

物理通报
(1982-1992)
十周年丛书

物理教学问题荟萃

(电 磁 学)

物理通报编辑部编



河北大学出版社

物理通报出版十周年丛书

物理教学问题荟萃

(电 磁 学)

物理通报编辑部 编

河北大学出版社

(冀)新登字 007 号

物理教学问题荟萃(电 磁 学)

《物理通报》编辑部

河北大学出版社出版

(保定合作路 1 号河北大学院内)

物理通报电脑排印部印刷

开本: 850×1168 印张: 13.06 字数: 342 千字

1992 年 9 月第 1 版 1992 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1-3000

ISBN7-81028-094-5/0·6

定价: 4.60 元

序

在我国中学里物理课是必修的，在大、专院校里理、工、医、农和一部分文、法专业的学生都要学物理，因而我国拥有一支世界上最大的物理教师队伍。我国物理教学的传统是重视基本概念，课程的内在联系紧密，论述条理清晰，逻辑严整。广大教师具有深入钻研教学内容的习惯，研究的成果和心得体会散见于各期教学杂志上。《物理通报》自1982年出版以来已整整十年，发表了大量大、中学物理教学问题研究的文章，在《物理通报》出版十周年之际，编辑部投入相当大的人力、物力，把它们汇集起来加以精选，编辑成《物理教学问题荟萃》和《当代物理知识选萃》以《物理通报》十周年丛书的名义出版，提供给广大物理教师备课时作案头常备的参考，也可推荐给大学生作课外读物，这无疑是一件很有意义的事情。我为这套书的出版感到高兴，衷心祝愿它将受到各地物理教师 and 广大读者的欢迎。

与国外相比，我国各类学校的物理教学格调是比较单一的，多数教师习惯于围绕教学大纲规定的内容钻研教学，这当然无可指责。然而教师上讲台是应该有知识储备的。对于基础物理教学，教师应从哪些方面提取营养来充实自己的教学？就个人管见，也许主要有三个方面：

1. 现代物理学前沿和有关边缘学科（如天体物理、生物物理）；
2. 物理学史中有教育意义的题材；
3. 物理学在各方面的应用。

我注意到,《物理通报》内近年来不时有这几方面的好文章,相对于其它杂志来说,登载得还比较及时。这是可喜的,不过总的来说,这样的文章仍不够多。这问题和目前我国师资队伍的一般状况有关,并非本刊所独有,不可勉为强求。但愿在大家努力之下,在从今一段时间以后,情况能逐渐有所改观。

本刊主编盛情邀请为这套丛书作序,时间紧促,未暇深思,谨奉以上若干想法相谢,并藉此以表祝贺《物理通报》十周年华诞之衷。

赵凯华

1992年9月

目录

第一章 静电力和电场强度

库仑定律是怎样发现的? (1983-3)	宋德生 (1)
关于法拉第电场力及其应用 (1989-2)	崔龙燮 (6)
带电体系与感生电荷之间的相互作用 (1986-12) ...	李 梅 (10)
关于两个相距很近的荷电导体球间的 相互作用力 (1985-6)	沈抗存 (14)
点电荷吸引轻小物体的微观机制 (1989-5)	李子军 (17)
用逐次逼近法讨论电介质极化与电场的 相互作用 (1986-5)	张东壁 (20)
无限大带电平面与无限大带电导体表面 激发电场不同的原因 (1984-5)	赵溪霖 (22)
点电荷与导体球壳的电场 (1988-8)	张永吉 (26)
面电荷存在处的电场强度 (1983-3)	张之翔 (32)
也谈面电荷所在处的电场强度 (1984-4)	朱如曾 (39)
有限均匀带电平行平面的电场 (1984-2)	张梦心 (50)
关于静电场中电场强度的“突变点”和 “发散点” (1983-6)	赵溪霖 (55)
电力线互相平行的电场一定是匀强电 场吗? (1987-1)	黎宗传 (59)
地球和大气的静电状态 (1984-4)	金仲辉 (61)

第二章 电势

试谈等位面场图及其应用 (1983-6)	胡在铭 (65)
电势图 (1985-3)	杨德林 (72)
电场中零电位参考点的选取 (1985-1)	陆士尹等 (74)
电荷为球对称无限分布时电势零点的 选取 (1986-6)	李枫铨 (80)
无限远处电势与地球电势等势问题的	

