



面向 21 世纪课程教材学习辅导书

物理学 **第三版** 学习指导书

刘克哲 张承琚



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



内容简介

面向21世纪课程教材学习辅导书

物理学 **第三版** 学习指导书

刘克哲 张承琚

清华大学物理系 编

本书是面向21世纪课程教材《物理学》第三版的配套学习指导书。本书可作为高等院校物理专业及相关专业师生的教学参考书，也可供从事物理工作的工程技术人员参考。

章	节	主要内容	学时
第1章	1.1	力学的基本概念	2
第2章	2.1	运动学	2
第3章	3.1	牛顿运动定律	2
第4章	4.1	功和能	2
第5章	5.1	动量和角动量	2
第6章	6.1	刚体运动	2
第7章	7.1	流体力学	2
第8章	8.1	热力学	2
第9章	9.1	电磁学	2
第10章	10.1	波动学	2
第11章	11.1	光学	2
第12章	12.1	原子物理学	2
第13章	13.1	核物理学	2
第14章	14.1	粒子物理学	2



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

地址：北京市西城区德胜门内大街2号
邮编：100089
电话：(010) 58581000

内容简介

本书是与刘克哲、张承琚“面向 21 世纪课程教材”《物理学》(第三版)相配套的教学参考书。本书按照主教材的顺序编排,除第二十章外,每章都由基本要求、概念阐释、例题分析和习题解答四部分组成。概念阐释部分是本书的主体,它从不同的侧面对教材所涉及的物理概念和规律进行了讨论,并指出了在理解这些概念和规律时应注意的地方。例题分析部分对典型例题作出了分析,有时还给出多种求解方法和应注意的事项。第二十章可以作为学生的阅读资料,以期激发学生学习物理学的兴趣。本书可以帮助学生掌握教材的主要内容和理解其中的基本概念及基本规律,对授课教师也有参考价值。

本书可作为普通高等学校非物理类专业基础物理课程的教学参考书,也可供中学物理教师进修和自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

物理学(第三版)学习指导书/刘克哲,张承琚. —北京:高等教育出版社,2006.1
ISBN 7-04-017782-X

I. 物... II. ①刘... ②张... III. 物理学-高等学校-教材参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 140838 号

策划编辑 刘伟 责任编辑 钟金城 封面设计 张楠 责任绘图 尹莉
版式设计 王莹 责任校对 王效珍 责任印制 孔源

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 化学工业出版社印刷厂

开本 787×960 1/16
印张 33.75
字数 630 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2006 年 1 月第 1 版
印次 2006 年 1 月第 1 次印刷
定价 41.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17782-00

前 言

《物理学》(第三版)(刘克哲、张承琚编著,高等教育出版社,2005年)是在第二版的基础上修改而成的。《物理学》第二版是“面向21世纪课程教材”,是普通高等教育“九五”国家教委重点教材,以该书为主讲教材的“物理学”课程被评为2004年度国家精品课程。为配合《物理学》(第三版)的使用,特别是帮助学生,我们编写了这本学习指导书。关于学习物理学的目的、物理学的研究方法和特点,在教材《物理学》(第三版)的绪论中已作了概述。这里,我们想结合学生的学习谈谈此书的内容和使用。

学习物理学,首先应该认真钻研教材内容,正确掌握教材中所阐述的基本知识、基本概念、基本规律和基本方法。实践表明,要学好物理学,必须透彻理解物理概念和物理量的定义,牢固把握原理、定律和定理的涵义、适用范围和条件。而要达到这个目的的第一步,也是最重要的一步,就是仔细阅读和认真钻研教材内容。规律是通过概念和物理量来表达的,只有正确理解了概念和物理量的定义,才能真正掌握规律的涵义。同时,概念和物理量的真正意义又是体现在它们所表述的规律之中的,只有结合这些规律进行思考和研究,才能对概念有深入的理解。为了帮助读者阅读教材和加深对教材内容的理解,本书在[概念阐释]部分,从不同角度和侧面对概念和规律的涵义进行了分析,或说明在理解和掌握它们时应注意的问题,或指出经常出现的错误和容易混淆的问题并作必要的解释,或在教材讲述的范围内指出应理解和掌握的要点,或把教材讲述的内容作适当的扩展和补充。所以,[概念阐释]部分体现了本书编写的初衷,并构成了本书的主体。希望读者在阅读这部分时,必须与教材的相应内容结合起来,不能脱离教材只读[概念阐释]。[概念阐释]部分不是对教材内容的系统总结和叙述,而只是起一些辅导和参考的作用。

