

班级 自动化7班 学号 姓名 彭尚品 教师签字

实验日期 2024/3/20 预习成绩 2.0 总成绩

实验名称 夫兰克-赫兹实验

一. 实验预习

1. 简要叙述波尔的原子能级理论;

2. 描述夫兰克-赫兹的实验原理。

答: 1.) 原子能较长时间地停留在一些稳定状态(简称定态)。

原子在这些状态时, 不发射或吸收能量。

各定态有一定的能量, 其数值是彼此分隔的。

2.) 原子从一个定态跃迁到另一个定态而发射或吸收辐射时, 辐射的频率是一定的。 $h\nu = E_m - E_n$
其中 h 为普朗克常量。

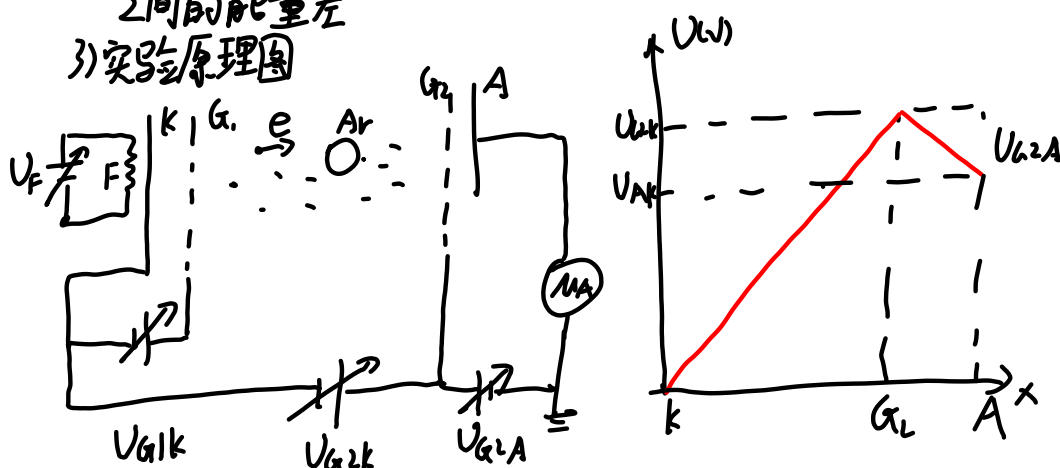
2. 实验原理

1) 通过具有一定能量的电子与原子相互碰撞进行能量交换的方法来使原子从低能级向高能级跃迁。

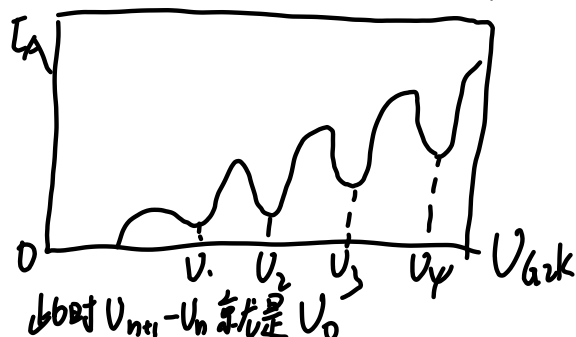
2) 设初速度为0的电子经 U_0 的电场加速, 获得能量 eU_0 。

根据 $eU_0 = E_2 - E_1$ 计算氢原子的基态和第一激发态之间的能量差

3) 实验原理图



3、实验时使 U_{G2K} 电压逐渐增加并观察电流计的电流指示
如果原子能级确实存在,且基态和第一激发态之间确有能量差的话应观察到如下 $I_A - U_{G2K}$ 曲线。



