

探求者物理学丛书 V

原子和原子核

E. M. 罗杰斯 著



科学出版社

JY11173/05

探求者物理学丛书

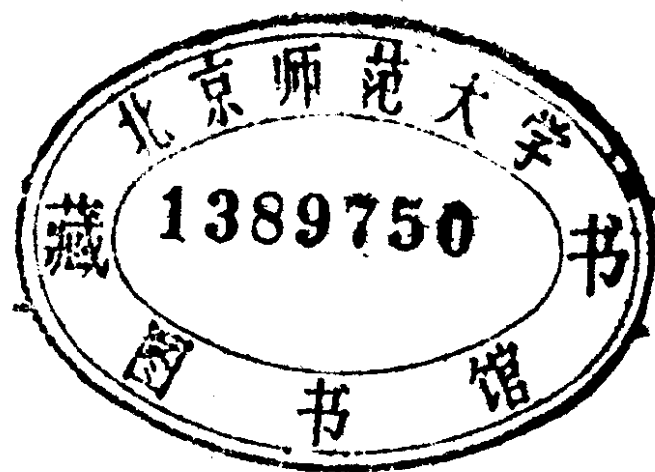
物理学中的方法、性质和哲学

V 原子和原子核

E. M. 罗杰斯 著

徐昆明 等 译

张有清 卓光辉 校



科学出版社

1986

内 容 简 介

本书是一本供非物理学专业的大学师生和具有高中以上文化水平的广大干部阅读的参考读物。本书对物理学中的许多重大课题经过精心挑选,使它形成一个协调的知识结构。虽然数学是物理学的基本工具,但本书仅涉及高中代数和平面几何中较为简单的内容;采用生动、活泼的语言来介绍物理学的思维方法、性质和哲学内容,阅读本书可以了解到物理学严密的推理过程和清晰的思考方法,丛书分五册出版。本册为第五册,主要介绍原子和原子核物理方面的知识(电子、原子、放射性、发电机、加速器、核物理等)。

Eric M. Rogers

PHYSICS FOR THE INQUIRING MIND

The Methods, Nature and Philosophy of Physical Science

Princeton University Press, 1960

探求者物理学丛书

物理学中的方法、性质和哲学

V 原子和原子核

E. M. 罗杰斯 著

徐昆明 等 译

张有清 卓光辉 校

责任编辑 荣毓敏 丰秀清

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年10月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1986年10月第一次印刷 印张: 11 1/2

印数: 0001—3,800 字数: 301,000

统一书号: 13031·3327

本社书号: 4915·13—3

定 价: 3.25 元

中 译 本 前 言

本书的目的是向广大读者介绍物理学的基础知识。按照全书的内容和编写方式，比较适合于对物理学有兴趣的非物理学专业的读者学习之用。作者采用通俗易懂的语言，丰富的插图，对物理学的一些基本课题作了深入浅出的阐述，在推导定律和公式时尽量采用初等数学。此外，有助于加深读者对内容的理解。全书叙述比较生动有趣，引人入胜。

必须指出的是，作者在阐述一些理论时，有实用主义的哲学观点，我们未一一指出，请读者阅读时注意。

本书原为一册，书名为《Physics for the Inquiring Mind》，现改为分册出版，书名译为《探求者物理学丛书》，本书为丛书的第五册。参加第五册翻译工作的同志有：

第三十六，三十七，三十八章 任鸿耀，第三十九，四十章 陈治中，第四十一，四十二章 刘淑辉，第四十三，四十四章 徐昆明。

译文不妥之处，欢迎读者批评指正。

目 录

第五部分 原子和原子核

第三十六章的预备性习题·····	1
第三十六章 电子和电场·····	4
第三十七章 磁弹弓：开动电动机和研究原子·····	24
第三十八章 分析原子·····	46
第三十九章的预备性习题·····	55
第三十九章 放射性和原子核物理学的工具·····	70
第四十章 原子：实验和理论·····	106
第四十一章 用电子来进行的实验室工作：从发电机到示波器·····	123
第四十二章的预备性习题·····	161
第四十二章 原子加速器——大型机器·····	163
第四十三章 原子核物理学·····	183
第四十四章 更多的理论和实验：物理学的今天·····	257

