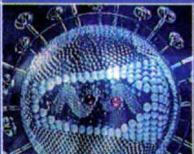


KEXUEMUJIZHE

科学目击者

力学的发展

北京未来新世纪教育科学研究所 编



新疆青少年出版社
喀什维吾尔文出版社

科学目击者

力学的发展

北京未来新世纪教育科学研究所 编

新疆青少年出版社
喀什维吾尔文出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学目击者/张兴主编. —喀什:喀什维吾尔文出版社;乌鲁木齐:新疆青少年出版社, 2005. 12

ISBN 7-5373-1406-3

I. 科... II. 张... III. 自然科学—普及读物 IV. N49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 160577 号

科学目击者

力学的发展

北京未来新世纪教育科学研究所 编

新疆青少年出版社 出版
喀什维吾尔文出版社

(乌鲁木齐市胜利路 100 号 邮编:830001)

北京市朝教印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 32 开

印张:600 字数:7200 千

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印数:1-3000

ISBN 7-5373-1406-3 总定价:1680.00 元(共 200 册)

如有印装质量问题请直接同承印厂调换

前 言

同仁们常议当年读书之难，奔波四处，往往求一书而不得，遂以为今日之憾。忆苦之余，遂萌发组编一套丛书之念，望今日学生不复有我辈之憾。

现今科教发展迅速，自非我年少时所能比。即便是个小地方的书馆，也是书籍林总，琳琅满目，所包甚广，一套小小的丛书置身其中，无异于沧海一粟。所以我等不奢望以此套丛书贪雪中送炭之功，惟愿能成锦上添花之美，此为我们奋力编辑的目的所在。

有鉴于此，我们将《科学目击者》呈献给大家。它事例新颖，文字精彩，内容上囊括了宇宙、自然、地理、人体、科技、动物、植物等科学奥秘知识，涵盖面极广。对于致力于奥秘探索的朋友们来说，这是一个生机勃勃、变幻无穷、具有无限魅力的科学世界。它将以最生动的文字，最缜密的思维，最精彩的图片，与您一起畅游瑰丽多姿的奥秘世界，一起探索种种扑朔迷离的科学疑云。

《科学目击者》所涉知识繁杂，实非少数几人所能完成，所以我们在编稿之时，于众多专家学者的著作多有借鉴，在此深表谢意。由于时间仓促，纰漏在所难免如果给读者您的阅读带来不便，敬请批评指正。

编 者

目 录

一	质量的概念.....	1
	1. 古代人们对质量概念的认识.....	1
	2. 静质量与动质量概念的形成.....	2
	3. 引力质量与惯性质量概念的建立.....	4
	4. 引力质量与惯性质量的关系.....	6
	5. 质量单位及质能关系	10
二	力的认识与应用	12
	1. 力的概念的初步形成	12
	2. 力的科学的建立与发展	15
	3. 力的合成与分解法则的发现	18
	4. 力的基本类型与力的统一理论	19
三	自由落体运动定律	22
	1. 对亚里士多德的落体观念的否定	22
	2. 自由落体运动的数学表达式	23
	3. 自由落体定律的实验验证	25
四	开普勒行星运动规律	30
	1. 行星运动学说的建立与发展	30

2. 行星运动观测资料的积累	34
3. 行星运动规律的发现	35
4. 开普勒三定律的现代表述	40
5. 开普勒行星运动规律的启示	41
五 牛顿第一定律	43
1. 亚里士多德的运动观念	43
2. 伽利略提出惯性原理	44
3. 牛顿总结出牛顿第一定律	47
4. 牛顿第一定律的启示	49
六 牛顿第二定律	52
1. 力与质量、加速度之间的关系	52
2. 牛顿关于质量、动量、力的定义	55
3. 牛顿第二定律	56
七 万有引力定律	58
1. 万有引力定律的发现	59
2. 万有引力定律的实验验证	64
八 相对性原理	67
1. 古代人们对相对性原理的认识	67
2. 伽利略发现相对性原理	68
3. 牛顿的时空观与相对性原理	70
4. 伽利略变换	72
5. 爱因斯坦相对论和洛仑兹变换	73
九 动量与动量守恒定律	76
1. 动量概念的提出	76

