

第2版

奥赛·高考 全程对接

高二物理

北京四中
北师大实验中学
人大附中
清华附中
北师大二附中
首师大附中
北京八中
北京101中学
民族大学附中
北京13中

教师联合
编写组编写

ISBN 7-111-01721-8/G·764
封面设计 / 电脑制作：鞠杨

奥赛·中考全程对接	初一数学
奥赛·中考全程对接	初二数学
奥赛·中考全程对接	初二物理
奥赛·中考全程对接	初三数学
奥赛·中考全程对接	初三物理
奥赛·中考全程对接	初三化学
奥赛·高考全程对接	高一数学
奥赛·高考全程对接	高一物理
奥赛·高考全程对接	高一化学
奥赛·高考全程对接	高二数学
奥赛·高考全程对接	高二物理
奥赛·高考全程对接	高二化学
奥赛·高考全程对接	高三数学
奥赛·高考全程对接	高三物理
奥赛·高考全程对接	高三化学
奥赛·高考全程对接	高中生物

ISBN 7-111-01721-8



9 787111 017219 >

定价：16.00 元

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010) 68326294 网址：<http://www.cmpbook.com>
E-mail: online@cmpbook.com

奥赛·高考全程对接 高二物理

编委会主任:黄儒兰

编委:	于海飞	马蕊	王玉梅	王旭增	王凤丽
	王凤霞	王宏燕	王国德	王春燕	王瑞琪
	介金	左丽华	刘建玉	刘跃先	刘惠斌
	孙敏	李双平	余平平	李伟	李晋洲
	李菊红	纽方文	陈龙清	陈虹	郑芝萍
	张国平	郁秀萍	金梅	郭志刚	贾红军
	黄凤圣	康瑞玉	靳强	景宝琴	董培基
	董雪清	廖康强	熊辉	游海娥	蔡 晔
	高欣	常玉林	刘新华	王 勇	

机械工业出版社

本书以高中二年级教学大纲中的重点、难点和高中竞赛大纲中被加深、拓展的知识点为知识基础。结合涉及到的本年级各类典型竞赛例题,剖析知识的内涵,发掘思维的本质,介绍解决难题的常规方法,归纳发散,培养和训练开放型创新思维,对接历年高考中有关本知识段的“难题”,用奥赛解题思维巧解高考难题,并通过举一反三训练及时巩固,引导创新。

图书在版编目(CIP)数据

奥赛·高考全程对接·高二物理/刘跃先,贾红军主编.—2版.
—北京:机械工业出版社,2004.8
ISBN 7-111-01721-8

I. 奥... II. ①刘...②贾... III. 物理课—高中
—升学参考资料 IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 070294 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:邝 鸥

版式设计:郑文斌

封面设计:鞠 杨

责任印制:闫 焱

保定市印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 2 版·第 1 次印刷

880mm × 1230mm 1/32·12.125 印张·380 千字

定价:16.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话:(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前言

1.0版
(理科本)

“奥林匹克”这一响亮的名字,已经成为最高水平竞赛的代名词,对每一位有竞争意识的人来说,能够得到它的垂青,是一种无尚的荣誉,哪怕只是参与一下都会让人激动不已。

本书编写意图

“中学生学科奥林匹克竞赛”也是如此。1959年第一届国际中学生数学奥林匹克竞赛(IMO)在罗马尼亚成功举办,拉开了中学生学科奥林匹克竞赛的序幕。到现在,这一赛事已经涉及到许多学科,如:中学生物理奥林匹克竞赛(IPHO)、化学奥林匹克竞赛(ICO)、生物奥林匹克竞赛(IBO)、信息学奥林匹克竞赛(IOI)等。我国自1985年参加这一赛事以来,取得了辉煌的成绩,同时,国内各类中学生学科奥林匹克竞赛也如火如荼开展起来。最高教育和科技行政部门也对这些竞赛给予了足够重视。不仅形成了规范的竞赛制度,还制定了与普通教学大纲相衔接的三个竞赛级别的大纲,如此系统的大纲,除中考、高考外还是第一个。因此这些竞赛也成为各名牌学校选拔优秀新生的重要参照。

