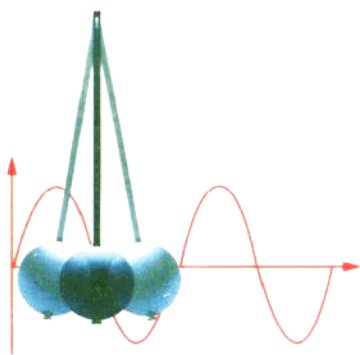


名师解惑丛书



振动和波

唐锡炳 编著

山东教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

振动和波/唐锡炳编著. — 济南: 山东教育出版社, 2000
(名师解惑丛书)

ISBN 7-5328-3113-2

I. 振… II. 唐… III. — 课外读物 IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 53443 号

BAA21/02

再 版 说 明

“名师解惑丛书”出版发行以来,以其新颖的编写体例和缜密的知识阐述,深受广大读者青睐,曾连续多次重印。

近几年来,基础教育正发生深刻的改革:“科教兴国”战略深入人心,素质教育全面推进,与此同时,以“普通高等学校招生全国统一考试试卷”为主要载体,所反映出的高考招生改革信息和发展趋势,迫切需要广大教师和莘莘学子以新的视角和思维,关注并投身到这场改革之中。

有鉴于此,我们对“名师解惑丛书”进行了全面修订。此次修订将依然保持被广大读者认同的,每一册书为一个专题讲座的模式,围绕“如何学”,“如何建立知识间的联系”,“如何学以致用”等,帮助广大学生读者解决在学习知识和考试答卷过程中可能遇到的疑难问题。更重要的是,最新修订的“名师解惑丛书”在如何培养学生的创新精神和创造能力,联系现代科学技术及其在日常生产生活中的应用方面,做了较大的充实和修订……

丛书的编写者和出版者相信,您正在翻阅的这本书,将有助于您目前的学习。



作 者 的 话

自然界是无限广阔和丰富多彩的.

一切物体都在不停地运动着,运动在不断地发生变化,有的运动表现为位置的变化,有的表现为力、热、声、光、电、磁等方面的变化……从而出现了许许多多千变万化的大自然现象.

奇特的大自然现象吸引着人们,使我们渴望知道其中的奥秘,并为之进行着不懈的探究.探究的目的是为了认识大自然,认识大自然的目的是为了更好地了解大自然、改造大自然,造福于人类.

在这其中,波动是一个比较古老的话题.在物理学中有关波动的知识是非常丰富的.在高中阶段,同学们已经接触到了既有经典物理学中的机械振动、机械波、电磁振荡、电磁波、光波等内容,又有近代物理学中的物质波的内容.对于这些知识的理解,部分同学存在着困惑.

为此,本书在高中教材的基础上,将教学过程中反映出的难点和疑点,通过典型

例题进行剖析,以帮助同学们理清思路;巩固与提高的精选习题,有助于提高同学们分析问题和解决问题的能力;巩固与拓展的内容,将开阔同学们的视野,使其看到物理学的应用前景和对现实生活的深刻影响,激发同学们学习物理的积极性。

2000年11月

作者简介 唐锡炳,1954年12月出生,1982年毕业于山东师范大学物理系,中学高级教师、山东省特级教师,现为济南市教学研究室副主任、山东师范大学教育硕士研究生导师,济南市专业技术拔尖人才、济南市学科带头人、济南市教学能手,山东省教学能手、山东省优秀教师。曾主编和参加编写了《世纪之交的物理教育研究》、《高中物理目标教学分类指导》、《奥林匹克物理竞赛试题与解析》等10余部著作,所撰写的《浅谈物理实验考试改革》、《谈高三物理教学能力的培养》等20余篇论文发表于《物理教师》、《教学与管理》、《山东师范大学学报》、《山东教育》等刊物并获奖。

