前 言

QIAN YAN

有位大学校长曾说过：“我们教育学生就象猎人学打猎一样，要教会他们如何使用猎枪，而不是老让他们带‘干粮’”。教学的根本目的是让学生掌握知识，将知识转化为一种工具，并最终运用这个工具去解决实际问题。如果说‘熟练使用猎枪’是猎人生存的基本保证，那么‘灵活运用知识’一定是学习成功的必然要求。

修订后的《课程标准》和《考试说明》要求，教学应以教会学生如何学、学会如何用为主要任务，高考以考查学生能力为目标。提高素质，训练能力是新世纪人才培养的基本要求。

“学案”即是以“学”为主的学习辅导方案。它的科学之处在于以学生为本，充分调动学生的学习积极性，发挥学生的主体作用，全面培养学生的学习兴趣，挖掘学生的学习潜能。让学生在主动研究、思考和探索的情境中学习，使学生能准确理解和牢固掌握理论知识，并最终形成灵活运用知识的能力。

《高中同步测控优化设计》系列丛书以其独到的设计理念、对新教材的准确把握和高效实用的性能受到广大师生的厚爱，品牌地位已经确立。策编人员与时俱进，开拓创新，经过共同努力，新版丛书又将呈现出更高的品位和全新的面貌。新版《高中同步测控优化设计》丛书，以“学案”式理论为指导，推广和实施科学、高效的最新学习辅导方略。学习的关键是学生如何学，“教会学生如何学、如何用”是教学的最终要求，也是本丛书策划设计的基本点。

本次修订有以下创新：第一、对原[学习目标]栏目进行改造，由过去对大纲要求的简单陈述，改之以问题的方式设置一些思考性、探索性、实用性的课前问题。第二、“知识梳理”要求将要点内容以框架形式列出，对其重要概念、规律和方法设计成填空或填表，由学生在预习课本，复习教材的基础上完成。第三、根据各学科特点，分别增设“问题探索”、“研究性学习”、“导学诱思”、“自学导引”、“创新训练”、“语篇领悟”、“提纲优化”、“要点扫描”、“学后反思”等自学性、研究性、开放性栏目。

本次修订凸显以下特色：

吸引新成果　创设新模型　传统教辅模式存在“重教轻学”的弊端，栏目设置往往忽视对学生的学习积极性的培养，缺乏学习方法的研究与指导。本次修订力求保留成熟而稳定的“优化设计”特色，在广泛听取读者建议，吸纳最新教研成果的基础上，成功地将“学案”式教辅理论用于指导丛书的策划和设计，旨在为广大师生提供一套实用、创新、科学和高效的教学辅导精品。

尊重学习规律　精心设置梯度　本丛书力求遵照同步教学的客观规律，在体例设置、内容安排、方法应用、训练考查等方面都充分考虑学生的实际，由浅入深，循序渐进，逐步提高，并适度、战略性地把握高考动向和要求，在同步教学中逐步渗透高考意识。

着眼教学实际　力求科学实用　本丛书紧密结合新教材实际，内容设计、章节划分均符合教学使用习惯，充分体现“同步”意义。各科均增加了课后或章后训练习题，并严格控制各种试题的难度和深度，力求更大程度地满足不同层次学生的训练需求。同时，“1＋1”（《学生用书》＋《教师用书》）设计模式，为广大教师的课堂教学及课后辅导都提供了有益的参考和帮助。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

本书为高二物理上册。本书以单元为编写单位,设置以下主要栏目:

[诱思导学]以设问方式提出一些源于课本,又不拘于教材范围的开放性、运用性、趣味性问题。引导学生学习,启发学生思考,通过问题培养自主探索,学用结合的能力。

[知识回顾]系统梳理本节知识框架,将知识要点或重要规律设计成填空,由学生在预习课本的基础上,归纳完成。旨在训练学生主动、自觉学习的良好习惯。

[疑难辨析]提炼学习中常见的疑点、难点问题,并引导学生展开分析思辨。力争对问题抓得住,讲得清,最终突破难点、扫清障碍。

[应用指导]精选典型例题,展示实际应用,点拨思路,讲清方法,给出规范解答。题后点评或小结能总结规律,扩充变式,适度延伸,举一反三,学会应用。

[同步练习]分设‘巩固性’与‘提高性’题组。‘巩固性题组’功能是巩固基础,加深理解,简单应用。‘提高性题组’则注重运用,适度综合,培养与提高学生分析解决问题的能力。

[阅读思考]精选科技、生产、生活中的物理知识和现象,展示理论应用水平。激发学生的学习兴趣,拓展视野。

全体策编人员殷切期待广大读者对丛书提出宝贵意见。无边的学海仍然警示着我们,只有不懈努力,才会不断前进。

编 者

2002 年 7 月

LU MU 目录

第十章　机械波 …… (001)
一、波的形成和传播 …… (001)
二、波的图象 …… (002)
三、波长、频率和波速 …… (004)
* 四、波的反射与折射（略） …… (006)
五、波的衍射 …… (006)
六、波的干涉 …… (007)
* 七、驻波（略） …… (009)
八、多普勒效应 …… (009)
* 九、次声波和超声波（略） …… (010)
十、章末复习讲练评 …… (010)
阅读与思考 …… (013)
第十一章　分子热运动　能量守恒 …… (014)
一、物体是由大量分子组成的 …… (014)
二、分子的热运动 …… (015)
三、分子间的相互作用力 …… (017)
四、物体的内能 …… (018)
五、改变内能的两种方式 …… (019)
六、热力学第一定律　能量守恒定律 …… (020)
七、热力学第二定律 …… (022)
八、能源　环境 …… (023)
九、实验：用油膜法估测分子的大小 …… (024)
十、章末复习讲练评 …… (026)
阅读与思考 …… (029)
* 第十二章　固体和液体（略） …… (030)
第十三章　气体 …… (030)
一、气体的状态参量 …… (030)
二、气体实验定律 …… (032)
三、理想气体状态方程（一） …… (035)
四、理想气体状态方程（二） …… (037)
五、气体分子动理论 …… (040)
* 六、饱和汽和未饱和汽（略） …… (042)
* 七、空气的湿度（略） …… (042)
八、章末复习讲练评 …… (042)

LU MU 目录

阅读与思考 …… (46)
第十四章 电场 …… (47)
一、电荷 库仑定律 …… (47)
二、电场 电场强度 …… (49)
三、电场线 …… (51)
四、电场中的导体 …… (53)
五、电势差 电势 …… (55)
六、等势面 …… (57)
七、电势差与电场强度的关系 …… (59)
八、电容器 电容 …… (61)
九、带电粒子在匀强电场中的运动 …… (63)
* 十、静电的利用和防止 …… (66)
十一、实验:用描述法画出电场中平面上的等势线 …… (66)
十二、章末复习讲练评 …… (67)
阅读与思考 …… (71)
第十五章 恒定电流 …… (72)
一、欧姆定律 …… (72)
二、电阻定律 电阻率 …… (74)
三、电功和电功率 …… (75)
四、闭合电路欧姆定律 …… (78)
五、电压表和电流表 …… (80)
六、电阻的测量 …… (81)
七、实验:描绘小电珠的伏安特性曲线 …… (83)
八、实验:测定金属的电阻率 …… (84)
九、实验:把电流表改装成电压表 …… (85)
十、实验:研究闭合电路欧姆定律 …… (86)
十一、实验:测定电源的电动势和内阻 …… (87)
十二、实验:用多用电表探索黑箱内的电学元件 …… (89)
十三、章末复习讲练评 …… (91)
阅读与思考 …… (95)
“3+X”综合复习指导 …… (96)
参考答案 …… (105)

第十章　机械波

一、波的形成和传播

诱思导学

我们知道水波、声波、地震波等都是机械波，那么机械波的定义是什么？产生机械波的条件是什么？机械波是怎样形成的？又是怎样传播的？它的形成和传播的特点是什么？对机械波又如何分类？这些问题都是本节要研究探讨的.

知识回顾

1. 波的形成：引起波动的振动体叫____. 波源振动带动它____质点发生振动，并依次带动离波源更远的质点振动，只是后一质点的振动比前一质点的振动迟一些. 于是，_____逐渐传播开去.

2. 机械波产生的条件：(1) 要有____；(2)，要有_____.

3. 机械波的特点：(1) 机械波传播的是_____，介质中的质点只是_____，并不随波的传播而____，机械波是传递____和____的一种方式；(2) 波动是大量的质点的集体振动行为，但各个质点的振动有一个时间差，离波源越远的质点振动越滞后.

4. 机械波的分类：机械波分成横波和纵波两类. 质点振动的方向与波的传播方向____的波叫横波. 在横波中，凸起的最高处叫____，凹下的最低处叫____. 质点的振动方向跟传播方向在_____的波，叫纵波. 在纵波中，质点分布最密的地方叫____，质点分布最疏的部分叫____.

疑难辨析

波动与振动的区别：

根据波动的定义，波的产生条件有两个：第一，有起振的波源；第二，有传播振动的介质. 因此可以说，振动是单个质点在其平衡位置附近做往复运动的“个体行动”，波动是大量的、彼此相联系的质点将波源的振动在空间传播的“群体行为”.

另外，从波的产生过程还可以知道：有波动就一定有振动(因为波动中的各个质点都是重复波源的振动)；有振动却不一定有波动，还要看是否有传播振动的介质. 例如真空玻璃罩内的闹钟铃锤不停地往复振动敲击铃壳，但是我们却听不到铃响(即没有形成声波).

