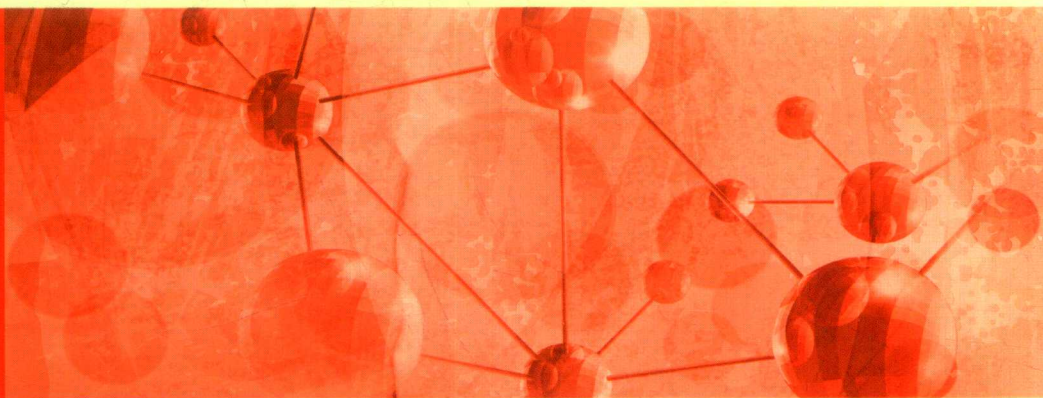


高校核心课程学习指导丛书

电磁学 分层进阶探究题集

DIANCIXUE
FENGENG JINJIE TANJIU TIJI

卢荣德 / 编著



中国科学技术大学出版社

◀ 高校核心课程学习指导丛书

电磁学 分层进阶探究题集

DIANCIXUE
FENCENG JINJIE TANJIU TIJI ▶

卢荣德 / 编著

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,内容丰富,涵盖了电磁学及其相关学科各个方面。本书对教学主干内容的基本概念和基本规律的准确表述等方面进行问答题测试,在一定程度上具备了高效完成间接经验知识内化的功能,将电磁学教学的内部效度与外部效度较好地统一起来,从而为在大学物理教学中开展 MOOC 提供了有益的试验与参考,为大学物理素质教育开辟了一条崭新的途径。

本书可供大学物理教师作为教学参考书使用,也可供大学生和中学物理教师参阅。

图书在版编目(CIP)数据

电磁学分层进阶探究题集/卢荣德编著. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-312-04347-5

I. 电… II. 卢… III. 电磁学—高等学校—习题集 IV. O441-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 062387 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号, 230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjsdxcbs.tmall.com>
印刷 安徽省瑞隆印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×1000 mm 1/16
印张 20.5
字数 425 千
版次 2018 年 11 月第 1 版
印次 2018 年 11 月第 1 次印刷
定价 49.00 元

前言

1. 夯实基础,培养能力,提高素质

以趣味思考题作为切入点引出知识点,将趣味性电磁问题有序地组织起来,可很好地夯实基础,激发学生的学习兴趣。由于趣味电磁问题是生活中自己亲历的一些现象和遇到的一些问题,客观而真实地反映了大量有趣的电磁现象,所以好奇心和求知欲油然而生。

当面对一个趣味电磁问题时,因找不到可拿来仿效的原型,也无既得的经验可作为指导,只能通过独立思考、不断尝试来探究问题。对趣味电磁问题进行进阶探究,这个探索过程将激发读者的各种想象、直觉、灵感等。在问题解决的过程中,会经历分析问题、选择模型、建构模型、分析模型等环节,需要使用假设、等效等多种科学方法,从而促进科学素养的提升。

情景探究题,从技术层面而言,要分析、解决问题,首先需要对情景问题进行抽象,建立理想模型,即建模。在这个过程中,发散性思维很重要。发散性思维是根据已有的信息,从不同的角度、不同的侧面探究各种答案的思维,它是创造性思维的核心。所建模型要不断地接近客观事物原型,这样才具有实际意义。从某种意义上讲,物理模型与电磁问题的区别在于反映客观事物的程度不同,与现实生活的距离不同。