2. 动量守恒定律的哲学思考	80
3. 动量守恒的实验研究	82
4. 动量守恒定律的理论推导	86
5. 动量守恒定律的现代表述	87

一 质量的概念

1. 古代人们对质量概念的认识

在很早以前,人们在研究物体的惯性运动时,就曾探讨过打破惯性运动时外来原因与运动变化的关系问题。伊壁鸠鲁就认为:快慢现象的产生,是由于有还是没有发生碰撞。这样,就把原子在虚空中运动的方向和速度的改变与作用力联系起来,当然这还只是一种定性的思辨性思想,但这里也已孕育着质量概念的有关思想。

伽利略在否定亚里士多德将速度与力相联系的错误观点后,首次提出了加速度的概念,从而把加速度与作用力直接联系起来,他指出,作用力按物体运动的速度的变化而成正比例地增加,这里伽利略已具有静质量的概念,即物体含有原子数量的多少。但伽利略时代还不能区分质量与重量这两个概念,常把二者混用,而且还没有明确地提出质量的概念。

最早提出质量概念的是弗兰西斯·培根,他在1620年出版的《新工具》一书中,把质量定义为“物体所含物质

之量”，并提出“作用力依赖于质量”，从而把质量与作用力联系起来。

2. 静质量与动质量概念的形成

牛顿在接受了从古原子论者直至伽利略和培根关于静质量概念的论述，他在《自然哲学之数学原理》中明确定义了物体的静质量，即质量是“物质之量”，是由其密度和大小(体积)共同量度。也即质量是指物体含有物质的多少。在这里牛顿用密度和体积来定义质量，而不像今天我们是用质量和体积来定义密度，因为在牛顿时代，密度和体积是比质量更为简单的物理量。按照牛顿这种定义，说明物质是由不变的、不可入的、不可分割和具有惯性的原子组成的；质量就是物体包含的原子数量的量度；物体的体积愈大，原子的排列愈密，它所包含的原子数愈多，其质量就愈大。

在现行的初中物理教材中，我们还是沿用了牛顿关于质量的定义，即“物体所含物质的多少叫做质量”。这种定义方法对于初中学生容易接受。但对于这种定义的理解要注意以下几方面：①这种定义只是一种对静质量的定义，其中没有涉及运动物体的质量问题；②此处的物体必须是由同种物质构成的物体，这样比较它们所含的物质的多少才有意义；③对于物质的理解不能仅局限于由分子、原子、质子、中子、电子等粒子所组成的实物物

体,还应包括充满整个空间的引力场、电磁场、介子场等场形物质,即这里的物质应包括一切客观的存在并为人们的意识所能反映的;④对于“物质的量”的概念,它不能仅理解为就是构成物体的最原始的、最基本的“原料”,因为在一定条件下,物质可以从一种形态转化为另一种形态。也就是说,我们可以通过转化后所生量的多少来比较物质的多少。具体地说,可以创造一定的条件,使之转化为可以直接比较的静物质形态。如果一个物体能够转化为较多的量,则说明该物体含有较多的质量。例如,蜕变为质子、电子和反中微子的中子,包含着比质子更多的物质的量。恒星中质子燃烧变成氦核的反应中,四个质子比一个氦核含有更多的物质,因为在燃烧的过程中,有中微子和电磁场(光)的辐射;⑤对于运动的物体可用动质量来量度。

在经典力学中,物体的质量是个不变的量,而在相对论力学中,物体的质量不是一个恒量,物体质量与运动速度之间有一定的函数关系,即质速关系:当静止质量为 m_0 的物体以速度 v 运动时,其质量为:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

式中 c 为真空中的光速。这就是相对论的质速关系, m 称为相对论质量,又称为动质量。 m 与 m_0 的差别只在物体运动速度很大,与光速可比拟时才显示出来。质速关系式已为实验所证实。质速关系式表明,物体的速度愈大,其质量愈大,速度为零时质量最小,这时的质