应用指导

[例1] 如图 10—1—1 是一列向右传播的横波，请标出这列波中 a、b、c、d……h 等质点这一时刻的速度方向.

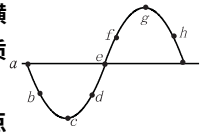


图 10—1—1

解析：由波动过程中介质质点的运动特点可知，即先振动的质点将带动后振动的质点，后振动的质点重复前面质点的振动，后面振动质点的振动状态落后于先振动的质点；概括起来就是“带动、重复、落后”.

质点 c 和 g 此时在最大位移处，速度为零，无所谓速度方向. 利用波的成因法，以此时最大位移处的 c 为参照点，d 的振动落后 c，要跟着到最大位移处，所以速度向下，e、f 依次跟上，速度都向下；b 的振动超前 c，已从负的最大位移回振，所以速度向上，a 超前 b，速度也向上；同理以 g 为参照点，可知 h 点速度向上.

说明：确定波的传播过程中某质点的振动方向，关键是要理解清楚波的形成原因，掌握波的传播特点.

同步练习

巩固性题组

▶1. 关于机械波的下列说法正确的是 …… (　　)

A. 有机械振动就有机械波

B. 有机械波就一定有机械振动

C. 机械波是机械振动在介质中的传播过程，它是传递能量的一种方式

D. 没有机械波就没有机械振动

▶2. 波在传播过程中，正确的说法是…… (　　)

A. 介质中的质点随波迁移

B. 波源的振动能量随波传递

C. 振动质点的频率随着波的传播而减小

D. 波源的能量靠振动质点的迁移来传播

▶3. 区分横波和纵波是根据 …… (　　)

A. 质点振动的振幅和波的传播速度的大小

B. 质点振动的频率和波的传播能量的多少

C. 质点振动的方向和波传播的远近

D. 质点振动的方向和波传播的方向

▶4. 在机械波中 …… (　　)

A. 各质点都在各自的平衡位置附近振动

B. 相邻质点间必有相互作用力

C. 前一质点的振动带动相邻的后一质点的振动，后一质点的振动必定落后于前一质点

D. 各质点也随波的传播而迁移

需要全本请访问 www.ertongbook.com

▶5. 一列波由波源向周围扩展开去，由此可知…… （　　）

A. 介质中各质点由近及远传播开去

B. 介质振动的能量由近及远传播开去

C. 介质中各点振动的形式由近及远传播开去

D. 介质中各质点只是振动而没有迁移

▶6. 沿绳传播的一列机械波，当波源突然停止振动时…… （　　）

A. 绳上各质点同时停止振动，横波立即消失

B. 绳上各质点同时停止振动，纵波立即消失

C. 离波源较近的各质点先停止振动，较远的各质点稍后停止振动

D. 离波源较远的各质点先停止振动，较近的各质点稍后停止振动

▶7. 日常生活中，若发现球掉入池塘里，能否通过往池塘丢入石块，借助石块激起的水波把球冲到岸边呢？

▶8. 质点的振动方向与波的传播方向____的波叫横波，质点的振动方向与波的传播方向在_____上的波叫纵波，机械波中的横波、纵波，传播时均需要有____.

提高性题组

▶9. 如图 10—1—2 所示是沿绳向右传出的一列横波. 在图上画出各个质点的振动速度方向，并回答下列几个问题：

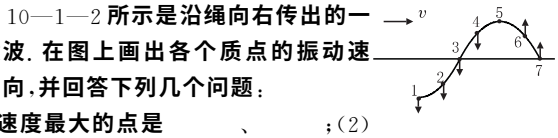


图 10—1—2

(1) 速度最大的点是_____、_____；(2) 第 5 点所在的位置是波的____，也是该质点作振动的_____处.

▶10. AB 为一弹性绳. 设法在绳上传播一个脉冲的波，如图 10—1—3 所示，当波从 A 向 B 传播时，绳上质点开始振动时，质点振动的速度方向是____，若当波从 B 向 A 传播时，绳上质点开始振动时，质点振动的速度方向是____.

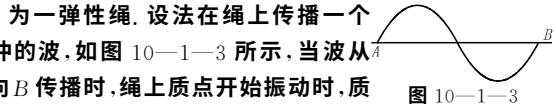


图 10—1—3

二、波的图象

诱 思 导 学

波的运动情况可以用图象来表示. 那么波的图象是怎样作出的？波的图象的意义是什么？它与振动图象有什么区别？从波的图象上能够了解波的哪些情况？何为波速？它是描述什么运动快慢的？这些问题都是本节要研究探讨的.

知 识 回 顾

1. 波的图象：(1) 作法：用横坐标 x 表示在波的传播方向上介质中各质点的_____，纵坐标表示某一时刻各个质点_____的位移，连接各质点的位移矢量的末端，就得到该时刻波的图象；(2) 简谐波的图象是_____曲线；(3) 波的图象的物理意义：描述了介质中_____在_____的位移.

2. 波的图象和振动图象的物理意义是不同的，波的图象是描述介质中_____在_____离开平衡位置的位移；而振动图象描述的是_____在_____离开平衡位置的位移.

3. 在____时间内某一波峰（或波谷）向前移动的距离等于波速.

4. ____振动在介质中传播就形成简谐波.

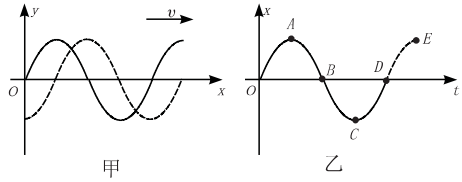
疑 难 辨 析

波动图象与振动图象的区别：

(1) 坐标轴所表示的物理量，波动图象中的横轴 x 表示介质中各个质点振动的平衡位置，纵轴 y 表示各个质点振动时某个时刻的位移；振动图象的横轴 t 表示一个振动质点振动的时间，纵轴 x 表示这个质点振动时各个不同时刻的位移.

(2) 从图象的物理意义方面进行区别：波的图象描述的是某一时刻介质中各个质点的位移情况；振动图象描述的是一个振动质点在不同时刻的位移情况.

(3) 从图象的变化上区别：波动图象随着时间的改变而改变.（假如再过 $\frac{T}{4}$ 后）如图 10—2—1 甲所示；振动图象是随着时间的延长而延伸的，如图 10—2—1 乙所示.



甲　　乙

图 10—2—1

应 用 指 导

[例1] 图 10—2—2 表示某时刻一列简谐波的波动图象. 此时波中 P 点的振动方向向下，试确定这列波的传播方向.

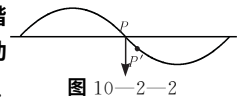


图 10—2—2

解析：任选与 P 点相邻近的的质点 P'，由波的特点可知此时 P' 点的运动方向亦向下，显然 P' 点的运动超前于 P 点，相对

波源 P' 为前一质点，故波源在右边，波向左传播.

说明：本题与第一节的例 2 是相反的两个问题，即已知某一质点的振动方向判断波的传播方向和根据波的传播方向判断某一质点的振动方向. 波的传播特点 —— 后一质点的运动是落后于前一质点，是判断波的传播方向或质点振动方向的依据.

[例2] 图 10—2—3 中的实曲线表示一列简谐波在某一时刻的波形，已知波沿 $-x$ 方向传播，波速 $v=1$ m/s，求作经过 $\Delta t=1$ s 后的波形.

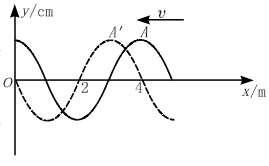


图 10—2—3

解析：在 Δt 内，波中各质点的振动沿 $-x$ 方向传播的距离 $\Delta x=v\Delta t=1$ m. 如对波峰 A，Δt 后 A 将振动情况(出现波峰)传到 $A'(x_A-x_A'=1\text{ m})$. 所以将初时刻的波形(实线)整体地向 $-x$ 方向平移 $\Delta x=1$ m，就得到经 Δt 后时刻的波形，如图中虚线所示.

说明：由 t 时刻的波形和波速大小、方向，要作出 t' 时刻的波形，本题使用的方法叫“波形平移法”. 若 $t'>t$，则将 t 时刻的波形沿波速方向平移 $\Delta x=v(t'-t)$ 的距离，所得到的就是 t' 时刻的波形；若 $t'<t$，则将 t 时刻的波形逆着波速方向平移 $\Delta x=v(t-t')$ 的距离，所得到的就是 t' 时刻的波形.

学了以后的内容，解决这类问题还可采用另外的方法.

[例3] 图 10—2—4 中画出了一列向右传播的横波在某个时刻的波形图线，由图线可知

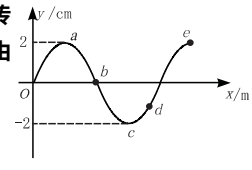


图 10—2—4

A. 质点 b 此时的位移是零

B. 质点 b 此时向 $-y$ 方向运动

C. 质点 d 的振幅是 2 cm

D. 质点 d 此时的加速度方向为正

解析：由图象可知质点 b 此时位于平衡位置，此时其位移为零，故选项 A 正确. 由于波向右传波，质点 b 与质点 a 相比较 a 靠波源近，a 的振动超前 b，a 此时处于正向位移最大处，b 正在向正向位移最大处运动，故 b 向 $+y$ 方向运动，选项 B 错. 简谐波在传播时介质中各质点的振幅都相等，尽管质点 d 此时的位移不是最大，但 d 振动的振幅仍是 2 cm，故选项 C 对. 质点 d 此时的位移方向为负，由 $a=-\frac{kx}{m}$ 可知，此时质点 d 的加速度为正，故选项 D 正确.