分层进阶题试图使电磁学教学从知识传授模式中走出来,促进电磁学知识传授与专业学科交叉、应用的结合,从而使电磁学教学更符合其培养目标。该类题力图打破传统电磁学习题教学占据统治地位的格局,提出了解决电磁学教学外部效度的有效措施,拓展了电磁学教学的视野,拓宽了电磁学问题的范畴,进一步达到大学物理教学内、外部效度的统一,有助于更好地实现电磁学教学的目的。

多年一线教学实践证明本书对激发兴趣和提升教学效果是有效的,但同时也面临着许多问题,如情景探究题在教学中占的比重问题,分层作业中优化

使用测试的节省时间问题,本书能否与任何课堂效益平衡,此模式能否实现具有简单性和一致性的测试,需要在实践中摸索。

交叉学科的人才培养需要一种新的模式,通识教育尝试的落脚点应该是原始问题,相信本问答题集对教学质量的提高会有非常积极的意义。

2. 提升教学动力,散播学习乐趣

电磁学的教学中,常发现学生在学习的过程中似乎听懂了,可一做习题却往往“抓瞎”,学生的学习还存有许多概念错误与潜在盲点。学生习惯于只用眼、耳进行学习,懒得动手练习,导致“一听都懂,一做就错”。因此往往出现学生勉强拿到学分却不具备电磁学的运用能力的情况,更谈不上可以应用电磁学作为解决他们所学专业交叉问题的工具。

随堂分层进阶探究电磁学的目的主要是帮助学生学习,检测设计与检测结果回馈皆是为了提升教学动力、散播学习乐趣。而所谓的 GPA 却只是检测后的附带的产出,而非检测的目的所在。

透过观念的沟通与强调,赋予学生学习的责任。在随堂进阶式教学演练中,学生随课程进行听讲与操作,便能达到课程所设定的学习目标,最后更能顺利解答检测问题,为自己赢得成绩的点数;透过检测活动的反馈而让学习的责任被正向肯定,学生在课程中的付出与成果之间便有了较为合理的直接关系。反之,在课堂中没有尽到学习的责任,就达不到学习的成效,检测出的结果也不理想,连带影响自己的平时成绩,而此皆由学生自己承担。

认真上课以达到学习目标是学生应尽的责任,也是最有保障的学习方式,而教师则应尽力协助学生打通学习障碍。因此,学生的学习责任是教师对学生学习态度的重视,教学双方配合,才能使教学策略得到实施。

学生的学习通过“现学现用”的演练而增强,且立即由被动的听转换成手脑并用的全脑学习模式,大脑开始被活化并进行“问题导向式”的思考。学生开始主动向周围的同学发问,与同学展开讨论,仿佛进行着一场生存游戏;并且,学生也渴望得到老师的帮助。

3. 本书简介

本书包括习题和参考答案两个部分,每部分按静电、静磁、电磁、电路、电磁理论分为五章。

第一、二、三章涉及电磁学的基本定律,这是电磁学课程的主要内容,以电磁原始问题为主线,着眼于定律的建立,阐明电磁现象、问题提出、实验突破、

规律发现及应用范围和近代发展等,使读者通过学习明确的概念、鲜活的资料来夯实基础,通过明晰定律的内涵与外延、理论的结构与要素、实验方法的展开与应用来启迪智慧。

第四章是电磁学的主要应用,“网络和电路问题”可基于基尔霍夫定律,或基于电报方程来进行分析,有效地利用“路”理论简化对复杂电磁场问题的分析。

第五章涉及电磁学的电磁场理论,理所当然地成为电磁学教学的中心。准确把握关键性的突破、大师的研究方法和物理思想,从方法论的高度加深对电磁场理论的来源、结构、功能、特征等的认识。使学生领悟科学方法、科学思想、科学精神,增强电磁学的思想性和理论性,有利于培养一流的创新性人才。

以上是本书的框架,在内容取舍和行文方式上,则主要考虑教学的需要。本书是一本教学参考书,以大学物理教师与学生为主要读者对象,也可供中学物理教师和理工科的科技工作者参阅。

