

北京市海淀区重点中学特级高级教师编写

海淀题链

Haidian tilian

解题思维能力发散训练

高二物理

主编 / 邓均 蒋大风


东师教辅

东北师范大学出版社

北京市海淀区重点中学特级高级教师编写

海淀题链

Haidian tilian

解题思维能力发散训练



高二物理

主编 / 邓均 蒋大凤

东北师范大学出版社·长春

图书在版编目 (CIP) 数据

海淀题链——解题思维能力发散训练. 高二物理/邓 均
蒋大风主编. —长春: 东北师范大学出版社, 2001. 6

ISBN 7 - 5602 - 2780 - 5

I. 海… II. ①邓…②蒋… III. 物理课—高中—解题
IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 028186 号

出 版 人: 贾国祥

责任编辑: 谢冰玉 封面设计: 李金锋

责任校对: 王红娟 责任印制: 张文霞

东北师范大学出版社出版发行
长春市人民大街 138 号 (130024)
销售热线: 0431—5695744 5688470
传真: 0431—5695734

网址: <http://www.nnup.com>

电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

东北师范大学出版社激光照排中心制版

黑龙江新华印刷二厂印刷

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

开本: 880 mm×1230 mm 1/32 印张: 13 字数: 480 千

印数: 00 001 - 10 000 册

定价: 14.50 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 可直接与承印厂联系调换

在题的链接中寻求一种解题的大智慧

《海淀题链——解题思维能力发散训练》前言

《海淀题链——解题思维能力发散训练》丛书是以发散思维为主线而编写的一套重在揭示初高中数学、物理、化学等学科内在联系和规律的新书，目的在于通过对原型题及其变型题之间的无穷变化的解剖和训练，使得中学生能够掌握一种用联系的眼光去看待一个个看似孤单零散的题，从而学会用一种凌厉的思维去击穿每一个无从下手的难题，学会用灵活多变的方法优化解决每一个问题的方式。

一些高水平的教师在课堂教学过程中经常使用的有效方法是：充分利用发散思维，探索数、理、化学科内部规律的相互关联，在两个和两个以上的题目之间，寻求其中的内在的变化和发展，挖掘其间隐藏着的看不见的联系和规律。同时，这更是一些尖子生接受速度快、解题能力强的核心因素。实际上，这种做法的关键就在于把一个个看上去相对封闭的题目放到一个相对宽泛的视野中，目的在于寻求一种解题的质量，寻求一种在掌握学科内在规律之上的解题大智慧，从而摒弃了那种见题就解，就题论题，全然不顾题目之间的相互联系和变化的机械式做法。教学效果自然漂亮，学生的学习水平和解题能力也得到了大幅度的提高。

所谓“条条大路通罗马”，是说通往罗马的道路是完全不同的。但如果你只知道一条路，你又如何知道你走的这条路就是最佳的路径呢？所谓“知己知彼，百战不殆”，是在告诉你常胜将军的秘诀是：不仅仅要了解你自己，更要了解你的对手。对于学习数、理、化而言，如果你不了解它，你又如何能“百战不殆”呢？从这一点来说，《海淀题链——解题思维能力发散训练》丛书不仅仅能够帮助你快速提高自己的学习水平，更多地掌握解题技巧和方法，更重要的是能够真正提高你自己的素质和能力，也就是说《海淀题链——解题思维能力发散训练》丛书中所蕴涵着的思维可以使你受益一生，因为那是一种大智慧！

创造能力的形成有两个必要条件：一是扎实的基础；二是创造性思维。其中创造性思维的一个核心思维就是发散思维。

发散思维是一种以某一问题为发散源，从横向和纵向多方位地进行辐射状态的积极思考和联想，广泛地搜集与发散源有关的知识和方法，从而使问题得以解决、升华的思维方式。发散思维是一种不依赖常规寻找变异的思维，它具有三个互相联系的特征，即流畅性、变通性和独特性。

流畅性是指思维畅通，一个表面看似一般但内涵十分丰富的问题，一个可以发展的问题，只要深入地思考就能将其向纵深拓展得到更多、更巧妙的结果，得到新的发现，即达到一题多变的效果。

变通性是指思维灵活多变，从不同的角度去探索、开拓思路，打破消极思维定势的束缚，不拘泥于已有的范例和模式，使一题多解。

独特性是指思维超乎寻常，标新立异，对于一些构思巧妙、条件隐蔽的问题，在熟练掌握常规思维方法的同时，探索一些不同寻常的非常规解法，使解题过程简捷、明了。以数学为例，如“数形结合法”、“赋值法”、“代换法”、“构造法”等。