名师解惑丛书

《集合与函数》

《数列 极限 数学归纳法》

《平面三角》

《平面向量》

《不等式》

《直线和圆》

《圆锥曲线》

《线 面 体》

《概率与统计》

《微积分初步》

《复数》

《物体的平衡》

《物体的运动》

《牛顿运动定律》

《守恒定律》

《振动和波》

《气体的性质》

《电场和磁场》

《电路》

《电磁感应》

《氧化还原反应》

《电解质溶液》

《物质的量》

《物质结构与元素周期律》

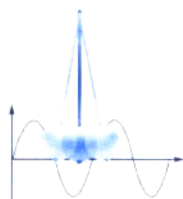
《非金属元素及其化合物》

《金属元素及其化合物》

《化学反应速率与化学平衡》

《烃及烃的衍生物》

名师解惑丛书



策划\孙永大

责任编辑\韩义华

装帧设计\革丽\戚晓东

ISBN 7-5328-3113-2



ISBN 7-5328-3113-2/G·2811

定价: 2.30元

目 录

引 言	1
一、振 动	2
(一)简谐运动	3
(二)摆钟走时的校准	3
(三)共振	9
1. 共振现象	9
2. 发生共振现象的条件	10
3. 共振现象的防止与利用	11
二、波	17
(一)声波	18
1. 声波	18
2. 多普勒效应	19
(二)电磁波	23
1. 光波是电磁波	23
2. 电磁波谱	24
3. 激光	27
(三)物质波	32
(四)波的干涉和衍射	33
1. 波的干涉	33
2. 波的衍射	35
3. 光的干涉和衍射	36

2 • 名师解惑丛书

(五) 振动图象和波动图象的区别和联系	40
1. 简谐运动的图象	40
2. 波动图象	40
3. 振动图象和波动图象的比较	41
练习题	53
参考答案	61

引言

振动和波动既是人类较早就观察了解到的自然现象之一,也是一个比较古老的话题.

我国古代著作《论气》中就论述了跃鞭、弹弦、持物击物可以发出声波;《考工记》中论述了音调与物体的厚薄有关.此外,很多文章和著作中也有过“山涧回音”“古钟不敲自鸣”“水波涟漪”的描述……

但是,较完善的波动论是荷兰物理学家惠更斯于 1690 年建立的.于是,人们才对波动有了较为清晰的认识.1801 年,托马斯·杨的双缝干涉实验,确认了光的波动性.1862 年,物理学家麦克斯韦创立了电磁场理论,预言了电磁波的存在,随之被赫兹的实验证实,确认了光是电磁波.

20 世纪初,光的波粒二象性的辩证关系,被德布罗意用于一切物质微粒,引入了物质波的概念.自此,人们对波动和粒子的认识进入了近代物理学阶段.

一、振动

物体在其平衡位置附近所做的往复运动叫做振动. 处于稳定平衡的机械装置, 或处于稳定平衡的物理状态, 在受到扰动后, 都会发生振动. 所以, 振动是自然界的普遍现象, 大到宇宙, 小至分子和原子, 无不存在振动; 各种形式的运动, 包括力学的、热学的、电学的和光学的, 以及生物学的运动中, 都有振动这种形式存在.

虽然振动可以出现在各种不同的现象中, 但是各种不同性质的振动都服从于统一的规律, 可以用统一的方法来进行研究.

一般说来, 振动是一种复杂的运动现象. 其中, 最直观和最形象的振动是机械振动, 即物体(或物体的一部分)在平衡位置附近所做的往复运动. 这种运动具有周期性, 即每经过一段时间后, 振动体又回到原来的位置. 例如, 钟摆、弦线、音叉等的运动.

物体在不受外力且阻尼又可忽略的情

况下自然进行的振动称为固有振动；受到阻力逐渐衰减以至消失的振动称为阻尼振动；如果物体还受到其他驱动力作用而被迫进行的振动称为受迫振动。

(一) 简谐运动

简谐运动是一种最简单、最基本的机械振动。任何一个复杂的振动都可以看作是许多不同频率和振幅的简谐运动的合成。

振动物体所受到的回复力若能满足

$$F_{\text{回}} = -kx.$$

物体所做的这种运动就叫做简谐运动。

或者说，物体所受到的回复力的大小与位移大小成正比，其方向与位移的方向相反。公式 $F_{\text{回}} = -kx$ 为判断物体是否做简谐运动的条件。

简谐运动的物理量随时间按正弦或余弦规律变化的过程一般可用下式来表示：

$$A = A_0 \sin(\omega t + \theta).$$

式中， A_0 是物理量 A 可能达到的最大值，即 A 的振幅， ω 为振动的角频率，在数值上 $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ ， t 表示时间， θ 为初相。振幅 A_0 、角频率 ω 和初相 θ 称为简谐运动的三要素，它们可以全面地描述简谐运动。

(二) 摆钟走时的校准

单摆做简谐运动时，摆的周期 T 跟摆长 l 的平方根成正

比,跟当地的重力加速度 g 的平方根成反比,而跟摆锤的质量、摆角的大小(在摆角足够小的范围内)无关,这就是单摆的振动定律.前人利用单摆的这一性质,制成了计时用的摆钟.