说明：此题主要考查对波动图象的理解. 从波的图象上可以了解以下内容：(1) 介质中各质点的振幅 A. (2) 任一质点的位移. (3) 能根据波的传播方向判断各质点的振动速度方向. (4) 根据质点的位移 x 和公式 $a=-\frac{k}{m}x$，可以知道质点的加速度(大小及方向). (5) 能知道下节课将要学到的一个物理量波长 λ.

同 步 练 习

巩固性题组

▶1. 根据图 10—2—5 所列的两图象，分别判断它们属于何种图象 …… (　　)

A. 甲是振动图象，乙是波动图象

B. 甲是波动图象，乙是振动图象

C. 都是波动图象

D. 都是振动图象

▶2. 根据上题所列图象，确定图中 A、B 两质点在对应时刻的运动方向 (　　)

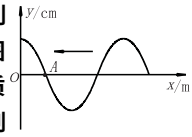


图 10—2—5

A. A 点向下，B 点向上

B. A 点向上，B 点向下

C. 两质点均向上

D. 两质点均向下

▶3. 图 10—2—6 所示为某一时刻简谐横波的图象，波的传播方向沿 $+x$ 方向，下列说法中正确的是 …… (　　)

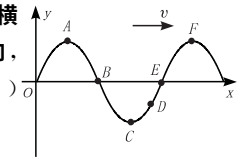


图 10—2—6

A. 此时刻 C 点振幅为负值

B. 此时刻质点 B、E 的速度相同

C. 此时刻质点 C、F 的加速度、速度都为零

D. 此时刻 D 点正沿 $-y$ 方向运动

▶4. 图 10—2—7 所示是一列波某时刻的波形图，若已知质点 C 正向上振动，则 …… (　　)

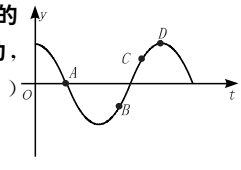


图 10—2—7

A. 此波向右传播

B. D 比 C 先回到平衡位置

C. 此时 B 点速度为正，加速度为正

D. 经过 $\frac{T}{2}$，A 达到波峰

提高性题组

▶5. 若图 10—2—5(乙)是(甲)图中 A 质点的振动图象，则 …… (　　)

A. 在乙中 $t=0$ 那时刻 A 质点在平衡位置

B. 在乙中 B 指示的时刻 A 质点加速度为零

C. 在乙中 C 指示的时刻 A 质点正远离平衡位置

D. 在乙中 C 指示的时刻 A 质点的加速度方向向着平衡位置

▶6. 一列简谐波沿 x 轴向右传播，某时刻波的图象如图 10—2—8 所示. 图中 P 是介质中的一点，则该质点在该时刻之前 $\frac{3}{4}$ 周期时的运动方向是 …… (　　)

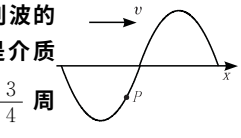


图 10—2—8

A. 向左　　B. 向右　　C. 向上　　D. 向下

▶7. 如图 10—2—9 所示是一列横波在某一时刻的波形图，波沿 x 轴正向传播则：(1) A 质点振动的方向是____，C 点的振动方向____，D 点的振动方向____；(2) 再经过 $\frac{T}{2}$，质点 A 通过的路程是__ cm，质点 C 的位移是__ cm.

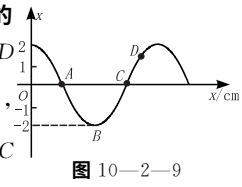


图 10—2—9

三、波长、频率和波速

诱思导学

观察波的图象就会发现，在某一时刻的波的图象中，每隔一定距离，波就重复出现，这就是波的“空间周期性”，波的图象每隔一段时间，已形成的波就重复出现，这就是波的“时间周期性”. 那么怎样描述波的这两种周期性呢？各种不同的声音，不论声音大小、音调高低，它们在空气中传播一样快，这是什么原因？波速是由什么决定的？这节课要学习的内容就是描述的几个物理量及其相互关系.

知识回顾

1. 波长：在波动中两个____的，在振动过程中对_____的位移__是相等的质点间的距离，叫做波长. 振动经过一个周期，在介质中传播的距离等于一个波长.

在横波中，两个____的波峰（或波谷）间的距离，等于波长.

在纵波中，两个____的密部（或疏部）间的距离，等于波长.

2. 在波的传播过程中，波的周期和频率等于____的周期和频率.

3. 波速 v 表示波在介质中_____，它是_____的传播速度，也是能量传播的速度. 波速仅由_____决定（一般说来，固体中波速较大，液体中次之，气体中波速最小），与____无关.

4. 波速等于____和____的乘积，公式 $v=$ ____. 该公式适用于一切波.

疑难辨析

波长、波速、频率三个量各由什么因素决定？

波的传播速度 $v=\lambda f$，或 $v=\dfrac{\lambda}{T}$，其中 v、λ、$f(T)$ 三个量相互关联，从公式上看，似乎任意一个量改变都会影响其他两个量. 不少初学者易产生这样的认识，其实不然，那么它们都是受谁决定的呢？

(1) 周期和频率，只取决于波源，而与 v、λ 无直接关系.

(2) 速度 v 决定于介质的物理性质，它与 T、λ 无直接关系. 只要介质不变，v 就不变，而不决定于 T、λ，反之如果介质变，v 也一定变.

(3) 波长 λ 则决定于 v 和 T，只要 v、T 其中一个发生变化，其 λ 值必然发生变化，而保持 $v=\lambda f$ 的关系.

应用指导

[例1] 如图 10—3—1 所示，A、B 是一列简谐横波中的两点. 某时刻，A 正处于正向最大位移处，另一点 B 恰好通过平衡位置向 $-y$ 方向振动. 已知 A、B 的横坐标分别为 $x_A=0$ cm，$x_B=70$ cm，并且波长 λ 符合不等式：$20\text{ m}<\lambda<80\text{ m}$，求波长 λ.

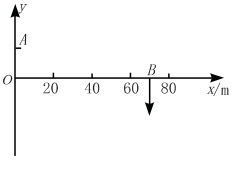


图 10—3—1

解析：根据题目中 A 点和 B 点的位置，作出 AB 间的两种最简波形图（如图 10—3—2 中的实虚两种曲线波形）.

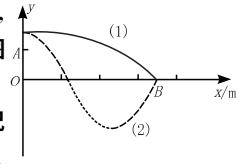


图 10—3—2

(1) 由实线最简波形图写出这种情况的通式为 $x_B-x_A=(n+\dfrac{1}{4})\lambda$，得 $70=\dfrac{4n+1}{4}\lambda$，所以波长通式为 $\lambda=\dfrac{4\times70}{4n+1}$，其中 $n=0$、1、2、3……. 将 $n=0$、1、2、3…… 依次代入通式解得 $\lambda=280$ m、56 m、$31\dfrac{1}{9}$ m……，由已知 $20\text{ m}<\lambda<80\text{ m}$ 的限制条件，波长应为 $31\dfrac{1}{9}$ m 或 56 m，且该波向 $-x$ 方向传播.

(2) 由虚线最简波形，写出这种情况的通式为 $x_B-x_A=(n+\dfrac{3}{4})\lambda$，得 $70=\dfrac{4n+3}{4}\lambda$，所以波长的通式 $\lambda=\dfrac{4\times70}{4n+3}$，其中 $n=0$、1、2、3……. 将 $n=0$、1、2、3…… 依次代入通式解得 $\lambda=93\dfrac{1}{3}$ m、40 m、$25\dfrac{5}{11}$ m……，由已知 $20\text{ m}<\lambda<80\text{ m}$ 的限制条件，波长应为 $25\dfrac{5}{11}$ m 或 40 m，且波向 $+x$ 方向传播.

说明：本题的解析是已知波中的两个特殊质点，求解波长的一般方法. ① 如果题目已知条件无任何限制，求出的波长应为两组解. ② 如果题目已知条件中对波长加了限制（本题加了 $20\text{ m}<\lambda<80\text{ m}$ 的限制），则从两组解中分别求出有限个解. 题目有时加“波在 AB 间的传播时间 $2T<\Delta t<4T$，则两组波长 λ 的通式中的 n 只能取 2 或 3，每组中各确定出两解. ③ 如果题目已知条件加了波的传播方向的限制 —— 例如波沿 $+x$ 方向传播，则本题只有一组 $x_B-x_A=(n+\dfrac{3}{4})\lambda$ 通解. 如果在限制传播方向的基础上，如本题又加了 $20\text{ m}<\lambda<80\text{ m}$ 的限制，则只能从这一组解中取出 $\lambda=25\dfrac{5}{11}$ m 和 $\lambda=40$ m 两个解.

由于波动的时间周期性、空间周期性及传播的双向性，从而造成波动问题求解的多值性. 解题时要先建立通式，再根据限制条件从中取出符合题意的解.

[例2] 一列简谐波在 x 轴上传播，图 10—3—3 中的实线波形与虚线波形对应的时刻分别是 $t_1=0$，$t_2=0.05$ s.

