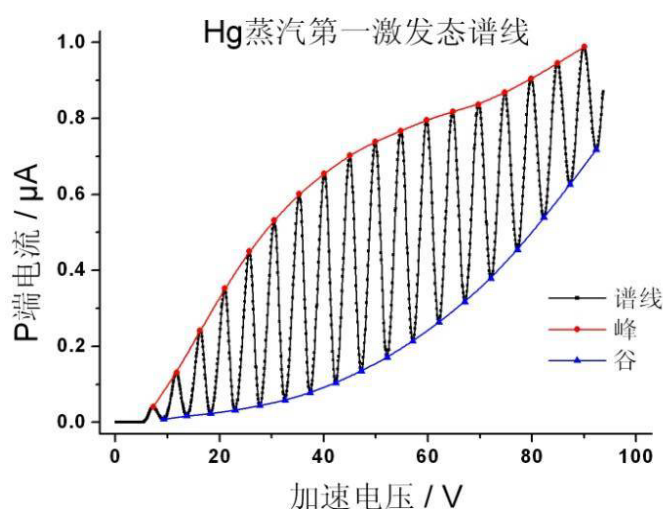


温度对弗兰克-赫兹谱线影响的探究

摘要：在探究 Frank-Hertz 实验的谱线成因过程中，简单模型的建立起着非常重要的作用。先将实际情况合理的简单化，分析主要原因后，再将影响因素加入考虑，所以简单模型需要多方的修正，能更贴近实际情况，我的工作是在合适的简单模型上，探讨合理且重要的影响因素，进一步讨论谱线形成的原因。

关键词：温度，峰间距，能量分布

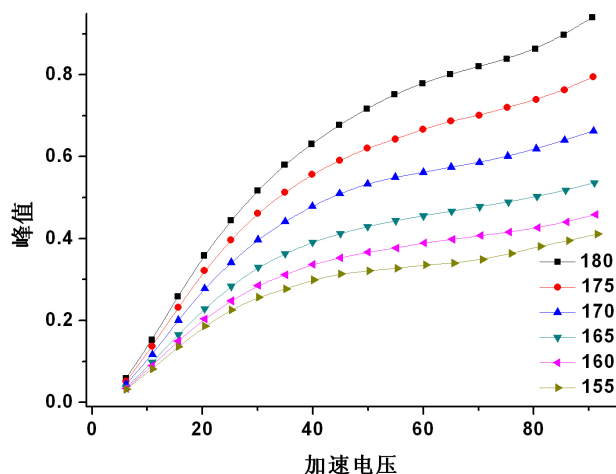


左图为温度在 180 度下的弗兰克-赫兹谱线，在实验的过程中观察到，谱线形状因温度的改变而出现显著的差异。

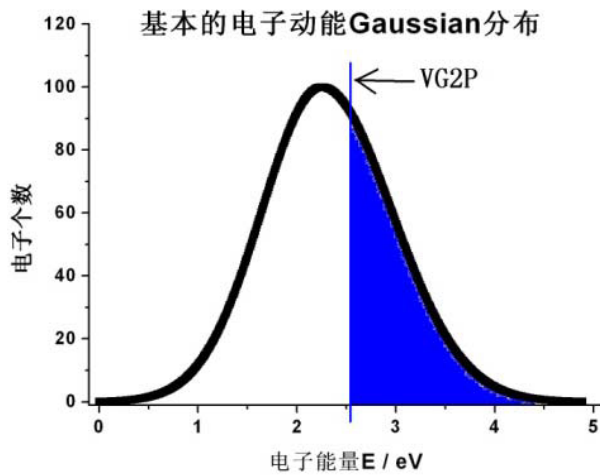
峰与谷之间的间距，以及峰值，谷值的大小都随温度而改变。其中是否存在着某种规律呢？

为弄清温度对谱线的影响，将温度控制在 155 度到 180 度之间，每隔 5 度进行一次测量，并从测量得出的数据点中，选取所有峰值，连成曲线，得到右图。

从图上可以明显的看出，所有的谱线峰值都随温度升高而上升，并且在高温下，变化更加剧烈。



与此同时，通过对数据的分析还发现，除峰值以外，峰间距的大小也随温度而改变。为探究温度对谱线造成的影响，现引入一个造成谱线出现周期振荡的模型。



Hg 原子第一激发态为 4.9eV，而且谱线的周期也接近 4.9V，便构造一个 4.9V 的电子能量范围。在某种情况下电子的能量恰好在这个范围内成 Gaussian 分布。（加速电压为 V_{KG2} ）

