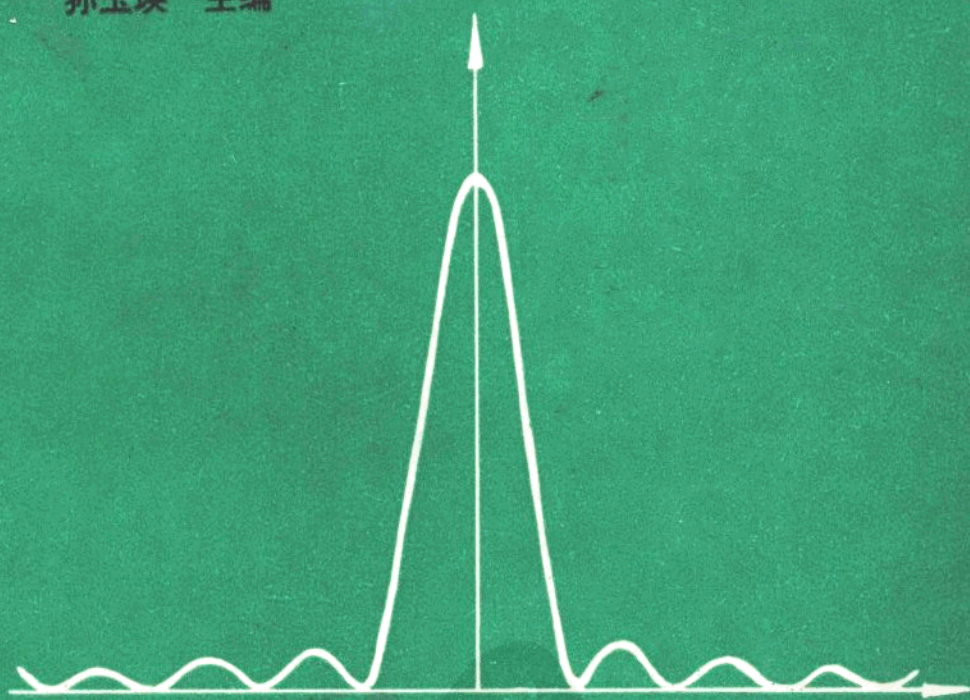


大学物理 习题指导书

孙玉瑛 主编



南开大学出版社

序言

大学物理课程是高等工业学校各专业学生的一门重要必修课。由于物理学的研究对象及所涉及的运动形态的普遍性,也由于物理理论、观点和方法已渗透到了许多科学和工程技术领域,因此作为高级工程技术人员的后备军——工科各专业的大学生必须系统地打好必要的物理基础,学会运用物理学的理论、观点和方法去分析、研究、计算或估算一般难度的物理问题,且能根据单位、数量级和与典型结果相比较来判断结果的合理性。如何达到这一目的呢?一个十分重要的途径就是,在钻研物理学的基本概念、基本原理与演算例题、习题之间多次反复交替,以达到逐步深化。对于那些值得攻坚的难题虽然攻克非易,但其价值在于使学生在反复的努力中获得裨益。

孙玉瑛主编的《大学物理习题指导书》正是指导学生如何实现上述途径的一本有效的工具手册。它是专为学生学好大学物理而编写的辅助教材,内容符合国家教委工科大学物理课程指导委员会颁布的“大学物理教学基本要求”。该书总结了编者多年的教学经验及指导学生解题的心得体会。在习题解法概论部分对于选择题、填空题、计算题、证明题、改错题、问答题等各种类型结合具体实例做了详细的分析。每一章均列有内容提要,对基本概念、基本定律、原理及重要公式给出了简要的小结,并提出了基本要求。此外,还给出了习题的主要类型、解题示例及课后练习。例题大部分选自历年来国内外研究生入学试题及各类学习指导书,选题面相当广泛,覆盖了经典物理、近代物理、固体、激光等各部分,部分题后对常见的错误及易混淆的概念进行了分析及指正。解题思路清晰,充分注意了培养学生逻辑思维及综合分析的能力。书末附有常用数学关系式及基本物理常量表,使本书能自成一个比较完备的体系。全书内容与现行工科大学物理教材体系基本一致,选材适当,结构紧凑,讲述深入浅出,文字流畅,相信本书一定会成为学生学好大学物理的良师益友。

肖家鑫

1995年4月10日于天津大学

前 言

大学物理课程是理工科大学的一门重要的基础理论课程。在世纪之交的历史时期,在飞速发展的科学技术的挑战面前,国内外的基础物理教学出现了各种各样的问题和矛盾。针对这些问题和矛盾,大家在更新教学内容和改进教学方法上都做了多方面的努力和尝试。在交流经验和体会时,大家有一个共同的想法,即对学生进行习题指导是一个重要的教学环节。它对学生深入理解物理的概念、定理和定律以及学会灵活运用这些知识解决实际问题有着举足轻重的作用。然而课时越来越少,内容不断更新,课上指导学生习题的机会不多,学生在解题中会遇到许多困难。这些困难有知识掌握方面的问题,也有技巧方法方面的问题。有一些问题在历届学生中屡次出现,因而带有普遍性。为了帮助学生提高解题能力,作为教学使用的辅助教材,我们编写了这本《大学物理习题指导书》,将教师多年积累的经验贯穿于各章节的例题之中,希望能部分弥补对学生习题指导的不足。

本书各章都是首先给出有关概念、定理及公式,目的是使学生查阅时较为方便。然后提出本章的基本要求,这是按照国家教委课程指导委员会制定的《工科大学物理教学基本要求》提出的。各章都把习题归纳为几个主要类型,并有针对性地提出考虑问题的一般思路和常用技巧。在例题之后所提出的应注意的问题是编者在历届教学中发现和积累起来的。由于第一次编写此类书籍,很多地方还不成熟,有些提法可能不够全面,作为抛砖引玉,恳请读者和专家给予指教。