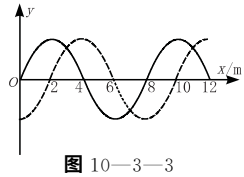


图 10—3—3

(1) 若波沿 $+x$ 方向传播，波速多大？

(2) 若波沿 $-x$ 方向传播，波速多大？

(3) 若波速的大小是 280 m/s，波速方向如何？

解析：(1) 在 $\Delta t=t_2-t_1$ 内，振动向右传播的距离

$$\Delta x_1=\frac{\lambda}{4}+n\lambda\ (n=0、1、2\cdots\cdots)$$

波速 $v_1=\dfrac{\Delta x_1}{\Delta t}=\dfrac{(4n+1)\lambda}{4\Delta t}$

代入 $\lambda = 8$ m，$\Delta t = 0.05$ s 得

$v_1 = 40(4n+1)$ m/s$(n = 0、1、2\cdots\cdots)$

(2) 在 Δt 内，振动向左传播的距离

$\Delta x_2 = \frac{3}{4}\lambda + n\lambda (n = 0、1、2\cdots\cdots)$

波速 $v_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2} = \frac{(4n+3)\lambda}{4\Delta t}$

$= 40(4n+3)$ m/s$(n = 0、1、2\cdots\cdots)$

(3) 由波速 $v = 280$ m/s，故在 Δt 内，振动传播的距离 $\Delta x = v\Delta t = (280 \times 0.05)$ m $= 14$ m

把 Δx 与 λ 相比：$\Delta x = \lambda + \frac{3}{4}\lambda$，故知 Δx 符合(2)中的 Δx_2 当 $n = 1$ 的情况，所以波沿 $-x$ 方向传播.

说明：本题解析与“例 1”类似，如果题目没有第(1)、(2)问传播方向的给定，只是笼统地要求波速，我们也应该分波向 $+x$ 方向传播和向 $-x$ 方向传播两种情况求出速度的通式.

[例3] 如图 10—3—4 所示，一列向右传播的简谐横波，波速大小为 0.6 m/s，P 质点的横坐标 $x = 0.96$ m. 从图中状态开始计时，求：

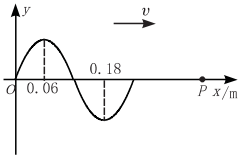


图 10—3—4

(1) 经过多长时间，P 点第一次达到波谷？

(2) 经过多长时间，P 质点第二次达到波峰？

(3) P 点刚开始振动时，振动方向如何？

解析：(1) P 点第一次达到波谷的时间，就是初始时刻 x 坐标为 0.18 m 处的质点的振动状态传到 P 点所需要的时间. 则

$t_1 = \frac{\Delta x_1}{v}$

又 $\Delta x_1 = 0.96 - 0.18 = 0.78$ m.

所以 $t_1 = \frac{0.78}{0.6} = 1.3$ s

(2) P 点第二次达到波峰的时间等于初始时 x 坐标为 0.06 m 处质点的振动状态传到 P 质点所需要的时间与一个周期的和，则

$t_2 = \frac{\Delta x_2}{v} + T = \frac{\Delta x_2 + \lambda}{v}$

又 $\Delta x_2 = 0.96$ m $- 0.06$ m $= 0.9$ m，

$\lambda = 0.24$ m

所以 $t_2 = \frac{0.9 + 0.24}{0.6} = 1.9$ s

以 P 点的振动也可以发现，t_2 应为 t_1 与 1.5 T 的和，同样可得 $t_2 = 1.9$ s.

(3) P 质点刚开始振动的振动方向就是初始时 x 坐标为 0.24 m 处质点的振动方向，因为横波沿 x 轴正方向传播，所以初始时 x 坐标为 0.24 m 处质点启振方向沿 y 轴负方向，故 P 质点刚开始振动的方向也沿 y 轴负方向.

说明：在均匀媒质中，机械波以一定的速度传播，波的传播过程就是振动状态的传播过程. 某一振动状态在 Δt 内传播的距离等于波速与时间的乘积，即 $\Delta x = v\Delta t$，根据这一公式我们便可求出某一振动状态传到空间某一位置所经历的时间. 对这类问题通常要注意某一振动状态在初始时刻的位置，从而准确地确定其传播距离.

同 步 练 习

巩固性题组

▶1. 关于波长的下列说法中，正确的是…… (　　)

A. 在一个周期内振动在介质甲中传播的距离等于波长

B. 在一个周期内介质的质点所走过的路程等于波长

C. 波长等于在波的传播方向上两相邻的对平衡位置的位移始终相同的质点间的距离

D. 波长等于横波中峰与峰(或谷与谷)间距离

▶2. 图 10—3—5 所示是一横波图象，波速 $v = 60$ m/s，向右传播，从图中可以判断 …… (　　)

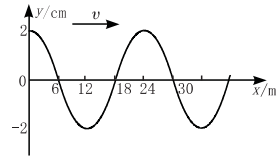


图 10—3—5

A. 各质点的振幅为 2 cm，波长为 24 cm，周期为 2.5 s

B. $x = 6$ cm 处质点的速度最大，且沿 y 轴正向

C. $x = 24$ cm 处质点的加速度最大，且沿 y 轴负向，振动周期为 0.4 s

D. $x = 7$ cm 处质点的加速度方向为 y 轴正向，且正在增大

▶3. 一列横波某时刻波形如图 10—3—6 所示，此刻 D 点向上振动，则 …… …… (　　)

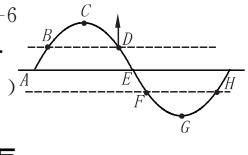


图 10—3—6

A. 波向左传播

B. 该时刻 F 与 H 振动速度方向相反

C. 该时刻 B、D 加速度相同、速度方向相反

D. G 比 H 先回到平衡位置

▶4. 下列关于振动与波的关系说法中，正确的是…… (　　)

A. 没有振动就没有波，有振动就有波

B. 由某振源产生的波，不论它在什么介质中传播，其频率都和振源的频率相同

C. 振源的振动速度与波速相等

D. 一列波在介质甲中传播，从介质整体看呈现的是波动，介质中的各个质点却在振动

▶5. 由振动图象可直接读出____和____；由波的图象可直接读出____和____. 由振动图象可以确定质点在各时刻的_____、_____、_____的方向和比较这些量的大小关系；由波的图象并根据质点的_____可以确定波的传播方向.

▶6. 一列波在介质甲中传播时，波速为 400 m/s，波长为 0.5 m；当这列波进入介质乙时，波速变为 200 m/s. 则这列波在介质乙中的波长为____ m，频率为____ Hz.

▶7. 机械波在介质中传播的速度为 v，波长为 λ，在某一时刻介质中一个质点刚好处于平衡位置，那么当它再次经过平衡位置所需的时间至少应为____.

▶8. 图 10—3—7 为一列波在某一时刻的波动图象，波速为 30 m/s，波的传播方向沿 x 轴正方向.

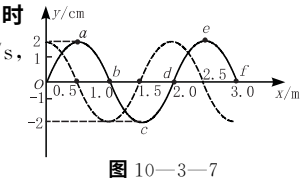


图 10—3—7

(1) 这列波的波长为____ m,频率为____ Hz.

(2) 在 a、b、c、d、e 五个质点中,任何时刻对平衡位置的位移总是相同的质点有__和__;任何时刻对平衡位置的位移总是大小相等、方向相反的质点有__和__、__和__、__和__.

(3) 试画出再过 3/4 周期的波动图象.

▶9. 在波速方向上,波中两质点 a 和 b 平衡位置间距为 1.05 m,当 a 到达最大位移时,b 恰在平衡位置,已知波的频率为 200 Hz,则波速可能为

A. 120 m/s　B. 140 m/s　C. 280 m/s　D. 420 m/s

提高性题组

▶10. 如图 10—3—8 实线是一列简谐波在 $t_1 = 0$ 时的波形曲线,虚线是 $t_2 = 0.2$ s 后的波形曲线,问这列波可能传播的速度是多少?

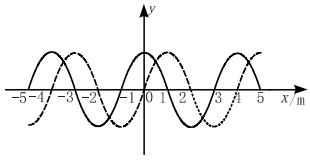


图 10—3—8

▶11. 图 10—3—9 表示某时刻一列横波的波形,波中 $x = 4$ m 的 A 点在此刻正通过平衡位置向 $-y$ 方向振动. (1) 画出 1/4 周期之前的波形;(2) 如果从该时刻开始,A 经过 1.5 s 第一次达到正向最大位移处,求波速大小.

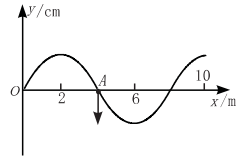


图 10—3—9

▶12. 一列简谐横波,在 $t = 0$ 时刻的波形如图 10—3—10 所示,自右向左传播,已知在 $t_1 = 0.7$ s 时,P 点出现第二次波峰(0.7 s 内 P 点出现两次波峰),Q 点的坐标是 $(-7, 0)$,则以下判断中正确的是 …… (　　)

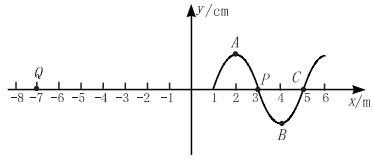


图 10—3—10

A. 质点 A 和质点 B 在 $t = 0$ 时刻的位移是相等的

B. 在 $t = 0$ 时刻,质点 C 向上运动

C. 在 $t_2 = 0.9$ s 末,Q 点第一次出现波峰

D. 在 $t_3 = 1.26$ s 末,Q 点第一次出现波峰

* 四、波的反射与折射 略)

五、波的衍射

诱 思 导 学

在水塘里,微风激起的水波遇到露出水面的小石、芦苇等细小的障碍物,会绕过它们继续传播,好像它们并不存在,造成这种现象的原因是什么?平时我们所讲的"闻其声而不见其人"这种现象的本质是什么?说话时,在嘴的前面挡一本书,却挡不住声音向前传播,这又是什么原因?以上现象都是波的衍射造成的,那么什么是波的衍射呢?这就是这节课我们所要学习的主要内容.

