

53.059
X Y F

468423

53.059
X Y F

波的世界

徐二帆
鲁石编



北京科学技术出版社

波 的 世 界

徐一帆 鲁 石 编

北京科学技术出版社

波的世界

徐一帆 鲁石 编

*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

北京市新华书店发行 各地新华书店经售

顺义振华印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.5印张 164,000字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数1—1,700册

统一书号15274·037 定价:1.3元

前 言

当前科学发展的一个重要特点是互相交叉和渗透，这不仅表现在自然科学与社会科学之间，而且也表现在科学与技术各分支学科或领域之间。

任何一门学科要想得到发展不得不更多地依赖别的一些学科领域的知识、成果和方法。如果一个人长时间的封闭在一个狭窄的天地里搞研究，他将会变得闭目塞听，难以取得成就，如果一个学生只满足于课堂上的一点知识，得不到科学技术“新活水”的浇灌，他往往会变得墨守陈规、缺乏开拓精神。倘若一个自然科学工作者对现代哲学新思想新方法一无所知，或者一个社会科学工作者或文学家对现代科学技术的内容和进展缺乏了解，他们都将很难做出第一流的贡献。本书的目的，就是向这些读者提供一本通俗浅显、科学性强，能反映当代科学技术发展概况的科普读物。

因工作关系，我们积累了不少有关现代科学技术发展的丰富资料，它们散登在各种书刊杂志中。我们感到，这些资料和所介绍的内容，对广大读者是有用的，而且相当富有启迪性。许多学文的读者，也包括那些专业较窄的学理工的读者，他们对新科学技术的知识和发展近况知之不多，却又很想尽可能短的时间里浏览到有关这方面的内容。

然而，面对浩瀚无边的知识海洋，应该向这些读者介绍哪些方面的内容呢？又如何将科技发展的最新资料深入浅出地介绍给读者呢？经过一番思考、整理和推敲，我们发现许多新科学技术的重大成果，大多与“波”有着密切的关系。

当前，人们谈论较多的话题之一是新技术革命。对于它的内容，尽管国内外的学者有不同的理解和说法，但它与我们将要讨论的各种波有着直接或间接的联系。仅就波可以用来传递信息和波本身所具有的能量可以得到广泛应用这两点而言，它在新技术革命中所扮演的重要角色是无可争辩的。我们甚至可以毫无夸张地说，离开了波，便失去了我们眼前的一切。

本书将以司空见惯的波为纵线，深入浅出地向读者普及有关波的基础知识，各种波与当代科学技术的密切关系，以及利用波造福于人类的丰富实例。

那么，在自然界中都有哪些波？这些波都具有哪些基本特性？这些波又有什么规律可循？波为人类作过什么贡献？研究波对人类社会生产力的发展有什么现实意义？波在新技术革命中又做出了什么新贡献？波为我们展现了怎样的前景？……这些就是本书要介绍的内容。

本书在编写中，得到钱开鲁、荣毓敏等许多朋友的指点、帮助和大力支持，在此一并表示诚挚的谢意，也感谢毕树校同志为本书做了生动的科学漫画插图。

限于编者水平，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1985年4月于北京

目 录

一、我们生活在波的世界里	1
1. 形形色色的波	1
2. 给波分分类	2
3. 给波排排队	5
4. 波有哪些共性?	11
二、水波的启迪	15
1. 给水波来个慢镜头	15
2. 两列水波相遇后	19
3. 让海浪为人类发电	22
4. 大海的呼吸——潮汐	30
三、揭开声波之谜	36
1. 声波的产生与传播	36
2. 把声音“存”起来	41
3. 讨厌的噪声及其控制	47
4. 超声波的功能	53
5. 方兴未艾的超声医学	58
6. 漫谈表面声波	62
7. 超声显微镜纵横谈	69
8. 从挑西瓜到声发射	78
9. 奇异的次声波	84
四、电磁波叱咤风云	91

