

高等医药院校教材

(供药学专业用)

物理学

上册

庄鸣山 主编

人民卫生出版社

高等医药院校教材

(供药学专业用)

物 理 学

上 册

(物理学基础理论)

主编人：庄鸣山(上海第一医学院)

(按姓氏笔划为序)

编写人：王鸿儒(北京医学院)

谷家骅(四川医学院)

李春琪(南京药学院)

张文汉(沈阳药学院)

人 民 卫 生 出 版 社

责任编辑：黄大谦

物 理 学

(上 册)

庄 鸣 山 主编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版
(北京市崇文区天坛西里 10 号)

人 民 卫 生 出 版 社 印 刷 厂 印 刷
新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米16开本 28印张 4 插页 655千字
1985年 9 月第 1 版 1985年 9 月第 1 版第 1 次印刷
印数：00,001—8,100

统一书号：14048·4954 定价：4.40元

编写说明

全国医药院校试用教材供药学专业用的物理学于 1978 年出版以来,已有六年之久,经兄弟院校使用,许多教师以他们自己多年的教学经验,对该教材的逻辑性、系统性和深广度都提出了很多的宝贵意见和建议,我们谨向这些同志表示衷心的感谢!

1982 年冬我们召开了一次编者会议,交流了教材使用情况和存在的问题,决定在 1978 年出版的试用教材基础上,重新制定编写大纲;并根据 1983 年卫生部和国家医药管理局联合召开的南京编审会议所确定的原则,结合药学专业的特点,对教材作了新的安排。上册针对专业的需要适当地加强和提高物理学基础理论部分;下册针对电子和信息技术在四化建设中对药学研究和生产的迫切需要,将交流电路和电子学增加部分内容,合并成电工电子学基础部分,单独成册,从而加强了电工电子学的教学。

本教材可供四年制和五年制药学专业使用,但鉴于四年制学时数较少,故对某些章节(包括习题)标有“*”记号,教师对这部分内容可根据专业要求和学生具体情况,自行安排或删去不讲;部分具有参考性内容用小字排印,供学生自学。本书每章附有习题和部分答案。索引附有中英名词对照。

本教材由庄鸣山、谷家骅、王鸿儒、张文汉、李春琪等同志执笔。在编写过程中还得到秦怀强和奚才清同志许多建议和帮助,在这里谨致以深切的感谢!

限于编者水平,书中错误和缺点在所难免,我们诚恳地希望使用本书的老师和同学们提出批评和指正!

编者

1984 年 6 月

104053-2935-86/9/6-4.403

物理力学讲义 8-81
物理力学讲义 8-81
物理力学讲义 8-81
物理力学讲义 8-81

物理力学讲义 8-81
物理力学讲义 8-81
物理力学讲义 8-81
物理力学讲义 8-81

目 录

绪论	1
第一章 力学的基本定律	3
§ 1-1 牛顿运动定律	3
§ 1-2 功和能	10
§ 1-3 机械能守恒定律 能量转化和守恒定律	21
§ 1-4 动量守恒定律	24
§ 1-5 转动和转动定律	33
§ 1-6 角动量和角动量守恒定律 *进动	44
§ 1-7 质量和能量	50
习题一	54
第二章 流体的运动	59
§ 2-1 理想流体的运动	59
§ 2-2 伯努利方程及其应用	62
§ 2-3 粘滞流体的运动	67
§ 2-4 泊肃叶定律 斯托克斯定律	71
习题二	74
第三章 振动和波	77
§ 3-1 谐振动	77
§ 3-2 振动的合成	83
* § 3-3 振动的分解	90
§ 3-4 简谐波	92
§ 3-5 惠更斯原理 波的衍射	98
§ 3-6 波的迭加原理 波的干涉	100
* § 3-7 驻波	102
* § 3-8 声波和超声波	105
习题三	108
第四章 分子物理学	111
§ 4-1 分子运动论	111
§ 4-2 理想气体动力论基本方程	114

§ 4-3 能量按自由度均分原理	117
§ 4-4 分子速率及其实验测定	121
§ 4-5 真实气体	125
* § 4-6 液体表面张力现象	131
习题四	137
第五章 热力学的基本定律	139
§ 5-1 热力学第一定律	139
§ 5-2 气体热容量	142
§ 5-3 绝热过程	145
§ 5-4 卡诺循环 热机效率	147
§ 5-5 热力学第二定律	151
* § 5-6 熵	155
习题五	159
第六章 静电场	162
§ 6-1 电场强度 电势 电势差	162
§ 6-2 静电场中的电介质	175
§ 6-3 静电场的能量	181
* § 6-4 压电效应及其应用	184
习题六	185
第七章 直流电路	188
§ 7-1 稳恒电流	188
§ 7-2 电源的电动势 闭合电路和一段有源电路的欧姆定律	194
§ 7-3 基尔霍夫定律及其应用	199
§ 7-4 温差电现象及其应用	206
§ 7-5 电容器的充电和放电	211
* § 7-6 气体导电	215
习题七	218
第八章 电流的磁场	222
§ 8-1 磁场 磁感应强度	222
§ 8-2 电流的磁场	230

