比牛顿力学前进了一步, 它考虑到了传递时空信息的信号速度的有限性, 揭示了时空产生的机理。

同样必须指出, 由于狭义相对论在做质点抽象时, 物体的“形”对时空的影响被归为坐标系时空特性的变化, 它相当于承认在这样的坐标系中运动的物体的“形”可以忽略不计, 类似于牛顿力学中质点抽象时对“形”的忽略。因此, 狭义相对论中的质点仍然具有牛顿力学质点的属性, 动量、能量、位置和时间都是确定的, 质点的运动也具有确定的轨迹。

二、量子力学中质点的属性

在微观领域, 真正的微观坐标是无法建立的, 我们无法通过实验观察原子中电子运动的轨道, 所以海森伯说原子中电子的轨道概念是毫无意义的。对微观客体的认识, 人类只能通过实验现象进行理论建构, 这当然应该包括对微观客体“形”的建构。在原子的经典模型中, 卢瑟福建构的是太阳系模型, 电子和原子核都可看作是宏观的质点。但这个模型与量子力学实验和理论格格不入。玻尔的经典量子论作了改进, 提出电子运动的能级跃迁概念, 但电子仍然是经典力学中的质点, 量子现象与模型的根本矛盾仍然没有消除。正统量子力学在协调波粒二象性与实验现象之间的矛盾中试图丢掉对原子和电子结构的更深层追究, 但是这并没有消除人们对其理论结构的疑虑。难道真的承认了微观客体的波粒二象性, 电子本身的“形象”就不能追问了吗? 对客体“形”的深究, 无疑是在追究人类时空概念的形成机制。如果电子的“几何形象”存在, 那么在原子中电子等微观客体的“形”又是什么呢? 该如何建构呢? 诚然, 微观客体的“形”是不能直接观察的, 但我们也不能直接把它看成“点”。量子力学中的“点”电子只能是一种理论抽象。

在宏观世界, 如果物体的大小在我们所讨论的问题中可以忽略不计, 物体就可以简化为质点。物体的运动就可以看成是质点的运动。质点具有确定的动量、位置、能量和时间, 质点运动的轨迹也是确定的。但在微观世界中, 对微观粒子自身也还能如此吗? 许多科学家对此一直表示怀疑, 而且认为量子力学中的许多问题很可能就是由质点抽象造成的。日本物理学家坂田昌一就指出: “本来, 把基本粒子看作数学上的点, 只限于在比较大的时空领域作为研究对象, 以至于可以忽略基本粒子内部结构的情况下才是成立的。然而, 以点模型为基础的理论形式……往往就忘记了当初采取的近似意义, 从而产生了好象所研究的对象本身就是数学上的点这样一种错觉……基本粒子是数学的点, 对于我们

这样的外行人来说,是怎么也不能相信的^[2]。”法国数学家托姆也曾明确指出:量子论以不确定性原理为基础,依靠点粒子这一粗糙而不适当的模型,把微观客体硬塞入一种不适当的概念框架所造成的混乱和佯谬之中^[3]。

当然,上述科学家的观点是理论上的认识。美国物理学家霍夫斯塔特还从实验上证明了微观客体不是质点,而是有一定的分布半径(如中子、质子等),并由此获得了诺贝尔物理学奖。

看来,真实的微观粒子不是质点,这是可以达成共识的。那么,当把微观粒子抽象成质点时(尤其在原子中)会带来什么样的问题呢?为了回答这一问题,我们先来看前苏联物理学家朗道对测不准关系的推广。朗道在他的《量子电动力学》一书中,指出测不准关系可以推广到相对论力学中的单个物理量^[4]。他认为,在相对粒子静止的坐标系中,坐标的不确定量是 $\Delta x_0 = \frac{h}{m_0 c}$, 动量的不确定量是 $\Delta p = m_0 c$ 。

m_0 是粒子的静止质量, $m_0 c$ 我们称作静止康普顿动量^[5], h 是普朗克(Planck)常数。在《物理学的新神曲——量子力学曲率解释》一书和《论量子力学曲率解释实在论哲学基础》^[6]一文中,我们已经证明了,朗道上述“静电子”位置不确定量,是实验测得的非点粒子半径 $r_0(\Delta x_0)$ 的理论值,而且,理论值在数量级上与实验符合得非常好。