在2004年高校招生中,一批一流重点大学对高中应届毕业生的免试保送资格有如下要求:曾获全国高中数学联赛、全国中学生物理竞赛、全国高中学生化学竞赛、全国青少年信息学奥林匹克联赛、全国中学生生物学联赛,省级赛区一等奖的;曾获全国数学奥林匹克竞赛、全国中学生物理竞赛、全国高中学生化学竞赛、全国青少年信息学奥林匹克竞赛、全国中学生生物学竞赛决赛一、二、三等奖的。由此可以看出中学生学科奥林匹克竞赛已经得到了高等教育者的普遍认可。另外,在各类全国级别学科竞赛中获奖者的高考成绩还享有最高50分的“特征分”加分。

看到以上这段文字,每一位面临高考的同学都不免会怦然心动。

同时我们也可以感受到一个信息：奥林匹克竞赛的内容似乎对高考有一定的指导意义。

奥林匹克竞赛受到如此高度的重视，其很重要的原因是各级“奥赛”试题具有很强的创新性、灵活性、综合性。注重考查学生对知识的理解及综合运用能力、思维方法的掌握和创新能力。而这一点恰恰是素质教育的核心内容，也是高考改革的精神实质。

2004年的高考试卷虽然分成了十几个品种，但都有一个共同点：没有明显的送分题，考查点偏重于知识网络的交汇点。用常规的课堂教学思维应付已明显不太够。如果考生缺乏开放性思维、应用意识，肯定拿不到高分。

对比“奥赛”初赛、复赛大纲和高考大纲，以及历年初赛、复赛试题和近几年各地高考中的难题、压轴题也不难看出，许多高考难题都能在“奥赛”试题中看到“影子”。甚至某些题就是上一届奥林匹克竞赛题的翻版。因此，我们学习和研究奥林匹克竞赛试题不光是为了夺取“奥赛”金牌，更重要的是可以让我们站在一个更高的高度俯视日常学习和高考，在学习和考试中脱颖而出。

但是，要想攀上奥林匹克的高峰可不是一件容易事，因为它首先要求同学们在具有扎实的课本知识的基础上还要了解知识的更深层的内涵和更广的外延；其次，还要求同学们具有很强的综合创新解题能力。这两点要求，就目前正常的中学教学和学习深度还是很难达到的。所以要在掌握好教学大纲规定的知识和能力的同时，进行一些拓展学习和训练。日积月累、循序渐进，把自己也培养成一个“天才”。

如何进行课外拓展学习，不能盲目操作，要有一套科学的方法和计划，还要有一个得力的助手——辅导参考书。否则，会顾此失彼，得不偿失。

基于以上几方面原因，我们编写了这套丛书，将奥赛和高考有机地结合起来，借“他山之石”，攻“此山之玉”，希望能为同学们找到一条通向成功的有效捷径。

本书编写特点

本书内容的难度定位在略高于高考水平，相当于奥林匹克竞赛

的中等难度,以高中教学大纲和高考大纲中的重、难点和被奥赛大纲加深、拓展的知识点为知识基础,结合各类典型竞赛例题,剖析知识的内涵,发掘思维的本质,介绍解决难题的开放性思维方法,归纳发散,培养和训练开放型创新思维能力,对接历年高考中的经典“拔高”题,用奥赛解题思维巧解高考难题,并通过举一反三训练及时巩固,引导创新。

本书编写形式为讲练结合,重点放在例题讲解上。所选例题具有典型的代表性,思路剖析透彻,解答过程详尽,点津之笔富有启发性,跟踪练习题典型而精炼,能起到举一反三之效果。力求避免“偏题”、“怪题”和“题海战术”。对于较难的练习题,一般会给出全解或解答提示,但这仅作参考。同学们要自己开动脑筋,结合例题,想出自己的解决方案来。

本套丛书涉及数学、物理、化学、生物各科,涵盖中学各个年级,共计 16 分册,知识讲解系统,题型全面,可作为同步辅导教材使用。

本书编写力量

参加本套丛书编写的人员均为来自北京四中、人大附中、北师大附属实验中学、清华附中、黄冈中学、启东中学、龙岩一中、首师大附中、北师大二附中、北京八中、北京 101 中学、北京 13 中、民族大学附中等一批重点名校的一线优秀教师和奥赛辅导教练;部分清华大学和北京大学的奥赛保送生和高考理科状元也为本书做了许多有益工作。