绪 论

一、物理学的研究对象

物理学是研究物质运动的最基本、最普遍的形态，包括力学的、热学的、电磁学的等等，以及它们之间相互转化的一门基础科学。物理学研究的目的在于认识物质运动的客观规律和揭示不同层次的物质的内部结构。历史事实证明，作为基础科学的物理学，其研究成果除了促进物理学自身和自然科学中其他学科的发展外，还能够成为改造世界强有力的工具，为人类服务。

我们周围存在着一切客观实体，从基本粒子、原子、分子到宇宙天体；从核力场、电磁场到引力场；从蛋白质、细胞到人，都是物质。所有物质都在永恒不停地运动和变化中，自然界一切现象就是这些物质运动的表现，因而运动是物质存在的形式，是物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程。各种不同的物质运动形式既服从普遍规律，也有它自己的独特规律。由于物理学所研究的物质运动规律具有普遍性，就使得物理学成为研究其他自然科学和技术，包括药学在内，的重要基础。因此，只有具备相应的物理学的系统知识和基本理论，才能顺利地进行科学技术工作。

二、物理学与技术科学、生产实践的关系

物理学的发展，使它在发展科学技术、推动生产实践的作用愈来愈重要了。

在十七、十八世纪，由于牛顿力学、热力学的建立和发展，推动了其他学科的发展，研制了蒸汽机和其他工业机械，掀起了第一次工业革命。十九世纪，在法拉第(M. Faraday)-麦克斯韦(J. C. Maxwell)电磁理论的推动下，人们制造了电机、电器和各种电信设备，引起了工业电气化，使人类进入了应用电能的时代，这是第二次工业革命。本世纪以来，由于相对论和量子力学的建立；人类对自然界的认识开始从宏观领域推进到微观领域，对原子、原子核的了解日益深入，从而实现原子核能和放射性核素的利用。几十年来，与量子力学微观理论有联系的一些新兴边缘学科，如量子化学、量子电子学、量子生物学等等，不断建立。同时，在量子力学理论的推导下，直接促成了半导体、激光、核磁共振等许多现代新技术的发明和应用。现代科学技术正经历着一场伟大的革命，人类已进入原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、空间科学等新技术的时代。近代物理学的各个分科都孕育着新的突破，如果能全面地揭露基本粒子内部的结构和它们的相互转化、相互作用的规律，必将为人类生活和自然科学各领域带来巨大影响。事实证明，自然科学的理论研究一旦取得重大突破，必将为生产和技术带来巨大进步，从而使社会物质生产的各个领域面貌一新。

物理学的发展，特别是量子力学的发展和科学技术的应用，对药学的进展起了很大的推动作用。象许多新型精密仪器，如红外分光光度计、紫外分光光度计、质谱仪、核磁共振波谱仪和微波光谱仪等的使用，已经成为对于药物进行研究和分析的重要手段。由于量子化学的发展和电子计算机的使用，利用量子化学理论计算和预测未知化学现象

已逐渐成为可能,从而为探求新药物和新流程的研究开拓了广阔的前景。

三、物理学的学习方法

由于物理学是一门普通基础课,故书中所介绍的内容大部分是物理学中成熟的所谓经典理论部分。这些基本原理和基础知识至今仍然是各学科赖以发展的基础,在药学领域中也有广泛的应用;而对于学习现代物理学新理论,如本书最后所涉及到的量子论等,它们也是不可缺少的阶梯。

物理知识经过几千年特别是近三百年的积累,已经是很丰富了,我们要在有限的学时内全面讲授物理学的内容,这是不可能的,所以内容上只能就专业性质有所侧重,有些仅作概括的叙述。为了学好物理学,进一步提高独立工作能力的培养,每个学生不要拘泥于一本教材,应阅读必要的参考书。此外,物理学是一门实验科学,它的理论就是通过实践—理论—实践的考验,经受各种手段从多方面进行检验而建立起来的。因此,要学好物理学还必须重视物理实验,学会使用基本测量仪器、掌握一些测量的方法和技术操作以及处理数据的原则,并要在实验过程中积极思维,多考虑问题,敢于实践,勇于创新。

