

电动力学

导言

杨焕雄

中国科学技术大学物理学院近代物理系

hyang@ustc.edu.cn

February 26, 2019

欢迎同学们选择我主讲的

电动力学

几句说在课前的话

任课教师信息:

姓名: 杨焕雄

电话: 18949882795

邮箱: hyang@ustc.edu.cn

教学经历: 已主讲过 10 次本科生的电动力学, 本次是第 11 次.

课程助教:

① 顾俊, 15856150099, gj99@mail.ustc.edu.cn

② 贾泽坤, 18805691505, zkjia@mail.ustc.edu.cn

作业与考试的计划:

- ① 课程正式开始后,每周约布置3道左右习题(有例外). 尽可能不采用郭硕鸿书上的题目.
- ② 作业将作为平时成绩的一部分评分. 建议助教把评分标准落实在是否独立完成, 习题答案的正确与否不作过分强调.
- ③ 平时成绩也包括对课堂提问的参与. 平时成绩比重为 20%.
- ④ 考试分期中考试和期终考试两次(期终会包含教学组其他老师所命试题), 比重分别为 20% 和 60%.

备注:

考题的难易程度与作业持平、但不会考平时作业中布置过的习题原题。考题命题的原则是: 只要考生平时学习中认真听讲、积极复习、独立完成作业, 就可以取得 75 分以上的好成绩。

教学特点:

自我评价:

- ① 清晰性、准确性和启发性或许可以保证。
- ② 通俗性欠佳，做不到深入浅出。
- ③ 语言能力一般，不会讲故事、不风趣。
- ④ 普通话水平低下，许多汉字的发音不准确。声音不够洪亮(请大家尽量在教室的前排座位就坐)。

以教学内容的取舍论，场论粒子物理学、核物理、原子物理、天体物理和宇宙学专业的同学选修我的这门课比较合适。

其他专业的同学若是特别喜欢电磁场理论的逻辑性、严格性，也可以选我的课。

本课程全程使用电子版课件进行教学。教学课件的学生版会在课堂教学完成后上传到网上供大家参考。

电动力学的奠基人：

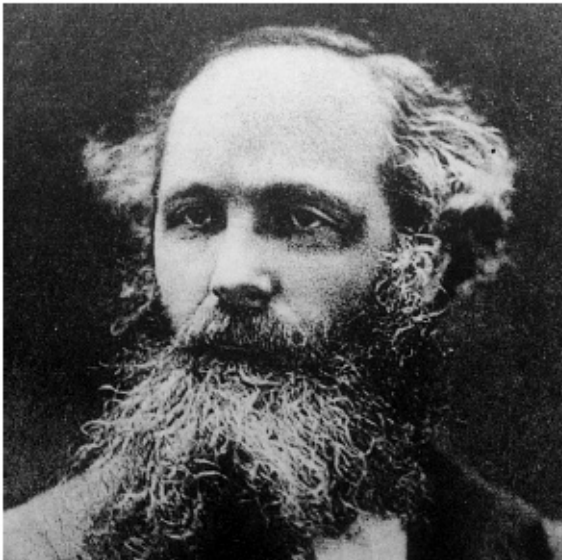
J. C. Maxwell(1831-1879) 被誉为是牛顿之后世界上最伟大的数学物理学家。

他依据库仑、高斯、欧姆、安倍、毕奥、萨伐尔、法拉第等前人的一系列发现和实验成果，建立了第一个完整的电磁理论体系，不仅科学地预言了电磁波的存在，而且揭示了光、电、磁现象本质上的统一性，完成了物理学的一次大综合。这一自然科学的理论成果，奠定了现代的电力工业、电子工业和无线电工业的基础。

描写电磁现象基本规律的 Maxwell 方程组入选改变了人类文明史的 17 个最伟大的方程之列¹。

¹I. Stewart, In Pursuit of the Unknown, Basic Books, 2012.