二. 实验现象及原始数据记录

预设参数: $V_{G1K} = 2.10V$, $V_{灯丝} = 2.10V$, 拒斥电压 $V_{G2A} = 7.30V$ 与 $7.80V$

| 组数 | 拒斥电压 7.30V | | 拒斥电压 7.80V | |
|----|---------------|------------|---------------|------------|
| | $U_{G2K} (V)$ | $I_A (nA)$ | $U_{G2K} (V)$ | $I_A (nA)$ |
| 1 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 1.5 | 0 | 1.5 | 0 |
| 4 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 5 | 2.5 | 0 | 2.5 | 0 |
| 6 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| 7 | 3.5 | 0 | 3.5 | 0 |
| 8 | 4 | 0 | 4 | 0 |
| 9 | 4.5 | 0 | 4.5 | 0 |
| 10 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| 11 | 5.5 | 0 | 5.5 | 0 |
| 12 | 6 | 0 | 6 | 0 |
| 13 | 6.5 | 0 | 6.5 | 0 |
| 14 | 7 | 0 | 7 | 0 |
| 15 | 7.5 | 0 | 7.5 | 0 |
| 16 | 8 | 0.3 | 8 | 0 |
| 17 | 8.5 | 2.3 | 8.5 | 0.6 |
| 18 | 9 | 7.7 | 9 | 2.2 |
| 19 | 9.5 | 13.9 | 9.5 | 5.8 |
| 20 | 10 | 23.5 | 10 | 12.9 |
| 21 | 10.5 | 31.3 | 10.5 | 23.3 |
| 22 | 11 | 37.5 | 11 | 33.7 |
| 23 | 11.5 | 42.1 | 11.5 | 39.9 |
| 24 | 12 | 48.5 | 12 | 48.1 |
| 25 | 12.5 | 53.2 | 12.5 | 54.1 |
| 26 | 13 | 55.8 | 13 | 57.2 |
| 27 | 13.5 | 59.8 | 13.5 | 62.2 |
| 28 | 14 | 62.5 | 14 | 66.5 |
| 29 | 14.5 | 64.5 | 14.5 | 67.8 |
| 30 | 15 | 66.5 | 15 | 71.1 |
| 31 | 15.5 | 67.8 | 15.5 | 72.8 |
| 32 | 16 | 67.5 | 16 | 66.2 |

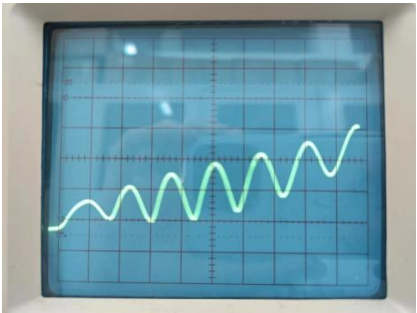
| | | | | |
|----|------|-------|------|-------|
| 33 | 16.5 | 66.3 | 16.5 | 61.9 |
| 34 | 17 | 63.7 | 17 | 56.9 |
| 35 | 17.5 | 60.1 | 17.5 | 55.6 |
| 36 | 18 | 54.7 | 18 | 52.6 |
| 37 | 18.5 | 48.3 | 18.5 | 48.0 |
| 38 | 19 | 42.3 | 19 | 43.3 |
| 39 | 19.5 | 34.8 | 19.5 | 36.7 |
| 40 | 20 | 27.7 | 20 | 29.8 |
| 41 | 20.5 | 21.8 | 20.5 | 23.2 |
| 42 | 21 | 18.4 | 21 | 18.4 |
| 43 | 21.5 | 17.8 | 21.5 | 14.1 |
| 44 | 22 | 24.4 | 22 | 13.0 |
| 45 | 22.5 | 35.8 | 22.5 | 18.2 |
| 46 | 23 | 52.6 | 23 | 34.1 |
| 47 | 23.5 | 68.9 | 23.5 | 51.9 |
| 48 | 24 | 80.4 | 24 | 66.9 |
| 49 | 24.5 | 92.7 | 24.5 | 82.9 |
| 50 | 25 | 102.1 | 25 | 96.5 |
| 51 | 25.5 | 107.5 | 25.5 | 104.6 |
| 52 | 26 | 112.5 | 26 | 111.8 |
| 53 | 26.5 | 114.1 | 26.5 | 116.1 |
| 54 | 27 | 113.2 | 27 | 117.1 |
| 55 | 27.5 | 109.1 | 27.5 | 114.4 |
| 56 | 28 | 101.4 | 28 | 108.0 |
| 57 | 28.5 | 92.0 | 28.5 | 99.3 |
| 58 | 29 | 77.9 | 29 | 85.7 |
| 59 | 29.5 | 62.0 | 29.5 | 69.7 |
| 60 | 30 | 45.7 | 30 | 52.5 |
| 61 | 30.5 | 32.5 | 30.5 | 38.7 |
| 62 | 31 | 20.1 | 31 | 24.2 |
| 63 | 31.5 | 11.7 | 31.5 | 13.1 |
| 64 | 32 | 8.9 | 32 | 6.9 |
| 65 | 32.5 | 14.3 | 32.5 | 4.9 |
| 66 | 33 | 38.2 | 33 | 13.9 |
| 67 | 33.5 | 56.2 | 33.5 | 32.5 |
| 68 | 34 | 80.1 | 34 | 58.5 |
| 69 | 34.5 | 101.0 | 34.5 | 82.1 |
| 70 | 35 | 114.8 | 35 | 99.8 |
| 71 | 35.5 | 129.3 | 35.5 | 119.8 |
| 72 | 36 | 141.4 | 36 | 135.9 |
| 73 | 36.5 | 148.7 | 36.5 | 145.5 |
| 74 | 37 | 154.8 | 37 | 154.4 |
| 75 | 37.5 | 157.0 | 37.5 | 158.7 |
| 76 | 38 | 155.6 | 38 | 160.0 |
| 77 | 38.5 | 150.4 | 38.5 | 157.2 |
| 78 | 39 | 141.3 | 39 | 149.2 |
| 79 | 39.5 | 130.1 | 39.5 | 138.8 |
| 80 | 40 | 113.2 | 40 | 122.5 |
| 81 | 40.5 | 93.3 | 40.5 | 102.7 |
| 82 | 41 | 71.7 | 41 | 80.8 |
| 83 | 41.5 | 53.6 | 41.5 | 62 |
| 84 | 42 | 34.5 | 42 | 41.3 |
| 85 | 42.5 | 19.7 | 42.5 | 23.7 |
| 86 | 43 | 13.3 | 43 | 12.8 |
| 87 | 43.5 | 18.5 | 43.5 | 7.3 |

