

物理学导论

下 册

F · J · BUECHE 著
殷 大 钧 等 译



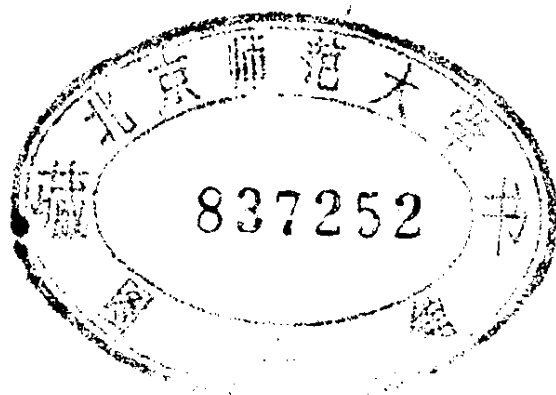
物理学导论

下 册

[美] F. J. Bueche 著

殷大钧 等译

5.15.01/2



人民教育出版社

1981

《内 容 简 介》

本书根据美国 Dayton 大学物理学教授 F. J. Bueche 所著 «Introduction to Physics for Scientists and Engineers» 1975 年第二版译出。译本分三册：上册包括经典力学和相对论力学，中册包括分子运动论、热力学和电磁学，下册包括波、光学、原子物理和原子核物理。

本书可作我国大学理工科物理课参考书。

译稿曾经王荣庆校订。本书责任编辑汤发宇

物 理 学 导 论

下 册

[美] F. J. Bueche 著

殷大钧 等译

*

人民教育出版社 出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印刷

通县满庄装订厂装订

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 12.5 字数 310,000

1981 年 1 月第 1 版 1981 年 10 月第 1 次印刷

印数 00,001—10,500

书号 13012·0562 定价 1.10 元

下 册 目 录

第 29 章 波	1
29.1 有关波的几点介绍	1
29.2 电磁波的类型	4
29.3 电磁波的能量	8
29.4 弦上的波	11
29.5 弦上波的波动方程	13
29.6 能量沿弦的传输	15
29.7 声波	17
29.8 压缩波的波动方程和波速	20
29.9 多普勒效应	26
第 30 章 反射和折射	33
30.1 球面波和平面波	33
30.2 反射定律	35
30.3 平面镜	37
30.4 球面镜：凹镜	39
30.5 球面镜：凸镜	43
30.6 反射镜的光路图	45
30.7 波的折射	47
30.8 全内反射	50
30.9 折射成象	53
30.10 薄透镜	56
30.11 透镜的光路图	59
第 31 章 波的干涉	66
31.1 波的叠加	66

31.2	声波的干涉	68
31.3	两列波相加	71
31.4	杨氏双缝实验	73
31.5	波的相量加法	77
31.6	三缝干涉	82
31.7	迈克耳孙干涉仪	84
31.8	气体中的光速	87
31.9	反射时的相位变化	89
31.10	薄膜干涉	91
第 32 章	衍射	100
32.1	引言	100
32.2	单缝的夫琅和费衍射	102
32.3	单缝衍射：定量研究	105
32.4	单缝衍射：图解法	109
32.5	单缝的分辨本领	111
32.6	双缝衍射图样	114
32.7	衍射光栅	117
32.8	晶体衍射	123
第 33 章	光学仪器	131
33.1	简单放大镜	131
33.2	分辨率的极限	133
33.3	简单望远镜	135
33.4	复显微镜	138
33.5	光栅分光计和光谱	139
33.6	光栅的分辨本领	142
33.7	棱镜分光计	144
33.8	偏振波	147
33.9	双折射和尼科耳棱镜	150

