

物理学与经济建设

曹茂盛 刘晓菲 主 编
秦世明 房晓勇 副主编

哈尔滨工业大学出版社

物理学与经济建设

程建德 孙瑞峰 主 编
李树明 徐晓莉 副主编

哈尔滨理工大学出版社

（哈尔滨市南岗区学府路）

物理学与经济建设

主 编 曹茂盛 刘晓菲

副主编 秦世明 房晓勇

主 审 徐国忠 马 晶

哈尔滨工业大学出版社

(黑)新登字第4号

物理学与经济建设

曹茂盛 刘晓菲 主 编

秦世明 房晓勇 副主编

徐国忠 马 晶 主 审

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨市外文印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 4.75 字数 106 千字

1994 年 7 月第 1 版 1994 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—7000

ISBN 7-5603-1054-0/O·62 定价 3.80 元

前 言

《物理学与经济建设》阅读教材是黑龙江省八所高等工科院校商定,为配合“物理学”教学而编写的课后阅读材料,编写目的在于拓宽学生的知识面、培养学生自学能力和理论联系实际的能力。

本书是在省内八所高等工科院校物理教师中广泛征稿的基础上选定的。阅读专题是根据《高等工程专科教育》培养技术应用型人才的知识结构特点确定的,内容包括物理学阅读专题、物理学基本原理应用专题、物理学与高科技专题。希望本书能够拓展学生的知识面,使学生更多地了解现代工程物理中的新知识、新理论和新技术。

参加本书编写的有哈尔滨工业大学代永江、谭立英、王岩,哈尔滨工程大学苑立波,东北重型机械学院任克勤、房晓勇,燕山大学范力茹,齐齐哈尔轻工学院曹茂盛、邱松、孙秋普、陈丽娜,佳木斯工学院张炳前、刘晓菲,黑龙江矿业学院张敬民、韩仁学,齐齐哈尔铁路运输职工大学李仕儒、秦世明、滕旭、王殿举。

编写本书是初步尝试,由于缺乏经验,缺点和疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1994 年 4 月

目 录

第一篇 物理学阅读专题选编	(1)
受迫振动与共振	(1)
驻波 多普勒效应	(4)
温度概念的建立	(6)
驻极体	(8)
半导体	(10)
超导体	(18)
超流体	(21)
等离子体	(23)
第二篇 物理学原理应用专题选编	(29)
行进列车停止动力后的运动规律	(29)
热力学循环与汽车发动机的工作原理	(31)
熵和熵增加原理的应用	(37)
静电技术及其应用	(41)
电容式传感器原理及其应用	(49)
电感式传感器原理及其应用	(54)
轨道传感器原理及其应用	(59)
霍耳元件及其应用	(66)
电磁波与遥感	(72)
光衍射在工程技术中的应用	(78)
光弹性效应的应用	(83)
红外热成像技术 (FLIR)	(88)

第三篇 物理学与高科技专题选编	(93)
物理学与高科技	(93)
等离子体技术	(101)
高温氧化物超导体研究进展简述	(107)
C ₆₀ — 高科技新材料	(112)
光计算发展动态和前景	(118)
光纤通信技术简介	(125)
光纤位移传感器	(133)
自由电子激光器	(139)

第一篇 物理学阅读专题选编

受迫振动与共振

一、受迫振动与共振现象

受迫振动 系统在周期性外力的持续作用下发生的振动称受迫振动。这种周期性的外力称强迫力。实验表明,受迫振动开始时的情形非常复杂,但经过一段时间后,可达到一种稳定状态。如果外力是按照简谐振动规律变化的,那么稳定状态时的受迫振动将是简谐振动。实验表明,受迫振动振幅的大小不仅与周期性外力的大小有关,而且和外力的频率以及系统本身无阻尼自由振动时的固有频率有关。

当一个振动物体与另一个物体接触时,则第二个物体将被第一个物体强迫振动,并且具有相同的振动频率。例如,用锤敲打一个音叉,然后将其底部放在一个木制桌面上,声音强度会突然增加,当音叉从桌面移走时,声强又减到原来的水平,与音叉相接的桌面上粒子的振动就是受迫振动。

共振 弹性物体有一个固定的自然振动频率,它与材料的特征及其支撑条件有关。例如,以一定时间间隔推动秋千,则摆动振幅将不断增加其时间间隔,并由绳子长度所决定。一段一定长度拉紧的绳子能产生特定频率的声音,一个敞开或闭合的管子也有其自然振动频率,每当一系列周期性碰击作

