

相对论电磁学

孟庆信 著



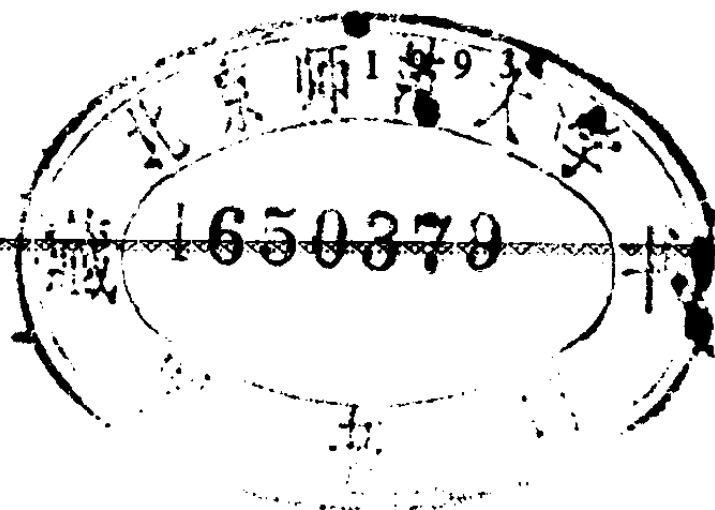
科学出版社

相对论电磁学

孟庆信 著

2011/8/12/

科学出版社



(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书以狭义相对论为基础讲述了电磁学。与传统叙述方式不同，它在判断电磁现象的方向时使用了新的统一法则——右手平直定则，并用其理论依据，对电磁学的基本规律给出了简明、深刻的统一论述。

本书分两部分：第一部分叙述与判断方向的右手平直定规有关的内容；第二部分以新的方式讲述了普通物理的电磁学的内容。

本书可供设有物理、电磁学课程的、相当于中学和大学的各级各类学校的师生参考，也可作为大专院校普通物理电磁学部分的教材。

相 对 论 电 磁 学

孟庆信 著

责任编辑 王昌泰

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1993 年 7 月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1993 年 7 月第一次印刷 印张：11 3/4

印数：1—4 500 字数：256 000

ISBN 7-03-003434-1/O · 617

定价：9.00 元

前 言

一看书名就会知道，本书以新的方式叙述了电磁学的内容。

现有电磁学定律是法拉第等科学家在实验基础上建立的。到 1873 年麦克斯韦总其大成，后经洛伦兹作出决定性的简化，给出了完整的经典电磁理论；但它却需要一些假设和实验作为依据。对经典电磁理论的阐述通常有二种方式：遵照历史发展的进程，依次介绍有关实验定律，最后综合出麦克斯韦方程组；或是先讲麦克斯韦方程组，再展开到各个实验定律。这两种叙述方式都属于 1873 年已基本上形成的体系。

1905 年爱因斯坦创立狭义相对论，为建立电磁学的新体系奠定了基础；从 60 年代开始，国外几位著名物理学家（如诺贝尔奖获得者 E. M. 帕塞尔等）都采用了狭义相对论和电荷不变性来阐述电磁学的有关内容，并引入美国最著名大学的物理教学中。在我国也有一些物理学家在翻译介绍、研究完善这一新体系，其中清华大学张三慧教授首先创造性地把它引入普通物理教学中。但是，由于理解相对论固有的困难，这种简明深刻地叙述方式难以在一般大学、大专和中学中采用。

右手平直定则的出现，使这种状况发生了根本的变化；它使用几个简单的、互相关联的、便于记忆和使用的规定，就能解决各种电磁现象的方向判断问题，从而统一了电磁学的定性内容。同时，依据右手平直定则的逻辑体系，还可以以简单、深刻的方式，对电磁学基本规律的定量内容作统一叙述。我

