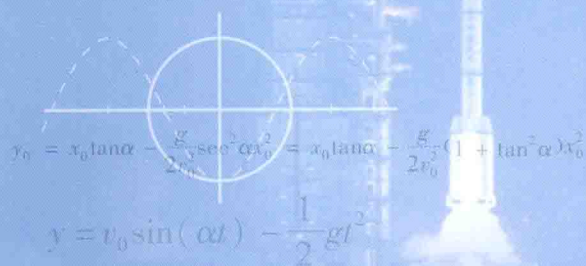
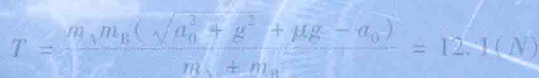


大学物理学

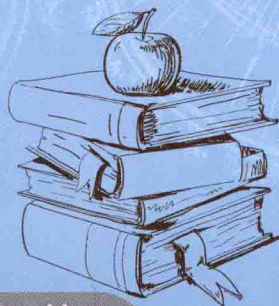
教学设计 (第2版)

韩仙华 武文远 王晓 蒋敏 编著


$$y_0 = x_0 \tan \alpha - \frac{g}{2v_0^2} \sec^2 \alpha x_0^2 = x_0 \tan \alpha - \frac{g}{2v_0^2} (1 + \tan^2 \alpha) x_0^2$$
$$y = v_0 \sin(\alpha t) - \frac{1}{2} g t^2$$


$$T = \frac{m_A m_B (\sqrt{a_0^2 + g^2} + \mu g - a_0)}{m_A + m_B} = 12.1(N)$$

- 注重问题驱动教学
- 提供教学授课思路
- 突出军事应用特色
- 强调物理思维方法
- 重视能力素质训练



国防工业出版社
National Defense Industry Press

大学物理学教学设计

(第2版)

韩仙华 武文远 王晓 蒋敏 编 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是一套全新的大学物理学课程教学设计,是根据教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导委员会制定的《教学基本要求》、军队院校教育转型对培养高素质新型军事人才的诉求,并结合作者多年的教学经验而编写的,是不同于传统的教学参考书。作为课堂教学的补充,可供教师备课、学生复习和综合训练之用。

本书以每一次课(2学时)作为教学单元,每单元分成教师篇、学生篇和教学资料参考篇三大部分。第一部分教师篇,由“讲授内容”、“教学要求”、“重点/难点”、“问题引入”、“授课思路”、“能力/方法训练设计”和“知识扩展”组成。第二部分学生篇,由“关联知识”、“作业练习”和“学习要求”组成。第三部分教学资料参考篇,详细叙述了“能力/方法训练设计”中的物理方法介绍、发现知识的历史背景、军事应用和“知识扩展”的具体内容,可供学生扩展科学视野,培养创新思维能力;总结了解题方法,并给出了“典型例题”和“课堂思考与讨论”的详细解答。

本书可作为高等工科院校、军队院校从事大学物理教学的教师参考书,也可供高等工科院校本科各专业的本科生使用,还可供非物理专业的电大、职大学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学教学设计 / 韩仙华等编著. —2版.

—北京:国防工业出版社,2014.4

ISBN 978-7-118-09229-5

I. ①大... II. ①韩... III. ①物理学-教学设计-高等学校 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 043475 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 字数 510 千字

2014年4月第2版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 42.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776

发行业务:(010)88540717



前 言

本书以现代教育理论的设计原则为指导,结合作者多年来的物理教学和研究的实践经验,精心设计编著而成。目的在于提高大学物理课堂教学质量,把素质教育和创新教育落到实处。

本书由教师篇、学生篇和教学资料参考篇三部分内容组成。本书对除大学物理的每一章、节、知识点都提出了讲授内容和要求外,还就课程的讲授提供了问题引入和教学进行的主线,帮助和指导教师组织课堂教学,确保课程教学质量。本书对每一堂课讲授教学内容的教学方法、教学手段也都提出了具体的建议和指导;对如何结合课堂的教学内容,对学生学习方法的指导、学生学习能力的培养和学生科学素质的提高等都一一提出了具体的方案、措施和目标。全书结合教学内容系统地介绍了物理学的各种研究方法和科学大师们发明创造的历史背景,精心收集了大量资料和文献,力求做到史实可靠,引证有据。全书提供了大量的物理学研究的新成果、工程技术的物理基础知识、工程技术和军事技术中物理原理的应用等阅读资料,使教学内容体现时代的特征,可以提高学生的学习兴趣,激发学生创造性思维和理论联系实际的能力。

本书的力学、激光、固体能带理论由韩仙华撰写;热学、振动与波由蒋敏撰写;电磁学由王晓撰写;光学和近代物理由武文远撰写;最后全书由韩仙华统稿。

本书首版初稿承蒙东南大学叶善专教授的认真审阅,并提出许多宝贵意见,对此表示诚挚的谢意!在修订过程中,作者参考了国内外多部著名大学物理教材、物理学方法论、物理学史和其他教学参考书,吸收或引用了一些研究成果,除已列的参考文献之外,有些尚未收录。在此,谨对这些作者一并表示由衷的感谢!解放军理工大学对作者的修订工作也给予了大力支持,作为2013年解放军理工大学教育教学重点研究课题立项项目(GJ1307029),对此,特致以衷心的感谢!