33.10 偏振光的应用	151
第 34 章 波的共振	159
34.1 弦上的波: 实验性的讨论	159
34.2 弦上波的反射	162
34.3 弦上波的共振	166
34.4 鼓膜的振动	169
34.5 杆的纵向共振	172
34.6 管内声波的共振	174
34.7 电磁波的共振: 平行板	176
34.8 管内和腔内电磁波的共振	177
第 35 章 量子现象	184
35.1 紫外灾难	184
35.2 普朗克假设	186
35.3 光电效应	191
35.4 康普顿散射	196
35.5 核型原子	200
35.6 卢瑟福散射	204
第 36 章 原子和光谱导论	210
36.1 氢的光谱线系	210
36.2 玻尔的氢原子理论	213
36.3 氢原子的能级	217
36.4 氢原子的吸收光谱	221
36.5 对应原理	224
36.6 德布罗意波	225
36.7 戴维孙-革末实验	228
36.8 薛定谔方程	230
36.9 管中(或盒中)的粒子	236
第 37 章 原子和分子	247

37.1	薛定谔方程和氢原子	247
37.2	氢原子中的电子分布	253
37.3	电子自旋	253
37.4	元素周期表和不相容原理	257
37.5	测不准原理	260
37.6	影响测不准的实验因素	262
37.7	原子光谱	266
37.8	激光	270
37.9	固体光谱	274
37.10	分子光谱和能级	278
第 38 章	原子核	289
38.1	电子、质子和中子	289
38.2	粒子的磁矩	293
38.3	核的大小	295
38.4	核的质量	297
38.5	稳定核	300
38.6	核的结合能和质量亏损	302
38.7	核的液滴模型	304
38.8	核的壳层模型	307
38.9	放射性	309
38.10	放射系	312
38.11	γ 射线的起原	315
38.12	β 粒子的发射	316
38.13	α 粒子的发射	319
38.14	核裂变	323
第 39 章	高能物理学	332
39.1	碰撞	332
39.2	γ 射线的吸收	335

39.3	质心系统	338
39.4	带电粒子与物质的相互作用	341
39.5	辐射探测器	348
39.6	粒子加速器	351
39.7	核反应和守恒定律	354
39.8	聚变反应	357
39.9	核力	360
39.10	光子场	360
39.11	介子场	363
39.12	基本粒子	364
附录	1. 换算因子	1
	2. 物理常量和数据	2
	3. 几个数学问题的复习	3
	4. 积分	5
	5. 洛伦兹-爱因斯坦变换	10
	6. 波	11
	7. 国际单位制(SI)	15
习题答案		17

第 29 章 波

除了电磁波外,还有几种很重要的波。虽然这些波的性质很不相同,但却有许多共同的特征。在本章中,我们将讨论这些特征的某些部分。这里要研究的波包括电磁波、弦上的波、压缩波和声波。在本章介绍了这些波的一般特征之后,我们将在下一章中讨论波的反射和折射。

29.1 有关波的几点介绍^①

首先复习一下上章得到的关于电磁波的结论。这些波可由加在天线上的交变电压所产生。天线上的交变电压产生振荡的电荷系统。这些振荡电荷就在天线附近产生交变的电场。带电天线附

