

## 基础科学

# 量子力学与经典力学计算氢分子结构的比较讨论

〔关键词〕 量子力学 经典力学 氢分子 〔中图分类号〕 O4

陈 景

(云南大学化学与材料工程学院,教授、中国工程院院士 昆明 650091)

量子力学是在 1900 年普朗克的“量子论”及 1905 年爱因斯坦的“光电效应”基础上,源于对自然界中最简单的氢原子结构的研究而发展起来的。1913 年玻尔提出了量子化的氢原子结构理论,取代了卢瑟福的小太阳系模型,满意地解释了氢原子的线状光谱。为探讨量子化的原因,以及为了解复杂原子结构并解释其光谱这一系列科学需求,德布罗意、薛定谔、玻恩、海森堡、狄拉克等一批卓越的物理学家,经过短短十三四年的努力,到 1926 年建立起了量子力学。此后,量子力学向纵深发展,深入到原子核、质子、中子,直至夸克、胶子、中微子等基本粒子,形成了量子物理学。另一方面又从横向发展中解决了原子如何结合为分子以及不同的凝聚态问题,形成了量子化学。

量子化学也恰恰是从研究两个氢原子如何结合为自然界中最简单的氢分子开始的。1927 年海特勒(W. Heitler)和伦敦(F. London)提出了价键理论模型,根据薛定谔方程,用两个氢原子 1s 电子波函数的线性组合作为氢分子的价键波函数计算了氢分子的键能  $D_e$  和平衡核间距  $R_e$ ,虽然当时所得结果与实验值偏差很大,但他们的工作仍成了量子化学兴起的里程碑。截至 1960 年,几十位学者为了取得更好的计算结果,不断地改进氢分子的波函数<sup>[1]</sup>,最后柯罗士(Kolos)和卢桑(Roothaan)使用了一个包含有 50 项的函数<sup>[2]</sup>,才获得与实验值完全一致的  $D_e$  值和  $R_e$  值,但函数中通常应有的交换积分、库仑积分和共振积分完全消失了,计算公式丧失了物理含义。尽管如此,70 多年来人们仍然普遍认定只有量子力学才能计算氢分子的结构。

量子力学尽管取得了举世公认的辉煌成就,但量子理论的诠释却存在着一大堆棘手的老大难问题<sup>[3]</sup>。从量子力学出现后,以玻尔和爱因斯坦为代表的两种观点一直就测不准原理、“薛定谔的猫”、EPR 佯谬、电子运动只服从统计规律而不存在因果关系等问题争论不休<sup>[4]</sup>。P. 柯文尼和 R. 海菲尔德在《时间之箭》一书中评论量子力学时说:“我们的结论是,它充其量也只是是一个不完备的理论”<sup>[5]</sup>。在戴维斯、布朗合编的《原子中的幽灵》一书中,可以看到更多的不同观点。约翰·贝尔认为:“我完全确信:量子理论仅是一个暂时的权宜之计”。但阿莱恩·

阿斯派克特通过对贝尔不等式进行直接实验、检验后却认为:“量子力学仍然是一个非常好的理论”,“我们必须真正地改变古旧的世界图像了”。此外,该书中还介绍了大卫·多奇的多宇宙解释、大卫·玻姆的隐变量思想、巴席尔·海利的非定域量子势理论等许多著名物理学家的观点<sup>[6]</sup>。国内最近也提出了一些相关的讨论<sup>[7,8]</sup>。总之,这场争论持续时间之长、涉及范围之广、哲学含意之深,在人类自然科学史中是极其罕有的。

经典力学向来被认为不适用于微观世界,但笔者在量子力学关于电子云叠加概念的基础上,曾用静电力理论非常准确地计算出了基态氢分子的键长和键能<sup>[9]</sup>。最近笔者又提出用区分微观时标和宏观时标来认识氢分子中电子的运动状态,并增加了对力常数  $k$  的计算,获得了  $R_e = 2a_0$ 、 $D_e = ze/4\sqrt{2}a_0$

及  $k = ze/2\sqrt{2}a_0^3$  三个极其简洁的漂亮公式,它们只含玻尔半径  $a_0$ 、质子电荷  $z$  及电子电荷  $e$  三个参数,计算数值准确,并且有明确的物理含义<sup>[10]</sup>。

