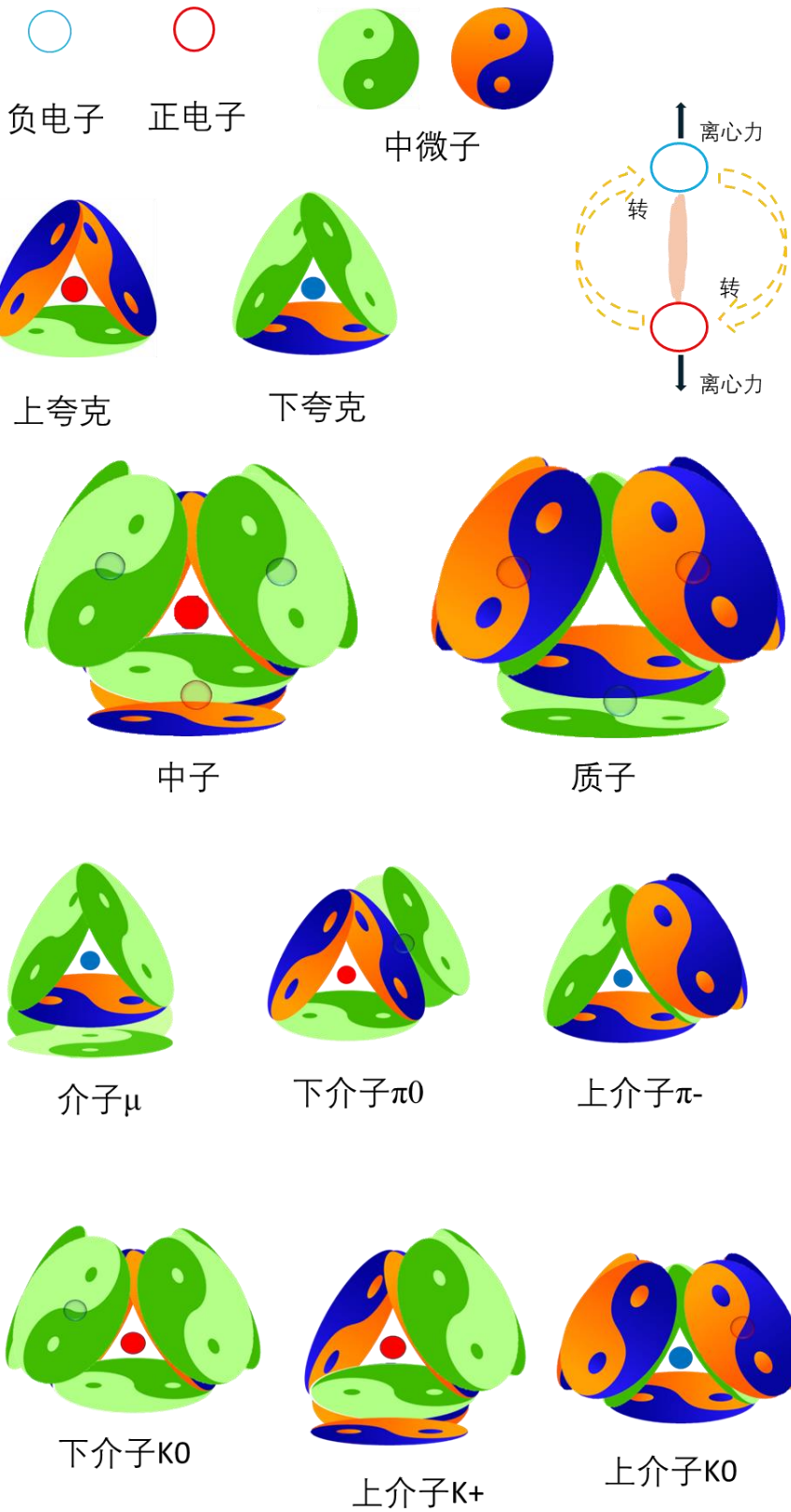


# 董喜杰基本粒子模型

作者：董喜杰 电子邮件：[jacques.dong@free.fr](mailto:jacques.dong@free.fr)



## Table of Contents

1	概括 .....	7
2	介绍 .....	7
3	材料和方法 .....	7
3.1	材料 .....	7
3.2	方法 .....	8
3.2.1	电偶 $\odot$ .....	8
3.2.2	三角子 $\Delta$ .....	8
3.2.3	晶晶子(晶) .....	9
4	结果 .....	9
4.1	宇宙的基本物质 .....	9
4.2	3 种基本物质的建模 .....	9
4.2.1	光子(中) .....	10
4.2.2	纯电子(口) .....	10
4.2.3	古场(古) .....	11
4.3	8 种复合粒子的建模 .....	11
4.3.1	电子 $e$ .....	11
4.3.2	电偶 $\odot$ .....	13
4.3.3	三角子 $\Delta$ .....	15
4.3.4	晶晶子(晶) .....	16
4.3.5	上夸克 $U^+$ .....	17
4.3.6	下夸克 $D^-$ .....	18
4.3.7	质子 $H^+$ .....	19
4.3.8	中子 $n^0$ .....	19
4.4	模拟其他复合粒子 .....	20
4.4.1	中性粒子 .....	20
4.4.2	可见粒子 .....	22
4.5	模拟四种基本力 .....	24
4.5.1	电力 .....	24
4.5.2	磁力 .....	25
4.5.3	重力 .....	25
4.5.4	势力 .....	26
4.6	以太建模 .....	27
4.6.1	定义 .....	27

4.6.2	以太的组成 .....	27
4.6.3	以太成分的后果 .....	27
4.6.4	势能 .....	28
4.7	惰性质量建模.....	33
4.7.1	定义 .....	33
4.7.2	惰性质量的起源 .....	33
4.7.3	电子的移动 .....	33
4.7.4	惰性质量与中性载荷的关系 .....	34
4.7.5	惰性质量的矢量化 .....	35
4.8	模拟 8 种复合粒子的稳定性 .....	36
4.8.1	电子的稳定性 .....	36
4.8.2	电偶的稳定性 .....	36
4.8.3	三角子的稳定性 .....	39
4.8.4	下品晶子的稳定性 .....	56
4.8.5	上夸克 $U^+$ 的稳定性 .....	99
4.8.6	下夸克 $D$ 的稳定性 .....	99
4.8.7	质子 $H^+$ 的稳定性 .....	99
4.8.8	中子 $n^0$ 的稳定性 .....	99
4.8.9	上品晶子的稳定性 .....	99
4.9	原子核建模.....	106
4.9.1	自由电子之间的连接建模: $L_0$ .....	106
4.9.2	自由电子之间的键建模: $LL_0$ .....	111
4.9.3	链接电子之间的连接建模 .....	120
4.9.4	两个品晶子之间的键的建模。 .....	128
4.9.5	氘核的建模 .....	128
4.9.6	氚核的建模 .....	130
4.9.7	氦 4 原子核的建模 .....	141
4.9.8	锂 6 原子核的建模 .....	176
4.9.9	阿斯顿曲线的解读 .....	180
4.9.10	核聚变建模.....	180
4.9.11	核裂变建模.....	188
4.9.12	$\beta$ 放射性建模.....	191
4.10	用核子建成的大型结构建模.....	192
4.10.1	基于中子的结构建模.....	192

4.10.2	基于质子的结构建模.....	195
4.10.3	基于质子-中子结构建模.....	198
4.10.4	基于质子-中子对称体的结构建模.....	198
4.10.5	基于氘及其对称体的结构建模.....	200
5	预测.....	202
5.1	两个粒子就足以构建宇宙.....	202
5.2	潜在势能量存在于环境中.....	202
5.3	物质守恒定律是一条绝对严格的法则.....	202
5.4	夸克具有整数基本电荷 $e^+$ 或 $e^-$ .....	203
5.5	惰性质量是矢量.....	203
5.6	光子具有惰性质量和引力质量.....	203
5.7	光子可以从黑洞中出来.....	203
5.8	光子的速度可以大于 $c$ .....	203
5.9	宇宙的加速膨胀不需要暗能量.....	204
5.10	存在着围绕大质量中心运行的中性粒子海洋.....	204
5.11	粒子的波动表现不属于这些粒子.....	204
5.12	核聚变需要条件.....	204
5.13	有一种固体比钻石强硬 10 万倍.....	204
5.14	存在光子的超导体，包括伽马射线.....	204
5.15	任何温度下都存在电超导体.....	205
6	缩写.....	205
7	附录 A：使用 Matlab Simulink.....	205
7.1	附录 A.1：电偶的特性.....	205
7.2	附录 A.2：三角子微分方程组.....	207
7.3	附录 A.3：晶晶子的微分方程组.....	208
8	参考.....	209
	图 1 - 光子的引力场.....	10
	图 2 - 电子的电场.....	12
	图 3 - 电子的磁场.....	12
	图 4 - 电偶的结构.....	13
	图 5 - $t=0$ 时的色子结构.....	15
	图 6 - 晶晶子的结构.....	16
	图 7 - 上夸克的结构.....	17
	图 8 - 下夸克的结构.....	18
	图 9 - 质子的结构.....	19



图 10 - 中子的结构 .....	20
图 11 - 电力 .....	24
图 12 - 磁力 .....	25
图 13 - 重力 .....	26
图 14 - 势能图 .....	29
图 15 - 电子位移矢量 .....	33
图 16 - 电子的运动 .....	36
图 17 - 电偶动力学 .....	36
图 18 - 电偶二维图 .....	39
图 19 - 三角子结构图 .....	40
图 20 - 平均距离 FI .....	47
图 21 - 平均距离 FG .....	47
图 22 - 平均距离 HA .....	49
图 23 - 平均距离 HI .....	49
图 24 - 三角子电偶的振荡 .....	56
图 25 - 质子半径 .....	56
图 26 - 晶晶子结构 .....	58
图 27 - ABCDEF 三角子轴向视图 .....	58
图 28 - GH $\Gamma$ $\Sigma$ $\Omega$ $\Phi$ 三角子轴向视图 .....	60
图 29 - 平均距离 FC .....	72
图 30 - 平均距离 FE .....	72
图 31 - 平均距离 H $\Gamma$ .....	73
图 32 - 平均距离 H $\Omega$ .....	74
图 33 - 平均距离 BE .....	75
图 34 - 平均距离 BA .....	75
图 35 - 平均距离 $\Sigma$ $\Omega$ .....	76
图 36 - 平均距离 $\Sigma$ G .....	76
图 37 - 晶晶子电偶的振荡 .....	97
图 38 - 自由电子之间的键 .....	107
图 39 - 移位中子-质子的顶视图 .....	107
图 40 - 右视图中子-质子 .....	107
图 41 - 2 个质子-中子对的径向连接 .....	112
图 42 - 质子和中子的坐标并排 .....	113
图 43 - 有结电子之间的键 .....	121
图 44 - 对称核子 .....	192
图 45 - 中子对的结构 .....	193
图 46 - 三重中子 .....	193
图 47 - 双中子对 .....	194
图 48 - 基于双中子对的大型结构 .....	194
图 49 - 质子对的结构 .....	195
图 50 - 三重质子 .....	196
图 51 - 双质子对 .....	196
图 52 - 基于双质子对的大型结构 .....	197
图 53 - 氦伴的结构 .....	198
图 54 - 氦伴 .....	199

图 55 - 氦伴 .....	199
图 56 - 基于氦伴的大型结构 .....	200
图 57 - 氦偶 .....	201
图 58 - 用氦偶复生叠加而成的固体 .....	201

## 1 概括

本文提出了一种不同于标准粒子模型 (标模) 的粒子模型<sup>(1)</sup>。主要议题总结如下：

1. 3 种基本物质的描述
2. 8 种复合颗粒的说明
3. 对 4 种基本力进行建模
4. 以太建模
5. 8 种复合颗粒的稳定性论证
6. 公布该模型的一些预测结果

该模型将被简称为：董模。

## 2 介绍

标模自动承认希格斯场<sup>(2)</sup>的存在，其势的特征为：

$$V(\psi) = (\psi^2 - \psi_0^2)^2$$

从物理角度来看，这相当于通过给它另外一个名字来承认以太的存在，并且承认它具有上述特性。

标模认为光子具有波粒二象性。但这两种状态在物理上是不相容的。

标模将三分之一或三分之二的电荷分配给夸克。这与等于一的最小电荷相矛盾。

标模将负电子和正电子中和的结果建模为两个光子<sup>(9)(15)</sup>。这明显违反了物质守恒定律。事实上，光子与电荷不同。为什么正电荷和负电荷不能通过释放光子来产生看不见的粒子？

董模给出了与标模不同的建模，更简单、更直观、更容易理解。董模使用伽利略基准。

习俗：

为了简洁起见，避免过度使用语言，本文使用原子名称来指代其原子核。事实上，本研究的主题是原子核。当然，除非上下文另有要求。

## 3 材料和方法

### 3.1 材料

使用的材料有：

- 个人电脑 (PC)
- 互联网连接
- 操作系统软件：Windows 7 或更高版本
- Matlab 软件：2019a 或更高版本

## 3.2 方法

需要注意的是，本文中使用的原理是经典力学的原理。

这些方法包括使用以下步骤：

1. 首先查阅参考文献
2. 回顾分析和结论
3. 惰性质量需要场，这导致了以太的存在
4. 在严格遵守物质守恒定律的同时重新审视变换方程。
5. 这需要引入标准模型中未描述的新粒子（电偶）。
6. 通过查看方程的逆，中性粒子海洋的义务就出现了。
7. 从色动力学来看，夸克电荷的三分之一和三分之二的分数是令人震惊的。这导致了人们对夸克结构的重新思考。
8. 纵观标准模型中的所有粒子，几乎所有粒子都带电。这意味着它们不是基本粒子。
9. 通过消除，只有光子和电荷仍然作为基本粒子。
10. 尝试将这两者结合起来，我们只会得到电子和电偶。
11. 通过尝试所有可能的组合，我们得到了三角形结构的三角子。
12. 按照同样的过程继续构建，我们就得到了晶晶子。
13. 幸运的是，三角子的结构允许在其中心容纳一个电子。由此产生夸克和核子。
14. 势能的存在也导致了环境中介质的存在。
15. 中性粒子海洋的存在让我们重新思考粒子波动现象。

