

从流体、电场到几率波、连续性方程的对比

谢让棉 王小玲

量子力学是反映微观粒子运动规律的理论,它的诞生是对经典物理的突破。正因如此,建立在统计和测不准关系上的量子力学概念和原理具有很高的抽象性,对于习惯于经典理论的初学者,理解和接受这些概念和原理有相当的困难。如果我们能在经典理论中找到量子力学中对应的概念和原理,将二者进行比较,实现认识上的由实到虚,无疑将大大降低对其理解的难度。作为一个实例,本文简略地对比了从流体、电场到几率波的连续性方程,以显示这种对比法在帮助理解量子力学的概念和原理中所起的作用。

方程推导过程的对比

流体中,在流场内取一系统,体积元 $d\tau$,则系统内流体质量 $M = \int_{\tau} \rho d\tau$,根据质量守恒 $DM/DT=0$.

由雷诺输运定理 $\frac{DM}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \phi d\tau + \int_{cs} \phi \mathbf{V} \cdot \mathbf{n} ds$,

取 $N=M$, 单位体积的质量 $\phi=\rho$, 于是有 $\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho d\tau + \int_{cs} \rho \mathbf{V} \cdot \mathbf{n} ds = 0$,这是积分形式的连续性方程。使用高斯定理可得 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{V} = 0$ 令 $\mathbf{J} = \rho \mathbf{V}$ 得微分形式的流体连续性方程 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0$.

电场中,考虑由闭合曲面 S 包围的空间区域 V ,

梦见自己变成了外星人。”

“通过天文学的学习,使我了解了更多的天文学知识,同时也激起了我更大的兴趣。可惜的是,天文学只能当作选修课,学习的知识和课时都较少。希望以后有机会,能学到更多的天文知识,用以滋润我由于强烈渴望求知而开裂的心田。”

“这大概是我大学里唯一的一门能够坚持从头至尾完全听下来、不打瞌睡的课程,它的确是太吸引我了!”

综上所述,在国内外的天文学教育的大气候下,我院开设《天文学概论》公选课,对于我国当前正在倡导的素质教育的实施,对于我院升本后办学理念的转变和办学水平的提高,对于培养具有较高综合素质的 21 世纪人才,都是极为必要的,符合我院当

由于电荷守恒, V 中发生任何过程都不会引起电荷的产生和消灭。 V 中电荷增加率等于单位时间通过 S 流入的电荷,即 $\frac{d}{dt} \int_{cv} \rho d\tau = - \oint \mathbf{d}\sigma \cdot \mathbf{J}$ 这就是电荷守恒的积分表达式。使用高斯定理可得微分形式的电场连续性方程 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0$.

在量子力学中,由于 ψ 的统计解释, $\rho(\mathbf{r},t) = \psi^*(\mathbf{r},t)\psi(\mathbf{r},t)$ 代表 t 时刻在 \mathbf{r} 处的几率密度。由薛定谔方程 $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U(\mathbf{r},t)\Psi$ 与 $\rho(\mathbf{r},t) = \Psi^*(\mathbf{r},t)\Psi(\mathbf{r},t)$ 可得

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \Psi^* \frac{\partial \Psi}{\partial t} + \frac{\partial \Psi^*}{\partial t} \Psi$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{i\hbar}{2m} \nabla^2 \Psi + \frac{1}{i\hbar} U \Psi$$

$$\frac{\partial \Psi^*}{\partial t} = -\frac{i\hbar}{2m} \nabla^2 \Psi^*, \text{ 则 } \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{i\hbar}{2m} (\Psi^* \nabla^2 \Psi - \Psi \nabla^2 \Psi^*) =$$

$$\frac{i\hbar}{2m} \nabla \cdot (\Psi^* \nabla^2 \Psi - \Psi \nabla^2 \Psi^*) \text{ 令 } \mathbf{J} = -\frac{i\hbar}{2m} (\Psi^* \nabla^2 \Psi - \Psi \nabla^2 \Psi^*)$$

可得微分形式的几率流连续性方程 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0$ 。在量子力学中,它是波函数统计解释和薛定谔

前本科教育发展的要求,应该积极倡导。要通过加强对我院大学生进行天文学方面的教育,以提高全体大学生的审美情趣、文化品位、人文素养和科学素质。特别是这门课程将天文、地文、人文内在地联系起来的授课特色,使学生既学到丰富的天文知识和科学的思维方法,又学到进步的世界观、人生观和价值观,深受学生欢迎。

应该认识到,全面推进素质教育,加强大学生文化素质教育是一项长期而艰巨的任务,我们要善于总结经验,积极探索,大胆实践,扎扎实实地把加强文化素质教育工作推向前进。让我们大家携起手来,共同为造就一大批德才兼备,具有较高综合素质的现代化人才做出应有的贡献。

(河北廊坊华北航天工业学院基础部 065000)

