



## 第2节 电动力学内容

电动力学是关于电磁相互作用的宏观经典理论.



# 一. 讨论对象

## 1. 物理系统

电动力学：经典电磁场及其与带电物质相互作用的宏观规律

- 电荷、电流——感受电磁作用，同时通过激发电磁场、吸收电磁场影响电磁场
- 电磁场——传递电磁相互作用，直接对电荷、电流施加作用
- 光——电磁波，即在空间传播的电磁振荡状态（可见光波长：400~760纳米）

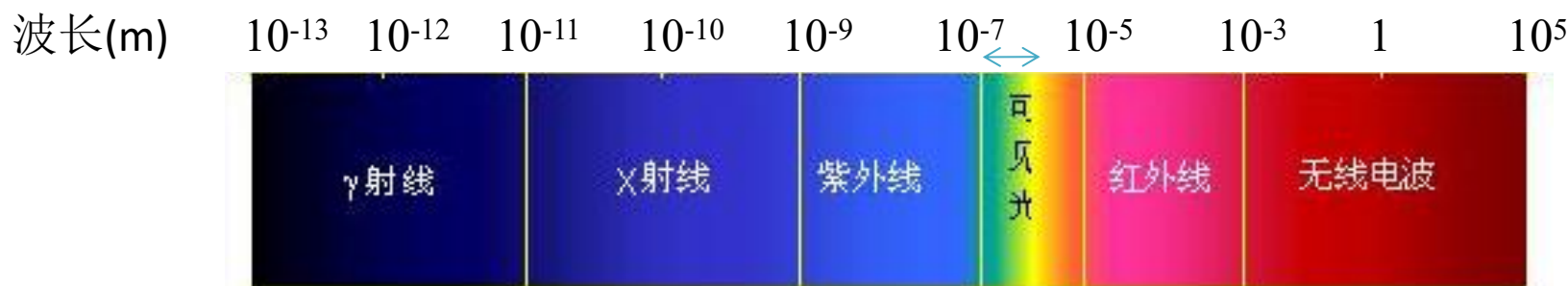


图1. 电磁波谱

## 2. 平面电磁波模

平面电磁波模拥有确定频率和波矢 $\mathbf{k}$ . 波矢的方向代表波的等相面传播方向, 大小为 $2\pi$ 比波长.

对给定 $\mathbf{k}$ , 真空中电磁波频率 $\omega = ck$ , 有两个独立的波动模式, 称为偏振模. 一般电磁波可分解成各种平面电磁波的线性叠加.

$$\cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - \omega t)$$

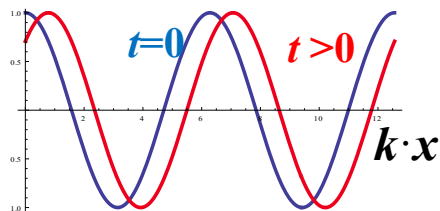


图2a. 相位变化

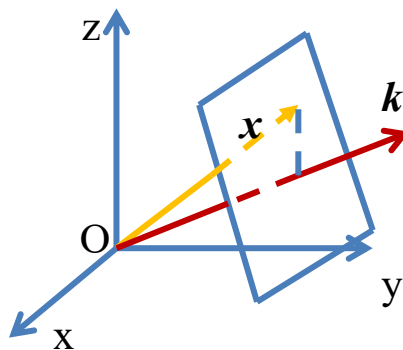


图2b. 等相面

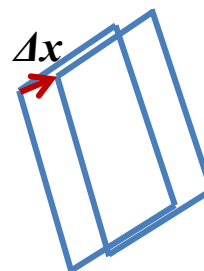


图2c. 等相面沿 $\mathbf{k}$ 方向移动, 相速  $\Delta x / \Delta t = \omega / k$

在真空中,  $c = 299792458 \text{ 米 / 秒} \approx 3 \times 10^8 \text{ 米 / 秒}$

光速与惯性系无关使得牛顿时空观失效, 导致爱因斯坦相对论时空观诞生。



### 3.光子

根据量子场论，电磁波每种波模（给定 $\mathbf{k}, \omega$ 和偏振）拥有离散的能量和动量，其中具有最低非零能量和最小动量值的量子态称为该波模的**单光子态**。

对真空中波矢为 $\mathbf{k}$ 的平面电磁波模， $\omega = ck$ ，光子动量 $\mathbf{p} = \hbar\mathbf{k}$ ； 能量 $\varepsilon = \hbar\omega$ ，每种光子可取两个独立偏振态之一。

（约化）普朗克常数： $\hbar = 1.05457266(63) \times 10^{-34}$ 焦耳秒

一般电磁场波由各种光子态构成。

波模和偏振态相同的光子不可区分。



## 二. 电动力学适用条件

经典电磁场理论：大量光子的平均场

- 涉及光子数  $\gg 1$

对可见光 ( $\omega \sim 10^{15}\text{Hz}$ ), 每个光子具有能量约  $10^{-19}\text{J}$

- 测量时间  $\gg 1/(\omega\Delta n)$

$\Delta n$  为光子数涨落范围

宏观相互作用理论：

- 空间分辨尺度远大于原子尺度，带电物质可近似为连续介质
- 若涉及离散粒子，则在测量精度内可忽略粒子的波动性，把粒子看作质点

### 三. 基本内容



0. 数学准备：三维矢量场分析（4学时）
  1. 普遍规律（电磁力、麦克斯韦方程组和边值关系、电磁介质模型、电磁场能量和能流）（12学时）
  2. 静电场（标势，静电能，泊松方程及边值关系，唯一性定理，拉普拉斯方程和分离变量法、格林函数、多极展开）
  3. 静磁场（矢势，矢势微分方程及其边值关系，多极展开，电流和静磁场的相互作用能，矢势的A-B效应，超导宏观理论简介）
  4. 电磁波的传播
  5. 电磁波的辐射
  6. 狭义相对论（相对论时空观、闵科夫斯基空间、洛伦兹变换、协变性和相对论拉氏量、相对论力学，经典电磁场论、电磁场的能量和动量）
  7. 带电粒子和电磁场的相互作用（运动带电粒子的电磁辐射，辐射频谱分析，切伦科夫辐射，带电粒子辐射电磁场对粒子的反作用，电磁波的散射和吸收，介质的色散）



### 三. 基础知识

**物理准备：**电磁学、分析力学（理论力学）

**数学准备：**线性代数、矢量分析、常微分方程和偏微分方程

### 四. 课本和参考资料

教材：郭硕鸿著、黄迺本 李志兵 林琼桂修订《电动力学》（第三版）高等教育出版社，2008.

主要参考书：

[1]黄迺本，方奕忠《电动力学（第三版）学习辅导书》，高等教育出版社，2009.

[2] Jackson.J.D.ClassicalElectrodynamics.3rd ed. New York: Wiley, 1998.或中译本，高等教育出版社.

[3]费恩曼物理学讲义，第2卷，上海科技出版社，2005.

[4]朗道等《场论》人民教育出版社，1959.

[5]俞允强《电动力学简明教程》，北京大学出版社，1999.



## 小 结

- 电动力学研究对象
- 电荷、电流与电磁场
- 经典电磁场是量子电磁场的平均场
- 电磁场波模和光子
- 介绍本课程的内容
- 需要准备的基础知识

(第2课 完)