

中学生课外读物丛书

物 理 世 界

牛顿定律纵横谈

庄起黎 编

上海科学技术出版社

中学生课外读物丛书

物 理 世 界

牛顿定律纵横谈

庄起黎 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 诸暨报印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张5.125 字数110,000

1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷

印数: 1—6, 000

ISBN 7-5323-1820-6/G·295

定价: 1.65元

编辑出版说明

本《丛书》是一套为广大中学生提供的课外读物。第一批先编辑出版数学、物理、化学三门学科的分册。目的是为了引导学生开发思维，拓广知识视野，充实数、理、化各门学科本身的知识及这些知识在实际中的应用。但所涉及的基本知识不超过全日制中学数、理、化教学大纲所规定的范围。

本《丛书》的特点是知识性与趣味性相结合。注意揭示数、理、化知识本身内在的联系与规律；重视联系实际应用，联系邻近学科，使学生学到的知识能融会贯通；同时适当介绍学科领域里的新进展，以帮助学生开阔眼界。

本《丛书》的体例不拘泥于章节编排，而以专题篇目的面貌出现。各篇内容既有相对联系的系统性，又有相对的独立性，既体现生动活泼，又注意科学严谨。适合于广大初、高中学生阅读。

在组织编写本《丛书》的过程中得到了上海市教育局教研室有关同志的热忱指教和协助，在此表示衷心致谢。

由于编写出版时间仓促，《丛书》中的缺点及不当之处在所难免，欢迎广大读者提出批评指正。

编者的话

在高中物理的学习中，能否正确掌握和运用牛顿运动三定律，是能否真正步入物理殿堂大门的关键。为此，本册书以《牛顿定律纵横谈》为题名，在追求熔知识性、趣味性、科学性、实用性为一炉的同时，特别注意在实用性上下功夫，其目的就是为了使不同程度的物理初学者阅后能在扩大知识领域、增强学习信心、加深概念理解、激发求知欲望、培养求索精神、掌握解题技巧、攻克难点疑点、了解物理学史等诸方面都会有所收益和启迪。

本册特别以广大中学生为读者对象，力争达到在初次学习时、阶段小结时、复习加深时、毕业总结时这四个不同层次的阶段阅读该书后都会有新的收益，成为受中学生朋友们欢迎的好伙伴。

希望有更多的初学者能喜欢这本书。

对本书的不足特别是错误之处，欢迎读者能不客气地指出来，本人将深表谢意。

本书特请吴瑞芳、徐淀芳两同志审稿，他们对初稿提出了宝贵的修改意见，在此谨表谢意。

编 者

1983年10月

目 录

一、惯性纵横谈

1. 历史的回顾 [1]
2. 丰富的内涵及深远的意义 [2]
3. 你犯过同样的错误吗? [3]
4. “谁先中靶”与惯性参照系 [6]
5. 最安全的跳车方案 [8]
6. 从“冰上芭蕾”到猫尾巴的功能 [9]
7. 几个实例与实验的解释 [10]
- 想与练(一) [14]

二、 $F=ma$ 的释义与运用方法

1. $F=ma$ 的建立及内容 [16]
2. 牛顿第二运动定律的释义 [17]
3. 运用 $F=ma$ 解题的基本条件、基本思路及基本方法 ... [18]
4. 运用 $F=ma$ 解题的基本步骤 [19]
5. 牛顿第二运动定律的另一种表达形式——动量定理 [21]
- 想与练(二) [22]

三、无所不在的作用力与反作用力

1. 从蛙泳的动作谈起 [24]
2. 可以从两个皮球的实验中得到的定律 [25]
3. 牛顿第三定律的释义 [26]
4. 马德堡半球实验的延伸 [27]

5. 两人互推游戏的问题	[28]
6. 关于人推车的争论	[30]
7. 为什么大力士不能推动空车?	[31]
想与练(三)	[32]

四、对习题审析解答的基本方法谈

1. 受力图与正交分解列式	[35]
2. 矢量的合成与分解	[43]
3. 摩擦力方向的判断与大小的计算	[46]
4. 牛顿运动三定律的灵活运用	[57]
5. 正确审析时应注意的几点	[64]
6. 隔离体法的正确运用方法谈	[76]
7. 有关实验	[88]
8. 几道“上当”习题的分析	[92]
想与练(四)	[106]