第三十六章的预备性习题

习题1 简单的电子枪

电子枪是一种产生(快速运动)电子流的装置。这些电子,我们相信它们全都是一样的, 很小的(其质量为氢原子质量的 $1/1840$), 带负电 (-1.6×10^{-19} 库仑)的,于是可以用来描绘电视图象,绘画波形,在原子的研究中轰击靶子等等。本习题讨论这种电子枪是如何构成的。请你把需用的电池补画到图中去(参看第32, 33章)。

电子枪包括一个电子源,它是一个由加热器 HH 来加热的热阴极 C , 电子则由枪口 M 射出。并在许多情况下,还包括控制栅极或板极,例如 G 。

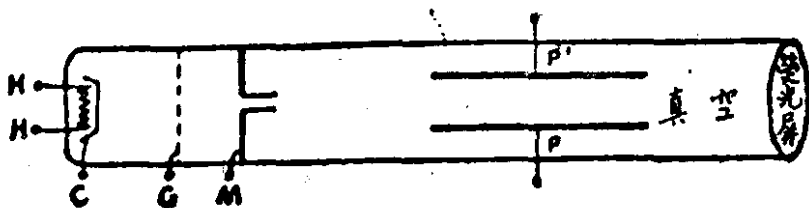


图 36-1 习题 1

(a) 在阴极产生足够电子之前,应先预热一下。

(b) 为使电子快速射出枪口,电子必须“通过”很大的电势差。这电势差由电池组(或其它等效设备)提供,因而产生沿着电子流方向的电场,以便加速从阴极向枪口运动的电子。

(c) 假如由此产生的一股极强的电子流从阴极冲向枪口,那末由于众多的电子击中枪身而被阻留在那里(未能通过枪孔),它们的动能会使枪身过热。为避免过热,常在 C 和 G 之间加一小的阻拦电场。这样,只有一小束电子流通过 G , 然后再被加速。

(d) 为使电子流上下“偏转”,在平板 P, P' 之间加一铅直电场。所有这些电场可以用大小适当的电池组与相应的各点连接而

产生。

重新画个简图,对需要电池组的每一工作点都要添画电池组,包括下列典型的要求:

(a) 加热灯丝(需 5 安培,具有 2 欧姆电阻)。

(b) 阻拦电子流(用 12 伏)。

(c) 将电子流加速到最大速率(例如要 2000 伏)。

(d) 偏转电子流(对间隔为 0.02 米的 P 和 P' 需 40 伏),要确保电池组连接得恰当以适合电子带负电的情况(在电池组上标出 + 和 -)。利用 PP' 使电子向上偏转。

习题 2 偏转电子流

从电子枪射出来的电子流,通过一根长管子。与电池组相连的平板 P 和 P' , 提供电场,如图所示。

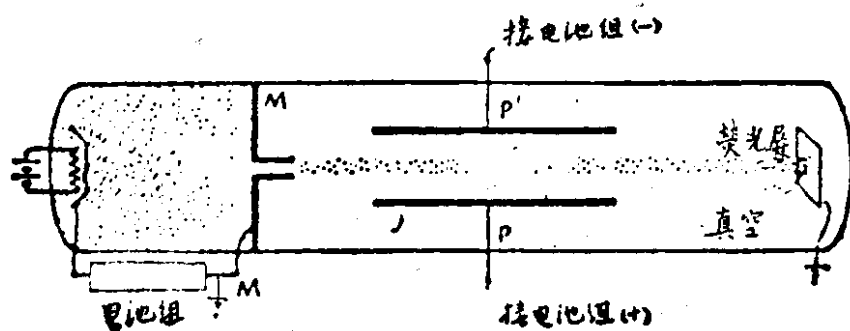


图 36-2 习题 2

(a) 假如平板 P 和 P' 间不存在电场,电子一旦从电子枪的 M 处射出来,将沿怎样的路径行进?