James Clerk Maxwell, 1831-1879



为什么要学习电动力学？

电动力学是高级版的电磁学。

同初等电磁学一样，经典电动力学是关于宏观物理世界中的一种基本相互作用，即“电磁相互作用”，的学问。

Question: 既然大家已学过了电磁学，为何还要再费时费力地学习经典电动力学？

我的看法如下：

- 初等电磁学与经典电动力学相当于是是一部关于电磁相互作用的恢宏巨作的上部与中部。下部是量子电动力学²。
- 经典电动力学提供了一个洞悉经典物理学理论体系严重缺陷的窗口，使我们了解学习由狭义相对论与量子力学所支撑的现代物理学理论的必要性。
- 体会并初步掌握理论物理学家分析问题、解决问题的思路和方法。

²这是理论物理、量子光学等专业硕士研究生的一门必修课。

经典电动力学课程的内容:

在电磁学中，我们从学习 Coulomb 定律出发，依次学习或了解了

- ① 静止电荷分布在空间激发静电场的规律：静电 Gauss 定理、环路定理。在电荷分布具有很强对称性的前提下能够使用场强叠加原理和 Gauss 定理求解静电场的分布。
- ② 稳恒电流在空间激发静磁场的规律：Ampere 环路定理、静磁 Gauss 定理。在电流分布具有足够对称性的前提下能够用 Biot-Savart 定律或 Ampere 环路定理求解静磁场的分布。
- ③ Faraday 电磁感应定律和 Maxwell 位移电流假设，时变的电、磁场相互激发产生电磁波的现象，电磁波的传播速度等于光速的结论。
- ④ Maxwell 方程组的积分形式和 Lorentz 力公式。
- ⑤ 介质在电磁场中极化、磁化现象。

电磁学课程的不足:

电磁学作为本科低年级的入门课程, 主要是沿着历史发展的脉络, 通过介绍实验规律和使用矢量代数、微积分等初等数学工具展开的.

因此,

- ① 所学的求解静电场、静磁场的方法对于电荷、电流分布的对称性依赖性太强.
- ② 虽然学习了电荷守恒定律, 但不了解电荷守恒定律的原因. 不了解电磁场是一种规范场、电磁相互作用是一种规范相互作用.
- ③ 对时变电磁场的基本属性和传播规律介绍的很浅, 没有涉及电磁波的波动方程及其推迟解.
- ④ 没有涉及 Maxwell 方程组和 Lorentz 力公式的参考系问题, 刻意回避了时间和空间不可分割的时空基本属性.

电动力学的特色:

电动力学针对上述电磁学课程设置的漏洞打了补丁。

一是强化了如下数学工具的使用:

- ① 矢量分析
- ② 数理方程
- ③ 线性代数

从而强化了电磁现象基本规律的描写逻辑和解决问题的能力。

二是通过规范势的引入揭示了电磁场的规范场本性和电磁相互作用传播速度的有限性。建立起了电荷守恒定律与电磁相互作用具有的规范变换不变性之间的联系。

三是直面 Maxwell 方程组的参考系问题，系统地论证了 Einstein 创立“狭义相对论”的必要性、介绍了相对论的时空观。

因此，电动力学是一门理论物理课程。

- 学习电动力学难免要动用若干较高级的数学工具。

学习建议:

主要参考书:

- ① D.J.Griffiths, [Introduction to Electrodynamics](#), 4rd Edition, Pearson Education Inc., 2013
- ② C.S.Helrich, [The classical Theory of Fields](#), Springer, 2012
- ③ J.D. Jackson, [Classical Electrodynamics](#), 3rd Edition, 高等教育出版社, 2004

学习方法方面的忠告:

建议以随堂听课为主要学习方法(当然不是强求诸位一定要跟着我学). 最好不要翘课自学. 更不宜以自学为借口翘课.