修订版说明

本丛书面市一年来,得到了读者朋友的一致认可。为了感谢读者的厚爱,并使我们的作品质量更上一层楼,我们本着与时俱进的时代精神和自我批评、精益求精的态度,组织了一批经验丰富的专家和勇于创新的一线优秀青年教师,分析研究 2004 年的各类竞赛和高考新变化,对原书内容进行了必要的修订,为同学们迎接下一轮升学考试再出一把力。

由于编写时间较紧,可能存在一些缺憾,敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

前 言	
第一章 机械振动	(1)
第二章 机械波	(59)
第三章 热学	(82)
第四章 电场	(112)
第五章 恒定电流	(139)
第六章 磁场	(167)
第七章 电磁感应、交变电流和电磁波	(199)
第八章 光学和原子物理	(233)
第九章 竞赛实验	(273)
综合练习(一)	(362)
综合练习(二)	(373)

注:每章均包含[知识对接]、[经典名题]、[思维发散]、[高考对接]、[举一反三训练]、[答案与提示]六个板块。



第一章 机械振动



知识对接

一、简谐运动

$$y = w \cdot R \sin(\omega t + \phi)$$

物体或物体的一部分在某一位置附近所做的往复运动叫机械振动,简称振动.最简单、最基本的振动是简谐运动,而且运用数学知识也可以证明:所有的机械振动都可以分解成一系列简谐运动.

1. 简谐运动的特点

简谐运动是一种最简单、最有用的机械振动.做简谐运动的物体一离开平衡位置就受到回复力的作用,回复力的大小总是与离开平衡位置的位移大小成正比,方向总是指向平衡位置(与离开平衡位置的位移方向相反).简谐运动的物体的位移与时间的关系图线是余弦(或正弦)曲线.利用图像来分析和讨论问题既简单又直观,是一种很好的途径.

2. 简谐运动的方程

作匀速圆周运动的质点在它的任一径上的投影点的运动是简谐运动.如图 1-1 所示,从 $t=0$ 时刻,一质量为 m 的物体从 x 轴上的 A 点开始做匀速圆周运动,角速度为 ω ,经过时间 t ,物体到达 B 点,它的向心加速度在 x 方向上的投影的大小为: $a_x = \omega^2 r$
 $= \omega^2 R \cos \omega t$

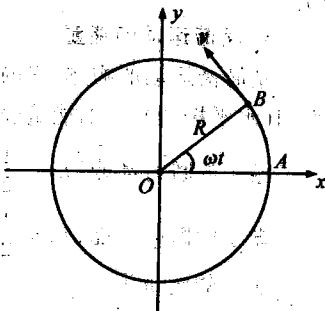


图 1-1

它在 x 轴上的投影点离 O 点的距离 x :

$$x = R \cos \omega t \quad \text{即} \quad a_x = \omega^2 x$$

因为 a_x 的方向和 x 的方向相反,所以有

$$a_x = -\omega^2 x$$

从图中同样可以看出,物体在 x 轴上投影的速度为 v_x . $v_x = -\omega R \sin \omega t$.

对照简谐运动的特点,物体受到的回复力 F 的大小与它偏离平衡位置的位移大小成正比,方向总指向平衡位置.即: $F = -kx$.





分析可得: $x = R \cos \omega t$ $v = -\omega R \sin \omega t$

$a = \omega^2 R \cos \omega t$ 是简谐运动的方程. 图 1-1 中, 当 $t=0$ 时, 若物体不在 A 位置, 物体与 O 的连线与 OA 的夹角为 φ_0 , 那么方程为

$$x = R \cos(\omega t + \varphi_0) \quad v = -\omega R \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$a = -\omega^2 R \cos(\omega t + \varphi_0) \quad F = -m\omega^2 R \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$\omega = \sqrt{k/m}$ (k 是 $F = -kx$ 的比例系数, m 为物体的质量) 也可表示为

$$F = -kx \quad a = -\frac{k}{m}x \quad v = \pm \omega \sqrt{R^2 - x^2}$$

3. 简谐运动的周期

因为物体做简谐运动满足条件:

$$F = -kx, \text{ 又因为: } \omega = \sqrt{k/m}$$

所以周期为

$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{m/k}$. 由上式可看出周期与振幅是无关的. 由于简谐运动的质点具有周期性, 质点运动的路程就可能具有多解性, 这是必须注意的.