(b) 假如 P 和 P' 间没有电场,从 M 飞出的电子,在长管中继续行进时,它的速度将怎样变化?

(c) 请说出你在回答 (a) 和 (b) 时所依据的那个普遍物理定律的名称(此定律总结了在自然界中观察到的性质,并以推理的方法,用它来预言类似的性质)。

(d) 现在假设平板 P 和 P' 间加上电场,于是板间就有一个铅直的均匀强电场。但在两板之外的电场可以忽略。电子流在此电场中将走怎样的路径?(给出这路径的确切名称,并把它画出来。)

(e) 你在何处遇到过物体在均匀力场中运动时，有相似的路径。

(f) 当电子流从 P 和 P' (已加上电场) 间的区域飞出来后，它便处于可以忽略的电场之中。请描述电子流在那里所走的路径；并作图表示。

第三十六章 电子和电场

“…… 由于他在基本电荷方面和光电现象方面的工作……”——引自授予 R. A. 密立根1923年物理学诺贝尔奖金的奖状。

“由于他在物理科学方面的发现……”——引自授予 J. J. 汤姆逊英国皇家学会最高荣誉的科普利 (Copley) 奖的奖状。

原子性粒子的研究

我们知道,从热灯丝中蒸发出来的电子带有负电;但我们怎样才能测量出单个电子的电量、质量,并证明它们全是一样的?我们怎样才能测得它们从电子枪射出时的速度?还有,从放电管中残留气体分子上剥离下来的电子,被认为是物质普遍具有的成份.我们怎样来证明它们的荷电量是相同的呢?我们怎样才能证明它们的大小远小于原子呢?我们又怎样才能利用测量放电管中原子的残留部分(即正离子),深入研究原子的结构呢?我们怎样才能测量从放射性原子中射出的核炮弹(α -和 β -粒子)呢?

电子、离子、原子核…,它们是近代物理中某些微小的粒子,通过测量它们的电量、质量、速率…,我们可以把它们看做独立的个体来描述它们的属性.我们必须俘获这些飞行的粒子,它们一旦停下来,就迷失在固态的器壁、导线…等等的原子¹⁾.所以我们通过电场把它们从飞行的路线中拉出来,用以获得所需要的资料,正像你能够根据重力场对小球的作用来,估计小球的速率一样.对

1) 但是,如果它们是放射性的,它们就不会迷失——我们就有一个找到它们的极好机会。

测量原子粒子来说，重力场是太弱了。所有这类粒子在飞行中受到重力的作用，它们确实要下落；但是，在通常的电子枪电压下射出的电子，由于它们飞行得太快，因而在任何一般路程中，降落距离是测不出来的。（从镭中射出的 α 粒子，若走过一英里，将下降百万分之二英寸；而在电视机显象管中的电子，如果在一英里长的管子中飞过，则将下降百万分之十英寸。）所以我们要用电场和磁场作用在这些粒子所带的电荷上。

在本章中，我们将指出利用电场能做些什么。在下一章我们将回到使用磁场的问题，并指出如何把这两类场的效应合并起来，才可以获得粒子的速率和它的基本识别标志，即它的荷质比 e/m 。

场和电子流

我们已经对电子加上电场。在示波管中，电子枪电压提供沿着电子流方向的电场，使之加速，而偏转电场则使电子流上下摆动，或者左右横扫。在“放电管”中，沿管子方向的电场，将正离子朝着一个方向驱动，而将电子和负离子朝着相反方向驱动，结果产生一群受激原子，这些受激原子在它们的电子跃回到最低能态时，便发出辉光。

电子枪射出的电子流

从热阴极中蒸发出来并经电子枪电压加速的粒子流所携带的是负电。利用毫安计观察通过二极管的电流，或者利用与验电器相连的金属小罐来捕集该粒子流，就可以知道这一点。为了表明这一串“子弹流”中的子弹——“电子”全都相同，我们必须用电场来进行测量。本章中的习题收集了真实实验的典型数据。认真做