物理学是药学专业一门重要基础课程,我们深信,同学们通过物理学的严格训练和坚持不懈的学习,不仅为今后学习专业课程打下基础,而且必将为我国的药学事业发挥积极作用。

第一章 力学的基本定律

物质的最简单的运动形式是**机械运动**，它是物体之间、物体各部分之间位置的相对变化的运动。**力学**的研究对象，就是物质的机械运动和它所遵循的客观规律。本章中，我们在高中物理学的基础上，有重点地讨论一些有关动力学的基本概念和规律，为其他各章的学习奠定基础。

§ 1-1 牛顿运动定律

动力学是研究引起运动状态变化的原因的科学。动力学的基本内容是**牛顿运动定律**。牛顿 (I. Newton) 在总结前人成就的基础上，于 1686 年发表了他的三条运动定律。虽然牛顿运动定律一般是对质点而言的，但是从该定律出发，可以导出刚体、流体等的运动定律，从而建立起以它为主要组成部分的经典力学体系。因此，牛顿运动定律不仅是质点力学的基础，而且是整个经典力学的基础。

一、牛顿运动定律

牛顿的三条运动定律可以表述如下：

第一定律：任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止。

第二定律：物体受到外力作用时，所获得的加速度的大小与合外力的大小成正比，而与物体的质量成反比；加速度的方向与外力的方向相同。

第三定律：当甲物体以力作用于乙物体时，乙物体也必同时有力反作用于甲物体，这两个力在同一直线上，大小相等而方向相反。

现在我们把这三条定律的意义和有关概念分别说明如下。

第一定律包含两个重要概念：其一是任何物体都有保持静止或匀速直线运动的状态，即保持速度不变的特性，这种特性叫作**惯性**。因此，第一定律也叫**惯性定律**。其二是当物体受到其他物体的作用时，将迫使它改变静止或匀速直线运动的状态，即改变速度，从而使物体获得加速度。所以，第一定律给出了力的科学定义，力是物体间的一种相互作用，由于这种作用，使物体获得加速度。

由于在相互联系、相互制约的物质世界中，不受其他物体作用而孤立存在的物体，或者完全没有阻力、绝对光滑的平面是不存在的，因此第一定律无法用实验直接验证。事实上，任何物体处于静止状态或作匀速直线运动时，总是要受到若干个外力的作用，不过这些外力恰好相互抵消，即作用在这一物体上的合外力为零，而构成暂时的力的平衡状态而已。第一定律是通过实验研究而作出的正确推断，因为以它为依据所得出的关于力学问题的大量结论，是完全符合客观实际的。

第一定律不仅将力和物体运动状态的改变联系起来，而且也将力和惯性联系起来。惯性是物体保持原有运动状态（包括速度为零的静止状态）的特性。但是，在受到相同的力作用时，有的物体的运动状态容易改变，有的物体的运动状态却不容易改变。我们

说,前者的惯性小,后者的惯性大。因此,第一定律揭示了力、惯性和加速度三者之间的紧密联系。

第二定律是对于第一定律的“作用”和“惯性”两概念作了量的陈述,引入了与这两个概念有关的物理量——“力”和“质量”,并定量地确定了力、质量和加速度三者之间的关系,具体地阐明了机械运动的规律性。不同的物体受到相同的力作用时所获得的加速度不同,表明不同的物体具有不同的惯性。惯性大小的量度就是物体的质量。因此,在以相同的力分别作用于两个物体时,惯性大即质量大的物体,所获得的加速度小;惯性小即质量小的物体,所获得的加速度大。

第二定律指出,如果质量为 m 的物体,在合外力 f 作用下得到的加速度为 a ,则

$$f = kma \quad (1-1)$$

式中, f 与 a 都为矢量。上式表明,物体受合外力 f 作用时,它所获得加速度 a 的大小与合外力 f 的大小成正比,与物体的质量 m 成反比,加速度 a 的方向与合外力 f 的方向相同。式中的比例系数 k 决定于力、质量和加速度的单位。如果选用适当的单位,可使 $k=1$,于是式 (1-1) 可写成

$$f = ma \quad (1-2a)$$

上式是牛顿第二定律的数学表式,是质点动力学的基本方程,也叫作牛顿运动方程。在物体所受外力、物体的初位置和初速度已知的情况下,可以用这个方程求出物体在任何时刻的位置和速度。

在国际单位制中,质量的单位为千克(符号 kg),加速度的单位为米/秒²(符号 m/s²),力的单位为牛顿(符号 N)。1 牛顿的力就是使质量为 1 千克的物体获得 1 米/秒² 的加速度的力。

应用第二定律应注意以下几点:

① 第二定律只适用于质点和可以看作为质点的物体的运动。

② 式 (1-1a) 中的 f 是合外力,由于力的矢量性,我们可以把该式写成

$$\Sigma f_i = ma \quad (1-2b)$$

式中, Σf_i 为各个分力的矢量和。合外力的量值等于 ma ,但是决不能把 ma 误认为合外力。

③ 第二定律表示合外力和加速度的瞬时关系。有合外力作用于物体时,物体就获得加速度。合外力改变时,加速度也随着改变。合外力变为零时,加速度也相应地变为零,物体就保持这时刻的运动状态,这是惯性的表现。

④ 式 (1-2a) 和 (1-2b) 为矢量式,解题时常用其分量式。如物体所受的各个力都在同一平面上,则在平面直角坐标系各轴上的分量式为

$$\left. \begin{aligned} f_x &= ma_x \\ f_y &= ma_y \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中, f_x 、 f_y 分别表示各个力沿 x 轴、 y 轴方向的分量的代数和, a_x 、 a_y 分别表示物体的加速度沿 x 轴、 y 轴方向的分量。应用上式时,要注意力和加速度各分量的正负

取决于坐标轴的取向。

当质点作变速率圆周运动或曲线运动时，既有法向加速度（即向心加速度），又有切向加速度。这时物体受到的合外力应分解成法向合力和切向合力两部分。因此，我们常根据圆周轨道或曲线轨道的自然情况，采用法向分量式和切向分量式来解题：

$$\left. \begin{aligned} f_n &= ma_n = m \frac{v^2}{r} \\ f_t &= ma_t = m \frac{dv}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中， f_n 和 f_t 分别表示法向合力和切向合力， a_n 和 a_t 分别表示法向加速度和切向加速度， r 是物体作圆周运动时的圆周半径，或作曲线运动时所在点的曲率半径， v 是物体所在点的速率， $\frac{dv}{dt}$ 是瞬时速率的增加率，它表示了该点的切向加速度的大小。

第三定律进一步说明物体间的力具有相互作用的性质。力总是成对出现的，作用力和反作用力总是同时存在，同时消失。但必须注意，作用力和反作用力是分别作用在相互作用着的两个不同的物体上，虽然它们大小相等，方向相反，但决不能相互抵消。这与两个大小相等、方向相反的力作用于同一物体，从而产生力的平衡的情况是不同的。作用力和反作用力总是属于同种性质的力。如果作用力是万有引力、弹性力或摩擦力，那么反作用力也一定是万有引力、弹性力或摩擦力。

牛顿的三条运动定律之间有着紧密的联系。第一定律和第二定律分别定性地和定量地说明了物体机械运动状态的变化与其他物体对该物体的作用力之间的关系。第三定律是第一、第二定律的重要补充，进一步阐明力的相互作用性质，相互作用力之间的定量关系。由此可见，这三条定律是一个不可分割的整体。

二、惯性参照系

在运动学中，为了描述一个物体的运动，总是选择另一个物体或几个相对静止的物体作为参考，然后研究这个物体相对于这些参考物体是怎样运动的。被选作参考的物体叫作**参照系**。从对运动的描述来说，参照系的选择可以是任意的，但这要由问题的性质和研究的方便来决定。选择不同的参照系，对于同一物体的运动会有不同的描述。例如，在作匀速直线运动的火车车厢中，有一个自由下落的物体，以车厢作参照系，物体作直线运动；以地面作参照系，物体作抛物线运动。这就是**运动描述的相对性**。因此描述一个物体的运动时，必须指明它是相对于哪一个参照系而言的。

当应用牛顿运动定律来解决动力学问题时，我们是否可以任意选择参照系呢？如图 1-1 所示，在火车车厢的光滑而水平的桌面上放置一个小球，当火车的加速度 a 相对于地面向前运动时，小球以 $-a$ 的加速度向后运动。如以地面为参照系，所得的结论是：小球受到的合外力为

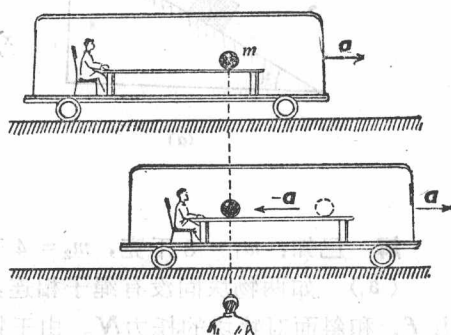


图 1-1 在加速运动的车厢中牛顿定律不能成立

零, 因而保持静止状态, 符合牛顿运动定律。如以加速运动的车厢为参照系, 结论则是: 虽然小球受到的合外力为零, 但却有 $-a$ 的加速度。所以对于车厢这个参照系来说, 牛顿运动定律是不能成立的。这个例子说明, 牛顿运动定律不能在地面和车厢这两个不同的参照系中都适用。

