

近代物理实验报告 11.5: 电磁波传播

xy 学号 匡亚明学院

2019 年 2 月 29 日

1 实验目的

1. 了解电磁波测试平台的结构, 掌握工作原理.
2. 利用相干波原理, 测定自由空间内电磁波波长 λ .
3. 验证反射定律.

2 实验仪器

微波信号发生器、电磁波测试平台、反射金属板、半透射玻璃板.

3 实验原理

3.1 自由空间电磁波参量的测量

当两束等幅, 同频率的均匀平面电磁波, 在自由空间内沿着相同或者反方向传播时, 由于相位不同发生干涉现象, 在传播路径上可以形成驻波场分布. 本实验正是利用相干波的原理, 通过测定驻波场节点的分布, 求的自由空间中电磁波波长 λ , 再由

$$K = 2\pi/\lambda,$$

$$v = \lambda f = \omega/K$$

得到电磁波的主要参数 K 和 v 等.

电磁波测试平台与迈克尔逊干涉仪的原理类似, 用 P_T 和 P_R 分别表示发射和接收喇叭天线, A 和 B 分别表示固定和可移动的金属反射板, C 表示半透射板. 由 P_T 发射平面电磁波, 在平面波前进的方向上放置成 45° 角的半透射板, 由于该板的作用, 将入射波分成两束波, 一束向 A 板方向传播, 另一束向 B 板方向传播. 由于 A 和 B 为金属全反射板, 两列波就再次返回到半透射板并达到接收喇叭天线 P_R 处. 于是 P_R 收到两束同频率, 振动方向一致的两个波. 如果这两个波的相位差为 π 的偶数倍, 则干涉加强; 如果相位差为 π 的奇数倍, 则干涉减弱.

移动反射板 B, 当 P_R 的表头从一次极大变到另一次极小的时候, 则反射板 B 就移动了 $\lambda/2$ 的距离, 由这个距离就可以求得平面波的的波长.

设入射波为垂直极化波

$$\vec{E}_i = E_0 e^{-j\phi}$$

当入射波以入射角 θ_1 向介质板 C 斜入射时, 在分界面上产生反射波 \vec{E}_r 和折射波 \vec{E}_t . 设 C 板的反射系数为 R , T_0 为由空气进入介质板的折射系数, T_c 为由介质板进入空气的折射系数. 固定板

A 和可移动板 B 都是金属板，反射系数均为-1. 在一次近似的条件下，接收喇叭天线 P_R 处的相干波分别为

$$\vec{E}_{r1} = -RT_0T_c\vec{E}_0e^{-j\phi_1}$$

$$\vec{E}_{r2} = -RT_0T_c\vec{E}_0e^{-j\phi_2}$$

这里

$$\phi_1 = K(l_1 + l_3) = KL_1$$

$$\phi_2 = K(l_2 + l_3) = K(l_1 + l_3 + \Delta L) = KL_2$$

其中， $\Delta L = |L_2 - L_1|$ 为 B 板移动距离，而 \vec{E}_{r1} 与 \vec{E}_{r2} 传播的路程差为 $2\Delta L$.

由于 \vec{E}_{r1} 与 \vec{E}_{r2} 的相位差为 $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = 2K\Delta L$ ，因此，当 $2\Delta L$ 满足

$$2\Delta L = n\lambda, (n = 0, 1, 2, \dots)$$

\vec{E}_{r1} 和 \vec{E}_{r2} 同相叠加，接收指示为最大.

当 $2\Delta L$ 时满足

$$2\Delta L = (2n + 1)\lambda/2, (n = 0, 1, 2, \dots)$$

\vec{E}_{r1} 和 \vec{E}_{r2} 反相抵消，接收指示为零. 这里，n 表示相干波合成驻波场的波节点数.

沿一个方向改变反射板 B 的位置，使 P_R 输出重复出现最大指示，或重复出现零指示即可测出电磁波波长 λ . 为了测准 λ 值，一般采用 P_R 零指示的方法.