五、超重和失重

1. 令人神往的失重生活	[118]
2. 从乘电梯说起	[120]
3. 称体重时的思考与实验	[121]
4. 完全失重状态及其演示	[123]
5. 超重与失重在航天飞行中	[125]
6. 完全失重状态的定义及推论	[126]
7. 几个实例的分析	[127]
想与练(五)	[133]

六、伊萨克·牛顿的传略及其贡献

1. 科学的巨人	[136]
2. 家世与童年	[136]

3. 辍学时的奋发	[137]
4. 进剑桥	[138]
5. 思考与奋进的两年	[139]
6. 重返剑桥	[140]
7. 牛顿轶事	[141]
8. 万有引力定律的发现	[142]
9. 划时代的巨著	[144]
10. 光学上的巨大成就	[146]
11. 数学上的伟大成就	[148]
12. 成名以后	[149]
13. 晚年的牛顿	[150]
14. 他给世界带来福音	[151]

参考答案

惯性纵横谈

1 历史的回顾

时代转宏轮，社会向前进，真理在发展，科学在更新。然而，人类要能追寻到科学的真谛，却又是多么的不易！就“力和运动”这一力学中最基本的关系，人们也是花了数千年的时间才有今日之认识深度的。

二千多年前，被人们誉为“西方古代知识集大成者”亚里士多德（公元前 384~322 年）就从“马不拉车，车就要停下来”这一简单现象出发，总结出“力是使物体维持运动的原因”的结论。虽然这一结论是错误的，但它却在教会的支持下统治了近二千年。

十六世纪以来，科学的勇士终于冲破重重阻力一个个站了出来，开始向“权威”挑战了！伽利略（1564~1642 年）就是其中杰出的一员。他在《关于两种新科学的对话》一书中，运用简单的实验结果和巧妙的科学思维，批驳了亚里士多德的不少错误观点，并根据简单的斜面实验事实（图 1-1）进行科学的逻辑思维，得出了与亚里士多德截然相反的结论：如果没有阻力，小球将保持匀速运动，从而提出了惯性的概念。这是伟大的开拓性的创见！它使人们开始走上正确认识力与运动关系的康庄大道。

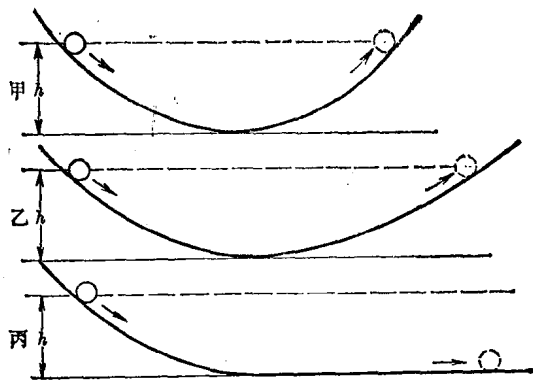


图 1-1 伽利略的斜面实验

牛顿 (1642~1727 年) 则在伽利略研究的基础上明确定义了匀速运动是在一直线上的运动, 最后, 牛顿确立了**运动第一定律——惯性定律**: “一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态, 直到有外力迫使它改变这种状态为止”。

2 丰富的内涵及深远的意义

牛顿运动第一定律是实验、思维、推理和想象的产物, 在经典力学中起着奠基的作用, 虽然寥寥四十余字, 却有着其相当丰富和深刻的内涵及深远的意义。

(一) 牛顿第一运动定律客观地反映了物体运动所遵循的一条基本规律, 即物体在不受外力作用时将保持原有的运动状态不变, “静者恒静, 动者恒动”。由于在自然界, 完全不受力的孤立物体是不存在的, 因此该定律讲的只是一种理想的情景, 无法用实验加以验证, 但是大量的客观事实却又证实

了它的正确性。

(二)定律揭示了任何物体——大至日月星辰,小到分子、原子、电子、核子都具有的保持原有运动状态不变的特性,即通常所说的惯性,因此牛顿第一运动定律也叫做惯性定律。

(三)定律深刻地阐明了力的涵义。从历史事实来看,科学的力的概念是牛顿第一定律首先给出的。它推翻了当时还普遍认为的力是维持物体运动的原因的错误观点,明确指出了:维持一个物体的运动状态(即保持物体的速度不变)并不需要力。也明确指出了:力的真正作用是改变物体的运动状态(即改变物体的运动速度)。正如牛顿自己所述:“速度本身一点也不表示物体是否受到外力的作用,而加速度的产生才是物体受到外力作用的标志。”正是这样,从第一定律出发,人们就会很自然地得出“力是使物体产生加速度的外部原因”这样一个正确的结论。这是对力的涵义的最深刻的概括和阐述。

