

Lorenz 规范简史

卢昌海[†]

2020-06-05 收到

[†] email: lu_changhai@yahoo.com

DOI: 10.7693/wl20210609

不知有没有读者看到本文标题会闪出一个念头：“Lorenz”（姑以“洛伦茨”为中译）拼错了，应为“Lorentz”（姑以“洛伦兹”为中译）？本文要谈的正是这“Lorenz”和“Lorentz”之辨。

芝加哥大学的统计学教授史蒂芬·斯蒂格勒(Stephen Stigler)曾提出过一个所谓的斯蒂格勒定律(Stigler's law)，宣称科学发现或科学定律都不是以原始发现者命名的。这当然不是真正的定律，且“都不是”也过于武断，但可举的例子确实很多，本文可算其中之一，甚至连斯蒂格勒定律自身亦是例子——这个1980年提出的“定律”不仅有若干大同小异的版本和名称，且起码可回溯至美国作家马克·吐温(Mark Twain)¹⁾。

本文不仅在具体内容上可算作



芝加哥大学统计学教授史蒂芬·斯蒂格勒(Stephen M. Stigler, 1941—)。图片来源: stat.uchicago.edu

斯蒂格勒定律的例子，且还在另一个方面暗合斯蒂格勒定律，那便是：本文的作者虽然是我，撰写的念头却是友人引发而非我自己萌生的。8年多前，一位友人在我主页的“繁星客栈”论坛上发帖说“Lorenz 规范”被许多人错成了“Lorentz 规范”。我吃了一惊(因为我也“许多人”之一)，随手在书架上核验了几本物理教材，结果发现几位很著名的作者亦在“许多人”之列，于是觉得这是个可以一写的话题。

至于为什么拖到现在才写，则没什么特殊理由，也许只是因为一直有别的东西要写。所谓“可以一写的题材”，有时就像“虚粒子”，只有遇到适当的机缘才会变成“实粒子”。直到今年，约稿终于写累了，推掉了不少，在多出的“散漫”时间里，才重又想起这一话题。

让我仍从核验开始吧——当然，是重新核验过，且扩大了核验范围。为“自给自足”起见，虽假定本文的读者已有电动力学基础(我向来是不惮以最高的门槛来要求读者的)，在罗列核验结果前，还是先说明一下，所谓“Lorenz 规范”或(被错成的)“Lorentz 规范”，指的是电磁势所满足的规范条件：

$$\nabla \cdot \mathbf{A} + \partial \varphi / \partial t = 0$$

为表述便利起见，本文一律采用现代记号及 $c=1$ 的单位制， φ 和 \mathbf{A} 分

别是电磁势的标量势和矢量势。在我核验过的物理教材中，这一条件被称为“Lorenz 规范”和“Lorentz 规范”的可分别举出以下例子：

被称为“Lorenz 规范”的：

(1) J. D. Jackson. *Classical Electrodynamics* (John Wiley & Sons, Inc., 3rd Ed., 1999);

(2) A. Zangwill. *Modern Electrodynamics* (Cambridge University Press, 2012).

被称为“Lorentz 规范”的：

(1) W. K. H. Panofsky, M. Phillips. *Classical Electricity and Magnetism* (Addison Wesley, 2nd Ed., 1962);

(2) L. D. Landau, E. M. Lifshitz. *The Classical Theory of Fields* (Pergamon Press, 4th Ed., 1975);

(3) C. Itzykson, J. Zuber. *Quantum Field Theory* (McGraw-Hill Inc., 1980);

(4) R. P. Feynman *et al.* *The Feynman Lectures On Physics* vol. II (Addison Wesley, Commemorative Ed., 1989);

(5) M. E. Peskin, D. V. Schroeder. *An Introduction To Quantum Field Theory* (Perseus Books Publishing, L.L.C., 1995);

(6) S. Weinberg. *The Quantum Theory of Fields*, vol. I (Cambridge University Press, 1995);

(7) W. Greiner. *Classical Electro-*

1) 所谓“大同小异的版本和名称”的例子包括“科学史第零定理”(zeroth theorem of the history of science)和“阿诺德原则”(Arnold principle)。至于马克·吐温，他曾在1903年给美国盲人社会活动家海伦·凯勒(Helen Keller)的一封信里表示，所有重大发明的荣誉其实都落在了后人身上而忘却了前人。