其次,读者应该认真地做一些习题。做习题可以检查自己对概念和规律掌握的情况,也可以启发自己将已学理论用于分析和解决实际问题。所以,做习题既是正确理解基本概念和基本规律的重要辅助手段,也是培养分析问题和解决问题能力的极好机会。为了帮助读者做好习题,本书中每章的[例题分析]部分通过对典型例题的分析和解答,起一些示范作用,有时也给出多种求解方法和应注意的事项。读者可以在理解了教材中的例题之后,仿照[例题分析]部分中解题的格式和步骤,完成教师布置的习题。

上面我们把阅读和钻研教材内容放在第一位,而把解题训练放在第二位,也就是辅助的地位。可是有不少初学大学物理的读者往往把这种主次关系颠倒了,误认为学物理就是解物理题目,有的甚至对教材内容、基本概念和基本规律

不完全理解或完全不理解,就一头扎在题目堆里。这种学习方法是错误的,希望读者不要这样做。

本书每章的第一部分[基本要求]向读者指明了该章必须掌握的主要内容,读者可以从中领悟到该章的重点。在开始学习每一章时,希望读者先阅读一下本书相应那一章的[基本要求],由于这一章所涉及的概念读者尚不熟悉,不可能对所述内容深刻理解,只要求做到心中有数就够了。在不断学习的过程中,[基本要求]可以成为读者认识该章内容的主与次、重点与一般的依据。学完每一章之后,希望读者再回过头来看一下该章的[基本要求],检查一下自己是否已掌握了该章的主要内容,是否达到了该章的基本要求。不过,这里所说的重点,是从《物理学》(第三版)编写的侧重面而言的,或者说,是作者的主观认识。但是,从不同专业的需要来看,这种认识可能会有差异,授课教师可以根据教学要求和专业需要提出自己认为合适的基本要求。

本书的第四部分[习题解答],在这部分中对《物理学》第三版的绝大部分习题都做了详细的求解,以供教师和学生参考。我们认为,本书的读者应该把解题的侧重面放在解题思路的正确性和解题步骤的规范性上。所以,我们希望读者在完成教师所布置习题的时候,也能把这两点作为解题的主要要求。

上述希望和建议仅供读者参考。有理由相信,读者在不断学习的过程中会摸索出一套适合自己情况的学习方法来的。

第二十章中的参考资料反映了近期在黑洞理论研究方面的进展和对天体探测的科学活动,可以作为扩大学生视野、了解天体物理学研究动态的阅读资料,以期激发学生学习物理学的兴趣。

在本书的编写过程中,得到了兰州大学高崇伊教授和山东大学何希庆教授的帮助。高等教育出版社胡凯飞、刘伟等老师也为本书的修订做了大量工作。作者谨在此表示深切感谢。

由于作者水平所限,书中难免存在不当之处和错误,希望专家和读者批评指正。

刘克哲、张承琚

2005年4月9日

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章	质点的运动	1
第二章	机械能守恒定律	40
第三章	动量守恒定律	59
第四章	角动量守恒定律	77
第五章	刚体力学	90
第六章	流体力学	110
第七章	振动和波动	124
第八章	狭义相对论	162
第九章	气体、固体和液体的基本性质	176
第十章	电荷和静电场	211
第十一章	电流和恒磁场	257
第十二章	电磁感应和麦克斯韦电磁理论	298
第十三章	电路和磁路	324
第十四章	光学	350
第十五章	波与粒子	397
第十六章	量子力学基础	418
第十七章	电子的自旋和原子的壳层结构	437
第十八章	热力学与统计物理学概述	458
第十九章	原子核和粒子	498
第二十章	天体和宇宙	520

第一章 质点的运动

[基本要求]

1. 掌握描述质点运动的物理量的定义和性质,这些物理量包括:位置矢量、时间、位移、路程、速度、速率和加速度等;
2. 掌握并能运用描述质点运动的三种常用坐标系,即直角坐标系、平面极坐标系和自然坐标系;
3. 理解并掌握牛顿三定律的物理内容、定律所涉及的物理概念,并能运用它们求解质点运动问题;
4. 清楚地认识力学中常见的三种力(万有引力、弹性力和摩擦力)的性质,并能在具体的力学问题中正确地处理它们;
5. 理解伽利略相对性原理的实质,掌握三种惯性力的成因、表现和表示方法,并能用以处理具体问题。

