

还牛顿第二定律的本来面目

林 辉

(合肥工业大学理学院 安徽 230009)

牛顿第二定律是牛顿三定律的精髓,它描述了物体所受力与运动状态改变之间的定量关系。历史上在牛顿第二定律的建立过程及适应范围方面,存在很多误解和争议,损害了牛顿的光辉形象。

牛顿第二定律建立过程的历史回顾

在牛顿具体提出运动第二定律之前,伽利略已提出这种思想的萌芽,他在批判亚里士多德的力与速度的依赖关系基础上,提出了力与加速度之间的依赖关系,但是他没有也不可能在当时条件下发现作用力与加速度之间的定量关系,并将其发展成科学的基本定律。

牛顿接受并发展了伽利略的这种观点。在1684年,他明确提出动质量概念之前,只能定性地探索运动第二定律的内容。1684年8月之后,在《论运动》一文手稿中,牛顿用几何法和极限概念论证了引力平方反比律,在为解决万有引力是否与质量成正比的问题时,他发现了运动第二定律。具体的记载有两处,一处是1684年10月~11月间的《论物体的运动》一文手稿的第5页“向心力”中,他写道:“……所以,动力与加速的力之比等于运动与速度之比。因为运动的量是由速度乘以运动的物体导出的……”。另一处是在《原理》的定义中,他说:“……因为运动的量是由速度乘以物质的量求出来的,并且动力是由加速的力乘以同一物质之量求出来的,物体的几个粒子上的加速的力的作用总和就是整个物体的动力”。上面两段话中,“加速的力”指的是加速度,“运动”“运动的量”指的是动量,“动力”指的是与加速度相对应的作用力,“物体”“物质的量”就是质量。综上所述,牛顿其实已经提出了第二定律的文字表达式:作用力与加速度成正比。

还牛顿第二定律的本来面目

当时牛顿并没有明确地用公式($F = ma$)表述出来,在我国流传最广的教材中,作者认为牛顿第二定律的微分形式应为:

$$F = \frac{dP}{dt} \quad (P: \text{动量}),$$

程守洙等,《普通物理学》,高等教育出版社,1998,p70,249。

陈建国,《时间—空间飞船》,地质出版社,1999,p30,31。

并由此推出动量守恒定律。也就是说通常的学者都认为牛顿对运动第二定律的真实表述应该是:物体所受外力等于其动量对时间的变化率。而动量的概念早在此

之前就已明确提出,它被定义为物质的质量与速度的乘积。那么,牛顿的质量观又是怎么样呢?我国研究牛顿的资深学者阎康年先生,在他的专著《牛顿的科学发现与科学思想》中专门谈到牛顿的质量观,他说:“牛顿对质量概念的认识分静质量和动质量两个方面。静质量就是他在《原理》中所说的由物体的重量知道的,并与其重量成比例的物质之量;动质量就是他说的物质得以继续保持其运动状态而对外力反抗的一种内在固有的力。”这就是说牛顿清楚地知道物体的质量也是个变量,因此他没有将 m 从微分号中拿出来。

那么又是谁改变了牛顿第二定律,把它写成了 $F = ma$ 的形式呢?据参考书中所说,是奥地利科学家、哲学家恩斯特·马赫,马赫认为运动第二定律应该理解为:力是物体的质量值与其加速度的乘积,即 $F = ma$,而马赫的目的,陈建国先生认为是为了牛顿力学的普及、推广和应用。为了牛顿力学的通俗化、实用化,马赫把质量 m 从微分号内提了出来,由变量改为常量,免去了微分运算,使具有初等数学水平的人也可掌握。当然这对牛顿力学的普及起到了巨大的推动作用,但是同时也歪曲了牛顿力学,并且对后人造成了深远的影响。特别是影响了人们理解牛顿力学与狭义相对论之间的正确关系。

牛顿第二定律与狭义相对论动力学方程是一致的

正是由于马赫对牛顿第二定律的修饰,长期以来人们对牛顿力学与狭义相对论之间的关系不能得到正确认识。由于美国物理学史方面的专家库恩,曾称狭义相对论是对经典力学的一次伟大革命,如今人们早已习惯于称牛顿的力学体系为爱因斯坦的革命对象。然而从上面的分析中可以看出,这个革命对象完全是人们不自觉地塑造出来的。据教材中讲到狭义相对论时,力也被定义为动量 P 对时间的变化率,所以两者实际上是一致的。只是由于当时条件的限制,牛顿不可能清楚地知道静质量与动质量之间的精确定量关系。但是在他的脑海里是清楚地知道,一个物体的速度是和它的质量存在某种