4. 简谐运动的能量

做简谐运动的物体, 它的能量由物体的动能和势能构成, 以弹簧振子为例(水平振动), 它的能量表达式为

$$\text{振子的瞬时动能: } E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi)$$

$$\text{振子的瞬时势能: } E_p = \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

振子的能量为

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 + \frac{1}{2} k A^2$$

上三式中的 A 为振子的振幅, 也就是前面圆周运动中的 R . k 、 A 都是恒量, 振动过程中系统的机械能守恒.

在实际振动中, 由于阻力的作用, 自由振动的振子振幅逐渐减小, 这种振动称为阻尼振动. 通过理论和实践都可得出, 对一个自由振动来说, 有阻尼要比无阻尼时周期长些; 阻尼越大, 周期也相应地越长; 阻尼足够大, 物体停止振动, 周期可认为无限长.

二、弹簧振子与单摆

1. 弹簧振子

(1) 恒力对弹簧振子的作用 如图 1-2 所示: 弹簧为理想弹簧, 地面光滑, 此装置可视为弹簧振子(标准的简谐运动)。

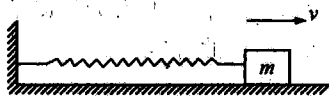


图 1-2

如图 1-3 所示: 在运动方向上除了受到弹力还受到重力。根据受力分析, 可知竖直弹簧振子同样满足: $F = -kx$ 。两种情况振动的周期是相同的, 也就是说加在振动方向上的恒力不改变振动的周期(在弹性限度内)。

(2) 弹簧组合成的弹簧振子 如图 1-4 所示: 设有 n 个劲度系数为 $k_1, k_2, \dots, k_n$ 的理想弹簧串联起来, 组成一个弹簧组。单个弹簧的伸长为 x_i , 总伸长为

$x = \sum_{i=1}^n x_i$ 各弹簧拉力相同, 看成一个弹簧, 其劲度系数 图 1-3

为 k

$$\text{则: } k = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \dots + \frac{1}{k_n}}$$

因此, 简谐运动的方程为

$$F = \frac{-1}{\frac{1}{k_1} + \dots + \frac{1}{k_n}} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = -\frac{1}{\frac{1}{k_1} + \dots + \frac{1}{k_n}} \cdot x$$

如图 1-5 所示: 若是把上述 n 个弹簧并联起来 (n 个弹簧原长都一样) 构成一个弹簧组。

各弹簧的伸长是相同的, 简谐运动可表示成

$$F = -k_1 x - k_2 x - \dots - k_n x$$

$$F = -x \sum_{i=1}^n k_i$$

(3) 无固定点的弹簧振子 如图 1-6 所示: 质量

为 m_A, m_B 的两物体用一根劲度系数为 k 的弹簧相连, 放在光滑水平面上, 让两物体拉伸弹簧后由静止释放, 求系统的周期。

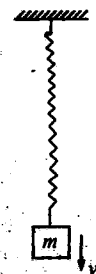


图 1-4

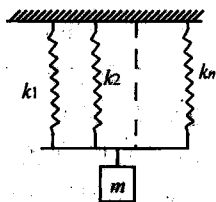


图 1-5



图 1-6

把物体 A、B 和弹簧看成一系统,系统动量守恒.

可得: $m_A x_A = m_B x_B$ (x_A 、 x_B 为 A、B 偏离原平衡位置的位移), 设 A、B 两物体所受弹力的大小为 F_A 和 F_B .

$$\text{则: } F_A = F_B = (x_A + x_B)k$$

$$F_A = k \frac{m_A + m_B}{m_B} x_A \quad F_B = k \frac{m_A + m_B}{m_A} x_B$$

可见 A、B 两物体都做简谐运动, 周期都为

$$T = 2\pi \sqrt{m/k} = 2\pi \sqrt{\frac{m_A m_B}{k(m_A + m_B)}}$$

2. 单摆

摆在摆动过程中, 如果摆球限度可忽略, 摆动在一平面内且摆角小于 10° 的摆称为单摆.