笔者认为对于量子力学诠释之争,如果只从哲学观点讨论,可能整个 21 世纪还一直会争论下去,如果从解决一些具体问题入手,也许会更好、更好地深化人们对微观世界中物质运动规律的认识。本文正是以此为目的撰写的。

## 一、量子力学对氢分子的处理

量子力学处理氢分子是用薛定谔方程求解。在薛定谔方程  $\hat{H}\Psi = E\Psi$  中, $\hat{H}$  是哈密顿(Hamilton)算符, $\Psi$  是描述氢分子结构的波函数。而在价键(VB)理论和分子轨道(MO)理论中略有不同, $E$  是体系的能量。薛定谔方程通过  $\hat{H}$  和  $\Psi$  把电子的粒子性和波动性融合在一个简单漂亮的公式中。但是,正如亚当森<sup>[11]</sup>指出的,“薛定谔方程式是通过与经典的波动方程的某种比拟得到的,它不是一种严密的推导。薛定谔方程被认为是正确的仅只是一种假设”。最近麦松威、周公度等著的高校教科书中也指明,薛定谔方程的演绎过程“不能看作是一种推导过程,只能说是一种假设或一种新的创造”<sup>[12]</sup>。

对于三质点体系的氢分子离子,使用原子单位

的哈密顿算符为：

$$\hat{H} = -\frac{1}{2} \nabla^2 - \frac{m}{M_A} \frac{1}{2} \nabla_A^2 - \frac{m}{M_B} \frac{1}{2} \nabla_B^2 - \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} + \frac{1}{R_{AB}}$$

式中  $\nabla$  是拉普拉斯算符， $m$  是电子质量， $M$  是质子质量， $r_A$  及  $r_B$  是电子与核 A 及核 B 的距离， $R_{AB}$  是两核距离。式中各项分别代表电子的动能、核 A 和核 B 的动能、电子与两核的吸引能，最后一项正值为核间排斥能。这样一个三体问题用一般形式的薛定谔方程已不能求解，需要采用玻恩—奥本海默 (Born Oppenheimer) 近似法，把质子看做固定不动，此时可将哈密顿算符简化为：

$$\hat{H} = -\frac{1}{2} \nabla^2 - \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} + \frac{1}{R_{AB}}$$

由此才能求出精确解<sup>[13]</sup>，但运算仍很复杂，还得采用近似解法<sup>[14]</sup>。至于属四体问题的氢分子，即使用简化的哈密顿算符，也只能求近似解，而且为求出最佳键距和相应的键能，其计算是“令人生畏的工作”<sup>[11]</sup>。

求解氢分子的薛定谔方程都将得到一组体系能量  $E$  随核间距  $R_{AB}$  变化的函数，这个函数又随薛定谔方程中所用波函数  $\Psi$  的不同而变化。几乎所有量子化学、物质结构、物理化学甚至无机化学的教科书中都会介绍氢分子的计算，本文引用“无机化学”教材中的资料进行简要说明<sup>[15]</sup>。

按价键理论选用几种不同的波函数  $\Psi$  获得的氢分子能量曲线绘于图 1，相应的键能  $De$  和平衡核间距  $Re$  的数值列入表 1。

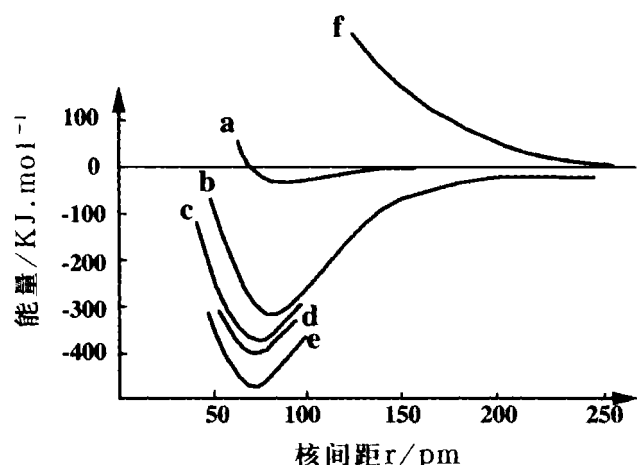


图 1 氢分子的能量曲线

从图 1 及表 1 看出，价键理论处理氢分子的发展过程，是使氢分子的波函数  $\Psi$  不断变复杂后，使其  $De$  值及  $Re$  值不断逼近实验值，分子轨道理论的计算也与此类似。