凡是牛顿运动定律适用的参照系, 叫作**惯性参照系**, 简称**惯性系**而牛顿运动定律不适用的参照系, 叫作**非惯性系**。要确定一个参照系是不是惯性系, 只能依靠观察和实验。天体运动的研究证明: 如果我们选择一个参照系, 以太阳的中心为原点, 以从太阳指向任一恒星的直线为坐标轴, 那么, 所观察的各种天文现象, 都同根据牛顿运动定律和万有引力定律推出的结果相符。因此, 上述参照系是一个惯性系。从观察到的现象和理论还证明: 凡是对于上述的惯性系作匀速直线运动的参照系, 牛顿运动定律也适用; 而对于上述的惯性系作变速运动的参照系, 牛顿运动定律就不适用。所以, 对于惯性系作匀速直线运动的参照系也是惯性系, 而对于惯性系作变速运动的参照系是非惯性系。

地球对于太阳有公转和自转, 所以, 地球对于太阳和地面对于地心都有向心加速度。严格地说, 地球不是一个惯性系, 但根据计算, 地球对于太阳和地面对于地心的向心加速度都很微小, 因此, 在一般精确度范围内, 地球或静止在地面上的任一物体都可近似地看作惯性系。同样, 在地面上作匀速直线运动的物体也可近似地看作惯性系, 但在地面上作变速运动的物体就不能看作惯性系。

从以上讨论可见, 一个物体的运动对于两个相互作用匀速直线运动的惯性系来说, 速度可以不同, 但加速度却是相同的。经典力学认为, 物体的质量是不随速度而变的, 因此对于不同的惯性系, 同一物体的质量是相同的; 另外, 在不同的惯性系中, 物体所受的力也相同。所以, 牛顿运动定律对于两个相互作用匀速直线运动的惯性系都适用。换句话说, 牛顿运动定律对所有惯性系都适用。

例题1-1 质量 m_1 和 m_2 分别为 8 千克和 4 千克的大、小两物块, 用一轻绳相连, 沿着倾斜角为 30° 的斜面下滑, 如图 1-2 (a) 所示。如大、小物块与斜面间的滑动摩擦系数 μ_1 和 μ_2 分别为 0.50 与 0.25, 试求: (a) 大、小物块的加速度; (b) 绳上的张力。

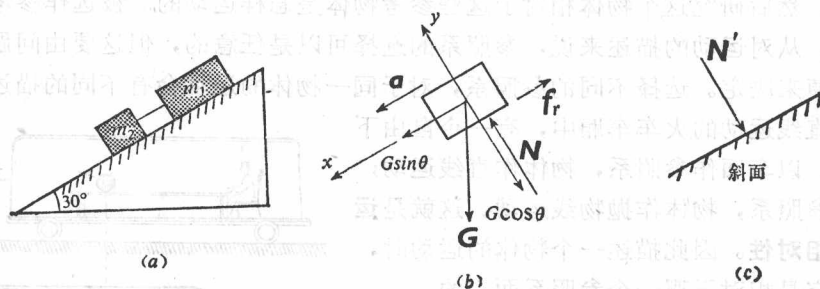


图 1-2

解 已知: $m_1 = 8$ 千克, $m_2 = 4$ 千克, $\mu_1 = 0.5$, $\mu_2 = 0.25$, $\theta = 30^\circ$ 。

(a) 如两物块间没有绳子相连, 则它们各受到三个力的作用, 即重力 G 、摩擦力 f , 和斜面对物块的托力 N 。由于物块是沿着斜面下滑的, 故将重力 G 分解为两个正交的分力 $G\cos\theta$ 和 $G\sin\theta$ 。如图 1-2 (b) 所示, 作隔离体图并建立坐标系。根据牛顿第二定律, 得

$$G + f_r + N = ma$$

对上式取分量式

$$x \text{ 方向 } G \sin \theta - f_r = ma \quad (1)$$

$$y \text{ 方向 } N - G \cos \theta = 0 \quad (2)$$

由式(2)得 $N = G \cos \theta$ 。设 N' 为物块作用于斜面的正压力，故 $f_r = \mu N'$ ，再由牛顿第三定律可知， $N' = N$ ，所以 $f_r = \mu N = \mu G \cos \theta$ 。代入式(1)中，得