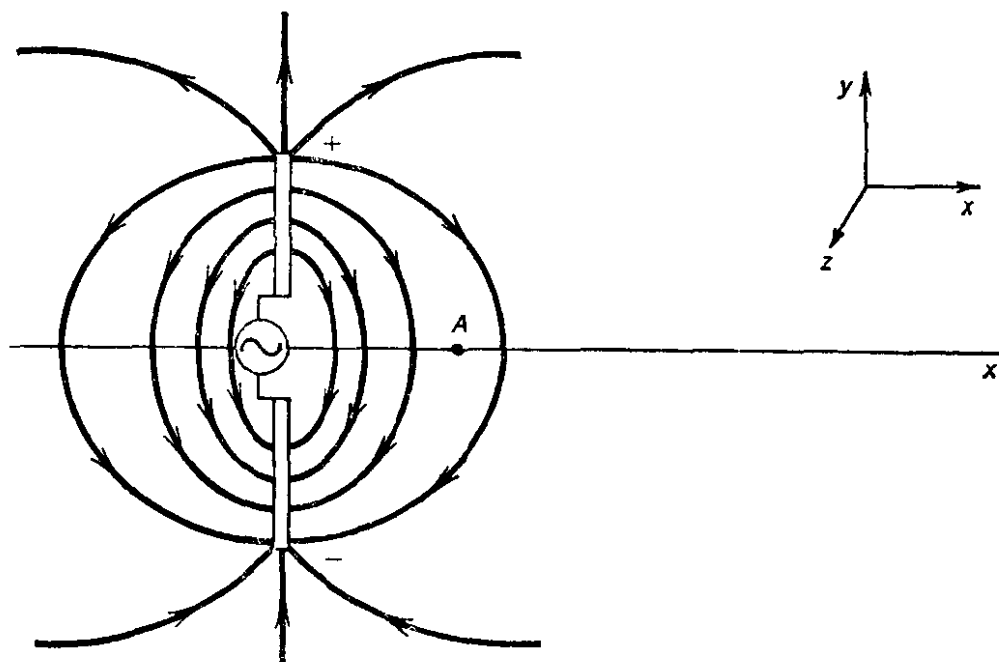


图 29.1 天线在 x 轴上产生的电场垂直于该轴。

^① 在高中没有学过简单的波动现象（或学过而现在大部分已忘记）的学生，在学习本章前，请先阅读附录 6。

近的电场示于图 29.1 中。在图中所示时刻,假定天线的上端带有正电,下端带有负电。

如果天线上的电荷作正弦振动,天线附近的电场也应作 正 弦 变化。例如,图 29.1 所示的 A 点, y 方向上的电场就可写为

$$E_y = E'_{0y} \sin 2 \pi \nu t = E'_{0y} \sin \omega t \tag{29.1}$$

$f = \nu = \omega / 2 \pi$

式中 $\omega = 2 \pi \nu$ 。由于振荡器加在天线上的频率是 ν Hz (即赫兹或周每秒),因此电场变化的频率也是 ν 。(在上几章,我们用 f 表示频率,这是电振动和机械振动中常用的符号。在讨论波动时,常常用符号 ν 代替 f 。)

电场随时间作正弦变化

A 点电场作为时间函数的图形由图 29.2 给出。当然,这就是方程 29.1 的图形。电场波的振幅 E'_{0y} 和波的周期 τ 已在图中标明,因为周期是作一次完全振动所需的时间,我们立即得到

$$\tau = \frac{1}{\nu}$$

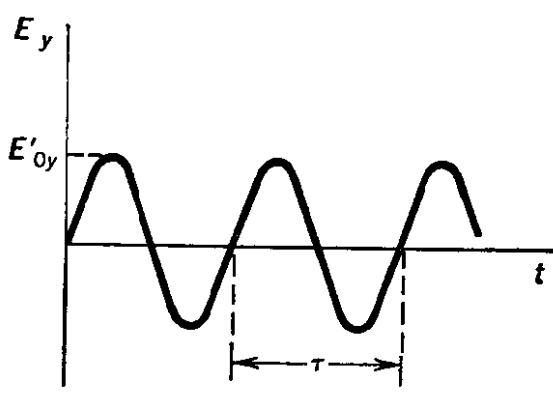


图 29.2 图中所示波形的方程是 $E_y = E'_{0y} \sin \omega t$, 式中 $\omega = 2 \pi \nu = 2 \pi / \tau$ 。

频率和周期互为倒数

虽然式 29.1 可表示在天线附近 A 点处的电场,但在 x 轴上远离天线的各点处式 29.1 就不正确了。这是因为电场信号从天线传播到远处需要一定的时间。例如,如果在时刻 t 天线附近的电场是正的并且具有最大值; 那么,这个最大值的电场不会立即传播

到距离天线为 x 的点，而必须经过时间 x/v 后才能到达。这里 v 是波在空间传播的速率。在天线处时刻 t 发生的事件，必须经过时间 x/v 后，才能在距离天线为 x 的一点处发生。