总体上说，解薛定谔方程只是从能量最低原理优化出最接近实验值的波函数，它不能说明氢分子体系中吸引和排斥是怎样达到平衡的。它的计算繁

表 1 价键波函数求出的键能和平衡核间距<sup>\*</sup>

| 图 1 曲线 | 波函数类型                               | De (a. u.) | Re (a. u.) |
|--------|-------------------------------------|------------|------------|
| a      | 未修正 $\Psi = \Psi_{A(1)}\Psi_{B(2)}$ | 0.009      | 1.701      |
| b      | 海特勒—伦敦                              | 0.115      | 1.642      |
| c      | 考虑屏蔽作用                              | 0.139      | 1.404      |
| d      | 考虑离子贡献 <sup>**</sup>                | 0.148      | 1.415      |
| e      | 实验值                                 | 0.174      | 1.400      |

<sup>\*</sup>原文单位为 De/  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，Re/ pm，表中数据经过笔者换算；

<sup>\*\*</sup>曲线 d 所谓考虑离子贡献的氢分子波函数为  $\Psi = \Psi_{A(1)}\Psi_{B(2)} + \Psi_{A(2)}\Psi_{B(1)} + \lambda\Psi_{A(1)}\Psi_{B(2)} + \lambda\Psi_{A(2)}\Psi_{B(1)}$ ，式中  $\Psi_A$  及  $\Psi_B$  是两个氢原子的波函数。

冗，并且带一定人为性，物理含义不明确，以致在各种著作中对两个氢原子如何结合为氢分子有各种各样的解释。如，鲍林 (L. Pauling) 认为，“氢分子的键可描述为主要是两个电子在两核间共振的结果，这种现象贡献出总能量的 80%，另外 5% 是由两个同样重要的离子型结构  $\text{H}^+\text{H}^+$  和  $\text{H}^-\text{H}^-$  所分担，键能中余下的 15% 可算到称为变形作用的各种复杂的相互作用上面去”<sup>[16]</sup>；P. 高姆巴斯认为，“两个氢原子的结合仅当它们处于电子坐标是对称状态时才发生。分子的形成是因为有交换能  $A$  的结果，如果在能量表达式中略去  $A$ ，也就是只考虑静电库仑作用，则稳定的键就不会发生”<sup>[17]</sup>；K. Ruedenberg 认为，“从氢分子和氢分子离子的分析，可得出下列结论——由于在测不准原理和核的吸引之间的一种难以明了的相互作用，电子的共享导致了化学结合”<sup>[18]</sup>；W. 海森堡认为，“一个电子以量子论所特有的方式同时属于两个原子。利用电子轨道的图像，人们可以说电子围绕着两个原子核旋转并在每一个原子中都逗留相当的时间。这种结合类型相当于化学家所称的共价键”<sup>[19]</sup>。甚至连史蒂芬·霍金的书中也提出，“分子是由一些原子轨道上的电子绕着不止一个原子核运动而束缚在一起形成的”<sup>[20]</sup>。各种各样的观点很多，其中也有与笔者观点类似的，即认为氢分子的形成是原子轨道发生重叠，在两核间电子云密度变大，构成一个负电荷的“桥”，把两个带正电的核吸引在一起<sup>[21, 22]</sup>；但所有文献中均找不到从力的平衡进行计算的工作和解释。

## 二、经典力学对氢分子的处理

自量子力学问世后，人们都认为经典力学只适用于宏观世界，决不可能计算氢分子结构参数。但是，笔者发表的论文<sup>[10]</sup>表明，经典力学可以相当满意地计算出氢分子的  $Re$ 、 $De$  及振动力常数  $k$  (见下表 2)。

经典力学能计算氢分子结构的原因有以下几点。

表 2 用经典力学计算的氢分子结构参数

| 计算式                               | 计算值/a. u. | 实验值/a. u. | 误差/% |
|-----------------------------------|-----------|-----------|------|
| $R_e = \sqrt{2} a_0$              | 1.414     | 1.401     | 0.93 |
| $D_e = \frac{ze^2}{4\sqrt{2}a_0}$ | 0.177     | 0.174     | 1.72 |
| $k = \frac{ze^2}{2\sqrt{2}a_0^3}$ | 0.354     | 0.368     | 3.80 |
| $k = \frac{ze^2}{R_e^3}$          | 0.364*    | 0.368     | 1.09 |