编者

目 录

前言	(i)
----------	-------

习 题

第 1 章 静电部分	(3)
1.1 真空中静电场的分层进阶探究题	(3)
1.1.1 真空中静电场的趣味思考题	(3)
1.1.2 真空中静电场的分层进阶题	(6)
1.1.3 真空中静电场的情景探究题	(23)
1.2 静电场中导体和电介质的分层进阶探究题	(31)
1.2.1 静电场中导体和电介质的趣味思考题	(31)
1.2.2 静电场中导体和电介质的分层进阶题	(35)
1.2.3 静电场中导体与电介质的情景探究题	(49)
1.3 静电能的分层进阶探究题	(55)
1.3.1 静电能的趣味思考题	(55)
1.3.2 静电能的分层进阶题	(56)
1.3.3 静电能的情景探究题	(64)
第 2 章 静磁部分	(67)
2.1 稳恒磁场的分层进阶探究题	(67)
2.1.1 稳恒磁场的趣味思考题	(67)
2.1.2 稳恒磁场的分层进阶题	(73)
2.1.3 稳恒磁场的情景探究题	(90)
2.2 静磁场中磁介质的分层进阶探究题	(99)
2.2.1 静磁场中磁介质的趣味思考题	(99)
2.2.2 静磁场中磁介质的分层进阶题	(102)
2.2.3 静电场中磁介质的情景探究题	(111)
第 3 章 电磁部分	(117)

3.1 电磁感应的分层进阶探究题 (117)

3.1.1 电磁感应的趣味思考题 (117)

3.1.2 电磁感应的分层进阶题 (122)

3.1.3 电磁感应的情景探究题 (139)

3.2 磁场能量的分层进阶探究题 (148)

3.2.1 磁场能量的趣味思考题 (148)

3.2.2 磁场能量的分层进阶题 (149)

3.2.3 磁场能量情景探究题 (158)

第4章 电路部分 (162)

4.1 稳恒电流的分层进阶探究题 (162)

4.1.1 稳恒电流的趣味思考题 (162)

4.1.2 稳恒电流的分层进阶题 (165)

4.1.3 稳恒电流的情景探究题 (174)

4.2 交流电路的分层进阶探究题 (177)

4.2.1 交流电路的趣味思考题 (177)

4.2.2 交流电路的分层进阶题 (179)

4.2.3 交流电路的情景探究题 (186)

第5章 电磁理论部分 (190)

5.1 电磁理论的分层进阶探究题 (190)

5.1.1 电磁理论的趣味思考题 (190)

5.1.2 电磁理论的分层进阶题 (191)

5.1.3 电磁理论的情景探究题 (202)

5.2 电磁波应用的分层进阶探究题 (205)

5.2.1 电磁波应用的趣味思考题 (205)

5.2.2 电磁波应用的分层进阶题 (206)

5.2.3 电磁波应用的情景探究题 (210)

参 考 答 案

第1章 静电部分 (219)

1.1 真空中静电场的分层进阶探究题 (219)

1.1.1 真空中静电场的趣味思考题 (219)

1.1.2 真空中静电场的分层进阶题 (225)

1.1.3 真空中静电场的情景探究题 (228)

1.2 静电场中导体和电介质的分层进阶探究题 (231)

1.2.1 静电场中导体和电介质的趣味思考题	(231)
1.2.2 静电场中导体和电介质的分层进阶题	(238)
1.2.3 静电场中导体与电介质的情景探究题	(240)
1.3 静电能的分层进阶探究题	(241)
1.3.1 静电能的趣味思考题	(241)
1.3.2 静电能的分层进阶题	(244)
1.3.3 静电能的情景探究题	(245)
第2章 静磁部分	(248)
2.1 稳恒磁场的分层进阶探究题	(248)
2.1.1 稳恒磁场的趣味思考题	(248)
2.1.2 稳恒磁场的分层进阶题	(257)
2.1.3 稳恒磁场的情景探究题	(259)
2.2 静磁场中磁介质的分层进阶探究题	(259)
2.2.1 静磁场中磁介质的趣味思考题	(259)
2.2.2 静电场中磁介质的分层进阶题	(264)
2.2.3 静电场中磁介质的情景探究题	(265)
第3章 电磁部分	(266)
3.1 电磁感应的分层进阶探究题	(266)
3.1.1 电磁感应的趣味思考题	(266)
3.1.2 电磁感应的分层进阶题	(273)
3.1.3 电磁感应的情景探究题	(277)
3.2 磁场能量的分层进阶探究题	(280)
3.2.1 磁场能量的趣味思考题	(280)
3.2.2 磁场能量的分层进阶题	(282)
3.2.3 磁场能量的情景探究题	(284)
第4章 电路部分	(285)
4.1 稳恒电流的分层进阶探究题	(285)
4.1.1 稳恒电流的趣味思考题	(285)
4.1.2 稳恒电流的分层进阶题	(291)
4.1.3 稳恒电流的情景探究题	(292)
4.2 交流电路的分层进阶探究题	(292)
4.2.1 交流电路的趣味思考题	(292)
4.2.2 交流电路的分层进阶题	(298)
4.2.3 交流电路的情景探究题	(302)
第5章 电磁理论部分	(303)