知 识 回 顾

1. 波的衍射:波_____传播的现象,叫做波的衍射.

2. 产生明显衍射现象的条件:障碍物或孔的尺寸比波长__,或者跟波长_____.

3. _____都能发生衍射,衍射是波____的现象.

疑 难 辨 析

衍射现象是波在传播过程中偏离直线传播. 绕过障碍物的现象. 衍射现象总是存在的,只是明显与不明显的差异. 波动发生明显衍射现象的条件是:障碍物(或小孔)的尺寸比波长小或与波长可相比拟.

应 用 指 导

[例题] 在做水波通过小孔衍射的演示实验时,激发水波的振子振动频率为 5 Hz,水波在水槽中传播速度为 0.05 m/s,为使实验效果更明显,使用小孔直径 d 应为_____ m.

解析:由 $v = \lambda f$ 知 $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{0.05}{5} = 0.01(\text{m})$

要发生明显衍射,应使 $d \leqslant \lambda$,$\therefore d \leqslant 0.01$ m

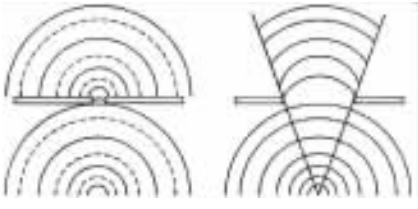
说明:发生明显衍射现象的条件是障碍物或孔的尺寸比波长小或者跟波长相差不多.

同步练习

巩固性题组

▶1. 波的衍射现象是指波_____的现象;通过衍射,波能把_____传到"阴影"区域,这是波的特有现象.

▶2. 如图 10—5—1 所示,波长相同的水波通过宽度不同的孔,在甲图发生了明显的_____现象,这是因为孔的宽度和波长_____的缘故;在乙图,孔后面的水波是在连接波源和孔边的两条直线所限制的区域里传播,这是因为_____的缘故.



甲 乙

图 10—5—1

▶3. 下列现象或事实属于衍射现象的是 …… (　　)

A. 风从窗户吹进来

B. 小孔成像

C. 水波前进方向上遇到凸出在水面上的小石头,小石头对波的传播没有影响

D. 晚上看到水中月亮的倒影

▶4. 当一列波出现明显的衍射现象时,可能是该波的 …… (　　)

A. 波长比障碍物尺寸小很多

B. 波长比障碍物尺寸大很多

C. 波长与障碍物尺寸相差不多

D. 波长与障碍物尺寸无关

▶5. 水波通过小孔,发生一定程度的衍射,为使衍射现象更不明显,可…… (　　)

A. 增大小孔尺寸,同时增大水波的频率

B. 增大小孔尺寸,同时减小水波的频率

C. 缩小小孔尺寸,同时增大水波的频率

D. 缩小小孔尺寸,同时减小水波的频率

▶6. 图 10—5—2 中是观察水面波衍射的实验装置,AC 和 BD 是两块挡板,AB 是一个孔,O 是波源,图中已画出波源所在区域波的传播情况,每两条相邻波纹(图中曲线)之间距离表示一个波长,则波经过孔之后的传播情况.下列描述中正确的是 …… (　　)

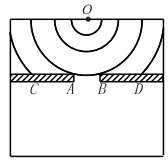


图 10—5—2

A. 此时能明显观察到波的衍射现象

B. 挡板前后波纹间距离相等

C. 如果将孔 AB 扩大,有可能观察不到明显的衍射现象

D. 如果孔的大小不变,使波源频率增大,能更明显观察到衍射现象

提高性题组

▶7. 声波在水中比在空气中更____(填"容易"或"难")发生明显的衍射现象.

六、波的干涉

诱思导学

两个运动的小球相遇后会发生碰撞,而各自改变自己的运动状态,那么在空间传播的两列波相遇会发生什么现象呢?是否也会像两球那样各自改变其运动状态呢?在两列波相遇的区域里,各质点的振动状态怎样变化?这节课所研究的主要问题就是两列波相遇时所发生的一些现象.

知识回顾

1. 波的叠加:在两列波重叠的区域里,任何一个质点的总位移,都等于两列波分别引起的位移的____和.

2. 波的干涉:频率相同的两列波叠加,使某些区域的振动____,某些区域的振动____,并且振动____和____的区域互相间隔,这种现象叫做波的干涉,形成的图样叫做波的_____.

3. 发生稳定干涉的条件:两列波的____相同.

疑难辨析

1. 在波的干涉现象中,加强区是指该区域内质点的振幅 A 增大;减弱区域是指该区域内质点的振幅 A 减小.设两相干波源单独引起的振幅分别为 A_1 和 A_2,则在振动加强区中质点振动的振幅为 A_1+A_2,在振动减弱区域中质点的振幅为 $|A_1-A_2|$.不论加强区还是减弱区中的质点,都仍然在其平衡位置附近做振动,它们的振动位移仍随时间发生周期性变化.因此,某一时刻,加强区域中质点的位移有可能小于减弱区中质点振动的位移.若 $A_1=A_2$,则减弱区中质点的振幅为零,不振动.

2. 重叠区内某质点的振动是加强还是减弱,取决于两个相干波源到该质点的距离之差 Δr,若 $\Delta r=k\lambda(k=0,1,2\cdots)$,则该质点振动加强,若 $\Delta r=(2k+1)\frac{\lambda}{2}(k=0,1,2,\cdots)$,则该区域振动减弱.

需要全本请访问 www.ertongbook.com

应 用 指 导

[例1] 关于波的叠加和干涉，下列说法中正确的是

A. 两列频率不相同的波相遇时，因为没有稳定的干涉图样，所以波没有叠加

B. 两列频率相同的波相遇时，振动加强的点只是波峰与波峰相遇的点

C. 两列频率相同的波相遇时，如果介质中的某点振动是加强的，某时刻该质点的位移 F 可能是零

D. 两列频率相同的波相遇时，振动加强的质点的位移总是比振动减弱的质点位移大

解析：根据波的叠加和干涉的概念可知，只要两列波相遇就会叠加，但由于两列波的频率不同，在叠加区域没有稳定的干涉图样，所以选项 A 错. 发生干涉时振动加强的点还有波谷和波谷相遇的点，所以选项 B 错. 因为某质点振动加强仅是振幅加大，但只要仍在振动就一定有位移为零的时刻，所以选项 C 正确，选项 D 错误.

说明：本题考查的是波的叠加和波的干涉两个概念. 两列波相遇一定叠加，不论能否产生稳定的干涉图样，稳定的干涉图样是频率相同的两列波相遇时叠加的结果. 在稳定的干涉图样中，波谷和波谷相遇的点与波峰与波峰相遇的点都是波动加强点，振动加强点的位移也在做周期性变化.

[例2] 两个振动情况完全相同的波源 S_1、S_2 产生的波叠加. 某时刻形成的干涉图样如图 10—6—1 所示，实线表示波峰、虚线表示波谷. 在 a、b、c 三个点里，振动加强的点是____，振动减弱的点是____；从该时刻起，经过 1/4 周期，它们中位移为零的点是____.

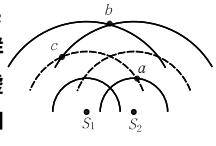


图 10—6—1

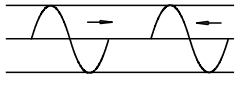
解析：振动加强的点是 b，振动减弱的点是 a 和 c；再经过 1/4 周期，三个点的位移都为零.

说明：在干涉图样里，振动加强的点总是加强，振动减弱的点总是减弱，一般情况下，如果两相干波源单独振动引起的振幅为 A_1、A_2，那么在干涉区域，振动加强区域里的质点的振幅为 A_1+A_2，振动减弱区域里的质点的振幅为 $|A_1-A_2|$，在本题中，因 A_1 和 A_2 相等，故振动减弱区的质点并不振动.

同 步 练 习

巩固性题组

▶1. 从一条弦线的两端，各发生一如图 10—6—2 所示的横脉冲，它们均沿弦线传播，速度相等，传播方向相反，在它们传播的过程中，可能出现的脉冲波形是图 10—6—3 中的 …… (　　)


图 10—6—2

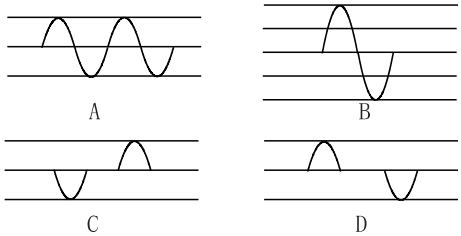


图 10—6—3

▶2. 两列波长相同的水波发生干涉现象，若在某时刻 P 点处恰好是两列波的波峰相遇，Q 点处恰好是两列波的波谷相遇，则 …… (　　)

A. P 点振动加强，Q 点振动减弱

B. P、Q 两点振动周期相同

C. P、Q 两点振动都加强

D. P、Q 两点始终处于最大或最小位移处

▶3. 关于波的干涉，下列说法正确的是 …… (　　)

A. 一列波影响了另一列波，这就叫波的干涉

B. 两列波相互叠加时，必定产生干涉

C. 两列波相互干涉是波叠加的结果

D. 频率不同的两列波不可能相互干涉

▶4. S_1、S_2 是两个相同波源，这两个波源发出的波发生干涉时，在干涉区域内有 a、b、c 三点，某时刻 a 点有波峰和波谷相遇，b 点有两列波的波谷相遇，c 点两列波的波峰相遇，问再经过 $T/2$ 时间，振动加强的是 …… (　　)