本书全部采用国际单位制。书末附录中列出了常用数学公式及基本物理常量。

国家教委工科大学物理课程指导委员会委员、天津大学应用物理学系肖家鑫教授审阅了本书的主要部分,提出了许多宝贵的意见和建议,并为本书写了序。在此我们向肖家鑫教授致以深深的谢意。

本书由孙玉瑛主编,第二部分的第一篇由赵征执笔,第三、四篇由邢金奎执笔,第六、七篇由王莉执笔,第二、四两篇及书中其余内容由孙玉瑛执笔。全书由孙玉瑛统稿,并集体讨论定稿。

编 者

致 学 生

这是一本关于物理学习题解法的指导书,是为工科学生编写的。

作为学习各类工程专业的学生,大学物理学是你们必修的基础课。它所讨论的内容,自然比你们高中的物理课程要深入得多。你们必须学会用所掌握的物理学的定律和方法,去解决许多难题。因为若想学好大学物理学,不做题是完全不可能的。

物理学是一门定量的科学,需要用数学来表达它的概念。而你们在把矢量分析和微积分用到解决物理习题的过程中,开始总是感到困惑或无所适从。但是你们不应由此就畏难或感到沮丧,因为对于工程技术人员来说,数学是一个工具,它并不比正确理解物理学概念更加重要,只要你坚持不懈地,有意识地去运用它们,逐渐就会习惯起来,并会感到得心应手。

在解决物理问题之前,你们必须十分熟悉构成物理学核心的为数不多的基本定律和定理,并培养将这些概念应用于具体问题的能力,即培养自己思考和工作能力。你应该在课后反复阅读教材和各类参考书,以弄清基本原理和定律,之后则应在不查书的情况下完成教师指定的习题。习题一般分为两大类:一类是把知识运用于一个设定的具体情况,即为复习知识而设的;另一类是较难的,要求你完成一系列的步骤,才能得出答案,即为灵活运用所学知识而设的。为了解出这类习题,你可能要复习以前学过的内容。另一方面,为了培养严谨、科学的态度和方法,训练解题思路,你们解题要严格规范化。关于规范化的要求,在正文中还要叙述。如果你不能在合理的时间内解出那个指定的习题,就先将它放下,过段时间再试一次。帮助你们掌握一些解题的方法,就是这本书编写的目的。

物理学习题一般分为填空题、选择题、计算题、推导证明题、改错题和问答题。各类习题均分为知识型、运用型及灵活运用型。在大学物理学中对基本物理量的矢量性、瞬时性、相对性和迭加性要求准确而深入,对状态量和过程量要理解它们的不同特点,对物理学定律、定理、公式必须清楚它们适用的条件。只有掌握了知识,才能谈到运用和灵活运用。这本书是按照国家教委大学物理课程指导委员会颁布的《大学物理学教学基本要求》中所规定的内容及要求,结合教师在多年教学中积累的经验编写的。内容包括知识、要求、例题和习题。在每一个例题后面的“注意”中重点指出解题关键及历届学生出现过的普遍错误,并在每一部分都归纳了习题的主要类型。由于篇幅所限,例题重点选择了一些较难的计算题,个别部分亦有其它类型的习题。

由于第一次编写这类书籍,在覆盖面及注意问题中,可能并非完全符合你们的要求,希望你们在使用过程中提出自己的意见和看法,以便再版时改进,让它真正成为你们学习大学物理学过程中的良师益友。

目 录

致学生

第一部分 大学物理习题解法概论	1
第二部分 大学物理习题指导	8
第一篇 力学	8
第一章 质点运动学	8
第二章 牛顿运动定律	17
第三章 动量、冲量、质点角动量	22
第四章 功与能	26
第五章 质点力学综合	30
第六章 刚体力学	34
第二篇 热学	40
第七章 气体动理学理论	40
第八章 热力学基础	48
第三篇 静电学	57
第九章 真空中的静电场	57
第十章 有导体和介质时的静电场	71
第四篇 电磁学	82
第十一章 真空中的稳恒磁场	82
第十二章 有介质时的稳恒磁场	97
第十三章 电磁感应	100
第十四章 电磁场	113
第五篇 振动与波	116
第十五章 振动	116
第十六章 波动	124
第六篇 波动光学	133
第十七章 光的干涉	133
第十八章 光的衍射	139
第十九章 光的偏振	143
第七篇 近代物理	146
第二十章 狭义相对论	146
第二十一章 量子物理基础	153
第二十二章 固体、激光及其它	162

第三部分 试卷示例	165
附录 A 常用数学关系式	178
附录 B 基本物理常量	179

第一部分 大学物理习题解法概论

做一定量的习题是为了检查自己对知识掌握的熟练程度和灵活运用能力。物理习题一般有选择题、填空题、计算题、证明题、改错题和问答题六种类型,下面就这几种类型分别给出一般思考解答方法及示例。

一、选择题

选择题无论是单项选择还是多项选择,一般都可分为可直接判断的和需简单计算的两种。内容一般是考查学生对基本概念和基本规律的理解及应用能力。它要求解答迅速,不能乱猜。

解答选择题,首先是要看懂题目在考查哪个概念或哪条定律,从而找到解答的出发点。对那些要求直接判断的题目,先把明显错误的答案划掉,若余下的答案唯一,则必是应选的答案。若为多项选择或对有些选项的对错拿不准时,要逐一分析,尤其是只余下一个答案而仍认为也应否定时,则要从基本概念出发从头考虑再选一遍。对那些需简单计算的,要善于用数学表达式推导,全面分析,不要凭经验或记忆选择,同时要充分利用图示法直观形象的优点,尤其是利用矢量图、坐标图来化繁为简,同时注意量纲的合理性。