5.1 电磁理论的分层进阶探究题 (303)

5.1.1 电磁理论的趣味探究题 (303)

5.1.2 电磁理论的分层进阶题 (305)

5.1.3 电磁理论的情景探究题 (306)

5.2 电磁波应用的分层进阶探究题 (307)

5.2.1 电磁波应用的趣味思考题 (307)

5.2.2 电磁波应用的分层进阶题 (311)

5.2.3 电磁波应用的情景探究题 (313)

参考文献 (317)

习 题

第 1 章 静 电 部 分

1.1 真空中静电场的分层进阶探究题

1.1.1 真空中静电场的趣味思考题

序号	1	2	3	4	5	6	7
知识点	电荷	库仑定律	电场强度	电力线	电通量	高斯定理	环路定理与电势
题号	1.1.1~ 1.1.3	1.1.4~ 1.1.8	1.1.9~ 1.1.14	1.1.15、 1.1.16	1.1.17~ 1.1.19	1.1.20~ 1.1.24	1.1.25~ 1.1.35

1. 电荷(Q)

【例 1.1.1】 参考 Coulomb 的电引力测量实验,现有放在可移动的绝缘支架上的两个大小不等的金属球,如何使两个球带等量异号电荷(可用丝绸摩擦过的玻璃棒,但不使它和两球接触)?

【例 1.1.2】 在做带电玻璃棒吸引干燥碎纸屑实验时,常常观察到“纸屑接触到玻璃棒后往往又剧烈地跳离棒”的现象,如何解释?

【例 1.1.3】 用丝绸摩擦铜棒的实验中,常常发现“铜棒不能带电”;而戴上橡皮手套,握着铜棒和丝绸摩擦,却发现“铜棒带电”,如何解释?

2. 库仑定律

【例 1.1.4】 Coulomb 电引力单摆实验的原理是什么? Coulomb 从他的实验中得出了什么结论?

【例 1.1.5】 Coulomb 定律的成立条件(真空与静止)是否必要? 能否放宽? 为什么?

【例 1.1.6】 Coulomb 定律的三个主要内容是什么? 分别来自何处? 其定律适用范围是什么?

【例 1.1.7】 静止电荷间的 Coulomb 力遵循牛顿第三定律,而运动的电荷不遵循,为什么?

【例 1.1.8】 作为电磁学中引入的第一个基本概念,电荷有何基本特征?

3. 电场强度(E)

【例 1.1.9】 在地球表面上通常有一竖直方向的电场,电子在此电场中受到一个向上的力,电场强度的方向是朝上还是朝下?

【例 1.1.10】 在一个带正电的大导体附近 P 点放置一个试探点电荷 q_0 ($q_0 > 0$),实际测得它受力 F 。考虑到电荷量 q_0 不是足够小,则 $\frac{F}{q_0}$ 比 P 点场强 E 大还是小? 若大导体带负电,情况如何?

【例 1.1.11】 两个点电荷相距一定距离,告知在这两个点电荷连线的中点处电场强度为 0。你对这两个点电荷的电荷量和符号可做什么结论?

【例 1.1.12】 一个半径为 R 的均匀带电圆环,其中心的电场强度如何? 其轴线上场强方向如何?

【例 1.1.13】 在物理教材中, $E = \frac{F}{q_0}$ 与 $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$ 两式有何区别与联系?

【例 1.1.14】 一个均匀带电的球形橡皮气球,在其被吹大的过程中,下列各场点场强将如何变化?

(1) 气球内部; (2) 气球外部; (3) 气球表面。

4. 电力线

【例 1.1.15】 一般而言,电力线代表点电荷在电场中运动的轨迹吗? 为什么?

【例 1.1.16】 空间里法拉第的电力线为何不相交?

5. 电通量(Φ_E)

【例 1.1.17】 一个点电荷 q 放在球形 Gauss 面中心处,下列情况下穿过 Gauss 面的电通量的情况如何?