鉴于作者水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,敬祈各位同行、专家和读者批评指正。

作 者

2013年8月

目 录

第一章 力学	1
一、质点的位矢 位移 速度和加速度	1
二、抛体运动 运动叠加原理 运动描述的相对性	7
三、物理学中的力 牛顿运动定律及应用 非惯性系和惯性力	14
四、冲量和动量定理 动量守恒定律	22
五、质心与质心运动定理 质点的角动量 角动量守恒定律	28
六、功 动能定理 保守力和势能	36
七、机械能守恒定律 碰撞 对称性与守恒定律	42
八、刚体的平动、转动和定轴转动刚体的角动量和转动惯量	48
九、刚体定轴转动定律 转动中的功与能	53
十、定轴转动刚体的角动量定理和角动量守恒定律 旋进	59
第二章 热学	65
一、热力学平衡态和温度、理想气体模型、理想气体压强和温度	65
二、能量均分原理、麦克斯韦速率分布律	72
三、分子平均碰撞次数和平均自由程 气体的输运现象	77
四、热力学过程、热力学第一定律	82
五、理想气体的等体、等压、等温和绝热过程循环过程、卡诺循环	86
六、自然过程、热力学第二定律、熵和熵变的计算	92
第三章 电磁学	98
一、电荷 电场 电场强度	98
二、静电场的高斯定理	104
三、静电场的环路定理 电势	110
四、电场强度与电势梯度的关系	117
五、静电场中的导体	121
六、静电场中的电介质	127
七、电容 静电场的能量	133
八、稳恒电流 电动势	139
九、磁感应强度 毕奥—萨伐尔定律	145
十、磁场的高斯定理 安培环路定理	151
十一、磁场对运动电荷的作用	157
十二、磁场对载流导线的作用	162
十三、磁介质	167

十四、电磁感应定律	172
十五、动生电动势和感生电动势	178
十六、自感和互感 磁场的能量	184
十七、电磁场	189
第四章 振动与波	196
一、简谐运动、旋转矢量	196
二、简谐运动的能量、阻尼振动、受迫振动	200
三、简谐运动的合成	207
四、机械波、平面简谐波的波动方程	210
五、波的衍射、反射和折射 多普勒效应波 波的能量	214
六、波的干涉 驻波	217
七、电磁振荡 电磁波	221
第五章 光学	224
一、双缝干涉	224
二、薄膜干涉	230
三、迈克耳逊干涉仪 光的干涉的应用	237
四、惠更斯—菲涅耳原理 单缝衍射	244
五、光栅衍射 光学仪器分辨率	250
六、光的偏振性 马吕斯定律 布儒斯特定律	257
七、双折射与光偏振 偏振光的干涉	262
第六章 相对论	270
一、狭义相对论的基本原理	270
二、狭义相对论时空观	276
三、狭义相对论动力学	283
第七章 量子物理	290
一、黑体辐射 普朗克量子假设	290
二、光电效应 康普顿效应	299
三、氢原子的玻耳理论	302
四、德布罗意波 波函数的统计解释 不确定关系	306
五、定态薛定谔方程及其简单应用	313
六、氢原子量子力学处理方法 电子自旋 原子的壳层结构	318
七、固体的能带理论和导电机理半导体和超导电性简介	323
八、激光的产生 激光器 激光的特性与应用	328
习题参考答案	234
参考文献	344

第一章 力 学

一、质点的位矢 位移 速度和加速度

教师篇

【讲授内容】

质点、参考系、运动方程、质点的位矢、位移、速度和加速度。

【教学要求】

- (1) 理解质点的模型,理解参考系、坐标系的概念。
- (2) 掌握质点的位矢、位移、速度、加速度的矢量性、瞬时性和相对性。
- (3) 理解运动方程的意义,能借助笛卡儿坐标计算质点的位矢、位移、速度、加速度。

【重点/难点】

质点的位矢、位移、速度和加速度。

【问题引入】

自然界所有的物质都在永不停息地作形式不同的运动,人们往往要知道某些物体在作何种形式的运动,以什么样的规律运动。例如,导弹发射后不同阶段的运动规律是什么,跟踪和拦截导弹需要知道哪些运动学物理量?在现代战场上测定目标位置和速度的典型物理方法有哪些?

【授课思路】

首先需要强调建立理想化模型(质点)的意识,质点是研究物体作机械运动时所采用的理想化力学模型之一,质点概念是相对的,应用它是有条件的。质点运动的描述是相对于选定的参照系而言的,从而介绍参考系和坐标系的概念。讲清质点的位矢、运动方程和轨道方程、位移和路程的概念,明确运动方程和轨道方程、位移和路程的区别和联系。从特殊到一般讲授质点的速度和加速度,即从直线运动规律讲到一般的曲线运动规律,突出质点的速度、加速度的矢量性、瞬时性和相对性,突出矢量运算方法和矢量式的正交分解合成法,强调质点运动的图像表示。运动学研究的问题主要有两类;第一类是已知质点的运动方程,利用求导方法得到质点在任何时刻的速度和加速度;第二类是已知初位矢、初速度和加速度,利用积分方法求得质点的运动方程和轨迹。通过实例和军事应用讲解两类求解问题,并对问题的引入作相应的解答。要学好运动学,必须掌握基本概念和运动规律这两条线索,做到基本概念清楚,规律应用熟练。

【能力/方法训练设计】

物理方法介绍*(理想化模型——质点)