例1 一水平传送皮带受电动机的驱动,保持匀速运动,现在传送带上轻轻放置一砖块,则在砖块刚被放上到与传送带共同运动的过程中,应该是:

- (1) 摩擦力对皮带做的功与摩擦力对砖块做的功等值反号;
- (2) 驱动力的功与摩擦力对砖块做的功之和等于砖块获得的动能;
- (3) 驱动力的功与摩擦力对皮带的功之和为零;
- (4) 驱动力的功等于砖块获得的动能。

这个题目是考查动能定理的理解和应用的。

皮带保持匀速运动,其动能不变,据动能定理,此时作用在皮带上的力其功之和必为零。而作用在皮带上的只有驱动力和砖块的摩擦力,所以此二力对皮带之功和一定为零,故(3)是正确的。

(1)之所以错误是因为砖块一落到皮带上并不能立即与皮带有共同的位移,因为从二者刚接触到具有共同速度,其间砖块有一加速过程。此过程中砖块与皮带对地面的位移不同,所以两个摩擦力做功数值不等。

(2)和(4)是动能定理应用不当。因为动能定理叙述的是被做功物体动能的增量与功的关系。而驱动力并不对砖块做功,不能改变砖块的动能,所以这两个选项是错误的。

例2 半径分别为 R 和 r 的两个金属球,相距很远,用一根细长导线将两球连接在一起,并使它们带电,在忽略导线影响的情况下,两球表面的电荷面密度之比 σ_R/σ_r 为:

- (1) R/r (2) R^2/r^2 (3) r^2/R^2 (4) r/R

这是关于静电平衡条件的应用的问题,需进行简单的计算。两球被导线连接后成为一个导体,而导体在达到静电平衡后是个等势体。忽略导线影响则可认为电荷分布在两球面上且各自是均匀的,而分布情况应与球面曲率有关。定性分析可知大球上面密度较小,所以(1)、(2)

肯定不对。但(3)、(4)中应选哪个,则应通过简单计算而决定,不能乱猜。设大小球带电量分别为 q_R 和 q_r , 则两球电势分别为 $q_R/4\pi\epsilon_0 R$ 及 $q_r/4\pi\epsilon_0 r$, 两球等势则有 $q_R/R = q_r/r$, 即 $\sigma_R 4\pi R^2 \cdot r = \sigma_r 4\pi r^2 \cdot R$, 所以有 $\sigma_R/\sigma_r = r/R$, (4) 是正确的。

总之,解答选择题,由于要求迅速准确,所以要特别重视审题,并要熟练掌握基本概念和基本规律及应用它们分析问题的方法。

二、填空题

填空题考查的面更为广泛。如有些应牢记的基本概念的内容、物理意义、数学表达式;它们的简单应用;一些简单而技巧灵活的运算,都可以作为填空题。解答这类题首先要看懂题目的要求,应该用语言叙述的要力求准确,要求用数学式表达的要完整,如矢量符号、运算符、积分区域等缺一不可。要求数值计算的要写出最直观的能表明物理思想的(而不一定是最简的)数值或文字表达式即可。

例 1 在推导理想气体压强公式中,体现统计意义的两条假设是:(1) 容器中任一位置处单位体积内的分子数不比其他位置占有优势;(2) 分子沿任一方向的运动不比其他方向的运动占有优势。

这两条假设说的是分子数密度均匀和运动均匀,这是具有统计意义的。对系统的任一小部分空间或系统在任一一小段时间间隔中可能不均匀,但对整个系统或长时间作统计平均仍是均匀的。所以从“均匀”出发推导出的压强公式,必是一个统计平均的概念。填空语言必须明确而不能含糊。

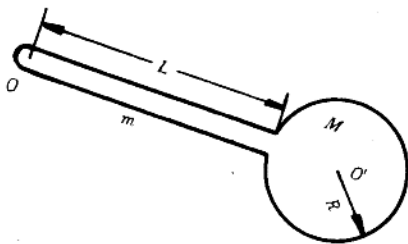
例 2 在没有自由电荷与传导电流,而随时间变化的电磁场中: $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \frac{\partial D}{\partial t} \cdot d\vec{s} =$
 $\underline{\underline{d\Phi_m/dt}}$; $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial B}{\partial t} \cdot d\vec{s} = \underline{\underline{d\Phi_m/dt}}$ 。

此题是考查对麦克斯韦方程组的理解。静电场,稳恒磁场和变化电磁场对 \vec{H} 与 \vec{E} 的环流有什么影响,概念上要清楚。没有自由电荷则没有静电场,没有传导电流则没有稳恒磁场,只有变化电磁场激发的涡旋电场和位移电流存在,所以 \vec{H} 和 \vec{E} 的环流应写成答案中的形式。

例 3 写出下列刚体对 O 轴的转动惯量(O 轴垂直纸面)。

如图半径为 R 、质量为 M 的均匀圆盘联接一长为 L 、质量为 m 的均匀直棒。 $\underline{\underline{\frac{1}{3}mL^2 + \frac{1}{2}MR^2 + M(L + R)^2}}$

这样写出的答案把平行轴定理的应用看得很清楚,可免去化简计算。



例 3 图

三、计算题

这类题是习题中数量最大的。计算题重要的是解

题步骤要规范,这对培养学生良好的科学作风以及提高清晰的论证表达能力有很重要的意义。规范化的要求是:

(1) 在认真复习的基础上仔细审题,简要写出该题的已知条件和所求的物理量,在此过程中,按题意将各物理的单位统一,一般换算成SI制。

(2) 认真地用直尺、圆规或模板作出必要的示意图,并在必要时建立好坐标系,用图示和坐标说明物理量的矢量性直观又简单,规范的示意图还可以启发思维。

(3) 对题目所练习的物理概念和原理首先要作必要的分析说明并列方程,分析说明语言要完整,论证要严谨,不能怕麻烦。列方程要有根据,要写清基本公式。

(4) 先求文字解,对文字解作量纲检查及合理性分析,最后代入数据,计算出数值结果,并注明单位。在没有特殊要求的题目中,数值结果一般保留三位有效数字。最后有必要时对结果要进行讨论。

例1 一升降机以加速度 $a = 1.22\text{m/s}^2$ 上升。当上升速度为 $v_0 = 2.44\text{m/s}$ 时,有一螺帽自升降机顶板上松落,升降机顶板与底板间距离 $h = 2.74\text{m}$,试求:(1) 螺帽从顶板落到底板所需时间 t ; (2) 螺帽相对于地面下降距离 d 。

解 (1) 选如图所示的坐标,当螺帽从顶板脱落时,底板坐标为 y_0 ,顶板与螺帽坐标为 $y_0 + h$,经过时间 t ,底板与螺帽坐标分别为 y_1, y_2 。由匀加速直线运动位移公式:

$$y_1 - y_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$y_2 - (y_0 + h) = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

当螺帽落到底板上时, $y_1 = y_2$,由以上二式可给出

$$v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = h + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

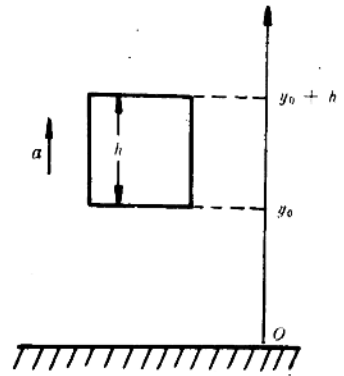
由此解得

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a+g}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.74}{1.22 + 9.80}} = 0.705(\text{s})$$

$$(2) \quad d = y_0 + h - y_2 = \frac{1}{2} g t^2 - v_0 t$$

$$= \frac{1}{2} \times 9.8 \times (0.705)^2 - 2.44 \times 0.705$$

$$= 0.720(\text{m})$$



例1图

例2 “无限长”圆柱面,其电荷面密度由下式决定: $\sigma = \sigma_0 \cos\varphi$, 式中 φ 角为半径 R 与 x 轴之间所夹的角,试求圆柱轴线上一点的场强。

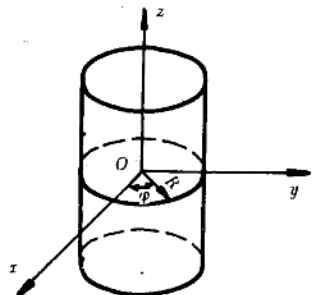
解 将柱面分成许多与轴线平行的细长条,每条可视为“无限长”均匀带电直线,其电荷线密度为 $\lambda = \sigma_0 \cos\varphi R d\varphi$,它在 O 点产生的场强为

$$dE \Delta = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 R} = \frac{\sigma_0}{2\pi\epsilon_0} \cos\varphi d\varphi$$

dE 在 x, y 轴上的两个分量

$$dE_x = -dE \cos\varphi = -\frac{\sigma_0}{2\pi\epsilon_0} \cos^2\varphi d\varphi$$

$$dE_y = -dE \sin\varphi = -\frac{\sigma_0}{2\pi\epsilon_0} \sin\varphi \cos\varphi d\varphi$$



例2图

积分上式得

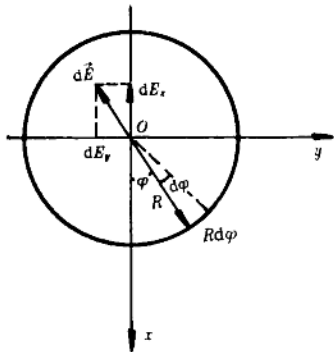
$$E_x = - \int_0^{2\pi} \frac{\sigma_0}{2\pi\epsilon_0} \cos^2\varphi d\varphi = - \frac{\sigma_0}{2\epsilon_0}$$

$$E_y = - \int_0^{2\pi} \frac{\sigma_0}{2\pi\epsilon_0} \sin\varphi \cos\varphi d\varphi = 0$$

所以 $\vec{E} = E_x \vec{i} = - \frac{\sigma_0}{2\epsilon_0} \vec{i}$

分析 由于 $\sigma = \sigma_0 \cos\varphi$, 可知从 x 轴开始在 I、IV 象限 $\sigma > 0$, 而在 II、III 象限 $\sigma < 0$, 而且 σ 分布对称。所以 y 轴上 $E_y = 0$, 而 x 轴方向上 $E_x \neq 0$ 这是电荷分布上大小正负对称的结果。

在计算题中, 事先根据题设条件做简单分析有时可以简化运算。若上例开始就分析出 y 轴分量为零, 则可以去计算 E_y 。有时要运用一定技巧, 如等效法、补偿法、基本元素法等。



例 2 解图

四、证明题

证明题一般有两种, 一种是推导定理、定律、公式等已知的规律, 这是知识型的, 经过这样的练习可以深刻理解基本物理定律的成立条件及物理意义, 并学习物理学家提出模型、分析、推理、归纳的科学思维方法。另一种是应用已知定理定律经过推导计算, 推证另一些命题和结论, 这是应用型的, 是科学思维方法的训练和实践。