只要稍作推敲就会发现,朗道对 Δx_0 所作的解释只能来源于微观粒子的点粒子假设,而量子力学中电子等微观粒子刚好是质点。电子本来不是质点,具有真实的半径 $\Delta x_0 (= r_0)$, 如果把电子当成质点,显然这个质点就必须弥散在 Δx_0 的范围内,电子的大小 $\Delta x(r)$ 就成了电子(质点)可能存在的范围。于是,电子等微观客体就有了不确定性。可见电子等微观客体的不确定性,是在对微观客体作质点抽象时,自觉或不自觉地赋予电子等微观粒子的。

对海森伯证明测不准关系式的光—电子碰撞实验作深入分析,同样也可以得出:海森伯的位置不确定量 Δx 是点粒子活动范围的结论。电子不是质点,测量中只要非质点的光子碰上了非质点的电子,不管碰上电子的哪一部分,电子总是被测到的,并记录一个电子存在的位置。但每一次测量都不能说是电子的准确位置,电子的位置遍布于电子自身空间形象之中。电子自身的空间形象才是单光子——电子碰撞实验中产生位置不确定性 Δx 的根源。不过, Δx 不是微观客体的真实大小,而它是“自在实体”——电子的“真身”(Δx_0 在任何相对粒子静止的坐标系中都是不变量,我们称其为“自在实体”——电子的“真身”),在四维时空中三维空间方向上的影像分布区域^[1]。这个“影像”区域就是我们通过实验为微观客体建构的“形”,而“形”的球面曲率与原子发光的光强→跃迁概率成正比例对应^[7]。它与宏观客体的“形”有根本的区别,具有可变性。另外,联系到我们提出的相互作用原理, Δx 、 Δp 的不能同时确定,其真实意义则是动量的改变与时空形象的出现是同时产生的。^[1]

在原子中,由于电子在不同能级上位置不确定量 Δx_n 不相同,因而不确定性也不同,也就是在不同能级上出现的概率不同。

看来,在对微观客体作质点抽象时,我们在理论上自觉不自觉地赋予了微观客体的不可确定性属性,并与建构的微观客体自身的“几何形象”相对应。这就与经典力学对宏观物体作质点抽象时完全不同。对微观客体作质点抽象,粒子自身的“大小”不可忽略不计,理论上将粒子的“几何形象”,变成了点粒子所具有的新属性——不可确定性。难怪海森伯深信是理论决定我们能观察到什么。

由此,我们明显地看到,哥本哈根学派坚持的几率解释也确有他的理论依据。因为,在以质点为描述对象的量子力学中,“点电子”在其“形”的分布范围内确实有飘忽不定的性质。说电子是“原子幽灵”,其比喻可谓一语中的。人们对几率解释的种种不理解甚至误解,既根源于对微观世界“形点转换”带来新性质的无知,也根源于“宏观质点”与“微观质点”不同性质的混淆,更源于“形点转换”中对“形”的忘却。从宏观视角看,薛定谔方程描述的是微观客体“形”的变化规律,受经典力学控制,是决定论的。对各类波函数的数学形式进行分析发现,其振幅中均含有半径 Δx_n 决定的曲率,所以我们说波函数是曲率波。曲率的大小表示粒子性,曲率的变化表示波动性。曲面方向的变化体现为波的相位的变化,可以超光速。波粒二象性有了和谐的统一。说薛定谔方程描述了微观客体确定状态出现的概率,而概率的演化是决定论的,那只是“形点转换”后的说法。微观客体确定的状态就是我们建构的“形”。

其实,当把 Δx_n 看成是原子中的“电子”的“分布半径”,电子的“形象” Δx_n 在讨论原子问题时不能忽略是明显的。根据海森伯测不准关系式,原子中:

$$\Delta p_n \cdot \Delta x_n = h \quad (1)$$

$$\Delta x_n = \frac{h}{\Delta p_n} = n a_0 \quad (2)$$

式中 n 是能级量子数, a_0 是玻尔半径。而原子中能级的半径:

$$r_n = n^2 a_0 \quad (3)$$

电子在原子核外只有等动量面(或层)而无轨道,电子的“形象”半径与原子的“形象”半径之比是

$$\frac{\Delta x_n}{r_n} = \frac{n a_0}{n^2 a_0} = \frac{1}{n} \quad (4)$$

当 $n=1$ 时,

$$r_1 = \Delta x_1 = a_0 \quad (5)$$

即基态原子的“形象”半径与电子的“形象”半径相同。当然,这只是基态,是特例。但即使不是基态,“电子半径”与“原子半径”的比值也只有 $1/n$ 。原子中每层电子的分布数最多只能是 $2n^2$ 个,若 $n=10$,则原子核外最外层有 200 个电子。目前还没有发现有这样的元素,即使有这样的元素,在同一个理论背景下,“电子半径”与“原子半径”之比仅为 $1/10$,这与经典力学中质点定义忽略“形”的条件显然是不符的。它表明,在讨论原子问题时,在现有实验建构的原子理论中,我们不能忽略电子的“形”对讨论原子问题的影响。

