



卓越工程技术人才培养特色教材

DAXUE WULI
XUEXI ZHIDAO

大学物理学习指导

主 编 臧涛成 马春兰 程新利

编 者 葛丽娟 毛红敏 时善进 孙 坚 沈娇艳



卓越工程技术人才培养特色教材

《物理学》课程思政案例库

大学物理学习指导

主 编 臧涛成 马春兰 程新利
编 者 葛丽娟 毛红敏 时善进
孙 坚 沈娇艳



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导 / 臧涛成, 马春兰, 程新利主编

—镇江: 江苏大学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5684-0125-8

I. ①大… II. ①臧… ②马… ③程… III. ①物理学
—高等学校—教学参考资料 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 021706 号

大学物理学习指导

主 编/臧涛成 马春兰 程新利

责任编辑/郑晨晖

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江华翔票证印务有限公司

印 刷/丹阳市兴华印刷厂

经 销/江苏省新华书店

开 本/718 mm×1 000 mm 1/16

印 张/16

字 数/307 千字

版 次/2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0125-8

定 价/29.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

江苏省卓越工程技术人才培养特色教材建设

指导委员会

主任委员：丁晓昌（江苏省教育厅副厅长）

副主任委员：史国栋（常州大学党委书记）

孙玉坤（南京工程学院院长）

田立新（南京师范大学副校长）

梅 强（江苏大学副校长）

徐子敏（江苏省教育厅高教处处长）

王 恬（南京农业大学教务处处长）

委 员 会：（按姓氏笔画为序）

丁晓昌 马 铸 王 兵 王 恬

方海林 田立新 史国栋 冯年华

朱开永 朱林生 孙玉坤 孙红军

孙秀华 芮月英 李江蛟 吴建华

吴晓琳 沐仁旺 张仲谋 张国昌

张明燕 陆雄华 陈小兵 陈仁平

邵 进 施盛威 耿焕同 徐子敏

徐百友 徐薇薇 梅 强 董梅芳

傅菊芬 舒小平 路正南

序

深化高等工程教育改革、提高工程技术人才培养质量,是增强自主创新能力、促进经济转型升级、全面提升地区竞争力的迫切要求。近年来,江苏高等工程教育飞速发展,全省46所普通本科院校中开设工学专业的学校有45所,工学专业在校生约占全省普通本科院校在校生总数的40%,为“十一五”末江苏成功跻身全国第一工业大省做出了积极贡献。

“十二五”时期是江苏加快经济转型升级、发展创新型经济、全面建设更高水平小康社会的关键阶段。教育部“卓越工程师教育培养计划”启动实施以来,江苏认真贯彻教育部文件精神,结合地方高等教育实际,着力优化高等工程教育体系,深化高等工程教学改革,努力培养造就一大批创新能力强、适应江苏社会经济发展需要的卓越工程技术后备人才。

教材建设是人才培养的基础工作和重要抓手。培养高素质的工程技术人才,需要遵循工程技术教育规律,建设一套理念先进、针对性强、富有特色的优秀教材。随着知识社会和信息时代的到来,知识综合、学科交叉趋势增强,教学的开放性与多样性更加突出,加之图书出版行业体制机制也发生了深刻变化,迫切需要教育行政部门、高

等学校、行业企业、出版部门和社会各界通力合作,协同作战,在新一轮高等工程教育改革发展中抢占制高点。

2010年以来,江苏大学出版社积极开展市场分析和行业调研,先后多次组织全省相关高校专家、企业代表就应用型本科人才培养和教材建设工作进行深入研讨。经各方充分协商,拟定了“江苏省卓越工程技术人才培养特色教材”开发建设的实施意见,明确了教材开发总体思路,确立了编写原则:

一是注重定位准确,科学区分。教材应符合相应高等工程教育的办学定位和人才培养目标,恰当地把握研究型工程人才、设计型工程人才及技能型工程人才的区分度,增强教材的针对性。

二是注重理念先进,贴近业界。吸收先进的学术研究与技术开发成果,适应经济转型升级需求,适应社会用人单位管理、技术革新的需要,具有较强的领先性。

三是注重三位一体,能力为重。紧扣人才培养的知识、能力、素质要求,着力培养学生的工程职业道德和人文科学素养、创新意识和工程实践能力、国际视野和沟通协作能力。

四是注重应用为本,强化实践。充分体现用人单位对教学内容、教学实践设计、工艺流程的要求以及对人才综合素质的要求,着力解决以往教材中应用性缺失、实践环节薄弱、与用人单位要求脱节等问题,将学生创新教育、创业实践与社会需求充分衔接起来。