讨论 (1989-9)	刘德周(82)
电压教学浅见 (1987-2)	彭杰(85)
有关地球电势的大小(1989-3)(1989-9)	孙维元(87)

第三章 导体和电容

静电场中导体的若干问题 (1983-6)	梁灿彬(96)
导体空腔内外的电位与场强 (1986-11)	刘书振等(104)
谈导体接地 (1983-4)	张东壁(107)
带电导体接地后电荷消失的原因 (1986-11)	庞友舜(110)
屏蔽罩对电容器电容量影响的估算 (1989-10) ...	段吉辉(112)
不严格平行的平行板电容器的电容 (1985-6)	沈栋才(116)
平行板电容器内介质极化的功能过程 (1987-2) ...	余耀今(118)
串联电容器耐压值的一种求法 (1983-2)	孙宇民(123)

第四章 电源的电动势

电动势和非静电力 (1985-1)	姜 晖(125)
电源电动势之我见 (1985-5)	郭明君(131)
反电动势的教学 (1988-4)	熊荣先等(136)
电动势能直接测量吗? (1989-2)	杨战民(139)
测定电池的电动势和内电阻的几种方法 (1985-1)	
.....	田洪琪(143)
也谈电池的电动势和内阻的测定方法 (1986-3)	

.....	刘根中等(146)
论 n 个相同电池的组合同电 (1987-10)	邹在田(149)
不同电池的混用 (1991-8)	徐家康(152)
不同的电源连接问题的一种解法 (1988-8)	席桑田(155)

第五章 电阻

电阻的由来 (1982-2)	高伦祥(162)
如何正确理解导线的概念 (1991-4)	段文山(169)
用“伏安法”测电阻时如何选测定	
电路 (1986-7)	纪树良等(171)

用伏安法测电阻安培表内外接的探讨 (1987-9)···	常德成(176)
浅谈惠斯通电桥的灵敏度 (1986-5)·····	王大达(179)
谈中学物理中的“无限网络”的计算 (1986-10)···	王 钢(182)
也谈“无限网络”的计算 (1987-10)·····	叶 柯(185)
电阻网络的计算及其规律 (1987-6)·····	王永璋(187)
“格子”电路等效电阻的通项公式 (1988-3)·····	王吉增(190)
相同电阻的组合 (1988-7)·····	朱桂梅(193)

第六章 直流电路

稳恒电路中的电场和电荷分布 (1991-4)·····	廖仁灶等(199)
一段纯电阻电路与含源电路的若干 区别 (1985-1)·····	裴家量(205)
电势差不是导体中产生电流的必要 条件 (1987-12)·····	杨立山(208)
圆电流环中电流分布情况 (1991-4)·····	冯金福(210)
电解液中的电流与导线中的电流 是否相等 (1986-10)·····	刘剑华(211)
怎样判断电池充、放电? (1987-9)·····	秦家达(213)
能改变稳恒电流电压的变压器 (1986-7)·····	刘晓东(217)
直流电路的递推求解法及其应用(1987-8)(1988-6) ·····	王光义(218)
通过电学黑箱题提高学生思维能力 初探 (1989-1)·····	刘贤儒(223)
电源输出最大功率的一般性条件及 其应用 (1986-2)·····	黄 鑫(229)
用端点法处理电路的尝试 (1985-1)·····	方 模(233)
载有稳恒电流的导体内部的能流分布 (1990-3)···	陈庆明(234)
直流电路中的能量传输问题的分析 和讨论 (1987-8)·····	许泽平(236)

第七章 磁场的概念及其规律

关于奥斯特发现电磁现象经过的

长期误传 (1983-2)..... R.C 斯陶费原著 黄亚萍编译(241)
毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律是怎样

建立的? (1988-4)..... 陈熙谋等(244)
略论磁场量 $\vec{B}$ 与 $\vec{H}$ (1988-4,5) 钟锡华(247)
论磁场强度 $\vec{H}$ 仅与传导电流有关的条件 (1988-9)