(1) 第二个点电荷放在 Gauss 球面外附近;

(2) 第二个点电荷放在 Gauss 球面内;

(3) 将原来的点电荷移离 Gauss 球面的球心,但仍在 Gauss 球面内。

【例 1.1.18】 (1) 若上题中 Gauss 球面被一个体积减小一半的立方体表面所代替,而点电荷在立方体的中心,则穿过该 Gauss 面的电通量是多少? (2) 通过这立方体六个表面之一的电通量是多少?

【例 1.1.19】 在一个绝缘不带电的导体球的周围作一同心 Gauss 面 S 。在将一正点电荷 q 移至导体表面的过程中,试定性地回答:

(1) A 点的场强大小和方向怎样变化? (2) B 点的场强大小和方向怎样变化? (3) 通过 S 面的电通量如何变化?

6. 高斯定理

【例 1.1.20】 求均匀带正电、无限大平面薄板的场强时, Gauss 面为什么取两底面与带电面平行且对称的柱体形状? 具体说: (1) 为什么柱体两底面要对于带电面对称? 不对称行不行? (2) 柱体底面是否需要是圆的? 面积取多大合适? (3) 为了求距带电平面 x 处的场强, 柱面应取多长?

【例 1.1.21】 求一对带等量异号或同号电荷、无限大平行平板间的场强时, 能否只取一个 Gauss 面?

【例 1.1.22】 已知一 Gauss 面上场强处处为 0, 则在它所包围的空间内任一点都没有电荷吗?

【例 1.1.23】 若 Coulomb 定律中的指数不恰好是 2 (如为 3), Gauss 定理是否还成立?

【例 1.1.24】 下列几种说法是否正确? 为什么?

- (1) Gauss 面上电场强度处处为 0 时, Gauss 面内必定没有电荷。
- (2) Gauss 面内净电荷数为 0 时, Gauss 面上各点的电场强度 E 必为 0。
- (3) 穿过 Gauss 面的电通量为 0 时, Gauss 面上各点的电场强度 E 必为 0。
- (4) Gauss 面上各点的电场强度 E 为 0 时, 穿过 Gauss 面的电通量一定为 0。

7. 环路定理与电势 (U)

【例 1.1.25】 假如电场力的功与路径有关, 定义电位差的公式还有没有意义? 从原则上说, 这时还能不能引入电位差、电位的概念?

【例 1.1.26】 电场中两点电位的高低是否与试探电荷正负有关? 电位差是否与试探电荷电量有关?

【例 1.1.27】 沿着电力线移动负试探电荷时, 它的电位能是增加还是减少?

【例 1.1.28】 说明电场中各处的电位永远逆着电力线方向升高。

【例 1.1.29】 (1) 将初速度为 0 的电子放在电场中时, 在电场力作用下, 这电子是向电场中高电位处跑还是向低电位处跑? 为什么? (2) 说明: 无论对正负电荷来说, 仅在电场力作用下移动时, 电荷总是从电位能高处移向电位能低处。

【例 1.1.30】 可否规定地球的电位为 $+100\text{ V}$, 而不规定它为 0? 这样规定后, 对测量电位、电位差的数值有什么影响?

【例 1.1.31】 若 A 、 B 两导体都带负电, 但 A 导体比 B 导体电位高, 当用细导线把二者连接起来后, 试分析电荷流动的情况。

【例 1.1.32】 在家庭厨房装饰中, 台面常常用不锈钢, 其下面用原木做橱柜。平时使用时也很安全, 但到秋冬季节, 有时会有“触电”现象发生, 使家庭的女主人们“心惊肉跳”, 深受其扰。试阐明其原因并给出解决办法。同样, 在科学实验中常把仪器整机机壳作为参考点, 需要对机壳进行怎样的处理, 才能使人站在地上可任意接触机壳?

【例 1.1.33】 场强 E 与电势面对的问题很多, 试举例说明之:

- (1) 场强 E 大的地方,是否电位就高? 电位高的地方是否场强就大?
 - (2) 带正电的物体的电位是否一定是正的? 电位等于 0 的物体是否一定不带电?
 - (3) 场强 E 为 0 的地方,电位是否一定为 0? 电位为 0 的地方,场强是否一定为 0?
 - (4) 场强 E 大小相等的地方,电位是否相等? 等位面上场强的大小是否相等?
- 【例 1.1.34】 两个不同电位的等位面是否可以相交? 同一等位面是否可以与自身相交?