1. 电磁理论接力赛.....	91
2. 电磁波出场了.....	101
3. 伦琴与 X 射线.....	110
4. 雷达正在搜索目标.....	115
5. 电磁波的对抗与反对抗.....	125
6. 大显身手的微波.....	134
7. 红外线与夜视技术.....	141
8. “火眼金睛”——遥感技术.....	149
9. 伽马射线和宇宙射线.....	158
五、说古论今话光波.....	163
1. 唇枪舌剑三百年.....	163
2. 大自然中光的杰作.....	169
3. 谁为大自然浓装艳抹.....	175
4. 谈谈人造光源.....	180
5. 激光的来龙去脉.....	188
6. 激光的广泛应用.....	196
7. 奇妙的全息照相.....	204
8. 话说光导纤维.....	210
六、正在探索的波.....	220
1. 神秘的引力波.....	220
2. 引力波,你在哪里?.....	223
3. 研究引力波的意义.....	227
结束语.....	229
主要参考文献.....	231

一、我们生活在波的世界里

亲爱的读者，您可曾想过：假如有一天，您的周围突然失去了一切波动现象，那时将会出现什么样的情景。

不难想象，那时，您再也看不见明媚的阳光，听不见潺潺的流水声和百鸟啼鸣，什么霹雳闪电，什么动人心弦的电视连续剧，……，统统从您身边悄然消逝。您周围的空间漆黑一片，万籁俱寂。

这幅景象实在不堪设想。但是，这却说明了，人类社会一时一刻也离不开波，犹如鱼儿离不开水一样。

那么，自然界中有哪些波？这些波又有什么规律可循？

1. 形形色色的波

自然界存在着各种各样的波，遗憾的是我们不太灵敏的感官只能感觉到其中很小一部分，大部分需要靠专门仪器间接地去感知。

例如，人们很早就注意到了这样一些波动现象：投石入池激起的水波，清风吹拂下的滚滚麦浪，琴弦的振动，等等；

表达人类思想的言谈话语，悦耳的歌声，机器的轰响，城市交通的噪声，……

灿烂的彩霞、万家灯火、萤火虫的微光，雨后彩虹，……。

除了以上我们可以看到或听到的波以外，还有许多必须

用仪器才能感知的波现象：例如，可用来杀菌消毒的紫外线，在工业和军事上大有作为的红外线、X射线、 γ 射线，我们天天与之打交道的无线电波等。正是这些变化万千的波，为我们展现了一个奇妙的波的世界。

2. 给波分类

就人们已经认识到的波，大致可分为机械波、电磁波和“正在探索的波”三大类。

机械波是最常见的一类波动现象，它是物体振动在媒质中的传播过程。一般简称为波动，或波。

例如，水波、弦或弹簧的振动、声波、地震波等，都是机械波。

机械波又有横波及纵波之别。

什么是横波呢？让我们以水波为例（图1.1），当我们往水池里扔一片树叶时，你会发现，树叶并没有随波而去，它仅在原处起伏飘荡。这表明，水分子上下振动的方向，与水波的传播方向是互相垂直的，这种波就称为横波。又如麦浪滚滚随风波动，但麦穗并未离去，它只在原地上下不停地点头，麦浪也是横波；又如，手握绳子的一端，上下不停地抖动，绳子上会产生一系列波传到另一端（图1.2），这也是横波的一个实例。

纵波是另一类机械波。例如，用木槌敲鼓，鼓面会发生振动。当鼓面向外凸时，鼓面压缩了紧挨着它的那一层空气分子，迫使它们向外挤，使这里的空气骤然稠密起来。接着，鼓面向里凹时，它附近的空气顿时又变得稀薄了，刚才被挤开去的空气分子又返了回来。鼓面的来回振动，迫使这些空

气分子也来回振动，并把这种振动由近及远地再传给邻近的空气分子，从而形成疏密相间的波动（如图1.3）。当波传到入耳中，引起耳膜振动，通过听觉神经便产生了听觉，这就是人们之所以听到声波的原因。但必须指出，在声波中，空气分子来回振动的方向与声波的传播方向是平行的，即时而与声波的传播方向一致，时而又相反。这种波动称为纵波。