力学中的理想化模型有质点、质点系、刚体等。它们是实际物体一定条件下的抽象和

概括,是一种重要的研究方法,在物理学的研究和发展中起着重要作用。

发现知识的历史背景*

伽利略对自由落体运动的研究介绍。

教学手段

在讲授质点的位矢、位移、速度和加速度适时插入多媒体课件,演示质点作椭圆运动时的位矢、位移、速度和加速度。

军事应用*

- (1) 现代战场上测定目标位置和速度的典型物理方法。
- (2) 现代声呐探测静止目标方位和距离的基本原理。
- (3) 抽象思维的理想模型与模拟战争。
- (4) 军事领域中典型武器装备的速度。

典型例题*(选题目的:求证落体的收尾速度)

一物体在有阻尼的媒质中,从静止开始下落,其运动方程为 $m \frac{dv}{dt} = mg - Bv$, 其中 B 为常数。试求:(1) 下落物体的初始加速度;(2) 下落物体加速度为零时的速度;(3) 求证下落物体的收尾速度 $v_m = \frac{mg}{B}$ 。

课堂思考与讨论*(选题目的:进一步理解位矢概念)

思考下面两句话是否正确:

- (1) 质点作直线运动时位矢的方向恒定不变。
- (2) 质点作圆周运动时位矢的大小恒定不变。

学生篇

【关联知识】

矢量分析、微分、积分。

【作业练习】

选择题

1. 下列说法中,正确的是 ()
 - A. 一物体若具有恒定的速率,则没有变化的速度
 - B. 一物体具有恒定的速度,但仍有变化的速率
 - C. 一物体具有恒定的加速度,则其速度不可能为零
 - D. 一物体具有沿 X 轴正方向的加速度而同时又有沿

X 轴负方向的速度

2. 长度不变的杆 AB , 其端点 A 以 v_0 匀速沿 y 轴移动, B 点沿 x 轴移动如图 1-1 所示, 则 B 的速率为 ()

- A. $v_0 \sin \theta$ B. $v_0 \cos \theta$ C. $v_0 \tan \theta$ D. $v_0 / \cos \theta$

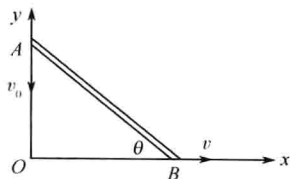


图 1-1

填空题

1. 一质点以初速 v_0 , 抛射角为 θ_0 作斜抛运动, 则到达最高处的速度大小为 _____,

切向加速度大小为 _____, 法向加速度大小为 _____, 合加速度大小为 _____。

计算题

1. 已知某质点运动的矢量方程为 $\mathbf{r} = 0.1 \cos(\pi t/2) \mathbf{i} + 0.1 \sin(\pi t/2) \mathbf{j}$, 其中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 分别为 x 轴和 y 轴的单位矢量, 长度单位为 m, 时间单位为 s, 试求该质点轨迹方程、角速度、速率和加速度的大小与方向。

2. 一轮子作无滑滚动时, 轮边缘上任一质点所经过的轨迹为一摆线, 此轨迹的矢量方程为 $\mathbf{r} = (\omega R t - R \sin \omega t) \mathbf{i} + (R - R \cos \omega t) \mathbf{j}$, 其中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 分别为 xy 笛卡儿坐标轴上的单位矢量, 试求该质点的速率和加速度的大小。

3. 一艘正以 v_0 匀速直线行驶的汽艇, 关闭发动机后, 得到一个与船速反向大小与船速平方成正比的加速度, 即 $dv/dt = -kv^2$, k 为常数, 证明船在关闭发动机后行驶距离 x 时的速率为 $v = v_0 e^{-kx}$ 。

【学习要求】

- (1) 掌握位矢、位移、速度、加速度等描述质点运动和运动变化的物理量。
- (2) 能借助于直角坐标系熟练地计算质点在平面内运动时的速度和加速度。
- (3) 学会矢量方法, 掌握用微积分方法求解运动学的两类问题。

教学资料参考篇

物理方法介绍(理想化模型——质点)

自然界发生的一切物理现象和物理过程, 通常是比较复杂的, 影响它们的因素也是多种多样的, 各种因素常常交织在一起, 互相对立, 互相排斥, 又互相联系和互相依存。尽管研究对象受到很多因素的影响, 但是, 在一定条件下人们可以抓住主要因素, 因为任何矛盾都有主次之分, 而事物的性质又是矛盾的主要方面所决定的, 只有突出主要矛盾、分析矛盾的主要方面, 忽略次要矛盾和次要因素, 才能抓住本质, 去除表象, 删繁就简, 在这个基础上进行科学的抽象和概括。这就是物理学研究中的理想化方法。

在物理学研究中, 无论是探索物理现象, 揭示物理过程的规律, 还是解决物理中的实际问题, 都需要建立理想模型或理想过程或理想实验。理想化方法不是幻想、瞎想, 不是任意的自由创造, 也不是随心所欲地对各种因素进行取舍, 要有科学依据, 是有条件的。主要来源于人们对物理运动的实践, 是以物理真理的相对性和人们对物理运动认识的阶段性为基础的, 在事物变化过程中不是所有条件都起着重要作用, 有时只有一种或有限的几种起主要作用, 其余的所起作用很小, 可以忽略。例如, 实际运动物体有一定大小和形状, 并有其内部结构, 在运动形式上还可能转动, 但作为代替物体的理想模型——质点, 却忽略了这些次要因素, 而保留了在运动中起决定作用的物体的两个主要特征, 就是质量和占有一定的空间位置。在一般情况下, 研究人造卫星绕地球运转时, 把人造卫星看成质点, 不必考虑人造卫星和地球绕公共质心转动的二体问题, 这是由卫星绕地球运动的实际情况所决定的。因此, 理想化方法的具体应用, 取决于研究对象的实际情况, 受特定的研究范围和条件的制约。

