

磁偏转小型质谱仪钨带电流功率 与 K^+ 信号强度关系的研究

肖夏

(复旦大学 物理系 200433)

摘要：

通过不断改变钨带上电流值,并同时用万用表测量法兰盘上接钨带的两个铜柱外脚间的电势差,借以计算钨带上电流的功率,并观察收集器收集到的 K^+ 强度,解释实验结果与理论公式间的符合程度。

关键词：

钨带电流功率 钨带温度 样品电离 K^+ 强度

引言：

元素的核质比是表征该元素基本性质的重要指标,利用带电粒子在磁场中的运动规律,将元素原子按核质比分离,而磁偏转小型质谱仪是最简单的实现该目的的仪器,验证钨带所加功率与信号强度的关系

应该符合实验材料上提供的金属样品电离效率: $\eta = r \cdot \exp[(\phi - E)/kT]$, r 为比例系数, ϕ 是钨带的表面功函数, E 为被分解样品的电离能, T 为绝对温度,即随着钨带温度的升高, KCl 样品的电离应按照此公式所给出的规律电离,收集器接收到的 K^+ 也要照此分布,此篇论文的目的便是要验证金属电离效率公式,并研究在小型质谱仪实验中,表达式受何种因素影响。

理论与实验部分：

实验所要验证的公式是钨带上温度与 KCl 样品电离效率的关系,但是由于实验室中没有可以直接测得温度的仪器,故采用了通过测量钨带上电流的功率,近似的认为电流功率与钨带温度呈线性关系,所以这样便可以得到电流功率与电离效率的关系,进而近似研究温度与电离的函数关系。当样品 KCl 电离后,电离出的 K 和 Cl 的原子,均会与灼热的钨带碰撞。当钨带温度足够高时,将会发生 $e^- + K = K^- + 2e^-$ 的过程,得到 K , Cl^- , K^+ , e^- , K^+ 被加速电压加速至偏转磁场中,当加速电压满足 $\frac{m}{q} = \frac{B^2 R^2}{2V}$ 时, K^+ 恰好通过收集极狭缝,被探测器探测。用特斯拉计测得偏转磁场磁感应强度为 210mT,计算得到的 $V=114V$,得到的电流信号经微电流放大器放大后,输出到 X-Y 记录仪的 Y 端,加速电压 V 输出到 X-Y 记录仪的 X 端。

用万用表 2V 档测量铜柱外脚间的电压 U ,由小质谱仪钨带加热电源读出流经钨带的电流值 I ,电流功率 $P=I \cdot U$,可以得到钨带上电流的功率与计数率关系,但要得到温度与计数率的关系,还需要知道功率与温度的关系,限制于实验时间,与实验器材,但可以假设,两

者呈线性变化。

	钼带宽度
01	1.01mm
02	0.97mm
03	0.98mm
04	1.03mm
05	0.96mm

实验选取的钼带长度为 9.80mm，取钼带宽度的平均值为 0.99mm。

查找资料得到 K 的电离能 $E=4.34\text{eV}$ ，钼的表面功函数 $\phi=4.52\text{eV}$ ，得到 $\eta=r*\exp(2087/T)$

理论上的图像应为：

`Plot[$e^{2087/T}$, {T, 800, 2300}, PlotRange -> {{700, 2300}, {0, 15}}`]