$$G \sin \theta - \mu G \cos \theta = ma$$

将 $G = mg$ 代入上式，并消去 m ，再将 μ_1 、 μ_2 分别代替式中的 μ ，则得大、小物块的加速度分别为

$$a_1 = g \sin \theta - \mu_1 g \cos \theta$$

和

$$a_2 = g \sin \theta - \mu_2 g \cos \theta$$

因

$$\mu_1 > \mu_2$$

故

$$a_2 > a_1$$

由此可见，如图 1-2(a) 中，当物块开始运动后，小物块就通过轻绳拉着大物块一起运动。因为轻绳处于拉紧状态，绳上张力处处相等，所以两物块的加速度相同。将大、小物块和轻绳看作一个受力系统，这个系统所受的外力也是重力、摩擦力和斜面对系统的托力。仍取沿斜面向下为 x 轴正方向，得

$$(m_1 + m_2)g \sin \theta - \mu_1 m_1 g \cos \theta - \mu_2 m_2 g \cos \theta = (m_1 + m_2)a$$

所以

$$\begin{aligned} a &= g \sin \theta - \frac{\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2}{m_1 + m_2} g \cos \theta \\ &= 9.8 \times \sin 30^\circ - \frac{0.5 \times 8 + 0.25 \times 4}{8 + 4} \times 9.8 \times \cos 30^\circ \\ &= 1.36 \text{ 米/秒}^2 \end{aligned}$$

(b) 将大物块“隔离”出来，设 T 为绳上张力，方向沿斜面向下，仍取此方向为 x 轴正方向，得

$$m_1 g \sin \theta + T - \mu_1 m_1 g \cos \theta = m_1 a$$

所以

$$\begin{aligned} T &= m_1 a - m_1 g \sin \theta + \mu_1 m_1 g \cos \theta \\ &= 8 \times 1.36 - 8 \times 9.8 \times \sin 30^\circ + 0.5 \times 8 \times 9.8 \times \cos 30^\circ \\ &= 5.59 \text{ 牛} \end{aligned}$$

如果将两物块的位置对换，因 $a_1 < a_2$ ，则在斜面足够长的情况下，小物块将逐渐赶上大物块而结合成整体一起运动；这时，绳上张力 $T = 0$ 。

例题 1-2 如图 1-3(a) 所示，一块小木板用轻绳悬在天花板上，木板上放一质量 $m = 0.3$ 千克的重物，悬挂点到重物重心的距离 $l = 1$ 米，使木板以速率 $v = 1$ 米/秒绕

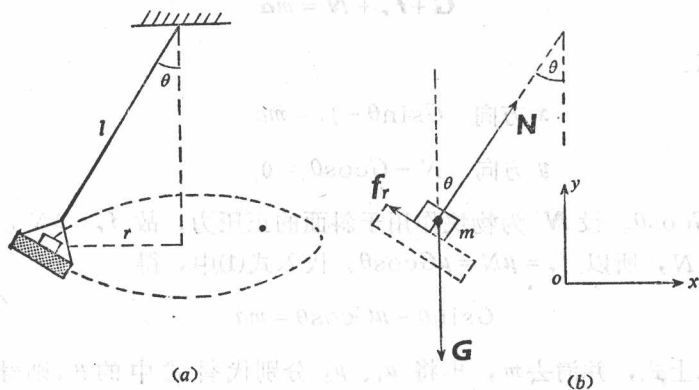


图 1-3

竖直线作匀速率圆周运动。已知绳与轴线的夹角 $\theta = 30^\circ$ ，求重物对木板的作用力。重物与木板间的静摩擦系数 $\mu = 0.4$ 。

解 本题求的虽是重物对木板的作用力，但不能选择木板而可以选择重物作为研究对象，从它的运动情况求得木板对重物的作用力，再由牛顿第三定律求得重物对木板的作用力。

重物受力情况如图 1-3(b) 所示，重力 G 、静摩擦力 f_r （因重物对于木板有向下滑动的趋势）和木板的托力 N 。由于 m 作匀速率圆周运动，所以 G 、 f_r 、 N 这三个力的合力是向心力，在向心力作用下，重物获得向心加速度 a_r （在重物作匀速率圆周运动时，切向加速度为零），用矢量式表示为

$$G + f_r + N = ma_r$$

按照图中给出的坐标，得分量式：

$$x \text{ 方向 } N \sin \theta - f_r \cos \theta = m \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

$$y \text{ 方向 } N \cos \theta + f_r \sin \theta - G = 0 \quad (2)$$

由式(1)、(2)解，得

$$\left. \begin{aligned} N &= mg \cos \theta + m \frac{v^2}{r} \sin \theta \\ f_r &= mg \sin \theta - m \frac{v^2}{r} \cos \theta \end{aligned} \right\}$$