五是注重紧扣主线,整体优化。把培养学生工程技术能力作为主线,系统考虑、整体构建教材体系和特色,包括

合理设置课件、习题库、实践课题,以及在教学、实践环节中合理设置基础、拓展、复合应用之间的比例结构等。

该套教材组建了阵容强大的编写专家及审稿专家队伍,汇集了国家教学指导委员会委员、学科带头人、教学一线名师、人力资源专家、大型企业高级工程师等。编写和审稿队伍主要由长期从事教育教学改革实践工作的资深教师、对工程技术人才培养研究颇有建树的教育管理专家组成。在编写、审定教材时,他们紧扣指导思想和编写原则,深入探讨、科学创新、严谨细致、字斟句酌,倾注了大量的心血,为教材质量提供了重要保障。

该套教材在课程设置上基本涵盖了卓越工程技术人才培养所涉及的有关专业的公共基础课、专业基础课、专业课、专业特色课等;在编写出版上采取突出重点、以点带面、有序推进的策略,成熟一本出版一本。希望大家在教材的编写和使用过程中,积极提出意见和建议,集思广益,不断改进,以期经过不懈努力,形成一套参与度与认可度高、覆盖面广、特色鲜明、有强大生命力的优秀教材。

江苏省教育厅副厅长

丁晓昌

2012年8月

◎ 前 言 ◎

大学物理是高等学校非物理类理工科专业的基础课程. 本书是按马文蔚、周雨青主编的《物理学教程》(第二版)各章顺序编写. 每章分为基本要求、内容提要、典型例题、习题选讲和综合练习 5 个部分. 基本要求部分简明扼要地指出每章应该掌握、理解与了解的内容; 内容提要部分系统概括和总结了本章的主要内容和知识点; 典型例题部分则精选了教材以外的具有典型意义的题目讲解; 习题选讲部分的题目均为《物理学教程》中的习题(为使用方便, 题号与《物理学教程》相应各章习题题号一致). 典型例题和习题选讲两部分所选例题力求内容丰富、难度适当并能覆盖主要知识点.

本书是由作者在原编写的苏州大学出版社出版的《大学物理学习指导》一书的基础上修订而成. 本次修订时对原书在教学实践中发现的一些问题和疏漏之处进行了订正并补充了部分内容和习题. 书中左上角打“ Δ ”号者表示超纲(针对本校), 左上角打“*”号者表示有一定难度, 使用时教师可根据具体情况适当选取.

本书编写分工如下: 第 1, 2 章由孙坚编写, 第 3, 4 章由马春兰编写, 第 5, 6 章由臧涛成编写, 第 7, 8 章由时善进编写, 第 9, 10 章由葛丽娟编写, 第 11, 12 章由沈娇艳编写, 第 13, 14 章由毛红敏编写, 第 15, 16 章由程新利编写. 全书由臧涛成、马春兰、程新利修订并统稿.

本书编写过程参考了同类教学辅导书及其他形式的资料, 不便一一列举, 编者在此表示歉意并衷心感谢.

本书在出版过程中得到了苏州科技学院数理学院领导、江苏大学出版社李文新编辑的大力支持, 在校研究生陈高远等对综合练习答案进行了核对, 在此编者一并表示诚挚的感谢.

本书具有一定的通用性, 可作为理工科院校相关各专业大学物理课程的教学辅导参考.

限于编者水平, 书中难免出现错漏之处, 敬请批评指正.