假设在 x 轴上天线附近的一点的电场由下式给出

$$E_y = E'_0 \sin \omega t$$

则在 x 轴上离天线为 x 的一点处的电场将是

$$E_y = E_{0y} \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right] \quad 29.2$$

因为在 x 点发生的一切事件，都要比在 $x=0$ 处发生的落后一段时间 x/v 。波的振幅现在写为 E_{0y} ，因为它比在 $x=0$ 处要小。因为电磁波离开天线后，要向较大的空间传播。当 x 很大时，随着 x 的继续增加，振幅将很缓慢地减小。因而在这种情况下，我们可以近似地把 E_{0y} 看作常量。方程 29.2 的图形示于图 29.3 中。

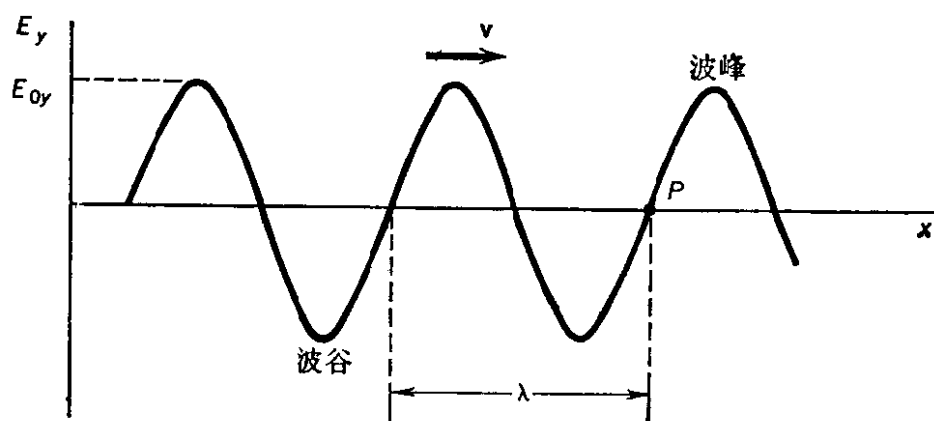


图 29.3 波以速率 v 沿 x 轴向右运动。在时间 $\tau=1/v$ 内，通过 P 点的波的长度等于一个波长 λ 。你能从这一事实证明 $v=\lambda/\tau$ 吗？

图 29.3 表示电场在空间沿 x 轴传播时在某一时刻的一张快照。随着时间的推移，波将以速率 v 向右传播。当它通过象 P 这样一点时， P 点处的电场将作图 29.2 所示的振动。振动的频率和周期分别为 ν 和 $\tau = \frac{1}{\nu}$ 。我们把一列波中两个最靠近的对应点之

波长 λ 是一列波中两个相邻的对应点之间的距离

间的距离叫做波长 λ ,这个长度示于图 29.3 中. 波的最高点叫做波峰,最低点叫做波谷. 很明显,两个相邻波峰或两个相邻波谷之间的距离就是 λ .

我们能够求得波长 λ 和频率 ν 之间的关系式. 为此,应注意到,在长度为 λ 的一列波通过 P 点的时间内,电场将作一次完全振动. 所以,这个时间就是 $\tau=1/\nu$. 但我们知道,一般关系式

$$x = \bar{v}t$$

在这情况中给出

$$\lambda = v\tau = \frac{v}{\nu}$$

即

$$v = \lambda\nu \quad 29.3$$

λ 、 v 和 ν 这三个量之间的基本关系式

式中 v 是波峰传播的速率. 式 29.3 对任何一种波都是正确的,因为在这个方程的推导过程中并没有指定波的类型. 因此,我们将经常应用这个关系式. 注意 v 的单位(例如,米/秒),这有助于我们对上式的记忆. 这个单位要求 $v = \lambda\nu$,而不是 λ/ν 或 ν/λ . 当我们对方程的正确性有怀疑时,作量纲检查常常是一种好方法.