为了培养学生的发散思维能力和创新能力，我们组织了一批具有丰富教学经验和创新精神，具有较高编写水平的老师编写了这套《海淀题链——解题思维能力发散训练》丛书。丛书以国家初中、高中（数学、

物理、化学)新教学大纲的教学必修章节、篇目为依据,具体地说以数学、物理、化学教学大纲规定的知识点为统辖,选择了能够代表数、理、化学科知识网络中重要的知识点作为例题,以[核心知识大盘点]、[典型例题大剖析]、[巩固练习大提高]、[参考答案大揭底]四大栏目构筑丛书编写体例,指导学生通过纵横发散思维深入探索数、理、化概念的内涵和外延,认识不同概念、定理、定律的发展与联系;学会运用数、理、化公式、概念、定理、定律,用不同的观点、方法归纳出解决问题的一般途径、方法及技巧。

希望同学们通过阅读这套丛书,学会用新角度、新观点、多层次地思考问题,从而达到掌握知识、创新知识、提高能力的目的。

参加本书编写的有:于静、邓均、邓兰萍、王建民、王晓萍、王爱莲、付仑、田玉凤、卢青青、乐进军、刘鸿、刘天华、刘汉昭、刘志诚、刘建业、刘桂兰、刘宏军、刘爱军、刘树桐、刘继群、刘淑贤、闫达伟、闫梦醒、朱志勇、朱万森、孙家麟、李里、李公月、李若松、李新黔、何小泊、吴琼、吴建兵、张立雄、张兆然、张宝云、张绍田、张振来、张淑芬、陆剑鸣、陈恒华、陈继蟾、金仲鸣、庞长海、庞炳北、姜杉、姚桂珠、赵汝兴、赵茹芳、柯育璧、高书贤、贾秋荣、徐淑琴、黄万端、韩乐琴、蒋大凤、蒋金利、程秋安、谭翠江、管建新、樊福、霍永生、魏新华。

由于时间仓促,书中难免有一些差错和不足之处,望读者朋友不吝赐教。

编者

2001年6月于北京

《海淀题链——解题思维能力发散训练》

编委会

- | | |
|-----|------------------|
| 邓 均 | 北京大学附属中学高级教师 |
| 王建民 | 中国科技大学附属中学特级教师 |
| 付 仑 | 北京市八一中学高级教师 |
| 刘 鸿 | 北京航空航天大学附属中学高级教师 |
| 刘建业 | 北京大学附属中学高级教师 |
| 闫梦醒 | 清华大学附属中学高级教师 |
| 李 里 | 北京市 101 中学高级教师 |
| 吴 琼 | 北京市海淀区教师进修学校高级教师 |
| 何小泊 | 中国科技大学附属中学高级教师 |
| 张绍田 | 北京大学附属中学高级教师 |
| 张淑芬 | 北京市海淀区教师进修学校高级教师 |
| 陆剑鸣 | 北京大学附属中学高级教师 |
| 金仲鸣 | 北京大学附属中学特级教师 |
| 庞长海 | 中国人民大学附属中学高级教师 |
| 赵汝兴 | 北京市兴华中学特级教师 |
| 柯育璧 | 北京十一学校特级教师 |
| 蒋大风 | 北京大学附属中学高级教师 |
| 韩乐琴 | 北京师范大学附属实验中学高级教师 |
| 樊 福 | 北京市 101 中学高级教师 |
| 霍永生 | 北京理工大学附属中学高级教师 |

目 录

第一章	电 场	1
第二章	恒定电流	74
第三章	磁 场	145
第四章	电磁感应	224
第五章	交流电 电磁振荡和电磁波	293
第六章	光的反射和折射	331
第七章	光的本性 原子物理	377

第一章 电 场

核心知识大盘点 ● ● ●

本章主要研究静止的电荷所形成的静电场的基本性质及带电粒子在电场中的运动问题. 电场强度和电势是分别描述电场的力的性质和能的性质的两个物理量. 正确理解场强和电势的物理意义, 是掌握好本章知识的关键. 导体在电场中的静电感应和静电平衡问题是电场的力的性质研究的深入; 电势差、电场力的功和电势能的变化是电场的能的性质研究的延伸; 带电粒子在电场中的运动问题是电场力的性质和能的性质的综合运用. 研究电场的电性质及电荷在电场中的运动规律是电学学习中的重要基础知识. 在学习中要抓住以下几个重点.