最困难的操作在于证明复合粒子的稳定性。事实上，粒子越大，演示就越困难。这些是以下粒子：

电偶、三角子和晶晶子。下面详细介绍了每个粒子所使用的方法。

### 3.2.1 电偶 ☯

一个电偶由两个电子组成。这是一个二体问题。二体问题的解答在天文学界早已为人所知。所以，这是这里使用的方法。

唯一的区别是，这里是电力而不是重力。

解决方案将是一个代数表达式。电偶的半径  $r$  是轨道速度和电子质量的函数。

图形表示将使用 **Matlab** 软件工具进行。

### 3.2.2 三角子 $\Delta$

一个三角子是由 3 个电偶组成的粒子。因此共有 6 个电子。六体问题目前尚无已知的解决方案。

该解决方法包括以下步骤：

1. 由于电偶尺寸小且转速高，因此将其建模为实心圆盘。
2. 能量场和剩磁的引入也支持了这种固体模型。
3. 2 个电子继续在圆盘的边缘转动。

4. 选择三角形结构可以获得 3 个电偶的 3 个接触点。当然，必须选择电偶的旋转频率，以便电力在 3 个接触点上具有最大吸引力。
5. 修改库仑公式，使得当距离趋向于 0 时，能量趋向于一个有限值。因为无限能量在物理上是荒谬的。
6. 这种改进的公式可使两个电子结合在一起而不会互相中和。真正的中和，需要更多条件。
7. 随着电偶的旋转，电力周期性地维持电偶的联结。
8. 这仅在一个条件下有效。在 3 个接触点附近之外，电偶的累积位移不会移动太远。
9. 假设每个电偶的运动与其旋转轴平行。其它运动则被认为可以忽略不计。
10. 这一条件是通过同一圆周上两个符号相反的电偶旋转而引起的每个电偶内电场的中和来保证的。
11. 建立考虑到以上条件的微分方程。
12. 使用 Matlab Simulink 求解微分方程组。

### 3.2.3 晶晶子(晶)

晶晶子是由 3 个三角子组成的粒子。因此共有 18 个电子。十八体问题目前尚无已知的解决方案。

该解决方法包括以下步骤：

1. 首先获取一个名为“心脏”的三角子。
2. 然后取两个电偶，与心脏里的三个电偶之一结合，制成第二个三角子。
3. 因此，有两个三角子共用一个电偶。在这个相邻的电偶上，4 个接触点均匀分布在其圆圈上。
4. 重复上述步骤 2 和 3，在心脏里的两个自由侧之一上制作第三个三角子。
5. 重复上述步骤 2 和 3，在心脏里的最后一个自由侧上制作第四个三角子。
6. 按照与三角子相同的方式建立微分方程。
7. 这里将用到电幕的规则。当两个电子被一个电偶隔开时，它们之间的电力可以忽略不计。
8. 使用 Matlab Simulink 求解微分方程组。

## 4 结果

### 4.1 宇宙的基本物质

本段描述构建宇宙的基本物质。

董模使用以下 3 种基本物质：

1. 光子(中) : 1 型基本粒子
2. 纯电荷(口) : 2 型基本粒子
3. 能量场(古) : 能量场

### 4.2 3 种基本物质的建模

本段描述每种基本物质的建模。

### 4.2.1 光子(中)

光子是由 1 型基本粒子组成的物质。它具有以下特征：

- 中：光子带中性电荷。这个中性电荷的物理意义相当于质量。它的单位是公斤。  
(中)可以取任何正实值。
- $c$ ：自由光子的线速度  $c$  就是标模的线速度。
- 中<sup>+</sup>：光子绕其运动方向旋转。如果是右手准则方向，则会标注为+极性。
- 中<sup>-</sup>：如果该旋转沿左手准则方向，则将注明为-极性。
- 光子被建模为一个微粒。不是电磁波。
- $m_l$ ：光子在运动方向上具有线性惯性质量  $m_l$ 。  $m_l = \infty$ 。
- $m_T$ ：光子具有垂直于运动方向的惯性质量  $m_T$ 。  $m_T = \text{中}$ 。
- 中<sup>+</sup>中<sup>-</sup>：两个关联的光子可以粘在一起形成复合粒子。两个极性相反的光子可以粘在一起成为复合粒子(中<sup>+</sup>中<sup>-</sup>)。它被称为：光偶。一旦形成一对，两个光子就会链接在一起。一个光子的行为与另一个光子的行为相关。哪怕后来分开了。这种现象称为纠缠。
- $\vec{\text{重}}$ ：放置在(古)场（稍后描述）中的光子(中)，与该场相互作用并产生引力场( $\vec{\text{重}}$ )。这个向量可以用下图来说明：

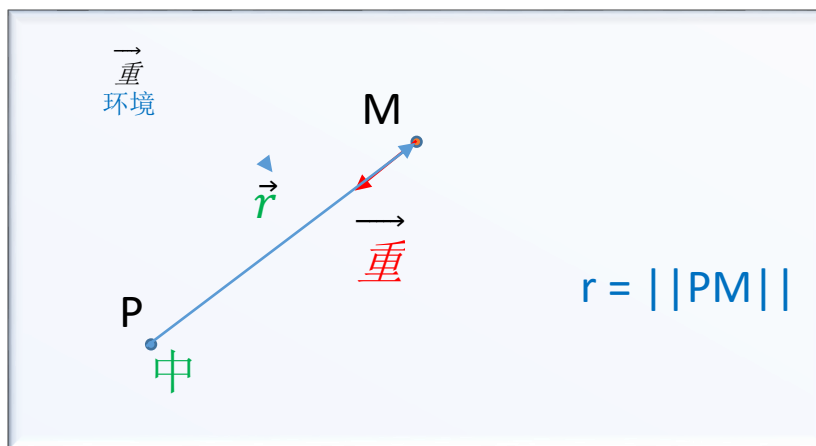


图1 - 光子的引力场

空间中 M 点的向量( $\vec{\text{重}}$ )可以表示为：

$$\vec{\text{重}} = -G \cdot \frac{\text{中} \vec{r}}{r^3 + \gamma^3}$$

和：

- $G$ ：幅度系数 =  $6,674\,08 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ 。
- 中：光子的中性质量。
- $r$ ：具有 2 个光子的两个粒子之间的距离。 $\vec{r}$ 是它的向量。
- $\gamma$ ：是一个常数 =  $1 \cdot 10^{-18}$  米。

### 4.2.2 纯电子(口)

纯电子是一种聚集 2 型基本粒子的物质，它具有以下特性：

- $\square$  : 纯电子具有纯电荷( $\square$ ). 这个电荷的物理意义相当于标模里的电荷<sup>(3)(4)</sup>, 但没有光子。( $\square$ ) 可以取 2 个整数值:  $+1e$  或者  $-1e$ .  $e$  代表最小的电荷。
- 纯电子被建模为一个微粒。这不是波。
- 它没有惰性质量。它没有引力质量。
- 两个符号相反的纯电子可以一起形成复合粒子( $\square^+\square^-$ ).
- 两个同号纯电子不能在一起。
- 纯电子可以通过以下机制捕获光子:  $\square^+\square^- + \text{中}^+\text{中}^- = e^+ + e^-$  (电子对和光子对的组合产生负电子和正电子。)

#### 4.2.3 古场(古)

古场是构成能量起源的物质<sup>(8)</sup>. 它具有以下特点:

- 古 : 古场是一种假设的分布在宇宙空间中的能量场。它有 4 个组件: 电, 磁, 重, 山.
- 电 : 分量(电)是电场。当存在电子时, 该场的密度会受到干扰。电场的值在空间中会根据与该电子的距离而改变。
- 磁 : 分量(磁)是磁场。在存在电子的情况下, 该场的密度会受到该电子的旋转的干扰。磁场(磁)的值在空间中会根据与该电子的距离而改变。
- 重 : 分量(重)是引力场。当存在光子时, 该场的密度就会被破坏。(重)场的值在空间中根据距该光子的距离进行修改。
- 山 : 分量(山)是一个对构成(古)场的材料的密度敏感的场。在光子或电子存在的情况下, 物质的密度会发生变化。该材料附近的字段值会被修改。(山)场也称为势场。
- 古场与光子有一个特殊的联系, 当光子单独存在于古场时, 光子以恒定的线速度  $c$  移动。对于光偶来说, 古场也赋予两个光子之间一个特殊联系。有点像一根弹力绳将它们绑在一起。即使 2 个光子相距很远, 该联系仍然保持活动状态。
- 古场并不是静态的。支持古场基本机制的物质对引力敏感。这些物质不断运动。这意味着在绝对参考系中, 古场遵循大质量的运动。

### 4.3 8 种复合粒子的建模

本段描述 8 种复合粒子的建模。

#### 4.3.1 电子 $e$

电子包括: 负电子和正电子。它具有以下特点:

- $e$  : 一个电子由一个单位电荷  $+1e$  或  $-1e$  和一个光子组成<sup>(6)</sup>.
- 中 : 电子里的光子(中)的中性载荷取决于负电子-正电子对的产生条件。
- 在与古场(古)相互作用时, 电子会产生矢量电场:  $\vec{\text{电}}$ .

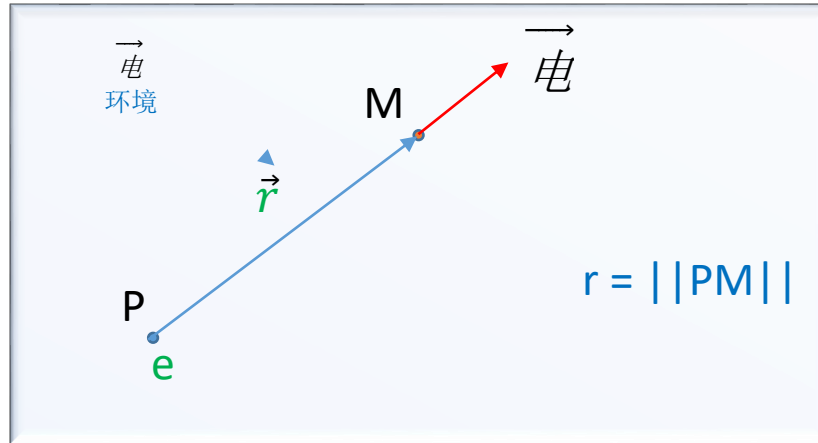


图2 - 电子的电场

空间中 M 点的矢量  $\vec{电}$  可以表示为:

$$\vec{电} = k_e \frac{q \vec{r}}{r^3 + \beta^3}$$

和:

- $k_e$  : 电系数 =  $1/(4\pi\epsilon_0)$
- $\epsilon_0$  : 代表参考真空的介电常数 =  $8,854\ 187 * 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$ .
- $r$  : 点 P 和点 M 之间的距离。
- $\beta$  : 是一个常数 =  $1 * 10^{-18}$  米。
- $q$  : 加权电荷:

$$q = e \frac{\text{中}}{\text{中}_{ref}}$$

- $e$  : 单位电荷
- 中 : 电子静止时的中性载荷。
- 中<sub>ref</sub> : 用于确定  $\epsilon_0$  的参考电子的中性载荷。
- 电子围绕穿过其中心的轴旋转。这种旋转就是磁场的起源<sup>(18)</sup>。  
正电子的旋转方向按照右手约定如下图所示:

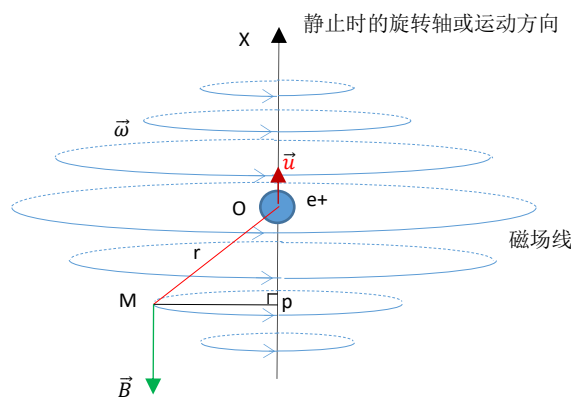


图3 - 电子的磁场

负电子的旋转方向与正电子的旋转方向相反。磁场  $\vec{B}$  使用毕奥和萨伐尔定律表示如下:



$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot \vec{u} \wedge \vec{r}}{r^3 + \beta^3}$$

和：

- $\mu_0$  : 磁系数
  - $q$  : 为电场定义的加权电荷。
  - $\vec{u}$  : 旋转轴的单位向量。
  - $\wedge$  : 是向量积运算符。
  - $r$  : 电子所在点  $O$  与旋转轴外空间中任意点  $M$  之间的距离。 $\vec{r}$  是它的向量。
  - $\beta$  : 与电场的常数相同。
- 静止状态下的电子的磁场是无法检测到的。原因是旋转轴没有固定方向。当电子进行直线运动时，运动方向也成为旋转轴。此时，磁场变得可检测到。
  - 当将电子移动离开  $P$  点时，它会在  $P$  点的场中留下一个洞。这个洞不会立即消失。仍然有一个小的延迟  $t_R$ 。在此延迟  $t_R$  期间磁场也保持不变。这导致电子穿过铜线圈时产生的磁场倍增。

#### 4.3.2 电偶 ☯

电偶是由具有相同中性载荷的负电子和正电子组成的粒子。它具有以下特点：

- $r$  : 2 个电子围绕彼此旋转。它们的轨迹是一个半径为  $r$  的圆。该半径是在电偶的对称中心和电子中心之间测量的。
- $v$  : 电子们绕其对称轴的轨道旋转速度。
- $中_0$  : 2 个电子之一的中性载荷。另一个电子具有完全相同的中性载荷。
- $中_g$  : 电偶的总体中性载荷。  $中_g > 2 * 中_0$ 。
- 如果在足够大的距离处进行测量，则同一圆上两个符号相反的电荷的旋转使电偶呈中性。
- $O$  : 电偶的结构可以比作一个圆圈。如下图所示：

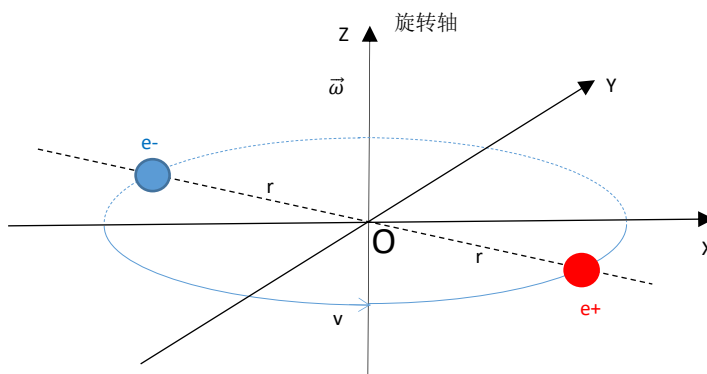


图4 - 电偶的结构

- $D_s$  : 尽管电偶的结构可以比作一个圆圈。但古场的物理特性会使电偶像固体磁盘一样。这可以防止电子穿过由圆圈界定的圆盘。艺术家的观点如下:



- $k_n$  : 两个电子产生的电场因其轨道旋转而大大衰减。该衰减  $k_{n0}$  估计与旋转频率  $f$  成比例。这是每秒的转数。衰减系数估计如下:

$$k_{n0} = \frac{10^3}{f}$$

和:

$f$ : 每秒的转数。  $f > 1000$ 。如果  $f \leq 1000$ , 则系数  $k_{n0}$  保持为 1。如果  $f > 10^{14}$ , 则  $k_{n0}$  保持为  $10^{-11}$ 。