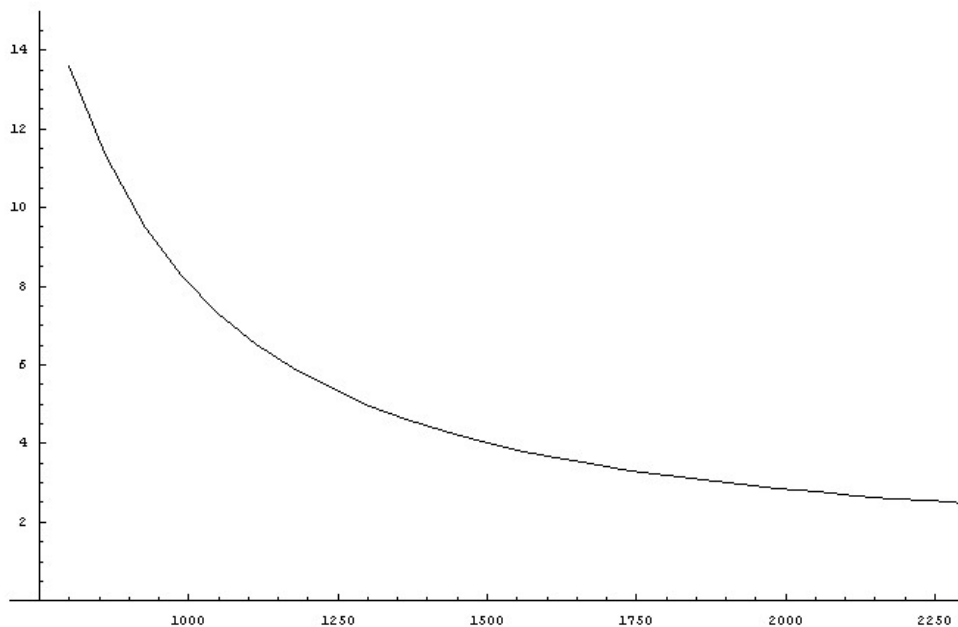


图 1

钼带上尽可能的多加样品，这样做的目的是防止在实验过程中样品过早消耗完。当钼带上电流加到 5A 后，开始每过 5 分钟加 0.5A 的电流，选取 5 分钟作为加热时间的目的是使。加电流之前，记录下 I 与 U 的值。加电流之前，在 89V~139V 范围内用加速电压扫描，得到 K^{39} 离子的信号峰，并读取信号峰的高度，代表了 K^{39} 离子的强度。

钼带的电阻会随着温度发生变化，在实验过程中发现当要记录数据，此时的电流值会比 5 分钟前的值小一些，即此时的 I 并不是 8.5A，9.0A 等值，而是会有偏差，按照实际的电表读数记录。

实验室中有一台仪器可以观察到加热时，样品的实际变化过程，可以观察到，随着钼带电流的增加，样品中心部位首先变成红色，此颜色应为钼带的颜色，说明由于此处温度较高，KCl 样品开始熔化为液态的 KCl，为透明液体，所以钼带发出的光谱可以穿透液态的样本。随着电流增加，红色的范围向两边扩散，这说明了钼带的温度分布，以及变化规律：即钼带中

心位置温度上升快，其次是两边依次升温。当加热时间达到一定值时，钼带上的样品完全消失，可以推测这时钼带周围充满 K , Cl , K^+ , e^- 。

N 代表探测器探测到的 K^{39} 离子信号的强度，用峰高乘上衰减倍率，这也表示被加速电压加速，通过偏转磁场并且被收集器探测到的 K^{39} 离子的数目，即发生电离的样品中 KCl 的量，进而代表了样品的分解率。

结果与讨论：

	U/V	I/A	P/W	N
01	1.024	13.312	13.312	10
02	1.052	13.4	14.097	4.5
03	1.137	13.7	15.5769	1
04	1.01	9.7	9.797	20
05	0.963	12.7	12.2301	20.5
06	0.875	12.4	10.85	20
07	0.828	12.1	10.0188	16.5
08	0.803	12	9.636	18
09	0.766	11.5	8.809	23
10	0.956	9.5	9.082	21.25
11	0.880	10.5	9.24	22.5
12	0.82	8.9	7.743	4.5
13	0.734	10.3	7.34	3.25
14	0.752	11.6	8.7232	13
15	0.800	11.8	9.44	18.5
16	0.953	12.8	12.1984	26
17	0.76	11.6	8.816	21