1. 库仑定律及其适用条件

自然界只存在两种电荷, 即正电荷和负电荷. 电荷之间存在相互作用, 同种电荷互相排斥, 异种电荷互相吸引. 真空中两个点电荷之间的相互作用力的大小, 遵循库仑定律 $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$. 在应用库仑定律时要注意相互作用有引力和斥力两种情况, 可以只取两个电荷电量的大小, 先计算库仑力的大小, 再根据电荷的电性来判断库仑力的方向. 这样物理意义明确, 不容易发生错误. 库仑定律的适用条件是“真空中的点电荷”.

2. 描述电场的力的性质的物理量——电场强度

(1) 要正确理解场强的定义式 $E = \frac{F}{q}$. 弄清形成电场的电荷和检验电荷的区别, 明确电场强度的大小和方向是由电场本身决定的, 是客观存在的, 与是否放入检验电荷, 检验电荷的正、负及受力大小无关.

(2) 要区别场强的定义式和点电荷的场强计算式 $E = k \frac{Q}{r^2}$. 前者适用于任何电场, 后者只适用于真空中点电荷形成的电场.

(3) 电场强度是矢量. 在两个以上点电荷激发的电场中, 各点的场强应是各个

点电荷的电场强度在该点的矢量和. 在实际应用中要会用电场的叠加计算合场强的大小,判断合场强的方向. 同时也要会用矢量分解的方法由合电场求分电场的场强.

3. 用电场线描述电场和分析电场问题的方法

电场线是为了形象地描述电场而人为假想的一簇曲线. 规定静电场的电场线是从正电荷出发终止于负电荷,在无电荷处电场线不中断不相交. 曲线上每一点的切线方向都与该点的电场强度方向一致. 电场强度大的地方电场线较为密集,电场强度小的地方电场线较为稀疏. 利用电场线分析、处理电场问题可以使物理情景直观、形象. 在实际应用中要注意:

(1)记住几种典型电场的电场线分布. 如:孤立的点电荷的电场线分布;等量异性、同性电荷的电场线分布;匀强电场的电场线分布等. 分析问题时首先要判断是什么电场,电场线的分布如何.

(2)要弄清电场线和等势面的关系.

(3)在处理带电粒子的运动问题时,要注意电场线与点电荷在电场力作用下的运动轨迹,是两个完全不同的概念,不能混为一谈. 只有在孤立的点电荷形成的电场中或匀强电场中,电场线是直线. 在这类电场中,只有初速度为零,或初速度的方向与电场线共线的带电粒子(点电荷),在只受电场力作用的条件下运动,轨迹才是一条直线,只有在这种情况下才能认为带电粒子沿电场线运动,但也不能说电场线就是点电荷在电场中的运动轨迹.

4. 描述电场能的性质的物理量——电势

(1)要正确理解电势的意义. 一个带电量为 q 的检验电荷,它在电场中某位置具有的电势能为 \mathcal{E} ,则该位置的电势 $U = \frac{\mathcal{E}}{q}$. 电势具有相对性,在确定电场中某点的电势时首先要选择零电势的参考点. 通常情况下我们选择无穷远处或大地的电势为零电势(在实际问题中对同一个电场,电势能及电势的零点选取是一致的,并且注意只能选择一个参考点). 这样选取了零电势点后,可以得出正点电荷形成的电场中各点的电势均为正值,负点电荷形成的电场中各点的电势均为负值.

(2)电场中任意两点 A 、 B 之间的电势之差叫电势差,有 $U_{AB} = U_A - U_B$. 若 $U_A > U_B$, U_{AB} 为正;若 $U_A < U_B$, U_{AB} 为负. 在实际分析问题时也可以先确定两点间电势差的绝对值,再根据这两点在电场线方向上的位置判断两点电势的高低. 并且要注意电势虽有正负,但它是标量,电势的叠加是求代数和.

(3)在匀强电场中电势差与场强的关系是 $U = Ed$ 或 $E = \frac{U}{d}$, 式中的 d 是沿场强方向上的距离. 注意此关系的定量计算只能在匀强电场中进行,而在非匀强电场中只可以利用此关系定性分析问题.