除电场波外,电磁波还具有磁场波. 如上一章所述,在离波源很远处,磁场波和电场波是同相的. 但电场和磁场相互垂直,如图 28.7 所示. 由于这两种波有相同的波长和周相(亦称位相),所以在大多数情况下,只讨论其中一种波的情况就足够了. 我们通常只是考虑电场波.

29.2 电磁波的类型

在上一章已经证明,应用法拉第定律和安培定律,就能预言电磁波的速率. 这个速率原来就是光的速率 c . 当麦克斯韦在 1865 年指出这一点时,无线电波和类似的波还没有用实验方法产生出

来。因此,甚至根本不知道电磁波是否存在。但随着时间的推移,终于使电磁波在无线电范畴内的产生成为可能,并已积累大量的实验结果,证明热辐射和 x 射线也与光波一样,都是电磁波。

各种类型电磁波之间的基本差别在于它们具有不同的波长。由于所有电磁波都以光速 c 在真空中传播,所以式 29.3 指出,对于各种电磁辐射都有

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

因此, λ 的差别意味着辐射频率 ν 的差别。图 29.4 给出了所有电磁辐射的概貌。你应仔细地察看这张图表,并熟悉各种电磁辐射的波长范围。测量这些波长的方法将在第 33 章讨论。

计算一下广播电台所发射的电磁波波长是有好处的。典型电台的频率可能是 1000 kc/s ,即 10^6 Hz 。应用式 29.3,得

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{10^6 \text{ s}^{-1}} = 300 \text{ m}$$

可把这个数值,同钠蒸汽灯发出的黄光波长 $5.8 \times 10^{-7} \text{ m}$,或汞弧灯发出的蓝色光波长 $4.4 \times 10^{-7} \text{ m}$,进行比较。虽然都是电磁辐射,但在波长和某些性质上却有很大的差别。我们现在简要地讨论每一种电磁辐射。

无线电波

我们已对这种波作了较详细的讨论。它们的波长从一米左右到非常大的数值。如果希望获得波长 $\lambda = 10^8 \text{ km}$,即地球到太阳的距离,问在天线上电荷振荡的频率该多大?

雷达波

这是短波长无线电波。图 29.4 给出的最短波长表示在目前用电子学方法所能产生的波长的最小值。注意,当频率为 10^{12} Hz 时,光在一个周期内仅传播 $3 \times 10^{-4} \text{ m}$ 的距离。由于物质粒子和能量的传播不能比光速更快,这意味着,如果要天线能够产生这样高