运用理想化方法所得到的结果, 究竟是不是正确地反映了研究对象的特性和规律, 还必须由实践加以检验, 并根据实践不断加以修正直到完善。因此, 理想化方法并不意味着

脱离实际,相反,恰恰是以抽象的形式,更正确地反映了具体的客观实际。在物理学的研究中,应用理想化方法,可以简化研究对象,使研究方向更加明确,更能深刻地揭示研究对象的本质和特性,还可能启发出新的研究方向,预见新的事物。在物理学的教学中,传授知识的同时,要教育学生从中学会如何去进行科学的抽象,如何抓住主要矛盾,忽略次要因素,学会如何处理实际问题,培养和提高学生的分析问题和解决问题的能力。

发现知识的历史背景(伽利略对自由落体运动的研究介绍)

伽利略(Galile Galilei, 1564—1642)对物理学发展的突出贡献在于:他前后花了10年时间,经历了许多曲折,得到了落体定律。从基本观念上推翻统治欧洲两千多年的运动观。亚里士多德(Aristotle, 公元前384—322)认为若不继续以一个力推动物体,原来处于运动的物体便归于静止。即力产生运动,力又是维持运动。这是凭直观的推理所建立的含糊不清的观念。伽利略第一次将其澄清,指出加速度是力作用的结果,除此之外,力对运动别无影响。这样,伽利略把力的作用同运动状态的变化联系起来,从而把动力学的研究引上了正确的轨道。

伽利略在研究自由落体运动问题时,发现物体在空气中下落,它的速度不仅与它的重量和密度有关,还与它的大小和形状有关,伽利略意识到空气对落体的阻力作用,认识到以前提出的“物体下落速度与物体的密度和空气的密度差成正比”的假设是错误的,错在没有考虑空气阻力。他想,假如没有空气,在真空中物体的下落速度也许与重量和密度无关,所有的物体会下落得一样快。他观察到物体从静止状态开始下落的过程中,它的速度是不断地增加的。他确信这种速度增加是以一种极其简单和十分显而易见的方式进行的,随着下落时间的增大,物体下落的距离也急剧地增大,他设想下落距离 S 与下落时间 t 的平方成正比,即 $S \propto t^2$ 。用图解法(图1-2)证明了此结论。一个从静止开始作匀加速运动的物体在一段时间 t 内所通过的距离 S ,和在这段时间里以末

速度 v 的 $\frac{1}{2}$ 作匀速运动所通过的距离相同,即 $S = vt/2$,图解中 AB 表示

时间 t ,横线如 DJ 、 BE 等表示各时刻的速度,面积 ABE 表示在 t 时间内所通过的距离 S ,这个面积显然是与矩形 $ABEG$ 的面积相等, D

为 AB 的中点,故横线 EB 作为末速度的 $\frac{1}{2}$,即平均速度。由图可知,

三角形的面积 $S = vt/2$,由相似三角形对应边成正比有 $v \propto t$,因此,可得到物体通过的距离与时间的平方成正比,即 $S/t^2 = \text{常量}$ 。

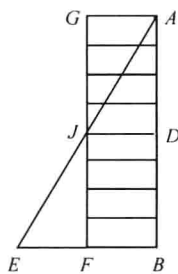


图1-2

伽利略希望通过实验来检验这些关系是否正确,从而进一步验证他的假设。然而自由落体的运动过程太快,在当时的条件下无法进行实际测量。为了“冲淡重力”,充分放慢运动,他把注意力转向斜面实验:“取长约12腕尺,宽约半腕尺,厚约3指的一根小板条,本板中间刻出一指宽的直槽,铺着光滑的羊皮纸,边缘刻着标度,构成一个可以随意改变倾角的斜面。让一个滚圆而又光滑的黄铜球从这斜板上滚下,他以不同倾斜度和不同长度的板做了百次试验,他发现了黄铜球下落的距离 S 总是非常接近地比例于时间 t 的平方(实际上这个比值就是重力加速度 g)。再讲讲伽利略如何量度时间的趣事。当时,还没有精密的钟或表。他在一个水桶的底部装上一个很小的管道,在物体通过给定的距离运动的时间内,让水通过管道流进杯子里。精确地称出水的重量,运动的时间就正比例

于称定的水重。

伽利略通过斜面的实验,最后证实了他的自由落体距离 S 与下落时间 t 平方成正比的假设是正确的,导出了自由落体定律。

军事应用

(1) 现代战场上测定目标位置和速度的典型物理方法。战场上目标位置和速度的测定极为重要。仅靠人的耳、目是无法适应现代战场需求的。现代军事侦察设备多种多样,可以通过电磁波(紫外线、可见光、红外线、雷达波和无线电波等)、机械波(声响、震动等)来发现、跟踪、识别目标,并对目标定位。