们把用右手平直定则及其理论依据而对电磁学的定性、定量内容作统一处理的这一新体系,叫作相对论电磁学。

相对论电磁学用运动解释电磁现象。它依据狭义相对论的时空观,使用场和时空运动概念,并把场随时间变化也归结和想象成是场的一种运动形式,从而给出判断方向的统一法则,即右手平直定则;并进一步以简单的方式推出电磁学的全部基本规律。但是,学习相对论电磁学却不需要先懂得高深的相对论知识,而是在中学阶段只需学习使用几个判断方向的规定,到大学再多引进两个矢积公式 $\left(\mathbf{B} = \frac{1}{c^2}(\mathbf{v} \times \mathbf{E}), \right.$

$\mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B} \left. \right)$,以便推导出所有其它定律、定理和公式,因

而它大大简化和方便了教与学,并能对电磁现象有个整体上的理解,同时还有助于对相对论基本概念的了解。

本书分两部分:第一部分论述与右手平直定则相关的内容,其中说明定则本身使用方法的三、四、五、六、七节是为中学学生写的;第二部分是普通物理学用的相对论电磁学,这里基本上把右手平直定则作为一个工具使用而不再详述了。这两部分的内容有所重复,这是我们这种叙述方式难免的,对学生也是需要的,虽然这可能违反了惯例;为此把爱因斯坦在谈到同样问题时引用的玻耳兹曼的格言写在这里:形式是否优美的问题应该留给裁缝和鞋匠去考虑。

游览泰山常是从山下往山上一个景点一个景点地观赏,但最好还是先坐飞机绕泰山转一圈,使得泰山全貌能尽收眼底,再从山上往下游玩。本书从整体到各部分差不多都采用了这种方式的叙述体系,如电磁学各章都涉及的基本内容首先在第二部分前三章,即矢量简介、狭义相对论简介和电磁学综

述中作统一介绍。这种叙述方式带来了某些重复而有文体是否优美的问题,然而作者认为这对学习是有益的。

为了方便教学,我们把说明判断方向的原有法则局限性的内容和对右手平直定则的鉴定意见都放在第一部分的附录中,把较复杂的说明右手平直定则的理论依据和对称性等内容都放在第二部分的附录中,以供感兴趣的人阅读。

由于本书主要目的是阐述相对论电磁学这一新体系,为了节省篇幅,只配有满足教学要求所需的最低数量的习题。本书的习题和答案是由张义山和周光玉两位老师编写的。

本书正文对单位和量纲没有详细说明,作者认为这是根据有关定义、定律和公式很容易确定的事情。为了查阅方便,这些内容也统一放在第二部分的附录中。

书后列出的主要参考文献是作者写本书时参考最多或最关键的几本书;由于人类的科学文化知识是承继发展来的,作者还参阅了国内外其它大量书籍和资料,这里没有一一列举。

爱因斯坦说:“提出一个问题往往比解决一个问题更重要。”相对论电磁学可以认为是作者为了解决统一判断电磁现象方向和统一论述电磁学内容所作的一种探索和尝试,其中不成功、不合适乃至错、误之处在所难免,因而期望各方面的批评。相对论电磁学还有很多问题需要说明,本书算是抛砖引玉。作者坚信,虽然相对论电磁学现在还只是少数人攀登的一条幽深的捷径,但走的人多了,就会踏出一条平坦大道来。

我非常感谢清华大学张三慧先生,在本书的编写过程中他给予了重要而诚恳的帮助,并详细、认真地审阅了全书。同时还应说明,他对某些内容似有所保留;不过作者认为这些内

容与物理和数学的原理和可观察到的事实不相矛盾，并能引出有意义的结果，所以依然留存下来。这也说明对本书可能存在的任何问题都应由作者负责。作者衷心感谢北京师范大学李平教授、天津大学杨仲耆教授、南开大学翁心光副校长的帮助，衷心感谢关立章教授、马龙光副教授等东北工学院老师们的帮助，衷心感谢梁春田副教授、邹在田副教授、曾远文副教授和北京大学等高校老师们的帮助。