若真要把电子当成“质点”,则质点必须落在 $x \leq \Delta x_n$ 的范围之内,而且在 Δx_n 之内“质点”的分布是随机的。原子中随着能级的不同, Δx_n 有异,“质

点”分布的概率也不同，这正是量子力学几率解释所需要的。

显然，当我们讨论的是原子问题时，由测不准关系建构的电子在原子中的“形”不可忽略，这时，再对电子做质点抽象时，在电子的“形点转换”中必然增加新的性质，自觉或不自觉地赋予了微观质点的不可确定性。可见，原子中微观世界的质点，与经典力学中宏观世界的质点有完全不同的性质。海森伯把 $\Delta p_n \cdot \Delta x_n \geq \hbar$ 看做是经典力学概念的适用范围是正确的。因为只有在 $\Delta x_n \geq \hbar / \Delta p_n$ 之外看微观客体时，看到的才是由宏观实验建构的电子整体的“形”，而“形”的变化符合经典的因果律，这时经典概念才能适用；在 $\Delta x_n \leq \hbar / \Delta p_n$ 之内，电子抽象成了微观的质点，而微观质点具有宏观质点完全不同的性质——在 Δx_n 范围内质点具有不可确定性。

实际上当 $n \rightarrow \infty$ 时，

$$\frac{1}{n} = 0 \quad (6)$$

这时电子已经离开了原子，能量可连续变化，我们讨论的已不是电子在原子中的行为，电子也就可以当成经典力学中的质点来考虑了。此时我们讨论的问题则回到了经典电动力学。

三、波函数归一化的物理意义

电子波波函数体现了通过实验现象进行理论建构的微观客体“形”的变化规律，因而波函数的归一化也有了新的物理意义。

在波函数归一化数学形式

$$\int_{\tau} C_n |\phi_n|^2 d\tau = 1 \quad (7)$$

中，令

$$dv = |\phi_n|^2 d\tau \quad (8)$$

积分区域也由 τ 变换到 V ，则归一化形式变为

$$\int_V C_n dv = 1 \quad (9)$$

于是

$$C_n = \frac{1}{V} \quad (10)$$

在波函数新的解释中，波函数体现的是微观客体“形”——球面曲率的变化规律。(7)式中的 $\tau d\tau$ 是牛顿的平直空间，(7)式体现的是平直空间中形的变化规律，希尔伯特空间纯粹是一种数学工具的利用；而(8)、(9)式中 $V(dv)$ 则是把 ϕ_n 的几何形象变换到 τ 中去的具有新的不同几何结构的空间。波函数的归一化实际上是将积分区域 τ 通过波函数 $|\phi_n|^2$ 变换成新的不同几何结构的积分区域 V ，电子自身的“空间形象”变成了新的积分空间的性质。配制归一化系数的目的之一，就是寻求微元体积 dv 与被积分区域 V (电子所在区域) 的体积比。此时归一化形式变为：

$$\frac{1}{V} dv = 1 \quad (11)$$

(11)式中 dv/V 是微元体积与电子存在的区域总体积之比，这个比值与测不准关系中的 Δx 相关，在量子力学正统解释中被看成是点粒子出现的几率。

在量子力学曲率解释中， ϕ_n 本来是反映微观粒子自身空间形象变化的物理量，它以宏观平直时空为背景，希尔伯特空间是作为数学工具引入的，但上述归一化过程，实际上也是将电子自身的空间特性变成新的被积区域空间特性的过程。归一化既是寻求体积比，也是时空变换。当把电子自身的空间特性转换成被积区域的空间特性之后，电子在“形点转换”中又还原成质点，且有飘忽不定的特性，而且在波动的被积分空间 V 内运动，希尔伯特空间具有了实体性质，这就是冯·诺意曼的相空间。在宏观世界是物“实”空“虚”，粒子运动有轨迹，受力学边界条件控制；而在微观世界，则是物“虚”空“实”，粒子运动没有轨迹，受时空特征控制。这是宏观时空与微观时空的根本区别。(8)式则是这种虚实时空的变换。它类似于相对论中的洛伦兹变体，体现微观时空与宏观时空的变换关系。人类对客体(宏观、微观)专一的粒子性测量，只是建立在牛顿时空和狭义相对论时空基础上的测量，波动时空是量子力学的时空特征。它描述微观客体的波粒二象性。