[概念阐释]

一、质点和参考系 (§ 1-1)

1. 机械运动

机械运动是指一个物体相对于另一个物体的位置或一个物体内部某一部分相对于其他部分的位置随时间的变化过程。物质运动的形态是多种多样的,其中最简单、最普遍的形态,就是机械运动。在理解机械运动这个概念时应注意以下几点。

(1) 机械运动的绝对性

江河的奔流、车辆的行驶,以及机械的运转都被认为是运动;而山川、桥梁和房屋等却被认为是静止的,实际上它们也都在运动,它们随地球一起自转和绕太阳公转。太阳、银河以及所有星系都在以惊人的速度运行着。所以,一切物体都处于永恒的运动之中,绝对静止的物体是不存在的,这就是物体运动的绝对性,或者说,运动本身是绝对的。

(2) 机械运动的相对性

我们说一个物体在运动,总是指这个物体相对于其他物体的位置变化而言的。如果我们只孤立考察一个物体,不去注意它同其他物体相对位置的关系,那

么我们就不可能断定这个物体是否在运动和如何运动。例如,坐在以匀速直线平稳行驶的船舱里的旅客,如果不去观察河岸上的树木和房屋,就无法知道自己乘坐的船是在行驶还是在停泊。所以,要描述一个物体的运动,总是以这个物体相对于另一个物体或几个相互间保持静止的物体群的位置是否发生变化,作为判断这个物体是否在运动的依据。从这个意义上讲,机械运动具有相对性,或者说,对运动的描述是相对的。

2. 质点

质点是一个理想模型,是力学中的一个十分重要的概念。

(1) 把一个物体看做一个质点,实际上就是突出物体具有质量和占有位置这两个根本性质,而忽略了物体的大小和形状。

(2) 能否把一个物体看做一个质点,具有相对的意义。同一个物体,在有的问题中可以看做质点,而在另一些问题中则不能。这决定于该物体的大小和形状在所讨论的问题中,是否处于无关紧要的地位。

(3) 质点概念的重要性

a) 首先表现在,当物体的大小和形状对于所研究的问题无关紧要时,可以把物体当成一个质点,使问题简化;

b) 质点概念的重要性还表现在,在不能把物体看做为一个质点的问题中,可以把该物体分割成很多体元,而每个体元都足够小,以致在所讨论的问题中可以看做质点。对于每个这样的体元,我们可以运用质点力学的规律,把得到的所有体元的运动规律叠加起来就可以得出整个物体的运动规律。质点组力学和刚体力学就是这样去处理问题的。

(4) 不要把质点与微观粒子混同起来。质点是没有大小和形状,但具有宏观物体质量的理想模型,是对实际物体的抽象,并不是真实的存在;微观粒子,如原子、质子和中子等都具有一定的大小,但质量微小。也正是因为微观粒子的质量微小,因而只是在很小的运动范围内才可以用经典力学的规律处理,而在一般情况下却遵从量子力学规律。

3. 参考系

选取参考系,这是机械运动的描述具有相对性的要求。

由于机械运动的描述具有相对性,为了描述一个物体的运动,我们必须先选择另一个或几个物体作为参考标准,然后考察这个物体相对于该参考标准是否发生位置的变化,如果发生了位置变化,我们就说这个物体在运动,否则就说这个物体是静止的。被选作参考标准的物体或物体群,就称为参考系,或者说,参考系总是由与被描述的运动物体可相比拟的具体物体系统所组成的。

二、描述物体运动的物理量 (§1-2)

1. 位移

位移是表示质点从初始时刻 t 到终止时刻 $t + \Delta t$, 位置变更的大小和方向的物理量。在理解位移矢量时, 应注意它与其他量的差异。

(1) 位移与位置矢量

它们都是矢量, 也都与参考系的选取有关, 但位置矢量还与参考点 (即坐标原点) 的选取有关, 而位移却与参考点的选取无关。显然, 在一般情况下, 这两个物理量是不能混同的。而如果质点初始时刻的位置正好处于坐标原点, 那么到终止时刻, 质点的位置矢量与这一过程的位移就一致了。尽管如此, 我们必须注意到, 位置矢量是表示质点位置的, 总是与某一确定时刻相对应, 所以是瞬时量; 位移矢量是表示质点位置变化的, 总是与某一确定时间间隔相对应, 所以是过程量。