谈概念转变教学之策略

侯新杰 张海芝

概念转变

新一轮的课程改革注重学生的发展,关注物理同生活、同社会的联系,注重学生已有的知识、经验在以后学习中的作用。这些在物理学习之前形成的对现象、事实的感知理解,其中一些与科学概念相一致,为进一步学习科学知识打下基础,而另一些则与科学知识相矛盾,即存在错误的前概念。建构主义者认为,学生总是在自己原有经验和认知能力的基础上,建构他对新知识的理解,所以物理学习中学生头脑中的前概念是必然存在的。前概念对于学生来说,那是他们的精神财富,曾经“成功地”解释某些现象,是认识特殊现象的宝贵工具,例如,物体不推不动,运动方向受力等等。而传统的教学无视学生的前概念,只重视知识的传授,不注重错误前

概念的推论。

方程各量的物理实质和方程物理意义对比

流体、电场和几率波的连续性方程可统一写作

$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0$ 。但在不同的物场中, ρ 和 \mathbf{J} 有各自的物理含义,对应的方程有不同的意义。

流体中, ρ 代表单位体积的质量,称密度。 $\mathbf{J} = \rho \mathbf{V}$, \mathbf{V} 为相对于控制体的流速,因此 \mathbf{J} 可称为质量流密度矢量。方程第一项 $\partial \rho / \partial t$ 表示控制体内流体质量的变化率,第二项 $\nabla \cdot \mathbf{J}$ 表示流出控制体的质量的流率。连续性方程表明单位时间里流体质量的增加与流出控制体的流体质量之和为零。

若流动定常, $\partial \rho / \partial t = 0$,连续性方程的积分式可化为 $\oint_S \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} ds = 0$,即单位时间里流入和流出闭曲面 S 的流体质量相等。若流体不可压缩, $\rho = \text{常量}$,连续性方程的积分式可进一步化为 $\oint_S \mathbf{V} \cdot \mathbf{n} = 0$,即单位时间里流入和流出闭曲面 S 的流体体积相等。

电场中, ρ 代表单位体积的电荷,称电荷密度。 $\mathbf{J} = \rho \mathbf{V}$, \mathbf{V} 为电荷运动速度,因此 \mathbf{J} 可称为电流密度矢量。方程第一项 $\partial \rho / \partial t$ 表示闭合体 V 内电荷增加率,第二项 $\nabla \cdot \mathbf{J}$ 表示单位时间内由界面 S 上流出的电荷,方程表明单位时间内闭合体 V 内电荷是守恒的。

如在稳恒情况下,电荷密度与时间无关, $\partial \rho / \partial t =$

概念的转变,认为传授的新知识会自动替代学生原有的错误观念,但实际情况并不是这样,传统教学后学生仍旧信奉原有观点,即使是成年人,在不学习科学知识几年后也会表现出一种前概念的质疑方式。针对这种情况,必须采取相应措施,积极寻找转变错误观念的途径和策略。

所谓概念转变是指个体原有的某种知识经验由于受到与此不一致的新经验的影响而发生的重大改变。但要注意这里的“概念”与一般的理解不同,它是指关于某一对象的观点、看法,比如,“地球在绕着太阳转”便是一个概念。概念的变化有两种可能:同化和顺应。以前的认知派学习理论主要从同化的一面来解释学习,而建构主义认为,在新旧经验相互作用的知识建

0,可得稳恒电流连续性方程 $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$,积分形式 $\oint \mathbf{d}\sigma \cdot \mathbf{s} = 0$,此式表明稳恒电流线总是闭合的。

几率波中, $\rho(\mathbf{r}, t) = \Psi^*(\mathbf{r}, t)\Psi(\mathbf{r}, t)$ 代表 t 时刻在 \mathbf{r} 处的几率密度。 $\mathbf{J} = \frac{i\hbar}{2m}(\Psi^* \nabla \Psi - \Psi \nabla \Psi^*)$,称为几率流密度矢量。几率流连续性方程表明,粒子在空间某处出现的几率不会凭空地增加或减少,必定通过几率流的方式与空间另外处进行几率的传递。

若在全空间中, $\oint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = 0$,有 $\frac{d}{dt} \int \rho dV = 0$,即 $\frac{d}{dt} \int \psi^* \psi dV = 0$ 可知 $\int \psi^* \psi dV$ 是个与 t 无关的常数,从而保证了可用 $\int |\psi(\mathbf{r}, t)|^2 dV = 1$ 的方式进行归一化。

几率流连续性方程表明,在非相对论量子力学中,粒子在运动过程中不会发生粒子的产生和湮灭现象,粒子几率守恒肯定了波函数满足的方程与波函数的统计解释这两者之间在理论上是互洽的。

从推导、物理实质等方面对流体、电场和几率波的连续性方程进行了对比,这样我们能更清晰地理解这一物质世界的重要规律。

(谢让棉 上海理工大学理学院 200093;

王小玲 重庆双桥区双路小学 400900)

现代物理知识