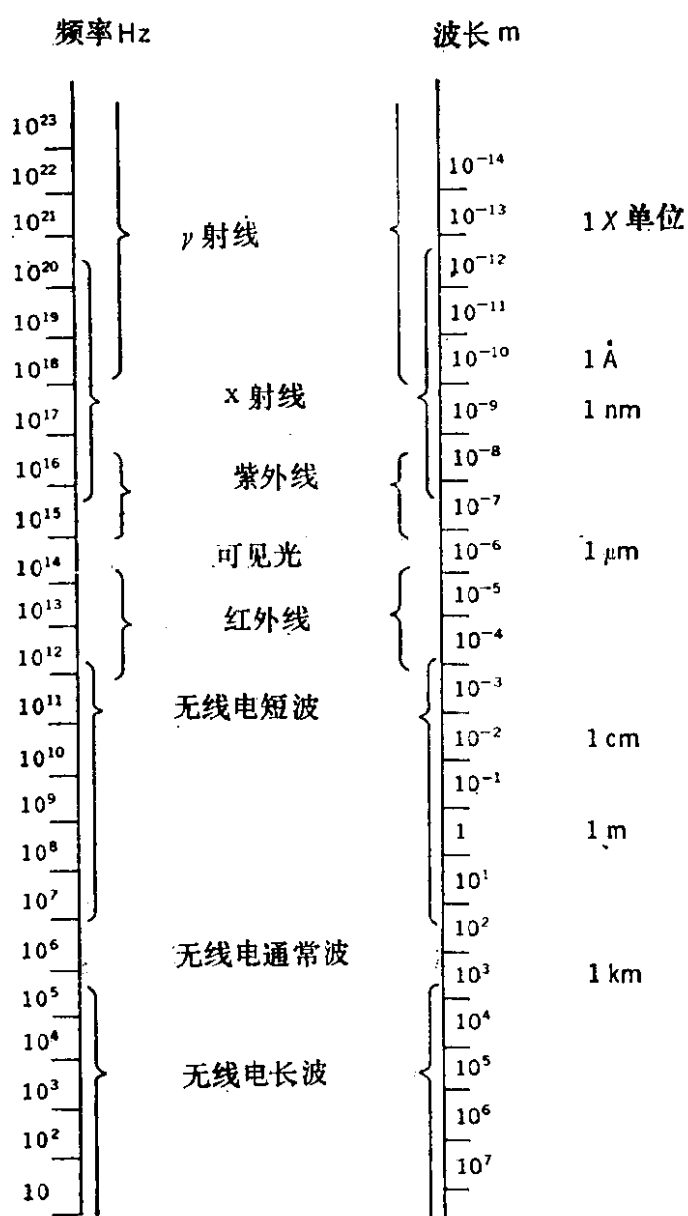


图 29.4 电磁波谱.

频的电振动,所用的天线就必须比 0.03 cm 更短. 这就说明 为什么用电子学方法来产生极短波长的无线电波是很困难的.

红外辐射

波长在可见光($7 \times 10^{-7} \text{m}$) 到雷达波之间的辐射,叫做红外辐射. 这种辐射很容易被大多数物质所吸收. 当然,包含在这种辐射中的能量也就被吸收,并以热能的形式表现出来. 地球除了从太阳接收可见光外,也接收大量的这种辐射.

可见光

电磁辐射中可见光部分的波长,大约只在 $4 \times 10^{-7} \text{m}$ 到 $7 \times 10^{-7} \text{m}$ 的范围内。在这范围内,我们用各种颜色来区分各种不同的波长区域。正常人眼对这个范围内各种波长的灵敏度示于图 29.5 中。你应知道各种颜色的波长的大概范围。还要知道,对于很小的距离和波长,常常采用下列几种长度单位:

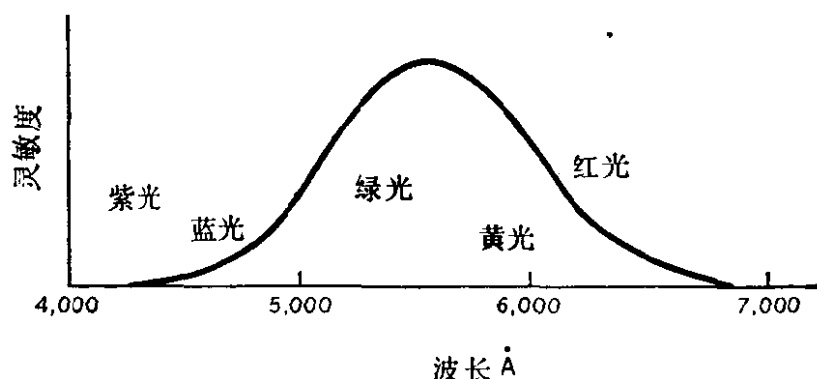


图 29.5 人眼的灵敏度曲线。人类眼睛对黄绿色光最敏感。
(1 埃 = 10^{-10} 米)

$$1 \text{ 微米} (\mu\text{m}) = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ 纳米} (\text{nm}) = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ 埃} (\text{\AA}) = 10^{-10} \text{ m}$$

紫外线

这种电磁辐射的波长 λ 比可见紫色光还要短,但仍大于约 $100 \text{\AA}$ 。波长较短时,紫外线和 x 射线没有明显差别。

x 射线

这种电磁辐射的波长 $\lambda \lesssim 100 \text{\AA}$ 。通常,原子受到轰击时,它的电子所发出的辐射就列入这一类。x 射线的产生过程将在第 36 章和第 37 章进行比较详细的讨论。