由单摆的振动周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可知,单摆振动周期的大小是由单摆的摆长 l 和重力加速度 g 决定的.摆钟变快或变慢是由钟摆的摆长 l 或重力加速度 g 的改变所引起的.摆钟在一个地方计时准确,搬到另一个地方,重力加速度改变了,计时就可能不再准确.即使在同一地点,重力加速度保持不变,随着季节的变化,环境温度发生变化,也会使摆钟的摆长伸长或缩短,导致摆钟振动周期的改变,因而影响摆钟的准确计时.在这两种情况下,为使摆钟计时准确,都必须对摆钟进行校准.

对每一个摆钟来说,都有其自身的机械结构特点.若要使摆钟计时准确,就要求这个摆钟在一昼夜(即 24h)内振动 n 次时,钟的指针正好走动了 $24\text{h} = 86\,400\text{s}$ 的刻度,否则就不准.如果这个钟的摆动 n 次所用的时间少于 $86\,400\text{s}$,表明它走得快了;如果这个钟的摆动 n 次所用的时间多于 $86\,400\text{s}$,表明它走得慢了.摆钟走快了是摆的振动周期小了,摆钟走慢了是摆的振动周期大了.由于不同因素所引起摆钟计时的误差本来就很小,要准确校准,计算的精确度要求很高,校准摆钟的计算一般很繁琐,为便于理解和掌握,下面通过几个典型例题来说明.

[例 1] 设有一每昼夜慢 6min 的带摆时钟,其摆长为 99.1cm,若要使钟走得准确,应如何调整它的摆长?

分析与解: 设时钟走得准确时的周期是 T_0 , 一昼夜内的秒数是 t_0 (即 86 400s), 若在一昼夜内共振动 n_0 次, 则

$$T_0 = \frac{t_0}{n_0}.$$

一昼夜内慢了 6min 的时钟的振动周期大于 T_0 , 故一昼夜内的振动次数小于 n_0 . 设这只时钟的振动周期是 T , 它在一昼夜内共振动 n 次, 则

$$T = \frac{t_0}{n}.$$

由上可见, 这个慢钟的周期比准确钟的周期大, 其差值为 $T - T_0$, 若设 $\Delta T = T - T_0$, 则 ΔT 表示一昼夜内慢 6min 的时钟每振动一次较准确时钟每振动一次所多用的时间. 现在它一昼夜共振动 n 次, 依题意它振动 n 次较准确钟振动 n 次共多用的时间是多少呢? 从钟面的视数来看, 一昼夜内慢钟比准确钟要少 6min, 即与准确钟是 86 400s 相对应的视读数是 $86\,400 - 360 = 86\,040\text{s}$. 故准确钟振动 n 次所用的时间是 86 040s, 慢钟振动 n 次所用的时间是 86 400s, 所以慢钟一昼夜振动 n 次所多用的时间是准确钟的 $86\,400 - 86\,040 = 360\text{s}$.

$$\text{故} \quad \frac{t_0}{n_0} = \frac{t_0}{n} - \frac{360}{n}.$$

$$\text{令} \quad t = t_0 - 360,$$

$$\text{则} \quad \frac{t_0}{n_0} = \frac{t}{n},$$

$$\text{即} \quad \frac{t_0}{t} = \frac{n_0}{n}.$$

$$\text{又} \quad \frac{T_0}{T} = \frac{t_0}{n_0} / \frac{t_0}{n} = \frac{n}{n_0},$$

$$\text{故} \quad \frac{T_0}{T} = \frac{t}{t_0}.$$

设时钟走得准确时的摆长为 l_0 , 一昼夜慢 6min 时的摆长为 l , 则

$$\frac{T_0}{T} = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}} / 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \sqrt{\frac{l_0}{l}},$$

$$\text{即} \quad \sqrt{\frac{l_0}{l}} = \frac{t}{t_0}.$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad l_0 &= \left(\frac{t}{t_0}\right)^2 l = \left(\frac{86\,400 - 360}{86\,400}\right)^2 \times 99. \\ &= 98.4(\text{cm}) \end{aligned}$$

所以应该把摆长缩短 $99.1 - 98.4 = 0.7(\text{cm})$

【例 2】 有两只结构形状完全相同的摆钟, 由于摆长稍有不同, 走时也略有不同, 当甲钟走了 24h 时, 乙钟只走了 23h55min. 若甲钟是走时十分准确的钟, 试计算甲、乙两钟摆的摆长之比.