目前军事上应用的探测器主要可分为四类:①雷达探测器,如微波雷达、毫米波雷达等;②光电探测仪,如红外夜视仪、微光夜视仪、热像仪等夜视设备,多光谱摄像设备,激光测距机、激光目标指示器、激光雷达等;③声探测器,主要有主动声呐和被动声呐两大类;④多功能/一体化探测器,这是将两种或多种传感器相融合、集多种功能于一身的探测器。

(2) 现代声呐探测静止目标方位和距离的基本原理。由于声波在水中声速却可达到 1500m/s ,是空气中声速的 $4 \sim 5$ 倍。历史上第一部真正的声呐,是法国物理学家朗之万在 1916 年发明的,它能测定目标方位和距离,并利用真空管放大的回声定位仪。声呐(指主动声呐)主要由发射机、换能器、接收机、显示器和控制器等几部分组成。发射机发出的电信号由换能器变为声信号在海水中传播,遇到目标后被反射回来,形成的回波再由接收机接收变为电信号,在显示器的荧光屏上显示或由扬声器发出声音来。根据声波来回的时间可确定目标的方位、距离和下潜深度;根据接收到的反射回来的声波频率,由多普勒效应可确定目标的运动速度。如果接收到的回波频率大于声呐发出的频率,表示目标接近观测者,频率改变的数值越大速度越大;反之,回波频率小于声呐发出的频率,表示目标正远离观测者。主动声呐能探测静止目标的方位和距离,但易暴露自己、侦察距离近。

(3) 抽象思维的理想模型与模拟战争。在物理学的研究过程中,往往要进行抽象和假设。所谓抽象的方法是根据问题的内容和性质,抓住主要因素,撇开次要的、局部的和偶然的因素,建立一个与实际情况相差不大的理想模型来进行研究,从中找出规律。例如,“质点”是物体的理想模型,把物体看作“质点”时,物体的“形状”和“大小是可以忽略不计的次要因素。为了寻找事物的规律,对现象的本质所提出的一些说明方案或基本论点等统称为假设。抽象和假设的方法,也常常用于研究战争的决策或用于模拟军事训练,在地图或沙盘上作想定,进行示范性、检验性的演习。目前,随着军事科学技术的发展,室内坦克战、室内电子战、室内敌我对抗等模拟战争均相继出现,这一切都是战争中实际情况的抽象和假设。在这些模拟训练过程中,首先要能建立合适的模型,把战场上的诸多因素用各种恰当的物理模型和数学模型代替。这些模型的建立与物理学中理想模型的建立是很相似的。不会模拟战争就不能进行战略的策划,也无法进行战术训练。作为抽象和假设的模拟战争,则可让将士们以假练真,从而提高指挥员在实战中捕捉战机的心理素质,可以提高将士们斗智斗勇的能力。

(4) 军事领域中典型武器装备的速度。你知道军事领域中典型武器装备的速度吗?下面列举一些现代武器装备的有关速度大小。在许多情况下不涉及速度方向的研究,所以常将速度的大小简称为速度。当飞机、导弹的飞行速率大于音速时,常用马赫数(Ma)

表示速度,马赫数 = 运动速率与音速之比;在航海中,常用节(kn)作为速度单位,1kn = 1n mile/h = 1.852km/h。

美国 M1A1 主战坦克	越野速度 40 ~ 50km/h,最大行驶速度 67km/h
苏联 T-80U 主战坦克	越野速度 40 ~ 50km/h,最大行驶速度 70km/h
德国“豹”II 主战坦克	越野速度 55km/h,最大行驶速度 70km/h
国产 98 式主战坦克	最大行驶速度 65km/h
美国“尼米兹”航空母舰	最大航速 33kn
美国“俄亥俄”级核潜艇	最大航速 30kn
法国“乔治·莱格”级驱逐舰	最大航速 30kn
苏联“基洛夫”级核动力巡洋舰	最大航速 32kn
美国 LCAC 气垫登陆艇	航速 40kn
美国 F-15 战斗机	最大飞行速度马赫数 2.5
俄罗斯苏-27 战斗	最大飞行速度马赫数 2.35
法国幻影 2000 战斗机	最大飞行速度马赫数 2.2
美国 SR-71 侦察机	最大飞行速度马赫数 3.2
美国 C-130 运输机	最大飞行速度 620km/h
美国 B-1B 轰炸机	最大飞行速度 620km/h
美国“鱼鹰”运输机	最大飞行速度 509km/h
美国 AH-64“阿帕奇”攻击直升机	最大飞行速度马赫数 1.25
国产 88 式 5.8mm 狙击步枪	枪口初速 910m/s
国产 60 式 122mm 加农炮	炮弹初速 885m/s
美国“毒刺”地空导弹	导弹最大速度马赫数 2
英国“轻剑”地空导弹	导弹最大速度马赫数 2
美国“鱼叉”反舰导弹	巡航速度马赫数 0.75
美国“战斧”巡航导弹	巡航速度 885km/h
法国“海响尾蛇”防空导弹	速度马赫数 1.8
英国“鲐鱼”反潜鱼雷	速度 45kn

典型例题(选题目的:求证落体的收尾速度)

分析 自由落体是一个理想过程,物体下落过程的速度变化规律 $v = gt$,只是实际过程在一定条件下的近似,若考虑阻尼因素,使近似程度越来越好,越来越接近实际。这是物理学也是一切自然科学、工程技术揭露实际过程运动规律的科学方法。本题属于变加速度问题,根据题所给的落体运动方程和初始条件利用变量代换和积分法求出落体的收尾速度。