| | | | | |
|-----|------|-------|------|-------|
| 88 | 44 | 37.6 | 44 | 16.1 |
| 89 | 44.5 | 57.9 | 44.5 | 34.0 |
| 90 | 45 | 83.7 | 45 | 60.7 |
| 91 | 45.5 | 106.8 | 45.5 | 86.9 |
| 92 | 46 | 124.8 | 46 | 106.9 |
| 93 | 46.5 | 145.0 | 46.5 | 130.6 |
| 94 | 47 | 162.0 | 47 | 150.5 |
| 95 | 47.5 | 173.4 | 47.5 | 165.0 |
| 96 | 48 | 183.2 | 48 | 179.6 |
| 97 | 48.5 | 190.3 | 48.5 | 188.5 |
| 98 | 49 | 193.1 | 49 | 193.5 |
| 99 | 49.5 | 192.5 | 49.5 | 195.6 |
| 100 | 50 | 187.5 | 50 | 193.0 |
| 101 | 50.5 | 178.1 | 50.5 | 185.4 |
| 102 | 51 | 166.7 | 51 | 175.3 |
| 103 | 51.5 | 149.6 | 51.5 | 159.4 |
| 104 | 52 | 129.2 | 52 | 139.7 |
| 105 | 52.5 | 110.3 | 52.5 | 120.9 |
| 106 | 53 | 87.1 | 53 | 97.1 |
| 107 | 53.5 | 64.9 | 53.5 | 73.2 |
| 108 | 54 | 49.4 | 54 | 55.1 |
| 109 | 54.5 | 39.2 | 54.5 | 38.4 |
| 110 | 55 | 43.5 | 55 | 31.7 |
| 111 | 55.5 | 56.5 | 55.5 | 38.4 |
| 112 | 56 | 77.7 | 56 | 56.1 |
| 113 | 56.5 | 100.5 | 56.5 | 77.9 |
| 114 | 57 | 119.4 | 57 | 97.3 |
| 115 | 57.5 | 141.8 | 57.5 | 121.2 |
| 116 | 58 | 161.4 | 58 | 145.4 |
| 117 | 58.5 | 176.6 | 58.5 | 163.0 |
| 118 | 59 | 193.8 | 59 | 181.5 |
| 119 | 59.5 | 208.1 | 59.5 | 199.0 |
| 120 | 60 | 218.6 | 60 | 202.3 |
| 121 | 60.5 | 224.1 | 60.5 | 207.6 |
| 122 | 61 | 228.6 | 61 | 211.1 |
| 123 | 61.5 | 228.6 | 61.5 | 220.0 |
| 124 | 62 | 225.3 | 62 | 227.6 |
| 125 | 62.5 | 217.5 | 62.5 | 230.5 |
| 126 | 63 | 205.3 | 63 | 229.3 |
| 127 | 63.5 | 192.2 | 63.5 | 223.6 |
| 128 | 64 | 173.3 | 64 | 213.3 |
| 129 | 64.5 | 152.2 | 64.5 | 201.6 |
| 130 | 65 | 133.4 | 65 | 187.7 |
| 131 | 65.5 | 112.6 | 65.5 | 166.8 |
| 132 | 66 | 96.9 | 66 | 147.2 |
| 133 | 66.5 | 91.0 | 66.5 | 124.1 |
| 134 | 67 | 92.6 | 67 | 103.3 |
| 135 | 67.5 | 101.4 | 67.5 | 90.6 |
| 136 | 68 | 113.4 | 68 | 84.7 |
| 137 | 68.5 | 131.2 | 68.5 | 89.2 |
| 138 | 69 | 150.2 | 69 | 98.7 |
| 139 | 69.5 | 166.7 | 69.5 | 114.7 |
| 140 | 70 | 186.4 | 70 | 133.8 |
| 141 | 70.5 | 205.8 | 70.5 | 150.8 |
| 142 | 71 | 222.7 | 71 | 171.7 |