\*此值是将  $R_e = 1.401a. u.$  实验值代入公式获得的计算值

1. “由于自然界中所存在的 4 种力都有其独特的强度和作用范围, 因此就出现了各种十分不同的平衡, 而物质正是存在于两种相对的力的平衡之中”<sup>[23]</sup>, 也就是存在于吸引和排斥的对立统一中, 因此我们应首先着眼于了解由两个质子和两个电子组成的氢分子中, 库仑吸引力和库仑排斥力怎样达到平衡, 进而了解体系能量的降低, 而不能只考虑能量最低的原理。

2. 原子中电子运动的特点是速度极高、空间极小。按玻尔早期的旧量子论计算, 原子中电子绕核运动的速度为  $v = 2\pi ze^2 / nh$ , 对于基态氢原子的 s 电子,  $v = 2.18 \times 10^6 m \cdot s^{-1}$ <sup>[16]</sup>, 即电子将以每秒 2180 公里的速度运动在半径仅为  $0.529 \times 10^{-10} m$  的空间。在此种特殊的状态下, 笔者认为要用宏观时标和微观时标分别考察电子的运动状态。用宏观时标如秒来考察时, 电子每秒将绕核  $6.6 \times 10^{15}$  圈, 形成了相当于量子力学中用几率密度分布表示的电子云; 用微观时标如飞秒 ( $10^{-15}s$ ) 来考察时, 每飞秒只绕核 6.6 圈; 用阿秒 ( $10^{-18}s$ ) 来考察时, 电子的运动将更“慢”。尽管“轨道”的概念存在争议, 但电子在作绕核运动则几乎所有著作都不予否认。

3. 因为时间最短可以分割到普朗克时间  $10^{-44}s$ <sup>[24]</sup>, 远比飞秒又短得多, 而且电子的半径  $< 10^{-16}m$ , 因此电子云完全可以叠加。在微观时标下, 决不会有二个电子在某微小空间“同时”出现; 在宏观时标中, 电子云叠加区的几率密度等于两部分未叠加时的几率密度之和。

物理学是制造模型的科学, 是追求简明的科学。在上述观点基础上, 可提出氢分子的成键模型(如图 2)。

图中 A、B 为两个氢原子核(质子), 它们的玻尔半径  $a_0$  的球壳电子云发生交叠, 交叠区的两个球冠面形成一个饼形的核间电子云。从力的角度用宏观时标考察时, A 原子的球冠面(阴影部分)对 A 核的吸引为它自身的绕核运动所平衡, 但对 B 核则产生了新的库仑吸引力  $f_a$ 。未进入交叠区的  $e_1$  的球壳电子云对 B 核不产生吸引, 因为 B 核已被自身  $e_2$  的球壳电子云所屏蔽。同理, B 原子在交叠区的球冠面电