上面我们讨论了波函数归一化的物理意义，但波函数还有正交性，在量子力学新的解释体系中正交性也有明确的物理意义。

所谓正交，即波函数的每一分量作为坐标基是彼此垂直的，也就是每一分量在其他分量上的投影等于 0。这意味着分量之间时空信息是互不相通的。为什么分量之间信息不通呢？原因很简单，因为原子世界相互作用是不连续的，电子从一个能级跃迁到另一能级具有量子化特征。我们认为时空是物质间相互作用的表现，连续的作用表现出连续的时空，间断的作用表现出时空的非连续性。也就是说能级之间时空具有“盲区”，即我们无法认识或无法建立时空的区域。由于“盲区”把每一能级间的信息隔断了，互相间信息不通，数学上刚好体现为互相投影为 0。量子力学的多世界解释应该说就是以此为基础的解釋。

原子中时空“盲区”的存在，也为光通过某些介质出现“超光速”现象提供了可能的解释。光在促使原子中电子能级跃迁、不断前行从介质中穿过时，必定“穿过”了时空“盲区”，一旦“盲区”达到一定的“厚度”，很可能就会出现明显的“空间消失”的“误区”。看来，要想出现“超光速”，介质必须有一个临界厚度，而这正是“超光速”现象出现的必要条件。

量子力学新解释对双缝干涉实验也能做出合理解释。在讨论双缝干涉实验时，我们使用的都是归一化波函数，这意味着我们已把属于电子自身的时空属性转换成了背景空间的时空属性，因此电子自身空间“形象”的波动，就变成了背景空间的波动。在“电子”存在的空间，空间本身就是波动的。双缝 Δx 所起的作用，就像做水波干涉实验一样，起着新波源发源地的作用， Δx 的长度必须与波长的长度相比拟，而 $\Delta p \cdot \Delta x = \hbar$ 正好保证了这样的条件要求，因为 $\Delta x = \frac{\hbar}{\Delta p} = \frac{\hbar}{p}$ ($\Delta p = p$) 正好是德布罗意物质波长除以 2π 。

由于波函数做了归一化处理，实际上是对微观客体做了“形点转换”，粒子的时空特性变成了背景时空的性质。而粒子自身变成了飘忽不定的“幽灵”

——质点。这样的“质点”到底在双缝实验中通过哪一个缝是无关紧要的，也是无法知道的，因为“它”可以像“幽灵”一样飘过双缝中的任何一缝而不产生任何实验效应。所有实验效应都体现在背景空间的波动性上。一个粒子的时空特性可以同时通过双缝，这刚好是正统解释的需要。电子“幽灵”在屏幕上出现“真身”，对于“幽灵”电子来说是受空间特性——曲率(或概率)控制的。一个电子具体在屏上的哪里出现是随机的，体现为微观时空向宏观时空的转换，即微观时空向宏观点时空(质点， $\Delta p = \infty$, $\Delta x = 0$, $R = \infty$)和虚空时空(宏观平直空间 $\Delta p = 0$, $\Delta x = \infty$, $R = 0$)的转换，只是转换的物理机制在现今的实验技术条件下仍无法知晓。这就是量子力学曲率解释对双缝实验的解释。

玻尔的整体性原则在量子力学曲率解释中也有合理的说明。波函数 ϕ 既可描述一个粒子，也可描述多个粒子的集合。波函数的归一化实际上把所有粒子的特性都同时变换到背景空间上去了。在冯·诺意曼的组态空间中，每一个空间点上都含有所有粒子的性质，在组态空间中粒子间的信息是无法割断的。爱因斯坦与玻尔之间争论的焦点在于爱因斯坦的宏观时空与玻尔的微观时空具有不同的性质。宏观世界两个客体之间可以割断联系(由于相互作用速度的有限性，也由于客体的“形”与背景空间时空特性是分离的)，但微观世界我们做不到，客体的“形”与背景空间的属性溶于一体。在描述微观客体的时空框架中，每一点上都含有所有客体的属性。这是实验现象及由此所做的理论建构所造成的，只能理解为每一理论都有其适用的范围。我们主张，人类认识的时空特征与人类观察世界使用的观察信号的性质相关。就光的性质而言，适用于牛顿力学的欧氏时空，光具有速度有限和各向同性的性质，欧氏时空是连续的、均匀的、各向同性的；适用于狭义相对论的闵氏时空，光具有速度有限和各向同性的性质，闵氏时空是连续的、相对的、均匀的、各向同性的；适用于广义相对论的黎曼空间，光具有速度有限和弯曲可变的性质，时空是连续的、