根据 X-Y 记录仪画出的图像，得到 K^+ 峰的高度用 origin 做出图像，得到

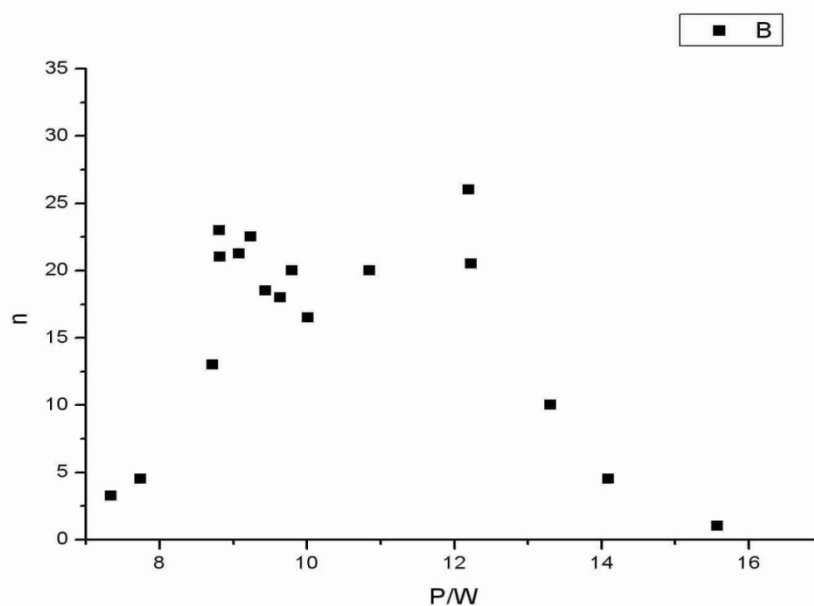


图 2

上图表示在此电流下 K^{39} 离子信号的强度，每一个点都对应了一次加速电场的扫描。

观察上面的图像，发现后五个点呈现出比较好的指数关系

	P/W	N	lnN
01	12.1984	26	3.2581
02	12.2301	20.5	3.02042
03	13.312	10	2.30259
04	14.097	4.5	1.50408
05	15.5769	1	0

所以只取出后面的五个点来，用其验证电离效率的表达式。因为各方面误差的原因，只要求获得与理论值近似的变化趋势即可。

用 origin 拟合，得到新的图像：

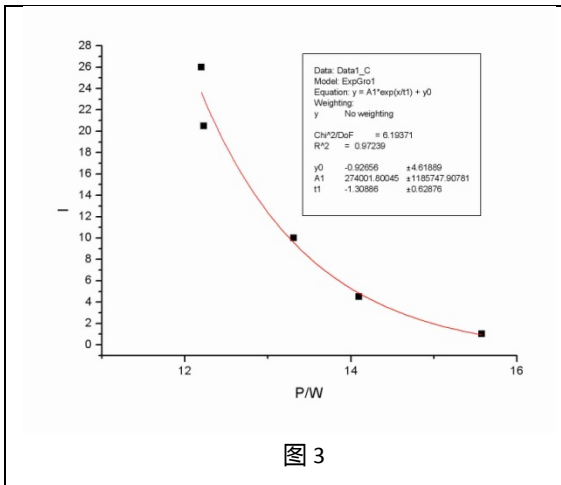


图 3

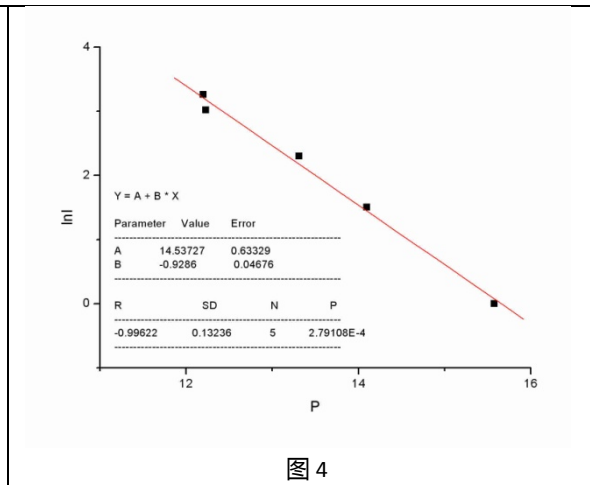


图 4

纵坐标用电流表示，实际上还是反映了 K^{39} 离子的强度。

直接用指数拟合，拟合系数的不确定度很大，所以对 K^+ 数取 \ln 对数，重新拟合得到相关系数 $R=-0.99622$ 。由结果可知当功率高于 12W 时，实验值与理论公式变化趋势近似。可以推测此时钼带各处均达到使 KCl 电离的温度。

在图像的初始阶段，近似为指数上升的状态，然后出现一个近似平台，可见在最初阶段由于钼丝逐渐升温，参与电离的样品 KCl 也逐渐增多。此时，参与电离的样品数量占主要因素，当多数的样品被加热后，此时的温度是决定电离率的主要因素。

Y = A + B * X			
Parameter	Value	Error	
A	14.53727	0.63329	
B	-0.9286	0.04676	
R			SD
N	P		
-0.99622	0.13236	5	2.79108E-4
后五个数据点直线拟合结果			

常数 r 中应含有参与电离样品比率的因子，推测电离样品比率与时间呈指数关系，在实验过程中，电流大小随着时间改变，即电流为时间的间断函数，难以根据实验得到经验公式。对实验数据的前四个点进行拟合。

	P/W	N	lnN
01	7.34	1.17865	3.25
02	7.743	1.50408	4.5
03	8.809	3.13549	23
04	8.816	3.04452	21