(2) 位移与路程

教材中对这两个量作了比较和讨论, 这里不再重复。只有在质点作单向性直线运动时, 位移的大小才等于路程。

(3) $|\Delta \mathbf{r}|$ 、 $\Delta |\mathbf{r}|$ 和 Δr :

如果质点在 t 时刻处于点 A , 位置矢量为 $\mathbf{r}_A$, 经过 Δt 时间到达点 B , 位置矢量变为 $\mathbf{r}_B$, 则质点的位移应表示为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t).$$

在上式中, 不要将两个相减量的顺序颠倒了。因为 $\mathbf{r}$ 和 $|\mathbf{r}|$ 意义相同, 都表示位置矢量的模或长度, 所以 $\Delta \mathbf{r}$ 和 $\Delta |\mathbf{r}|$ 意义相同。由图 1-1 可见, $\Delta \mathbf{r}$ 和 $\Delta |\mathbf{r}|$ 都代表末位置矢量 $\mathbf{r}_B$ 与始位置矢量 $\mathbf{r}_A$ 的长度之差。而 $|\Delta \mathbf{r}|$ 则表示位移矢量的模, 或位移矢量的大小。

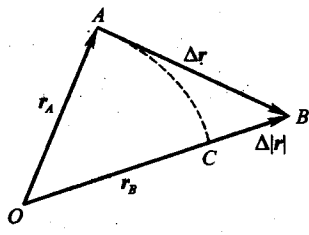


图 1-1

2. 速度

速度是描述质点空间位置变更快慢和运动方向的物理量, 等于位置矢量随时间的变化率, 或位置矢量对时间的一阶导数。

(1) 质点的速度就是质点运动的真实速度。

(2) 对于速度, 还要注意以下问题。

a) 速度的瞬时性

速度就是瞬时速度, 反映了质点在某一瞬间或某一位置上运动的快慢和方向。在这方面, 必须与平均速度的概念加以区别。

b) 速度的方向性

速度是矢量, 它的方向是平均速度的极限方向, 即沿运行轨道切线并指向质

点前进的方向。在这方面,必须与速率的概念加以区别。速率等于速度的大小,或等于速度矢量的绝对值。但不能由此推断,平均速率等于平均速度的大小,或等于平均速度矢量的绝对值。

c) 速度的相对性

速度是一个与参考系的选择有关的物理量,当参考系变换了,速度的大小和方向也随着改变。在这方面,应与机械运动的相对性联系起来。

3. 加速度

(1) 加速度是描述运动速度随时间变化的物理量,等于速度矢量对时间的导数。

(2) 加速度的方向常常会使初学的读者产生一些困惑。这里我们想借助于“矢端曲线”来理解加速度的方向问题。

我们首先把加速度 $\mathbf{a}$ 的定义式与速度 $\mathbf{v}$ 的定义式比较一下:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}, \mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}.$$

$\mathbf{v}$ 是质点位置矢量 $\mathbf{r}$ 对时间 t 的导数,而 $\mathbf{r}$ 的矢端曲线(连接质点在运动过程中各位置矢量末端所形成的曲线)就是质点运动的轨迹, $\mathbf{v}$ 的方向就沿 $\mathbf{r}$ 矢端曲线的切线,并指向与 t 增加相对应的方向;既然 $\mathbf{a}$ 是速度矢量 $\mathbf{v}$ 对时间 t 的导数,那么加速度矢量 $\mathbf{a}$ 的方向必定沿矢量 $\mathbf{v}$ 的矢端曲线的切线,并指向与 t 增加相对应的方向。