5. 等势面及其特点

(1) 等势面上各点电势相等, 在等势面上移动电荷电场力不做功.

(2) 等势面一定和电场线垂直, 且电场线总是从较高电势的等势面指向较低电势的等势面.

(3) 若规定画等势面(或线)时, 相邻两等势面(或线)间的电势差相等, 这样在等势面(或线)较密集处场强大, 等势面(或线)较稀疏处场强小.

6. 电场力做功的计算公式及电场力做功与电荷电势能变化的关系

(1) 电场力做功的计算公式为 $W = qU_{AB}$. 此公式适用于任何电场. 电场力做功与路径无关, 只与被移动电荷的电量及起始和终止位置的电势差有关.

(2) 电场力的功量度电荷电势能的变化. 电场力对电荷做正功, 电荷的电势能减少; 电荷克服电场力做功, 电荷的电势能增加. 电场力做功的数值与电荷电势能变化的数值相等. 在判断电荷电势能如何变化时通常用电场力做功作为依据.

7. 运用电场的电性质处理电荷在电场中的运动的问题

带电粒子是指电子、质子、氦核和 α 粒子等微观粒子. 由于它们所受的重力远小于控制其运动的电场力, 一般可以不计重力. 而带电油滴、带电尘粒、带电小球等统称为带电物体或带电质点. 它们在电场中运动时, 所受重力不能忽略.

常见的电场有匀强电场(两带电平行金属板中间区域)和非匀强电场(孤立点电荷的电场、两个等量同种或等量异种电荷的电场等). 带电粒子(或质点)在不同的电场中, 由于它们的受力情况不同和初速度的不同, 可能做直线运动也可能做曲线运动; 可能做匀变速运动也可能做非匀变速运动.

(1) 分析解决带电粒子或带电质点的运动问题, 要综合运用电场的概念和力学知识, 分析方法和力学分析方法相同. 首先要分析研究对象的受力情况, 再分析运动状态和运动过程, 最后选用恰当的规律解决问题.

(2) 在对带电粒子(或带电质点)进行受力分析时, 要注意电场力的特点. 例如电场力的大小和方向不仅跟场强的大小和方向有关, 还与带电粒子(带电质点)的电量和电性有关. 在匀强电场中, 同一带电粒子(或质点)所受的电场力处处是恒力; 在非匀强电场中同一带电粒子(或质点)在不同位置所受的电场力的大小和方向都有可能不同.

(3) 处理带电粒子的加速和偏转问题可以用不同的方法. 如果用运动和力的关系去分析, 要抓住力是产生加速度的原因, 应用牛顿定律和运动学规律. 例如带电粒子在匀强电场中类平抛的偏转问题. 带电粒子以初速度 v_0 垂直电场方向射入匀强电场, 不计重力, 电场力使粒子产生加速度. 分析时仍采用运动的合成与分解的方法: 带电粒子在垂直于电场的方向做匀速直线运动, 在平行于电场的方向做匀加速直线运动, 所以有

$$\begin{cases} x=v_0t \\ y=\frac{1}{2}at^2 \end{cases} \quad \begin{cases} v_x=v_0 \\ v_y=at, a=\frac{qE}{m} \end{cases}$$

由此可以得到带电粒子的轨迹方程为 $y=\frac{qEx^2}{2mv_0^2}$

粒子的偏转角度为 $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{qEx}{mv_0^2}$.

此类问题也可以用动能定理和动量定理或动量守恒定律去分析,究竟采用哪一种处理方法,要根据问题中给定的条件来决定.有时同一个问题可以采用不同的方法解决,但结果是惟一的,这就要求我们选择其中更简捷的方法去处理,这样可以提高解决问题的效率,收到事半功倍的效果.

8. 处于静电平衡状态导体的特点

(1)导体内部场强处处为零,电场线在导体内部中断.要注意场强为零的含义是外电场与感应电荷产生的附加电场的合场强为零.

(2)导体是一个等势体,表面是一个等势面.

(3)导体表面上任一点的场强方向跟该点的表面垂直.

(4)导体所带的净电荷全部分布在导体的外表面上.

典型例题大剖析 ● ● ●

例 1 真空中相距 5 cm 的两个点电荷,它们的电量分别为 $q_1=5.0\times 10^{-9}\text{C}$, $q_2=-1.4\times 10^{-9}\text{C}$,它们之间的相互作用力为 F .现保持两点电荷之间距离不变,保持 q_2 的电量与电性不变,使 q_1 的电量加倍,这时它们之间的相互作用力将变为原来的多少倍?

