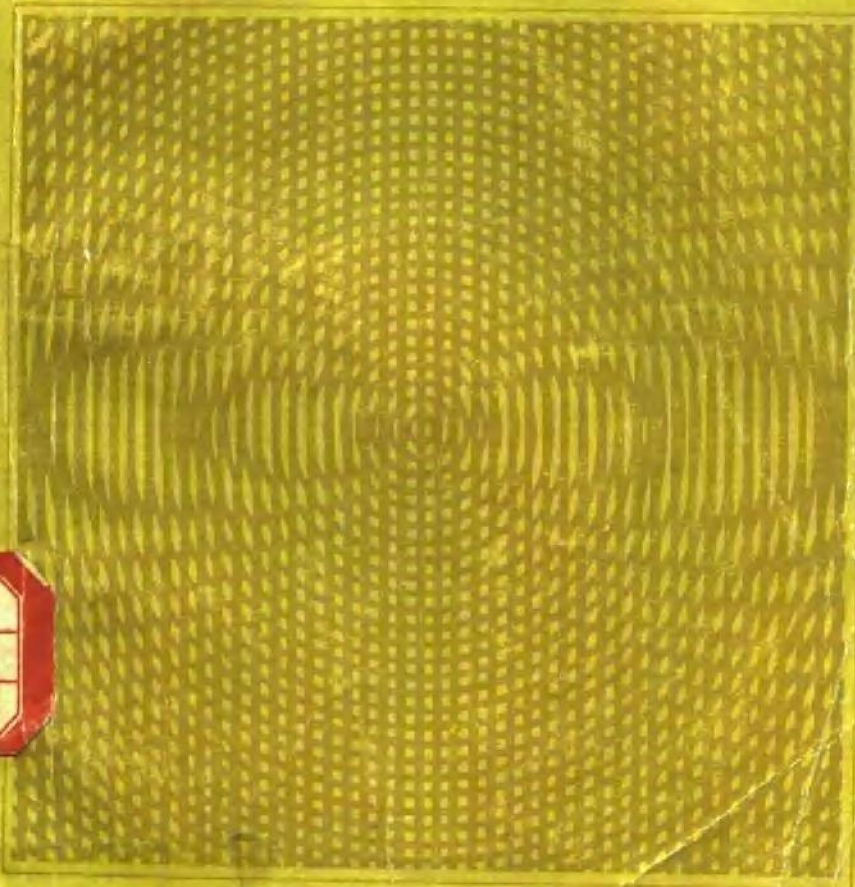


电磁学思考题 分析与解答

四川师范学院电磁学教研组



上海科学技术出版社

040397

电磁学思考题分析与解答

四川师范学院电磁学教研组



科工委学院802 2 0037280 2

上海科学技术出版社

电磁学思考题分析与解答

主 编 张茂柏 封小超
编 者 车士琦 邓永元 方华先 文道友
王满华 李纯一 邹昌淑 杨能富
易良雨 敖福生 熊 湘
审 阅 王忠亮

封面设计 卜允台

电磁学思考题分析与解答

四川师范学院电磁学教研组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

总发行所上海发行所发行 江苏扬中印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 10.375 字数 227,000

1984 年 9 月第 1 版 1984 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1—22,700

统一书号: 13119·1172 定价: 1.20 元

序 言

这是一本以提出问题、分析问题和解决问题的方式阐述电磁学基本概念和规律的教学参考书。

在物理教学中,我们常常看到,有的同学基本内容似乎已经懂了,遇到实际问题却往往束手无策;有的同学对计算性问题并不觉得困难,对概念性问题却往往没有把握。针对这些问题,开展思考题的讨论,是一种较好的途径。它对于深入理解物理学的基本概念和规律,提高分析问题和解决问题的能力,是有帮助的。

这本书的初稿,曾于1980年在部分兄弟院校内部交流,征求意见。这次修改,在每一章的前面对容易混淆的问题进行了概述;在每一章的后面,留有一部分问题供读者自己思考,并附有提示;在思考题解答部分,对一些比较疑难的问题,进行较详细的分析,而对一般性问题,则只给予简要的回答。

