

电磁波的演示 期中报告

赵元晟 14级物理系

2016年5月9日

- 引言
- 基本原理
- 最初的尝试
- 实验改进
- 进一步改进

- Maxwell方程组预言了电磁波的存在, 电磁波可以由带电粒子作加速运动产生. 因此实验最初的想法是利用尖端放电产生电磁波, 再利用天线接收, 通过点亮灯泡而验证电磁波的存在. 最初使用高压直流电源供电, 但效果不佳, 后改用感应圈供电, 效果稍好.
- 需要指出, 此方法并非原创, 1887年, H. R. Hertz就是使用类似的装置证实了Maxwell方程组的正确性的. 实验的重难点在于构建这样一套仪器, 并适当改进以适合教学演示.

Maxwell方程组

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j}_0 + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \end{array} \right.$$

加速运动带电粒子的辐射

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{E} = \frac{q |\dot{\mathbf{v}}| \sin \theta}{4\pi\epsilon_0 c^2 R} \hat{\mathbf{e}}_\theta \\ \mathbf{B} = \frac{q |\dot{\mathbf{v}}| \sin \theta}{4\pi\epsilon_0 c^3 R} \hat{\mathbf{e}}_\phi \\ \mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \end{array} \right.$$

最初的尝试

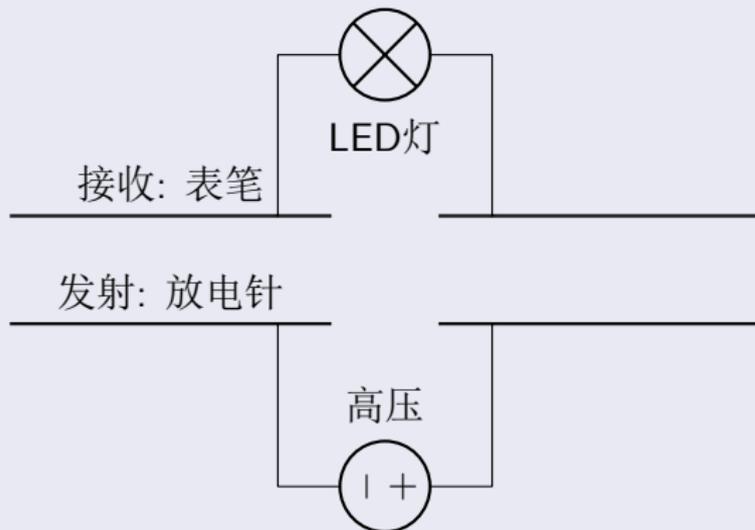
- 对于单电子, 在空气击穿场强30 kV/cm作用下加速, 在10 cm处产生的场强为 8×10^{-10} V/cm.
- 在0.5 mm \times 0.5 mm \times 10 cm的空间内的分子数为

$$\frac{N_A \times 0.005^2 \times 1}{22.4} = 7 \times 10^{17}$$

- 未找到空气电离时电离的分子所占的比例的数据, 但由此估计, 对这个比例的要求并不高.