| | | | | |
|-----|------|-------|------|-------|
| 143 | 71.5 | 235.7 | 71.5 | 224.8 |
| 144 | 72 | 249.6 | 72 | 241.2 |
| 145 | 72.5 | 260.6 | 72.5 | 255.4 |
| 146 | 73 | 267.0 | 73 | 265.0 |
| 147 | 73.5 | 271.7 | 73.5 | 273.0 |
| 148 | 74 | 272.4 | 74 | 276.8 |
| 149 | 74.5 | 269.9 | 74.5 | 276.8 |
| 150 | 75 | 263.3 | 75 | 272.9 |
| 151 | 75.5 | 253.0 | 75.5 | 264.7 |
| 152 | 76 | 241.7 | 76 | 254.5 |
| 153 | 76.5 | 225.5 | 76.5 | 239.1 |
| 154 | 77 | 208.0 | 77 | 221.2 |
| 155 | 77.5 | 193.9 | 77.5 | 205.3 |
| 156 | 78 | 179.7 | 78 | 187.0 |
| 157 | 78.5 | 170.3 | 78.5 | 172.8 |
| 158 | 79 | 166.8 | 79 | 165.2 |
| 159 | 79.5 | 168.0 | 79.5 | 162 |
| 160 | 80 | 174.7 | 80 | 164.9 |
| 161 | 80.5 | 185.2 | 80.5 | 173.2 |
| 162 | 81 | 196.3 | 81 | 183.1 |
| 163 | 81.5 | 211.9 | 81.5 | 197.6 |
| 164 | 82 | 228.9 | 82 | 214.4 |
| 165 | 82.5 | 243.3 | 82.5 | 229.4 |
| 166 | 83 | 260.9 | 83 | 247.9 |
| 167 | 83.5 | 277.4 | 83.5 | 265.7 |
| 168 | 84 | 290.6 | 84 | 280.0 |
| 169 | 84.5 | 305.0 | 84.5 | 296.4 |
| 170 | 85 | 317.2 | 85 | 310.9 |
| 171 | 85.5 | 325.3 | 85.5 | 321.3 |
| 172 | 86 | 332.7 | 86 | 331.4 |
| 173 | 86.5 | 336.8 | 86.5 | 338.3 |
| 174 | 87 | 337.8 | 87 | 341.1 |
| 175 | 87.5 | 335.8 | 87.5 | 341.4 |
| 176 | 88 | 330.3 | 88 | 337.9 |
| 177 | 88.5 | 323.7 | 88.5 | 332.4 |
| 178 | 89 | 313.9 | 89 | 323.3 |
| 179 | 89.5 | 305.5 | 89.5 | 314.4 |
| 180 | 90 | 302.2 | 90 | 310.6 |

| 峰值 (V) | U_1 | U_2 | U_3 | U_4 | U_5 | U_6 | U_7 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 拒斥电压 7.30V | 15.5 | 26.5 | 37.5 | 49 | 61 | 74 | 87 |
| 拒斥电压 7.80V | 15.5 | 27 | 38 | 49.5 | 62.5 | 74 | 87.5 |