γ 射线

这种电磁辐射是由原子核和在核反应中产生的。它们与 x 射线的区别仅仅在于产生方式的不同。我们在学习核物理时将比较

全面地进行讨论。

上面已完成对电磁辐射谱的讨论。注意,这包括波长从 10^6m 以上到 10^{-15}m 以下的各种波。虽然这些波都是电磁波,但它们与物质相互作用的方式却有相当大的差别。本书后面的很多篇幅将涉及有关这个问题的各个方面。

29.3 电磁波的能量

广播电台发出的无线电波能使远处的收音机发生电磁扰动。这时无线电波必须把电台的能量传送给收音机。同样,我们从太阳接收热能,这种热能是由太阳发出的电磁波传送给我们的。又如可见光或 x 射线可使照相底片起化学作用而产生象,这时辐射必须把能量传送给底片。现在我们来求图 29.6 所示的这种平面电磁波输运能量的表达式。

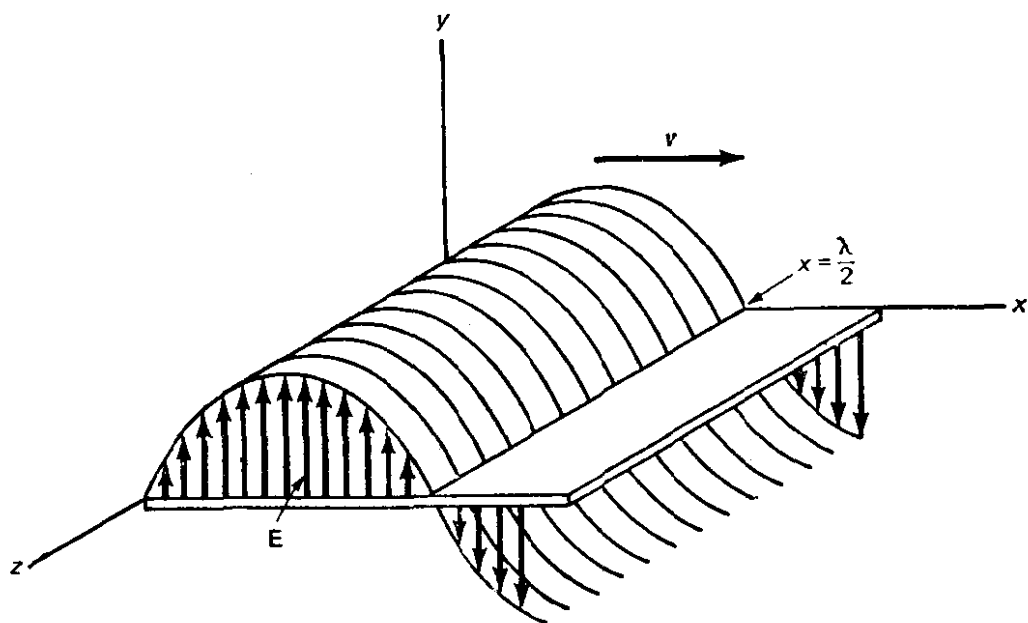


图 29.6 对于沿正 x 方向传播的平面电磁波,在平行于 yz 平面的平面上的所有各点, E 都是相同的。例如,在图中所示时刻,在 $x = \lambda/2$ 的平面上的所有各点,都是 $E = 0$ 。