做证明题有时可以从已知条件出发, 运用物理定理和定律逐步推出结论, 即正论方法; 有时也可以从结论出发反推出符合题设条件的结论。还可以先否定要证明的结论, 然后论证这样会与题设条件矛盾, 即所谓反证法; 还可以用归纳法等。无论用哪种方法, 都应注意思路清晰、论据必要而又充分、语言简练而又准确, 尤其是所根据的物理学概念、定律、条件均要交待清楚, 数学推导要严格。

例 1 绝热容器中有一定量的气体, 初始压强和体积分别为 P_0 和 V_0 , 用一根通有电流的电阻丝对它加热(设电阻不随温度改变), 在加热的电流和时间都相同的条件下, 第一次保持体积 V_0 不变, 压强变为 P_1 ; 第二次保持压强 P_0 不变, 而体积变为 V_1 , 试证明气体的定压摩尔热容与定容摩尔热容之比

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{(P_1 - P_0)V_0}{(V_1 - V_0)P_0}$$

(不计电阻丝的热容量)

证明 电阻丝的电阻不变, 且两次加热的电流和时间都相同, 据 $Q = I^2 R t$, 气体两次状态变化过程中, 从电阻丝吸的热是相等的, 即有 $Q_1 = Q_2$

设气体初始温度为 T_0 , 第一次加热后温度变为 T_1 , 第二次加热后温度变为 T_2 , 则

$$Q_1 = \left(\frac{M}{M_{mol}} \right) C_v (T_1 - T_0)$$

$$Q_2 = \left(\frac{M}{M_{mol}} \right) C_p (T_2 - T_0)$$

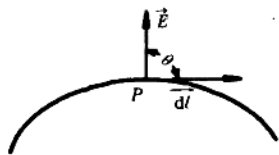
所以 $\left(\frac{M}{M_{mol}} \right) C_v (T_1 - T_0) = \left(\frac{M}{M_{mol}} \right) C_p (T_2 - T_0)$

$$\begin{aligned} \gamma &= C_p/C_v = \frac{T_1 - T_o}{T_2 - T_o} \\ &= \frac{\frac{P_1}{P_o} T_o - T_o}{\frac{V_1}{V_o} T_o - T_o} \\ &= \frac{(P_1 - P_o) V_o}{(V_1 - V_o) P_o} \end{aligned}$$

例 2 试论证静电场中电力线与等势面处处正交。

证明 在任意静电场中, 设有一试验电荷 q_o 从某等势面上任一点 P 沿等势面作微小位移 $d\vec{l}$, 因为 q_o 的电势能没有变化, 说明在移动过程中电场力做功为零, 即 $dA = q_o E \cos\theta dl = 0$

式中 θ 为场强 \vec{E} 与位移 $d\vec{l}$ 之间的夹角, 如图所示。因为 q_o 、 E 、 dl 均不为零, 唯一可能的是 $\cos\theta = 0$, 即 $\theta = \frac{\pi}{2}$, 即场强 \vec{E} 垂直于 $d\vec{l}$, $d\vec{l}$ 沿等势面切线方向。可知, 电力线与等势面相互正交。



例 2 解图

由于 P 为任意静电场中任意等势面上的任意点, 所以说静电场中电力线与等势面处处正交。

五、改错题

这类题目把学习中易发生混淆的概念和常犯的错误的某些问题中提出, 让学生通过分析检查来澄清似是而非的认识。解答这类问题首先要看懂题目中主要讨论的是哪一个概念, 哪一条定律, 然后用正确的概念、定律及成立条件去对比检查, 找出错误之处。解答时先指出错误之处, 再说明错误原因, 最后给出正确答案。

例 1 一平行板电容器, 极板面积为 S , 间距为 d , 接在电源上维持两极板间电压为 V 。将一块厚度为 d , 相对介电常数为 ϵ_r 的各向同性均匀电介质板平行地插入两极板间, 则介质插入前电容器内电场能量为:

$$W_o = \frac{1}{2} C_o V^2 = \frac{\epsilon_o S V^2}{2d}$$

插入后电容器内电场能量变为

$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{\epsilon_o \epsilon_r S V^2}{2d}$$

静电能的增量为

$$\Delta W = \frac{\epsilon_o S V^2 (\epsilon_r - 1)}{2d}$$

有人根据功能原理求得电场力对介质板的功为:

$$A = -\Delta W = -\frac{\epsilon_o S V^2 (\epsilon_r - 1)}{2d} < 0$$

即电场力做负功。

你认为以上计算和所得结论是否正确? 如有错误请指出并改正。

解 电场能量的改变 ΔW 的计算是对的, 但电场力做负功的结论不对。因为电容器始终与

电源相连,在插入介质板时因维持 V 不变,电源需要给电容充电,在这过程中,除了电场能量的改变外,还需考虑电源做的功。不考虑电源做功是不对的,所以结论不对。

正确的结论应为:据功能原理电源做的功等于电场能量的增量与电场力对介质板所做功之和。即

$$A_{\text{源}} = \Delta W + A_{\text{电场}}$$

而 $A_{\text{源}} = \Delta Q \cdot V, \quad \Delta Q = Q - Q_0 = (C - C_0) \cdot V$