丹麦物理学家路德维希·洛伦茨(Ludvig Valentin Lorenz, 1829—1891), 很多人会把他与荷兰物理学家洛伦兹(Hendrik Lorentz)以及美国数学与气象学家罗伦茨(Edward Lorenz)搞混。图片来源: The Royal Library: The National Library of Denmark and Copenhagen University Library

[287]

XXXVIII. On the Identity of the Vibrations of Light with Electrical Currents. By L. LORENZ*.

THE science of our century has succeeded in demonstrating so many relations between the various forces (between electricity and magnetism, between heat, light, molecular and chemical actions), that we are in a sense necessarily led to regard them as manifestations of one and the same force, which, according to circumstances, occurs under different forms. But though this has been the guiding idea with the greatest inquirers of our time, it has been by no means theoretically established; and though the connexion between the various forces has been demonstrated, it has only been explained in single points. Thus Ampère has theoretically explained the connexion between electricity and magnetism, though he has not furnished a proof of the possibility of the peculiar molecular electrical currents (assumed by him) which in virtue of their own power are continuous; and, in like manner, Melloni was subsequently led step by step to the assumption of an identity of light with radiant heat. These theories are, however, quite isolated members of the great chain; and so far are we from being able to follow out theoretically the idea of the unity of force, that even now, half a century after Ersted's discovery, the two electricities are regarded as electrical fluids, light as vibrations of aether, and heat as motions of the molecules of bodies.

Yet these physical hypotheses are scarcely reconcilable with the idea of the unity of force; and while the latter has had a signal influence on science, this can by no means be said of the former, which have only been useful inasmuch as they furnish a basis for our imagination. Hence it would probably be best to admit that in the present state of science we can form no conception of the physical reason of forces and of their working in the interior of bodies; and therefore (at present, at all events) we must choose another way, free from all physical hypotheses, in order, if possible, to develop theory step by step in such a manner that the further progress of a future time will not nullify the results obtained.

This idea is at the basis, not only of the present investigation, but also of my earlier researches on the theory of light †; and I am the more moved to adhere to it, that it shows in a remarkable manner how the results which I venture here to develop attach themselves to those I have formerly obtained, and go hand in hand with them. At the same time that I keep the investigation free from all physical hypotheses, I shall endeavour

* Translated from Poggendorff's *Annalen*, June 1867.
† *Phil. Mag.* S. 4. vol. xxvi. p. 81.

文献中最早出现 Lorenz 规范的论文 (图片来源于参考文献[5])

dynamics (Springer, 1998)。

这两组例子当然都不是“穷举”，但第一组是费了好大劲才总算找到的两个例子，第二组则是丢弃了许多不够著名的例子。依据这一经验，可以较有把握地说，在当今的物理教材中，将“Lorenz 规范”错成“Lorentz 规范”的乃是大多数。

不过有道是术业有专攻，物理教材虽大都弄错了，但在物理学史的领地里，情况则明晰得多，有不少资料对 Lorenz 规范的来龙去脉做过研究和辨析。下面我们就以那些资料为基础，来谈谈 Lorenz 规范的简史——包括它被错成 Lorentz 规范的可能缘由。

Lorenz 规范在文献中的最早出现是 1867 年，出现在丹麦物理学家路德维希·洛伦茨(Ludvig Lorenz)的一篇题为“论光的振动与电流的同一性”(On the Identity of the Vibrations of Light with Electric Currents)的论文中(这篇论文的丹麦原文及德、英译文皆发表于 1867 年)。洛伦茨那篇论文发表的时候，电磁矢量势 A 问世才不过 20 年左右，英国物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell)提出后来以他名字命名的电磁场方程组及光的电磁理论才不过数年，后来被抛弃的以太(aether)仍是流行概念，电磁理论的许多诠释性细节仍充满迷雾，规范变换和规范条件的概念尚未得到明晰表述(因此本文对很多概念的称呼——包括“Lorenz 规范”、“规范条件”等——乃是套用后世术语)，当时流行的规范条件则是如今被称为库仑(Coulomb)规范的 $\nabla \cdot A = 0$ 。