编 者

2015. 11 于苏州

◎ 目 录 ◎

第 1 章 质点运动学	001
基本要求	001
内容提要	001
典型例题	005
习题选讲	007
综合练习	010
第 2 章 牛顿定律	015
基本要求	015
内容提要	015
典型例题	017
习题选讲	019
综合练习	022
第 3 章 动量守恒定律和能量守恒定律	029
基本要求	029
内容提要	029
典型例题	032
习题选讲	035
综合练习	038
第 4 章 刚体转动	045
基本要求	045
内容提要	045
典型例题	049
习题选讲	052

综合练习	054
第 5 章 机械振动	059
基本要求	059
内容提要	059
典型例题	063
习题选讲	067
综合练习	069
第 6 章 机械波	075
基本要求	075
内容提要	075
典型例题	079
习题选讲	081
综合练习	084
第 7 章 气体动理论	089
基本要求	089
内容提要	089
典型例题	092
习题选讲	094
综合练习	096
第 8 章 热力学基础	102
基本要求	102
内容提要	102
典型例题	105
习题选讲	108
综合练习	110
第 9 章 静电场	115
基本要求	115
内容提要	115
典型例题	118



习题选讲	120
综合练习	124
第 10 章 静电场中的导体和电介质	131
基本要求	131
内容提要	131
典型例题	133
习题选讲	135
综合练习	140
第 11 章 恒定磁场	144
基本要求	144
内容提要	144
典型例题	147
习题选讲	150
综合练习	154
第 12 章 电磁感应 电磁场	162
基本要求	162
内容提要	162
典型例题	165
习题选讲	168
综合练习	171
第 13 章 几何光学	180
基本要求	180
内容提要	180
典型例题	183
习题选讲	184
综合练习	185
第 14 章 波动光学	188
基本要求	188
内容提要	188

典型例题	194
习题选讲	196
综合练习	199
 第 15 章 狭义相对论	205
基本要求	205
内容提要	205
典型例题	207
习题选讲	209
综合练习	210
 第 16 章 量子物理	213
基本要求	213
内容提要	213
典型例题	216
习题选讲	217
综合练习	219
 综合练习题答案	225
 参考文献	241

第1章

质点运动学

基本要求

- (1) 掌握位置矢量、位移、速度、加速度等描述质点运动及变化的物理量的概念。
- (2) 理解运动方程的物理意义,熟练掌握由运动方程求解速度和加速度的方法,基本掌握已知质点运动加速度和初始条件求速度、运动方程的方法。
- (3) 掌握曲线运动的自然坐标表示法,能计算质点在平面内运动时的速度和加速度,以及质点做圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。
- (4) 理解质点的相对运动问题。

内容提要

1. 参考系、坐标系和质点模型

- (1) 参考系:定性描述物体运动而选用的标准物体或物体系。
- (2) 坐标系:定量描述物体的位置与运动情况,在给定的参考系上建立的带有标尺的数学坐标。

坐标系的种类较多,视不同需要而选择。大学物理中常用的坐标系有直角坐标系(x, y, z)、极坐标系(r, θ)、自然坐标系等。在解某些力学问题时,经常会用到自然坐标系。

(3) 质点:具有一定质量而大小或形状可以忽略的理想物体,一般有2种简化:

- ① 转动物体自身线度与其活动范围相比小得多时可视为质点。
- ② 物体平时时可视为质点。

2. 描述质点运动的物理量

(1) 位矢(位置矢量) $\boldsymbol{r}(t)$: 确定质点在某个时刻空间具体位置的物理量, 是指从坐标原点指向空间某点的有向线段.

直角坐标系中:

$$\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}.$$

其大小

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

方向可用与直角 3 个坐标轴的夹角余弦表示, 即

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \cos \beta = \frac{y}{r}, \cos \gamma = \frac{z}{r}.$$

(2) 位移 $\Delta \boldsymbol{r}$: 描述质点 Δt 时间内位置移动的物理量, 是指 $\boldsymbol{r}(t)$ 端点指向 $\boldsymbol{r}(t + \Delta t)$ 端点的有向线段, 即

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t + \Delta t) - \boldsymbol{r}(t).$$

位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 表示 Δt 时间内质点位置变化的净效果, 与质点的运动轨迹无关, 只与始、末点位置有关.

在直角坐标系中,

$$\Delta \boldsymbol{r} = (x_2 - x_1)\boldsymbol{i} + (y_2 - y_1)\boldsymbol{j} + (z_2 - z_1)\boldsymbol{k} = \Delta x\boldsymbol{i} + \Delta y\boldsymbol{j} + \Delta z\boldsymbol{k},$$

位移的模

$$|\Delta \boldsymbol{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}.$$

(3) 路程 Δs : 描述质点 Δt 时间内通过的实际轨迹长度的物理量. Δs 是标量, 与质点运动轨迹有关.