所以有 $A_{\text{源}} = (C - C_0)V^2$

$$= \left(\frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} - \frac{\epsilon_0 S}{d} \right) V^2$$

$$= \epsilon_0 \cdot S(\epsilon_r - 1)V^2/d$$

则 $A_{\text{电场}} = A_{\text{源}} - \Delta W$

$$= \epsilon_0 S(\epsilon_r - 1)V^2/d - \epsilon_0 S(\epsilon_r - 1)V^2/2d$$

$$= \epsilon_0 S V^2 (\epsilon_r - 1)/2d > 0$$

即电场力对介质板做正功。

例 2 长为 l , 质量为 m 的均匀细杆可绕通过其上端的水平光滑固定轴 O 转动, 另一质量亦为 m 的小球, 用长也为 l 的轻绳系于上述的 O 轴上。如图所示。开始时杆静止在竖直位置, 现将小球在垂直于轴的平面内拉开一定角度, 然后使其自由下摆与杆端作弹性碰撞, 结果使杆的最大偏转角为 $\pi/3$ 。求小球最初拉开的角度 θ 。有人如下解:

在小球下落过程中, 对小球与地球系统, 因仅有重力做功, 所以机械能守恒, 设 v 为小球碰前速度, 则有

$$mgl(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{①}$$

小球与杆作弹性碰撞所以对小球与杆系统动量守恒亦有机械能守恒:

$$mv = mv' + m\omega l \quad \text{②}$$

上式中 v' 为小球碰后速度, ω 为棒碰后角速度。

$$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{3}ml^2 \right) \omega^2 + \frac{1}{2}mv'^2 = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{③}$$

碰后杆摆动过程中, 对杆与地球系统机械能守恒, 所以又有:

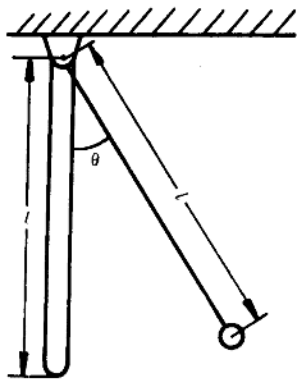
$$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{3}ml^2 \right) \omega^2 = \frac{1}{2}mgl \left(1 - \cos \frac{\pi}{3} \right) \quad \text{④}$$

由 ①②③④ 式解得 $\cos\theta = \frac{2}{3}$

即 $\theta = \cos^{-1} \frac{2}{3}$

答 解答中式 ② 是错误的, 因为小球与杆系统在碰撞过程中动量并不守恒。小球与杆碰撞过程中外力除了重力之外还受轴的作用力, 此力为冲力, 它与球与杆之间的相互作用力相比不能忽略, 此力为系统的外力, 所以忽略重力作用后系统动量也不守恒。另一方面, 杆上各点线速度不同, 其动量也不能用 $m\omega l$ 表示。

正确的答案应是, 对小球与杆系统的碰撞过程, 在碰后瞬间杆与球位置还未改变时, 球和杆的重力对 O 轴无力矩, 轴的支持力也对 O 轴无力矩, 所以系统在碰撞过程中合外力矩为零。



例 2 图

系统对定轴 O 的角动量守恒,故有

$$mvl = mv'l + \frac{1}{3}ml\omega \quad (2)$$

此式与原题中 ①③④ 联立,可求出正确结果为 $\theta = \cos^{-1} \frac{2}{3}$

六、问答题

问答题一般问在基本概念上的比较多。有一些名词解释,如什么是自由度,什么叫准静态过程,什么是粒子数反转等。也有一些应用基本概念解释物理现象或判断应出现的现象或结论的问题。解答这类问题一是要有明确的答案,二是必要时说明理由。回答问题语言要完整、精炼,叙述基本概念要准确。

例 1 当盛有理想气体的密封容器相对某惯性系运动时,能否说容器内分子的热运动速度相对这参照系也增大了,从而气体的温度也因此升高了,为什么?

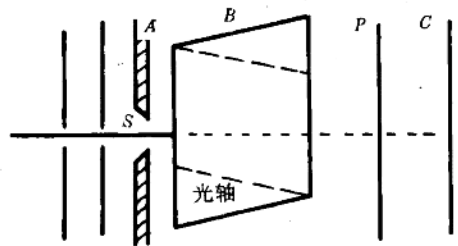
假如该容器突然停止运动,容器内气体的压强、温度是否变化?为什么?

答 (1) 公式 $\frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT$, 揭示了温度的微观本质,即温度仅是分子热运动的平均平动动能的量度,与是否有定向运动无关。所以当容器发生定向运动时,虽然每个分子此时在原有的热运动基础上叠加了定向运动,也不会因此而改变分子的热运动状态,所以气体的温度不会升高。

(2) 容器突然停止运动时,分子的定向运动动能经过分子与容器壁的碰撞和分子间的相互碰撞而发生能量的转化,定向运动的机械能转化为分子热运动能。

气体的内能增加了,所以气体的温度升高了,由于容积不变,所以气体的压强也增大了。

例 2 如图所示, A 是一块有小圆孔 S 的金属挡板, B 是一块方解石。其光轴方向在纸面内。 P 是一块偏振片, C 是屏幕。一束平行的自然光穿过小孔 S 后,垂直入射到方解石的端面上,当以入射线为轴,转动方解石时,在屏幕 C 上能看到什么现象?