上两式中 $r = l \sin \theta$ ，故

$$\left. \begin{aligned} N &= mg \cos \theta + m \frac{v^2}{l} \\ f_r &= mg \sin \theta - m \frac{v^2}{l \tan \theta} \end{aligned} \right\}$$

将 $m = 0.3$ 千克， $v = 1$ 米/秒， $l = 1$ 米， $\theta = 30^\circ$ 代入，得

$$N = 0.3 \times 9.8 \times \cos 30^\circ + 0.3 \times \frac{1^2}{1} = 2.84 \text{ 牛}$$

$$f_r = 0.3 \times 9.8 \times \sin 30^\circ - 0.3 \times \frac{1^2}{1 \times \tan 30^\circ} = 0.95 \text{ 牛}$$

N 和 f_r 的反作用力分别表示重物作用于木板的正压力和静摩擦力，后者的方向是沿木板向下。

必须注意，木板对重物作用的静摩擦力 f_r 并未达到所允许的最大静摩擦力 ($\mu N = 1.14$ 牛)，故不能将 $f_r = \mu N$ 和式(1)联立求解 N 和 f_r ，否则将得不到正确答案。

从以上解题过程可知，应用牛顿运动定律解题的步骤大致如下：

- (1) 弄清题意，明确已知条件和求解的问题；
- (2) 把要研究的物体和其他物体“隔离”开，分析受力情况和运动情况，并作出隔离体图（又叫示力图）。一般是先标出已知力和重力，然后在研究对象与其他物体的联系处或接触处找力；
- (3) 选好坐标系，根据牛顿第二定律列出物体的运动方程，力和加速度各分量的正负取决于坐标的取向；
- (4) 求解方程时，一般是先作文字运算，再进行数值计算。

* 三、单位和量纲

我们知道，当长度单位和时间单位选定以后，速度和加速度的单位就可以按照定义从这两个单位导出；当质量单位和加速度单位选定以后，力的单位就可以根据牛顿第二定律导出。一般来说，各个物理量之间总是有着一定的联系。因此，我们只要选定几个量和它们的单位，就可以通过定义或定律导出其他各量和它们的单位。这样选定的几个量叫作**基本量**，它们的单位叫作**基本单位**；其他从基本量导出的量叫作**导出量**，它们的单位叫作**导出单位**。

我国政府已规定全面采用国际单位制 (SI)，其他单位制将逐步废除。在本书采用的国际单位制中，选定长度、质量和时间作为力学基本量，选定米、千克、秒为力学基本单位。力学中其他各量和单位都可以从以上三个基本量和三个基本单位导出，所以都是导出量和导出单位。例如，力是导出量，牛顿是导出单位。牛顿所代表的基本单位的关系式为千克·米/秒²。

既然导出量可以从基本量导出，因此每个导出量都可以用基本量的某种组合表示出来。在国际单位制中，以 L 、 M 和 T 分别表示长度、质量和时间三个力学基本量，力学的其他物理量 Q 都可以按下列形式表示出来：

$$[Q] = M^p L^q T^r$$

上式叫作物理量 Q 的**量纲式**，指数 p 、 q 、 r 分别叫作物理量 Q 对质量、长度、时间的**量纲**。速度量纲式为

$$[v] = \frac{[L]}{[T]} = LT^{-1}$$

说明速度对长度的量纲为 1，对时间的量纲为 -1，而对质量的量纲为零。加速度、力和角度的量纲式分别是

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = LT^{-2}$$

$$[f] = [m][a] = MLT^{-2}$$

$$[\varphi] = \frac{[s]}{[r]} = 1 \quad (\text{量纲为零})$$

除了表示导出量与基本量的关系外，量纲式也用于单位的换算。一个物理量的单位是随着基本量单位的改变而改变，改变的比值可用量纲式计算。例如，已知力的量纲式为 $[f] = MLT^{-2}$ ，当由厘米克秒制换算到国际单位制时，长度单位增大 10^2 倍，质量单位增大 10^3 倍，而时间单位不变，所以力的单位增大 $10^2 \times 10^3 = 10^5$ 倍。因此我们可以断定，国际单位制中力的单位牛顿，是厘米克秒制中力的单位达因的 10^5 倍，即

$$1 \text{ 牛顿} = 10^5 \text{ 达因}$$

量纲式还可用于检验等式。在较为复杂的等式中，常包括若干项。确定等式是否正确，检验等式中各项的量纲式是必不可少的步骤。例如，匀变速直线运动方程为

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

容易看出，式中各项的量纲式都是 L ，所以由量纲式的检验可知，上式是正确的。但式中的数字是否正确，则不能用量纲式检验出来。演算习题时，我们应先用文字演算，再从结果中检验各项的量纲式是否相同，如果相同，才将已知数值代入计算。这样就可避免文字演算可能产生的错误。