如图 1-7 所示, 在地面上“静止”的摆(摆整体静止).

$$\text{回复力: } F = -\frac{mg}{l}x$$

$$\text{周期: } T = 2\pi \sqrt{l/g}$$



图 1-7

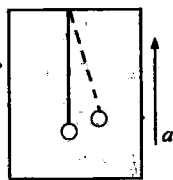


图 1-8

(1) 等效重力加速度 g' 如图 1-8 所示, 在加速上升电梯中的单摆, 电梯以加速度 a 加速上升, 小球在电梯内相对电梯受到一个惯性力 $F = ma$, 它可以“平衡”在最低点, 单摆在电梯中以最低点为中心做简谐运动. 它受到的回复力大小是

$$F_{\text{回}} = \frac{mg}{l/g'} + \frac{ma}{l/g'} = \frac{mg'}{l}$$

$$\text{周期: } T = 2\pi \sqrt{l/g'} \quad (g' = g + a)$$

(2) 等效摆长 l' 如图 1-9 所示, A、B、C 三点等距, 距离是 l . AC、

BC 是两条理想绳, A、B 为悬点, C 是一质量为 m 的物体. AB 的中点 D 与 C 的连线 DC 与竖直方向的夹角为 θ , 在这个摆中, g 和 l 同时发生了异化. 当物体做小角度垂直纸面摆动时, 实际是围绕 AB 的中点 D 运动, 故等效摆长为 $l' = \sqrt{3}l/2$, 小球围绕 D 点摆动, 的有效重力是 $mg' = mg \cos \theta$, 因此摆的周期

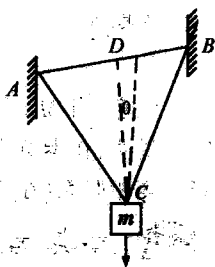


图 1-9

$$T = 2\pi \sqrt{l'/g'} = 2\pi \sqrt{\frac{\sqrt{3}l}{2g \cos \theta}}$$

(3) 悬点不固定单摆 如图 1-10 所示, 一质量为 M 的车厢静止在光滑水平面上, 厢顶悬一摆长为 l , 摆球质量为 m 的单摆, 单摆摆动时此摆的周期为多大?

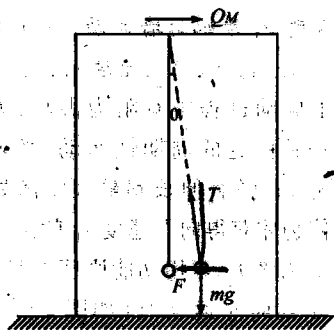


图 1-10

当摆线与竖直方向的夹角为 θ 时, 摆球受重力 mg , 拉力 T 和惯性力 $F_{\text{惯}}$, $F_{\text{惯}} = ma_m$.

$$T = mg \cos \theta - ma_m \sin \theta \quad (\text{忽略摆球做圆周运动的向心力})$$

$$\text{回复力的大小 } F_{\text{回}} = mg \sin \theta + ma_m \cos \theta$$

$$\text{因为 } \theta \text{ 很小, 认为 } \sin \theta = \theta \quad \cos \theta = 1 \quad \sin^2 \theta = 0$$