例 2 图

答 一个光点围绕着另一个不动的光点旋转,方解石每转过 90° 角时,两光点的明暗交变一次。

以上如例 1 题中问了为什么,则理由一定要回答清楚、完整;而如例 2 只问能看到什么现象,则只答出应看到的现象就可以了。

以上只是粗略地给出解答各类型习题的一般原则和常用方法,实际上物理学习题是千变万化的,但万变不离其宗,其出发点总是物理学概念、定理、定律及它们的应用。所以说想学好物理不做题不行,但也不能搞题海战术,关键是在基本概念和原理上下功夫,只有掌握了基本知识,解题才能思路清晰,举一反三、触类旁通。

第二部分 大学物理习题指导

第一篇 力学

第一章 质点运动学

一、内容提要

(一) 基本概念

1. 参照系:又称为参考系。为确定物体的位置和描述物体的运动而被选作参考的物体或物体群。如果物体相对于参照系的位置在变化,就表明物体相对于该参照系在运动;如果物体相对于参照系的位置不变,就表明物体相对于该参照系是静止的。同一物体相对于不同参照系的运动状态可以有不同的描述。参照系的选择主要决定于问题的性质和研究的方便。对于物体在地面上的运动,常以地面或相对于地面静止的物体作参照系;对于行星的运动,则常以太阳或其它恒星作参照系。

2. 坐标系:确定空间一点相对于某参照系的位置所采用的坐标系统。坐标系包括选定在参照系上的原点和通过原点标明长度的一条或几条坐标轴。坐标轴确定后,即可按规定的方法选取一组有序实数表示空间任意一点相对于原点的位置,这一组有序的实数称为该点的坐标。坐标系的种类很多,常用的坐标系有:笛卡儿直角坐标系、平面极坐标系、柱坐标系和球面坐标系等。对于空间同一点,在不同的坐标系下的坐标是不同的。

3. 位置矢量:又称位矢。描述空间质点位置的物理量。在坐标原点确定后,空间质点在某一时刻的位置可由以原点为起点,以质点位置为终点的位置矢量确定。位置矢量 \vec{r} 在三维直角坐标系中可以表示为 $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$,式中 x, y, z 即为质点的直角坐标。在采用球面坐标系时,质点的位置矢量可用下式表示 $\vec{r} \equiv \vec{r}(r, \theta, \varphi)$

4. 位移矢量:描述空间质点位置变化的物理量。设质点在 t 时刻的位置矢量为 $\vec{r}(t)$,在 $t + \Delta t$ 时刻的位置矢量为 $\vec{r}(t + \Delta t)$,则质点在 Δt 时间内的位移矢量

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

在三维直角坐标中: $\Delta\vec{r} = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k}$ 。

5. 路程:描述质点运动情况的物理量。质点在某一时间内经过的路径的长度称为质点在该

时间内的路程。路程是标量,常用符号 s 表示。

6. 运动方程:描述质点运动规律的方程。当质点运动时,其位置矢量是时间的函数。质点的位置矢量随时间变化的函数式称为质点的运动方程。通常以 $\vec{r} = \vec{r}(t)$ 表示;在三维直角坐标系中,质点的运动方程具有如下的形式:

$$\begin{cases} x = f_1(t) \\ y = f_2(t) \\ z = f_3(t) \end{cases}$$

7. 轨道:运动质点的轨迹。假设一质点的运动方程为

$$\begin{cases} x = f_1(t) \\ y = f_2(t) \\ z = f_3(t) \end{cases}$$

以不同的 t 值代入可依次得出质点在不同时刻 t 的位置的坐标。根据这些点的坐标,即可描出运动质点的轨道。由于运动质点的轨道与时间无关,可以把上述运动方程中的 t 看作参量,运动方程就是轨道的参量方程。如果能够直接运用消元法消去质点运动方程中的时间变量 t ,即可求得质点的轨道方程,例如以

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

的形式表示的一条曲线。

8. 速度矢量:简称速度。描述运动质点位置变动快慢的物理量。设质点在时间 Δt 内的位移矢量为 $\Delta \vec{r}$,则位移矢量 $\Delta \vec{r}$ 与相应的时间 Δt 的比称为运动质点在时间 Δt 内的平均速度,常用符号 \bar{v} 表示,即

$$\bar{v} = \Delta \vec{r} / \Delta t$$

平均速度的方向是与质点在时间 Δt 内的位移矢量的方向一致的。当时间 Δt 趋于零时,质点运动的平均速度的极限值称为质点在时刻 t 的瞬时速度,瞬时速度又称即时速度,简称质点在时刻 t 的速度,常用符号 \vec{v} 来表示。即

$$\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}(t)}{dt}$$

质点运动的速度矢量是质点的位置矢量对时间的一阶导数。速度矢量的方向是时间 Δt 趋于零时,位移矢量 $\Delta \vec{r}$ 的极限方向,是沿着轨道的切线方向的。

在三维直角坐标系中,速度可表示为:

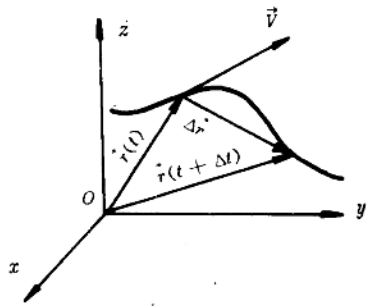
$$\vec{v}(t) = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$$

式中 $v_x = dx/dt$, $v_y = dy/dt$, $v_z = dz/dt$

9. 速率:描述质点运动快慢的物理量。质点运动的路程 Δs 与相应的时间 Δt 的比称为运动质点在时间 Δt 内的平均速率,常用符号 \bar{v} 表示。即

$$\bar{v} = \Delta s / \Delta t$$

当时间 Δt 趋于零时,质点运动的平均速率的极限值称为质点在时刻 t 的瞬时速率,又称质点在时刻 t 的即时速率,简称质点在时刻 t 的速率,常用符号 v 表示。即