【例 1.1.35】 E 与 U 描述电场同一对象时,其微分关系式为 $E = -\nabla U$,试分析下列问题:

- (1) 在电势不变的空间内,电场强度是否为 0?
- (2) 在电势为 0 处,电场强度是否一定为 0?
- (3) 在电场强度 E 为 0 处,电势是否一定为 0?

8. 综合问答

【例 1.1.36】 库仑力与距离平方成反比是库仑定律的主要内容。对此至今仍有人在进行精确的实验检验。试分析问题:若这一定律是精确的,那么孤立带电的导体球壳达到静电平衡时,其电量将均匀分布在外球面上,球壳内电场强度 E 处处为 0。

1.1.2 真空中静电场的分层进阶题

1.1.2.1 概念测试题

序号	1	2	3	4	5	6
知识点	库仑定律	电场强度	电力线	电通量	高斯定理	环路定理与电势
题号	1.1.37~ 1.1.41	1.1.42~ 1.1.44	1.1.45、 1.1.46	1.1.47	1.1.48~ 1.1.55	1.1.56~ 1.1.58

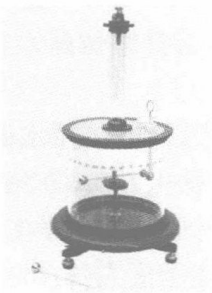


图 1.1 库仑扭秤实验装置

1. 库仑定律

【例 1.1.37】 如图 1.1 所示的实验装置为库仑扭秤,细银丝的下端悬挂一根绝缘棒,棒的一端是一个带电的金属小球 A ,另一端有一个不带电的球 B , B 与 A 所受的重力平衡。当把另一个带电的金属球 C 插入容器并使它靠近 A 时, A 和 C 之间的作用力使悬丝扭转,通过悬丝扭转的角度可比较出力的大小,便可探寻力 F 与距离 r 和电荷量 q 的关系。该

实验中用到了下列哪些方法? ()

A. 微小量放大法 B. 控制变量法 C. 极限法 D. 逐差法

【例 1.1.38】 根据库仑力与电荷间距离的平方成反比的规律,库仑设计了一个电摆实验,其装置如图 1.2 所示, G 为绝缘金属球, lg 为虫胶做的小针,悬挂在标尺下的蚕丝 sc 下端, l 端放一镀金小圆纸片, G 、 l 间的距离可调。实验时,使 G 、 l 带异号电荷,则小针受到电力作用可在水平面内做小幅摆动。测量出 G 、 l 在不同距离时, lg 摆动同样次数的时间,计算出每次振动的周期。

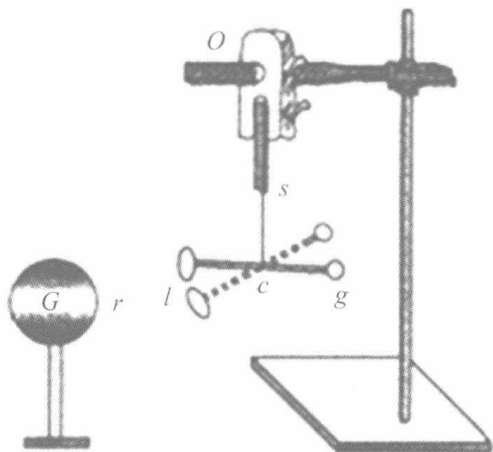


图 1.2 库仑电摆实验装置

库仑受万有引力定律的启发,把电荷之间的吸引力和地球对物体的吸引力加以类比,猜测电摆振动的周期与 l 端带电小纸片到绝缘带电金属球 G 的距离成正比。库仑记录了三次实验数据,如表 1.1 所示。

表 1.1 库仑记录的实验数据

实验次数	小纸片到金属球心的距离	所需的时间
1	9	20
2	18	41
3	24	60

关于本实验及其相关内容,有以下几种说法:

(1) 根据牛顿万有引力定律和单摆的周期公式可以推断:地面上单摆振动的周期 T 正比于摆球离开地球表面的距离 h 。

(2) 从表格中第 1、2 组数据看,电摆的周期与纸片到球心之间的距离可能存在正比例关系。

(3) 假如电摆的周期与带电纸片到金属球球心的距离成正比,则三次测量的周期之比应为 20 : 40 : 53,但是实验测得值为 20 : 41 : 60,因此假设不成立。