[通法◇通解]

两个点电荷相互吸引, q_1 电量未变时它们之间的作用力大小为

$$\begin{aligned} F &= k \frac{q_1 q_2}{r^2} \\ &= 9.0 \times 10^9 \times \frac{5.0 \times 10^{-9} \times 1.4 \times 10^{-9}}{(5 \times 10^{-2})^2} = 2.52 \times 10^{-5} (\text{N}) \end{aligned}$$

q_1 电量变为原来的 2 倍后,两个点电荷之间的相互作用力的大小为

$$\begin{aligned} F' &= k \frac{2q_1 \cdot q_2}{r^2} \\ &= 9.0 \times 10^9 \times \frac{2 \times 5.0 \times 10^{-9} \times 1.4 \times 10^{-9}}{(5 \times 10^{-2})^2} = 5.04 \times 10^{-5} (\text{N}) \end{aligned}$$

则 $\frac{F'}{F} = \frac{5.04 \times 10^{-5}}{2.52 \times 10^{-5}} = 2$, 所以 $F' = 2F$.

点评 本题的求解是按照库仑定律计算出 q_1 电量未变前的相互作用力 F 以

及 q_1 电量变化后的相互作用力 F' , 然后比较 F' 与 F , 得出结论.

[巧思 ◊ 巧解]

方法一: 根据库仑定律, q_1 电量变化前和变化后, 两点电荷之间的作用力均为引力.

$$q_1 \text{ 变化前 } F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad ①$$

据题意 q_2, r 不变, q_1 电量变为原来的 2 倍, 两点电荷之间的相互作用力为

$$F' = k \frac{2q_1 q_2}{r^2} \quad ②$$

将①②两式相除得 $\frac{F'}{F} = 2, F' = 2F$.

方法二: 根据库仑定律, 两点电荷之间的相互作用力, 与两点电荷间距离的平方成反比, 与两点电荷电量的乘积成正比. q_2, r 不变, q_1 变为原来的 2 倍, 它们之间的相互作用力必然变成原来的 2 倍.

点评 由以上解法可以看出, 同一个物理问题可以由不同的方法得出结论, 其中一定有一种或两种较为巧妙的求解方法. 显然后两种解法较为简单. 同时从解题过程中, 我们也可以看到题设条件不一定要全部用上, 以往人们总有一种习惯, 题中给的条件不全用上似乎不放心, 其实如何利用题设条件要根据需要来选择.

[变换 ◊ 引申]

<1> 库仑定律所涉及的物理量有: 两个相互作用的点电荷的电量 q_1, q_2 及它们之间的距离和相互作用力. 若改动一下题设条件就可以变化成一个新的问题.

变题 两个点电荷 q_1 和 q_2 , 它们之间的距离为 2 cm 时, 它们之间相互作用的库仑斥力为 F . 若保持两点电荷电量不变, 要使它们之间的相互作用斥力变为 $\frac{F}{16}$, 则这两个点电荷应相距多远?

解析: 设 q_1, q_2 原来间距为 r , 后来间距为 r' . 由于库仑力 F 与 r^2 成反比, 当 F 变为 $\frac{F}{16}$ 时 r' 应为 r 的 4 倍, 所以 $r' = 8$ cm.

<2> 如果在两个点电荷所在空间再引入第三个点电荷, 在一定条件下就可以将库仑定律的应用与其他相关的知识结合而出现新的物理模型.

变题 真空中有 a, b 两个点电荷, 它们相距 60 cm, 电量分别为 $q_a = Q, q_b = -9Q$. 现将点电荷 c 置于 a, b 所在区域, 要使 a, b, c 三个点电荷都恰好处于静止状态. 试问: 点电荷 c 应为何种性质的电荷? 它的电量应为多大? 它应放在什么地方?

解析: 由于 $q_b > q_a$ 且为异性电荷, 点电荷 c 不能置于 a, b 之间, 只能置于 a, b 之外距 a 较远处, 若三个电荷都平衡, c 应为负电荷, 且 a, b, c 三个电荷应在同一条直线上.