速度矢量图

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

质点的速率等于速度的大小。

10. 加速度矢量: 描述质点运动速度变化快慢的物理量。设在时刻 t 到 $t + \Delta t$ 的过程中, 质点运动的速度由 \vec{v} 改变为 \vec{v}' , 则质点在时间 Δt 内速度的增量 $\Delta \vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}$ 与相应的时间 Δt 的比称为运动质点在时间 Δt 内的平均加速度, 常用符号 \vec{a} 表示, 即

$$\vec{a} = \Delta \vec{v} / \Delta t$$

平均加速度的方向是与时间 Δt 内质点运动速度的增量 $\Delta \vec{v}$ 的方向一致的。平均加速度反映质点运动速度在时间 Δt 内的平均变化率。

当时间 Δt 趋近于零时, 质点运动的平均加速度的极限值称为运动质点在时刻 t 的瞬时加速度, 又称运动质点在时刻 t 的即时加速度, 简称运动质点在时刻 t 的加速度。常用符号 \vec{a} 表示。即

$$\vec{a}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$$

运动质点的加速度等于质点的速度对时间的一阶导数。加速度的方向是当时间 Δt 趋于零时, 速度增量 $\Delta \vec{v}$ 的极限方向。

在三维直角坐标中, 运动质点在时间 Δt 内的平均加速度可表示为

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

式中 $a_x = \Delta v_x / \Delta t; a_y = \Delta v_y / \Delta t; a_z = \Delta v_z / \Delta t$ 。

运动质点在时刻 t 的加速度可表示为

$$\vec{a}(t) = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$

式中

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$$

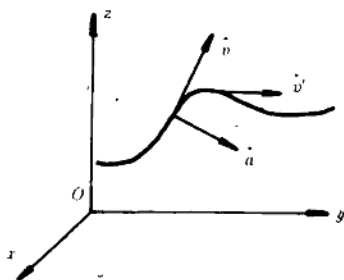
$$a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

即运动质点的加速度在直角坐标轴上的投影, 分别等于质点位矢的对应坐标对时间的二阶导数。

11. 角位移: 质点沿一定方向旋转的角度。通常规定面对转动轴的正方向时沿逆时针旋转为角位移正向, 角位移大小以 θ (弧度) 表示。

12. 角速度: 描述角位移随时间变化的快慢程度的物理量; 在数值上为角位移对时间的一阶导数, 通常表示为 $\omega = d\theta/dt$ 。

13. 角加速度: 表示角速度随时间变化的快慢程度的物理量, 在数值上为角速度对时间的一阶导数, 常以 β 或 α 表示, 即 $\beta = d\omega/dt$ 。



加速矢量图

(二) 基本原理及定律

1. 伽利略坐标变换: 选用不同的惯性系来描述同一过程时, 相应的坐标和时间变量的变换。设坐标系 $S'(o'x'y'z')$ 相对于坐标系 $S(oxyz)$ 以速度 \vec{v} 沿 x 轴的方向作匀速直线运动, 在静止于 S' 系的钟及静止于 S 系的钟的读数均为零时, S 系和 S' 系的原点 o' 和 o 重合。设在某时刻空间某处发生一物理事件 p , S 系观察者用静止于 S 系的尺及钟测出事件 p 发生的地点及时刻为 x, y, z 和 t ; S' 系的观察者用静止于 S' 系的尺及钟测出事件 p 发生的地点及时刻为 x', y', z' 和 t' 。若 S 系和 S' 系中的尺和钟完全相同, 则 (x, y, z, t) 与 (x', y', z', t') 之间的关系为:

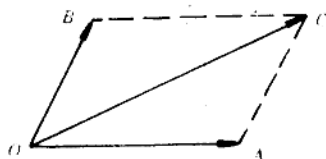
$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

上面各式就是伽利略坐标变换式, 简称伽利略变换。

2. 相对运动: 在同时采用两种参照系的情况下, 质点相对于非基本参照系的运动。当把固定在地面上的参照系作为基本参照系, 称为静参照系; 而把固定在某运动物体上的平动参照系作为非基本参照系, 称为动参照系。质点相对于静参照系的运动称为绝对运动; 相对于动参照系的运动称为相对运动。动参照系相对于静参照系的运动称为牵连运动。

质点的绝对运动可以看作是由相对运动和质点跟随动参照系所作牵连运动两者合成的结果。这种合成结果是唯一的, 这唯一结果正是实际运动本身。反之, 将一个实际运动分解为两个分运动来讨论时, 分解的方法是任意的, 如何分解, 应视实际所求解的内容而决定, 原则是简捷、明了。

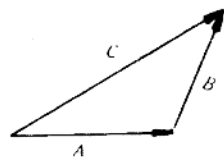
3. 平行四边形法则: 两个互成角度的矢量合成, 可以用这两个矢量为邻边的平行四边形的对角线来表示。



平行四边形法则示意图

合矢量的大小和方向可以用三角函数来计算。如图 C 的量值由 $C^2 = A^2 + B^2 + 2AB\cos\varphi$ 计算; \vec{C} 的方向可由式子 $\sin\beta = \frac{B}{C}\sin\varphi$ 决定。

4. 三角形法则: 矢量相加法则。两个矢量 \vec{A} 和 \vec{B} 的矢量和是将 \vec{A} 、 \vec{B} 头尾相接, 例如将矢量 \vec{B} 的首端与矢量 \vec{A} 的尾端相接, 此时以 \vec{A} 的首端为始点以 \vec{B} 的尾端为终点的矢量 \vec{C} 就是矢量 \vec{A} 和 \vec{B} 的合矢量。



三角形法则示意图

由上述法则看出, \vec{A} 、 \vec{B} 和它们的合矢量 \vec{C} 构成一个三角形的三边, 所以称这种相加法为矢量相加的三角形法则。根据矢量相加的三角形法则求得的合矢量与两矢量相加的次序无关。

(三) 基本公式

1. 自由落体运动(令坐标轴向上为正)

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$