A. 只有 a 点　B. 只有 c 点　C. b 点和 c 点　D. a 点和 b 点

▶5. 在一根绳上相向传播波长相等的两个绳波，如图 10—6—4 所示，在某时刻，两个绳波传播到绳上的 AB 段时，绳子看起来是一根直的，那么 …… (　　)

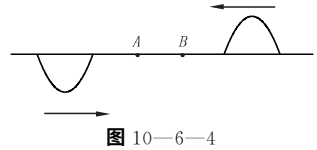


图 10—6—4

A. 此时在绳子的 AB 段上，有些质点的速度不为零

B. 此时在绳子的 AB 段上，所有质点的速度都为零

C. 在这以后，绳子上仍然有两个脉冲背离向相反方向传播

D. 在这以后，绳子保持直线状态直至永远

提高性题组

▶6. 如图 10—6—5 所示为两个相干涉源发出的波相遇时，某时刻的情况，图中实线表示波峰，虚线表示波谷，相干波的振幅均为 5 cm，波速和波长分别为 1m/s 和 0.5 m，C 点为 B、E 连线的中点，则下列说法中正确的是 …… (　　)

A. C、E 两点都保持不动

B. 图示时刻 A、B 两质点竖直高度差为 20 cm

C. 图示时刻 C 点正处在平衡位置向下运动

D. 从此时刻起经 0.25 s，质点 B 通过的路程为 20 cm

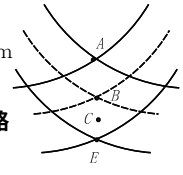


图 10—6—5

▶7. 如图 10—6—6 所示，两列简谐波均沿 x 轴传播，传播速度大小相等，其中一列沿 x 轴正方向传播(图中实线所示)，一列沿 x 轴负方向传播(图中虚线所示). 这两列波的频率相等，振动方向均沿 y 轴，则图中 $x=1$、2、3、4、5、6、7、8 各点中振幅最大的是 $x=$_____的点，振幅最小的点是 $x=$_____的点.

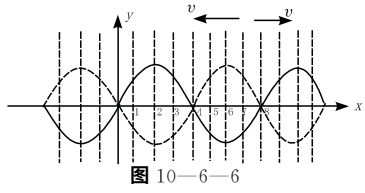


图 10—6—6

▶8. 如图 10—6—7 所示，在同一均匀媒介中有 S_1、S_2 两个波源，这两个波源的频率、振动方向均相同，且振动步调完全一致，S_1、S_2 之间相距两个波长.

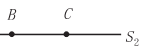


图 10—6—7

问在 S_1、S_2 连线上共有几个加强点（S_1、S_2 两波源除外）？

＊七、驻波（略）

八、多普勒效应

诱思导学

什么是光谱线的红移现象？为什么远方的星系呈现光谱线的红移现象就说明星系是远离我们而运动？医疗上彩超的原理是什么？怎样解释汽车向我们驶来时，发出的声音越来越高，远离我们行驶时，发出的声音调越来越低这种现象？以上各问题均可用多普勒效应来解释，那么什么是多普勒效应呢？这就是这节课我们要学习的内容.

知识回顾

1. 多普勒效应：由于波源和观察者有相对运动，使观察者发现____发生变化的现象，叫多普勒效应.

2. 波源的频率等于单位时间内波源发出的完全波的个数. 观察者接收到的频率等于观察者在单位时间内接收到完全波的个数. 波源和观察者相对介质都不动时，观察者接收到的频率等于观察者单位时间内接收到的完全波的个数，这时观察者接收到的频率____波源的频率.

3. 波源与观察者有相对运动时，若波源的频率没有发生变化，观察者接收的频率却发生了变化.

（1）波源相对介质不动，而观察者向着波源运动；在单位时间内观察者向着波源移动一段距离，与观察者不动的情况比较，观察者单位时间内接收到的完全波的个数____，即接收到的频率____. 同理，如果观察者远离波源，观察者单位时间内接收到的完全波的个数减小，即接收到的频率减小.

（2）观察者相对介质不动，而波源运动：波源接近观察者时，观察者接收到的频率____；波源远离观察者时，接收到的频率____.

总之，当波源与观察者有相对运动时；如果二者相互接近，观察者接收到的频率____；如果二者远离，观察者接收到的频率____.

疑难辨析

对多普勒效应产生原因的定量分析：设 u 表示波源对介质的速度，v 表示观察者对介质的速度，V 表示波的传播速度，f 和 f' 分别表示波源频率和观察者接收到的频率.

1. 波源和观察者相对介质都不动：单位时间内波源振动 f 次，波传播距离是 V，即发出的波分布在长度 V 上，共有 f 个波长. 观察者接收到的频率是单位时间内通过观察者的完全的波数，故 $f'=\frac{V}{\lambda}=f$ 即接收到的频率等于波源的频率.

2. 波源相对介质不动，而观察者向波源运动：则波对观察者的速度为 $(V+v)$，波长仍为 $\lambda=\frac{V}{f}$，故 $f'=\frac{V+v}{\lambda}=(1+\frac{v}{V})f$，即接收到的频率增加为波源频率的 $(1+\frac{v}{V})$ 倍. 同理可知，观察者远离波源运动，观察者接收到的频率为 $(1-\frac{v}{V})f$.

3. 观察者静止，波源以速度 u 向观察者运动：波速 V 与波源的运动无关，但波长被压缩为 $\lambda'=\lambda-uT$. 故观察者接收到的频率 $f'=\frac{V}{\lambda-uT}=\frac{V}{VT-uT}=\frac{V}{V-u}f$.

即接收到的频率增大. 反之，即波源远离观察者时，接收到的频率减小.

应用指导

[例题] 一个观察者在铁路旁，当火车迎面驶来时，他听到的汽笛声频率为 $f_1=440$ Hz；当火车驶过他身旁后，他听到的汽笛声的频率 $f_2=392$ Hz. 若大气中声速约为 330 m/s，求火车的速度和火车汽笛发声的频率 f_0.

解析：设火车的速度大小是 v'，则

当火车靠近时 $440=\frac{330}{330-v'}\cdot f_0\cdots$ ①

当火车远离时 $392=\frac{330}{330+v'}\cdot f_0\cdots$ ②

联立 ①② 解得：$v'=19.0$ m/s，$f_0=415$ Hz.

可见，当火车向观察者运动时，观察者听到汽笛声频率变大；当火车远离观察者运动时，观察者听到的汽笛声频率变小.

说明：要理解多普勒效应产生的原因；记住多普勒效应的特点——接近时接收频率变大，远离时接收频率变小；知道多普勒效应的实际应用. 但不要求记住多普勒效应中的一些公式去计算问题.

同步练习

巩固性题组

▶1. 什么叫多普勒效应？

▶2. 当波源与观察者有相对运动时，如果二者相互接近，观察者接收到的频率_____；如果二者远离，观察者接收到的频率_____.

提高性题组

▶3. 有一种用钢丝操纵作圆周飞行的飞机模型，装有两冲程的活塞式发动机作为动力. 操纵者站在圆心，在他听来发动机工作时发出的声音是平稳不变的. 场边的观察者听到的声音忽高忽低地作周期性变化，这是由于_____，这种现象叫_____。

模型飞机的飞行速度是 90 km/h，单缸发动机的转速是 9000 r/min，则观察者听到的声音的最高频率是_____，最低频率是_____ Hz，操纵者听到的声音的频率是_____ Hz.

▶4. 在光学里，也存在类似的多普勒效应，当光源和观察者相互远离时，测量到的光谱线的波长比相对静止时大，称为光谱线的红移；当光源和观察者相互靠近时，测量到的谱线波长比相对静止时小，称为光谱线的兰移. 远方星系均呈现光谱线的红移现象，其最自然的解释就是星系都远离我们而运动，运动的速度称为退行速度. 退行速度可以根据红移量，即波长的相对改变量，由多普勒效应计算出来. 退行速度和距离成正比，称为哈勃定律，即 $v = HD$. v 为星系的退行速度，D 为星系与地球的距离，H 为一常量，称为哈勃常量. 为解释上述现象，有人提出一种理论，认为宇宙是从一个大爆炸的火球开始形成的. 假设在爆炸后各星体即以不同的速度向外匀速运动，并设想我们就位于其中心，则速度越大的星体现在离我们越远. 这一结果与上述天文观测一致.

由上述理论和天文观测结果，可估算宇宙年龄 T，其计算式为 $T =$ _____. 根据近期观测，哈勃常数 $H = 3 \times 10^{-2}$ m/s·光年，其中光年是光在一年中行进的距离，由此估算宇宙的年龄约为_____年.

※ 九、次声波和超声波 略）

十、章末复习讲练评

知识结构

机械波
- 产生：机械振动在介质中的传播形成机械波.
- 特点：① 介质中的质点在平衡位置附近振动，沿波的传播方向，后一个质点的振动滞后于前一个质点.
  ② 波源振动一个周期，波沿传播方向传播一个波长.
- 分类：横波；纵波
- 描述：波的图象：表示某一时刻介质中各质点的位移
  - 物理量：频率 f：为波源振动频率；波速 v：$v = \Delta x/\Delta t = \lambda/T = \lambda f$；波长 λ：波形空间的周期性
- 特性：衍射：明显衍射的条件；干涉：相干条件；反射和折射
- 多普勒效应

综合应用

[例1] a、b 是一条水平绳上相距为 l 的两点. 一列简谐横波沿绳传播，其波长等于 $\frac{2}{3}l$. 当 a 点经过平衡位置向上运动时，b 点

A. 经过平衡位置向上运动
B. 处于平衡位置上方位移最大处
C. 经过平衡位置向下运动
D. 处于平衡位置下方位移最大处

解析：本题是根据波动过程的特征，作图求解的问题.