根据同样的理由，我们可以通过对量纲式的分析来确定方程中某一比例系数的量纲式和单位。例如，万有引力定律表式为

$$f = G_0 \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

其中 G_0 为引力常数， f 、 m_1 、 m_2 和 r 分别表示万有引力、两物体的质量和距离。从

$$[G_0] = \frac{[f][r]^2}{[m_1][m_2]} = \frac{LMT^{-2} \cdot L^2}{M^2} = M^{-1}L^3T^{-2}$$

可知，在国际单位制中 G_0 的单位为米³/千克·秒²。

§ 1-2 功 和 能

一、功

功和功率的概念，是人们在长期的生产实践和科学实验中建立和发展起来的。从常识中我们已经理解“工作”和“工作能力”的意义，但物理学中功的概念，却是从研究力对物体作用的空间积累效应，即综合力的作用和物体发生的位移大小来描述运动的特

性而提出来的。

1. 恒力作功 设一物体(如图1-4)在恒定外力 f 作用下而运动, 力的作用点 P 的位移是 s , 力与位移的夹角是 θ , 则外力 f 对物体所作的功为

$$A = fs \cos \theta \quad (1-5a)$$

这就是说, 恒力对物体所作的功, 等于力在位移方向的分量 $f \cos \theta$ 与作用点位移大小 s 的乘积, 或者说, 等于力的大小 f 与位移在力的方向上的分量 $s \cos \theta$ 的乘积。

功只有大小而没有方向, 是个标量。根据矢量分析, 功的定义式(1-5a)也可以写成力 f 与位移 s 的标积, 即

$$A = f \cdot s \quad (1-5b)$$

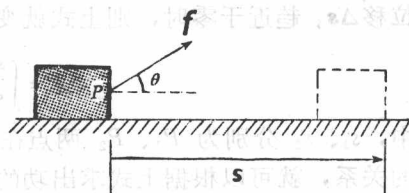


图 1-4 恒力的功

由式(1-5a)可知, 功的量值不仅决定于力和位移的大小, 而且也与它们间的夹角 θ 有关。当 $\theta < \pi/2$ 时, 功为正值。这表示力沿位移方向的分量与位移方向相同, 外力对物体作正功。当 $\theta > \pi/2$ 时, 功为负值。这表示力沿位移方向的分量与位移方向相反, 外力对物体作负功, 或者说, 物体反抗外力做功。例如, 放置在粗糙表面上的物体受外力作用而移动, 则外力对物体作正功, 而粗糙表面作用于物体的摩擦力, 其方向与物体的运动方向相反, 故对物体作负功。当 $\theta = \pi/2$ 时, 即外力和位移方向垂直, 则外力对物体不作功。例如, 物体作曲线运动时, 法向分力便不作功。

功的单位由力和位移的单位决定。在国际单位制中, 功的单位是焦耳(符号 J), 即力在位移方向的分量为1牛, 力的作用点的位移为1米时力所作的功。功的量纲式为 ML^2T^{-2} 。

2. 变力作功 在一般情况下, 作用于物体的外力的大小和方向是不断变化的, 这时物体就作曲线运动。如图1-5(a)所示, 设一物体在变力 f 作用下作曲线运动。为了

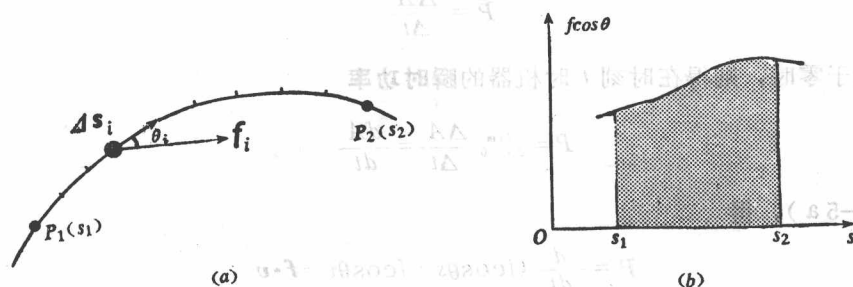


图 1-5 变力的功

计算变力在 P_1P_2 这段路程上所作的功, 我们把这段路程分为许多小段。由于各小段分得充分小, 对于其中任一小段弧长 Δs_i , 可以看成是与相应的位移 Δs_i 大小相等, Δs_i 的方向则是沿曲线上力的作用点的切线方向。在每小段位移 Δs_i 中, 力 f_i 的大小和方向都可以看成不变, 因此力对物体所作的功, 可以看成是恒力的功, 即