敬请各位潜在的翘课自学者留意:

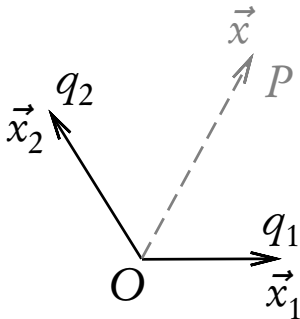
杨氏电动力学自学判 据:

如图示, 二静止点电荷 q_1 与 q_2 之间的相互作用静电势能可以表达为如下积分:

$$W_{int} = \frac{q_1 q_2}{16\pi^2 \epsilon_0} \int d^3x \frac{(\vec{x} - \vec{x}_1) \cdot (\vec{x} - \vec{x}_2)}{|\vec{x} - \vec{x}_1|^3 |\vec{x} - \vec{x}_2|^3}$$

试证明它可以化为如下简单形式:

$$W_{int} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\vec{x}_1 - \vec{x}_2|}$$



若能独立做出正确的证明, 据我判断你就具备了自学电动力学的
能力。

教学互动方面的建议:

- ① 无论同学们是否打算以自学为主,我都建议大家把上述自学资格题做一下以期对自己的基础做到心里有数.
- ② 这道自测题不算作业,全凭自愿,无须提交给我评阅.但若哪位同学愿意与我交流,我也是十分乐意的、必定回复.
- ③ 教学过程中将会不断出现一些思考题.有些是我事先准备的,有些则是即兴提出来的.欢迎学有余力的同学就思考题所提出的问题撰写学习心得或者学术论文. **学习心得和学术论文不是必须的作业,是否参与全凭自愿.**
- ④ 同学们若愿意与我分享你们对电动力学学习过程中的心得体会,我欢迎.我反应较慢,有的问题可能需要反复思考才能说出符合我真实想法的观点.所以, **请大家主要以电子版书面来信的方式与我讨论.**来信请把你的见解写成 word 文件或者 latex 文件、请使用 `axMath` 或者 `mathtype` 在 word 文件里写数学方程.
- ⑤ 我们的总评成绩不调分.但是,提交学习心得或者学术论文的同学将按照见解的深浅获得适当的奖励分直接加到总评成绩中.获奖名单会事先公示以保持公正.

电动力学学习的三个层次：

此话题并不完全只是针对电动力学课程而言的。

① 知其然。

了解电动力学课程各个部分的基本内容，但各部分的联系没有完全掌握。能独立根据所学知识解决一些简单的电动力学问题。这是本课程的基本要求。（~ 75）

② 知其所以然。

了解电动力学课程各个部分的基本内容，也基本了解各部分之间的联系。知识掌握上谈不上有什么明显的弱点，只是略显中规中矩、不知变通。（~ 90）

③ 洞察力与创新能力。

在电动力学各部分内容的掌握上已走入了融会贯通的自由王国。能够纵横捭阖，挥洒自如。这是本课程学习的最高境界，初步具备了职业物理学家的素质。（~ 90）

Question: 怎样学习才有可能达到比较高的层次和境界呢？

学习方法推荐:

- ① 鉴于目前教学手段的多媒体化,制作课堂笔记难度很大、其实也无必要。所以,课堂听课的合理方式是全力听讲、提高警惕,随时准备提问³。
- ② 课堂听课是学习的第一步。课后应花时间复习相关内容。当天学过的内容最好当天复习巩固。复习的基本方式是通读一遍教材或参考书上的相关论述,细心思考、**撰写读书笔记**,与听讲获得的知识点相互印证。**同学们之间的全方位、多角度辩论也是复习巩固的好方法。**
- ③ 要像远离毒品那样远离任何人编写的针对任何电动力学教材的习题解。做作业无论对错都应亲力亲为,没有思路应向教材或者参考书求助而不是借鉴他人的题解。
- ④ 理论物理课程最有效的学习途径是自我推导公式。有能力的同学不妨一试。

³请举手发言。

本课程电子教案下载网址:

<http://staff.ustc.edu.cn/~hyang>

希望诸位努力学习，预祝大家都能取得好成绩。