设 c 与 a 相距 x , 则 c 与 b 相距为 $x + 0.6$, c 的电量为 q_c , 根据力的平衡列方

程有

$$a \text{ 平衡 } k \frac{q_c Q}{x^2} = k \frac{9Q^2}{0.6^2} \quad (1)$$

$$b \text{ 平衡 } k \frac{9Qq_c}{(x+0.6)^2} = k \frac{9Q^2}{0.6^2} \quad (2)$$

$$c \text{ 平衡 } k \frac{q_c Q}{x^2} = k \frac{9Qq_c}{(x+0.6)^2} \quad (3)$$

以上三个方程只有两个是独立的,由其中任意两个可以解出,并考虑 q_c 为负电荷,解得 $x=0.3 \text{ m}$, $q_c=-2.25 \text{ Q}$.

点评 以上两个变题虽然都是库仑定律的应用,但所涉及问题的深度不同.变题1只是库仑定律的直接应用,而变题2则要通过分析题设的要求,考虑 c 电荷的放入使得三个电荷都平衡 c 应置于何处及是何种电荷,并要利用力学知识考虑电荷平衡要满足合力为零的条件,最后利用库仑定律列出力的平衡方程,这时才用到库仑定律.显然变题2是在掌握库仑定律的基础上进一步考查了学生深入分析问题和综合其他知识考虑问题的能力.

<3>库仑定律的适用条件为“真空中的点电荷”,但在实际问题中我们常常遇到的是带电体或带电质点之间的相互作用.在这种情况下,如果两带电体之间的距离远大于带电体的几何尺寸,仍然可以当做点电荷来处理.

变题 如图1-1所示,两个带有等量同种电荷的小球A和B,质量都是 m ,分别系在长度为 L 的悬线一端.今使B球固定不动,并使OB在竖直方向上,A球可以在竖直平面内自由摆动,由于静电斥力的作用,A球偏离B球的距离为 x .如果其他条件不变,则A球的质量要增大到原来的几倍,才会使A、B两球的距离缩短到原来的 $\frac{1}{2}$? (A、B两球的直径远远小于 x)

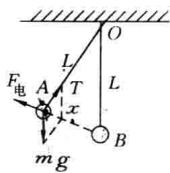


图1-1

解析:以小球A为研究对象,受三个力的作用,即 mg 、 T 、 $F_{\text{电}}$,且三个力的合力为零,如图1-1所示.

$$\text{当 A、B 距离为 } x \text{ 时 } \frac{mg}{F_{\text{电}}} = \frac{L}{x} \quad (1)$$

$$\text{当 A、B 的距离为 } \frac{1}{2}x \text{ 时 } \frac{m'g}{F'_{\text{电}}} = \frac{L}{x/2} \quad (2)$$

$$\text{又 } F_{\text{电}} = k \frac{q^2}{x^2} \quad (3)$$

$$F'_{\text{电}} = k \frac{q^2}{x^2/4} \quad (4)$$

$$\text{由 } (1)/(2) \text{ 有 } \frac{mF'_{\text{电}}}{m'F_{\text{电}}} = \frac{1}{2}$$

$$\text{把 } (3)(4) \text{ 代入有 } \frac{m}{m'} = \frac{1}{8}, \text{ 所以 } m' = 8m.$$

点评 本题中 $F_{\text{电}}$ 由库仑定律决定,但 A 球的平衡状态由共点力平衡条件确定. 这时要考虑 A 球受力除了库仑力还有重力和弹力,这样就把电荷之间的相互作用与其他性质的力综合在一起考虑问题,使库仑定律的应用与其他物理知识横向连在一起.

例 2 在真空中 O 点放一个点电荷 $Q = +1.0 \times 10^{-9} \text{C}$, 直线 MN 通过 O 点, OM 的距离为 r , ON 的距离为 $2r$, $r = 30 \text{cm}$. 在 M 点放一个检验电荷 $q = -1.0 \times 10^{-10} \text{C}$, 如图 1-2 所示. 求:

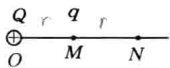


图 1-2

- (1) 将检验电荷先后放在 M 、 N 两点受到的电场力;
- (2) M 、 N 两点的电场强度大小之比是多少?