作者衷心感谢创造条件给以支持的辽河石油勘探局领导、局职大领导，感谢给以协助的辽河油田职工大学师生和设计院的有关同志，感谢其它各方面的照顾。

目 录

前言.....	vii
---------	-----

第一部分 右手平直定则综述

一、什么是右手平直定则.....	3
二、为什么要提出右手平直定则.....	6
三、磁力规定.....	9
四、电动生磁规定.....	14
五、磁动生电规定.....	23
六、电通量变化规定.....	28
七、磁通量变化规定.....	33
八、方向判断的综合问题.....	38
九、大四推行右手平直定则.....	41
十、右手平直定则的理论依据.....	45
十一、使用右手平直定则的优越性.....	56
十二、内容提要.....	59
十三、方向判断问题 100 例.....	61
附录.....	74
A. 左手定则与右手定则	74
B. 法拉第定律中的负号与楞次定律	76
C. 自感电流与切割磁力线	80
D. 关于安培定则	83
E. 对右手平直定则的鉴定意见	84

第二部分 相对论电磁学

第一章 矢量简介	89
§ 1.1 矢量.....	89
§ 1.2 矢量乘法.....	91
§ 1.3 面积的矢量表示.....	93
§ 1.4 矢量的直角坐标表示.....	95
§ 1.5 梯度、通量和线积分.....	97
§ 1.6 小结.....	101
思考题.....	101
第二章 狭义相对论简介	102
§ 2.1 参考系与观测者.....	102
§ 2.2 爱因斯坦的假设.....	103
§ 2.3 同时的相对性.....	104
§ 2.4 时间膨胀.....	105
§ 2.5 空间收缩.....	108
§ 2.6 狭义相对论的时空观.....	110
§ 2.7 洛伦兹变换和伽利略变换.....	112
§ 2.8 其它问题.....	115
§ 2.9 小结.....	121
思考题.....	122
第三章 电磁学综述	123
§ 3.1 电力.....	123
§ 3.2 对物理学的理解.....	125
§ 3.3 电场和磁场.....	126
§ 3.4 场可以运动.....	128
§ 3.5 右手平直定则.....	129

§ 3.6	描述矢量场的二个量·····	130
§ 3.7	电磁场定律·····	133
§ 3.8	对某些电磁现象的理解·····	135
§ 3.9	小结·····	138
	思考题·····	139
第四章	静电学 ·····	140
§ 4.1	电荷·····	140
§ 4.2	库仑定律+叠加原理=静电学·····	141
§ 4.3	电场、场箭与电场线·····	145
§ 4.4	高斯定律+环流定律=静电学·····	153
§ 4.5	用高斯定律求静电场·····	158
§ 4.6	电势、电势差与等势面 ·····	163
§ 4.7	电势梯度·····	167
§ 4.8	小结·····	170
	思考题·····	171
	习题·····	172
第五章	静电场中的导体和电介质 ·····	177
§ 5.1	导体的静电平衡·····	177
§ 5.2	导体空腔·····	181
§ 5.3	孤立导体上的电荷分布·····	183
§ 5.4	电容·····	184
§ 5.5	电容器的串联和并联·····	187
§ 5.6	电场的能量·····	189
§ 5.7	电介质·····	191
§ 5.8	电介质的极化·····	193
§ 5.9	介质存在时的静电学·····	198
§ 5.10	小结 ·····	203

思考题.....	204
习题.....	204
第六章 稳恒电流	211
§ 6.1 电场中电荷的能量和运动.....	211
§ 6.2 电流强度和密度.....	213
§ 6.3 欧姆定律.....	215
§ 6.4 焦耳热.....	219
§ 6.5 有电动势的电路.....	220
§ 6.6 小结.....	223
思考题.....	224
习题.....	224
第七章 磁力	230
§ 7.1 磁现象.....	230
§ 7.2 磁力规定.....	233
§ 7.3 磁场对电流的作用力.....	237
§ 7.4 动生电动势.....	240
§ 7.5 磁通量变化.....	243
§ 7.6 发电机与电动机原理.....	247
§ 7.7 小结.....	249
思考题.....	250
习题.....	251
第八章 电场运动产生磁场	255
§ 8.1 电动生磁规定.....	255
§ 8.2 毕奥-萨伐尔定律	257
§ 8.3 安培环路定律.....	261
§ 8.4 电通量变化.....	268
§ 8.5 平行电流间的相互作用力.....	272