在这样的背景下，洛伦茨的论文有一些相当敏锐的见解。

比如，洛伦茨在论文的开篇就提到，“我们时代的科学”已成功显示了电、磁、光、热及分子运动之间的联系。由此他认为，“从某种意义上讲，我们必然被引导到视它们为同一种力的表象上”。另一方面，洛伦茨注意到，当时很多人视电为流体，视光为以太的振动，视热为分子的运动，这些相互独立的假设跟“视它们为同一种力的表象”的统一观念是格格不入的。不仅如此，洛伦茨还很正确地指出了以太假设的诸多堪称缺陷的奇怪性质，比如在以太中只有横波没有纵波，比如以太有超高的应力却没有可察觉的重量²⁾。这些见解对现代读者——尤其本文的读者——来说想必是熟悉的，在当时却不仅敏锐，而且卓越。

在这种见解之下，洛伦茨提出了一种关于光的新理论，认为“光的振动本身就是电流”。这种理论可惜是错误的，而且错得有些莫名其妙，因为他替这种理论构建的数学框架其实是正确的，却莫名其妙地引申出了并非逻辑推论的“光的振动乃是电流”的错误诠释。具体地说，洛伦茨发现，在 Lorenz 规范下，电磁标量势 φ 与矢量势 A 都满足波动方程，源分别为电荷密度与电流密度，解是推迟势，所对应的波速则与当时所知的光速很接近。这些发现都是正确的，并且标志着 Lorenz 规范及同时包含 φ 和 A 的推迟势在文献中的首次出现。至于“光的振动本身就是电流”，由于并

2)对洛伦茨这些见解的某些表述综合了他 1867 年发表的另一篇文章，题为“论光”(On Light)。那篇文章是科普，直到 2018 年才被丹麦科学史学家黑尔格·克拉(Helge Kragh)译成英文。说到这篇科普，顺便提一下，其中有一句话在我看来达到了极高的科普水准。那是对可见光的频率之高所作的形容(目的是凸显以太假设的缺陷——因为如此高频的横波需要超高的应力)：“光线在一秒钟之内传输到眼睛的振动数目需要几百万年才能数清。”

不是这些发现的逻辑推论，故而虽可惋惜，亦有些莫名其妙，却无损定量部分的正确性。

那么，洛伦茨的大名为什么没有跟他提出的规范条件联系在一起，“Lorenz规范”为什么被后世的大多数物理教材错成了“Lorentz规范”呢？从对文献的阅读和思考中可以归纳出一些可能的原因。

首先是电磁理论的“大宗师”麦克斯韦对洛伦茨的理论提出了异议。在1868年(即洛伦茨上述论文问世的次年)发表的一篇题为“论一种对静电力与电磁力进行直接比较的方法”(On a Method of Making a Direct Comparison of Electrostatic with Electromagnetic Force)的论文中，麦克斯韦写了一个很长的评注，对洛伦茨的推迟势提出了异议。麦克斯韦的异议本质上是这样的：考虑两个异种——故而彼此吸引——的电荷 A 和 B ，以长度为 L 的刚性杆相联结，沿 AB 方向运动。若两者的相互作用由推迟势描述，那么 A 对 B 的吸引力源自 A 的某个先前时刻的位置，与 B 的距离大于 L (因 A 沿 AB 方向运动，故先前时刻与 B 的距离大于当前时刻的距离 L)，而 B 对 A 的吸引力源自 B 的某个先前时刻的位置，与 A 的距离小于 L (因 B 沿 AB 方向运动，故先前时刻与 A 的距离小于当前时刻的距离 L)。因此 B 对 A 的吸引力大于 A 对 B 的吸引力(因前者对应的距离小于后者的)。这不仅违反了作用力等于反作用力的定律，而且会使这两个刚性连结的电荷不断沿 AB 方向加速，违反能量守恒。

麦克斯韦虽是电磁理论的“大宗师”，这条异议却是错误的(因为推迟势其实是正确的——虽然对电磁势来说并非唯一解)。至于具体错

在哪里，不妨留给读者作为思考题，加深对电动力学的理解。

不过麦克斯韦的错误如今虽是学过电动力学的普通读者都有希望纠正，在当时——尤其是狭义相对论问世之前——却绝非显而易见，也很可能并非洛伦茨所能回答。事实上，洛伦茨在1867年论文的末尾虽曾乐观地宣称他的理论将会“引导我们往发展统一力思想的方向迈进一步，并且开启一个未来研究的新领域”，自那以后却再也没有回到同一课题上来(是否跟麦克斯韦的异议有关则不得而知)，这种“自我放弃”被认为是他的大名没有跟他提出的规范条件联系在一起的另一条原因。