何为改变物体的运动速度呢?由于速度是一个矢量,所以,速度的大小和方向都改变,或只改变速度的大小,或只改变速度的方向,都被认为速度发生了改变,都需要受到别的作用。而静止,可看作是匀速直线运动中、速度恒为零的特殊情况。

3 你犯过同样的错误吗?

对于牛顿第一定律,别看它简短易记,但若要是能真正深刻地理解它,并正确运用它来解释一些现象,却不是一件容易的

事,甚至“错误难免”。下面有些常见的对惯性的错误理解,不知你有吗?

例 1 下面说法你认为正确吗?

说法 1: 惯性只存在于固体与液体之中, 气体则没有惯性。

说法 2: 物体只有在静止和匀速直线运动时, 才具有惯性。

说法 3: 只有运动的物体将要停止或静止的物体开始运动时, 才有惯性。

说法 4: 只要是物体, 无论处在何种状态下, 都存在惯性。

解与析 本题涉及的是何物有惯性、何时具有惯性的问题。我们说: 惯性是任何物体都具有的固有属性。所谓“任何物体”, 当然不仅指各种各样的固体, 同样包括各种液体与气体。所谓“固有的”, 则是说惯性的存在与否, 与其外表现象——是否受到外力作用及物体处于何种运动状态、及其运动速度的大小与方向等, 均无关系。

无论物体是静止还是运动, 也无论物体是保持运动状态还是在改变运动状态, 物体都具有惯性, 所不同的只是在不同的情况下, 物体的惯性也以不同的方式表现出来罢了。当物体不受力或受力平衡(即合外力等于零)时, 惯性表现在保持物体的运动状态不变上(静止或匀速直线运动); 当物体所受合外力不等于零时, 它则表现在改变物体运动状态的难易程度上。

通过以上分析, 可知本题中仅说法 4 是正确的了。

例 2 下面说法你认为有正确的吗?

说法 1: 同一辆汽车, 速度越大要使它停下来越困难, 所

以物体的惯性是随着物体运动速度的增大而增大的。

说法 2: 用力推原来静止的小车使它运动后, 就只要用较小的力就可以维持小车以一定的速度运动了。这说明: ①力是使物体产生运动和维持运动的原因。②同一物体, 在静止时的惯性比运动时的惯性大。

说法 3: 物体的惯性决定于物体的质量, 而与其他任何因素无关。

说法 4: 举起同一物体, 在月球上要比在地球上容易, 所以同一物体在地球上的惯性要比在月球上的大。

解与析 本题涉及的是惯性的大小, 就应该首先弄清惯性大小是如何量度的。

物体惯性的大小, 是通过人们改变其运动状态的难易程度表现出来的。容易改变其运动状态的物体惯性小, 不易改变其运动状态的物体惯性大。其具体大小则是用施加于该物体的力(合力)与其产生的加速度的比值(即 $\frac{F_{\text{合}}}{a}$)来量度的。

从牛顿第二定律的表达式 $F_{\text{合}} = ma$ 可知, 其比值 $\frac{F_{\text{合}}}{a}$ 就是该

物体的质量 m 。因此说质量是物体惯性大小的量度。质量越大, 惯性越大; 质量越小, 惯性越小。可见, 惯性是一切有质量物体所具有的固有属性, 其大小只与质量的大小有关, 而与其他任何因素(物体的形状、大小及其运动状态等)均无关系。

由上分析可知: 说法 1 明显错误, 而说法 3 则是正确的。

由于物体的质量在静止时与运动时是相同的, 在地球上与在月球上也是相同的(质量是物体的固有属性, 当然对物体本身而言它是恒定不变的), 故可知说法 4 及说法 2 中的②也都是错误的。