解 (1) 因物体从静止开始下落,当 $t=0$ 时, $v=0$ 故初始加速度 $a_0 = g$ 。

(2) 由题意知,当 $a=0$ 时,则有 $v = \frac{mg}{B}$ 。

(3) 因 $m \frac{dv}{dt} = mg - Bv$,令 $u = g - \frac{B}{m}v$,则有

$$\frac{du}{dt} = \frac{d}{dt}\left(g - \frac{B}{m}v\right) = -\frac{B}{m} \frac{dv}{dt} = -\frac{B}{m}\left(g - \frac{B}{m}v\right) = -\frac{B}{m}u$$

将上式分离变量后两边积分:

$$\int \frac{du}{u} = -\frac{B}{m} \int dt \quad \text{则有} \quad \ln u = -\frac{B}{m}t + C \quad (1-1)$$

又因为 $t=0$ 时, $v=0$, 则有 $u=g$ 故 $C = \ln g$, 代入式(1-1), 则

$$\ln u = -\frac{B}{m}t + \ln g$$

或

$$u = ge^{-\frac{B}{m}t}$$

即

$$g - \frac{B}{m}v = ge^{-\frac{B}{m}t}$$

故落体速度为

$$v = \frac{mg}{B} \left(1 - e^{-\frac{B}{m}t} \right)$$

结果表明, 落体速度将随时间 t 的增加按指数增加, 当 $t \rightarrow \infty$ 时, 指数项趋于 0 的极限值, 即

$$v_m = \frac{mg}{B}$$

此最大速度称为落体的收尾速度。

课堂思考与讨论*

解 在笛卡儿坐标系中质点的位矢大小和方向与坐标原点的选取有关, 所以此两句话的说法不完全正确。如图 1-3 所示的直线和圆周运动, 位矢的大小和方向都在改变。

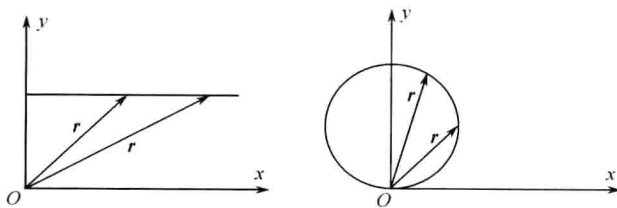


图 1-3

二、抛体运动 运动叠加原理 运动描述的相对性

教师篇

【讲授内容】

抛体运动、运动叠加原理、圆周运动及其描述、运动描述的相对性。

【教学要求】

- (1) 理解运动的叠加原理。
- (2) 掌握圆周运动中法向加速度、切向加速度及角速度、角加速度等概念; 根据给定

圆周运动的运动方程熟练计算质点角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。

(3) 理解运动的相对性和伽利略速度变换式。

【重点/难点】

切向加速度和法向加速度。

【问题引入】

在现代战场或军事训练中,常常看到炮弹的运动是抛体运动(若不考虑空气阻力),通常炮弹的水平射程大于炮弹的射高,请问:炮弹的射高可否大大超过炮弹的水平射程?也就是说炮弹能否轰击遮蔽物后面、躲在战壕里、隐藏在洼地里的敌人呢?这就是本次课讲的迫击炮,也称为翻山炮。炮弹在运动过程中,法向加速度是否变化?炮弹轨道何处的曲率半径最大?其数值是多大?

【授课思路】

机械运动不仅具有相对性、方向性、瞬时性,而且还具有一个重要性质就是独立性,即运动叠加原理,机械运动可以分解,也可以合成,满足叠加原理,常用笛卡儿坐标系来讨论抛体运动,介绍迫击炮射角大、弹道弯曲等特点(参见军事应用*——射角大、弹道弯曲的迫击炮)。在介绍曲线运动时,先介绍既重要又简单的匀速率圆周运动,再介绍变速率圆周运动推广到一般的曲线运动;强调切向加速度和法向加速度大小和方向,指出曲线运动的加速度方向恒指向轨道的凹侧;重点讨论炮弹在运动过程中,法向加速度、切向加速度和加速度的变化规律;详细描述圆周运动角位移、角速度和角加速度的概念,明确角量与线量的关系。通过实例介绍伽利略速度变换式,描述相对运动,明确解题思路。

【能力/方法训练设计】

物理方法介绍*(分析方法)

分析方法是抽象思维的基本方法,自然界事物的发生发展具有它的规律性和复杂性,在物理学的研究过程中普遍使用分析方法。

发现知识的历史背景*(伽利略对抛射体运动的研究过程)

教学手段

讲授运动叠加原理时,插入平抛运动的合成多媒体课件。在研究抛体运动的轨迹、射高和射程时分别演示多媒体课件,调节抛射角的参数,清晰看到射高、射程与抛射角的关系。通过演示比较有阻力和无阻力的抛体运动轨迹。演示枪打猴原理的多媒体课件。

军事应用*

- (1) 射角大、弹道弯曲的迫击炮;
- (2) 射角小、射程远的加农炮。

典型例题*(选题目的:用分析方法来加深理解抛射体的迭加原理)

一物体从原点以初速度 v_0 斜向抛出,如图 1-4 所示。

- 求:(1) 命中空中已知点 $P(x_0, y_0)$ 的抛射角;
(2) P 点应具有什么条件才能命中?