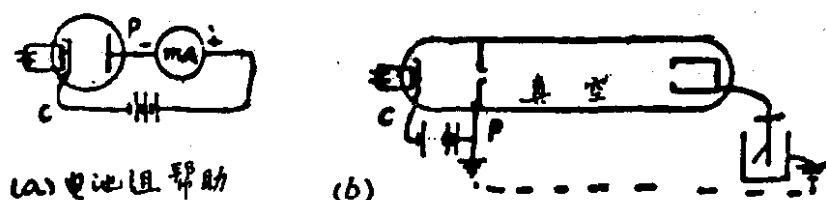


图 36-3 带负电的粒子束

完它们,可以了解人们是怎样来研究电子的。

习题3 电子速度的直接测量

这个问题指出一个曾被用以测量从电子枪射出的电子流中的电子速度的方法。我们用无线电振荡器提供的偏转电场,作用在电子流上¹⁾。用了这样一只振荡器,就能用 10,000,000 周的频率交替地将一对金属板充电为+和-,其后为-和+,等等。这样,两板之间的空间中的电场不断地由向下变为向上,再变为向下,一次又一次地重复着,每秒作 10,000,000 周的循环。

用现代的真真空泵很容易使一根长管达到这样的高度真空,以使电子在行进的全程中不致发生碰撞。图 36-4 所示是一端附近具有电子枪的这种管子。由热阴极 C 蒸发出来的电子被 C 和 M 之间的电子枪电压(设为 1600 伏)所加速,然后从枪口 M 上的小孔 A 射出,接着经过管道而不再改变速率。在小孔 A 外面,放上一对水平板 P_1, P_2 , 以使电子流通过它们之间的铅直电场。在这两板后面,装有一带有小孔 B 的隔板。如果在 P_1 和 P_2 之间的区域间,加上上述的交变电场则该电场将使电子流上下摆动,结果,只有少量电子从 B 孔喷出。这有一次是在电子流向上摆时,一次是向下摆时(每周两次),就象用一条水龙带向着一有节孔的篱笆墙上下喷水一样。这些喷射过来的电子以恒定的速率 v 在长管中飞行。在长管的远端,它们通过另一对极板 P_3, P_4 , 平板间加上同样的交变电场,与 P_1, P_2 之间的电场同步。在 P_3, P_4 的正后面是带有小孔 D 的另一隔板。在 D 之后是电子收集器 E , 它和一只放大器及一只电表相连接,电表用来指示透射的电子是否到达 E 。小孔 A, B, D 全在 C 和 E 之间的同一条直线上。

数据:小孔 B 和 D 沿管长度方向,相距 1.20 米。已知与两对极板相连的振荡器具有每秒 10,000,000 周的频率(分别测得的)。假如阴极 C 和枪口 M 之间的枪电压是 1600 伏,则在真实的实验中,发现收集器 E 收集到很多电子。假如枪电压是 1500 伏或是 1700