本书可供理工科院校师生及中学物理教师参考;也可供自学青年阅读。鉴于水平有限以及解答思考题本身的困难,缺点错误一定不少,我们恳切地期待读者们批评指正。

编 者

目 录

序

第一章 静电场	1
一、容易混淆的问题	1
二、思考题分析与解答	5
三、提示性思考题	42
第二章 静电场中的导体	50
一、容易混淆的问题	50
二、思考题分析与解答	52
三、提示性思考题	97
第三章 静电场中的电介质	105
一、容易混淆的问题	105
二、思考题分析与解答	106
三、提示性思考题	129
第四章 稳恒电流	133
一、容易混淆的问题	133
二、思考题分析与解答	135
三、提示性思考题	167
第五章 稳恒磁场	171
一、容易混淆的问题	171
二、思考题分析与解答	173
三、提示性思考题	213
第六章 电磁感应和暂态过程	217
一、容易混淆的问题	217

二、思考题分析与解答	224
三、提示性思考题	270
第七章 磁介质	277
一、容易混淆的问题	277
二、思考题分析与解答	279
三、提示性思考题	302
第八章 电磁场与电磁波	305
一、容易混淆的问题	305
二、思考题分析与解答	306
三、提示性思考题	316
第九章 电磁学单位制	318
一、思考题分析与解答	318
二、问题与提示	323

第一章 静 电 场

电荷 电场 $q \rightarrow E = \frac{\mathbf{F}}{q} \rightarrow \mathbf{F} = \frac{q_1 q_2 \mathbf{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$ (库仑定律)	$\left\{ \begin{array}{l} \oiint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = q/\epsilon_0 \\ \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0 \end{array} \right.$	电位 $U = \frac{W}{q}$
$\xrightarrow{\hspace{10em}} \mathbf{E} = -\nabla U \xleftarrow{\hspace{10em}}$		

一、容易混淆的问题

1-1. 场强 $\mathbf{E}$ 和电位 U 只依赖于场的性质。

有人以为, 由定义式 $\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$ 、 $U = \frac{W}{q}$, 场强和电位都与试验电荷的大小有关, 这是不正确的。首先应当清楚, $\mathbf{E}$ 和 U 都是描写电场自身性质的物理量, 只要场一定, 场中任意点的场强和电位(零点选定后)就确定了。引入试验电荷 q 仅仅是为了量度它们。若 q 增加一倍, 它受的力和具有的位能也会相应增加一倍, 对于同一点来说, $\mathbf{F}$ 和 W 与 q 的比值都是一个常数, 与 q 的大小无关。

这里的 $\mathbf{E}$ 和 U , 是场源电荷的场在 q 所处位置的场强和电位。因此在引入试验电荷时就要求 q 足够小, 不影响场源电荷激发的电场分布, 即 $\mathbf{E}$ 和 U 等于未引入 q 时该点的场

强和电位. 若 q 不够小, 就要影响场源电荷的分布, 则 $\mathbf{E}$ 和 U 就是重新分布后场源电荷决定的场强和电位.

1-2. 高斯定理 $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$ 中的 q 和 $\mathbf{E}$.

由定理的证明过程可知, 其中的 q 只是高斯面所包围的区域内部, 所有场源电荷的代数和, 不包括闭合面外的电荷. 而其中的 $\mathbf{E}$, 是高斯面上各点的场强, 它是由闭合面内外所有电荷共同激发的, 只不过面外电荷对 $\mathbf{E}$ 在整个闭合面的总通量没有贡献, 但它对面上各点的场强是有影响的.

1-3. 比较电场力 $\mathbf{F}$ 、场强 $\mathbf{E}$ 、电位能 W 、电位 U .

	$\mathbf{F}$	$\mathbf{E}$	W	U
区 别	(1) 描写相互作用力	(1) 描写场的性质	(1) 描写相互作用能	(1) 描写场的性质
	(2) 与场和电荷都有关	(2) 只与场本身有关	(2) 与场、电荷和选定的参考点有关	(2) 只与场和人为选定的参考点有关
	(3) 单位: 牛顿	(3) 单位: 牛/库或伏/米	(3) 单位: 焦耳	(3) 单位: 焦/库或伏
联 系	(1) $\mathbf{E}$ 在数值上等于单位试验电荷受的电场力 F (2) $\mathbf{E}$ 的方向, 与正电荷所受电场力方向相同 (3) 任意电荷受的电场力 $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$		(1) U 在数值上等于单位试验电荷的电位能 W (2) 都是标量, 都与参考点选择有关 (3) 任意电荷的电位能 $W = qU$	

1-4. 电场力作功与反抗电场力作功.