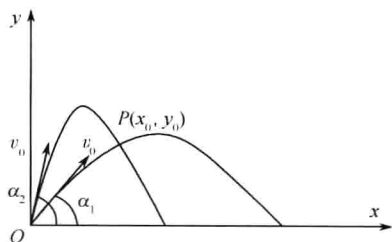


图 1-4

课堂思考与讨论* (选题目的:进一步理解伽利略速度变换式)

一架飞机在刮风时的速率 v_1 向正北方向飞行,机头却指向北偏东 30° ,无风时飞机相对于空气以速度 v_2 飞行,讨论一下实际的风向,若给定 $v_1 = v_2 = 135 \text{ km/h}$,其风速多大?

学生篇

【关联知识】

矢量分析、微分、积分。

【作业练习】

选择题

1. 一物体从某一确定高度以 v_0 的初速度水平抛出,已知它落地时的速度为 v_t ,那么它的运动时间是 ()

- A. $\frac{v_t - v_0}{g}$ B. $\frac{v_t - v_0}{2g}$ C. $\frac{\sqrt{v_t^2 - v_0^2}}{g}$ D. $\frac{v_t^2 - v_0^2}{2g}$

2. 某物体的运动规律为 $\frac{dv}{dt} = -kv^2t$, 式中 k 为常数。当 $t=0$ 时,初速为 v_0 ,则速度 v 与时间 t 的函数关系是 ()

- A. $v = \frac{kt^2}{2} + v_0$ B. $\frac{1}{v} = -\frac{kt^2}{2} + v_0$ C. $\frac{1}{v} = \frac{kt^2}{2}$ D. $\frac{1}{v} = \frac{kt^2}{2} + \frac{1}{v_0}$

3. 在作自由落体运动的升降机内某人,竖直上抛一弹性球,此人观察到的是 ()

- A. 球匀减速地上升,达最大高度后匀加速下落
B. 球匀速地上升,与顶板碰撞后匀速下落
C. 球匀减速地上升,与顶板接触后停留在哪里
D. 球匀减速地上升,达最大高度后停留在哪里

填空题

1. 斜向上抛出一球,仰角 60° ,经 1s 球仍斜向上,速度与水平成 45° (图 1-5),则在此时球的切向加速度大小为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$,法向加速度大小为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$ 。

2. 一质点从静止出发沿半径为 3m 的圆周运动,切向加速度大小为 3 m/s^2 ,则经过 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ s}$ 后它的总加速度恰好与半径成 45° 角。在此时间内质点经过的路程为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$,角位移为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ rad}$,在 1s 末总加速度大小为 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$ 。

3. 一人坐在车上观察相对地面匀速竖直下落雨滴的运动,当车静止时,雨滴的轨迹为 $\underline{\hspace{2cm}}$;当车匀速直线前进时,雨滴轨迹为 $\underline{\hspace{2cm}}$;当车匀加速直线前进时,雨滴的轨迹为 $\underline{\hspace{2cm}}$;当车在地平面上作匀速圆周运动时,雨滴的轨迹为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

计算题

1. 一物体以初速率 v_0 抛射角 θ_0 从坐标原点处斜抛出,若不计空气阻力,试证明物体落到 x 轴时的速度方向与 x 轴的夹角 $\theta = \theta_0$ 。

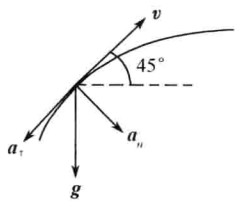


图 1-5

2. 一升降机以加速度 $a_0 = 1.22 \text{ m/s}^2$ 上升, 当上升速度为 2.44 m/s 时, 有一螺帽自升降机的天花板脱落, 天花板与升降机的底面相距 2.74 m , 试求:

- (1) 螺帽从天花板落到底面所需时间;
- (2) 在这段时间内螺帽相对于升降机外固定柱子的下降距离。

【学习要求】

- (1) 运用运动的叠加原理求解简单的力学问题。
- (2) 加深对角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度概念的理解, 并能灵活运用计算问题。
- (3) 正确应用伽利略速度变换式解决实际问题。

教学资料参考篇

物理方法介绍(分析方法)

所谓分析方法, 就是在物理学理论和实验研究中, 把需要研究的对象由整体分为若干组成部分、层次或要素, 然后逐步将若干组成部分、层次或要素分别进行具体的研究, 揭示它们的属性和本质的思维方法。

分析方法的基础是建立在客观事物的整体与部分的关系上的, 客观事物的整体是由各个部分和要素构成的, 各个部分和要素彼此相互联系、相互作用和相互制约, 人们幻想从总体上揭示和把握客观事物整体的性质、特点和规律, 就必须了解其各个组成部分和要素的性质、特点与规律。当然, 也不能对其各个方面同时探讨, 要根据轻重缓急、主次先后, 一步一个脚印地进行分析, 也就是由表及里、由此及彼、逐步到问题的核心进行分析研究, 从这个意义来说, 对客观事物的研究都自觉或不自觉地使用分析方法。