但这种衰减不适用于电子附近。我们估计, 当距离趋于 0 时,  $k_n$  趋于 1。因此整个空间和每个电子的衰减公式:

$$k_n = 10^{-\frac{D}{r} \cdot 100} + k_{n0} = 10^{-\frac{D}{r} \cdot 100} + \frac{10^3}{f}$$

和:

- $r$  : 是电偶的半径。
- $D$  : 是电子和所考虑的点之间的距离。

对于电力来说, 会出现两种情况:

1. 外部电子是自由的, 没有其自身的内部衰减,  $k_{n02} = 1$ :

$$k_n = 10^{-\frac{D}{r_1} \cdot 100} + k_{n01} \cdot k_{n02} = 10^{-\frac{D}{r_1} \cdot 100} + k_{n01} = 10^{-\frac{D}{r_1} \cdot 100} + \frac{10^3}{f_1}$$

和:

- $r_1$  : 是具有电子 1 的电偶的半径。
- $f_1$  : 是具有电子 1 的电偶的旋转频率。
- $D$  : 是两个电子之间的距离。

2. 外部电子是自由的, 受其自身内部衰减的影响,  $k_{n02} = 10^3/f_2$ :

$$k_n = 10^{-\frac{D}{r_1+r_2} \cdot 200} + k_{n01} \cdot k_{n02} = 10^{-\frac{D}{r_1+r_2} \cdot 200} + \frac{10^3}{f_1} \cdot \frac{10^3}{f_2} = 10^{-\frac{D}{r_1+r_2} \cdot 200} + \frac{10^6}{f_1 \cdot f_2}$$

和:

- $r_2$  : 是具有电子 2 的电偶的半径。
- $f_2$  : 是具有电子 2 的电偶的旋转频率。

- $\Delta$  : 两个相反符号的电介质的中和使得德布罗意的规则在这里无效<sup>(5)</sup>。(提醒这条规则: 电偶的轨道旋转周期必须是由公式  $E = h/T$  给出的 2 个电子中每一个的本征周期的倍数, 其中  $E$  是每个电子的能量。  $T$  是自己的周期。系数  $h$  是普朗克常数)。

#### 4.3.3 三角子 $\Delta$

一个三角子是由 3 个电偶组成的颗粒。它具有以下特点:

- $\Delta$  : 3 个电偶形成一个三角形。其结构可以用下图来说明:

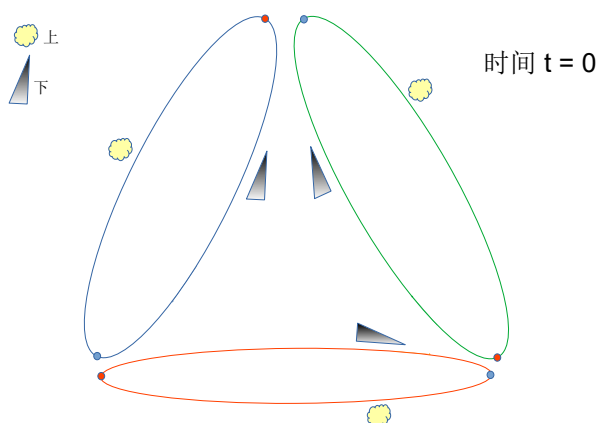
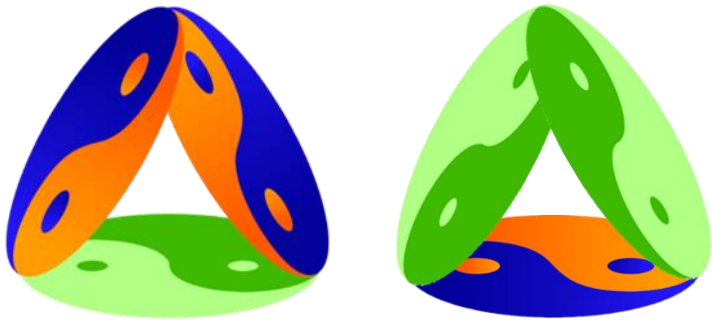


图5 -  $t = 0$  时的色子结构

- $\Delta$  : 出现 3 个接触点。一切的发生就好像我们将 3 个圆圈绑成一条链一样。因此, 我们获得了 2 个联系点。然后, 我们从两端连接两个圆圈。所以这个圈子就闭合了。
- $T$  : 必要条件是 3 个电偶的旋转周期等于或 3 的倍数。考虑最小周期  $T_0$ 。对于其他 2 个周期中的每一个, 它等于  $T_0$  或  $3nT_0$ 。  $n$  是正整数。
- $E$  : 另一个条件是 3 个电偶不能都具有相同的能量水平。事实上, 排除规则只允许两个电子具有相同的能量。它们的区别在于它们围绕自身旋转的方向。这意味着最多两个电偶可以具有相同的能量水平。第三个电偶的电子必须具有不同的能级。
- $0$  : 三角子具有电中性的外观。这有两个原因。首先, 3 个电偶的轨道旋转几乎都处于中性状态。第二个是三角子没有固定的方向, 就像不显示磁场的电子一样。
- $r$  : 特殊情况是 3 个电偶有相同的半径  $r$ 。在这种情况下, 在保持尽可能简单的同时, 我们采用 2 个相同能量水平的电偶。这必然给出相同的轨道旋转半径  $r$  和相同的轨道速度  $v_1$ 。第三个电偶的旋转速度必须是  $v_1$  的 3 倍, 或者  $v_1$  的三分之一。
- $\Delta^h \Delta^b$  : 取决于 3 个电偶的能量水平。有两种类型的电偶。我们用  $v_i$  做  $\odot_i$  电偶的速度。当  $v_3=3v_1$ , 且  $v_2=v_1$  时, 三角子为上型。当  $v_3=(1/3)v_1$ , 且  $v_2=v_1$  时, 三角子为下型。
- 下图展示了三角子的艺术图案:



- 灵感来源<sup>(19)</sup>.

对于三角子的 3 个接触点，几乎是电中性的。这引入了一种称为结合能的势能。该结合能通过质量和能量之间的等价产生结合质量。

正是这种结合能解释了复合粒子的质量远大于所有组分的质量之和的事实。

4.3.4 晶晶子(品)

一个晶晶子是由 3 个三角子组成的颗粒。它具有以下特点：

- 品：3 个三角子形成了一种环形链，有点像一个三角子。其结构可以用下图来说明：

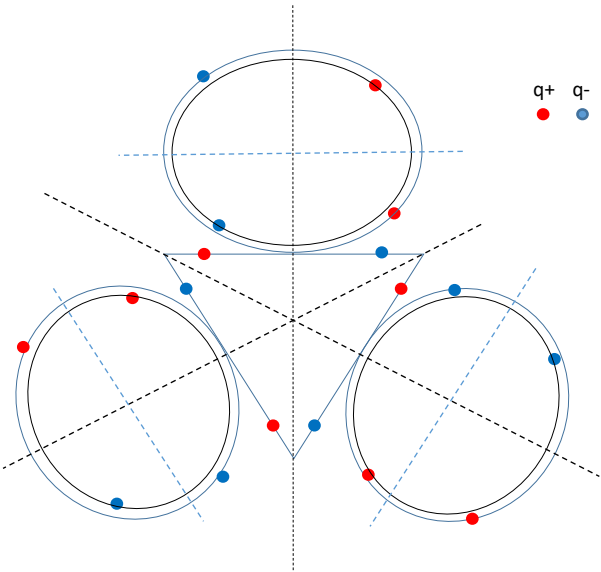
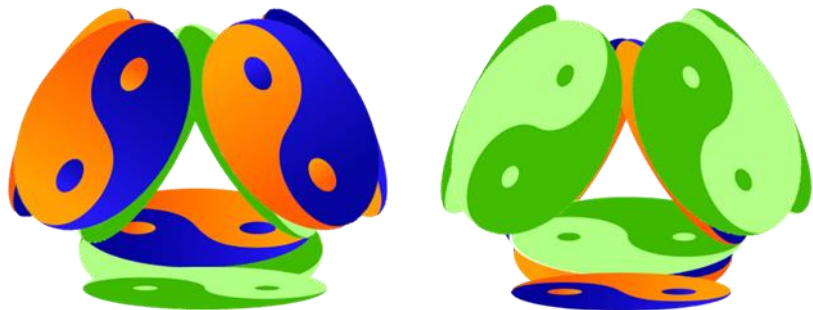


图6- 晶晶子的结构

- 要理解上图，您必须首先以一个三角子为起点。这是中间的三角形。对于三角形的每条边（即一个圆），我们可以添加两个电偶以形成一个新的三角子。在相邻的电偶圆圈上，4 个接触点要均匀分布。
- X：排除规则适用于每个三角子。
- !X：排除规则不适用于间接电偶。原因在于，间接电偶要么相距足够远，要么被不同能级的电偶形成的电屏隔开。
- 0：晶晶子具有电中性的外观。其原因与三角子相似。

- $r$  : 一个特殊情况是, 这 3 个三角子是特殊情况下的三角子。
- 品<sup>h</sup>品<sup>b</sup> : 根据位于晶晶子中心的三角子类型, 我们区分两种类型的晶晶子。如果中心的三角子是下型, 则晶晶子是上型。相反, 如果中心的三角子是上型, 则晶晶子是下型。
- 下图展示了晶晶子的艺术图象:



- 灵感来源<sup>(20)</sup>.

4.3.5 上夸克  $U^+$

上夸克是一种由上型三角子和正电子组成的粒子。它具有以下特点:

- $e^+$  : 正电子位于三角子内。其结构可以用下图来说明:

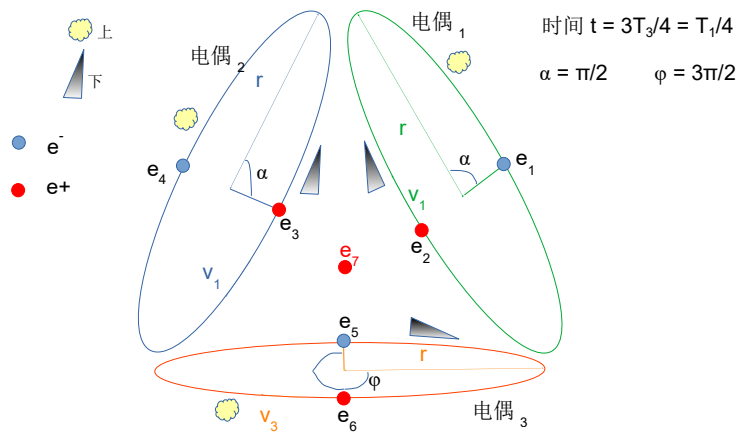


图7- 上夸克的结构

- 三角子的运行会在中心产生一个势能空穴。正电子在那里稳定。但这种稳定性完全是相对的。事实上, 中心与周边地区的能源潜力差异并不是很大。因此, 如果夸克加速太快, 中心的正电子就无法附着在三角子上。夸克就会变成三角子和正电子。
- 三角子的艺术性的图象如下:



- 灵感来源<sup>(20)</sup>.

4.3.6 下夸克 D<sup>-</sup>

下夸克是一种由下型三角子和负电子组成的粒子。它具有以下特点：

- $e^-$  : 负电子位于三角子内。其结构可以用下图来说明：

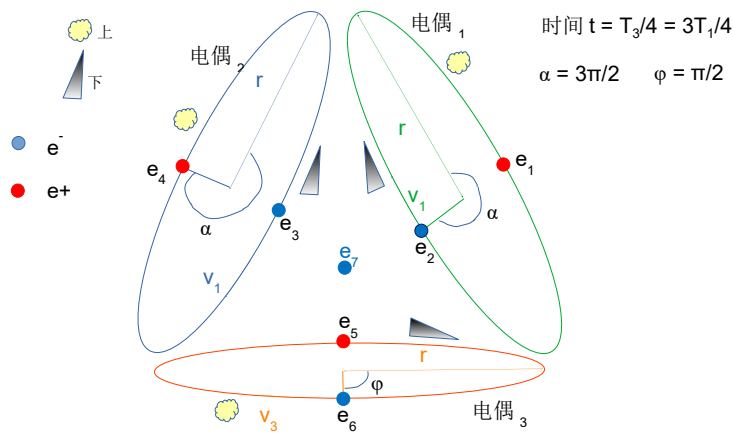


图8- 下夸克的结构

- 类似于上夸克，下夸克也只有一个相对的稳定。
- 下图是 D- 夸克的艺术性的图象：



- 灵感来源<sup>(20)</sup>.

4.3.7 质子  $H^+$

质子是由一个下型晶晶子和 3 个电子组成的粒子。它具有以下特点：

- 品  $b^-$  : 质子中心的三角子属于上型。其中心没有电子。
- $e^- e^+$  : 质子的外围有两个下型三角子和一个上型三角子。负电子位于上型三角子的中心。2 个正电子分别位于每个下型三角子的中心。电子的分布可以用下图来说明：

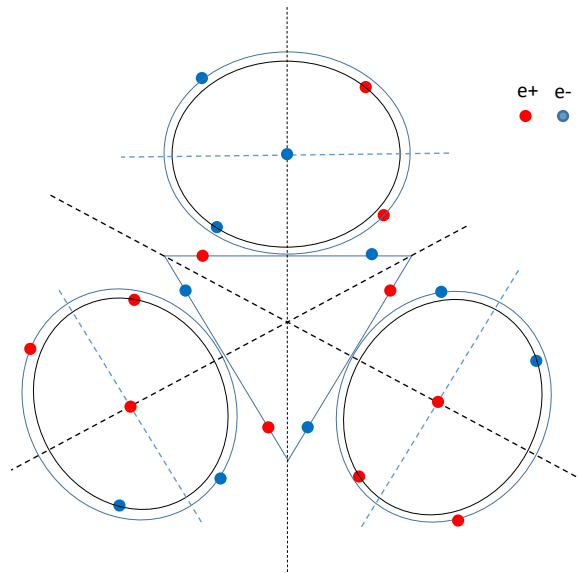
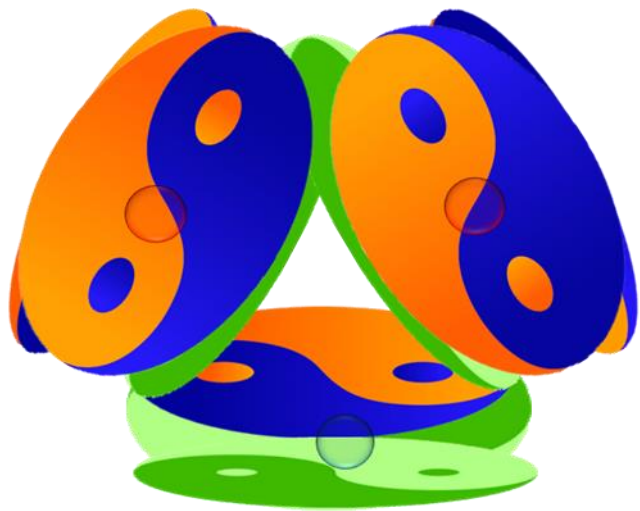


图9 - 质子的结构

- 3 个电子的电荷之和等于:  $+1e$ .
- 下图是  $p^+$  质子的艺术性的图象：



- 灵感来源<sup>(20)</sup>.