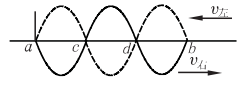


图 10—10—1

根据题意作图，如图 10—10—1 所示在直线上取 a、b 两点，其距离为 l，将 l 三等分得 c、d 两点，ad 距离为一波长，作出波形（实线为向右传播的波形，虚线为向左传播的波形），可见 ab 两点间为 1.5 个波长，其振动方向总相反. 故选项 C 正确.

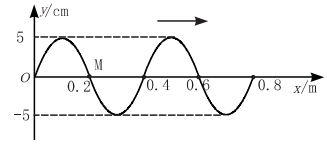


图 10—10—2

[例2] 如图 10—10—2 所示为一列简谐波在 $t = 0$ 时的波动图象，波的传播速度大小 $v = 2$ m/s，则以 $t_1 = 0$ 到 $t_2 = 2.5$ s 的时间内，质点 M 通过的路程是多少？相对平衡位置的位移是多少？

解析：设周期为 T，则

由 $v = \frac{\lambda}{T}$ 得 $T = \frac{\lambda}{v} = 0.2$ s

因 $\Delta t = 2.5$ s，故 $\Delta t = 12.5\ T$

则质点通过的路程为

$s = 4A \times 12.5 = 4 \times 5 \times 12.5 = 250$ (cm).

因为质点 M 初始时从平衡位置沿 y 轴正向振动，经过 12.5 T 后又回到平衡位置，且沿 y 轴负向振动. 故经过 2.5 s 后，质点 M 相对平衡位置位移为零.

说明：介质中的振动质点在 Δt 时间内通过的路程，与质点的初始状态有关. 计算时较为复杂. 但是，如果 Δt 是 $\frac{T}{2}$ 的整数倍（T 为周期），则计算时较为容易. 设 $\Delta t = (n + \frac{1}{2})T$，那么振动质点在 Δt 时间内通过的路程 s 可由公式计算.

$s = 4A(n + \frac{1}{2})$，$n = 0, 1, 2, 3\cdots$

当质点初始时相对平衡位置位移为 $x_1 = x_0$ 时，则经过 $\Delta t = nT + \frac{1}{2}T$ 后，质点相对平衡位置的位移为 $x_2 = -x_0$；若 $x_1 = 0$，则 $x_2 = 0$；若 $x_1 = A$，则 $x_2 = -A$.

[例3] 如图 10—10—3 所示为一列沿 x 轴向右传播的简谐横波在某时刻的波动图象. 已知此波的传播速度大小为 $v = 2$ m/s，试画出该时刻与 5 s 前的波动图象.

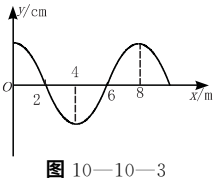


图 10—10—3

解析：方法一：(特殊质点定位法) 因为波速 $v = 2$ m/s，又从图得 $\lambda = 8$ m，所以 $T = \frac{\lambda}{v} = 4$ s. 又因为此波向右传播，故平衡位置坐标为 2 m、6 m 的两个特殊质点的初始振动方向分别沿 y 轴正向与沿 y 轴负向，经过 $5\text{s}(1\frac{1}{4}T)$，这两个质点分别位于正向最大的位移与负向最大位移，由此便得出 5s 后的波形，如图 10—10—4 所示.

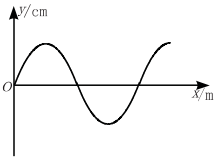


图 10—10—4

方法二：(波形平移法)：因为波速 $v = 2$ m/s，所以由 $\Delta x = v\Delta t$ 可得，$\Delta x = 10$ m，因为 $\frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{10}{8} = 1\frac{1}{4}$，即 $\Delta x = \lambda + \frac{1}{4}\lambda$，去整留零为 $\frac{\lambda}{4}$，故整个波向左平移 $\frac{\lambda}{4}$，即为 5s 后的波形图.

说明：确定动态波形有两种方法：一是特殊质点定位法；二是波形平移法.

特殊质点定位法就是根据某些特殊质点(位于波峰、波谷或平衡位置的质点) 的位置的变更进而确定动态波形. 这种方法需已知波的传播方向(或波源的方位)，或需已知某个特殊质点的振动方向. 故它通常用于 $\Delta t = k \cdot \frac{T}{4}(k = 1、2、3\cdots)$ 的情况.

波形平移法就是根据公式 $\Delta x = v\Delta t$，将整个波形在波的传播方向上进行平行移动从而得到新的波形，因为当 $\Delta x = k\lambda$ 时，波形不变，所以实际处理时通常将 $\frac{\Delta x}{\lambda}$ 去整取尾即可，这种方法是普遍适用的.

[例4] 一列简谐横波沿直线传播，在这条直线上相距 $d = 1.8$ m 的 A、B 两点振动图象分别如图 10—10—5 中的(甲)、(乙) 所示. 已知波长 λ 符合 $0.5\text{ m} < \lambda < 1.0\text{ m}$. 求这列波的波速 v.

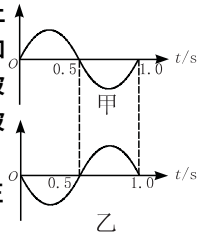


图 10—10—5

解析：由振动图象知 A、B 的振动情况正好相反，即符合

$$d = \frac{\lambda}{2} + n\lambda(n = 1、2、3\cdots\cdots) \qquad ①$$

根据条件 $0.5\text{ m} < \lambda < 1.0\text{ m}$ ②

联立 ①、② 解得 $n = 2$，$n = 3$，所以

$$\lambda_1 = \frac{2d}{2n+1} = \frac{2}{5} \times 1.8\text{ m} = 0.72\text{ m};$$

$$\lambda_2 = \frac{2d}{2n+1} = \frac{2}{7} \times 1.8\text{ m} = 0.51\text{ m}.$$

再由振动图象知，周期 $T = 1.0$ s，根据 $v = \frac{\lambda}{T}$ 得 $v_1 = 0.72$ m/s，$v_2 = 0.51$ m/s.

说明：根据波的传播方向上某些质点的振动规律可确定波的周期(或频率)；根据波的传播方向上两个质点在同一时刻的振动状态便可求出波长与两质点空间距离的关系. 这类问题通常借助于波动图象求解，必须注意波的空间周期性及波传播的双向性.

达 标 测 试

A 组

一、选择题

▶1. 关于振动与波的关系，下列说法正确的是…… (　　)

A. 如果没有机械振动，一定没有机械波

B. 只要物体做机械振动，一定有机械波产生

C. 机械波的频率与波源的频率一样

D. 机械波的传播速度与波源振动速度一样

▶2. 关于波长，下列说法中正确的是…… (　　)

A. 在一个周期内，沿着波的传播方向，振动在介质中传播的距离是一个波长

B. 两个相邻的在振动过程中运动方向总是相同的质点间的距离是一个波长

C. 一个周期内质点通过的路程是一个波长

D. 两个相邻波峰间的距离是一个波长

▶3. 当机械波从一种介质进入另一种介质时，保持不变的物理量是 …… (　　)

A. 波长　　B. 频率　　C. 波速　　D. 振幅

▶4. 已知一列波某时刻的波动图象和其上一点的振动图象，如图 10—10—6 所示，则有…… (　　)

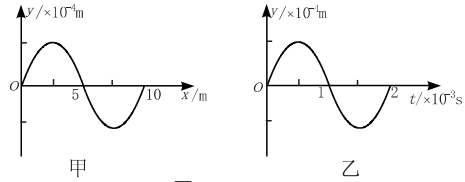


图 10—10—6

A. 甲图是振动图象，波速为 2×10^4 m/s

B. 甲图是波动图象，波速为 2×10^2 m/s

C. 乙图是波动图象，波速为 5×10^2 m/s

D. 乙图是振动图象，波速为 5×10^3 m/s

▶5. 一列简谐波在某一时刻的波形图如图 10—10—7 所示，此时质点 P 正在做加速运动，则关于 Q 点和 N 点的运动情况是 …… (　　)

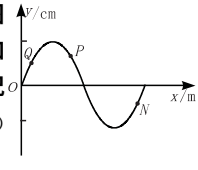


图 10—10—7

A. 两点都做加速运动

B. 两点都做减速运动

C. Q 点做减速运动，N 点做加速运动

D. Q 点做加速运动，N 点做减速运动

二、填空题

▶6. 有人站在火车轨道旁，一列迎面高速驶来的火车正在鸣笛，则他听到的鸣笛声的频率将_____(填“变大”“变小”“不变”)

▶7. 一列简谐横波的波速大小为 0.5 m/s，沿 x 轴传播，某时刻波形如图 10—10—8 中实线所示. 经过一段时间(小于 1 个周期)后，波形如图中虚线所示. 这段时间可能为__ s 或____s.

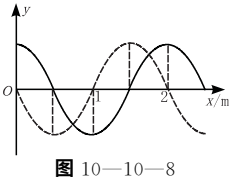


图 10—10—8

▶8. 平静的湖面上因落石激起水波，经过 50 s 水波传到岸边，相邻两波峰的距离是 0.5 m，5 s 内有 20 个波浪拍岸，那么落石处至岸的距离为_____.