$|\Delta \boldsymbol{r}|$ 、 Δr 及 Δs 关系如图 1-1 所示.

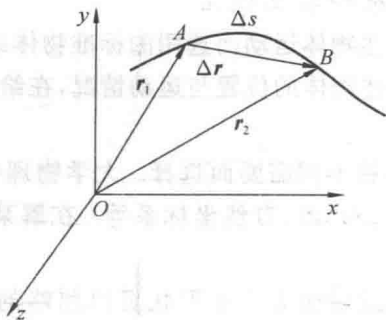


图 1-1

$|\Delta \boldsymbol{r}|$ 指在 Δt 时间内位移的大小, $|\Delta \boldsymbol{r}| = \overline{AB}$; Δr 指 Δt 时间内位矢大小(模)的增量, $\Delta r = |\boldsymbol{r}_2| - |\boldsymbol{r}_1| = r_2 - r_1$; Δs 指 Δt 时间内的路程.

通常情况下, $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta r \neq \Delta s$. 曲线运动时, $\Delta t \rightarrow 0$ 时有 $d\boldsymbol{r} = ds$.

(4) 速度 $\boldsymbol{v}$: 描述质点运动的快慢和方向的物理量.

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}.$$

直角坐标系中, $\boldsymbol{v} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt}\boldsymbol{k} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k}$, 方向沿质点所在处曲线切线并指向前进一侧, 速度的大小 $v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$ 也称为速率, 速率还可以用路程对时间的变化率表示, 即 $v = \frac{ds}{dt}$.

Δt 内的平均速度 $\bar{\boldsymbol{v}}$ 定义为 Δt 时间内的位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 与 Δt 之比, 即 $\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$.

(5) 加速度 $\boldsymbol{a}$: 描述质点速度大小、方向变化快慢的物理量.

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt}.$$

在直角坐标系中,

$$\boldsymbol{a} = \frac{d^2x}{dt^2}\boldsymbol{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\boldsymbol{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\boldsymbol{k} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k},$$

$$a = |\boldsymbol{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2},$$

曲线运动时, $\boldsymbol{a}$ 的方向指向质点所在处曲线的凹侧.

3. 运动方程及运动学两类基本问题

(1) 运动方程和轨迹方程.

在一定的坐标系中, 质点的位置随时间按一定规律变化, 位置用坐标表示为时间的函数, 叫作运动方程. 质点运动轨迹的曲线方程称为轨迹方程.

运动方程:

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t).$$

直角坐标系中的分量式:

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t).$$

由分量式消去 t 得轨迹方程:

$$f(x, y, z) = 0.$$

(2) 运动学的两类基本问题.

① 已知运动方程, 求速度和加速度, 称为第一类问题.

将已知函数 $\boldsymbol{r}(t)$ 对时间 t 求导数即可, 即

$$\boldsymbol{r} \xrightarrow{\text{求导}} \boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \xrightarrow{\text{求导}} \boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt}.$$

② 已知速度和加速度, 求运动方程, 称为第二类问题.

若已知速度、加速度与 t 的关系, 直接进行积分即可, 即

$$a = a(t) \xrightarrow{\text{积分}} v = v_0 + \int a dt \xrightarrow{\text{积分}} r = r_0 + \int v dt$$

特别地,若已知加速度与 x 的关系,应先进行变换,即

$$a(x) = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = v \frac{dv}{dx},$$

通过积分 $\int_{v_0}^v v dv = \int_{x_0}^x a(x) dx$ 可得到 v 与 x 的关系,即

$$v^2(x) = v_0^2 + 2 \int_{x_0}^x a(x) dx.$$

再由 $\int_{t_0}^t dt = \int_{x_0}^x \frac{dx}{v(x)}$ 即可求得 x 与 t 的关系.

4. 圆周运动

(1) 圆周运动的角量描述(见图 1-2).

① 角坐标 $\theta(t)$: 描述质点在 t 时刻的角位置.

角位移 $\Delta\theta$: 描述质点角坐标的变化.

$$\Delta\theta = \theta(t + \Delta t) - \theta(t).$$

角速度 ω : 描述质点圆周运动的快慢和方向, $\omega = \frac{d\theta}{dt}$.