此外，我们也不能忽略洛伦茨所提出的“光的振动本身就是电流”是一个错误理论这一事实。这个错误理论——如前所述——虽无损定量部分的正确性，却跟当时流行的以太假设格格不入，在很大程度上是以电流取代以太。虽然以太假设也是错误理论，但以电流取代以太乃是以错易错，并不比以太假设更经得住推敲(比如要假设光可以传播的所有地方——包括虚空——都存在电流)，这难免也会降低论文的影响力。

上述几条可以算洛伦茨这一方的原因。除这几条外，进一步的原因就得从“Lorenz”和“Lorentz”之辨的另一方——荷兰物理学家亨德里克·洛伦兹(Hendrik Lorentz)——入手了。

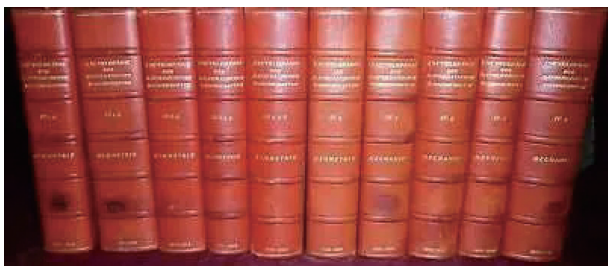
洛伦兹生于1853年，比洛伦茨小24岁，这两人不仅姓氏相近，研究领域也有很大的重叠——都在电磁理论和光学等领域深有造诣。更巧合的是，两人甚至在具体课题上也屡屡“撞车”。比如两人都研究过金属的导电率与导热率的关系，再



洛伦兹(Hendrik A. Lorentz, 1853—1928)。图片来源：Nobelprize.org

比如两人都研究过光学介质的折射率——这也许是最著名的“撞车”，导致了所谓的“洛伦兹—洛伦茨方程”(Lorentz—Lorenz equation)。对规范条件的研究也是“撞车”之一。

自1892年开始(那时洛伦茨已经去世)，在有关电磁理论的若干文章中，洛伦兹引进了推迟势，但没有明确提到Lorenz规范。1904年，在为德国《数学科学百科全书》(Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften)撰写的关于麦克斯韦理论的“词条”(这套令人高山仰止的百科全书的“词条”往往有图书的篇幅，其中很多都堪称名著)中，洛伦兹首次给出了Lorenz规范(为了让电磁势满足波动方程的条件)。以时间而论，这比洛伦茨晚了37年，但洛伦兹的“词条”有一个优越之处，那就是对电磁势所具有的任意性——也就是其所允许的规范变换——作了初步表述。这一表述在1909年出版的名著《电子论》(Theory of Electrons)一书中变得更为明晰。



德国《数学科学百科全书》(Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften)。图片来源: ebay

由于洛伦兹的电磁理论研究,尤其是他的电子论,在一定程度上代表了经典电动力学的巅峰³⁾,也由于德国《数学科学百科全书》及名著《电子论》的影响皆远非洛伦茨的论文可比,更由于被洛伦兹所明晰表述的规范变换的概念在现代物理中有着极大的重要性,再加上洛伦兹本人作为物理学家的声望远超过洛伦茨,以及前面提到的洛伦茨那一方的几条原因,自1900年开始,就陆续有综述性的文章,先是将推迟势,后又将Lorenz规范归于了洛伦兹。将“Lorenz规范”错成“Lorentz规范”,在物理学史以外的领域里也就逐渐变成“大势所趋”了。

除上面这些因素外,将“Lorenz规范”错成“Lorentz规范”还有一个不那么“错”的因素,那就是洛伦兹是狭义相对论的先驱人物之一,是狭义相对论的坐标变换——即所谓“Lorentz变换”——的“冠

名者”,而“Lorenz规范”恰好在“Lorentz变换”下是不变的,或者说是一种Lorentz不变的规范,它被称为“Lorentz规范”从这个意义上讲倒是有一定贴切性的⁴⁾。