自动测量模式结果:



| | |
|----|----|
| 教师 | 姓名 |
| 签字 | |

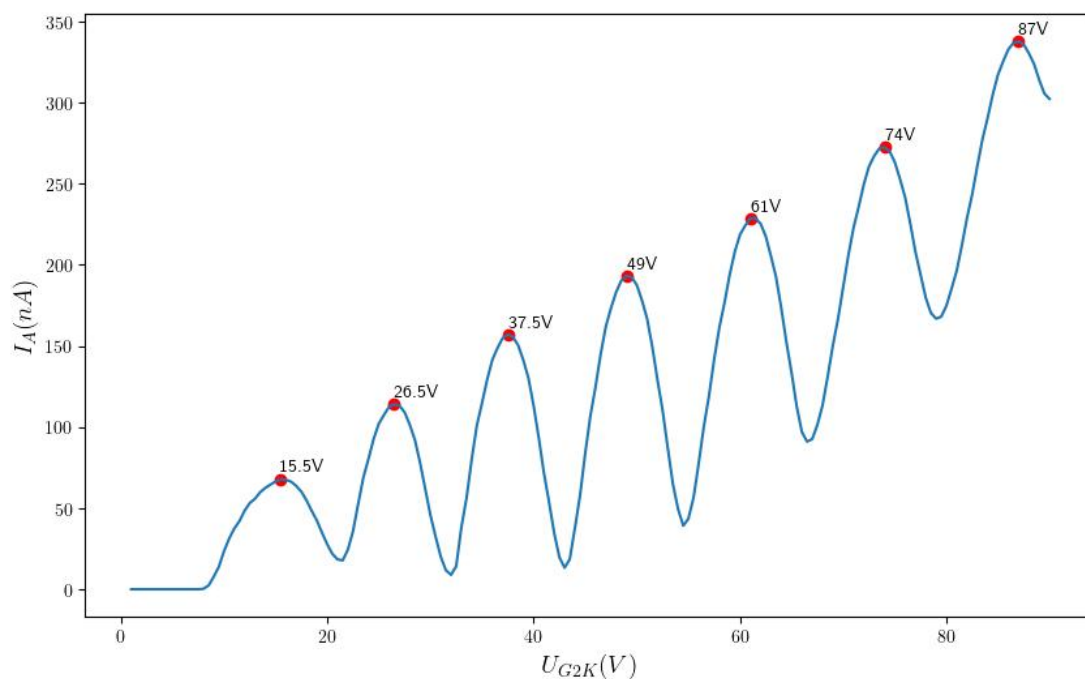
3.0

三. 数据处理

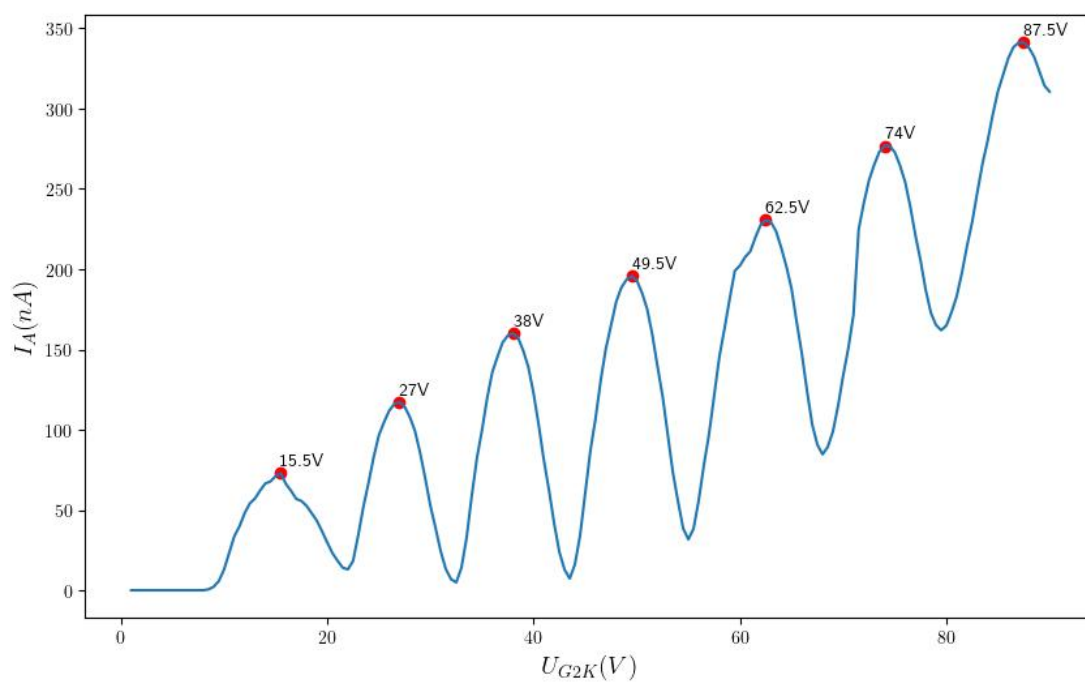
1. 利用计算机软件绘制 $I_A - U_{G2K}$ 曲线；
2. 对曲线进行拟合，利用各峰值或波谷所对应的电压值，分别用逐差法和最小二乘法计算氩原子的第一激发电位。

答：手动测量的结果绘图：

$V_{G2A} = 7.30V$ 时的 $I_A - U_{G2K}$ 曲线



$V_{G2A} = 7.80V$ 时的 $I_A - U_{G2K}$ 曲线



2、

| 峰值 (V) | U_1 | U_2 | U_3 | U_4 | U_5 | U_6 | U_7 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 拒斥电压 7.30V | 15.5 | 26.5 | 37.5 | 49 | 61 | 74 | 87 |
| 拒斥电压 7.80V | 15.5 | 27 | 38 | 49.5 | 62.5 | 74 | 87.5 |

逐差法：拒斥电压 7.30V: $\overline{\Delta U} = 11.92V$

拒斥电压 7.80V: $\overline{\Delta U} = 12.00V$

四. 实验结论及现象分析