角加速度 α : 描述质点角速度大小、方向的变化快慢, $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$.

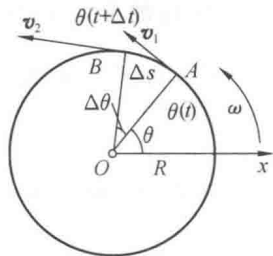


图 1-2

注意: 圆周运动时,角位移、角速度和角加速度有正负之分,一般定义逆时针旋转时角位移、角速度为正,顺时针则为负.角加速度的正负与角速度的变化情况有关;角速度变大时,角加速度的正负与角速度的正负相同;角速度变小时,角加速度的正负与角速度的正负相反.

② 自然坐标系.

如图 1-3 所示,以轨迹上任意一点 A 为原点,以切线单位矢量 e_t 和法向单位矢量 e_n 建立的二维坐标系称为自然坐标系.在讨论圆周运动及曲线运动时,经常要用到自然坐标系.即时速度 v 的方向就是轨迹在点 A 的切线单位矢量 e_t 方向, r 为即时曲率半径.

③ 线量与角量的关系.

角位移与弧长: $\Delta s = r \Delta\theta$.

角速度与线速度的大小: $v = r\omega$.

切向加速度与角加速度的大小关系: $a_t = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} = r\alpha$.

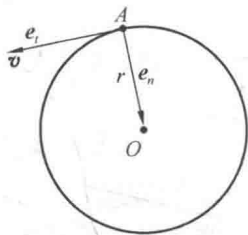


图 1-3

法向加速度与角速度的大小关系: $a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$.

④ 圆周运动时总加速度的计算式.

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n = \frac{dv}{dt}\mathbf{e}_t + \frac{v^2}{r}\mathbf{e}_n \text{ 或 } \mathbf{a} = r\alpha\mathbf{e}_t + r\omega^2\mathbf{e}_n.$$

切向加速度、法向加速度和总加速度的关系如图 1-4 所示.

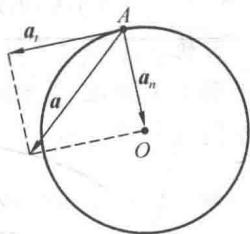


图 1-4

(2) 两种圆周运动.

① 匀速率圆周运动: $\alpha = 0$, ω 是恒量, 基本方程为 $\theta = \theta_0 + \omega t$.

② 匀变速率圆周运动: α 是恒量, 基本方程为

$$\omega = \omega_0 + \alpha t, \quad \theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2, \quad \omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha(\theta - \theta_0).$$

5. 相对运动

如图 1-5 所示, 静止坐标系 xOy , 运动坐标系 $x'O'y'$. 在 $x'O'y'$ 系相对于 xOy 系以速度 $\mathbf{u}$ 做平动运动的情况下, 同一质点 P 在这 2 个参考系中的位矢、速度、加速度之间的关系为

$$\mathbf{r}_{OP} = \mathbf{r}_{O'P} + \mathbf{u}\Delta t, \quad \mathbf{v}_{OP} = \mathbf{v}_{O'P} + \mathbf{u}, \quad \mathbf{a}_{OP} = \mathbf{a}_{O'P} + \frac{d\mathbf{u}}{dt}.$$

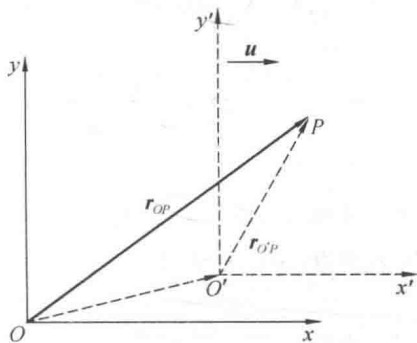


图 1-5

典型例题

例 1 已知质点的运动方程 $\mathbf{r} = 2t\mathbf{i} + (4 - 3t^2)\mathbf{j}$ (SI), 求:

- (1) 质点的轨迹;
- (2) $t = 0$ s 及 $t = 3$ s 时, 质点的位置矢量;
- (3) $t = 0$ s 到 $t = 3$ s 时间内的位移;
- (4) $t = 0$ s 到 $t = 3$ s 时间内的平均速度;
- (5) $t = 3$ s 末的速度及速度大小;