功是能量变化的量度. 电场力作功, 电位能减少, 电能转变成其他形式的能量; 外力反抗电场力作功, 电位能增加, 其他形式的能量转变成电能. 如果用电场力作功计算电位, 起点是待求电位的场点, 终点是选定的零点; 如果用外力反抗电

场力做功计算电位,则起点是零点,终点是场点。二者是等效的,因为反抗电场力的外力,总是与电场力大小相等,方向相反。

1-5. 判断电位能、电位的正负与高低。

判断正负,必须首先选定参考零点。将给定电荷(可正可负)移至零点,根据电场力做功的正负,决定该电荷在给定点电位能的正负;将单位正电荷(必须是正)从给定点移至零点,电场力做功的正负,决定给定点电位的正负。

比较高低,与零点选择无关。将给定电荷(可正可负)从 A 点移至 B 点,若电场力作正功,则 $W_A > W_B$; 电场力作负功, $W_A < W_B$ 。将单位正电荷(必须是正)从 A 移至 B , 电场力作正功, $U_A > U_B$; 电场力作负功, $U_A < U_B$ 。

1-6. 体电荷 ρ 、面电荷 σ 与线电荷 λ 。

实际电荷都是呈体分布的,用体电荷密度,即某点附近单位体积内的电量 $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta V}$ 表示,其中 ΔV 是一个宏观上充分小,微观上充分大(包含大量电子质子)的概念。当问题需要研究电荷分布区域内的电场时,必须用体电荷密度。

若电荷分布在一个薄层内,薄层的厚度比起到场点的距离充分小,以至于电荷在薄层纵深方向的变化对薄层外电场的影响可以忽略,而问题又不需要研究薄层内的电场,可将该薄层抽象成为一个没有厚度的几何面,电荷分布用面电荷密度,即某点附近单位面积上的电量 $\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta S}$ 表示。

若电荷分布在一根细棒上,棒的截面比起到场点的距离充分小,以至于电荷在截面方向上的变化对棒外电场的影响可以忽略,而问题又不需要研究棒内的电场,可将该细棒抽象成一根没有粗细的几何线,电荷分布用线密度,即某点附近单

位长度上的电量 $\lambda = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta l}$ 表示。

1-7. 库仑定律与高斯定理、环路定理的关系。

库仑定律是直接 from 实验中总结出来的，是整个静电学理论的实验基础。由于它只是从电荷相互作用的角度研究静电现象，局限性较大，只适用于相对静止的点电荷的场。高斯定理和环路定理是库仑定律的推论，由于它们是用场的观点，从两个不同的侧面，对静电场的基本性质给出了完整的描述，适用于一切场源电荷激发的场。

当然，从另外一个角度，也可以先从实验中总结出高斯定理和环路定理，再由它们导出库仑定律。比如，可根据检验空腔导体内不带电的实验，得到高斯定理。再把高斯定理用于中心置一点电荷的闭合球面，即可导出库仑定律。因此高斯定理和环路定理又叫做静电场的第一、第二定律，这时库仑定律就只处于一种推论的地位。

1-8. 场强和电位的计算。

计算场强的方法有三种。(1)用库仑定律计算：点电荷 $E = \frac{Q\mathbf{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$ ，体电荷 $E = \iiint \frac{\rho dV}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0$ ，它适用少数点电荷或矢量积分易求的体电荷。(2)用高斯定理计算： $\oiint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$ ，这种方法较简单，但只适用于电场分布具有高度对称性的情形。(3)用场强与电位的关系计算： $\mathbf{E} = -\nabla U$ ，因电位是标量，先求电位再求场强较方便。

计算电位的方法有两种。(1)用库仑定律计算：点电荷 $U = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ ，体电荷 $U = \iiint \frac{\rho dV}{4\pi\epsilon_0 r}$ ，此方法适用于 $\mathbf{E}$ 未知且难求的情形。(2)用移动电荷做功计算： $U = \int_{p_1}^{p_2} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ ，其中

p_1 是待求电位的点, p_2 是人为选定的零点, 此方法适用于 E 已知或易求的情形.

1-9. 电力线与等位面.

它们都是假想的辅助概念. 电力线的方向表示场强的方向, 电力线的疏密表示场强的大小, 两条电力线不可相交, 电力线一般与电荷运动轨迹不重合; 由高斯定理, 电力线起于正电荷止于负电荷, 在没有电荷的地方不可中断; 由环路定理, 电力线不可闭合; 由电位与场强的关系, 沿电力线方向电位越来越低, 电力线与等位面处处正交, 等位面越密的地方电力线也越密.