量就是静质量。

3. 引力质量与惯性质量概念的建立

质量的属性之一是量度物体引力作用的大小,具有这一属性的质量通常称为引力质量。引力质量的概念是牛顿在发现万有引力定律的过程中形成与建立起来的,从万有引力定律出发可定义引力质量。通常引力作用包括施力和受力两方面。根据牛顿的万有引力定律,任何两物体之间都有引力作用,引力的方向沿两物体(视为质点)的连线上,大小与两物体的质量 m_1 、 m_2 的乘积成正比,与两者距离 r 的平方成反比,即: $F = Gm_1 m_2 / r^2$ 。其中 G 为万有引力常数,质量 m_1 、 m_2 反映了物体引力作用的大小,称为“引力质量”。引力质量与“物质的多少”这一关于质量概念的定义是相一致的。根据万有引力定律,如果把 m_2 作为引力源,则 m_2 越大,引力就越大,因此,引力质量是产生引力场的能力的量度。另一方面, m_1 越大时,引力也越大,所以从这个角度看,质量又是受引力场作用能力的量度。因此,可以引入“引力质量”的概念来定义物体产生引力与受引力场作用的能力大小的量度。鉴于引力质量的性质,可用某物体(如地球)引力的大小来量度该物体的引力质量的大小。例如天平量度质量就是基于这种思想,因而天平所量度的就是物体的引力质量。

牛顿在《自然哲学之数学原理》中引入了惯性质量的概念。“物质固有的力是每个物体按其一定的量而存在于其中的一种抵抗能力,在这种力的作用下物体保持其原来静止状态或者匀速直线运动状态。”在解释时,牛顿指出:“这种力总是同具有这种力的物质的量成正比的。”这样牛顿就把惯性质量的概念引入了物理学。在牛顿总结出的牛顿第二定律中更有具体的体现,由牛顿第二定律 $\vec{F} = m\vec{a}$, 质量就被定义为“物体惯性大小的量度”,即可以对不同物体施以同样大小的力,根据它们获得加速度的大小来确定质量的大小。获得加速度大的物体质量小,获得加速度小的物体质量大。这种测定物体质量的大小的方法就是根据惯性的大小来量度的,因此,这样测得的质量称为惯性质量。“惯性质量”的定义与“物质的多少”这一关于质量的概念也是相一致的。

根据定义,惯性质量是描述物体在受到一定的外力作用时所具有的维持原来运动状态不变性质的一个物理量。这个定义一方面反映了物质的客观实在性,因此惯性是物体的一种属性,作为其量度的质量也就成为反映物体特性的物理量。另一方面,它反映了物质与运动之间的辩证关系。但是,物体的惯性只是反映了物体保持其运动状态不发生变化的不变特性,而不直接反映物质的数量与物体的运动性质有什么联系,反映这种联系是惯性质量。

惯性质量的概念“质量是物体惯性大小的量度”出现在高中物理教材中,教学中要注意引导学生掌握惯性质

量的概念,要明确一切物体都具有惯性,惯性的表现形式又因物体的运动形式的不同而不同。对于质点的运动和低速情况下的物体的平动来说,惯性可以用质量的大小来量度。但是,当物体作转动时,就不能单一地用质量来量度物体惯性的大小了,这时需要用所谓“转动惯量”来描述惯性的大小。而转动惯量除与物体质量的大小有关外,还与物体的转轴的选取和质量分布有关。对于高速运动的物体,其惯性表现得就更为复杂,此时需要用“惯性张量”来描述。因此,质量并不能完善地描述所有情况下惯性的大小,只有在特定的情况下(物体作低速平动),才可以作为惯性的量度。

4. 引力质量与惯性质量的关系

从以上的叙述可知,惯性质量是出现在牛顿第二定律中,引力质量是出现在万有引力定律中,这二者是分别出现在两个基本的而且相互独立的定律中,显然,它们在物理本性上是完全不同的。爱因斯坦曾生动地以地球和石头间的引力为例来说明这一点,他说:“地球以重力吸引石头而对其惯性质量毫无所知。地球的‘召唤’力与引力质量有关,而石头所‘回答’的运动则与惯性质量有关。”因此,就出现了这样的问题:物体的引力质量与惯性质量是否是一回事?物体的惯性和引力这两种外表上完全不同的物理现象之间是否有深刻联系?这一问题

在物理学的发展历史上曾有过许多争论和探索。

在物理学发展史上,牛顿首先从自由落体实验和单摆实验中论证了今天所说的引力质量与惯性质量的等价问题。

牛顿的实验设计思想是这样的:由于地球的自转,地球上的物体所受到的重力 G 与万有引力 $F_{引}$ 是不一致的。我们可以把重力 G 看作是万有引力 $F_{引}$ 与惯性质量有关的惯性离心力 $F_{惯}$ 二者的合力。这样,重力既与引力质量有关,也与惯性质量有关,并有关系式:

$$\vec{G} = \vec{F}_{引} + \vec{F}_{惯} = K \frac{m_{引} M_{惯}}{r^3} \vec{r} + m_{惯} \omega^2 \vec{r}_1 \quad (1)$$