对于说法 2 中的①, 先看看为什么会产生说法 2 中所述的情况? 这完全是由于物体的最大静摩擦力大于滑动摩擦力的缘故。当用力推动物体使之由静到动改变运动状态时, 当然需要用力, 使合外力不为零。而要保持小车作匀速运动需要加力的目的则恰是为了使小车所受的合外力为零的缘故, 因为若不加推力, 则小车还受到摩擦阻力, 小车所受合外力必不等于零, 从而会使小车的速度不断减小(改变运动状态), 最终停止。这正说明了力是使物体产生加速度改变运动状态的原因。故说法 2 中的①也是错误的。

4 “谁先中靶”与惯性参照系

假设在匀速直线前进的大船甲板上前后划上两条与航向垂直的相距为 L 米的直线, 并沿该两条直线各放置一块靶, 有两个射手各在一靶的旁边, 向正对面的另一块靶同时进行射击。若子弹出膛时的速率相同, 并设子弹是水平射出的, 且不计空气阻力的影响, 试问: 哪一个射手能先射中靶?

解与析 先设船的航速为 u_0 , 船静止时子弹出膛的速率为 v_0 , 船头船尾两射手从射出子弹到击中靶所用的时间分别为 t_1 和 t_2 (一般在没有说明的条件下, 速度的参照系是大地)。

我们知道, 由于船在匀速前进, 则根据惯性原理从船头向船尾射出来的子弹对地的速度 $v_1 = v_0 - u_0$, 从船尾向船头射出来的子弹对地速度 $v_2 = v_0 + u_0$, 可见 $v_1 < v_2$ 。那么是否能确定从船尾射出的子弹先射中靶呢? 还不应该过早地下结论。因为要看到船头向船尾射击的子弹, 其目标也正在以 u_0 的速率

向它迎來，因此子弹相對於靶的速度 $v'_1 = v_0 - u_0 + u_0 = v_0$ ；同理要看到從船尾向船頭方向射擊，其目標也正在以 u_0 的速率遠去，因此子弹相對於靶的速度 $v'_2 = v_0 + u_0 - u_0 = v_0$ 。可見，兩種情況下的子弹相對於勻速前進的船中的靶的接近速度都和船靜止時一樣。故必有 $t_1 = t_2 = \frac{L}{v_0}$ ，即子弹飛行時間相等，

因而是同時擊中靶！

這一結論使你感到奇怪嗎？請再看看伽利略著作中寫到的這段話吧：

“試把自己和友人關在一隻大船甲板底下的大房間里。假如船是在勻速運動着，那麼你們就不可能一下子判斷出船是在運動着呢，還是靜止着。你們在那里跳遠的話，在地板上跳出的距離就和在靜止不動的船上跳出的一樣。你們不會因為船在高速行進而向船尾跳得遠些，向船頭跳得近些——雖說你向船尾跳的時候，當你騰空跳起的瞬間，你腳底下的地板正向着跟你跳的相反的方向跑去。你如果丟擲一些東西給你的同伴，你從船尾丟向船頭所花的力氣並不要比從船頭丟向船尾所花的更大……蒼蠅也會四處飛行，而不會專在靠近船尾那一边停留……”

由此我們可以得出這樣的結論：在一切相對於地面作勻速直線運動的系統中，其內部所發生的一切力學現象，跟在地面上觀察到的完全一樣，毫無差別。因此，我們也無法借助於任何力學實驗來判斷所在系統到底是靜止的還是在運動的，更不可能測出它的速度。這個結論稱為**相對性原理**。而把適應牛頓運動定律的那些靜止的或作勻速直線運動的參考系稱為**慣性參考系**。

但應注意到的是：若觀察者所處的參考系不同，對同一

一个运动看到的运动情况却可以是不同的。如你在船甲板上竖直上抛一球，你看到小球确实是在作竖直上抛运动，而站在平行于船速方向的岸上的人看到的小球运动则是斜上抛运动。

5 最安全的跳车方案

列车员从行驶着的火车上往下跳时应采用何种跳车方式最安全？

首先，要弄清楚所谓“最安全的跳车方案”，实质上就是指的：“针对从行驶的列车上向下跳的危险因素，一一采取相应的措施”。

第一，因有车速，人一着地，根据伯努利原理（即在气流或水流里，如果流体速度小，则压强就大；速度大，压强就小），人的近车一侧与外一侧之间会存在一定的压力差，而人刚落地时又无法站稳，故使人很易被“吸”向火车而危及生命。所以，跳车时，一定要有一个垂直离开车厢的速度，使落地点能在安全区域内（即离开车厢有一定的距离）。