应当注意, 场强只与电位沿某方向变化快慢有关, 与电位在某点取值无直接联系. 电位很高, 但变化很慢甚至不变, 该点场强可以很小甚至为零; 某点电位很小甚至为零, 若沿某方向变化很快, 则该点场强可以很大.

二、思考题分析与解答

1-10. 给你两个金属球, 装在可搬动的绝缘支架上. 试指出使这两个球带等量异号电荷的方法. 你可以用丝绸摩擦过的玻璃棒, 但不使它和两球接触. 你所用的方法是否要求两球大小相等?

答 先使两球接地使它们不带电, 再绝缘后让两球接触, 把摩擦后带正电的玻璃棒靠近金属球的一侧时, 由于静电感应, 靠近玻璃棒的球感应负电荷, 较远的球感应等量正电荷. 然后把两球分开, 再移去玻璃棒, 此二金属球就带上等量异号电荷.

本方法不要求两球大小相等. 因为它们本来不带电, 根

据电荷守恒定律,用上法使它们带电后,无论两球大小是否相等,其总电荷仍应为零,故它们所带电荷必定等量异号。

1-11. (1) 若将一个带正电的金属小球移近一个绝缘的不带电导体时(图 1-11a), 小球受到吸引力还是排斥力?

(2) 若小球带负电(图 1-11b), 情况将如何?

(3) 若当带负电的小球在导体近旁(但未接触)时, 将导体远端接地(图 1-11c), 情况如何?

(4) 若将导体近端接地(图 1-11d), 情况如何?

(5) 若导体在未接地前与小球接触一下(图 1-11e), 将发生什么情况?

(6) 若将导体接地, 小球与导体接触一下后(图 1-11f), 将发生什么情况?

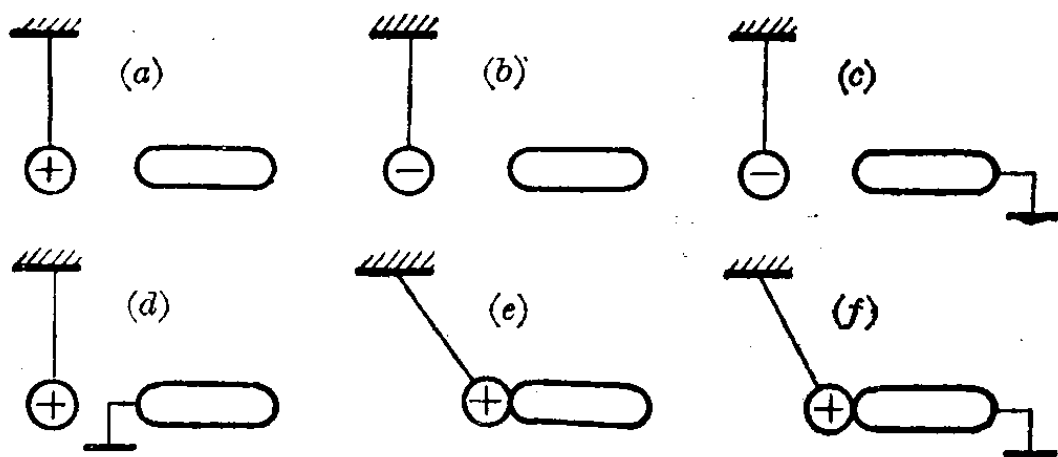


图 1-11

答 (1) 带正电的小球移近时, 导体上靠近小球的一端感应出负电荷, 远端感应出等量正电荷。由于感应负电荷对小球的吸引力比感应正电荷的排斥力大, 故小球所受合力为吸引力。

(2) 小球带负电时, 导体上感应正负电荷的分布与上相反, 小球所受合力仍为吸引力。

(3) 导体远端接地时, 感应正电荷受小球负电荷吸引到

近端,而感应负电荷排斥入地,导体上就只剩正电荷;同时,为保持导体内部场强为零,导体上的正电荷比未接地时多,故小球受到的吸引力比以前大。

(4) 导体近端接地时,大地中部分负电荷被小球吸引到导体近端,使近端负电荷增加。这时,导体上正电荷由于所受吸引力增大而向负电荷处移动,它们中和后使远端的正电荷减少。随着大地负电荷的移入,远端的正电荷不断被中和,最后减少到零。因此,当平衡时,导体上只在近端有负电荷,小球受到的仍是吸引力。

(5) 小球与导体接触时,它的电荷有部分传给导体,两者都带正电,它们由于相互排斥而分开。

(6) 小球与导体接触时,球上正电荷全部经导体入地,最后小球与导体都不带电,小球回复到不受力时的位置。

1-12. 有人说一根绝缘棒上带有电荷。你怎样证明它确实带电,并确定这电荷的符号?