在弗兰克-赫兹实验中，随 U_{G2K} 逐渐增大， I_A 先从 0 逐渐增大，后减小又增大后减小……如此反复，且 U_{G2K} 的波峰和波谷值逐渐增大。每两个波峰对应的电压 U_{G2K} 的差值近似是相同的，约为 12.0V，说明原子能级确实是存在的，而且基态和第一激发态之间有确定的能量差。这个相同的值就是氩的第一激发态电位。

五. 讨论题

1. 在 I_A-U_{G2K} 曲线中，为什么随着 U_{G2K} 的增大，波谷电流逐渐增大？
2. 请分析拒斥电压改变对 I_A-U_{G2K} 曲线的影响。
3. 为什么弗兰克-赫兹实验只能测出第一激发态电位？

答：

1、在曲线的起始部分，电子能量不足以使汞原子激发到第一激发态，电子几乎不受损失地到达阳极，导致阳极电流增加。当 U_{G2K} 增加到一定值，电子获得足够的能量使汞原子激发，电子将其部分能量转移给汞原子，自身能量减少，无法克服拒斥电压到达阳极，导致阳极电流出现下降，形成波谷。

随着 U_{G2K} 继续增大，电子在到达阳极前有更多的距离和时间获得额外能量，即使发生碰撞损失能量后，也能再次加速并克服拒斥电压到达阳极。因此，随着 U_{G2K} 的增大，即使发生了激发汞原子的碰撞，更多的电子也能够到达阳极，导致波谷电流逐渐增大。

2、拒斥电压增大，曲线向右下方移动。因为拒斥电压起到了阻碍电子到达极板的作用。当拒斥电压增大时，电子穿越栅极所需要的动能增大，所以在相同电压 U_{G2K} 下到达极板电子数减少，曲线向右下方移动。

3、由于实验的加速区与碰撞区没有分离，使得电子在电场中加速到超过第一激发态所需能量之后就会与原子碰撞而损失能量，此时重新加速到一定程度又会与别的原子碰撞继续损失能量，所以这样就不能加速到第二激发态所需的能量，也无法测定第二激发态电位。