在科学研究中, 由于科学研究对象的不同和内容矛盾的不同, 因而分析方法有许多种类。物理学中常用几种分析方法大体为定性分析法、定量分析法、因果分析法、比较分析法和元过程分析法等。这里着重谈一下因果分析法。通常我们认识物理现象时, 必然会遇到现象之间的错综复杂的关系, 即现象之间的相互制约和普遍联系, 而因果关系则是物理现象相互制约和普遍联系的主要表现之一。因果关系法是科学分析中最重要、最基本的方法。伽利略对在抛射体问题的研究中成功地运用因果分析法是物理学中的一个典范。伽利略在把握惯性运动和自由落体运动之后, 敏锐地认识到平抛运动可分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动。匀速直线运动的物体在任何相等的时间内, 通过的距离是相等的; 自由运动的物体从开始运动起, 在相等的时间内通过的距离是奇数比。经过仔细分析推导, 便得出抛射体运动的轨迹。伽利略将复杂的问题分解为简单的问题进行研究。一方面大大简化研究工作, 更重要的一面是深刻揭示研究对象的本质。

分析方法是一种抽象思维的方法, 不是凭空而想象出来的, 是研究者根据已有的理论和实践, 对研究对象进行科学的分析综合而成的。因此, 分析不能离开已知的理论和实践, 否则就失去了方向和依据, 变成盲目的分析, 得出错误的结论。

发现知识的历史背景(伽利略对抛射体运动的研究过程)

亚里士多得解释为什么射出的箭和抛出的石块还能继续向前运动时说: 物体刚离开抛物者那个时刻, 由于物体向前冲而排开部分空气, 就在物体的后面造成一个虚空, 自

自然界是不允许有虚空存在的,所以周围的空气便立即填补这个虚空,这些空气对物体又形成了一个向前的推动力,物体因而得以继续前进。这种观点受到埃及的一位的学者菲罗彭诺斯(J. Philoponus)批判,他认为抛射体本身具有某种动力,驱动物体前进,直到耗尽才趋于停止。这种看法到了中世纪发展为冲力说,成为中世纪最杰出的科学理论之一,代表人物巴黎大学校长布里丹(F. Buridan, 1300—1358)教授,他是批判亚里士多德的学生是奥里斯姆(Nicholas Oresme, 1320—1380),他们发展了冲力说理论,对力学的研究起过重要的作用。

一直到15世纪,塔塔格利亚(Niccolo Tartaglia, 1499—1557)等人,认为抛射体在冲力的作用下,其轨迹可解释为三部分运动(图1-6),第一部分是沿一个倾斜直线作强迫运动;第二部分是在冲力与引力共同作用下沿弧形作混合运动;第三部分在引力作用下作垂直下落的落体运动。

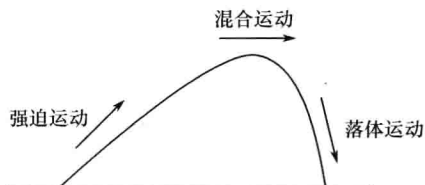


图1-6

对此,伽利略认真研究分析了亚里士多德的观点和冲力说的观点,他反问:既然流动的空气带动轻物质比重物质容易得多,那么为什么抛棉花并不比抛石子更容易呢?他认为空气不但不能带动抛射体的运动,相反,能阻止抛射体的运动。又指出引起抛射体向前运动的原因不是冲力,而是物体原有的惯性运动。伽利略在《两门新科学》中讨论了这个问题,把观察到的抛射体运动想象为由该抛射体同时进行的两个独立运动的合成,明确地提出了两个相互独立的运动合成定理。其中一个运动分量是匀速不变的水平移动;另一个分量是竖直方向遵循自由落体定律的加速运动,其合成运动的轨道是一个抛物线,并从数学上得到证明。

假设有一个平抛运动,将这个运动分解为水平方向和垂直方向,在它总的抛射时间 t 内,抛射体在水平方向通过的距离为 S_x (射程), $S_x = v_{ox}t$, v_{ox} 是抛射时的水平速度分量。垂直方向下落的距离为 $S_y = gt^2/2$,伽利略认为,抛射体的路径形状应是 S_x 与 S_y 之间的关系来确定,即 $S_y = gS_x^2/(2v_{ox}^2)$,式中 $g/(2v_{ox}^2)$ 在抛射体运动的全过程中不变,因此可写成以下形式:

$$S_y = KS_x^2$$

此式就是笛卡儿的解析几何学所表示的一条抛物线方程。

军事应用

(1) 射角大、弹道弯曲的迫击炮。迫击炮是以底板承受后坐力、发射迫击炮弹的一种曲射火炮。迫击炮的构造简单,一般由炮身、底板、脚架三部分组成。炮身只是一个金属圆筒,从炮口送入带尾翼的迫击炮弹,炮弹撞击筒底的发火装置,将炮弹发射出去。熟练的炮手可在1min内发射20~30发炮弹,迫击炮的名称也由此而来。

若不考虑空气阻力,根据抛体运动的规律,发射出的炮弹在水平方向作匀速直线运动,在竖直方向作加速度为 g 的匀加速运动,由运动叠加原理可求得抛体运动的轨道曲线。当发射角一定时,初速较大则水平射程(能达到的最大水平距离)较远。当初速度一定时,发射角 θ 接近 90° ,射高(能达到的最大弹道高度)较大,而水平射程则较小;当发射角为 45° 时,水平射程最大(图1-7)。迫击炮的发射角为 $55^\circ \sim 85^\circ$,由抛体运动规律不难看出,迫击炮弹道弯曲,射高可大大超

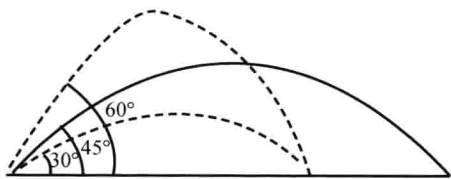


图1-7