相干波 \vec{E}_{r1} 和 \vec{E}_{r2} 的分布中 $n = 0$ 的节点处 ΔL_0 作为第一个波节点，对于 $n \neq 0$ 的各个值则有

$$n = 1, 2\Delta L_1 = \frac{3}{2}\lambda, \text{对应第二个波节点, 或第一个半波长数.}$$

$$n = 2, 2\Delta L_2 = \frac{5}{2}\lambda, \text{对应第三个波节点, 或第二个半波长数.}$$

.....

$$n = N, 2\Delta L_N = \frac{2N + 1}{2}\lambda, \text{对应第 } N + 1 \text{ 个波节点, 或第 } N \text{ 个半波长数.}$$

由此可知，两个相邻波节点间的距离为 $\Delta L_n - \Delta L_{n-1} = \lambda/2(n + 1)$ 个波节点之间共有 n 个半波长，即 $(\Delta L_n - \Delta L_0) = n\lambda/2$ ，可得波长的平均值为

$$\lambda = 2(\Delta L_n - \Delta L_0)/n$$

实验中可移动板 B 移动时不可能出现无限多个驻波节点，测试中一般选取 $n = 4$ 已经足够，它相当于 5 个驻波节点，这时被测电磁波波长的平均值为

$$\lambda = 2(\Delta L_4 - \Delta L_0)/4$$

3.2 验证反射定律

选取一定入射角，测量反射角，验证反射定律.

4 实验内容

1. 整体机械调整，使 P_T 和 P_R 相向，轴线在同一水平面线上，调整信号电平，使得 P_R 表头指示接近满刻度。
2. 安装反射板 A 和 B，半透射板 C，注意 AB 轴向成 90° 角，C 板法向与 A 板法向成 45° 角，并注意反射板 A、B 的法向分别与 P_R 、 P_T 的轴向重合。
3. 固定 A 板，用旋转手柄移动 B 板，使得 P_R 表头指示接近零，记下零指示的起始位置。
4. 用旋转手柄使 B 板移动，再从表头上测出 n 个极小值，同时从读数机构上得到响应于 (3) 的起始零指示位置求得反射板移动的距离 $\Delta L_n - \Delta L_0$ ，连续测三次，求平均值，取 $n = 3$ 或 $n = 4$ 即可。
5. 根据测得的 4 个 ΔL_n ，计算波长 λ 。

5 实验数据

5.1 测量电磁波波长

实验所用的微波源的频率为：

$$f_0 = 9.37\text{GHz}$$

可算出对应的波长理论值为：

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \times 10^8}{9.37 \times 10^9} \approx 32.02\text{mm} \quad (1)$$

实验测得 4 个波节处对应的位置读数如表 (1)：

表 1: 测量电磁波波长

位置编号	x_1	x_2	x_3	x_4
位置数据/mm	15.670	30.045	46.104	62.575

1. 逐项相减计算波长

将 4 个 x_i 数据逐项相减，得到 3 个 Δx_i ，取平均数 $\Delta x_1 = 15.635\text{mm}$ ，计算实验波长值为：

$$\lambda_1 = 2 \times \Delta x_1 = 31.27\text{mm} \quad (2)$$

误差为：

$$Error_1 = \frac{31.27 - 32.02}{32.02} \times 100\% \approx -2.34\% \quad (3)$$

2. 逐差法计算波长

$$\Delta x_2 = \frac{(62.575 + 46.104) - (30.045 + 15.670)}{4} = 15.741\text{mm} \quad (4)$$

计算实验波长

$$\lambda_2 = 2 \times \Delta x_2 = 31.482\text{mm} \quad (5)$$

误差为：

$$Error_2 = \frac{31.482 - 32.02}{32.02} \times 100\% \approx -1.68\% \quad (6)$$

可见使用逐差法计算的实验波长的误差较小.

5.2 验证反射定律

验证反射定律的数据如表 (2):

表 2: 验证反射定律

入射角 $\theta_I/^\circ$	20	30	40	50	60	70	80
反射角 $\theta_R/^\circ$	21	27.8	41.0	49.0	60.4	74.3	80.0
电流计读数/ μA	62	52	60	63	64	46	46

6 误差分析

参考文献

[1] 黄润生. 近代物理实验. 南京大学出版社, 2 edition, 2008.