式中 ω 为地球自转角速度, $\vec{r}$ 、 $\vec{r}_1$ 分别为两个不同的半径矢量。

在重力作用下物体产生的加速度可由牛顿第二定律中得到:

$$\vec{G} = m_{惯} \vec{g} \quad (2)$$

式中 $\vec{g}$ 为重力加速度。

联立以上两式可得:

$$\vec{g} = K \frac{m_{引} m_{地}}{m_{惯} r^3} \vec{r} + \omega^2 \vec{r}_1 \quad (3)$$

从地球上某一固定点来看,上式中第二项是一个常数。这样从(3)式中可得这样的结论:对于同一位置上的不同物体,如果每一物体的 $m_{引}$ 与 $m_{惯}$ 不等或不成比例,则不同物体的将不同。因此,实验就归结为验证不同物体是否严格一致。若一致,则 $m_{引}$ 与 $m_{惯}$ 相等或成正比;

若不一致,二者则不等或不成比例。

在牛顿时代,要用实验精确测定 g 是很困难的,主要是难以精确测量下落的时间间隔。为此,牛顿设计采用了观测单摆的振动,根据长度相同的单摆的摆动周期来间接测定不同物体的重力加速度 g 。牛顿推出的惯性质量与引力质量的关系式为:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_{\text{惯}} L}{m_{\text{引}} g}} \quad (4)$$

式中 T 为摆动周期, L 为摆长, g 为重力加速度, $m_{\text{惯}}$ 为该物体的惯性质量, $m_{\text{引}}$ 为该物体的引力质量。这样,如果测得两个摆长相同、摆球不同的单摆的振动周期相同,再结合(3)式则可推得不同物体的重力加速度相同,于是就证明了惯性质量与引力质量相等或成正比例。牛顿测得,惯性质量与引力质量成正比例的准确性达到 $1/1000$ 。后来贝塞尔运用牛顿的方法曾用各种不同物质做成的单摆进行实验,得到这两种质量成正比例的结果精确到 $1/60000$ 。

1894 年厄卓用扭秤实验证实了引力质量与惯性质量之间的比例性质,其结果准确程度很高。厄卓实验设计的基本思想是:在地球表面,重力的方向被定义为由引力质量引起的万有引力与由惯性质量引起的惯性离心力的合力方向。如果惯性质量与引力质量不成比例关系,则重力的方向对于不同的物体应稍有不同。这样,通过测定不同物体的方向,来推算两种质量之间的关系。厄卓的实验以 5×10^{-9} 的准确性测得二者是相等的。1922

年厄卓又将实验精确度提高到 3×10^{-9} 。1964 年狄克等人改进了厄卓的实验,用金和铝来进行扭秤实验,精确度提高到 $(1.3 \pm 1.0) \times 10^{-11}$,1971 年勃莱金斯基等人又将精度提高到 10^{-12} 。对于惯性质量与引力质量等价的实验从牛顿时代的精确度 10^{-3} 提高到目前的 10^{-12} 。所有实验结果都可以简单表述为,在仪器测量精度范围内, $m_{\text{引}}/m_{\text{惯}} = \text{常数}$,适当选取单位可使常数数值等于 1[如选取引力常数 $G = 6.685 \times 10^{-8}$ 厘米³/(克·秒²)],即惯性质量与引力质量就完全等价。

这一实验测量高度等价的事实,实在令人惊叹。那么这是一种巧合还是蕴藏着更为深刻的内在含义呢?这引起了许多物理学家的沉思。爱因斯坦以他独特地创见,从惯性质量与引力质量等价的基本事实出发,创立了广义相对论,成为现代物理学的一大支柱。引力质量与惯性质量等价性,虽然目前人们已实验测到精度 10^{-12} 数量级。同时,广义相对论也从理论上论证了两者之间的等价性,但是目前还不能说二者完全一致。因为一方面广义相对论也还只是相对真理;另一方面实验精度也是有限的。而且近年来还有一些新的实验事实初步证实了广义相对论的等效原理(引力质量与惯性质量等价)存在着一个微小的偏差。所以,惯性质量与引力质量二者在什么程度上等价,惯性质量与引力质量是否是一回事,仍然是一个有待进一步探索的谜。