举一个具体例子。质点沿图 1-2(a) 所示的圆周运动,在圆周上 A、B、C 和 D 各点的速度分别为 $\mathbf{v}_1$ 、 $\mathbf{v}_2$ 、 $\mathbf{v}_3$ 和 $\mathbf{v}_4$, 加速度分别为 $\mathbf{a}_1$ 、 $\mathbf{a}_2$ 、 $\mathbf{a}_3$ 和 $\mathbf{a}_4$, 若以圆心为坐标原点,则位置矢量分别为 $\mathbf{r}_1$ 、 $\mathbf{r}_2$ 、 $\mathbf{r}_3$ 和 $\mathbf{r}_4$ 。显然,位置矢量 $\mathbf{r}$ 的矢端曲线,就是图中所示的圆周。现取 O' 点作为各速度矢量的始点,将 $\mathbf{v}_1$ 、 $\mathbf{v}_2$ 、 $\mathbf{v}_3$ 和 $\mathbf{v}_4$ 平移至图 1-2(b) 中,连接矢量 $\mathbf{v}_1$ 、 $\mathbf{v}_2$ 、 $\mathbf{v}_3$ 和 $\mathbf{v}_4$ 的端点 A'、B'、C' 和 D', 就构成了速度矢量的矢端曲线 A'B'C'D'。过 A'、B'、C' 和 D' 各点分别作矢端曲

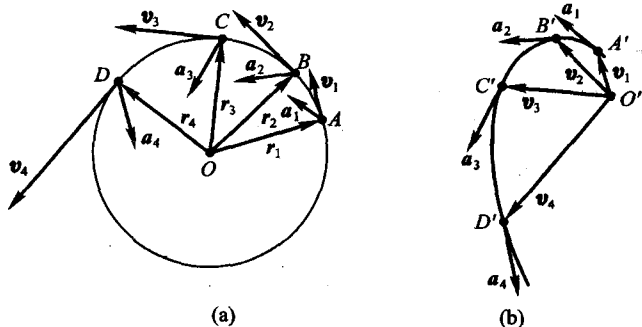


图 1-2

线的切线,则这些切线必定分别平行于图 1-2(a)中的矢量 a_1 、 a_2 、 a_3 和 a_4 。

(3) 我们还应搞清关于加速度的另一些问题。有人认为“加速度就是速度的增加”,这是不正确的。速度的增加和速度的减小都是速度的变化,都只反映速度大小的变化。而加速度是速度的时间变化率,它反映了速度变化的快慢,这种变化既包括速度大小的变化,也包括速度方向的变化。如果质点速度的大小既不增加,也不减小,只是方向在变化,显然,质点的加速度并不等于零。

速度和加速度是两个涵义不同的物理量,它们的大小之间没有必然联系。速度的大或小,反映了质点运动的快或慢,而加速度的大或小,反映了质点速度变化的快或慢。若一个质点运动的速度很大而变化很小,或者根本不变化,那么这个质点的加速度就很小,甚至为零。反之,一个质点运动的速度很小,甚至在某时刻等于零,但是,如果在很短的时间内其速度发生了很大的变化,那么这个质点的加速度就很大。

三、描述质点运动的坐标系 (§ 1-3)

1. 什么是坐标系

坐标系是指固定在参考系上的数学坐标,它的作用是把运动物体在每一时刻相对于参考系的位置定量地表示出来。在建立坐标系的问题上应注意以下几点。

(1) 首先应注意不要把坐标系与参考系混淆了。参考系是指为描述物体运动而选作参考标准的物体或物体群,利用它来判断物体是否在运动和如何运动。但是,只有参考系还不能把物体运动时的确切位置表示出来。

同时还应看到,在描述物体运动的问题中,坐标系必须依附于参考系,离开了参考系,坐标系便失去了意义。在研究物体运动时,若选取不同的参考系,所得的运动规律的数学表达式和结果常常是大相径庭的。而在同一个参考系上建立不同的坐标系(即选取不同的固定点作为坐标原点),对同一物体的运动规律和结果不会产生多大变化,只会影响计算的繁简。

(2) 在很多情况下,坐标系的建立,还可以帮助我们分析和解决问题。例如,以后我们会经常遇到列出并求解质点运动方程的问题,而质点一般是受多个力作用的,这些力中,哪个是正的,哪个是负的,对于质点的运动是至关重要的,是在列方程时必须明确的。当我们建立了坐标系之后,把这些力投影到坐标轴上来,与坐标轴同方向的为正,与坐标轴反方向的为负,运动方程很容易地就列出来了。

(3) 在物理学中,坐标系的建立还有更加广泛的意义。物理学中的方程式在很多情况下都是矢量方程,而矢量方程的求解,特别是矢量的积分,必须先化为分量式才可以进行。要将矢量式化为标量式,必须建立坐标系。

2. 常用的坐标系

(1) 直角坐标系:坐标原点 O 取在参考系的一固定点上,过原点 O 的三条相互垂直的带有刻度的坐标轴,即 x 轴、 y 轴和 z 轴,应满足右螺旋关系,即当右手四指由 x 轴方向转向 y 轴方向时,伸直的拇指则指向 z 轴的正方向。