[通法通解]

(1) 将 q 置于 M 点, q 受的电场力

$$F_M = k \frac{Qq}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{1.0 \times 10^{-9} \times 1.0 \times 10^{-10}}{0.3^2} = 1.0 \times 10^{-8} (\text{N}), \text{方向沿 } OM \text{ 指向 } Q.$$

将 q 置于 N 点, q 受的电场力

$$F_N = k \frac{Qq}{(2r)^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{1.0 \times 10^{-9} \times 1.0 \times 10^{-10}}{4 \times 0.3^2} = 2.5 \times 10^{-9} (\text{N}), \text{方向沿 } ON \text{ 指向 } Q.$$

(2) 由电场强度的定义式, 可求出 M 、 N 两点的场强

$$E_M = \frac{F_M}{q} = \frac{1.0 \times 10^{-8}}{1.0 \times 10^{-10}} = 100 (\text{N/C}), E_N = \frac{F_N}{Q} = \frac{2.5 \times 10^{-9}}{1.0 \times 10^{-10}} = 25 (\text{N/C})$$

由于场强的方向应与正检验电荷受力的方向一致, 所以 M 、 N 两点的场强方向均沿 OM 连线背离 Q 的方向.

$$E_M : E_N = 100 : 25 = 4 : 1.$$

点评 由场强的定义式求场强的大小和方向的方法适合于任何电场. 解题时首先要确定电场力的大小和方向, 再由定义式求出 E 的大小, 最后判断场强的方向. 而对于场电荷为点电荷的情况还可以利用场强的计算式求得场强的大小和方向, 再求电场力.

[巧思巧解]

方法一: (1) 由点电荷的场强公式 $E = k \frac{Q}{r^2}$, 则有

$$E_M = k \frac{Q}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{1.0 \times 10^{-9}}{0.3^2} = 100 (\text{N/C})$$

$$E_N = k \frac{Q}{(2r)^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{1.0 \times 10^{-9}}{4 \times 0.09} = 25 (\text{N/C})$$

由于场电荷为正电荷, 则 M 、 N 两点场强方向均沿 OM 连线背离 Q 的方向.

$$F_M = qE_M = 1.0 \times 10^{-10} \times 100 = 1.0 \times 10^{-8} (\text{N})$$

$$F_N = qE_N = 1.0 \times 10^{-10} \times 25 = 2.5 \times 10^{-9} (\text{N})$$

由于受力电荷为负电荷,故受力方向应与场强方向相反,所以 F_M 与 F_N 的方向均沿 OM 连线指向 Q 的方向.

$$(2) \frac{E_M}{E_N} = \frac{4}{1}.$$

方法二:由点电荷的场强公式 $E = k \frac{Q}{r^2}$,可先求出 M 点场强 $E_M = k \frac{Q}{r^2} = 100 \text{ N/C}$. 由于 E 的大小、方向由场电荷的电量及场中的位置确定,即在 Q 不变时, $E \propto \frac{1}{r^2}$, 由于 $r_N = 2r_M$, 所以 $E_N = \frac{1}{4} E_M = \frac{1}{4} \times 100 = 25 (\text{N/C})$, 方向均背离 Q .

由 $F = qE$, 可求出 $F_M = qE_M = 1.0 \times 10^{-8} \text{ N}$, $F_N = qE_N = 2.5 \times 10^{-9} \text{ N}$, F_M 与 F_N 均指向 Q 的方向.

方法三:由 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 可知 $E_M = k \frac{Q}{r_M^2}$, 而 $r_N = 2r_M$, 所以 $E_M = 4E_N$, 而 $E_N = k \frac{q}{(2r)^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{1.0 \times 10^{-9}}{4 \times 0.3^2} = 25 (\text{N/C})$, $E_M = 4 \times 25 = 100 (\text{N/C})$, 则 $E_M : E_N = 4 : 1$. 由 $F = qE$, $F_M = qE_M$, $F_N = qE_N$, 得 $F_M = 4F_N$, 所以 $F_N = qE_N = 1.0 \times 10^{-10} \times 25 = 2.5 \times 10^{-9} (\text{N})$, 方向指向 Q . $F_M = 4F_N = 1.0 \times 10^{-8} (\text{N})$.

点评 计算电场中某点的场强,只要明确是什么电场就可以直接利用决定式求解. 在计算电场力时要注意电场力由电场和受力电荷共同决定. 而电场强度是由电场自身决定的,与检验电荷无关.

[变换与引申]

<1>在例 2 所给条件中,如果将场电荷换成负点电荷,其他条件不变,就可以更清楚地看到电场力的特性是由产生场的电荷确定的.