答 利用验电器。先把绸子摩擦过的玻璃棒与验电器接触,验电器的金箔因带正电而张开一定角度。然后将待测绝缘棒逐渐靠近此验电器的金属球,如绝缘棒带正电,则金箔上就感应出正电荷,张角增大(如图1-12);若带负电张角减少;若不带电则张角不变。

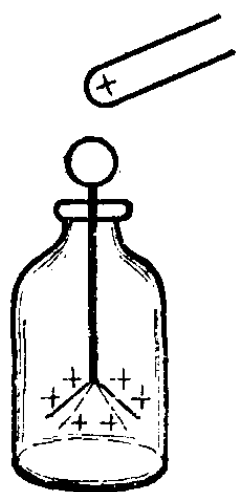


图 1-12

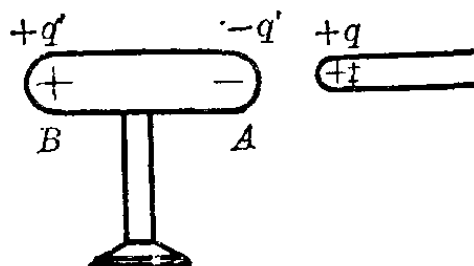


图 1-13

1-13. 如把一根带电玻璃棒拿近未带电的绝缘金属棒的一端,如图 1-13 所示,电子就被吸引到 A 端.既然金属棒中几乎有取之不尽的电子来源,电子流动为何会停止下来?

答 玻璃棒靠近时,金属棒内的电子在玻璃棒电场 E_0 作用下,逆电场方向运动,在靠近玻璃棒的 A 端因电子堆积而感应出电荷 $-q'$, B 端感应电荷 $+q'$. 由于金属棒内电荷的重新分布,产生感应电场 E' ,它在导体内的方向总是与 E_0 相反. 随着电子的移动, q' 及 E' 不断增大,当 $E' = E_0$ 时,导体内各点的总场强为零,因此电子的流动就会停止下来.

1-14. (1) 一根带正电的玻璃棒吸引一个悬挂着的物体,能否断定此物体带了负电?

(2) 一根带正电的玻璃棒排斥一个悬挂着的物体,能否断定此物体带了正电?

答 (1) 不能. 若悬挂物体原来不带电,当带正电的玻璃棒靠近时,该物体无论是金属导体还是电介质,它们在玻璃棒电场作用下,都会在靠近玻璃棒的一端感应负电荷,在较远的一端感应正电荷. 由于玻璃棒的电场在近处比远处强,故玻璃棒对悬挂物体近端的吸引力比对远端的排斥力大,因而对悬挂物体的合力都为吸引力.

(2) 能. 当悬挂物体原来带负电或不带电时,带正电的玻璃棒都只会吸引而不会排斥它,因此,只有当悬挂物体带正电时,带正电的玻璃棒才会排斥它.

1-15. 为何在潮湿天气不容易做好静电实验?

答 在静电实验中,场强一般很大,电压一般很高. 比如,用丝绸摩擦过的有机玻璃棒,表面周围的场强可达 100 万伏/米以上,相对于地面的电压可达数万伏. 要维持它上面的电荷,对实验用具和周围空气的绝缘性能就要求很高.

如果天气潮湿,空气中含水分和杂质较多,绝缘性能大大下降,很容易漏电,电荷维持的时间较短,故效果差,不容易做好静电实验.

□ **1-16.** (1) 电偶极矩为 $\mathbf{p}$ 的电偶极子, 位于均匀外电场 $\mathbf{E}$ 的方向上, 它是稳定平衡还是不稳平衡?

(2) 如果 $\mathbf{p}$ 与 $\mathbf{E}$ 的方向相反, 试讨论其平衡性质.

答 (1) 此为稳定平衡. 因 $\mathbf{p}$ 与 $\mathbf{E}$ 方向一致, $\mathbf{L} = \mathbf{p} \times \mathbf{E} = 0$, 并且, 当偶极子偏离此方向时, 都要受到一个力矩的作用, 使其回到原来的平衡位置.

(2) 此为不稳平衡. 虽然 $\theta = \pi$, $\mathbf{L} = \mathbf{p} \times \mathbf{E} = 0$, 电偶极子处于平衡状态, 但一旦偶极子偏离此方向时, 都要受到一个力矩的作用, 使其偏离原来的平衡位置.