直角坐标系是描述质点运动最常用的坐标系。

(2) 平面极坐标系:在平面问题中只需用二维坐标系就够了。常用的二维坐标系中,有二维直角坐标系和平面极坐标系。利用平面极坐标系研究曲线运动,特别是圆周运动是非常方便的。

在所研究的平面内,取参考系上一固定点 O 作为极点,过极点作一条固定射线 OA (或 Ox) 作为极轴,就构成了平面极坐标系。对于平面内任意一点 P ,连线 OP 称为点 P 的极径,用 ρ 表示;自 OA 到 OP 所转过的角称为点 P 的极角,用 θ 表示。极径和极角,即 (ρ, θ) 是惟一确定点 P 位置的两个量,被称为点 P 的极坐标。

显然,平面极坐标与二维直角坐标之间的变换关系可以表示为

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \theta, & y &= \rho \sin \theta; \\ \rho &= \sqrt{x^2 + y^2}, & \theta &= \arctan \frac{y}{x}. \end{aligned}$$

我们可以利用这种关系,在这两种坐标系之间互相转换。

在平面极坐标系中,也定义了两个单位矢量,即径向单位矢量 e_ρ 和横向单位矢量 e_θ 。径向单位矢量 e_ρ 沿极径 ρ 增大的方向,横向单位矢量 e_θ 与径向单位矢量 e_ρ 垂直,沿极角 θ 增大的方向。

应该指出的是,径向单位矢量 e_ρ 的方向和横向单位矢量 e_θ 的方向都是随所讨论的点的位置的不同而不同的。若质点的位置在随时间变化,则这两个单位矢量的方向也都在随时间变化,正因如此,我们说,它们都是时间的函数,并分别表示为 $e_\rho(t)$ 和 $e_\theta(t)$ 。表面看起来,这使得运动学公式变得繁杂了,而实际上正是由于这一特点,使问题变得更加简明了。

(3) 自然坐标系:自然坐标系是沿质点的运动轨道建立的坐标系。在质点运动轨道上任取一点作为坐标原点 O ,质点在任意时刻的位置,都可用它到坐标原点 O 的轨迹的长度 s 来表示。

在自然坐标系中,两个单位矢量是这样定义的:切向单位矢量 e_t ,沿质点所在点的轨道切线方向;法向单位矢量 e_n ,垂直于在同一点的切向单位矢量 e_t 而指向曲线的凹侧。可见这两个单位矢量的方向,也是随质点位置的不同而不同的。

在自然坐标系中表示质点速度,是非常简单的,因为无论质点处在什么位置上速度都只有切向分量,而没法向分量。

自然坐标系不仅适用于平面运动,也可以用于三维空间的运动。不过在三维情况下,应该引入两个法向单位矢量。

四、牛顿运动定律 (§1-4)

1. 牛顿第一定律

任何物体都要保持其静止状态或匀速直线运动状态,直到其他物体所作用的力迫使它改变这种状态为止。这就是牛顿第一定律。学习这个定律时,必须掌握这个定律的确切表述及其物理涵义,同时还应注意以下几个问题。

(1) 在牛顿第一定律中包含了力的定性定义,即力是质点运动状态改变的原因。我们曾经说过,质点的运动状态是由速度来表征和描述的,所以力的作用是质点速度发生变化的原因。

(2) 在日常生活中人们经常发现,物体虽然受到外力的作用,但却仍然保持着匀速直线运动状态不变。因此,常会错误地认为力是维持物体运动的原因。这种错误的产生是由于对力的考察不周。实际上,物体在自然界中不受外力作用的情况是不存在的,通常都是同时受到多个力的作用。假如一个物体同时受到若干外力的作用,而这些力的合力等于零,那么这些外力各自在物体上所产生的作用就互相抵消。因此在效果上,该物体就如同不受外力作用的情况一样,按照牛顿第一定律,它就要保持静止或匀速直线运动的状态。如果我们在考察这个物体受力情况时,只注意到某一个(或某几个)力,而忽略了另一个(或另一些)力,自然就会得到物体受外力作用而保持匀速直线运动或静止状态的错误结论了。