用于物体,其碰击频率近似物体的自然频率时,则此物体振动幅度相对要大得多,这种现象称为共振。

有三种共振现象

(1)位移共振 人们常把位移振幅达到最大值的情况叫做位移共振。共振时 $A = A_{\max}$ 由 $\frac{dA}{dp} = 0$ 和 $A = h / \sqrt{(\omega_0^2 - p^2) + 4\beta^2 p^2}$ (p 为外力圆频率, ω_0 为振动系统固有圆频率) 可以得到当 $p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ 时, $A_{\max} = h / (2\beta \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2})$ 。

位移振幅极大值所在处的外力频率略小于系统的固有频率 ω_0 , 阻尼越小, 位移振幅极大值所在处的外力频率与 ω_0 越接近。发生位移共振时, 形变最大, 容易造成破坏事故发生。

(2)速度共振 速度振幅达到最大值的情况称为速度共振。因为速度的绝对值为 Ap 。由 $\frac{d(Ap)}{dp} = 0$ 可以计算出当 $p = \omega_0$ 时, 发生速度共振, 这时速度振幅达到极大值 $v_m = x = h / 2\beta$ 。在电磁振荡中, 发生速度共振就是电流振幅达到极大值。

(3)能量共振 以机械振动为例: 振动系统总能量 $E = E_k + E_p$, 即

$$\begin{aligned} E &= mx^2/2 + kx^2/2 \\ &= mp^2 A^2 \sin^2(pt + \phi)/2 + kA^2 \cos^2(pt + \phi)/2 \end{aligned}$$

一个周期中的平均能量为

$$E = m(\omega_0^2 + p^2)h^2/4[(\omega_0^2 - p^2)^2 + 4\beta^2 p^2]$$

由 $\frac{dE}{dp} = 0$ 得 $p^2 = 2\omega_0 \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} - \omega_0^2$ 时, 发生能量共振。

总之, 系统在受迫振动的稳定状态时, 虽然振动频率等于

外界作用的频率,但由于同时仍然受本身性质的制约(如回复力)和阻尼作用,所以系统的变化和外界的作用并不是同周相的。以机械振动为例,在受迫振动的一个周期内,外力方向与物体振动方向有时一致、有时相反,外力对物体有时作正功,供给能量;有时作负功,消耗物体能量。只有外力频率与物体固有频率相同时,外力在整个周期内对物体作正功,供给能量最多,即出现“共振”现象。应该指出,速度、能量和位移的共振并不是发生在同一频率上,这是由于阻尼在起复杂的作用。由于实际中阻尼很小,因而一般认为外界作用的频率与系统固有频率相等,即 $p=\omega_0$ 时,三种共振都发生。

二、共振原理的应用

共振现象在实际中有着广泛的应用,在科学技术中具有极其重要的意义。一些乐器利用共振提高音响效果,无线电广播通讯中利用电共振来接收某一频率的信号;许多科学仪器都是根据共振原理设计的,许多工程设计都必须考虑到共振问题。如电动机转动时会引起台座的受迫振动,如果作用力的频率接近机器各部分的固有频率,就可能因共振而引起损坏。某些精密仪器需要避免由于外来机械干扰所引起的振动,特别是共振产生的影响;轮船和码头会受到海浪的周期性冲击,在进行轮船和码头设计时应慎重考虑海浪冲击的共振破坏,建筑工程师们对于一幢建筑物的动力学特性,如固有频率、振型、阻尼等需要认真研究清楚,以避免经常出现的,起主导作用的地震频率,因为即使轻微的地震也可能激发建筑物产生剧烈的振动以致损坏;本世纪中叶,科学家发现了磁共振现

象,在稳定的磁场中放置要研究的材料样品,再加高频率磁场,如果后者的频率合适,样品会从交变磁场中吸收能量,这一发现在科学技术中已获得重要的应用。

驻波 多普勒效应

驻波 两列振幅相同的相干波相向传播时,迭加就形成了驻波。驻波是波的干涉的一种特殊情形,在声学 and 光学中有着重要的应用。在有限大小介质中向前传播的波,垂直入射到两种介质的分界面时,会发生反射,反射回来的波和原来向前传播的入射波迭加的结果,就会形成驻波。

驻波可用图 1-1 实验演示:

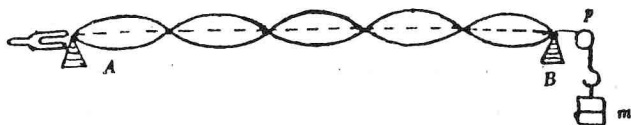


图 1-1

左边固定一个音叉,音叉的末端系一水平的细绳 AB , B 处有一尖劈,可以左右移动以变更 AB 之间的距离。细绳经滑轮 P 后,末端悬一重物 m ,使绳中产生一定的张力。音叉振动时,绳中产生波动,向右传播,达到 B 点时,在 B 点反射,产生反射波,向左传播。这样,入射波和反射波在同一绳子上沿相反方向进行,当 AB 间的距离和重物 m 的重量大小调配适当时,在绳上就可以产生驻波。