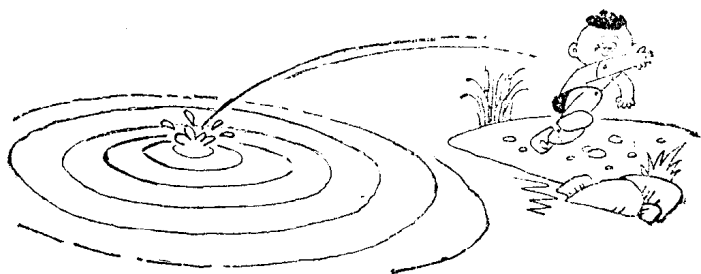


图1.1 水波

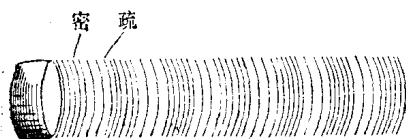


图1.2 绳子的波动

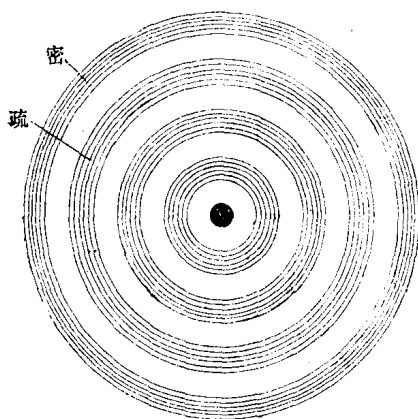
又如，手中提一个挂有重物的软弹簧，上下抖动，弹簧上会出现时密时疏的波动，这种波动也是纵波。

必须指出，机械波只能在媒质中传播，离开了媒质，它将寸步难行。一般，在空气或液体媒质中传播的声波都属于

纵波；而在固体中传播的声波，既有纵波，也有横波，还有沿固体的薄层表面里传播的表面波，如地震波。



(a) 鼓声的传播



(b) 球面波的扩展

图 1.3 鼓声的传播

下面，我们再谈谈电磁波。什么是电磁波呢？

我们知道，任何变化的磁场都会在它周围的空間产生电场；反过来，任何变化的电场，也会在其周围的空間产生磁场。

根据电磁场理论，如果空間某个区域中产生有周期性变化的电场，那么，就会在其邻近的区域产生周期性变化的磁场。这个磁场又在它邻近的区域产生新的周期性变化的电场，

如此循环不止，并在空間呈球面状向四外传播开，这就是电磁波。

电磁波在传播时无需任何媒质，因此它也能在真空中传播。例如光——一种电磁波，就是这样。前面曾提到的无线电波、红外线、紫外线，X射线和 γ 射线等都是电磁波的成员。

第三类波，我们暂且统称为“正在探索的波”。例如，爆炸形成的冲激波，在研究量子力学时发现的物质波（也称德布罗意波），爱因斯坦曾提出但至今尚未捕捉到的引力波，等等。这些波有的已有所认识，有的尚处在假说阶段，有的虽在理论上证实了，但其本质性的东西还知之不多。

3. 给波排排队

要给形形色色的波排队，必须找一把能通用的“尺子”，这就是“频率”。事实证明，任何波都在振动着。人们把单位时间内完成的振动次数称为频率。频率的单位为赫兹（简称赫），常用 f 表示。

例如，若挂钟的钟摆来回摆动一次所花的时间为1秒，我们说，这个钟摆的摆动频率为1赫兹；如果在1秒钟内，钟摆完成两次来回摆动，就说它的摆动频率为2赫；一般，频率的概念与下面一些物理量联系在一起。