4.3.8 中子  $n^0$

中子是由一个上型晶晶子和 4 个电子组成的粒子。它具有以下特点：

- 品  $h^+$  : 质子中心的三角子属于下型。它的中心有一个正电子。
- $e^- e^+$  : 中子外围有两个上型三角子和一个下型三角子。正电子位于下型三角子的中心。每个上型三角子的中心各有 1 个负电子。电子的分布可以用下图来说明:

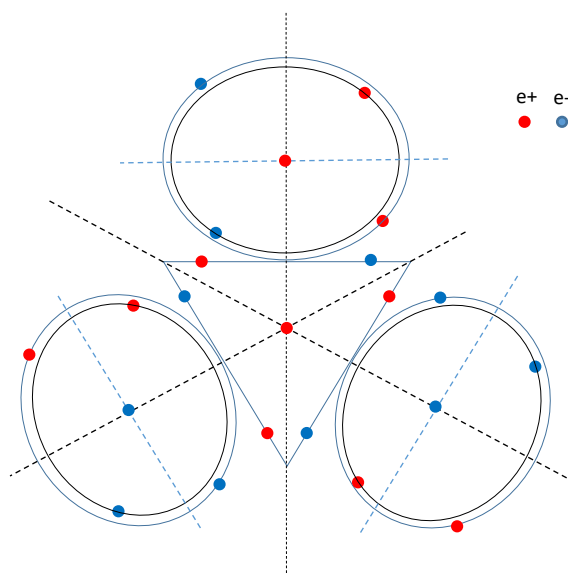
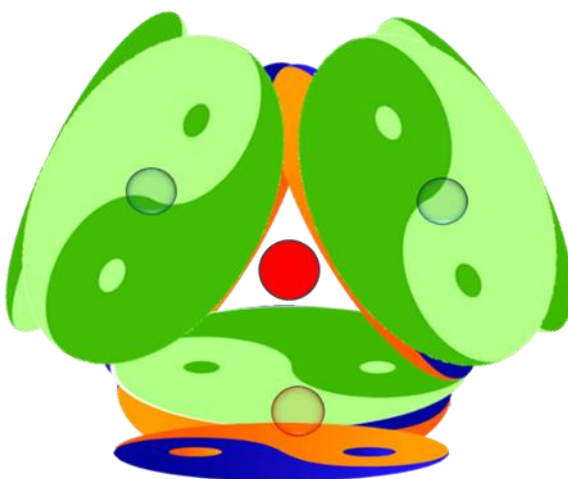


图10- 中子的结构

- 4 个电子的电荷之和等于: 0。
- 4 个电子的几何分布揭示了中子绕其对称轴旋转期间的电矩和磁矩。因此, 尽管中子的表观电荷为 0, 但它还是可见的。
- 下图是中子  $n0$  的艺术性的图象:



- 灵感来源<sup>(20)</sup>.

## 4.4 模拟其他复合粒子

### 4.4.1 中性粒子

上一段描述了 4 种中性复合颗粒。其他中性粒子可以通过组合不同能级的电偶来获得。

例如:

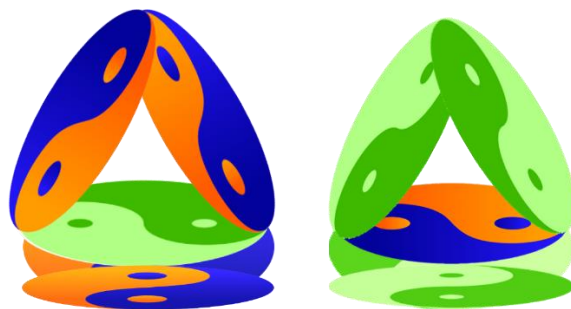


通过遵循晶晶子构建方法，并从三角子开始，可以每次在能量水平  $E_1$  的电偶上添加两个相同能量水平  $E_2$  的电偶。由此我们得到了一种新的中性复合粒子。

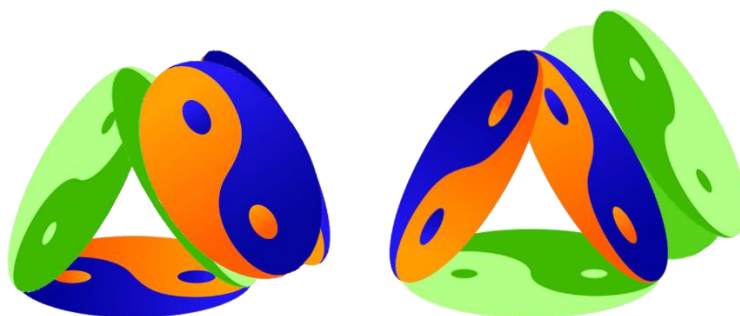
由此获得的颗粒理论上是稳定的。特别是当它们形成卷曲链时。

但如果链条太大，它们可能会不稳定。

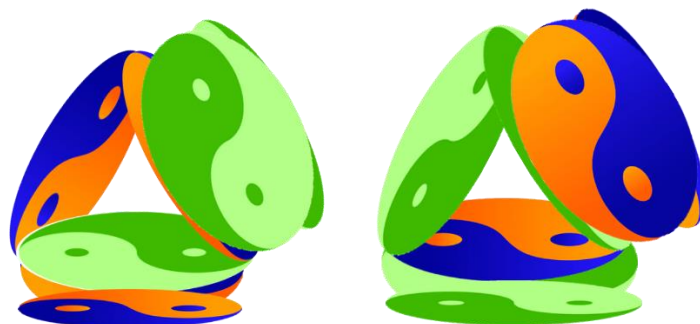
#### 4.4.1.1 上下孪生三角子



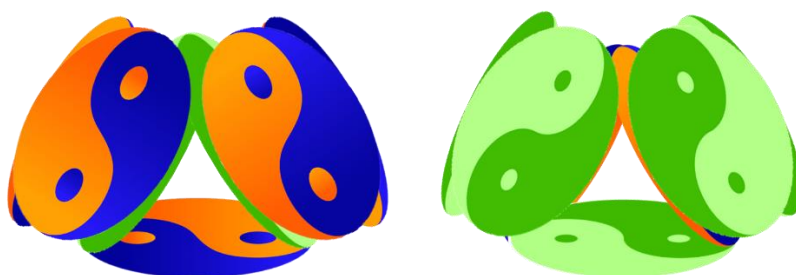
#### 4.4.1.2 上下双三角子



#### 4.4.1.3 三重三角子上4-3 下3-4



#### 4.4.1.4 三重三角子上5-2 下2-5



### 4.4.2 可见粒子

对于可见的复合粒子，它只要包含一组非零电荷就足够了。或者，电荷的分布不对称。这会导致出现电矩和磁矩。

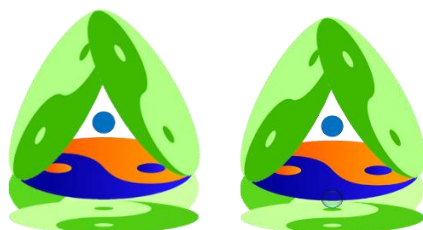
例如：

对于之前获得的每个中性粒子，只需将多个电子分布在每个三角子中心，以使这些电子的总和不为零。

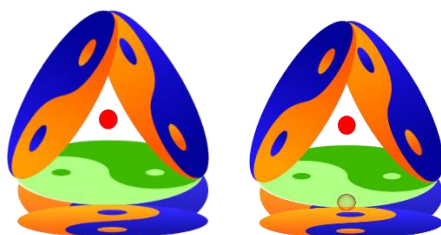
或者说这些电子的分布在几何上是不对称的。

出于与上夸克和下夸克相同的原因，由此获得的粒子通常不稳定。

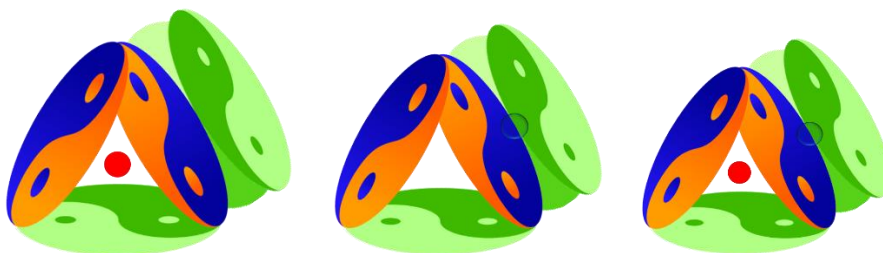
#### 4.4.2.1 介子 $\mu$ 和 $\mu^-$



#### 4.4.2.2 介子 $\mu^+$ 和 $\mu^{++}$

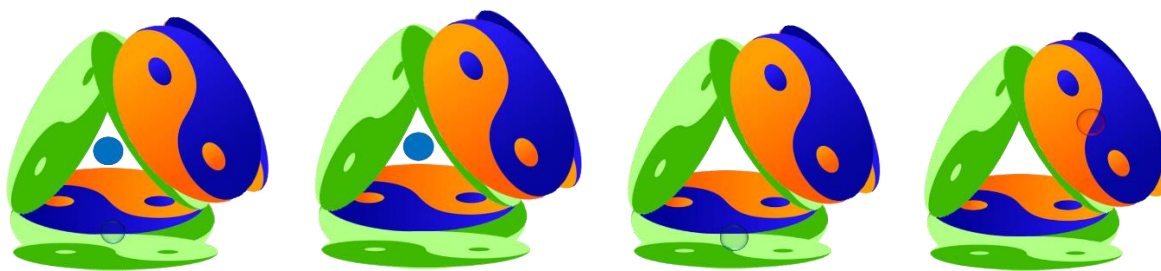
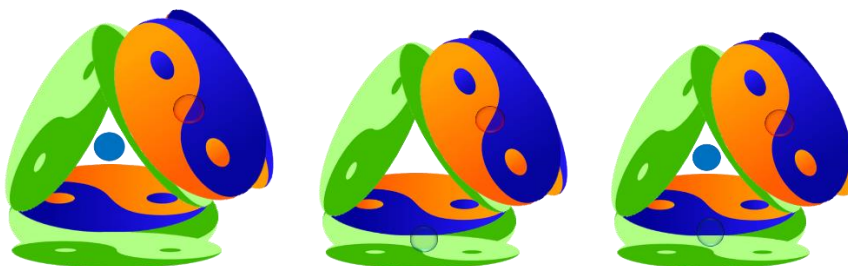
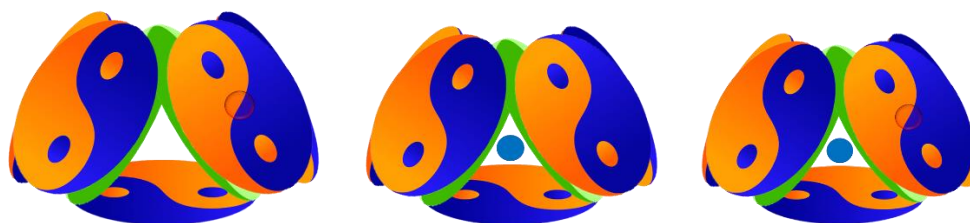
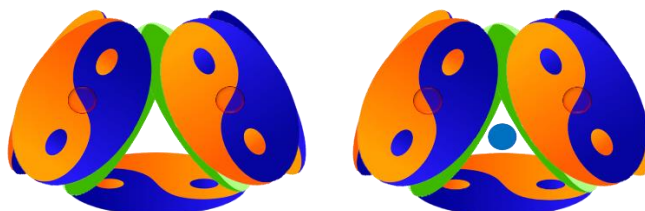
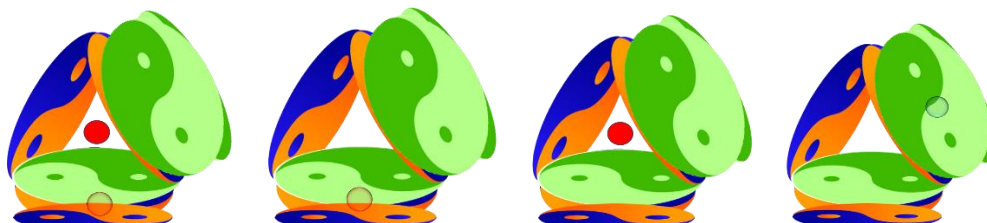
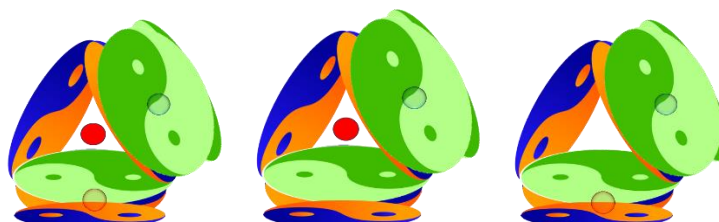


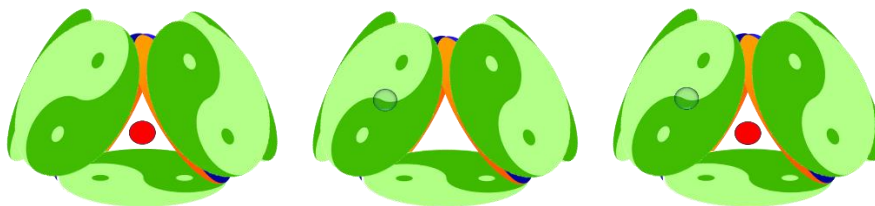
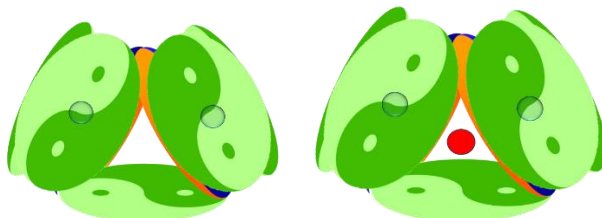
#### 4.4.2.3 下介子 $\pi^+$ , $\pi^-$ , $\pi^0$



#### 4.4.2.4 上介子 $\pi^+$ , $\pi^-$ , $\pi^0$



4.4.2.5 下介子 $K^-$ ,  $K^-$  3-4 和  $K^+$  3-44.4.2.6 下介子 $K^0$  3-4 和  $K^{*-}$  3-44.4.2.7 上介子 $K^+$ ,  $K^+$  和  $K^0$  5-24.4.2.8 上介子 $K^{*+}$  和  $K^{*+}$  5-24.4.2.9 上介子 $K^{*+}$ ,  $K^+$  和  $K^-$  4-34.4.2.10 上介子 $K^{*+}$ ,  $K^0$  4-3