错解: 因为一昼夜中甲钟比乙钟快 5min, 所以两摆的周期之比为

$$\frac{T_{\text{乙}}}{T_{\text{甲}}} = \frac{3\,600 \times 24 + 300}{3\,600 \times 24} = 1.003\,472.$$

根据摆长与周期的关系 $l \propto T^2$ 得

$$\frac{l_{\text{乙}}}{l_{\text{甲}}} = \left(\frac{T_{\text{乙}}}{T_{\text{甲}}}\right)^2 = 1.006\,957.$$

错解分析: 研究摆的周期之比, 应在钟摆摆动相同次数的

前题下计算所费时间之比. 现在甲钟是标准的, 乙钟比甲钟走得慢, 乙钟从指示值 23h55min 再经过 300s, 还不能走到指示值 24 点整. 也就是说, 乙钟要摆完准确钟一天应摆次数所需的时间比 $3\,600 \times 24 + 300$ 要多, 即乙钟所表示的差值 5min, 并不等于标准的 300s.

解: 当乙钟走了 23h55min, 所摆的次数正好是 $3\,600 \times 24$, 甲钟所费的时间为 $(3\,600 \times 24 - 300)$ s, 因此,

$$\frac{T_{\text{乙}}}{T_{\text{甲}}} = \frac{3\,600 \times 24}{3\,600 \times 24 - 300} = 1.003\,484.$$

$$\frac{l_{\text{乙}}}{l_{\text{甲}}} = \left(\frac{T_{\text{乙}}}{T_{\text{甲}}} \right)^2 = 1.006\,980.$$

[例 3] 北京和南京的重力加速度分别为 9.812m/s^2 和 9.795m/s^2 . 把在北京准确的时钟拿到南京去, 钟将变慢还是变快? 一昼夜相差多少? 在南京怎样将钟校准?

分析与解: 钟面上显示的时间 t 与一昼夜钟摆动的次数 N 成正比, 而 N 又与摆的周期 T 成反比, 故有

$$t \propto N \propto \frac{1}{T}.$$

而 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,
在 l 保持不变的前提下, $T \propto 1/\sqrt{g}$, 故

$$\frac{T'}{T} = \sqrt{\frac{g}{g'}}.$$

由于 $g' < g$, 所以 $T' > T$, 表示摆钟从北京拿到南京后, 钟将变慢. 设一昼夜慢 ΔTs , 则

$$\begin{aligned}
 \Delta t &= N(T - T') \\
 &= NT\left(1 - \frac{T'}{T}\right) = NT\left(1 - \sqrt{\frac{g'}{g}}\right) \\
 &= 86\,400 \times \left(1 - \sqrt{\frac{9.795}{9.812}}\right) = 74.9(\text{s}).
 \end{aligned}$$

在南京应将摆长由 l 缩短为 l' , 以使

$$2\pi\sqrt{\frac{l'}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

由此,

$$\begin{aligned}
 l' &= \frac{g'}{g}l, \\
 \Delta l &= l - l' \\
 &= l\left(1 - \frac{l'}{l}\right) \\
 &= l\left(1 - \frac{g'}{g}\right) \\
 &= 0.001\,73l.
 \end{aligned}$$

[例 4] 一台摆钟, 当摆长为 l_1 时, 它每天快 t s; 当摆长调到 l_2 时, 每天慢 t s. 试求准确计时时, 摆长 l 应多长?

分析与解: 设一天的时间为 t_0 s (86 400s), 准确计时的摆钟的摆长为 l , 周期为 T ; 摆长为 l_1 时, 周期为 T_1 ; 摆长为 l_2

时, 周期为 T_2 . 根据 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 和已知条件可知, $l_1 < l < l_2$, $T_1 < T < T_2$. 对快钟来讲, 每天快 t s, 则每天摆动的次数为

$\frac{t_0}{T_1}$, 多计时间 $t = \frac{t_0}{T_1}(T - T_1)$; 对慢钟来讲, 每天摆动的次数

为 $\frac{t_0}{T_2}$, 每天少计时间 $t = \frac{t_0}{T_2}(T_2 - T)$. 故得