第二，由于火车具有速度，根据惯性，人跳离火车时也具有车对地的相应速度，这一速度很容易使人脚一着地就向车速方向摔倒造成事故甚至危及生命（且车速越大越危险）。为此，可采取以下措施：①向后跳车，使人具有一个相对于列车前进方向相反的速度 $v_{后}$ ，则落地时相对于地面的速度就可变为 $v_{车} - v_{后}$ ，就容易站住脚了（即使摔倒也可缓慢些）。②为了防止摔倒，人落地时要顺着摔倒方向跑步。由于一般说是 $|v_{车}| > |v_{后}|$ ，而人向前跑要比向后退更方便，且向后摔倒更危险，所以跳车时前身应与车速方向一致。

总之，跳车的最安全方案应是：跳车人面朝火车行驶方向，向着斜后方用力跳出，并脚一着地即向前跑几步才可停下来。

6 从“冰上芭蕾”到猫尾巴的功能

为什么“冰上芭蕾”（即花样溜冰）运动员在转体时把手脚外伸时旋转得慢，而把手脚靠近身体时就旋转得快呢？

虽然这一问题已超出了中学物理教学的范畴，但由于它确与惯性有关，简单给予解答，可以满足同学们的求知欲望。

应该指出，由于牛顿第一定律中把研究对象均当作质点来处理，因此所提到的物体的惯性实质是物体相对于平动运动的惯性，其大小即为惯性质量。第一定律只适用于惯性参照系。

转动着的物体不会马上停止转动，这说明转动的物体也有惯性——转动惯性，它与物体的平动惯性有区别。量度转动物体惯性大小的物理量称为转动惯量（用 I 表示），它不仅同物体的质量有关，而且还和质量的分布及转轴位置有关。转动惯量越大，转动状态越不容易改变。理论上已经证明：转动惯量的大小等于物体（刚体）中每个质点的质量 Δm_i 与这一质点到转轴距离 r_i 的平方的乘积的总和（即 $\sum \Delta m_i r_i^2$ ）。如两个质量相同的轮子，边缘较厚的其转动惯量就较大，边缘较薄的其转动惯量就较小。

物理学上还有一条叫做角动量守恒定律，它说明物体在不受外力矩作用，或所受外力矩之和为零时，其角速度 ω 和转

动惯量 I 的乘积(即角动量) 是一个常数, 即 $\omega I = \text{常数}$ 。此时, 就可以利用改变转动惯量来改变角速度。转动惯量增大, 则角速度减小; 转动惯量减小, 则角速度增大。

花样滑冰运动员的快速直立旋转动作就是一例。他们在臂腿伸开时转动惯量较大, 故角速度就小(即旋转得慢), 而当他们把两臂和腿迅速朝身体靠紧时, 减小了转动惯量, 故角速度就增大了(即旋转得快了)。

又如跳水运动员作表演时, 在空中常把手臂和腿蜷曲起来抱紧身体做团身空翻, 目的是减小转动惯量, 加大旋转速度, 而当他快到水面时就伸展身体以加大转动惯量, 减小旋转速度, 为以一定方向落入水中创造有利的条件。

你见过猫四脚朝天往下掉的“精彩表演”吗? 说也奇怪, 在落地前的一瞬间, 它把大尾巴一摔, 身体就翻过来让四肢先着地了。其实, 猫在开始下落时, 并不旋转, 角速度等于零, 角动量也为零。在下落过程中, 猫尾巴一摔, 表示它在摔动方向有一个旋转的角速度, 根据角动量守恒定律, 必须要有一个与尾巴摔动方向相反的旋转角速度。这个方向相反的旋转角速度, 就是猫身体翻转的角速度。由于猫比较灵活, 在摔尾巴时, 还可调节身体以减小转动惯量, 使身体旋转速度加大些, 从而容易达到转身的目的。当接近地面时, 一转身四肢着地就能安全无恙。可见, 猫尾巴的功能还真不少。

7 几个实例与实验的解释

如何运用牛顿第一定律的知识来解释一些现象、解决一些实际问题, 是初学者最感困难的方面。为此特举几个例子,