关于“Lorenz规范”错成“Lorentz规范”之事,还有一点可小议几句,那就是洛伦兹是否知道洛伦茨提出过Lorenz规范?在上文提到的洛伦兹有关Lorenz规范的所有文章或专著中,都不曾提及洛伦茨在同一课题上的工作,是否是有意忽略?这些问题的答案在我看来是否定的。这首先是因为洛伦兹的人格有很高的公信力——包括爱因斯坦在内的同时代的物理学家对洛伦兹的人格都作过很高的评价,别说Lorenz规范相对于洛伦兹的其他成就毫不足道,哪怕在重要得多的工作上,洛伦兹也从未在优先权上要过心机。其次,也不乏具体例证:《电子论》一书中,在介绍自己的光学介质折射率研究(即如今称之为“洛伦兹—洛伦茨方程”的研究)时,洛伦兹明确引述了洛伦茨的工作,而且虽然两人在这一课题上的两篇重要论文都发表于1880年,洛伦兹却光明磊落地指出了洛伦茨的

工作在他之前(哪怕在优先权上稍有心机也可只强调“几乎同时”或“彼此独立”)。有鉴于此,洛伦兹不曾提及洛伦茨在Lorenz规范方面的工作,应该是确实没有注意到后者——跟“洛伦兹—洛伦茨方程”的两篇重要论文都发表于1880年,从而很容易被注意到不同,洛伦兹提出Lorenz规范比洛伦茨晚了37年,后者的研究因上文所述的几条“洛伦茨这一方的原因”,本身已近于湮没。

以上就是Lorenz规范的简史。这段简史有一定的勘正性质——将“Lorentz规范”勘正回“Lorenz规范”(虽然这所谓“勘正”只是意在勘正史实,倒并非真觉得有必要修改物理教材里的命名——因为如前所述,后者毕竟有一个不那么“错”的因素)。既然如此,那么不妨对“勘正”之“正”方那位几乎已被忘却的洛伦茨的生平也略作一些介绍。

洛伦茨出生于1829年1月18日,13岁那年因听了丹麦自然科学传播学会主办的一个物理讲座而对数学和物理产生了兴趣。但洛伦茨通往数学和物理的路途并不平坦,大学的所学偏于工程,毕业时的专业乃是化学(洛伦茨的生平文献很少,我试图找寻他大学专业背后的缘由,却未能如愿)。直到1858年,洛伦茨才在法国巴黎圆了进修

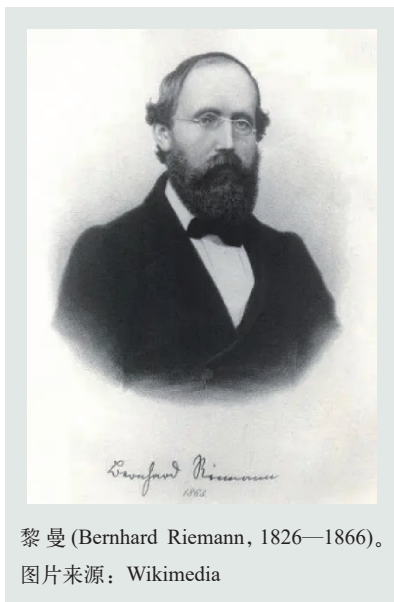
3)不过这巅峰同时也是没落的边缘,可参阅拙作“质量的起源”的第4节: https://www.changhai.org/articles/science/physics/origin_of_mass/1.php#sect4。

4)当然,规范条件有很多种,Lorentz不变的也不止一种,但Lorenz规范在所有Lorentz不变的规范条件中可算是最常用或最重要的。

5)不幸的是,“维德曼—夫兰兹—洛伦茨定律”常被简称为“维德曼—夫兰兹定律”,只有其中的一个比例系数总算被普遍称为“洛伦茨系数”(Lorenz number)。

6)撰写本文时,我不止一次想起了拙作《从奇点到虫洞》的附录“Raychaudhuri小传”里介绍过的另一位“非著名科学家”:阿莫尔·雷查德利(Amal Raychaudhuri)。也许“非著名”——但没有“非著名”到不值一提——科学家的经历多少有些共性吧。