4.4.2.11 下介子 $K^+$ ,  $K^-$ ,  $K^0$  2-54.4.2.12 下介子 $K^-$  和  $K^{*-}$  2-5

## 4.5 模拟四种基本力

## 4.5.1 电力

当2个电子置于古场中时，每个电子都会受到由另一个电子在连接它们的轴上的电场引起的电力<sup>(21)</sup>. 可以用下图来说明：

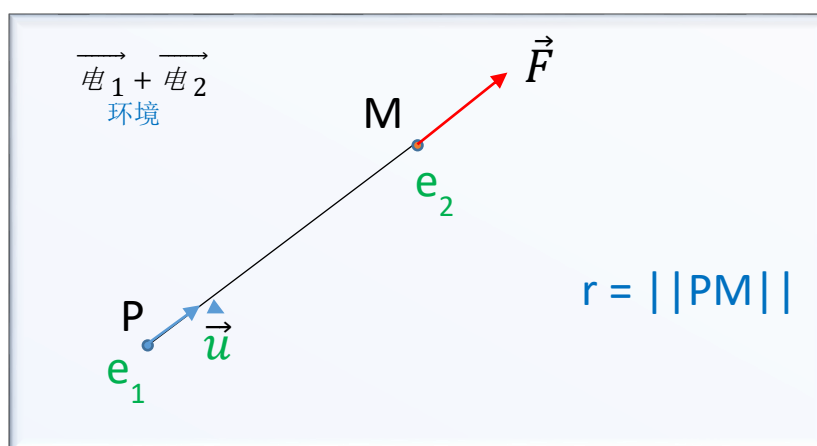


图11 - 电力

$e_1$  施加的电子  $e_2$  所受到的电力  $F$  可以表示如下：

$$\vec{F} = k_e \frac{q_1 q_2 r \vec{u}}{r^3 + \beta^3}$$

在这里：

- $q_i$  :  $e_i$  电子的加权电荷(用  $i = 1$  或  $2$ )：

$$q_i = e \frac{\text{中}_i}{\text{中}_{ref}}$$

- 中<sub>i</sub> :  $e_i$  电子静止时的中性载荷。
- $r$  :  $e_1$  和  $e_2$  分别位于 P 点和 M 点之间的距离。
- $\vec{u}$  : 连接 P 点和 M 点的轴的单位向量。
- ? : 其他参数在描述电子的段落中进行了描述。

该力在以下情况下具有最大值：

$$r = \frac{\beta}{\sqrt[3]{2}} = 0.7937 \cdot 10^{-18} m$$

当  $r \gg \beta$  时,  $\beta$  可从式中消去。我们就找到了库仑力的经典形式。但当  $r \ll \beta$  时, 当  $r$  趋于 0 时, 力引起的总能量趋于有限常数, 而不是经典形式趋于无穷大。

#### 4.5.2 磁力

当 2 个电子置于古场中时, 每个电子都会受到另一个磁场引起的磁力, 其方向取决于 2 个矢量积<sup>(3)(4)</sup>. 可以用下图来说明:

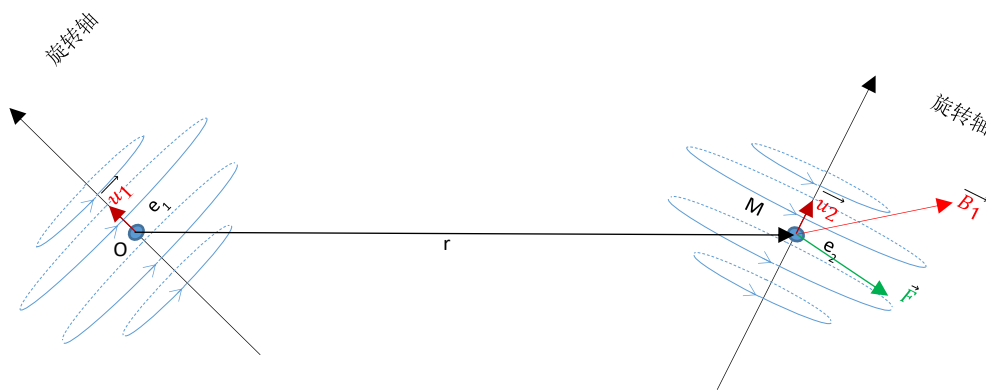


图12 - 磁力

$e_1$  施加的电子  $e_2$  所受到的磁力  $F$  可以表示如下：

$$\vec{F} = q_2 \cdot \vec{u}_2 \wedge \vec{B}_1$$

在这里：

- $q_2$  :  $e_2$  电子的加权电荷。
- $\vec{u}_2$  :  $e_2$  电子旋转轴的单位矢量。
- $\wedge$  : 向量积运算符。
- $\vec{B}_1$  :  $e_1$  电子在距它所在点 O 距离为  $r$  的点 M 处产生的磁场。

应当指出的是, 该公式适用于 2 个静止的电子。实际上, 电子是在运动的。必须考虑剩磁。这相当于通过等价将一系列电子与另一系列通过等价的电子相互作用相加。

#### 4.5.3 重力

当 2 个具有至少一个光子的粒子被放置在古场中时, 每个粒子都会受到由另一个粒子在连接它们的轴上的引力场引起的引力<sup>(22)</sup>。可以用下图来说明：

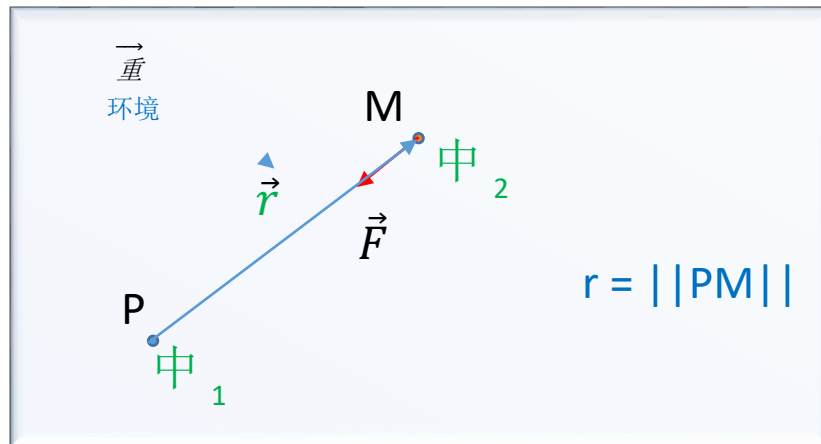


图13 - 重力

光子中<sub>2</sub>所受到的引力  $\vec{F}$  由中<sub>1</sub>施加，表达式如下：

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{\text{中}_1 \text{中}_2 \vec{r}}{r^3 + \gamma^3}$$

在这里：

- 中<sub>i</sub> : 光子 i 的中性载荷(用  $i=1$  或  $2$ ).
- $r$  : 两个粒子之间的距离。 $\vec{r}$  是它的向量。
- $\gamma$  : 其他参数在光子（中）段落中描述。

当  $r \gg \gamma$  时，式中可消去  $\gamma$ 。我们找到了牛顿力的经典形式。但当  $r \ll \gamma$  时， $r$  趋于 0 时力引起的总能量趋于有限常数，而不是经典形式趋于无穷大。

#### 4.5.4 势力

势力来自势场  $\vec{\mathcal{U}}$ 。并且该字段可以表示如下：

$$\vec{\mathcal{U}} = -\vec{\nabla} \pm$$

在这里：

- $\vec{\nabla}$  : 是 Nabla 梯度算子。
- $\pm$  : 是物质的密度。

对于空间中的  $M$ ，光子或纯电荷的存在会改变物质的密度。粒子之间的相互作用也会改变该密度。特别是两个符号相反的电子之间的中和会调动大量能量。在发生中和的  $M$  点附近，能量密度发生很大变化。该点  $M$  将称为活动中心。

另一个重要特征是该场的剩值。事实上，当密度变化的原因消失时，其后果并不会立即消失。

古场需要一定的非零时间来均匀化其环境。与此同时， $\vec{\mathcal{U}}$  场继续发挥作用。

这种势力对于解释电子捕获光子是必要的。事实上，电力、磁力和引力三种力无法解释这种捕获。



该场类似于引力场，但有以下区别：

- 该场作用于光子和电子。而引力场只作用于光子。
- 该场的范围比引力场短。预计在： $10^{-10}$  米。
- .

## 4.6 以太建模

### 4.6.1 定义

几千年前祖先就已经给出了一个定义，认为宇宙沐浴在一种叫做以太的物质中<sup>(8)</sup>。

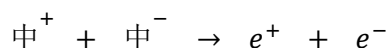
### 4.6.2 以太的组成

以太不是纯净且均一的物质。它至少包含以下两个组件：

1. 此文上面定义的能量场
2. 中性粒子的海洋
3. 也许还有其他不明元素……？

组分 1 的存在是显而易见的，因为如果没有这种类型的场，惰性质量就不会存在。

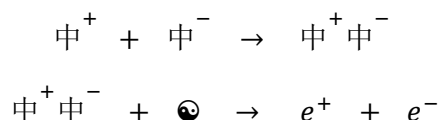
根据标模，组分 2 的存在来自以下反应：



这个反应意味着：一个+光子和一个-光子碰撞产生一个正电子和一个负电子。该反应在实验室中针对特定光子能量水平经过了验证。

这里有一个解释问题：两个光子转变为两个电子。康普顿效应告诉我们，电子是由电子和光子组成的粒子。上面的变换使两个电子从无到有。这与物质守恒定律相矛盾。

上述反应的实际情况应写成如下：



这个反应的意思是：第一步：一个光子+和一个光子-碰撞产生一对光子。第二步：一对光子+一个弱能的电偶，碰撞产生一个正电子和一个负电子<sup>(10) (16)</sup>。

如此，物质守恒定律得到了遵守。

出现了一个问题：电偶是从哪里来的？

我们知道在实验室里，不供电偶。无论如何，电偶是中性粒子。目前还没有办法操纵它。

所以，只有一种可能：电偶在太空中无处不在。至少，在存在可见物质的太空中。这是因为中性粒子受到引力的吸引。

### 4.6.3 以太成分的后果

以太不是纯净且均匀的物质这一事实立即导致了第一个后果：之前涉及以太的实验结果必须受到质疑。

事实上，对实验结果的解释是基于以太是纯净且均匀的实体的假设。

这里将重新解释以下两个经验：

1. 光子的二重性
2. 迈克尔逊和莫雷实验

#### 4.6.3.1 光子的二重性

根据实验条件，光子可以表现为电磁波或粒子<sup>(1)</sup>。

没有以太或纯以太很难解释这两种现象。但对于含有中性粒子海洋的以太，解释就变得简单了。

当光子在太空中移动时，它不断地遇到低能量的电偶。对于遇到的每一个电偶，光子被电偶的一个或另一个电子捕获，然后又被释放。在这过程中，电偶会转动，且产生电弧。这给人一种电磁波的错觉，其频率取决于光子的能量。

在存在其他光子的情况下，通过捕获光子而激发的电子进入电力的相互作用，从而导致波干涉。

因此：光子的波动现象对应于光子在电偶海洋中运动引起的电磁波动。

#### 4.6.3.2 迈克尔逊和莫雷实验<sup>(17)</sup>

这个实验的前提是地球在以太中以速度  $v$  运动，并且以太在绝对基准系中是静止的。

但古场随着地球的运动而变化，电偶也一样。这意味着以太和地球被固定在地球的局部框架内。这与实验的结论是一致的。

该实验表明，在绝对参考系中，光子的速度并非处处恒定。如果局部基准系在绝对基准系中以速度  $v_0$  移动。那么光子在绝对系中的速度为：

$$\vec{v}_a = \vec{v}_0 + \vec{v}_c$$

在这里：

- $v_a$  : 是绝对基准系中光子的速度。
- $v_0$  : 是绝对基准系中局部基准系的速度。
- $v_c$  : 是局部基准系中光子的速度。  $v_c = c$ .

这意味着穿过朝着不同方向移动的不同区域的光子不具有直线轨迹。并且其每一时刻的绝对速度大于或等于  $c$ 。

#### 4.6.4 势能

在两个粒子之间的相互作用过程中，涉及一定量的势能<sup>(14)</sup>。这种能量既不在第一个粒子中，也不在第二个粒子中，而是分布在产生相互作用的能量场的空间中。

作为一个例子，本段说明了电势能的确定。

两个电子在空间  $M$  点产生的电场可用下图表示：



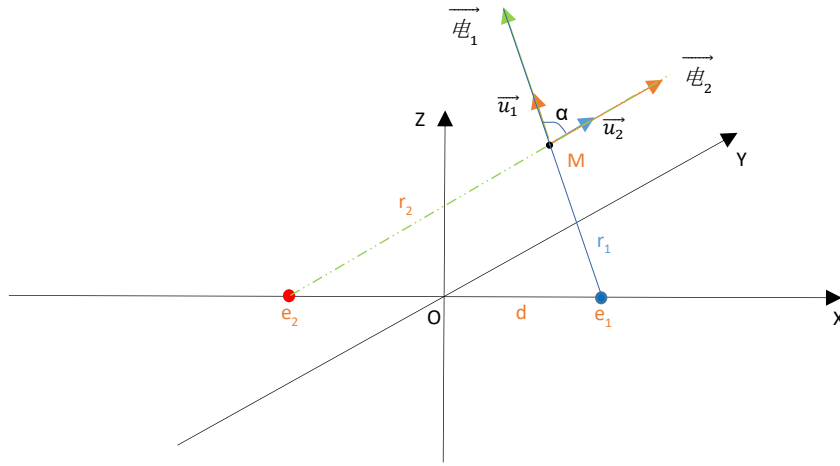


图 14 - 势能图

忽略参数  $\beta$ ，所得电场可以用以下面公式表示：

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = k_e \frac{q_1}{r_1^2} \vec{u}_1 + k_e \frac{q_2}{r_2^2} \vec{u}_2$$

使用：

$$q_1 = \frac{q_{ref1}}{q_{ref}} \cdot e$$

$$q_2 = \frac{q_{ref2}}{q_{ref}} \cdot e$$

电能密度可写为：

$$\rho_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \left( k_e \frac{q_1}{r_1^2} \vec{u}_1 + k_e \frac{q_2}{r_2^2} \vec{u}_2 \right)^2$$

$$\rho_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 k_e^2 \left( \frac{q_1^2}{r_1^4} \vec{u}_1^2 + \frac{q_2^2}{r_2^4} \vec{u}_2^2 + 2 \frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \vec{u}_1 \cdot \vec{u}_2 \right)$$

$$\rho_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 k_e^2 \left( \frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4} + 2 \frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \cos(\alpha) \right)$$

$$\rho_e = \rho_{e1} + \rho_{e2} + \rho_{e12}$$

使用：

$$\rho_{e1} = \frac{1}{2} \epsilon_0 k_e^2 \left( \frac{q_1^2}{r_1^4} \right)$$

$$\rho_{e2} = \frac{1}{2} \epsilon_0 k_e^2 \left( \frac{q_2^2}{r_2^4} \right)$$

$$\rho_{e12} = \varepsilon_0 k_e^2 \left( \frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \cos(\alpha) \right)$$