维持物体运动并不需要力,而是依靠物体本身所固有的特性,即惯性。

(3) 既然力的作用是质点速度改变的原因,而速度变化必然存在加速度。所以我们可以进一步把力的概念引申,断定力的作用是物体获得加速度的原因。这样就用力与加速度联系起来了,从而为力的定量定义做好了准备。

(4) 任何物体都具有保持其运动状态不变的特性,这种特性就是惯性。物体的惯性不仅表现在不受外力作用时保持其原有的静止或匀速直线运动状态不变的性质,而且还表现在物体受到外力作用时其运动状态改变的难易程度上。在一定的外力作用下:物体的惯性越大,要使它改变运动状态就越困难,它所获得的加速度就越小;相反的情况是,物体的惯性越小,要使它改变运动状态就越容易,它所获得的加速度就越大。在这个意义上,牛顿第一定律也为质量的科学定义做好了准备。

(5) 可以认为牛顿运动定律(包括牛顿第一、第二和第三定律)是关于参考系的一种表述,或者说,是作为判断一个参考系是惯性系,还是非惯性系的理论依据。这是因为牛顿运动定律并非适用于一切参考系,牛顿运动定律成立的参

考系称为惯性系,不成立的参考系则称为非惯性系。

(6) 在牛顿运动定律中所涉及的物体,都是质点,因此牛顿运动定律中涉及的物体惯性也是指质点的惯性,即物体平动时的惯性,而不涉及物体的转动。关于转动的惯性,以后我们再作讨论。

2. 牛顿第二定律

质点所获得的加速度 a 的大小与它所受合力 F 的大小成正比,与质点自身的质量 m 成反比;加速度 a 的方向与合力 F 的方向相同。这便是牛顿第二定律。这个定律是牛顿运动定律的核心,经典力学的主要内容都是以它为中心展开的,所以这个定律是力学中的一个十分重要的规律。我们在理解了牛顿第二定律的表述及其物理涵义的基础上,应进一步掌握以下各点。

(1) 牛顿第二定律定量地描述了力的作用效果,即确定了物体所受外力与加速度的关系。而作用力与加速度的关系,把动力学与运动学联系起来了:

如果作用力的方向与质点运动的方向相同,加速度的方向也就与质点运动方向相同,这时质点作加速运动;

如果作用力的方向与质点运动的方向相反,加速度的方向也就与质点运动方向相反,这时质点作减速运动;

如果作用力的方向与质点运动的方向成一定角度,加速度的方向也就与质点运动方向成相同角度,这时质点作曲线运动;

如果作用力等于常量,那么加速度也等于常量,这时质点作匀变速运动。

(2) 牛顿第二定律定量地描述了平动惯性的大小,即规定了质量这一概念的科学涵义。牛顿第二定律指出,各种物体的质量与它们在大小相等的外力作用下所获得的加速度的大小成反比。

长期以来,人们把质量说成是“物体所包括物质的多少”,或“物质的量”,这些说法是不科学的。近代物理学已经表明,物体的质量是随着物体自身运动速度的大小而变化的。如果说质量是“物质的量”,这不就等于说物质的量可以随物体的运动而增多或减少了吗?这显然是不合理的。

(3) 作用于质点的合力与质点加速度之间具有瞬时性和同向性的关系。所谓瞬时性,是指作用力和加速度之间的关系是瞬时的,即质点在什么时刻受力的作用,就在什么时刻产生加速度,在什么时刻失去了力的作用,加速度也就在这一时刻消失。一定不要认为,质点一经受力作用,就永远具有了加速度,尽管这个力早已消失。

所谓同向性,是指作用力的方向与加速度的方向始终相同。

(4) 在应用牛顿第二定律时还应该注意:

a) 单位的选取,因为在公式 $F = kma$ 中 k 的数值和单位与 F 、 m 和 a 的单位的选取有关,在国际单位制中, k 的数值为 1,并且没有单位;

b) 作用力 F 、质量 m 和加速度 a 必须同时对同一物体而言;还要特别注意, F 为物体所受(而不是施)合(而不是分)外(而不是内)力;

c) 在求解问题时,总是将牛顿第二定律的矢量式写成分量式

$$F_x = ma_x,$$

$$F_y = ma_y,$$

$$F_z = ma_z,$$

读者可以根据题意适当地选择坐标轴的取向,使以上三式得以简化。

(5) 牛顿第二定律与牛顿第一定律一样,也不能直接应用于非惯性系。另外,牛顿第二定律只适用于描述宏观物体的低速运动,因为微观物体的运动服从量子力学的规律,高速物体的运动服从狭义相对论力学的规律。