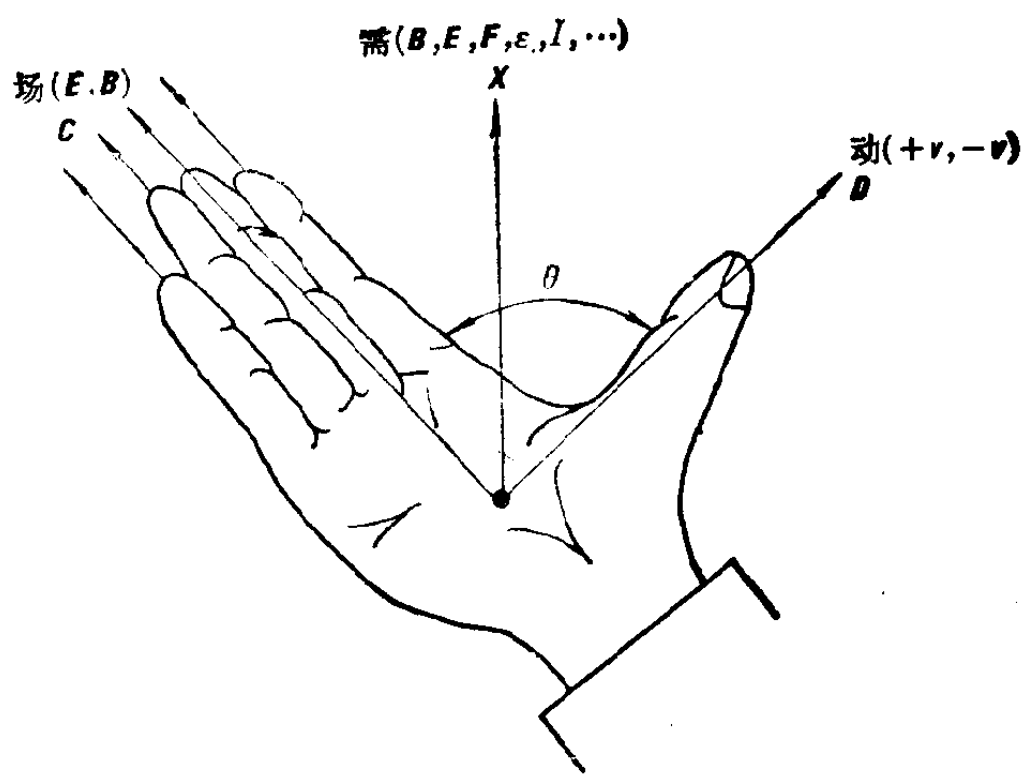
§ 8.6 小结·····	273
思考题·····	274
习题·····	275
第九章 磁场运动产生电场 ·····	279
§ 9.1 电场与磁场的相对性·····	279
§ 9.2 磁动生电规定·····	281
§ 9.3 感生电动势·····	282
§ 9.4 法拉第定律·····	284
§ 9.5 相对论电磁学·····	288
§ 9.6 互感·····	292
§ 9.7 自感·····	294
§ 9.8 磁场的能量·····	296
§ 9.9 小结·····	299
思考题·····	300
习题·····	300
第十章 磁介质 ·····	304
§ 10.1 磁介质的磁化·····	304
§ 10.2 H 的环路定理·····	307
§ 10.3 有介质的电磁学公式·····	311
§ 10.4 铁磁质·····	312
§ 10.5 小结·····	315
思考题·····	316
习题·····	316
第十一章 电磁波 ·····	318
§ 11.1 电磁波的传播·····	318
§ 11.2 电磁波的能量和动量·····	324
§ 11.3 电磁波的发射和接收·····	326

§ 11.4 电磁波谱	330
§ 11.5 追赶光波	333
思考题	337
附录	338
A. 狭义相对论其它结论的推导	338
B. 匀速运动点电荷的电场和磁场	346
C. 磁场的引入	349
D. 电磁场的相对论变换式	352
E. 加速电荷的辐射场	354
F. 振荡电偶极子的辐射功率	357
G. 右手平直定则的对称性	359
H. 单位和量纲	362
参考文献	364