这 3 个表达式的物理解释如下：

1.  $\rho_{e1}$  : 表示单独使用时的  $e_1$  电子的能量密度。
2.  $\rho_{e2}$  : 表示单独使用时的  $e_2$  电子的能量密度。
3.  $\rho_{e12}$  : 表示两个电子  $e_1$  和  $e_2$  之间相互作用的能量密度。

我们将通过整个空间的密度  $\rho_{e12}$  积分来模拟电子  $e_1$  和  $e_2$  之间的相互作用能：

$$E_{e12} = \iiint_0^\tau \rho_{e12} \cdot d\tau = \iiint_0^\tau \varepsilon_0 k_e^2 \frac{q_1}{r_1^2} \frac{q_2}{r_2^2} \cos(\alpha) \cdot d\tau$$

在下面的计算中，考虑 2 个同性电荷的情况。 $e_1$  是正电荷。 $e_2$  也是正电荷。矢量  $\vec{r}_1$  和  $\vec{r}_2$  考虑了电荷的极性。在坐标系中，我们有：

$$M(x, y, z) = M(r \cdot \sin \theta \cos \varphi, \quad r \cdot \sin \theta \sin \varphi, \quad r \cdot \cos \theta)$$

$$e_1 \left( \frac{d}{2}, 0, 0 \right)$$

$$e_2 \left( -\frac{d}{2}, 0, 0 \right)$$

$$\vec{r}_1 \left( x - \frac{d}{2}, y, z \right)$$

$$\vec{r}_2 \left( x + \frac{d}{2}, y, z \right)$$

$$r_1^2 = \left( x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2$$

$$r_2^2 = \left( x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2$$

$$\cos(\alpha) = \frac{\left( x - \frac{d}{2} \right) \left( x + \frac{d}{2} \right) + y^2 + z^2}{\sqrt{\left( x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2} \cdot \sqrt{\left( x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2}}$$

积分：

$$\frac{E_{e12}}{\varepsilon_0 k_e^2 q_1 q_2} = \iiint_0^\tau \frac{\cos(\alpha)}{r_1^2 r_2^2} \cdot d\tau = I$$

$$I = \iiint_0^\tau \frac{\left( x - \frac{d}{2} \right) \left( x + \frac{d}{2} \right) + y^2 + z^2}{\left[ \sqrt{\left( x - \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2} \right]^3 \left[ \sqrt{\left( x + \frac{d}{2} \right)^2 + y^2 + z^2} \right]^3} \cdot d\tau$$

在球坐标中：

$$\begin{aligned}
I &= \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{r=0}^{\infty} \frac{\left(x - \frac{d}{2}\right)\left(x + \frac{d}{2}\right) + y^2 + z^2}{\left[\sqrt{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 + z^2}\right]^3 \left[\sqrt{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 + z^2}\right]^3} \cdot r^2 \sin \theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\varphi \\
I &= \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{r=0}^{\infty} \frac{-\frac{d^2}{4} + r^2}{\left[\sqrt{\left(r^2 + \frac{d^2}{4}\right)^2 - (xd)^2}\right]^3} \cdot r^2 \sin \theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\varphi \\
-I &= \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{r=0}^{\infty} \frac{r^2 - \frac{d^2}{4}}{\left[\sqrt{\left(r^2 + \frac{d^2}{4}\right)^2 - d^2 \cdot r^2 \cdot (\cos \varphi)^2 [1 - (\cos \theta)^2]}\right]^3} \cdot r^2 \sin \theta \cdot dr \cdot d\cos(\theta) \cdot d\varphi
\end{aligned}$$

$\theta$  上的积分可以写成:

$$-I_{\theta} = \int_{\theta=0}^{\pi} \frac{a}{\left[\sqrt{b - c \cdot (1 - (\cos \theta)^2)}\right]^3} \cdot d\cos(\theta)$$

通过设置:  $u = \cos(\theta)$ , 我们有:

$$\begin{aligned}
-I_{\theta} &= \int_{u=1}^{-1} \frac{a}{\left[\sqrt{b - c \cdot (1 - u^2)}\right]^3} \cdot du \\
-I_{\theta} &= \frac{a \cdot u}{(b - c)\sqrt{b + c \cdot u^2 - c}} \Big|_{u=1}^{-1} = \frac{-2a}{(b - c) \cdot \sqrt{b}}
\end{aligned}$$

加用:

$$a = r^2 \left(r^2 - \frac{d^2}{4}\right)$$

$$b = r^2 \left(r^2 + \frac{d^2}{4}\right)^2$$

$$c = r^2 d^2 [\cos(\varphi)]^2$$

$$u = \cos(\theta)$$

积分 I 变为:

$$I = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{r=0}^{\infty} \frac{2r^2 \left(r^2 - \frac{d^2}{4}\right)}{\left[\left(\frac{d^2}{4} + r^2\right)^2 - d^2 r^2 (\cos \varphi)^2\right] \left(\frac{d^2}{4} + r^2\right)} \cdot dr \cdot d\varphi$$

$\varphi$  上的积分可以写成:

$$I_{\varphi} = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{s}{[b - w(\cos \varphi)^2]} \cdot d\varphi = \frac{s \cdot \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{b} \cdot \tan(\varphi)}{\sqrt{b-w}} \right)}{\sqrt{b}\sqrt{b-w}} \Bigg|_{\varphi=0}^{2\pi}$$

加用：

$$s = \frac{2r^2 \left( r^2 - \frac{d^2}{4} \right)}{\left( \frac{d^2}{4} + r^2 \right)}$$

$$b = \left( \frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2$$

$$w = d^2 r^2$$

请注意，正切函数和反正切函数在区间  $[0, 2\pi]$  上不连续。因此，我们必须用子区间  $]-\pi/2, \pi/2[$  和  $]\pi/2, 3\pi/2[$  来处理。

通过检查所有场景，我们得到：

$$I_{\varphi} = \frac{\pm 4\pi r^2}{\left( \frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2}$$

因此，解答被分为  $r$  的 2 个区间： $[0, d/2[$  和  $[d/2, \infty[$

$$I = \int_{r=0}^{\frac{d}{2}} \frac{-4\pi r^2}{\left( \frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2} \cdot dr + \int_{r=\frac{d}{2}}^{\infty} \frac{4\pi r^2}{\left( \frac{d^2}{4} + r^2 \right)^2} \cdot dr$$

$$I = \frac{4\pi}{d} = \frac{E_{e12}}{\varepsilon_0 k_e^2 q_1 q_2}$$

因此：

$$E_{e12} = I \varepsilon_0 k_e^2 q_1 q_2 = \frac{4\pi \varepsilon_0 k_e^2 q_1 q_2}{d} = \frac{k_e q_1 q_2}{d}$$

但是：

$$q_i = \frac{\text{中}_{i0}}{\text{中}_{ref}} \cdot e$$

因此，两个电子之间相互作用产生的势能公式为：

$$E_{e12} = k_e \frac{\text{中}_{10} \text{中}_{20}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d}$$

## 4.7 惰性质量建模

### 4.7.1 定义

惰性质量测量物体对任何加速度或运动状态变化的阻力。而重质量则被建模为中性载荷。

这两个质量之间存在一定的关系。

### 4.7.2 惰性质量的起源

惰性质量的起源是粒子与能量场相互作用的结果。第一个可观察到的原因是剩磁。第二个是通过势能（例如质子）引起的复合粒子的惰性质量来测量的。这两种现象的共同点就是古能量场。但支配这种惰性物质的法则尚不清楚。

线索之一是光子。为了加速电子，你需要能量，因此需要光子。为了加速复合粒子，我们可以将每个势能聚集于其接触点。事实上，参与质量的每个势能都是由一对属性相反的电子组成，它们在某一点非常接近被称为接触点。该接触点类似于电子。在它移动后会产生类似于剩磁的剩磁孔。

### 4.7.3 电子的移动

电子由纯电荷和光子组成。其运动可以用下图表示：

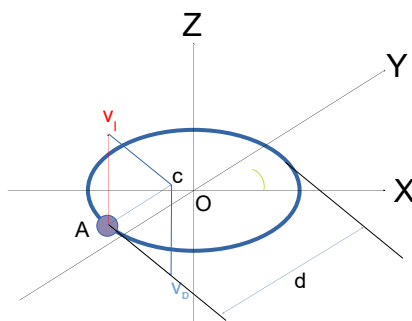


图15 - 电子位移矢量

电荷捕获的光子在电荷腔内做圆周运动当驻极体直线运动时，光子的速度  $\vec{c}$  可以用两个垂直矢量  $\vec{v}_l$  和  $\vec{v}_p$  表示。la 速度 du photon peut être représentée par deux vecteurs perpendiculaires et. 而且：

$$\vec{c} = \vec{v}_l + \vec{v}_p$$

直观上，惰性质量与线速度  $v_l$  成正比，与垂直速度  $v_p$  成反比。质量最简单的表达式是：

$$m = m_0 + m_0 \cdot \frac{v_l}{v_p}$$

通过用表达式  $(v_l)$  替换速度  $v_p$ ，我们有：

$$m = m_0 + m_0 \cdot \frac{v_l}{\sqrt{c^2 - v_l^2}}$$

当速度远低于  $c$  时，惯性质量几乎等于静止质量。由于静止时质量等于中性载荷，因此我们可以得出惯性质量等于低速时的中性载荷。

#### 4.7.4 惯性质量与中性载荷的关系

电子加速过程中获得的能量  $E$  可根据以下公式表示为惯性质量的函数：

$$E = \int_0^x F dx = \int_0^x m a dx = \int_x^x m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} \cdot dx$$

加上：

- $F$  代表加速力
- $x$  代表位移
- $m$  代表惯性质量
- $a$  代表加速度
- $t$  代表时间

电子的总能量可用下式表示：

$$E_0 + \int_0^x m a dx = k \cdot \text{中} \cdot c^2$$

加上：

- $E_0$  是电子的初始静止能量。
- $\text{中}$  代表与电子相关的总中性载荷。
- $k$  是允许具有相同能量单位的系数。

通过推导关于  $x$  的方程，我们得到：

$$m \cdot a = k c^2 \cdot \frac{d\text{中}}{dx}$$

所以：

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = k c^2 \cdot \frac{d\text{中}}{dx}$$

$$m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot dx = k c^2 \cdot d\text{中}$$

$$m \cdot v \cdot dv = k c^2 \cdot d\text{中}$$

$$\int_0^v m \cdot v \cdot dv = \int_{\text{中}_0}^{\text{中}} k c^2 \cdot d\text{中}$$

将  $m$  替换为其表达式，将  $v_1$  替换为  $v$ ，我们得到：

$$\int_0^v \left( m_0 + m_0 \cdot \frac{v}{\sqrt{c^2 - v^2}} \right) \cdot v \cdot dv = \int_{\text{中}_0}^{\text{中}} k c^2 \cdot d\text{中}$$

我们得到等式：

$$k_{\text{中}}c^2 - k_{\text{中}_0}c^2 = \frac{1}{2}m_0v^2 + \frac{1}{2}m_0c^2 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{v}{\sqrt{c^2 - v^2}}\right) - \frac{1}{2}m_0v\sqrt{c^2 - v^2}$$

为了等式两边的能量单位相同， $k = \frac{1}{2}$ 。

加上 $\text{中}_0 = m_0$ ，所以：

$$\text{中} = \text{中}_0 + \text{中}_0 \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^2 + \text{中}_0 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{\frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}\right) - \text{中}_0 \cdot \frac{v}{c} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

因此质量  $m$  是中性载荷 (中) 的函数：

$$m = \text{中} \cdot \frac{1 + \frac{\frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}}{1 + \left(\frac{v}{c}\right)^2 + \tan^{-1}\left(\frac{\frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}\right) - \frac{v}{c} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

注意到：

正切函数的倒数不是唯一的。因此，必须对其进行调整，以使获得的值符合现实。

如果  $v = 0$ ，那么  $m = \text{中}$ 。

如果  $v = c$ ，那么  $m = \infty$ 。 $\text{中} = [2 + (2n+1)\pi/2]\text{中}_0$ 。其中  $n = [0, \infty[$  中的整数。

结论：

尽管粒子的惯性随着其速度趋于  $c$  而趋于无穷大，但其中性载荷趋于有限量。但如果物理意义需要的话，这个有限的量可以变成无限的。

#### 4.7.5 惰性质量的矢量化

光子的矢量建模显示了两个分量：线性运动方向的矢量和垂直方向的矢量。给出以下两个惰性质量：

1.  $m_l$  : 线性惰性质量，可在运动方向观察到
2.  $m_p$  : 垂直惰性质量

在粒子静止的特殊情况下，线性质量与垂直质量合并： $m_l = m_p = m_0 = \text{中}_0$ 。

在光子 (中) 的特殊情况下，其线速度等于  $c$ ，线质量  $m_l = \infty$ 。垂直质量  $m_p = \text{中}$ 。

线性惰性质量取决于运动速度。垂直惰性质量与运动速度无关。

## 4.8 模拟 8 种复合粒子的稳定性

### 4.8.1 电子的稳定性

一个电子由 1 个纯电荷和一个光子组成。他们的稳定性已不再受到质疑。确实，电子出现在日常生活中的许多电器中。

纯电荷的结构被建模为一个空心球，光子可以被捕获在该腔内。于是，一个电子就诞生了。

纯电荷腔体可以包含一个光子，其能级取决于其环境和线速度。当电子处于线性运动中时，并非其全部能量都包含在其腔内。还有一部分残留在它移动时留下的沟槽中。下图说明了一对电子的运动：



图 16 - 电子的运动

当电子加速时，必须提供额外的光子。当电子减速时，就会释放光子。这就是康普顿效应<sup>[6]</sup>。

电子留下的空穴可以通过剩磁效应来验证。孔的数量与速度  $v$  成正比。这些空穴的寿命等于磁剩磁时间。当一个旧洞消失的时候，相应的能量会通过“古”能量场返回到新生成的洞中。

### 4.8.2 电偶的稳定性

一个电偶是由 2 个属性相反的电子组成。在这两个电子之间的相互作用中，比较 4 个力的强度导致仅保留电力  $\vec{F}_e$ 。

这种双星系统的一般行为是一个系统围绕另一个系统旋转。下图说明了两个电子的轨迹以及笛卡尔坐标系  $(O, x, y)$  和极坐标系  $(O, r, \alpha)$ ：

