



# 关于动量概念的建立

薛志宇

(伊盟电大物理系 内蒙古 017000)

动量是物理学理论中建立较早的一个基本概念,随着物理学理论的发展

它被运用到一切物质运动领域. 动量概念源于经典力学,当人们认识到场也是物质存在的一种形式之后就将其运用到电磁场理论中,相对论建立后,动量概念又有了新的表述. 动量对时间的变化率准确地描述了物体间的相互作用,同时由于动量概念的建立才使人们发现和创立了全面描述物体运动状态及其变化规律的动量定理、冲量定理、动量守恒定律、角动量定理以及角动量守恒定律. 由此可见动量概念的建立对物理学理论发展的作用之大是不言而喻的.

但是动量概念的建立不是一蹴而就的,而是经历了多个国家、多位科学家半个世纪的共同努力.

## 一、动量概念的渊源

欧洲文艺复兴运动是对教皇经院哲学的审判. 是欧洲人从神权桎梏中解放出来的一场伟大的科学革命,这场伟大的科学革命使世界科学技术中心由东方转移到以意大利为中心的欧洲,这场运动使人类进入了前所未有的科学实验时代. 意大利的科学家伽利略就是在这种背景下通过对落体运动和打击现象的研究于1638年最早提出描述物体运动的量的“动量”概念,并给出动量概念的定义,动量是用速度和重量(当时重量和质量是一个概念)的乘积来量度的. 在伽利略对动量概念的研究基础上,法国科学家笛卡儿从碰撞实验中也总结出运动的量度是动量,并于1644年给出动量的定义,运动的质量(当时同重量)和速度的乘积就是该物体运动的量度,并称为“运动的量”. 显然这种认识是从伽利略那里来的,但他发展了伽利略对动量的认识,提出“运动量守恒”的思想,第一次明确指出运动不灭原理. 荷兰科学家惠更斯

在笛卡儿关于运动量守恒的研究基础上对完全弹性碰撞作了最细致的实验和理论研究,于1669年明确指出动量是矢量,并完整地表述了动量守恒定律,惠更斯不仅给出动量大小的变化,同时指出动量是有方向的,从而把矢量引入了物理学. 英国科学家牛顿在前人关于动量概念的研究基础上于1687年给出至今公认的动量概念的定义. 他首先明确地定义了质量和重量,将这两个长期混为一谈的最基本的物理概念严格地区分开来. 质量和重量概念的定义不仅澄清了过去一些物理概念的混乱,也是准确定义动量概念的基础,从而推进了物理学理论的发展. 牛顿赞同用动量作为机械运动的量度,给出动量的定义是,运动的量是用它的速度和质量的乘积来量度的,指出动量是一个可加的量,明确了动量的矢量性. 至此,动量概念才被完整地建立起来.

## 二、动量的表述

### 1. 经典力学中动量的表述

质点的动量定义:

$$\vec{P} = m\vec{v} = m \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1)$$

即质点的动量等于其质量与速度的乘积.

质点系的动量定义,

$$\vec{k} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \sum_{i=1}^n m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt} \quad (2)$$

或  $\vec{k} = M\vec{v}_c$

即质点系的动量等于质点系中各质点动量的矢量和或等于质点系的质量与质心速度的乘积.

### 2. 分析力学中的动量

在分析力学中引入广义动量  $P_i$  描述系统的运动,广义动量的定义是:

$$P_i = \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} = m\dot{q}_i \quad (3)$$

即系统的广义动量等于系统的动能  $T$  对广义

速度  $\dot{q}_i$  的偏导数或广义动量等于系统的质量与广义速度的乘积.

### 3. 经典电磁场的动量

因为电磁场的质量散发在场所在的全部空间,为了研究的方便引入电磁场单位体积的动量即电磁场的动量密度  $\vec{g}_{\text{场}}$ ,  $\vec{g}_{\text{场}}$  的定义是:

$$\vec{g}_{\text{场}} = \frac{\vec{S}}{C^2} = \frac{\vec{E} \times \vec{H}}{C^2} \quad (4)$$

即电磁场的动量密度等于电磁场的能流密度除以电磁场传播速度的平方.