3. 牛顿第三定律

当物体 A 以力 F_{AB} 作用于物体 B 时,物体 B 也必定同时以力 F_{BA} 作用于物体 A , F_{AB} 与 F_{BA} 大小相等,方向相反,并处于同一条直线上。这就是牛顿第三定律。

牛顿第三定律确立了物体之间的作用力具有相互性:

- (1) 受力物体也是施力物体,而施力物体也必定是受力物体;
- (2) 作用力和反作用力没有主、从之分,也没有先、后之别;
- (3) 作用力和反作用力总是成对地产生,并且同时存在、同时消失;
- (4) 作用力和反作用力是具有相同性质的力;
- (5) 作用力和反作用力大小相等、方向相反,并处于同一条直线上;

(6) 作用力和反作用力必定作用在不同的物体上,也正是由于作用在不同的物体上,才保证了作用力的相互性。应该特别注意的是,有时把作用力写为 F_1 ,把反作用力写为 F_2 ,这时牛顿第三定律可以表示为

$$F_1 = -F_2,$$

或

$$F_1 + F_2 = 0.$$

这后一个式子与两个共点力达到平衡时的条件相同。读者务必不要由于数学表示式的形式相同而把作用力和反作用力与达到平衡的两个共点力相混淆了。我们在教材中把牛顿第三定律写为下面的形式:

$$F_{AB} = -F_{BA},$$

正是出于这种考虑。

五、力学中常见的力 (§ 1-5)

1. 万有引力

(1) 万有引力是在任何物体之间存在着相互吸引力。应掌握万有引力定

律的物理内容和下列形式的数学表达式:

$$\mathbf{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^3} \mathbf{r}_{12}.$$

(2) 应该注意的是,这个公式只适用于描述质点之间的万有引力。对于具有一定大小的物体之间的万有引力,在下列三种情况下也可以用上式来表示:

- a) 当两个物体的线度远小于它们之间的距离时,可以将它们看做质点;
- b) 质量均匀分布的球体;
- c) 质量按同心球壳方式分层分布的球体。

(3) 有些读者对处于地球表面或表面附近的物体所受地球的万有引力、重力以及重量和质量等概念,存在一些模糊的认识,这里我们作简要的阐述。

a) 任何物体与地球之间都存在万有引力,并可用上式来描述。任何一个物体的重力都是由这个物体所受地球的万有引力引起的,但是重力与万有引力不是一回事,数值也不相等。这是因为处于地球表面上(除两极以外)任何地方的物体都要跟随地球自转,而绕地轴作圆周运动。作圆周运动必需向心力,向心力的方向与地轴垂直。那么这个向心力由何而来?只能来自地球对它的万有引力。实际上这个向心力只是地球对它的万有引力的一个分力。地球对它的万有引力的另一个分力,就是该物体所受的重力。可见,物体的重力之所以不等于万有引力,就是由于该物体绕地轴运动必需向心力。或者从根本上说,就是由于地球不是惯性系。教材 42 页的例题 1-9 对此进行了讨论。若地球是惯性系,物体的重力必定等于它所受地球的万有引力。

b) 物体重力的大小,就是该物体的重量,常常通过物体在平衡时压在水平支持物上的压力的大小或对悬线的拉力的大小来反映。

c) 不能把重量与质量相混淆。质量是物体的内在属性,是不随物体所处位置而变化的;重量是物体所受重力的大小,随物体所处位置的不同而改变。但两者又是有联系的。在地球的同一点,质量相等的物体所受重力相等,重量也相等,质量不等的物体所受重力也不等,两者重量之比等于其质量之比。在地球的不同地点质量相等的物体,其重量稍有差异。在赤道地区其重量最小,在两极地区其重量最大。

2. 弹性力

弹性力是当两个物体直接接触时,由于物体发生形变而产生的一种相互作用力,并且在一定限度内,形变越大,力也越大,形变消失,力也随之消失。

(1) 弹性力总是与物体的形变相联系的,而要发生形变,物体间必须互相接触。

(2) 两个物体之间的弹性力总是相互的,它们大小相等,方向相反,分别作用于不同的物体上。例如,用绳子悬挂一个物体,绳子与物体互相接触并都发生