最初的尝试

实验装置



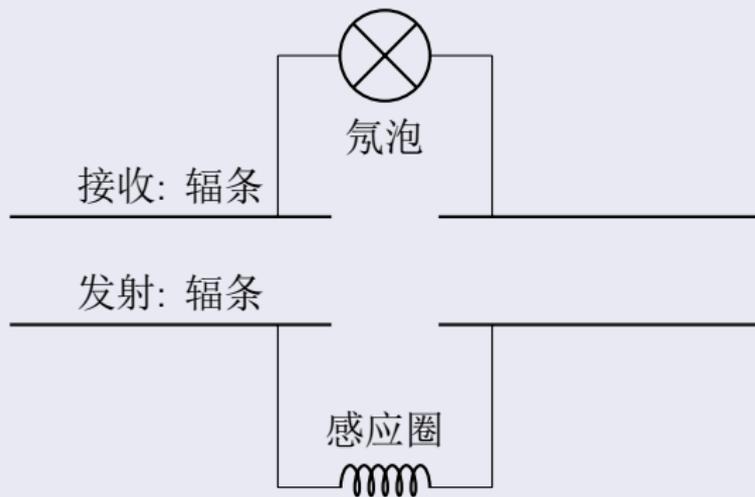
最初的尝试

实验过程及结果

- 尽可能将增大放电针距离, 使更多的粒子作加速运动.
- 出现问题: 一开始常常不亮, 用万用表只能测到很小的电压 (10^2 mV数量级). 当然瞬时的电压用万用表测量是不可靠的, 应使用示波器, 示波器是最近开始使用的.
- 调整发射接收间距后LED后偶尔能亮, 但非常不稳定, 且LED经常烧毁. 用万用表有时可以测到电压 > 1 kV.
- 后发现漏电问题, 且实验中出现的灯亮可能仅仅是漏电造成的.

实验改进

实验装置



改进

- 改直流高压电源为感应圈.
- 改LED为氖泡.
- 将发射和接受器均改为车辐条以做到较好的耦合 (最近改为收音机天线).
- 将直流改为交流, 通过电磁振荡的形式发射电磁波, 并提高功率与连续发射时间.

偶极子辐射公式 (远场) 实验中不满足远场条件

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{E} = -\frac{\omega^2 l Q_0 \sin \theta}{4\pi \epsilon_0 c^2 R} \exp(-i\omega(t - R/c)) \hat{\mathbf{e}}_\theta \\ \mathbf{B} = -\frac{\mu_0 \omega^2 l Q_0 \sin \theta}{4\pi \epsilon_0 c R} \exp(-i\omega(t - R/c)) \hat{\mathbf{e}}_\phi \\ \langle \mathbf{S} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*) \end{array} \right.$$

偶极子辐射公式 (近场) 实验中近长条件仍然不太满足

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 R^3} (3\hat{\mathbf{e}}_r (\hat{\mathbf{e}}_r \cdot [\mathbf{p}]) - [\mathbf{p}]) \\ \mathbf{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi R^2} \hat{\mathbf{e}}_r \times [\dot{\mathbf{p}}] \\ \mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \end{array} \right.$$

实验过程及结果

- 增加放电间距, 氖泡亮度增大 — 增大了电矩.
- 增加接受与发射天线的距离, 电压降低(用万用表测量数据). 电压约与距离的 -1.7 次幂成正比(通过两者取对数拟合得到)(5数据点).
- 放电时氖泡会闪一下, 不放电时微亮.
- 延长天线的长度, 可以增加氖泡的亮度 — 增大了电矩.
- 在接受铁丝上挂铝箔, 可增加亮度. (但很细的铁丝与较细的铁丝差别不是很明显) — 增大接受面积提高能量, 但面积需要增加比较多才有明显效果.

实验过程及结果

- 目前效果较好的实验参数为: 放电间距 10 cm, 收发距离 < 20 cm, 车辐条挂铝箔(或直接用长度近 1 m 的天线).

进一步的改进

目前存在问题

- 需要提高功率. 使用很长天线不方便, 现在功率不够.

进一步的改进

尝试过的改进

- 提高频率. 用示波器测得, 频率与外部结构关系不大 (约2.5 kHz), 不过每次振荡刚开始时是不规则的. 可能是分布电容等的影响. 另一种考虑是根据感应圈的结构, 将发射装置的结构看作耦合振子:

$$\begin{cases} L_1 \ddot{Q}_1 + M \ddot{Q}_2 + Q_1/C_1 = 0 \\ L_2 \ddot{Q}_2 + M \ddot{Q}_1 + Q_2/C_2 = 0 \end{cases}$$

计算结果为两个简正模式, 一个低频, 一个高频, 在放电端, 低频的振幅远大于高频的振幅.

- 若以上计算成立, 要提高频率需要减少电感. 现在未成功.

进一步的改进

改进方案

- 研究放电开始时的振荡特征.
- 继续研究如何减少电感.
- 在保持可以放电与电容基本不变与的情况下增大电容极板间距, 与电容极板面积 — 增大电矩.
- 功率适合后再作改进以适合教学演示.

参考文献

-  陈秉乾, 王稼军 大学物理通用教程·电磁学 北京: 北京大学出版社, 2012 P341-342
-  蔡圣善, 朱耘, 徐建军 电动力学 北京: 高等教育出版社, 2002
-  https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz
-  https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_coil

感谢观看

欢迎提出问题或建议!