1) 在实际实验中,用的是交变磁场。

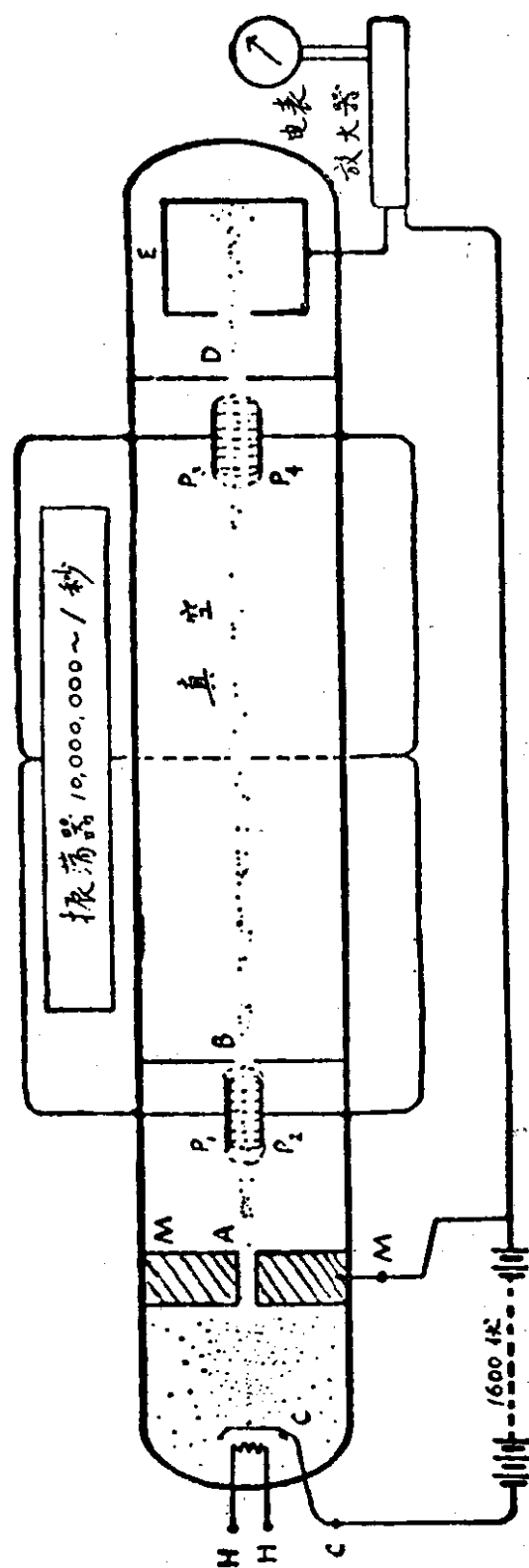


图 36-4a 测量电子的速率

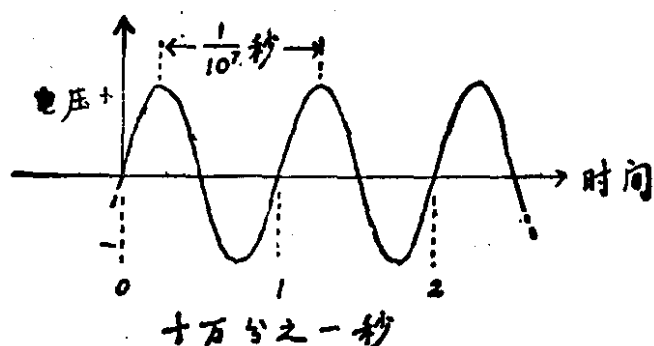


图 36-4b 习题 3 中由振荡器供给的电压

伏,到达的电子就很少。

注意,两板之间的偏转电场范围很窄,因此电子穿过这个区域所经历的时间很短——仅为振荡器变化一周的时间的很小一部分。

(a) 试提出理由来说明,为什么没有电子到达 E , 除非它们在电子枪的加速下已经具有某一定速率(例如这速率是由枪上的 1600 伏传给,而不是从 1500 或 1700 伏得到的。)

(b) 根据上面的数据估计电子的速率。(在任选假设时取最简单的一种,这将给出最大的速率。)

(c) 试解释为什么某些其它速率也能与实验观察符合一致。

(d) 计算一个或更多个其它适合上述数据的速率。

(e) 你如何判明(通过改变仪器)(b) 和 (d) 中,哪一个是正确的选择?(解决这个问题需要常识和缜密的思考。)

习题 4 根据枪压和速度估计荷质比

电子流是从长管一端的电子枪中射出的。假设电子的速率 v , 如习题 3 中那样已经被测得。用一电池组提供 C 和 M 间的枪压 V 以加速电子,使它们由静止加速到从枪口射出时的最后速度 v 。每一电子带电 e 库仑,在枪管中经过 V 伏的电势差而得到动能。在高度的真空中,由电池组供给电子的所有能量,通过枪中电场的作用,全都变为电子的动能。实验指出:

当加在枪上的电势差是 100 伏时

电子从枪口射出的速度为

v, v 经测量后获知为 6,000,000 米/秒

利用这些数据,按下列方法来估计单个电子的质量:

(a) 令电子的质量为 m 公斤. 当它正沿着管子运动时记下它的动能,用 m 来表示(给出单位.)