周期——完成1次振动所需用的时间，单位为秒，常用字母 T 表示，它与频率 f 有互为倒数的关系，即 $T=1/f$ ；

振幅——振动物体（或质点）离开平衡位置的最大距离，常用字母 A 表示；

波长——在一个振动周期时间内，波所传播的距离，单位为米（也可用厘米、微米或千米等其它长度单位表示），常用字母 λ 表示。

图1.4及图1.5表示了横波和纵波的上述物理量。

波的传播速度——波在单位时间内所走过的距离，单位为米/秒（或千米/秒等），常用 v 表示。波的传播速度（简称波速）与频率及波长有下列关系。

$$\text{波速}(v) = \text{频率}(f) \cdot \text{波长}(\lambda)$$

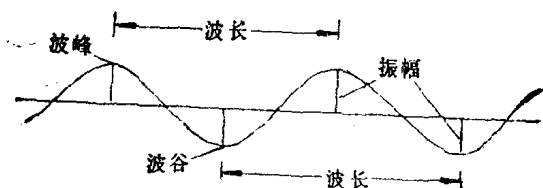


图 1.4 横波

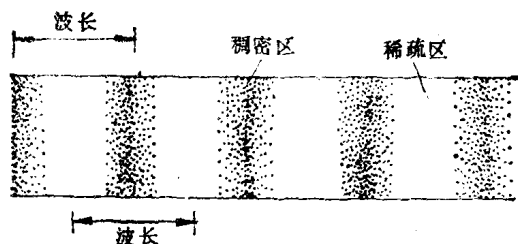


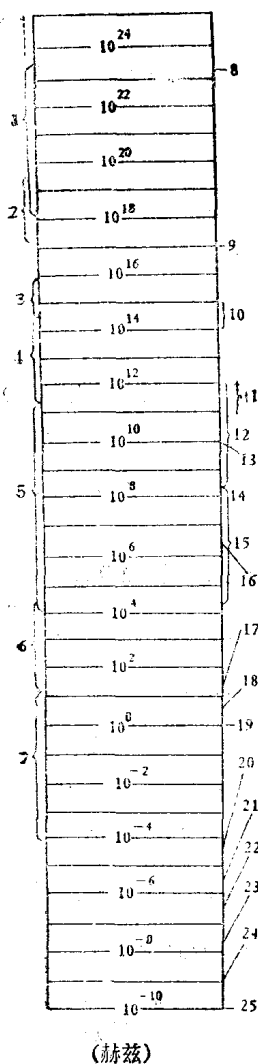
图 1.5 纵波

现在，我们就用频率这把尺子给各种波排个队。这样，就可以对将要详细介绍的波有一个概括的了解，如图1.6。

下面我们分别对声波和电磁波再仔细排排队。

声波的频率范围（称为频谱）很宽，由 10^{-4} 赫到 10^{13} 赫，相差16个数量级（即1之后跟16个零）。

声波的频谱虽宽，但人耳只能听到频率为20赫到2万赫（ 2×10^4 ）之间的声音，这段频谱的声波叫做“可听声”；低于20赫的声波人耳听不见，称为次声波；高于2万赫的声波，人耳也听不见，称为超声波。



1. γ 射线的频率
2. X射线的频率
3. 紫外线的频率
4. 红外线的频率
5. 无线电波的频率
6. 可听声波的频率
7. 次声波的频率
8. 高能 γ 射线的频率
9. 电子跃迁 能级谱线的频率
10. 可见光的频率
11. 电子转动 谱级的频率
12. 特超声的频率
13. 氢原子超精细结构的跃迁频率
14. 高频石英谐振器的频率
15. 超声的频率
16. 晶体振荡器的频率
17. 我国交流电的标准频率(50赫兹)
18. 快摆手表摆轮的频率
19. 挂钟钟摆的摆动频率
20. 木星自转的频率
21. 冥王星自转的频率
22. 月球绕地球转动的频率
23. 地球绕太阳转动的频率
24. 哈雷彗星绕太阳转动的频率
25. 太阳绕银河系中心转动的频率