设峰值 A_1 ，谷值 A_2 。

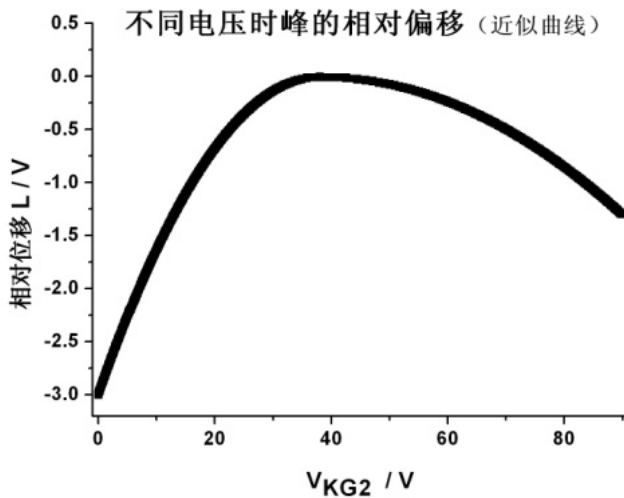
便可以算出分布参数

$$B = \frac{1}{2.45^2} \ln \frac{A_1}{A_2},$$

此时分布函数：

$$N(E) = \begin{cases} A_1 \exp(-B(E - V_{\text{峰}})^2) \\ A_1 \exp(-B(E - V_{\text{峰}} - 4.9)^2) \end{cases}$$

对应的范围：
$$\begin{aligned} V_{\text{峰}} - 2.45\text{eV} < E < 4.9\text{eV} \\ 0 < E < V_{\text{峰}} - 2.45\text{eV} \end{aligned}$$



由于电子在不同的加速电压下，碰撞情况的不同似的电子能量也发生改变。分析得出能量对与加速电压的修正如左图所示。

在引入参数修正量 L 后，可把原有的 Gaussian 函数分写成两个， B 也分成两个 B_1 ，

$$B_1 = \frac{1}{(2.45 - L)^2} \ln \frac{A_1}{A_2}$$

$$B_2 = \frac{1}{(2.45 + L)^2} \ln \frac{A_1}{A_2}$$

近似的用分段二次函数表示 L ：

$$L = \begin{cases} -0.2077(V_{KG2} - 38)^2 & V_{KG2} < 38 \\ -0.0481(V_{KG2} - 38)^2 & V_{KG2} > 38 \end{cases}$$

$$N(E) = \begin{cases} A_1 \exp(-B_1(E - V_{\text{峰}} - L)^2) \\ A_1 \exp(-B_2(E - V_{\text{峰}} - L - 4.9)^2) \end{cases} \quad \text{对应的范围} \quad \begin{aligned} V_{\text{峰}} + L - 2.45\text{eV} < E < 4.9\text{eV} \\ 0 < E < V_{\text{峰}} + L - 2.45\text{eV} \end{aligned}$$

事实上，由之前所提到的温度对谱线的影响可以想到，除了电压修正以外，温度对能量的影响也是不可忽略的。在不同的温度下，修正函数应该也需做出相应的调整。

右图为不同温度下峰间距的变化。

190 度（黑色谱线）和 175 度（红色谱线）并没有太大的区别，黑色谱线几乎被红色谱线所覆盖了。通过数据还可得到它们的峰位也几乎相同。由此可以得到第一个结论：在较高的温度范围内，峰位不受温度的影响。

而将 160 度，175 度的谱线与 190 度进行比较时，可以看到，相对于 190 度的谱线来说，峰间距都有了一定程度的增大。再将 130 度和 145 度的谱线纳入比较，可以看到峰间距的显著增大。由此可以得到第二个结论：整体上相对比较，温度降低会导致峰间距非线性变大。

对应到能量的修正曲线上，温度改变时，图线应当发生改变。上面给出的修正量 L 的分段函数是在温度 180 度时测算得出。

$$L = \begin{cases} -0.2077(V_{KG2} - 38)^2 \\ -0.0481(V_{KG2} - 38)^2 \end{cases}$$

$V_{KG2} < 38$ ，在右图为黑线所示。当温度降低时，由数据拟和发现图线向左移动了。

温度较低时，电子的平均自由程较大，所以，即使在加速电压较小时，与 Hg 原子碰撞次数也比较少，损失的径向能量也比较少，偏移量比较小，而在较高加速电压时，碰撞几率更小，那么等效的电子能量归零的延后效应更明显，整个电子能量的分布的峰值往低能偏的更多，偏移量更大，

因此，总的来说，温度变低时，偏移量 L 的曲线往左偏移。另一方面，平均自由程在高温时变化比较小，但温度下降后，自由程就急剧增长，这就说明了为什么当温度为 130 度和 140 度时，偏移量很大，在 160 度与 175 度时，偏移量较小，因此这应该是一项合理且重要的修正。

小结：本文是在孙午炯同学论文中具体讨论的简单模型基础上，分析了温度对谱线的影响，考察了不同温度下电子能量的分布和分布峰值的偏移量。这也是通过对模型的具体应用验证了模型的合理性。