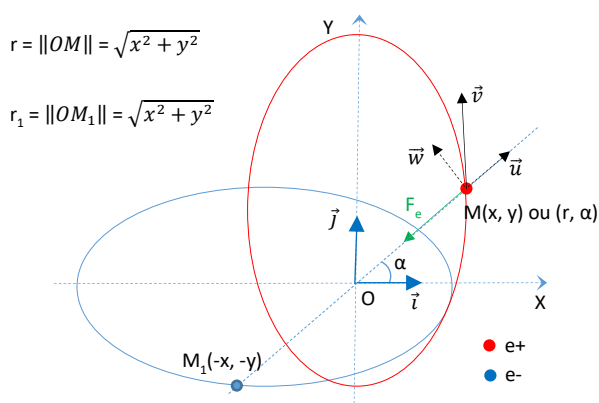


图 17 - 电偶动力学

根据动力学基本定律，对于惯性质量为  $m$  的  $M$  点处的电子  $e+$ ，我们有以下方程：

$$-\vec{F}_e = m \cdot \vec{a} = m \cdot \ddot{\vec{r}}$$

然而，根据两个基准之间的关系，我们有：



$$\vec{u} = \cos(\alpha) \vec{i} + \sin(\alpha) \vec{j}$$

$$\vec{w} = -\sin(\alpha) \vec{i} + \cos(\alpha) \vec{j}$$

因此，首先对向量  $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$  微分一次，我们有：

$$\dot{\vec{r}} = (r\vec{u})' = \dot{r} \cdot \vec{u} + r \cdot \dot{\vec{u}} = \dot{r} \cdot \vec{u} - r\dot{\alpha} \cdot \sin(\alpha) \vec{i} + r\dot{\alpha} \cdot \cos(\alpha) \vec{j} = \dot{r} \cdot \vec{u} + r\dot{\alpha} \cdot \vec{w}$$

然后，通过对向量  $\dot{\vec{r}}$  进行第二次微分，我们有：

$$\ddot{\vec{r}} = \dot{r}\vec{u} + r\dot{\vec{u}} + \dot{r}\dot{\vec{u}} + r\dot{\alpha}\vec{w} + r(\dot{\alpha}\vec{w})'$$

$$\ddot{\vec{r}} = \dot{r}\vec{u} + r(\dot{\alpha}\vec{w}) + \dot{r}\dot{\vec{u}} + r[\ddot{\alpha}\vec{w} + \dot{\alpha}(\dot{\vec{w}})]$$

$$\ddot{\vec{r}} = \dot{r}\vec{u} + 2\dot{r}\dot{\alpha}\vec{w} + r[\ddot{\alpha}\vec{w} + \dot{\alpha}(-\dot{\alpha} \cdot \cos(\alpha) \vec{i} - \dot{\alpha} \cdot \sin(\alpha) \vec{j})]$$

$$\ddot{\vec{r}} = \dot{r}\vec{u} + 2\dot{r}\dot{\alpha}\vec{w} + r\ddot{\alpha}\vec{w} - r\dot{\alpha}^2\vec{u}$$

$$\ddot{\vec{r}} = (\ddot{r} - r\dot{\alpha}^2)\vec{u} + (2\dot{r}\dot{\alpha} + r\ddot{\alpha})\vec{w}$$

在极坐标系  $(O, r, \alpha)$  中，我们考虑  $\vec{w}$  方向的惯性质量  $m_l$  和  $\vec{u}$  方向的惯性质量  $m_r$  来确定力：

$$-F_e = m_l \cdot (\ddot{r} - r\dot{\alpha}^2)$$

$$0 = m_r \cdot (2\dot{r}\dot{\alpha} + r\ddot{\alpha})$$

假设电偶的轨道速度  $v$  远低于光子  $c$  的速度，则线性惯性质量将等于电子在  $M$  点的中性载荷（中）：

$$m_l = \cancel{e}$$

此处势能引起的质量为零。事实上，不存在中和点，因此不存在由于结合能而产生的质量。

当  $m_r > 0$  时，第二个方程给出：

$$0 = 2\dot{r}\dot{\alpha} + r\ddot{\alpha} = \frac{1}{r} \cdot (r^2\dot{\alpha})'$$

因  $r > 0$ ，所以：

$$(r^2\dot{\alpha})' = 0$$

我们整合：

$$r^2\dot{\alpha} = \text{constante} = C_a = r_0 v_0$$

这使得可以转换切向速度，使其仅取决于  $r$ ：

$$v^2 = \dot{r}^2 + (r\dot{\alpha})^2 = \dot{r}^2 + \frac{C_a^2}{r^2}$$

因此我们有一个仅依赖于一个变量  $r$  的方程：

$$-\frac{F_e}{m_l} = \ddot{r} - \frac{C_a^2}{r^3}$$

让我们在以下特殊情况下用代数方法求解该方程：

$$1. \quad \ddot{r} = \dot{r} = 0$$

2.  $\ddot{\alpha} = 0$ 

在此假设下， $v^2$  变为：

$$v^2 = \frac{C_a^2}{r^2}$$

上面的等式变为：

$$\frac{F_e}{m_l} = \frac{v^2}{r}$$

电偶的轨迹是一个半径为  $r$  且轨道速度为  $v$  的圆。在这些条件下，电偶里两个符号相反的电子将导致电力中和，表示为  $k_n$ 。

上面的等式变为：

$$k_n F_e = \frac{v^2}{r} \cdot m_l$$

要么忽略参数  $\beta$ ：

$$k_n k_e \frac{\text{中}^2 \cdot e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot 4r^2} = \frac{v^2}{r} \cdot (\text{中})$$

假设电偶的轨道速度  $v$  远低于光子  $c$  的速度。在这种情况下：

$$\text{中} = \text{中}_0$$

所以：

$$k_n k_e \frac{\text{中}_0^2 \cdot e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot 4r^2} = \frac{v^2}{r} \cdot (\text{中}_0)$$

$$k_n \frac{k_e}{v^2} \cdot \frac{\text{中}_0 \cdot e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot 4r} = 1$$

$$r = \frac{k_e \text{中}_0 e^2}{4 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{k_n}{v^2} \right)$$

如果  $k_n = 10^{-11}$ ，则：

规模变化：

$$v = v_x \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

$$k_n = 10^{-11} = k_{nx} \cdot 10^{-12} = 10 \cdot 10^{-12}$$

$$r = r_x \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$e = 1,602\,176\,565 \cdot 10^{-19} \text{ C} = e_x \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$c = 2,997\,524\,58 \cdot 10^8 \text{ m/s} = c_x \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$k_e = 8,987\,551\,787\,368\,176 \cdot 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2} = k_{ex} \cdot 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2}$$

$$\epsilon_0 = 8,854\,187 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1} = \epsilon_{0x} \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$$

$$\text{中}_{\text{ref}} = 9,109382 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = \text{中}_{\text{refx}} \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_0 = \text{中}_{0x} \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$r_x = \frac{k_{ex} \text{中}_{0x} e_x^2 \cdot 10^9 \cdot 10^{-38}}{4 \text{中}_{\text{refx}}^2 \cdot 10^{-31}} \cdot \left( \frac{10 \cdot 10^{-12}}{v_x^2 \cdot 10^4} \right) \cdot 10^{15} = \frac{5 k_{ex} \text{中}_{0x} e_x^2}{2 \text{中}_{\text{refx}}^2} \cdot \left( \frac{10}{v_x^2} \right)$$

方程1 - 电偶方程

让我们使用 Matlab 来画 2 维面（文件：charginette\_nappe\_r\_v\_zh\_kn\_10\_11\_noPot\_En.m）：

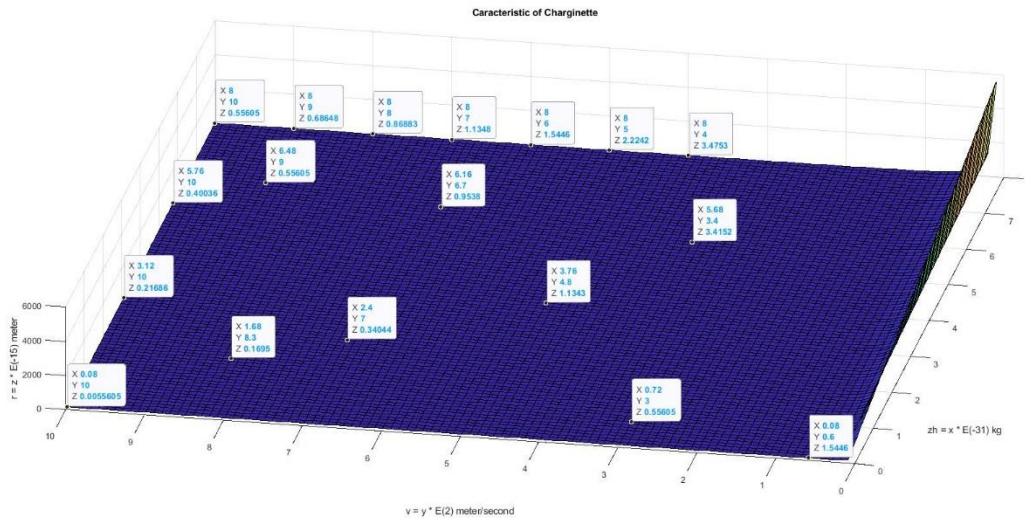


图18 - 电偶二维图

(图里的 charginette = 电偶)

进一步的详细信息请参见：附录 A.1。

结论：

有大量不同能量水平的电偶。电偶的半径越小，就越稳定。

#### 4.8.3 三角子的稳定性

为了便于演示，我们采用这样一个三角子，其 3 个电偶具有相同的半径  $r = 0.55605 \cdot 10^{-15}$  米。速度  $v_3 = 3v_1 = 9,0 \cdot 10^2$  米/秒。假设这里大约还适用电偶公式，让我们确定它们各自的能量。

$$\text{中}_{H0x} = \frac{2r_x \text{中}_{\text{refx}}^2}{5k_{ex} e_x^2 \left( \frac{10}{v_x^2} \right)} = \frac{2 \cdot 0.55605 \cdot 9.109382^2}{5 \cdot 8.98755 \cdot 1.602176^2 \left( \frac{10}{9.0^2} \right)} = 6.478$$

$$\text{中}_{F0x} = \frac{2r_x^{\text{中}_{refx}^2}}{5k_{ex}e_x^2\left(\frac{10}{v_x^2}\right)} = \frac{2 * 0.55605 * 9.109382^2}{5 * 8.98755 * 1.602176^2\left(\frac{10}{3.0^2}\right)} = 0.72$$

(中<sub>H0x</sub>, v<sub>3x</sub>, r<sub>x</sub>) = (6.478, 9.0, 0.55605).

(中<sub>F0x</sub>, v<sub>1x</sub>, r<sub>x</sub>) = (0.72, 3.0, 0.55605).

几何形状和固定参考系可用下图说明：

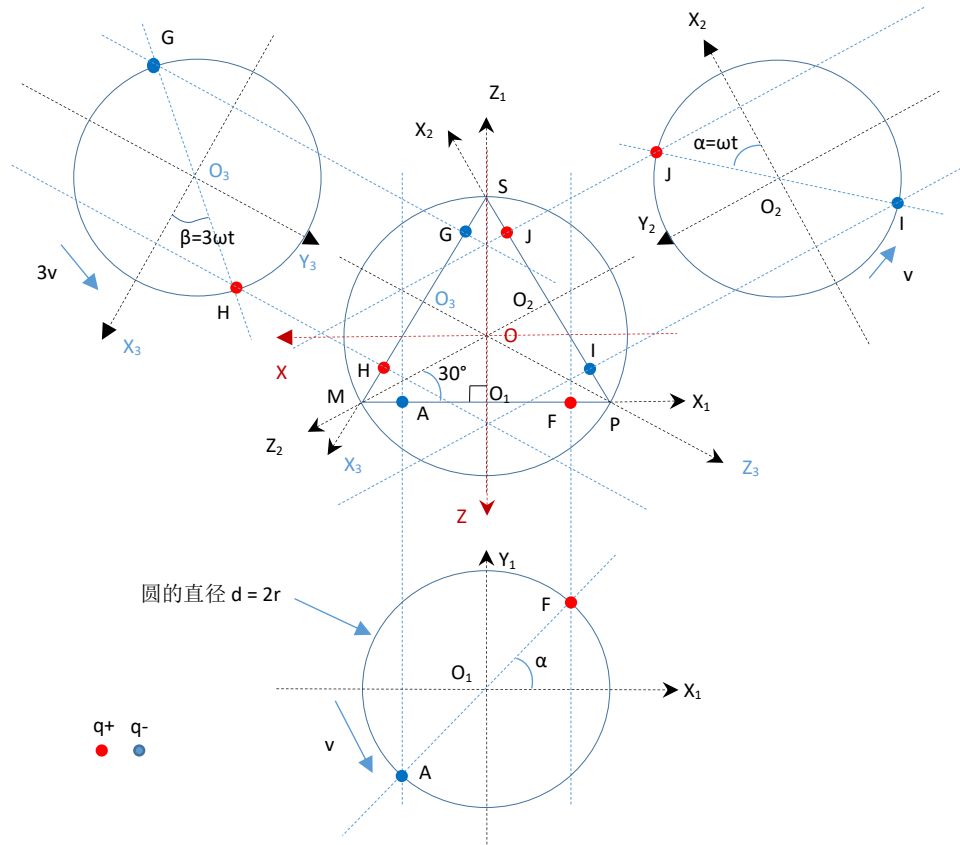


图19 - 三角子结构图

为了建立三角子内 3 个电偶的动态行为，我们将执行以下 5 个步骤：

1. 确定电子的坐标以及它们之间的距离
2. 确定每个电子的质量
3. 确定电子之间的电力的相互作用
4. 建立控制每个电力的动态方程
5. 使用 Matlab-Simulink 软件包工具求解微分方程

#### 4.8.3.1 确定电力的坐标以及它们之间的距离

让我们建立电力的全局坐标和局部坐标之间的关系。

在全局基准 (O, X, Y, Z) 中：

$$O_1[0, 0, z_0]$$

$$O_2[-z_0 \cdot \cos(\psi), 0, -z_0 \cdot \sin(\psi)]$$

$$O_3[z_0 \cdot \cos(\psi), 0, -z_0 \cdot \sin(\psi)]$$

在局部基准  $(O_1, X_1, Y_1, Z_1)$  中：

$$F[r \cdot \cos(\omega t), r \cdot \sin(\omega t), z_1]_{R_1}$$

$$A[-r \cdot \cos(\omega t), -r \cdot \sin(\omega t), z_1]_{R_1}$$

在局部基准  $(O_2, X_2, Y_2, Z_2)$  中：

$$I[-r \cdot \cos(\omega t), -r \cdot \sin(\omega t), z_2]_{R_2}$$

$$J[r \cdot \cos(\omega t), r \cdot \sin(\omega t), z_2]_{R_2}$$

在局部基准  $(O_3, X_3, Y_3, Z_3)$  中：

$$G[-r \cdot \cos(3\omega t), -r \cdot \sin(3\omega t), z_2]_{R_2}$$

$$H[r \cdot \cos(3\omega t), r \cdot \sin(3\omega t), z_3]_{R_3}$$

参数  $r$ 、 $z_1$ 、 $z_2$ 、 $z$  和  $\psi$  之间存在关系。他们是：

$$\psi = 30^\circ$$

$$z = z_0 - z_1$$

$$z_{0x} = r_x \cdot \tan(\omega t) = \frac{r_x}{\sqrt{3}} = \frac{0.55605}{\sqrt{3}} = 0.321035617$$

$$z_2 = z_1$$

局部基准系具有以下原点参数和旋转矩阵：

$$O_1[0, 0, z_0] \quad M_1 \begin{pmatrix} \cos(\pi) & 0 & \sin(\pi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\pi) & 0 & \cos(\pi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$O_2\left[\frac{-\sqrt{3}}{2}z_0, 0, \frac{-1}{2}z_0\right] \quad M_2 \begin{pmatrix} \cos(2\psi) & 0 & \sin(2\psi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(2\psi) & 0 & \cos(2\psi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{-\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$O_3\left[\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, \frac{-1}{2}z_0\right] \quad M_3 \begin{pmatrix} \cos(-2\psi) & 0 & \sin(-2\psi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(-2\psi) & 0 & \cos(-2\psi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