图 1.6 频谱

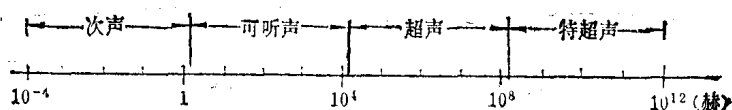


图 1.7 声波频谱

下面再给电磁波排个队。

由于电磁波的传播速度等于光速(30万公里/秒)而且电磁波在本质上也是横波, 利用前面等式不难看出:

$$\text{频率}(f) \cdot \text{波长}(\lambda) = \text{光速}(c) = \text{常数}$$

显然, 式中的 f 与 λ 存在着反比关系, 即频率愈高的电磁波, 其波长则愈短, 反之亦然。因此, 即可按频率大小, 也可按波长的长短给电磁波排队。

表 1.1 各种无线电波的范围和用途

名 称		波 长	频 率	主 要 用 途
长 波		30000~3000米	10~100千赫	长距离通信、导航
中 波		3000~200米	100~1500千赫	无线电广播
中 短 波		200~50米	1.5~6兆赫	电报通信
短 波		50~10米	6~30兆赫	无线电广播、电报通信
微 波	米 波	10~1米	30~300兆赫	调频无线电广播、电视广播、无线电导航 电视、雷达、无线电导航及其他专门用途
	分 米 波	1米~10厘米	300~3000兆赫	
	厘 米 波	10厘米~1厘米	3000~30000兆赫	
	毫 米 波	1厘米~1毫米	30~300千兆赫	
	亚毫米波	1毫米~0.1毫米	300~30000千兆赫	

由图1.8不难看出，电磁波这个大家族中各成员的差别仅在于频率（或波长）不同而已。下面再看看这些成员的“势力范围”。

无线电波的波长范围在 10^{-2} 毫米到 10^4 米之间。

红外线的波长范围从7600埃到 10^7 埃。

表 1.2 红外线范围

名 称	波 长 (单位: 埃)
近红外	7,600~13,500
中红外	13,500~400,000
远红外	400,000~ 10^7

可见光。波长范围从7600埃到4000埃之间，对应的频率范围为 3.95×10^{14} 赫至 7.50×10^{14} 赫。

表 1.3 可见光波长范围

名 称	波 长 (单位: 埃)
红 光	7600~6470
橙 光	6470~5880
黄 光	5880~5500
绿 光	5500~4920
靛 光	4920~4550
蓝 光	4550~4330
紫 光	4330~4000

紫外线。它的波长比可见光中的紫光还要短，其波长范围在4000埃到50埃之间。

X 射线（亦称伦琴射线）。其波长范围在50埃到0.04埃之间。

γ 射线。其波长在0.04埃以下。

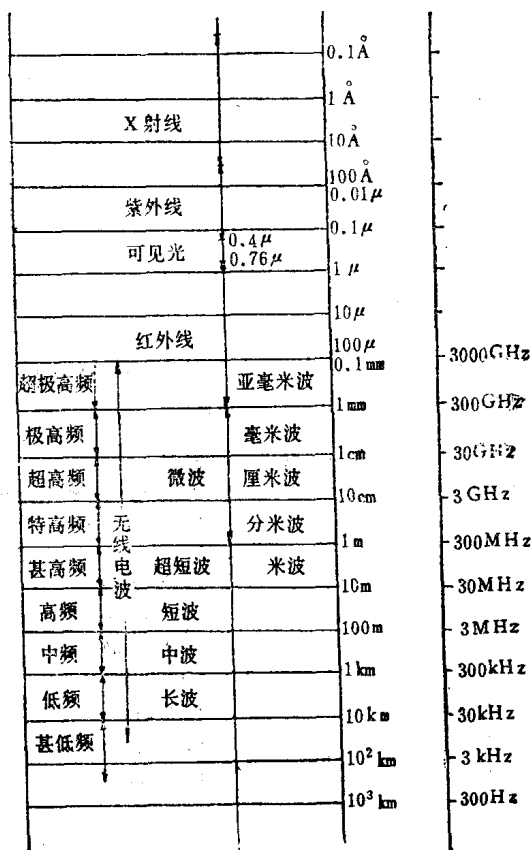


图1.8 电磁波频谱