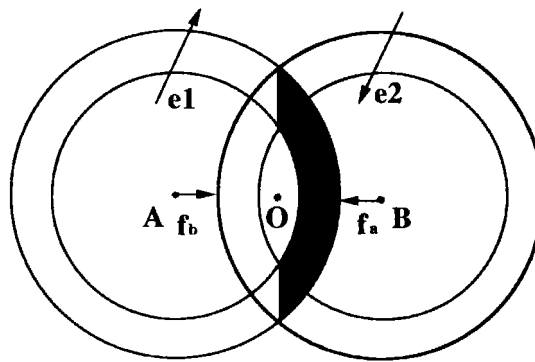


图 2 两个氢原子 s 电子球壳电子云发生交叠形成  $H_2$

子云对 A 核产生新的吸引力  $f_b$ 。 $f_a$  加  $f_b$  就是两个氢原子互相接近后电子云发生交叠所产生的对两核的吸引力, 它与两核之间的排斥力相等时, 则形成了氢分子。据此可用包含 1 个球冠面负电荷对 1 个点正电荷吸引的积分公式计算出平衡核间距  $R_e$ 。另一方面从能量角度用宏观时标考察时, 两个核间球冠面负电荷在异核正电场中都产生了势能降, 从假设它们分别在 O 点存在一个负电荷重心  $q_A$  和  $q_B$  来考虑, 则可以计算出键能  $D_e$ 。此外, 用微观时标考察时, 两核是裸露的, 无论电子  $e_1$ 、 $e_2$  处于什么位置, 体系都决不可能出现平衡, 也不存在电荷重心  $Q$  ( $Q = q_A + q_B$ ), 而且有一个电子出现在两核之间的 AB 线上时, 对异核的吸引作用最大; 两个电子都出现在 AB 的外端延线上时, 两核之间的排斥力最大。两核实际上是处于不停的振动中, 可以用电荷重心  $Q$  的周期性涨落, 计算出振动力常数  $k$ 。上述模型说明: 在氢分子体系中, 相互作用力的不平衡是绝对的, 平衡是在宏观时标中电子和质子的运动处于一种特殊形式下产生的, 是动态的、相对的; 氢分子的形成仍然是静电力而不是什么电子交换力, 即使到了绝对零度, 因电子的绕核运动不会停止, 两核间的伸缩振动也就仍然存在。

### 三、几点讨论

#### 1. 量子力学与经典力学的使用判据

量子力学是微观世界的物质运动规律, 经典力学是宏观世界中的规律。若就前者的正统观念, 即具有概率统计性、不连续性、不确定性、无因果性而言, 两者可谓泾渭分明、无法融通。而且从时空层次分割上说, 也很难对两种力学的应用范围给出一种明确的判据。喀兴林<sup>[25]</sup>给出的一种定义是: “量子力学是微观世界中低能量的微观粒子运动的根本规律”。他特别强调了“低能量微观粒子”。因为显像管中的高能电子束完全按经典力学运动, 外层空间及原子核层次以下的微观粒子则按量子场论的规律

运动,因此他认为:“当微观粒子质量较大或能量较大时,量子力学给出的运动规律与经典力学给出的规律是一致的”。冯端<sup>[26]</sup>从另一个角度给出了一个判据,认为当波长 $\lambda$ 与粒子间平均距离 $a$ 相当时,一个粒子系统存在一个量子简并温度 $T_0$ ,如果系统的温度 $T < T_0$ 时,一定要用量子力学; $T > T_0$ 时则只要用经典理论就行。菲力普斯<sup>[27]</sup>认为:“当一个体系的作用量(能量和时间乘积)比普朗克常数大很多时,我们说已经达到经典的极限。或者等价地说成,当体系包含的量子数很大时,就说它呈现经典行为”。对于作用量的重要性,阿·热(Anthony Zee)<sup>[28]</sup>认为,“作用量原理在物理上被证明是适用于整个宇宙的”,“整个物理世界是用单个作用量描述的”。

笔者认为经典力学可以计算氢分子的原因,也可从“作用量”来考虑。氢原子中电子绕核运动的能量(体系能量)是 $-13.6\text{eV}$ ,相当于 $21.787 \times 10^{-19}\text{J}$ 。若作用时间用1飞秒,则乘积是 $21.787 \times 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}$ ,仅比普朗克常数( $6.626 \times 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}$ )大3倍;若作用时间是宏观时标秒,则作用量比普朗克常数大 $1.5 \times 10^{14}$ 倍。这样,对于电子云交叠引起的变化就可以用经典力学计算。

## 2. 表2中3个公式的物理意义

此命题在笔者论文<sup>[10]</sup>中已进行过讨论,这里仅作简要说明。 $Re = 2a_0$ 表明氢分子的平衡核间距恰恰是氢原子玻尔半径的2倍。这就是说图2中两个氢原子的球壳电子云按90°的圆弧相交,这样交叠后两个球冠面上的负电荷(球面上的电荷密度为 $\rho = e/4\pi a^2$ )对异核的库仑吸引力恰恰等于两核之间的排斥力。这是微观世界中静电力以优美的几何构型达到吸引与排斥相平衡的结果。

$De = ze/4 \cdot 2a_0 = z^2/4R_e$ 。此式表明氢分子的键能相当于两核之间排斥能的1/4。这种关系来自用宏观时标考察时,在氢分子两核之间应存在着一个数值相当于 $e/4$ 的负电荷重心,而按微观时标考察时这个负电荷重心并不存在,它只是电子绕核运动产生的效果。在我们的模型中,两个球冠面电子云交替地在这个区域出现,这种情况近似鲍林所说的两种结构的共振,但本质上有根本差别。