第一部分

右手平直定则综述

大四推行右手平直定则



DCX 定则 $\begin{cases} \text{动场需} \\ \boldsymbol{D} \times \boldsymbol{C} = \boldsymbol{X} \end{cases}$

右手平直定则

……一切自然力都是可以互相转化的，有着共同的起源。

法拉第

为了对于具有各种智能性质的人们有所帮助，科学的真理应该通过不同的形式表示出来；并且，无论是采用鲜明的形式和生动活泼的语调，或者使用单调枯燥的符号公式，其内容的科学性都应当相同。

麦克斯韦

一、什么是右手平直定则

右手平直定则是用来判断电磁学中各种各样电磁现象方向的统一法则。它以狭义相对论对经典电磁理论的分析为基础,以场运动概念为核心,对电磁学中的各种基本规律给出统一的说明。

右手平直定则还是确定二个矢量的矢量积(叉积)方向的另一种方法,因而为物理学和相关科学中有关方向判断问题,给出了一个统一的解决办法。

右手平直定则采用平直的右手(第一页图),使大拇指表示电荷或场的运动方向($+v$ 或 $-v$ 方向),四指表示场(电场 E 或磁场 B)或场线的方向,手心推出的就是需要判断的方向。我们认为或者说靠一点想象,在平直右手的大拇指与四指之间,可以并只能有 $0-180^\circ$ * 之间的夹角。

右手平直定则的规定很容易记忆:把平直右手的大拇指想象成表示运动正方向或反方向的箭头,四指想象成四根场线,手心推出的用力方向就是需要判断的方向。

也可以把右手平直定则称之为“DCX 定则”,D,C,X 分别代表动、场、需三个字汉语拼音的字头,而动、场、需是指判断电磁现象时大拇指、四指和手推三个方向所表示的内容。它也表示矢积 $D \times C = X$ 的定性内容。

用右手平直定则判断矢积方向时,顺序是大拇指指矢积

* $0-180^\circ$ 不包括 0° 和 180° 。

$\boldsymbol{D} \times \boldsymbol{C} = \boldsymbol{X}$ 中第一个矢量 $\boldsymbol{D}$ 的方向, 四指指第二个矢量 $\boldsymbol{C}$ 的方向, 手心推出的就是叉积结果矢量 $\boldsymbol{X}$ 的方向。为了便于记忆, 可以用一句话概括这部分内容: “大四推行右手平直定则”。这句话除了表明手势和各部分指向顺序外, 还包含有谐音的趣意。

右手平直定则用于判断电磁现象的方向时, 有三个基本规定和把三个基本规定应用于回路情况的两个规定。

DCX 定则三个基本规定的内容是: 电场运动产生磁场的方向判断规定, 简称为“电动生磁规定”; 磁场运动产生电场的方向判断规定, 简称为“磁动生电规定”。电荷在磁场中运动受磁场作用力的方向判断规定, 简称为“磁力规定”。前两个规定合起来可以称之为“场动规定”或“两动规定”。

DCX 定则的基本规定应用于回路情况的两个规定的内容是: 穿过闭合回路的电通量变化产生磁动势(或磁环流)的方向判断规定, 简称为“电通量变化规定”; 穿过闭合回路的磁通量变化产生电动势的方向判断规定, 简称为“磁通量变化规定”。

一句话, 在判断电磁现象方向时, DCX 定则有基本的场动规定、磁力规定和将它们应用于回路情况的通量变化规定。

DCX 定则基本规定中的电动生磁规定是用来判断运动电荷、电流等产生的磁场的方向; 即解决运动或变化电场产生的磁场的方向判断问题。

DCX 定则基本规定中的磁动生电规定, 是用来判断运动磁铁、运动电流等激发的电场的方向, 即解决运动或变化磁场激发的电场的方向判断问题, 从而也可以解决感生电动势和感生电流的方向判断问题。