..... 曾庆题(258)
产生安培力的微观机制究竟是什么? (1988-12).... 胡传镛(261)
洛仑兹力的反作用力在哪里? (1989-5) 张新江等(266)
关于静磁场中高斯定理的讨论 (1988-6)..... 郭英林(271)
研究磁力线图示 (1988-6)..... 吴鸣钟(272)
无穷长载流螺线管的磁场 (1986-10) 陈卫民(275)
磁偏转半径计算公式的另一推导方法 (1985-5).... 徐章松(277)

第八章 电磁感应

电磁感应现象的发现 (1984-1)..... 李国栋(280)
感应电动势与参照系的关系 (1989-1)..... 阎云彤(287)
楞次定律的两种表述 (1988-11) 李世伦等(292)
是楞次定律例外吗? (1986-9) 郭明君(295)
通电、断电实验过程及日光灯点燃过程中的

自感问题 (1986-4)..... 石国贤(298)
涡旋电场中为何能引进电势概念 (1991-4)..... 林兆团(302)
动生电动势和洛仑兹力的功 (1985-1)..... 朱宾炎(305)
谈导体切割磁力线的有效长度 (1987-3)..... 彭大斌(309)
如何计算非直导线切割磁力线 (1990-9)..... 刘海生(313)
线圈与磁铁相对运动的电磁感应现象 (1986-6)

..... 周久璘(315)
如何理解闭合电路中的感生电流 (1987-9)..... 苏庭举等(318)
对法拉第圆盘的定量分析 (1987-1)..... 解玉良(320)

匀强磁场中感生电动势普遍公式的推导

和讨论 (1983-4)..... 陈颢 (322)

第九章 交变电流

交变电流在导体内部的分布 (1984-1)..... 颜家壬(326)

交变电动势变化规律的一个物理模型 (1988-9)

..... 方国权(330)

变压器究竟是怎样工作的? (1985-1) 赵世雄译(332)

从单相交流电源取得三相电流的

讨论 (1990-11) 居思学(333)

中线断开后三相不对称负载的定

量分析 (1988-4)..... 周扩建(337)

保护接地一定安全吗? (1985-6) 张必赋(339)

关于电路中能量转化的疑难 (1986-12) 吴超杰(341)

第十章 电磁场和电磁波

关于电磁学基本定律和方程的

一些问题 (1983-4)..... 陈秉乾等(348)

关于电磁现象一致性的对话 (1986-10) 陈晓隆(356)

电磁场是不可分割的统一整体 (1985-1)..... 黄虎清(365)

位移电流与传导电流的异同 (1985-2)..... 刘子贵(374)

对安培环路定理的动态修正 (1984-5)..... 许丽炜(377)

运动电荷之间的电场力大还是磁场力大? (1986-2)

..... 石永祥(380)

H.赫兹和物理学的发展 (1989-9) 赵世雄译(381)

电磁波相位不变性的直接证明 (1986-5)..... 张炎勋(388)

电磁学中的场和路 (1983-1)..... 翁心光(391)

介质界面的极化和磁化问题 (1988-9)..... 谢德全等(397)

三种电磁屏蔽浅析 (1990-12) 郭书龙(402)

编后

第一章 静电力和电场强度

库仑定律是怎样发现的？

人们往往把扭力秤和库仑 (Charles Augustin Coulomb, 1736-1806) 的名字联系在一起, 是因为这位伟大的法国物理学家用他发明的扭力秤精确测量了电相互作用力和磁相互作用力, 发现了以他的名字命名的定律, 进而把电力、磁力和万有引力统一于同形公式。对于库仑定律的渊源和影响, 及库仑在历史中的地位, 是物理学者希望了解的, 本文将对这问题作初步介绍。

1 1777 年磁学竞赛

巴黎科学院早在 1773 年就宣布, 它将在 1775 年以“什么是制造磁针的最佳方法”为题颁布磁学奖^[1]。其目的在于鼓励设计一种指向力强、抗干扰性能好的指南针代替当时航海中普遍使用的轴托指南针。实践证明, 轴托针工作性能差, 海船的颠簸, 磁爆和极光的发生, 对它的影响极为显著。到了 1775 年, 还没有人能参加竞选, 于是巴黎科学院再次提出这个课题。库仑和另一人万·斯温登 (J. H. van Swinden, 1746-1823) 分享了头等奖, 各得 1600 法郎的奖金。