按照定义,对于平面电磁波,在任一给定时刻,在垂直于波传播方向的任一平面上的所有各点, E 和 B 均为常量。这示于图 29.6

中。利用以前曾经证明的下列结果,我们能够求出贮存在这种波所占体积中的能量。

1. 在电场为 E 的空间,贮存在单位体积中的电场能由式 21.25 给出为 $\varepsilon_0 E^2/2$ 。

2. 在磁场为 B 的空间,贮存在单位体积中的磁场能由式 25.8 给出为 $B^2/2\mu_0$ 。

现在我们对图 29.7 所示盒形体积应用这两个结果,来求出平面电磁波每单位体积的平均能量。

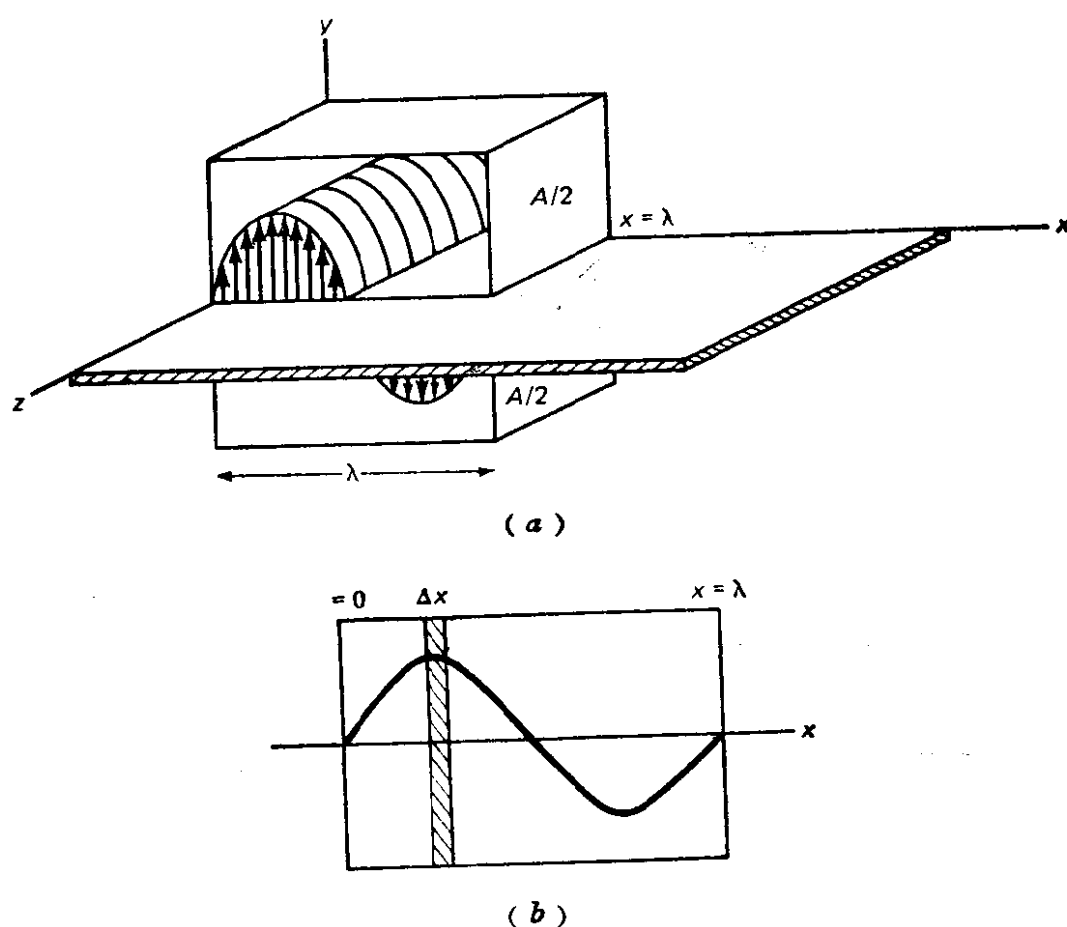


图 29.7 在(a)所示盒内的电磁场中贮藏了多少能量:

假定在图 29.7 中,一列平面电磁波以速率 c 在 x 方向传播。在某一时刻的波形如图所示。设盒子的长度为 λ ,截面积为 A 。由于这盒子包含一个波长的波,所以贮存在盒中的能量就是波的平均能量。我们可写出在这时刻(为方便起见,取 $t=0$)盒中的