三、计算题

▶9. 从甲地向乙地发出频率 $f = 50$ Hz 的声波，当波速为 330 m/s 时，刚好在甲乙两地间形成一列有若干完整波形的波，当波速为 340 m/s，设完整波形的波数减少了 2 个. 试求甲乙两地距离.

▶10. P、Q 是一列简谐横波中的两点，它们的平衡位置相距 1.5 m，各自的振动图象如图 10—10—9 中的实线和虚线所示. 如图 P 比 Q 离波源近，那么波速的最大值是多大？

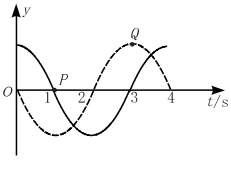


图 10—10—9

▶11. 如图 10—10—10 所示，一根柔软的弹性绳子右端固定，左端自由，A、B、C、D…… 为绳上的等间隔的点，点间间隔为 50 cm，现用手拉着绳子的端点 A 使其上下振动，若 A 点开始向上，经 0.1 秒第一次达到最大位移，C 点恰好开始振动，则

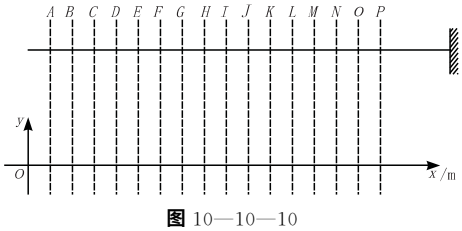


图 10—10—10

(1) 绳中形成的向右传播的横波速度为多大？

(2) 从 A 点开始振动，经多长时间 J 点第一次向下达到最大位移？

(3) 画出当 J 点第 1 次向下达到最大位移时的波形图象.

B 组

一、选择题

▶1. 关于机械波的概念，下列说法中正确的是…… (　　)

A. 质点振动的方向总是垂直于波传播的方向

B. 简谐波沿长绳传播，绳上相距半个波长的两质点振动位移的大小相等

C. 任一振动质点每经过一个周期沿波的传播方向移动一个波长

D. 相隔一个周期的两时刻简谐波的图象相同

▶2. 一列横波在某时刻的波形如图 10—10—11 中实线所示，经 2×10^{-2} s 后的波形如图中虚线所示，则该波的波速和频率 f 可能是 …… (　　)

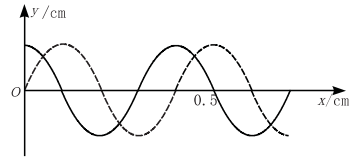


图 10—10—11

A. v 为 5 m/s　　B. v 为 45 m/s

C. f 为 50 Hz　　D. f 为 37.5 Hz

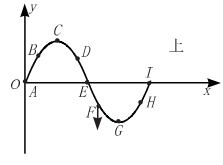


图 10—10—12

▶3. 一简谐横波在 x 轴上传播，在某时刻的波形如 10—10—12 所示. 已知此时质点 F 的运动方向向下，则 …… (　　)

A. 此波沿 x 轴负方向传播

B. 质点 D 此时向下振动

C. 质点 B 将比质点 C 先回到平衡位置

D. 质点 E 的振幅为零

▶4. 甲、乙两小船，停在湖面相距 80 cm，在湖面上有一列沿两只船的连线方向传播的波，当甲在波峰时，乙恰在平衡位置. 经过 20 s 再观察，甲在波谷，乙仍在平衡位置. 关于湖面上的这列波，以下说法中正确的是…… (　　)

A. 水波的波长最大是 320 m

B. 水波的波长可能是 $\frac{64}{3}$ m

C. 水波的频率最小是 $\frac{1}{40}$ Hz

D. 水波的最大波速是 8 m/s

▶5. 海面上有一列沿某一方向传播的简谐波，波长为 λ，波速为 v，有一艘小船以速度 $u(u < v)$ 沿波的传播方向前进，则两相邻波峰到达船所需时间 t_1 为 …… (　　)

A. $\frac{\lambda}{u}$　　B. $\frac{\lambda}{v-u}$　　C. $\frac{\lambda}{v+u}$　　D. $\lambda(v+u)$

二、填空题

▶6. 一列波沿 x 轴正方向传播，到达坐标原点时的波形如图 10—10—13 所示，从此时开始当波到达 N 点时，处于原点的质点所通过的路程为_____，该时刻此质点的位移为_____.

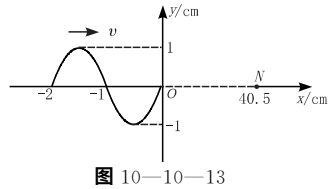


图 10—10—13

▶7. 一列横波在某时刻的波形如图 10—10—14 所示，已知此波沿 x 轴正方向传播的速度为 2 m/s，则从这一时刻起，质点 P 在 0.6 s 内发生的位移为_____ m，所通过的路程是_____ m，简谐波在 0.6 s 内传播了_____ m.

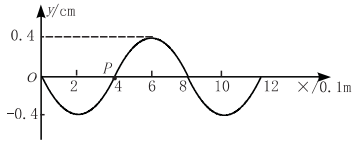


图 10—10—14

▶8. 在平静的介质中，有一列简谐波沿图 10—10—15 所示的直线传来，图中 A、B 两点相距 1.2 m，当波刚好传到其中一点时开始计时，已知在 4 s 内质点 A 完成了 8 次全振动，质点 B 完成了 10 次全振动，那么这列波的传波方向是_____；周期是_____ s；波速是_____ m/s.



图 10—10—15

三、计算题

▶9. 甲、乙二人在铁轨旁，相距 1100 m，甲用铁锤敲击一下铁轨，乙用一只耳朵贴近铁轨，他听到第一个声音后按下计时表，3 s 后又听到一个声音. (1) 已知声波在空气中传播速度为 340 m/s，声波在铁轨中传播速度是多少？

(2) 如果发出的声波频率为 500 Hz，这声波在铁轨中的波长多大？

▶10. 已知一列简谐横波在 $t = 0$ 时刻的波动图象如图 10—10—16 所示，再经过 1.1 s 时，P 点第 3 次出现波峰. 求：(1) 波速 v = ？

(2) 由图示时刻起，Q 点再经过多长时间第一次出现波峰？

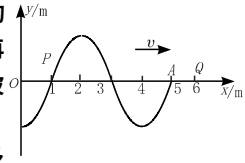


图 10—10—16

▶11. 一列简谐横波在 x 轴上传播，在 $t_1 = 0$ 和 $t_2 = 0.005$ s 两个时刻的波形如图 10—10—17 所示：求：(1) 由图读出波的振幅和波长. (2) 设周期大于 $(t_2 - t_1)$，波是向右传播的，波速多大？(3) 设周期小于 $(t_2 - t_1)$，且波速为 6000 m/s，这列波向哪传播？

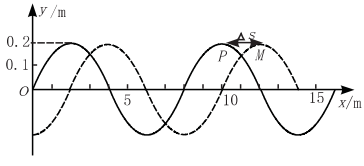


图 10—10—17

自我评价

主要的错误和不足：_____。

取得的成绩和进步：_____。

努力的方向和措施：_____。

阅读与思考

现代声学的特点和发展趋势

声学是近年来发展最快的学科之一。现代声学的特点和发展趋势是：

(1) 频率范围广：可听声的频率范围是 20 赫 ～ 20000 赫。可是现代声学研究的声的频率范围不断向高端和低端扩展，20 千赫 ～ 5×10^8 赫的声称为超声，5×10^8 ～ 10^{12} 赫的声为特超声，10^{12} ～ 10^{14} 赫则是分子热运动的范围，20 赫以下称为次声。人们接收的次声低到 10^{-4} 赫。目前整个声学研究的频率范围跨越 10^{16}，是物理学各分支里少有的。随着频率的升高，声学进入微观世界，不断发现新的现象和新的应用。声学既有经典的性质，又有量子的性质，成为打开微观世界的一把钥匙。低频的声波，随着频率的降低，吸收衰减越来越小，穿透能力和传播距离大大增加，成为观察大气、海洋、地壳中许多现象的强有力的工具。

(2) 传播介质广，穿透能力强：人们最初只注意到空气中的声波。但后来水声、超声等的研究，把介质扩大到各种气体、液体、固体、等离子体等。凡有物质的地方，声波都可以传播。许多光波、电磁波不能穿透的物质，声波都可以穿透。例如在海洋和地壳中，能远距离传播的就只有声波。所以现在人们把声学技术列入探索物质结构的三大技术(声学技术、电磁技术、粒子作用) 之一是有道理的。声波穿透物质可以带来物质内部结构的信息，或改变物质的状况。目前的发展趋势是介质种类不断增加，观察的深度、广度和取得的信息不断增加。

(3) 与其他学科互相渗透，应用面广：声波在大气中传播的研究形成“大气声学”，与大气物理、气象学有密切的关系，利用次声和声雷达可以观测大气中的现象。声波在海洋中传播的研究形成“水声学”，声波成为水下观察的最有效的工具，与海洋开发、水下战争等有密切关系。声波在人体中传播的研究形成“医学超声学”，目前超声诊断对许多疾病有极好的效果。此外，声—光，光—声，声—电，电—声等相互作用和转化都不断在人们面前展开广阔的前景。声学与计算机数据处理的关系也是极其密切的。语言声学最早使用计算机处理数据。利用计算机处理数据的超声诊断设备可以提供丰富的人体中的信息。声学与其他学科相互渗透，不断形成新的分支学科，是近年来的发展趋势。声学在国防、国民经济和人民生活的各领域中有十分广泛的应用。

需要全本请访问 www.ertongbook.com