多普勒效应 讨论波源与观察者有相对运动的情形,比

如一辆快速驶来的汽车,在靠近人时,听到的汽车喇叭声频率会变高,而当它离开我们驶去时,听到的汽车喇叭声频率会降低。一般来说,当波源或观察者相对于介质运动时,观察者接收到的频率不等于波源的频率,这种现象是德国物理学家多普勒(1803—1853)在1842年发现的,为了纪念他,把这种现象叫做多普勒效应。

下面就几种情况分别讨论:

(1)波源 S 静止于介质中,观察者相对于介质以 v_0 向着波源运动,观察者测得的频率

$$\nu' = (u + v_0)/\lambda = (u + v_0)\nu/u = \nu(1 + v_0/u)$$

当观察者向着波源运动时(v_0 为正值), ν' 大于波源频率 ν 。反之, v_0 为负值, ν' 小于波源频率 ν 。

(2) 设观察者静止于介质中,波源相对于介质以 v_s 向着观察者运动,观察者每秒钟内接收到的完整波的个数,即频率

$$\nu' = u/\lambda' = u/[(u - v_s)T] = \nu u/(u - v_s)$$

(3) 设波源与观察者都相对介质运动,观察者接收到的频率

$$\nu' = \nu(u + v_0)/(u - v_s)$$

多普勒效应在科学技术上有着广泛的应用。虽然它是在研究声音的时候发现的。但它同样适用于光学现象。可以利用多普勒效应测定液体的流速及分析物体的振动情况。利用超声波的多普勒效应在医学上可对心脏跳动情况进行分析诊断。当波在一个运动着的表面上反射的时候,相对于入射波的波长来说,反射波的波长将发生多普勒变化。雷达就是利用这一现象测定运动目标的速度。利用多普勒效应还可以测天体

相对于地球的运动速度、测定光谱线的自然宽度等。

温度概念的建立

人生下来就知道冷暖,而人类赖以生存的这个世界,又不断经历着夏热、秋凉、冬冷、春暖这些不同的季节。很自然,人们利用自己的感觉(主要是触觉),可以把几个物体按冷热程度排列起来,如 A 比 B 热、 B 比 C 热等等。感觉越热的物体,温度越高。这就是以人们触摸物体时的冷热感觉为基础而形成的温度的原始概念。即人们用温度来表示物体的冷热程度,热的物体温度高,冷的物体温度低。

物体的冷热程度用手触摸一下固然能感觉出来,但有时感觉会欺骗我们。比如,将一只手浸在热水中,另一只手浸在冷水中,然后再将两只手都放在温水中,那么,对于同一热度的水,第一只手会觉得冷些,而第二只手则会觉得热些。这个简单的实验事实证明,利用人的感觉去判定物体的冷热程度是不可靠的。另外,直接利用感觉来感知温度的范围也是很有局限的。因此,对温度的概念只有这种建立在主观基础之上的定义是不够的,还必须进一步建立严格的、科学的定义。

热平衡和热力学第零定律是建立温度概念的基础。我们就从热平衡谈起,设有两个系统 A 和 B ,原来各处于一定的平衡态。现使 A 和 B 互相接触,使它们之间能发生传热。实验证明, A 和 B 接触后,它们的状态都将发生变化,但经过一段时间后,两系统的状态便不再发生变化。这反映出两个系统 A 和 B 最后达到一个共同的平衡态。由于这种状态是两个物体

在发生传热的条件下达到的，所以叫做热平衡。

现在取三个系统 A 、 B 、 C 进一步实验。将 B 和 C 隔绝开，但又使它们同时与 A 热接触。经过一段时间后， A 和 B 以及 A 和 C 都将达到热平衡。这时，如果再使 B 和 C 热接触，则可发现 B 和 C 的状态都不会发生变化。这说明 B 和 C 也是处于热平衡的。由此得出结论：分别与第三个系统处于热平衡的两个系统，它们彼此也必定处于热平衡，这个结论称为热力学第零定律。

热力学第零定律为科学地建立温度概念奠定了实验基础。它说明，处于同一热平衡状态的所有系统都具有共同的宏观性质，定义这个决定系统热平衡的宏观性质为温度。温度是决定一系统是否与其它系统处于热平衡的宏观性质，即一切互为热平衡的系统都具有相同的温度。

热力学第零定律为温度建立了科学的概念，同时也为温度的测量提供了科学的理论依据。因为，一切互为热平衡的系统都具有相同的温度，那么把被当作温度计的系统与待测量的系统相互热接触，达到热平衡后，它们就具有相同的温度，则温度计所显示的温度就是被测系统的温度。这个温度是不依靠人的主观感觉所测得的，是对被测系统温度的科学的客观描述。