1-17. 电偶极子在均匀电场中和在不均匀电场中受到作用的情况有何不同?

答 在均匀电场中, 电偶极子只可能受到力矩的作用而合力为零, 因此它只会发生转动而不会平动.

在非均匀电场中, 电偶极子不仅可受到力矩的作用, 而且合力一般不为零, 电偶极子不仅可发生转动, 还会向电场强的方向移动.

1-18. 比较场与实物的同和异?

答 最主要的共同点, 它们都是物质存在的形式, 是一种“客观实在, 不依赖于人们的意识而存在着, 为人们的意识所反映”. 这里有两个要点: 一是客观存在的, 不以人们的意志为转移; 二是可知的, 能够为人们的意识所反映.

除此之外, 还有一系列共同之处. 例如: (1) 与实物存在形式的多样性一样, 场的存在形式也是多样的, 有电磁场、引力场、核场等; (2) 与实物一样, 场也有质量、能量、动量、角动

量; (3) 与实物一样, 在场内进行的物理过程, 也遵从质量守恒、能量守恒、动量守恒和角动量守恒等普遍规律; (4) 与实物一样, 场也不能创生, 不能消灭, 只能由一种形式转变为另一种形式, 等等.

最主要的区别, 实物是由原子分子组成的, 具有不可入性. 一种实物的原子分子占据的空间, 不能同时为其他实物的原子分子所占有. 而场所占据的空间, 能为其他场同时占有, 而且互不发生影响.

除此之外, 还有很多其他区别. 例如: (1) 实物的质量密度较大 (10^3 千克/米³), 而场的质量密度很小 (10^{-23} 千克/米³); (2) 实物不能达到光速, 场一般以光速传播; (3) 实物受力可产生加速度, 场不能被加速; (4) 实物可作参考系, 场不能当参考系, 等等.

1-19. 比较点电荷与试验电荷.

答 点电荷是实际带电体在一定条件下的抽象模型. 当带电体的线度比起所考察的距离足够小, $r \gg d$, 以致于带电体的进一步减小, 对我们所讨论的问题, 在实验要求的精度范围内不带来影响时, 相对说来可以把它视为一个点. 但它本身不一定很小, 其电量 q 也可以很大.

试验电荷是我们用来测定电场的辅助工具. 为了能够借助它研究电场中各点的性质, 要求它的几何线度必须足够小, 以致于在它所占的微小区域内, 电场可视为均匀的; 把它引入以后, 为了不改变原来电场的大小和分布, 要求它的电量 q_0 也必须足够小.

1-20. 有两个电量不相等的点电荷, 它们相互作用时, 是否电量大的电荷受力大? 电量小的电荷受力小? 试说明理由.

答 两个点电荷之间的库仑力，是一对作用力和反作用力，每一电荷所受的力 F 与 q_1q_2 的乘积成正比，而不与某一电荷的电量成正比。故此二电荷所受作用力相同。

1-21. 在真空中两个点电荷间的相互作用力，是否会因其他一些电荷被移近而改变？

答 由库仑定律知，当两点电荷电量不变时，其相互作用力仅与它们间的距离有关。因此，若此二点电荷是固定的，它们间的距离就不会因其他电荷的移近而变化，其相互作用力也不会改变。反之，若此二点电荷是可动的，当其他电荷移近时，二点电荷因受其他电荷作用而发生移动，其间距离变化，它们的相互作用力也随之改变。

1-22. 真空中有二平行带电平板 A 、 B 相距为 d (很小)，面积为 S ，带电为 $+q$ 和 $-q$ 。对于两板间相互作用力 F ，以下两种求法是否正确？

$$(1) F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{d^2};$$

$$(2) F = Eq, \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 S}, \quad \text{则 } F = \frac{q^2}{\epsilon_0 S}.$$

答 这两种求法都是错误的。

(1) 因 d 很小，带电板 A 、 B 不能视为点电荷，因而不能用点电荷间相互作用力公式计算，故 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{d^2}$ 不成立。

(2) 此二带电板间相互作用力，即是一板上电荷的电场对另一板上电荷的作用力，并非两板上电荷的总场强 $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ 对一个板上电荷的作用力，故后一种计算也是错误的。由于 B 板在 A 板上各点场强方向相同，大小均为 $E_B = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{q}{2\epsilon_0 S}$ ，因此， A 板受力 $F = \frac{q^2}{2\epsilon_0 S}$ 。