库仑的获奖论文是“关于制造磁针的最优方法的研究”。库仑在论文中提出一种丝悬指南针, 他并且指出悬丝的扭力能够给物理学家提供一种精确测量极小的力的方法。丝悬指南针在我国至迟出于北宋时代, 沈括在《梦溪笔谈》(1086) 中总结的四种指南针结构就有一种是丝悬结构^[2]。在西方, 拉纳 (F. Lana) 至迟在 1686 年也发明过丝悬针。但是, 他们都没有提出过悬丝的扭力计算方法。而库仑提出要改造当时地磁测量, 并把扭力计算运用到物理学和力学的多种测量中去。40 多年后, 洪堡德 (A. von Humboldt, 1769-1859)

和阿拉哥(D.F.Arago, 1786-1853)用丝悬磁针的振荡方法测量地磁强度, 以及毕奥-萨伐尔定律的实验方法, 都师承于库仑的这一思想。

库仑得到的悬丝(丝线或头发)的扭力公式是:

$$M = \frac{\mu D^3 \Theta}{l} \quad (1)$$

式中 M 表示扭力力矩, D 和 l 分别表示悬丝直径和长度, Θ 为悬丝扭角, μ 为悬丝弹性系数。这是物理学史中对悬丝扭力的最早的定量研究, 为他发明扭力秤奠定了理论基础。值得注意的是, 当时的技术还不足以测量出象头发丝这样小的直径, 库仑关于扭力与直径三方成正比的结论多少是出于一种猜测。这就造成一个错误, 直到 1784 年才被纠正。

2 扭力秤的发明

磁学竞赛后库仑制作了一台精致的丝悬磁针, 用于巴黎天文台测量地磁场强度。库仑发现, 即使在外界无振动干扰的情况下, 如果带上放大镜, 仍然能观察到磁针在作微小的振荡。他认为这是空气中的电造成的。为了克服大气电对磁针的静电感应影响, 他决定用金属丝来代替丝线或头发做悬线, 以便使滞留在磁针上的电荷排走。他当时进行这项改造未能成功, 困难在于金属丝的弹性太大, 以致不能实现地磁测量。正是这个问题, 引导他去研究金属丝的弹性, 建立正确的弹性理论和发明扭力秤。1784 年 9 月 4 日, 他在巴黎科学院宣读了“关于扭力和金属丝弹性的理论和实验研究”。^[3] 这篇论文讨论了两个问题: 一是在弹性范围内, 扭力、扭角和悬丝各参数的关系; 另一是在非弹性范围内, 产生扭力的原因及金属的内聚力。

我们感兴趣的只是第一个问题。库仑在这里修改了 1777 年的结论, 得到了关于扭力的正确的公式:

$$M = \frac{\mu D^4 \Theta}{l} \quad (2)$$

式中各符号与(1)相同。扭力力矩与悬丝直径四次方成正比是实际测量的结果。库仑采取这样的方法来测量悬丝的平均直径：把一根长丝缠在一根棒上，测量单位长度上的匝数。

库仑用以确立扭力定律的工具是他发明的扭力秤。这种扭力秤有一根上端固定的金属丝，丝下面悬有重物 P ，是用来产生张力以保持金属丝垂直，同时也提供一个转动惯量，保证扭力秤在简谐振动的环境下获得给定的振荡周期。

库仑发明的扭力秤种类很多，上述扭力秤是一种最简单的、只适用于测量扭力和扭角线性关系的装置，他还发明了用于测量电荷相互作用力、磁针相互作用力的扭力秤，再加上卡文迪许在1798年用于测量万有引力的米谢尔型扭力秤，在18世纪就总共出现了四种类型的扭力秤。尽管这些扭力秤适用范围各不相同，扭力秤的基本原理还只一个，即根据悬丝的扭角来测量扭力秤上负荷（电荷、磁极或质量）所受的外力。

3 库仑定律的发现

1785年，库仑用他设计的特殊扭力秤测定了电荷的相互作用力与电荷间的距离的关系。这种扭力秤和我们现在见到的示教仪器差不多。

库仑就是通过这样的实验发现了电排斥力与电荷间距离的平方反比关系，他的结论是：“两个带有同样类型电荷的小球之间的排斥力与两球中心之间的距离平方成反比”。^[4]