在电磁场中除了电磁场的动量之外,还有静电场与静磁场相互作用的动量,若磁场的矢量势

$$\vec{A} = \int k_z \frac{\vec{j}' d\tau'}{R}, \text{ 电荷 } q \text{ 在磁场中任一点的动量是:}$$

$$\vec{G} = q\vec{A} = q \int k_z \frac{\vec{j}' d\tau'}{R} \quad (5)$$

由⑤式看出矢量势  $\vec{A}$  的物理意义是,移动单位正电荷到电磁场的某点时场的电磁动量.

它是电荷  $q$  的电场与电流  $J$  的磁场相互作用的动量. 如果电流  $J$  随时间在变化,那么单位静止电荷的电场与变化电流的磁场相互作用的动量是:

$$\vec{A} = \int k_z \frac{\vec{j}'(t - R/c)}{R} d\tau' \quad (6)$$

### 4. 相对论力学中的动量

狭义相对论中三维空间动量的定义

$$\vec{P} = m_0 \frac{\vec{u}}{\sqrt{1 - \beta^2}} = m\vec{u} \quad (7)$$

粒子在三维空间的动量是其动质量与速度的乘积.

狭义相对论中四维空间动量的定义是:

$$\begin{cases} P_\mu = m_0 v_\mu \\ v_\mu = r_\mu(u_1, u_2, u_3, ic) \\ r_\mu = 1/\sqrt{1 - \beta^2} \end{cases} \quad (8)$$

粒子在四维空间的动量是其静止质量与四维速度的乘积. 由⑧式得

$$P_\mu = \left( \vec{p}, \frac{i}{c} \mathcal{E} \right) \quad (9)$$

$P_\mu$  是由  $\vec{P}$  和  $\frac{i}{c} \mathcal{E}$  构成的四维矢量,称为能

量-动量四维矢量,简称四维动量. 在狭义相对论中粒子的四维动量  $P_\mu$  的大小等于  $m_0 c$  是一个不变的量.

在广义相对论中粒子的四维动量同狭义相对论中的定义,即  $P_\mu = m_0 v_\mu$ , 但  $m_0$  是粒子相对于局部惯性参考系的静止质量,因为在广义相对论中对整个空间来说不存在统一的惯性参考系.

### 5. 光子的动量

光子的能量:  $E = mc^2 = h\nu$

$$\text{光子的动量: } P = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (10)$$

1905年爱因斯坦建立光量子理论的实验依据并不充分,因此不能为多数物理学家接受. 同是在1905年密立根成功地完成了光电效应的实验,1923年我国物理学家吴有训通过艰苦的实验和严格的计算、分析证实了康普顿提出的X射线散射理论之后光量子理论才有了充分的实验基础,从此以后爱因斯坦的光量子理论得到物理学家的普遍承认.

⑩式揭示了光具有波-粒二象性,但波-粒二象性不是光子具有的特性,量子力学建立后,人们认识到一切微观粒子都具有波-粒二象性.

$P = mc$  中的  $m$  是光子的运动质量,光子是否有静止质量这是现代理论研究中需要解决的问题,目前已知光子静止质量的上限值  $m < 10^{-60}$  克,这么小的量值目前最精密的测量仪器也只能忽略,为此现代理论普遍认为光子的静止质量为零. 人们所说的光子的动量  $P = h/\lambda$  系指光在传播过程中具有的动量. 至此,我们该说无论是宏观客体还是微观客体乃至场都可用动量来描述其运动. 在经典力学中质点或物体的动量任何时刻都可测得一个确定的量值,而在量子力学里根据海森堡的测不准关系  $\Delta X \Delta P \geq \frac{h}{2}$  微观粒子的坐标和动量不可能同时有确定的值,这种不确定性正反映了微观粒子运动的本质,是人们对微观粒子运动认识的一次深化.