可以明显看出可以进行拟合的数据点很少,在实验之前没有想到会呈现这样的分布,所以在钼带电流较小时没有十分均匀的上升电流,而是采取较大的跳跃,目的是节省样品,但

实验结果反而较差。

拟合图像为：

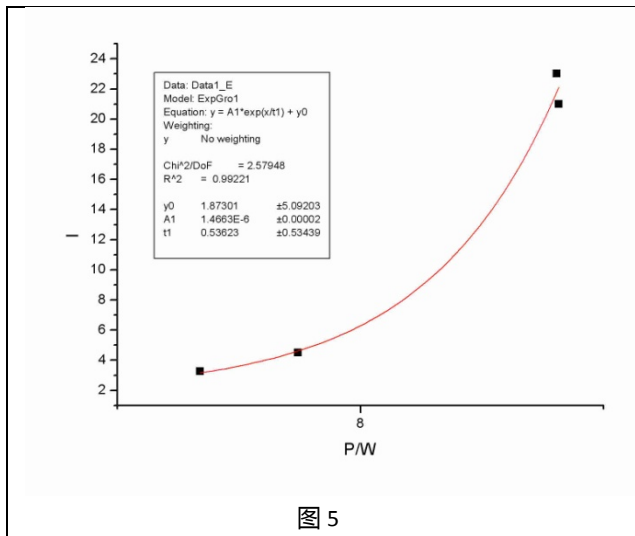


图 5

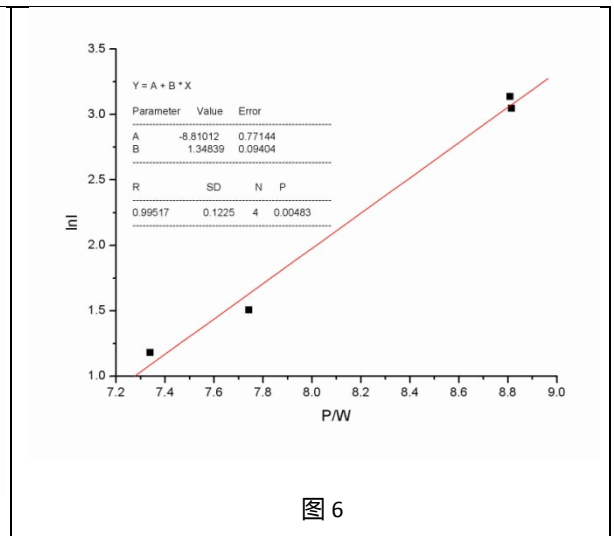


图 6

前四个数据点呈现出近似于指数上升的形式,仿照图 4 用 oringin 作图并拟合 相关系数 $R = 0.99517$,但由于采集的数据点较少,并不能说明就一定按照指数分布。

在初始阶段与末尾的阶段均经拟合推测为指数关系,所以在中间的部分为两个函数叠加的结果,造成平台。

结论：

由于磁偏转小型质谱仪实验,样品的制备,抽取真空等操作比较耗费时间,所以在短时间内,只得到了较少的数据,但还是可以发现在实际的实验操作中,样品 KCl 的电离并不是在整个过程中按照理论公式,这是因为钼带的温度并不是在所有区域都具有相同的值,所以样品 KCl 在温度首先升高的地方先电离,造成钼带功率—信号曲线在初始阶段与金属样品电离曲线的不同。而至于钼带温度在位置上的差异,是因为在与铜柱相接处,由于热传导是两侧的能量散去,所以温度较低。

此外, K^+ , Cl^- , e^- 离子覆盖在钼带表层,且可以定向流动形成电流 I_2 , 电流 I_1 与 I_2 成并联关系,所以电流计测得的电流是流经钼带的电流 I_1 与 I_2 的和 I ;此外由于系统真空的要求,

Y = A + B * X			
Parameter	Value	Error	
A	-8.81012	0.77144	
B	1.34839	0.09404	
R	0.99517	SD	N P
	0.1225	4	0.00483
前四个数据点直线拟合结果			

在每次测量电压值时万用表的探针只能测量法兰盘接钼带的两个铜柱外脚间的电势差,这样测得的实际电压值是铜柱与钼带上电压的串联值,所以,根据实验得到的数据也无法准确计算出钼带上的实际功率。但是本实验的目的并不是要通过曲线与理论值完全拟合上,而是研究随着温度的改变,电离效率的变化趋势。所以存在这些误差并不影响研究的初衷,还是可以根据实验值得到实际实验操作中,钼带温度与样品电离效率的分布关系的。

致谢：感谢汪人甫老师提供的实验器材,以及罗胤同学提供的钼带上样品随温度变化的观测结果。

参考文献：《近代物理实验》