变题 若在 O 点放置的是一个负点电荷 $Q = -1.0 \times 10^{-9} \text{ C}$, M 点距 O 点的距离为 $r = 30 \text{ cm}$. 求:

(1) M 点的场强和一个负点电荷 $q = -1.0 \times 10^{-10} \text{ C}$ 置于 M 点时所受的电场力;

(2) 若将检验电荷拿走, M 点的场强是多大?

解析: (1) 由点电荷场强公式 $E = k \frac{Q}{r^2}$, 则 $E_M = 9.0 \times 10^9 \times \frac{1.0 \times 10^{-9}}{0.3^2} = 100 (\text{N/C})$, 方向由 M 点指向 Q . 检验电荷受的电场力 $F = qE_M = 1.0 \times 10^{-10} \times 100 = 1.0 \times 10^{-8} (\text{C})$, F 的方向沿 OM 连线背离 Q .

(2) 如将检验电荷拿走, M 点场强不变.

<2>如果在点电荷 Q 产生的电场再置入一个场电荷 Q' , 则电场中某点的场强是这两个场电荷在该点场强的矢量和. 在此电场中如果仍然置入一个检验电荷, 则其受力大小和方向由合电场的作用来确定.

变题 1 如图 1-3 所示, 分别在 A 、 B 两点放上两个等量异性电荷 Q 和 Q' , 它

们的电量均为 $1.0 \times 10^{-9} \text{C}$, A, B 两点间距为 $r = 0.3 \text{ m}$. 求:

(1) A, B 两点连线中点 O 处的场强大小和方向;

(2) 若将一个电子放在 O 点, 则它所受库仑力的大小和方向如何?

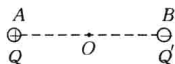


图 1-3

解析: (1) 由点电荷的场强计算式可以求出两个点电荷在 O 点的场强. A 点电荷在 O 点的场强为 $E_A = k \frac{Q}{r_A^2} = k \frac{4Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 1.0 \times 10^{-9}}{0.09} = 400 \text{ (N/C)}$, 方向从 O 点指向 B . B 点电荷在 O 点的场强大小 $E_B = 400 \text{ N/C}$, 方向指向 B . O 点的场强 $E_O = E_A + E_B = 800 \text{ N/C}$, 方向从 O 指向 B .

(2) 电子在 O 点受的电场力为 $F = eE_O = 1.6 \times 10^{-19} \times 800 = 1.28 \times 10^{-16} \text{ (N)}$, 方向从 O 指向 A .

点评 在两个以上点电荷形成的电场中, 场中某点的场强为各个点电荷单独存在时产生的场强的矢量和, 这就是电场的叠加. 当该点在两个点电荷连线上, 该点的场强矢量和可以简化为代数和. 当该点不在两点电荷连线上时, 该点的场强要由矢量合成法则——平行四边形法则求解.

变题 2 如图 1-4 所示, 真空中 A, B 两点分别放有等量异性电荷 Q 和 $-Q'$, 它们的电量均为 $2.0 \times 10^{-8} \text{C}$, 试求在两点电荷连线中垂线上 P 点的场强. 已知 $AB = AP = BP = r = 0.3 \text{ m}$.

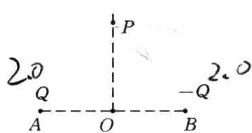


图 1-4

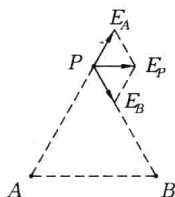


图 1-5

解析: 由点电荷场强公式可以求出 A, B 两点电荷在 P 点的场强大小为 $E_A = E_B = E, E = k \frac{Q}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{2.0 \times 10^{-8}}{0.09} = 2000 \text{ (N/C)}$, 而 P 点的场强为 E_A 与 E_B 的矢量和, 如图 1-5 所示, A, B, P 三点连线构成等边三角形, 由几何知识可知 $E_P = E_A = E_B = E = 2000 \text{ N/C}$, 方向从 P 点向右沿平行于 AB 连线方向.

点评 用场强的叠加分析、计算电场强度是常用的方法, 掌握此方法可以拓宽解决问题的范围.

变题 3 如图 1-6 所示, 在场强大小为 E 、方向水平向右的匀强电场中, 固定着一个点电荷 A , 在距点电荷 A 为 r 的圆周上有 a, b, c 三点, 其中 a, A 连线与 b, A 连线均与电场线平行, c, A 连线与电场线垂直. 若在 a 点放一负的检验电荷 q , 测得