至于异号电荷的情况，是一个很棘手的问题。如用上述扭力秤测试，断然不成，因为两小球在电吸引力作用下很容易相互接触，造成调节的困难。库仑于是采用了扭力振荡方法来进行测量。他把一个带正电（负电）的木心球固定在一个位置上，将一个由一根金属丝悬吊的水平木杆固定在一个较远的位置上，在木杆的一端插有另一个大小相同的小球，使它带大小相等的负电（正电），木杆的另一端插有一个平衡重。实验过程中，水平木杆在电力和悬丝弹性力作用下产生振荡。库仑测得木杆的振荡周期与小

球之间的距离的关系为成正比关系，再根据作用力

$$F \propto \frac{1}{T^2} \quad (3)$$

便得到：

$$F \propto \frac{1}{d^2} \quad (4)$$

由此可见，库仑在确定电荷间相互作用力与距离的关系时使用了两种方法，对于同性电荷，使用的是静力学的方法；对于异性电荷，使用的是动力学的方法。

库仑继续用不同长度的磁针做实验，并注意修正实验中的误差，最后得到这样的结论：“在进行刚才我所说的必要的修正后，我总是发现磁流体的作用不管是吸引还是排斥都是按距离平方倒数规律变化的。”

这就是库仑用实验揭示电相互作用和磁相互作用的过程。这个规律后来就被命名为库仑定律。应当指出的是，库仑只是精确地测定了距离平方的反比关系，并把静电力和静磁力从形式上归纳于万有引力的范畴，但是他没有证明静电力与电量之积、静磁力与磁荷之积成正比。在他看来，这是不证自明的，是先验的知识。正如他说，这是“无需加以证明的”。只是后来高斯(C.F.Gauss, 1777-1855)从库仑定律出发反过来定义了电荷的单位^[5]。

4 库仑在历史中的地位

由于欧拉、丹尼尔·伯努利和让·伯努利、迪·杜尔(F. du Tour)关于涡旋磁流体的论文获得 1746 年的磁学奖，新笛卡尔主义的磁涡理论便在欧洲大陆各国（特别是法国）被普遍接受下来。他们的理论认为磁涡旋物质由磁体的一端进入，由磁体的另一端流出，磁体之所以在磁子午线上排列，是因为存在沿着磁子午线方向迅速流动的磁涡旋流体。这种理论与当时英国普遍流行的力学中的超距作用的思想是相互对立的。

库仑从 1777 年起就致力于破坏新笛卡尔主义者的磁学理论，

把超距作用引进磁学和电学。他指出,静电力和静磁力都来自远处的带电体和荷磁体,并不存在什么电流体和涡旋流体对带电物质和磁体的冲击;这些力都符合牛顿的万有引力定律所确定的关系。库仑的工作对法国物理学的影响还可以从稍后的拉普拉斯(P.S.Laplace, 1749-1827)的物理学简略纲领得到证实。这个物理学简略纲领最基本的出发点是把一切物理现象都简化为粒子间的吸引力和排斥力的现象,如天体的运动是组成天体的粒子之间的引力总和所产生的效应;电或磁的运动是荷电粒子或磁荷粒子之间的吸引力和排斥力所产生的效应。这种简化,便于把分析数学的方法运用于物理学。因此,理论物理学首先能在法国兴起^[6]。因为用数学方法模拟涡旋的困难,数学物理方法首先就在以超距作用思想为基础的物理学范围内发起。从这个角度来说,如果说拉普拉斯是法国19世纪理论物理学的创始人和伟大的组织者的话,那么库仑早在18世纪末就为这一发展扫清了哲学思想方面的障碍,奠定了这一路程的第一个里程碑。

参考文献

- 1 C.S.Gillmor, Coulomb and the Evolutions of Physics and Engineering in Eighteenth-Century France, Princeton. New. Jersey. 1971. P.140.
- 2 林文照. 指南针和中国古代的磁学知识. 载于北京: 中国青年出版社. 1978.
- 3 C.A.Coulomb, Memoire do Mathe matique et de Physique Presentes a l'Academie Royale des Sciences. Par divers savans. 1784 Paris. 1787. P.229-269
- 4 C.A.Coulomb. 同3 1785 Paris, 1788. P.572
- 5 [西德]劳厄(M.von Laue)著. 范岱年. 戴念祖译. 物理学史. 北京. 商务印书馆 1978, 第44页.
- 6 宋德生. 自然杂志. 41981, 443-446.

