

关于气体碰撞增宽的统一经典的轨迹理论

R. M. Hermon, Li Zheng

(美国宾夕法尼亚州立大学物理系)

这是我们提出一种新的关于气体碰撞引起偶极矩相关函数弛豫的统一理论。弛豫现象是在弹性相位改变、非弹性相干终结、和光学上活泼原子碰撞速度变化(VCC)时产生的。它将影响多种物理现象：例如激光物理方面重要的低压非线性光谱学(即饱和光谱学)，低压下共振谱线增宽的反常行为，频域的运动变窄，光子在气体中回波信号的时域弛豫等。作为一种碰撞理论，在初始阶段，它在本质上是非 Markoffian 型的。一般而言，它会导致非洛仑兹谱线线型，偶极矩相关函数非指数时间衰减、自旋回波信号的弛豫和其它现象。决定弛豫的基本公式基本上相当于 Berman 的公式，虽然 Berman 的公式具有不同形式，用泊松统计理论就可以直接得到解。因此对整个问题给出了更加直接、更加现实、更加普遍和更加严格的解。基本思想最初是作者之一(RMH)和 E. W. Weber 在一篇解释 He 的饱和光谱谱线宽度加宽了超精细分辨率的钠 D 谱线的文章中提出的，最近 Herman 的文章又大大地加以扩大，用以解释 VCC 增宽问题中各向异性势能的效应。在那里，外来气体增宽的偶极矩相关函数取时间 τ 作为函数：

$$C_{\nu, f i}(\tau) = |\mu_{f i}|^2 e^{i(\omega_{f i}^0 + \vec{k} \cdot \vec{v})\tau} \exp \left[\frac{1}{2} N \bar{v} \tau \int_{4\pi} d\vec{\Omega} \int_0^\infty b db \left[e^{i\eta(b, \vec{v})} \right. \right. \\ \times \left\{ 1 - \frac{1}{\hbar^2} \int_{-\infty}^\infty dt V_{(i)}^{(f)*} \underset{\text{各向异性}}{\quad} \int_{-\infty}^\tau dt' V_{(i)}^{(f)} - \frac{1}{\hbar^2} (V^{(i)} \text{等等}) + \dots \right\} \\ \left. \left. \times \frac{1}{\tau} \int_0^\tau dt e^{i\vec{k} \cdot \frac{\Delta \vec{v}(b, \vec{v}, \vec{\Omega})}{\Delta v} t} - 1 \right] \right] \quad (1)$$

标准符号 $\omega_{f i}^0$ 是未微扰的频率， v 是光活原子的速度，例如饱和光束产生的光活原子速度； Ω 是表示矢量碰撞参数的角位置； $\Delta v(b, \vec{v}, \vec{\Omega})$ 是弱碰撞时在有 v 各向异性的情况下的速度变化符号，它是从 i 态转移到 f 态时的平均值。公式(1)在 $k \gg N\sigma_{\text{相干}}$ 时有效， $\sigma_{\text{相干}}$ 是总的相干破坏截面。本文将给出对这个表达式的评价，特别是对 He-Na 饱和光谱的谱线形状【用标准光压增宽洛仑兹)轮廓与非洛仑兹 VCC 轮廓的卷积所得到的轮廓来表示】和 He 感应的 Na 光子回波弛豫给出评价。根据上述考虑，首次进行推导的共振谱线增宽的表达式同样可以预期能够用于低压饱和增宽：

$$C_{\nu, f i}^{\text{共振}}(\tau) = |\mu_{f i}|^2 e^{i(\omega_{f i}^0 + \vec{k} \cdot \vec{v})\tau} \exp \left[2\pi N \bar{v} \tau \int_0^\infty b db [\cos \eta(b, \vec{v}) \right. \\ \left. + i \sin \eta(b, \vec{v}) \frac{1}{\tau} \int_0^\tau dt \langle e^{i\vec{k} \cdot \vec{v}_2 t} \rangle_{\vec{a} \rightarrow \vec{v}_2} - 1 \right] \quad (2)$$

$\eta(b, \vec{v})$ 是正的共振相互作用碰撞时引起的相位变化， v_2 是碰撞原子在碰撞时可能转变至激发态的速度。将讨论这个表达式的一些结论。例如，得到了在低压时由洛仑兹和反常色散轮廓组合的合成谱线轮廓，它导致了有效的谱线位移，但是至今仍未解释 Kuhn 和 Lewis 所观察的现象。