(b) 电子电荷为 e 库仑. 在电子枪中经过100伏的电压降后,电子得到多少能量,用 e 来表示?(说明单位)

(c) 确保 (a) 和 (b) 回答中的单位相同.

写出方程,说明由100伏电池组供给电子的能量是它的动能. 解此方程,以求出电子的荷质比 e/m .

(d) 在不同的、独立的实验中,密立根求得电子所带的电荷 e 是 1.60×10^{-19} 库仑. 假如是这样的话,它的质量是多少公斤?

普适电子

除了相当慢的电子外,直接测量电子的速度 v 是不容易的;但不论何时何地产生的电子,将习题 3 和 4 中的测量结合起来,测量速率不同的电子(由不同枪压的电子枪射出的电子流都得到相同的 e/m 值). 不论电子枪中用的是什麼材料,射出的电子都具有相同的 e/m 值,即所有的电子具有相同的荷质比. 电子是普适的,这一结论,早在本世纪初的研究中就已得出. 由给定的枪压获得均一速率的电子流是办不到的,所以必须进行更复杂的测量. 我们先利用电场使电子流侧向偏转,然后再用磁场使之偏转. 从那时起,在基本原子测量中,一直利用电场和磁场来使电子作横向偏转. 习题 5 说明怎样利用横向电场来进行测量.

e/m 值和其它的测量结合起来,可以给出基本的原子数据;但单独的 e/m 测量也能给出两个极其重要的提示:

(i) 所有电子具有相同的 e/m 值. 不论是很慢的或非常快的,不论其来源如何: 从热灯丝蒸发出来的,用光波从金属原子中打出来的(例如在电眼中),用 X 光从原子中剥夺出来的,以 β 射线方式从放射性核射出的,或者用原始办法在放电管中把电子从气体原子中碰撞出的. 这提示电子全都相同,它是物质普遍具有的成份.

(ii) 若对极快的电子进行测量, 所得 e/m 的值小于标准值. 这提示我们, 如果 e 保持不变, 但在高速运动下电子的质量增大了——这与相对论正好符合.

习题 5 用电场使电子流偏转

最初用实际测量去研究阴极射线的方法之一是象上述预备性习题 2 中那样, 使电子流通过电场. 粒子的荷质比可以从测量电子流的偏转求得, 而不用测量枪压.

本习题告诉你一种用测量来计算 e/m 的方法. 假定枪射出的电子流具有速率 2.4×10^7 米/秒, 即 24,000,000 米/秒, 该值是用习题 3 中简述的方法测得的. 这一电子流越过一个很长的区域, 其中有横向电场, 如图 36-5 所示. 最后电子流射到荧光屏上, 而未越出电场范围.

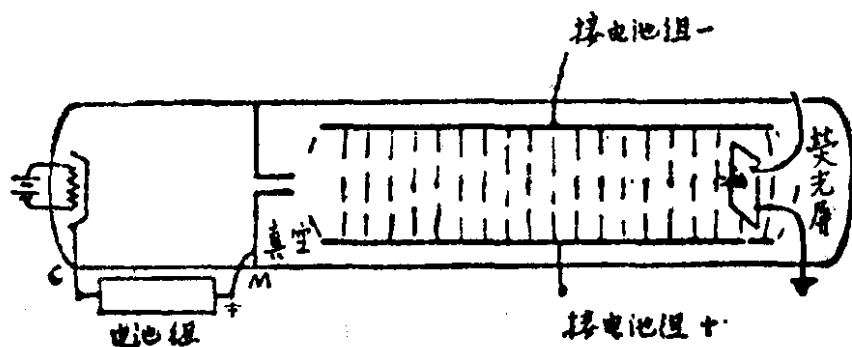


图 36-5

下列数据是在实际实验中可能获得的一组测量值. 假定它们是我们想要测量的电子流中电子 e/m 值的一些测量数据, 据此计算出 e/m (以库仑/公斤为单位).

电子流中粒子的速率(参看习题 3).....	2.4×10^7 米/秒
加上电场后电子流的偏转.....	0.015 米, 铅直向下
两板间的距离.....	0.050 米
场区长度.....	0.20 米
板间电势差.....	120 伏

(注意枪压没给出, 这里不需要它.)