$k = ze/2 \cdot \sqrt{2} a_0^3 = ze/R_e^3$ 。此式表明力常数等于平衡核间距立方的倒数,这又是一个奇妙的关系,它源自电子在交叠区球壳不同位置上出现时,相应地使负电荷重心对异核的吸引力呈周期性涨落,导致两弹呈弹性谐振。总之,在笔者的氢分子模型中,电子不是什么飘忽不定的幽灵,而是按严格的规律在运动,否则就很难解释这些奇妙的公式。

## 3. 关于氢分子离子的计算

氢分子离子少了1个电子( $H^+$ ),以宏观时标

考察时其核间电子云的电荷重心将比氢分子中少1倍,相应地两核间的排斥力将大1倍。根据这个关系可以非常简便地算出 $H_2^+$ 的平衡核间距等于 $2a_0 = 2a.u.$ ,此值与实验值 $105.9\text{pm}(a_0 = 52.9177\text{pm})$ 完全一致。此外还可推知 $H_2^+$ 中两核的伸缩振动频率也必然比氢分子小1倍,已知 $H_2$ 的伸缩振动频率的实验值为 $4400\text{cm}^{-1}$ ,则 $H_2^+$ 应为 $2200\text{cm}^{-1}$ ,实验值为 $2297\text{cm}^{-1}$ ,这也是惊人地接近。对于 $H_2^+$ 的Re及De的详细计算,笔者将有另文发表。

总之,笔者相信科学是一本永远也翻不完的书;相信只要人类在思维着,一切既有定律都是仍可探讨的假说。

## 参考文献

- [1] A. D. Mclean, A. Weiss, et. al., 基态氢分子中的构型相互作用. Rev. Modern Phys., 1960, 32(2), 211
- [2] W. Kolos and C. C. J. Roothaan, 氢分子的精确电子波函数. Rev. Modern Phys., 1960, 32(2), 219
- [3] M. Tegmark, J. A. Wheeler, 量子之谜百年史. 科学(《科学美国人》中文版), 2001(5), 48-55
- [4] 王士平著. 科学的争论. 科学出版社, 1998, 82-101
- [5] 彼特·柯文尼, 罗杰·海菲尔德著. 时间之箭. 湖南科学技术出版社, 2002, 140
- [6] 戴维斯, 布朗合编. 原子中的幽灵. 湖南科学技术出版社, 2002
- [7] 黄志洵. 波粒二象性理论的若干问题. 中国工程科学, 2002, 4(1), 54-63
- [8] 赵国求. 经典力学与量子力学作用机制的本质区别与量子测量问题. 科技导报, 2003(2), 7-11
- [9] 陈景. 用静电理论计算氢分子的键长及结合能. 辽宁师范大学学报, 1978(1), 13-21
- [10] 陈景. 用经典力学计算氢分子的键长键能及力常数. 中国工程科学, 2003(6), 39-43
- [11] A. W. 亚当森. 物理化学教程(下). 高等教育出版社, 1984, 293, 391
- [12] 麦松威, 周公度等. 高等无机结构化学. 北京大学出版社及香港中文大学出版社, 2001, 7
- [13] M. W. 汉纳著. 化学量子力学. 江苏科学出版社, 1980, 147-158
- [14] 潘道皐, 赵成大等. 物质结构. 高等教育出版社, 1987, 162
- [15] 申泮文主编. 无机化学. 化学工业出版社, 2002
- [16] L. 鲍林. 化学键的本质. 上海科学技术出版社, 1984, 20, 564
- [17] P. 高姆巴斯. 量子力学中的多粒子问题. 人民教育出版社, 1964, 106
- [18] K. Ruedenberg, Rev. Modern Phys. 1962, 34(2), 326-376
- [19] W. 海森堡. 物理学与哲学. 科学出版社, 1974, 98-99
- [20] 史蒂芬·霍金. 时间简史. 湖南科学技术出版社, 2002, 59
- [21] 林俊杰, 王静. 无机化学. 化学工业出版社, 2002, 78
- [22] M. J. S. 杜瓦. 有机化学分子轨道理论. 科学出版社, 1997, 147

# 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<sup>[1]</sup>

### 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  $AB'$ ,  $AB$  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  $AB$  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] J. 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)