弯曲的、各向异性的。薛定谔方程和狄拉克方程是各自把光的量子特性和欧氏时空、闵氏时空结合的产物。而真正的量子力学自身的时空是冯·诺意曼的组态空间。光的量子特性，使空间具有非连续和波动属性^[7]。光的性质不同，建立的理论不同，不同的理论有自己建立的前提条件和适用范围，我们既不能混淆，也不能割裂。量子力学是从实验现象归纳总结出来的理论，反过来实验现象也会证明理论的正确性，这是一个闭合的逻辑循环。时空“盲区”的存在，为超光速埋下了预设。验证基于局域假设的贝尔不等式的所有实验，最终将只能证明量子力学的正确性。这是因为，在微观领域人们通过实验现象建立的理论，无法将微观客体之间的联系割断。EPR实验中的所谓局域非局域的矛盾并不存在，爱因斯坦是把宏观时空误引入微观时空，而玻尔则是把微观时空误引入宏观时空，这类似于把牛顿时空与相对论时空相互误用会出现矛盾一样。

量子力学曲率解释似乎有几率解释所没有的许多优越性，更主要的是在解释体系上它们之间又可以相互转换，曲率解释可以包容几率解释。量子力学曲率解释从一开始就赋予波函数曲率含义，认为波函数描述的是微观客体“形”的变化规律，并贯穿到量子力学诠释的全过程，包括量子场论。理论在逻辑上前后自治，避免了几率解释中的逻辑矛盾。

参考文献

- [1] 赵国求，吴新忠，万小龙等．物理学的新神曲——量子力学曲率解释[M]．武汉出版社，2002
 - [2] 坂田昌一．坂田昌一科学哲学论文集[M]．知识出版社，2001
 - [3] 雷内·托姆．突变论：思想和应用[M]．上海译文出版社，1989
 - [4] Landau L. D., et al. Quantum Electrodynamics, Oxford: Pergamon Press, 1982
 - [5] 赵国求．运动与场[M]．冶金工业出版社，1994
 - [6] 赵国求．论量子力学曲率解释实在论哲学基础[J]．科学技术与辩证法，2001(5)
 - [7] 赵国求．经典概率与量子概率[J]．科技导报，2003(9)
- (责任编辑 王宏章)

科技动态

铅每年要损害全世界几百万儿童的智力

据英国《新科学家》2003年4月26日报道：在人体中的有害元素都有一个安全标准，只要不超过这一标准，有害元素也不会对人的健康造成威胁；但最近科学家说，对小孩而言，铅这种有害元素可能没有什么安全标准，因为即使血液中铅含量在国际安全极限以下，也能损害儿童的智力。而且，如果按比例计算，较低的铅含量比较高的铅含量造成的损害更大。

研究人员调查了纽约州罗切斯特的172名年幼的小孩，定期检查他们的血液中的铅含量，并在3~5岁时进行智力测验。研究人员发现：血铅含量达到世界卫生组织规定的安全极限(每厘升10微克)的小孩，智商是7.4点，低于每厘升1微克血铅含量的小孩的平均智商；血铅

含量在10~30微克/厘升的小孩中，智商虽然下降，但下降的幅度很小，和另一对照组比较，智力下降2.4点。

美国疾病控制中心儿童铅中毒防护委员会成员、神经学家David Bellinger说：这是一项很杰出的研究成果，说明存在一个血铅含量的安全极限问题；这虽然是一项不大的研究项目，但如果他们的结论是正确的，就说明铅正在损害全世界几百万儿童的智力。例如，在美国，3~5岁的儿童血铅含量在10微克/厘升以上的有1/50，在5微克/厘升以上的有1/10。在大多数发达国家的儿童中，虽然血铅含量正在下降，但许多小孩仍然与老式的含铅油漆及水管一类的主要铅污染源接触。这是很令人担忧的。

(刘先曙)