计算:

(a) 两板间的电场强度：作用在 1 库仑电荷上的力，以牛顿为单位。

(b) 电场作用在 e 库仑电荷(即单个电子)上的力。

(c) 电子的加速度。设电子的质量为 m 公斤。

(d) 电子通过 0.20 米的场区所需的时间(注意：距离 0.20 米是场区的水平长度，而上面所给的速度是水平速度。假如电子还有铅直方向的速度，那是否有影响？请查阅伽利略关于运动独立性的原理。)

(e) 再计算由于电场的作用，电子在铅直方向走过的距离 s 。注意，电子进入电场时，其铅直方向速度为零。以后在 (d) 算出的时间内，以 (b)，(c) 的加速度运动。(答案是一个关于 s 的公式，式中包括 0.20 米、电荷 e 、质量 m 等。)

(f) e/m 值。根据所提供的数据，测得的铅直距离是 0.015 米。列出方程，说明在 (e) 部分中算出的偏转是 0.015 米。解该方程求出 e/m 。

本题中，提供给你的是速度，它由题 (3) 中振荡电场的方法测得。除非你知道这个速度，否则它一直留在一群未知数内，在你可以根据电场引起的偏转算得的结果中，这群未知数是以组成 e/mv^2 的形式出现的。在大多数阴极射线的测量中，除非磁场导致的偏转也被测得；否则速度是不能求知的。

习题 6 原子和电子的比较

下面的讨论是关于能使溶液导电的离子。很久以前，化学上就有证据指出，这种载流子是带有电荷的单个原子，有时是原子团，它们所带电量全都相等，每一个都是电的微小的、普适的“原子性”单位(称为“电子”，这是在发现电子的很久以前)。在某些情况下，它们所携带的电荷是这个单位的 2 倍或 3 倍。本世纪初期，物理的证据(离子的扩散)指出，化学离子所带电荷的基本单位和汤姆逊(J. J. Thomson)测得的飞行电子所带的电量大小相等。所以当我们测量电解中生成物的荷质比时，也许能在保持相同比值的情况下，进行适用于单个原子的测量。通过这个荷质比与电子

枪射出的电子流里电子的荷质比的比较,就能够把原子和电子进行比较.所以离子的荷质比是原子物理学中的一个重要数据.下述问题说明它是怎样测得的.

数据:当电流通过含酸的水时(酸仅起中间人的作用以提供离子,而离子则由水来补充).氧和氢变成气泡从金属板(“电极”)上逃走,而电流则借金属板流进和流出.实验表明,在室温和一个大气压下,10安培的电流通了1000秒,将会释出0.001244立方米的氢气.

在与上述温度相同的室内,称量一只大的玻璃球,球内起先充满压强为1大气压的氢气,然后抽空,再充满了水,由此我们可以获得如下数据:

充满氢气时的质量……	1.60084 公斤
空球的质量……	1.60000 公斤
充满水时的质量……	约 11.60 公斤

(a) 用这些数据,算出氢的密度,以公斤/立方米为单位.

(b) 在上述“电解”实验中释出的氢的质量是多少?

(c) 通过仪器的电量是多少?

(d) 在释出氢的极板上,所有到达极板的电荷流,大概是由氢作为载流子带来的.在这种情况下,本实验中由氢的总质量所携带的总电荷之荷质比是多少?

(e) 假设所有的氢载流子完全相同,它们都是氢原子,那么一个氢原子离子的荷质比 e/m 是多少?

(f) 用电子流进行的实验指出,电子的 e/m 大约是 1.8×10^{11} 库仑/公斤 (这意味着1公斤电子具有180,000,000,000库仑的电量).给你氢原子离子的 e/m 的比值与电子的 e/m 的比值,试比较两者.

(g) 假定两者的 e 相同,试比较 m 和 M .

e/m 之值

对电场产生的偏转加以测量,便能算出 $e/m v^2$. 枪压也能告诉我们 $e/m v^2$. 所以假使我们知道了枪压,那么,再用电场使电子