温度定义和我们日常对温度的理解（冷热程度）是一致的。生活告诉我们，当两个冷热不同的物体相接触时，热的变冷，冷的变热，最后会感觉到它们的冷热程度相同，即温度一样。反之，把冷热程度一样的物体放在一起，会发现它们的状态不发生变化，即相同的温度保证了热平衡。

以上是在宏观的热平衡概念和热力学第零定律的基础上建立的温度的科学概念。而从微观角度而言,温度实质上是反映系统处于某一状态时其内部微观粒子无序运动的剧烈程度。

驻极体

一、驻极体的概念及其研究简史

驻极体是长久荷电的介质,其电荷可以是因极化的“冻结”而呈现的极化电荷,也可以是陷入表面或体内“陷阱”中的正负电荷。如果一种材料含有具有永久偶极子的分子,则在强电场中把这种材料缓慢地冷却时,沿着电场方向的偶极子取向能被冻结起来,这样产生的材料称为驻极体。由此看来,驻极体就是永磁性的电模拟。

早在 18—19 世纪,格莱和法拉第就已经先后注意到驻极体现象。驻极体(electret)这一名称是亥维赛于 1892 年引进的,此名称意味着驻极体是永磁体(magnet)的电类似物。1919 年,日本海军大学的江口元太郎首次制成了人工驻极体。从此,人们开始了对驻极体的各方面研究,包括荷电或极化技术、荷电机理、电荷的等温衰减、热激电流分析以及驻极体在各个领域的应用等。早期研究的驻极体材料是巴西棕榈蜡或它与松脂的等量混合物。最近 20 年,人们大量地研究了聚合物驻极体。目前,聚合物驻极体的研究倍受人们的重视,并已经开发了驻极体的实际应用。

二、驻极体荷电概况

图 1-2 是驻极体荷电情况示意图。下面对图中各类电荷说明如下：

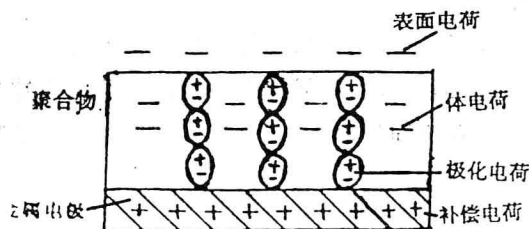


图 1-2 驻极体荷电示意图

表面电荷 聚合物表面总是存在杂质、氧化物、被切断的分子链以及吸附的其它分子，这些缺陷都会使聚合物形成表面陷阱，可能捕获正电荷或负电荷，被表面陷阱捕获的电荷称为表面电荷。

极化电荷 在未极化时，聚合物分子(偶极子)主链或侧链上极性基因的排列是杂乱的，它们在各自己的平衡位置附近无规则地热摆动。偶极子的每一个平衡位置对应着位能的一个极小值，即一个位阱。如果偶极子获得了附加的能量(例如热运动加剧)，或者由于电场的作用使位阱偏斜，就有可能跳出原有的位阱，并沿电场方向整齐排列，冷却后，偶极子就被“冻结”在电场方向附近的陷阱中，形成介质的永久极化，使介质表面或体内出现极化电荷。这种电荷的极性与相邻极化电极的极性相反，称为异号电荷。

空间电荷 聚合物内部往往有杂质离子以及各种缺陷,例如多晶中的空隙,晶体和无定形区域的界面,长分子链的折转、扭曲或切断等,从而形成电子或空穴的陷阱。在外电场作用下,正负离子将向两极分离,并可能被陷阱捕获,外界的电荷也有可能进入介质体内的陷阱中,造成介质体内永久性荷电,称为体电荷。离子向两电极的移动形成空间电荷的异号电荷。它们一般是不稳定的,外界注入的空间电荷的极性与相邻极化电荷同号,称为同号电荷。当今稳定驻极体的电荷都是同号电荷。

三、驻极体的应用

近年来,驻极体已经得到了广泛的应用。例如,利用驻极体材料制成音响元件,可以用作话筒,可用于水声探测以及宇宙飞船中探测流量撞击的传感器阵列;驻极体空气净化装置可有效地除去粒径为微米级小尘埃,用于超净工作室;用驻极体可制造马达、发电机、继电器开关等;利用驻极体的电场可以阻止血栓形成,加速断骨的愈合和皮肤的生长。

除了以上几方面的应用外,偶极型驻极体还有显著的压电和热电效应,因此可用来制造键盘和温度传感器等,这是驻极体应用的又一个广阔的领域。

半 导 体

常温下,电阻率介于金属和绝缘体之间的物质称为**半导体**。电阻率的典型数值为 $10^{-5} \sim 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ 。半导体材料和器