可得

$$a_m = \frac{m}{M} g \theta$$

$$F_{\text{回}} = mg \left(1 + \frac{m}{M}\right) \theta$$

$$\text{又因摆球偏离竖直线距离 } \Delta x = \theta l$$

因此回复力

$$F = - \frac{mg(M+m)}{Ml} \Delta x$$





周期为

$$T = 2\pi \sqrt{l'/g}$$

$$= 2\pi \sqrt{Ml/(m+M)g}$$

注意:当 $M > m$ 时, $T = 2\pi \sqrt{l/g}$, 一般情况下 $T < 2\pi \sqrt{l/g}$

说明:在本章中,选择题和填空题基本针对高考,而计算题一般与竞赛内容相联系(在高考中机械振动这部分内容很少涉及到计算题)。



经典名题

例 1

(1996·俄罗斯物理竞赛)将一个水平放置的

弹簧(劲度系数为 k)一端固定在竖直墙上,另一端连

接一质量为 m 的物体(如图 1-11 所示),物体与地面

的动摩擦因数为 μ 。在弹簧伸长到最大距离的瞬时,用

手指弹物体使物体以速度 v_0 开始向墙运动。假设振动是稳定的,并且弹簧的最大伸长为 l ($l > \mu mg/k$),试确定速度 v_0 。

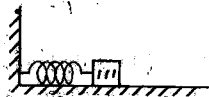


图 1-11

【思路导航】 由于振动过程中有阻力做功,为使振子在固定的两点间做稳定的周期性运动,必须及时补充能量。题中所述,在弹簧伸长到最大距离处的瞬时,用手指弹物体使物体获得向左速度 v_0 就是一种补充能量的方式。 v_0 应为多大,可用功能原理解。

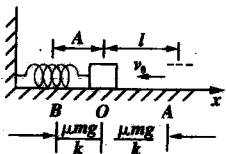


图 1-12

【解答】 物体从 A 点向左运动时(如图 1-12 所示),由能量守恒有

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}kl^2 = \frac{1}{2}kA^2 + \mu mg(l+A) \quad \text{①}$$

其中 A 是弹簧的最大压缩量。

物体从 B 点向右运动时,有

$$\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}kl^2 + \mu mg(l+A) \quad \text{②}$$

由①②两式得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = 2\mu mg(l+A) \quad \text{③}$$

由①③两式得

$$A = l + 2\mu mg/k$$

对于速度 v_0 有

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = 4\mu mg(l + \mu mg/k)$$



解得

$$v_0 = \sqrt{8\mu g(l + \mu mg/k)}$$

例 2 (1992·全国物理竞赛预赛) 某地有一大型摆钟, 其走时由钟摆的摆动来控制. 若将钟摆看做单摆, 当摆长为 l_1 时, 摆钟指示经过时间为 24h 的时候, 比标准钟指示快 12 分 0 秒. 要使摆钟走时正确, 其摆长应调到多大?

【思路导航】 本题涉及误差摆钟的调整. 答题需注意两点: (1) 摆钟的计时原理; (2) 抓住钟面指示时间相等, 振动次数亦相等的条件列式求解.

【解答】 钟摆摆动一次, 指针相应地转过一定的角度, 这一角度的大小是恒定的, 与摆长无关. 因此, 在摆钟的指针指示已经过 24h 这段时间内, 钟摆摆动的次数也是恒定的, 设为 N . 用 l 表示摆长应调到的值, 用 T_1 和 T 分别表示摆长为 l_1 和 l 时钟摆的周期, 则由题意可知

$$NT_1 = 24 \times 3600 - 12 \times 60 (\text{s}), NT = 24 \times 3600 (\text{s}) \quad \text{①}$$

由单摆公式可知

$$\sqrt{l_1/l} = T_1/T \quad \text{②}$$

由①②两式可得

$$l = 1.017l_1 \quad \text{③}$$

例 3 (1999·浙江省物理竞赛) 如图 1-13

所示, 轻质杆处于水平平衡状态, 现把 m 拉下一小段距离后松手, 求 m 上下振动的周期.

【思路导航】 本题的难点在于弹簧的悬点并不固定, 因此弹簧 k_1 的形变量和 m 的位移并不相同.