7)这一点的另一个例子自然是希尔伯特,可参阅拙作“希尔伯特与广义相对论场方程”,《物理》,2020,49(2): 110。



理论物理之梦。1866年,洛伦茨被选为了丹麦皇家科学院的会员。但这貌似顺意的进展却未能让他谋到大学职位,而不得不将未来21年耗在了哥本哈根郊外的一所军事高中。1887年,年近花甲的洛伦茨终于得到一笔资助,可以从事独立研究,但短短4年后的1891年6月9日,他就因心脏病发作去世了。

洛伦茨的一生基本处于孤立之中,虽然同时代的若干重量级物理学家比如麦克斯韦、玻尔兹曼、赫

兹等都一度注意过他的工作,但他很少与其他物理学家通信,也不常旅行。在那样的孤立之中,洛伦茨依然完成了数量与质量都不无可观的研究,除上文已提到的“洛伦兹—洛伦茨方程”及不幸被普遍错成“Lorentz 规范”的“Lorenz 规范”外,单是挂了他名字的工作就还有关于金属导电率与导热率关系的“维德曼—夫兰兹—洛伦茨定律”(Wiedemann—Franz—Lorenz law)⁵⁾,以及关于电磁波在均匀介质球上散射的“洛伦兹—米解”(Lorenz—Mie solution)。但尽管这些名称在一定程度上有所流传,洛伦茨被物理学界遗忘的速度依然很快,用我们前面所举仅有的两本未将“Lorenz 规范”错成“Lorentz 规范”的物理教材之一, *Modern Electrodynamics* (现代电动力学)的作者安德鲁·赞格威尔(Andrew Zangwill)的话说,“洛伦茨的工作被遗忘得如此之快是令人困惑的”。希望这篇短文能在中文读者中唤起一些对这位“非著名科学家”的了解⁶⁾。

本文到这里就基本结束了,最后让我们跟开篇引述过的斯蒂格勒

定律再作一次呼应:如果我们将“Lorentz 规范”勘正回“Lorenz 规范”(如前所述,这其实并非本文的意图),这一规范的命名是否就不再符合斯蒂格勒定律了呢?答案居然仍是否定的——起码仍不是没有置喙余地的。事实上,德国数学大师伯恩哈德·黎曼(Bernhard Riemann)早在1861年(即比洛伦茨还早6年)就在一份讲义中引入了同样的规范条件,只不过直到他去世后的1875年才被人整理发表(因此发表时间晚于洛伦茨)。不仅如此,洛伦茨所得到的推迟势的标量势部分也早在1858年(即比洛伦茨早了9年)就被黎曼在一次口头报告中提到了,只不过也直到他去世后的1867年才被人整理发表(且恰好跟洛伦茨的论文发表在同一刊物上,以页码顺序而论则稍晚,前文提到的麦克斯韦对洛伦茨理论——主要是推迟势——的异议其实也同时提到并针对了黎曼)。看来像黎曼那样的数学大师,哪怕偶尔涉猎一下物理也是非同小可的⁷⁾。这算是Lorenz规范简史的花絮吧。

参考文献

- [1] Darrigol O. *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford University Press, 2000
- [2] Jackson J D, Okun L B. Historical Roots of Gauge Invariance. *Rev. Mod. Phys.*, 2001, 73: 663
- [3] Kragh H. Ludvig Lorenz, Electromagnetism, and the Theory of Telephone Currents. 2016, arXiv: 1606. 00205
- [4] Kragh H. Ludvig Lorenz (1867) on Light and Electricity. 2018, arXiv: 1803.06371
- [5] Lorenz L. On the Identity of the Vibrations of Light with Electrical Currents. *Phil. Mag. ser. 4*, 1867, 34: 287
- [6] McDonald K T. Maxwell's Objection to Lorenz' Retarded Potentials. <https://www.physics.princeton.edu/~mcdonald/examples/maxwell.pdf>
- [7] Nevels R, Shin C. Lorenz, Lorentz, and the Gauge. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 2001, 43(3): 70
- [8] Potter H C. Lorenz on Light: A Precocious Photon Paradigm. 2008, arXiv: 0811.2123
- [9] Whittaker E T. *History of the Theories of Ether and Electricity*. Dover Publications Inc., 1989
- [10] Zangwill A. *Modern Electrodynamics*. Cambridge University Press, 2012