物理量的数量级及其数值估算

张博洋 庞金富

(华北航天工业学院基础部 河北廊坊 065000)

物理世界,气象万千。由此决定了我们在进行科研工作时,在选择和建立恰当的数理模型之前,必须掌握各个物理特征量的数量级,并事先对各种事物作粗略的数量级估算,进而才能判定某个物理现象的主要机制,这是一种起码的科研素质。

掌握一些物理特征量的数量级,往往是一个科学技术问题研究的关键。若我们平时就培养学生注意各种物理量的尺度大小及其改变所带来的影响,善于引导学生练习对各种事物作粗略的数值估算,有助于增强学生洞察事物本质的本领,更有利于日后参与科研工作对科学素养的需要。

比如,把某些宏观物理量的数量级告知学生是大有裨益的:若认为宇宙是有限的,则按牛顿力学计算出的宇宙半径大约为 10^{26} m;目前公认的地球年龄为 4.6×10^9 年,银河系的年龄约为 1.5×10^{10} 年;若认为宇宙在时间上有起点,则其年龄约有 1.5×10^{10} 年;太阳现有的年龄约 5×10^9 年。诸如此类的一些数字并不要求学生记忆,但作为必要的科学知识,对学生是大有帮助的。

首先,和人类最密切的3个天体,其基本参量的数量级应教给学生:

表 1

	质量 M(kg)	体积 V(km ³)	表面积 S(km ²)	半径 R(km)
地球	5.976×10^{24}	1.083×10^{12}	5.101×10^8	6371
太阳	1.989×10^{30}	1.412×10^{18}	6.087×10^{12}	6.90×10^5
月亮	7.350×10^{22}	2.200×10^{10}	3.796×10^7	1738

其次,我们不妨也可把太阳系九大行星的最基本数据作一比较告诉学生:(表 2)。另外,某些微观物理量的数量级也最好让学生记住(表 3)。

极为关键的一些物理常数及微观单位与宏观单位的换算量,学生也是不应该出错误的(表 4)。

表 2

	赤道半径(km)	质量(以 $M_{\text{地}}=1$ 为参考)
地球	6378	1
金星	6070	0.82
木星	71540	318
水星	2440	0.056
火星	3389	0.108
土星	60330	95.1
天王星	26145	14.5
海王星	25000	17.2
冥王星	1500~1800	0.002

表 3

基本电荷(e)	1.602×10^{-19}
电子质量(kg)	0.910×10^{-30}
质子质量(kg)	1.672×10^{-27}
中子质量(kg)	1.675×10^{-27}
第一玻尔半径(m)	5.29×10^{-11}
钠黄光波长(10^{-10} m)	5896

表 4

真空电容率(k/m)	8.85×10^{-12}
真空导磁率(NA^{-2})	12.56×10^{-7}
万有引力常数($\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$)	6.67×10^{-11}
普朗克常数(Js)	6.62×10^{-34}
阿伏加德罗常数(mol^{-1})	6.023×10^{23}
玻尔兹曼常数(JK^{-1})	1.38×10^{-23}

引导学生对上述数据心中有数后,还应善于诱导学生运用这些数据估算一些实际问题。这是启迪学生对学习物理学产生兴趣的一个很重要的方面,它比做那些枯燥无味的偏难怪题更有实际意义,请看例题。

例 1 试估算地球大气层的总质量

解:由标准大气压 $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 可知,其数值可视为在 1 m^2 地面上的大气气柱重量,故

联系的。因此,陈建国先生大胆断言:“动质量 m 和速度 v 构成统一变量的思想,是牛顿力学中的辩证法灵魂,也是牛顿力学中早就蕴涵的相对论因素。”

掀开这一段尘封的历史,使人们不能不对牛顿

——这位人类科学史上的巨人,几百年前的真知灼见而唏嘘不已。也许在那时,他就在冥冥之中预感到物理学未来的发展,于是就在自己的伟大发现中,留下了一条耐人寻味的退路!