【解答】 设弹簧 1 又伸长了 Δl_1 , 弹簧 2 又伸长了 Δl_2 , 由轻质杆的平衡条件 $k_1 \Delta l_1 a = k_2 \Delta l_2 b$

$$\Delta l_2 = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{a}{b} \cdot \Delta l_1$$

由于弹簧 2 的伸长, 使弹簧 1 的悬点下降了

$$\Delta x' = \Delta l_2 \frac{a}{b} = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{a^2}{b^2} \cdot \Delta l_1$$

因此物体 m 总的由平衡位置下降了

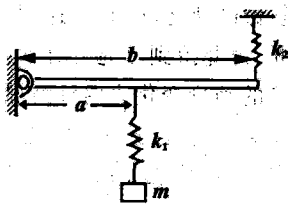


图 1-13



$$\Delta x_1 = \Delta l_1 + \Delta x' = \left(\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{a^2}{b^2} + 1 \right) \Delta l_1$$

此时 m 所受回复力

$$F_{\text{回}} = k_1 \Delta l_1 = \frac{k_1 k_2 b^2}{k_1 a^2 + k_2 b^2} \Delta x_1$$

所以 m 的振动周期

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k'}} = 2\pi \sqrt{\frac{m(k_1 a^2 + k_2 b^2)}{k_1 k_2 b^2}}$$

例 4 (物理竞赛训练题) 如图 1-14 所示, 质量为 M 的滑块静止放在光滑水平面上, 左端固定一根足够长的轻质弹簧, 弹簧的劲度系数为 k , 右侧面用一根伸直的轻绳水平地连接在竖直墙上, 绳所能承受的最大拉力为 T . 有一质量为 m 、初速为 v_0 的小物体, 在滑块上无摩擦地向左运动, 而后压缩弹簧. 试求:

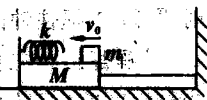


图 1-14

- (1) 绳被拉断的条件;
- (2) 滑块在绳被拉断后的加速过程中, 所能获得的最大左向加速度;
- (3) 小物体最后离开滑块时相对地面速度恰为零的条件.

【思路导航】 题(1)中, 假设压缩过程绳不断, 则小物体向左压缩弹簧做减速运动, 直至速度为零, 然后弹回. 弹回时, 弹力变小, 故绳亦不会断. 由此得到 T 应小于弹簧可能产生最大弹力这一隐含条件. 题(2)中系统的动量变化为两种情况, 拉断绳前减少, 绳断后守恒, 以后当 m 与 M 具有共同速度时, 弹簧压缩量最大, 滑块受到的弹簧推力也最大, 注意这一点. 运用功能关系及动量守恒解得答案. 题(3)中须注意, 小物体对地速度为零的状态不是产生在刚脱离滑块时.

【解答】 (1) 细绳被拉断的条件是 T 小于最大可能的弹性力, 设弹簧最大可能的压缩量为 x_0 , 则绳拉断的条件为

$$T < kx_0$$

x_0 由能量方程

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} k x_0^2$$

解得为

$$x_0 = \sqrt{\frac{m}{k}} v_0$$



故绳拉断的条件是

$$T < \sqrt{mk}v_0$$

(2) 设绳被拉断的条件得到满足, 将绳拉断时弹簧的压缩量记为 x_1 , 此时小物体的速度降为 v_1 , 则有

$$kx_1 = T$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}kx_1^2$$

解得

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 - \frac{T^2}{mk}}$$

而后弹簧继续被压缩, 直到滑块的速度增加到与小物体的速度相同, 滑块受到弹簧的推力最大, 滑块左向加速度也就达到最大. 将滑块与小物体的这一共同速度记为 v_2 , 则因系统动量、能量守恒, 有

$$mv_1 = (M + m)v_2$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(M + m)v_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2$$

x_2 为此时弹簧的压缩量. 由上述各式可解得

$$v_2 = \frac{m}{M + m} \sqrt{v_0^2 - \frac{T^2}{mk}}$$

$$kx_2 = \sqrt{\frac{m}{M + m}} \sqrt{kMv_0^2 + T^2}$$

故滑块的最大左向加速度为

$$a_{\text{左}} = kx_2/M = \frac{1}{M} \sqrt{\frac{m}{M + m}} \sqrt{kMv_0^2 + T^2}$$

(3) 若小物体离开弹簧时相对于地面速度恰为零, 那么小物体最后离开滑块时相对于地面的速度仍然恰好为零. 设此时滑块左行速度为 v_M , 则有

$$\frac{1}{2}Mv_M^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$Mv_M = mv_1$$

这便要求

$$\begin{cases} T^2/k = (m - M)v_0^2 \\ m > M \end{cases}$$