广西社会科学院 宋德生 (1983年第3期)

关于法拉第电场力及其应用

众所周知,关于电荷间的库仑力问题,历来有两种截然不同的观点:超距作用的观点,认为电荷间的库仑力是超距的勿需任何力的传递物质,因而电力做功而具有的能量完全由电荷自身所附载着的,否认场的存在和场的物质性。这种观点无法解释独立于电荷而存在的电场的传播,能量的传播这一基本事实。与之相反,我们的电场力的观点,认为电荷间的作用是由电荷与电场、电场与电场、电场与电荷等相互作用来实现的,电场如同电荷同样是一种物质,就是说电荷间的库仑力是通过这一特殊物质——电场来传递的,因而库仑力可归结为电场力,而且把电场力做功而具有的能量认为是电场所储存的。电场力的观点能够成功地解释所有电场的运动规律。

电场力的观点首先是由 Faraday 提出的,并由 Maxwell 做了严格的数学证明。

本文按 Faraday 电场力的观点,给出(为避免繁杂的数学推导)Faraday 电场力的普遍式,并举例说明它的应用,使这一普遍式具体化,强调电场力观点不仅使场的物质性更加具体深刻化而且计算电场力时也十分简便可行。

1 电场力的普遍式

Maxwell 以场论方法,经严格数学证明:在场中作用于某场区的力 $\int_V f \, dV$ 可以用施于该部分边界面 A 上的表面力所表示,即

$$\int_V f \, dV = \int_A S_n \, d\alpha \quad (1)$$

式中 S_n 为施于表面 A 上外法向为 $\vec{n}$ 的面积元 $d\alpha$ 的等效力。

这种等效力是个张量(二阶),可用符号 $\bar{S}$ 表示,并代入(1)式

$$\text{有 } f = \nabla \cdot \vec{S} \quad (2)$$

上述 (1)、(2) 式就是电场力普遍式。

2 Faraday 电场力的应用例

例一：先证明，在电场中以电力线构成的电力线管沿电力线的电场力为张力，其侧面上电场力为压力，并它们的单位面积上的力皆为 $\frac{1}{2} DE$ 。为此，在电场中任意取一面积元 $d\alpha$ ，其法向 $\vec{n}$ 与 y 轴一致，如图 1。假定电场强度 $\vec{E}$ 与 y 轴的夹角为 θ 角，并 $\vec{E}$ 在 xy 平面内。

由图可知 $\vec{E}$ 的各分量为

$$\left. \begin{aligned} E_x &= E \sin \theta \\ E_y &= E \cos \theta \\ E_z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

根据 $\vec{S}$ 的矩阵元，有关元素的表达式有 S_n , S_y 的分量如下

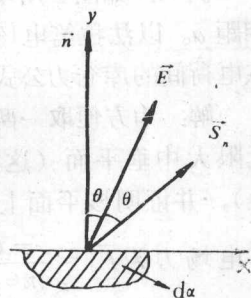


图 1

$$\begin{aligned} S_{xy} &= \epsilon_0 E_x E_y = \frac{E^2}{2} \epsilon_0 \sin 2\theta \\ S_{yy} &= \epsilon_0 E^2 \cos^2 \theta = \epsilon_0 \left(\frac{E^2}{2} - \frac{E^2}{2} \cos 2\theta \right) = \epsilon_0 \frac{E^2}{2} \cos 2\theta \\ S_{zy} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

故

$$\begin{aligned} |\vec{S}_n| &= [S_{xy}^2 + S_{yy}^2 + S_{zy}^2]^{1/2} \\ &= \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} DE \end{aligned} \quad (5)$$

可见 $\vec{S}_n$ 方向与 $\vec{E}$ 方向成 θ 角，与 $\vec{n}$ 方向成 2θ 角，如图 1 所示。

当 $\vec{E}$ 垂直于面积元，即与 $\vec{n}$ 方向一致时， $\theta = 0$ ，即 $\vec{S}_n = S_{yy} \vec{n} = \frac{1}{2} DE \vec{n}$ ，它是个纯张力；当 $\vec{E}$ 方向平行于面元，即与 $\vec{n}$ 方向垂直