确定电子 F 和 I 的坐标：

在局部基准  $R_1$  中：  $F_{R1}[r \cdot \cos(\omega t), r \cdot \sin(\omega t), z_1]$ ,  $A_{R1}[-r \cdot \cos(\omega t), -r \cdot \sin(\omega t), z_1]$

在全球基准 R 中：

$$F \begin{pmatrix} x_f \\ y_f \\ z_f \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} = F \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_0 - z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$F \begin{pmatrix} x_f \\ y_f \\ z_f \\ 1 \end{pmatrix} = F \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_0 - z_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$A \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \\ 1 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

在局部基准  $R_2$  中:  $I_{R2}[-r \cdot \cos(\omega t), -r \cdot \sin(\omega t), z_2], J_{R2}[r \cdot \cos(\omega t), r \cdot \sin(\omega t), z_2]$

在全局基准  $R$  中:

$$I \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-z_0\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_2 \\ 1 \end{pmatrix} = I \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_2\sqrt{3}}{2} - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z_2}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$I \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix} = I \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{z}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$J \begin{pmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-z_0\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_2 \\ 1 \end{pmatrix} = J \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_2\sqrt{3}}{2} - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z_2}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$J \begin{pmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ 1 \end{pmatrix} = J \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{z}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

在局部基准  $R_3$  中:  $G_{R3}[-r \cdot \cos(3\omega t), -r \cdot \sin(3\omega t), z_3], H_{R3}[r \cdot \cos(3\omega t), r \cdot \sin(3\omega t), z_3]$

在全球基准 R 中:

$$G \begin{pmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_3 \\ 1 \end{pmatrix} = G \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$H \begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_3 \\ 1 \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

让我们确定 2 个电子 F 和 I 之间的矢量  $\overrightarrow{D_{FI}}$ :

$$D_{FI} \begin{pmatrix} x_{fi} \\ y_{fi} \\ z_{fi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ -2r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{FI}^2 = \left[ \frac{r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [2r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 F 和 J 之间的矢量  $\overrightarrow{D_{FJ}}$ :

$$D_{FJ} \begin{pmatrix} x_{fj} \\ y_{fj} \\ z_{fj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ 0 \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{FJ}^2 = \left[ \frac{3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 F 和 G 之间的矢量  $\overrightarrow{D_{FG}}$ :

$$D_{FG} \begin{pmatrix} x_{fg} \\ y_{fg} \\ z_{fg} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FG}^2 = \left[ \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2$$

$$+ \left[ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 F 和 H 之间的矢量  $\overrightarrow{D_{FH}}$  :

$$D_{FH} \begin{pmatrix} x_{fh} \\ y_{fh} \\ z_{fh} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FH}^2 = \left[ \frac{r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t)]^2$$

$$+ \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 A 和 I 之间的矢量  $\overrightarrow{D_{AI}}$  :

$$D_{AI} \begin{pmatrix} x_{ai} \\ y_{ai} \\ z_{ai} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ 0 \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{AI}^2 = \left[ \frac{-3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 A 和 J 之间的矢量  $\overrightarrow{D_{AJ}}$  :

$$D_{AJ} \begin{pmatrix} x_{aj} \\ y_{aj} \\ z_{aj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ 2r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{AJ}^2 = \left[ \frac{r}{2} \cos(\omega t) + \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [2r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 A 和 G 之间的矢量  $\overrightarrow{D_{AG}}$  :

$$D_{AG} \begin{pmatrix} x_{ag} \\ y_{ag} \\ z_{ag} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \end{pmatrix}$$

$$D_{AG}^2 = \left[ \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2$$

$$+ \left[ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 A 和 H 之间的矢量  $\overrightarrow{D_{AH}}$  :



$$D_{AH} \begin{pmatrix} x_{ah} \\ y_{ah} \\ z_{ah} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \end{pmatrix}$$

$$D_{AH}^2 = \left[ \frac{r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 \\ + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 H 和 A 之间的矢量  $D_{HA}$  :

$$D_{HA} \begin{pmatrix} x_{ha} \\ y_{ha} \\ z_{ha} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \end{pmatrix}$$

$$D_{HA}^2 = \left[ \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t)]^2 \\ + \left[ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 H 和 F 之间的矢量  $D_{HF}$  :

$$D_{HF} \begin{pmatrix} x_{hf} \\ y_{hf} \\ z_{hf} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \end{pmatrix}$$

$$D_{HF}^2 = \left[ \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 \\ + \left[ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 H 和 I 之间的矢量  $D_{HI}$  :

$$D_{HI} \begin{pmatrix} x_{hi} \\ y_{hi} \\ z_{hi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t) \\ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{HI}^2 = \left[ \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t)]^2 \\ + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{z}{2} \right]^2$$

让我们确定 2 个电子 H 和 J 之间的矢量  $D_{HJ}$ ：

$$D_{HJ} \begin{pmatrix} x_{hj} \\ y_{hj} \\ z_{hj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cos(3\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{z\sqrt{3}}{2} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t) \\ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{z}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{HJ}^2 = \left[ -\frac{r}{2} \cos(3\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} + \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{z\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t)]^2 \\ + \left[ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{z}{2} \right]^2$$

#### 4.8.3.2 确定每个电子的质量

电子的编号如下：

1. 电子 F : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
2. 电子 A : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
3. 电子 J : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
4. 电子 I : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
5. 电子 G : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>H#</sub>.
6. 电子 H : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>H#</sub>.

F 电子的总重量由以下公式表示：

$$\text{中}_{F\#} = \text{中}_F + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eFI} + E_{eFG})$$

在这里：

- 中<sub>F#</sub> : 代表电子 F 的总惰性质量。
- 中<sub>F</sub> : 是电子 F 的中性载荷
- $E_{eFp}$  : 是 电子 F 和电子 p 之间的电势能，其符号与电子 F 的符号相反。此外，电子 F 和 p 之间的距离在 0 和  $d > 0$  之间变化。其中  $p = I$  或  $G$ 。

要计算势能  $E_{eFp}$ ，就需要知道它们之间的距离平均值。忽略电偶相对于等边三角形的运动，距离为：

- $D_{FI}^2 = \left[ \frac{r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [2r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z_0}{2} \right]^2$
- $D_{FJ}^2 = \left[ \frac{3r}{2} \cos(\omega t) - \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z_0}{2} \right]^2$
- $D_{FG}^2 = \left[ -\frac{r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{3z_0}{2} \right]^2$
- $D_{FH}^2 = \left[ \frac{r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) + \frac{z_0\sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) - r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{3z_0}{2} \right]^2$

考虑到  $z_0$  的值：

- $D_{FI} = r \cdot \sqrt{[\cos(\omega t) - 1]^2 + 4[\sin(\omega t)]^2}$
- $D_{FG} = \frac{r}{2} \sqrt{[1 - \cos(3\omega t) + 2\cos(\omega t)]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(3\omega t) + 1]^2}$

使用 Simulink 绘制整个  $2\pi$  周期内的曲线（文件：Courbe\_distance\_D\_FI.slx）：

- $f_{FI} = \sqrt{[\cos(\omega t) - 1]^2 + 4[\sin(\omega t)]^2}$

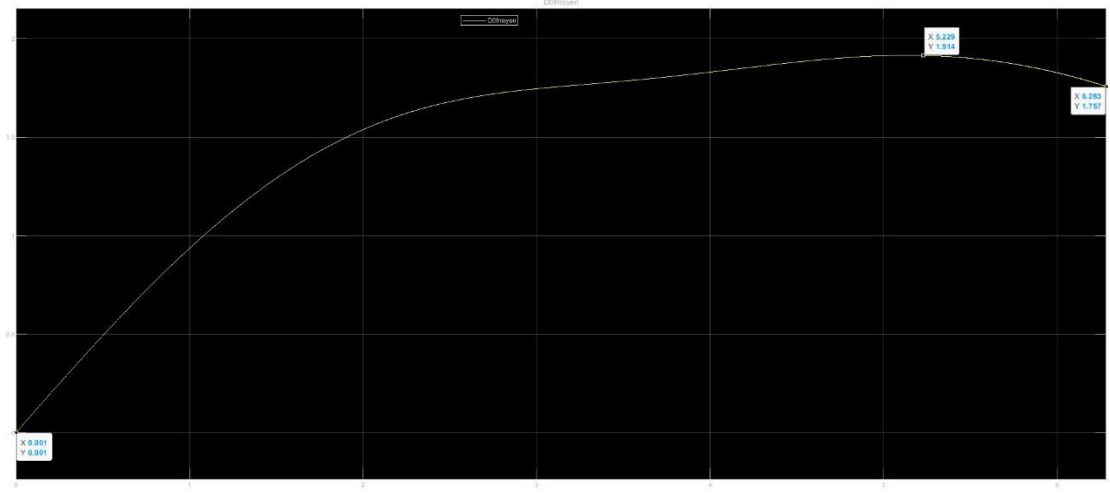


图 20 - 平均距离 FI

$$D_{FI} = r \cdot f_{FI} = 0.55605 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.97698 \cdot 10^{-15}$$

- $f_{FG} = \frac{1}{2} \sqrt{[1 - \cos(3\omega t) + 2\cos(\omega t)]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(3\omega t) + 1]^2}$

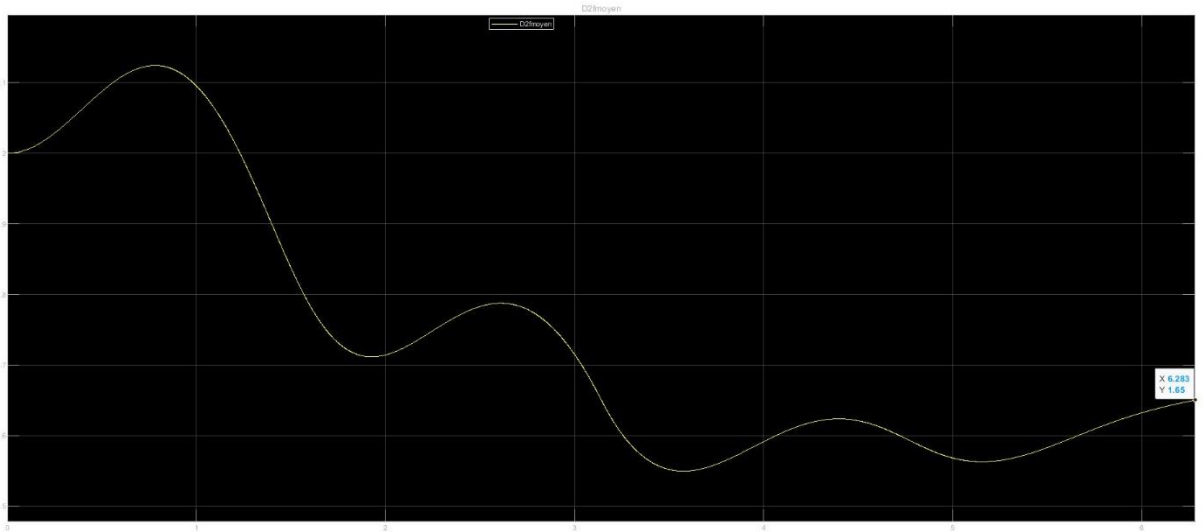


图 21 - 平均距离 FG

$$D_{FG} = r \cdot f_{FG} = 0.55605 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.9174825 \cdot 10^{-15}$$

(文件：Courbe\_distance\_D\_FG.slx)

电子 F 的总重量变成：

$$中_{F\#} = 中_F + \frac{k_e e^2}{2c^2 中_{ref}^2} \left[ \frac{中_{F0} 中_{I0}}{D_{FI}} + \frac{中_{F0} 中_{G0}}{D_{FG}} \right]$$

电偶的轨道速度远低于  $c$ ,  $中_F = 中_{F0}$ . 所以我们有:

$$中_{F\#} = 中_{F0} + \frac{k_e e^2 中_{F0}}{2c^2 中_{ref}^2} \left[ \frac{中_{F0}}{D_{FI}} + \frac{中_{H0}}{D_{FG}} \right]$$

$$中_{F\#} = 中_{F0} + \frac{k_e e^2 中_{F0}}{2c^2 中_{ref}^2 r} \left[ \frac{中_{F0}}{f_{FI}} + \frac{中_{H0}}{f_{FG}} \right]$$

$$中_{F\#x} = 0.72 + \frac{8.98755 * 1.602176^2 * 0.72 * 10}{2 * 2.997524^2 * 9.109382^2 * 0.55605} \left[ \frac{0.72}{1.757} + \frac{6.478}{1.65} \right]$$

$$中_{F\#x} = 0.72 + 0.200330582[0.409789 + 3.926061]$$

$$中_{F\#x} = 1.588603$$

根据对称性,  $中_{A\#} = 中_{I\#} = 中_{J\#} = 中_{F\#}$ .

电子 H 的总重量由以下公式表示:

$$中_{H\#} = 中_H + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eHA} + E_{eHI})$$

再加上:

- $中_{H\#}$  : 代表电子 H 的总惰性质量。
- $中_H$  : 是电子 H 的中性载荷
- $E_{eHp}$  : 是电子 H 和电子 p 之间的电势能。其中  $p = A$  或  $I$ 。

要计算势能  $E_{eHp}$ , 就需要知道它们之间的距离平均值。忽略电偶相对于等边三角形的运动, 距离为:

- $D_{HA}^2 = \left[ \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) - \frac{z_0 \sqrt{3}}{2} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[ \frac{-r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{3z_0}{2} \right]^2$
- $D_{HI}^2 = \left[ \frac{-r}{2} \cos(3\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - z_0 \sqrt{3} \right]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + r \cdot \sin(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) \right]^2$

考虑到  $z_0$  的值:

- $D_{HA} = \frac{r}{2} \sqrt{[\cos(3\omega t) - 2 \cos(\omega t) + 1]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[1 - \cos(3\omega t)]^2}$
- $D_{HI} = \frac{r}{2} \cdot \sqrt{[\cos(3\omega t) + \cos(\omega t) + 2]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(\omega t) - \cos(3\omega t)]^2}$

使用 Simulink 绘制整个  $2\pi$  周期内的曲线（文件：Courbe\_distance\_D\_HA.slx）：

- $$f_{HA} = \frac{1}{2} \sqrt{[\cos(3\omega t) - 2\cos(\omega t) + 1]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[1 - \cos(3\omega t)]^2}$$

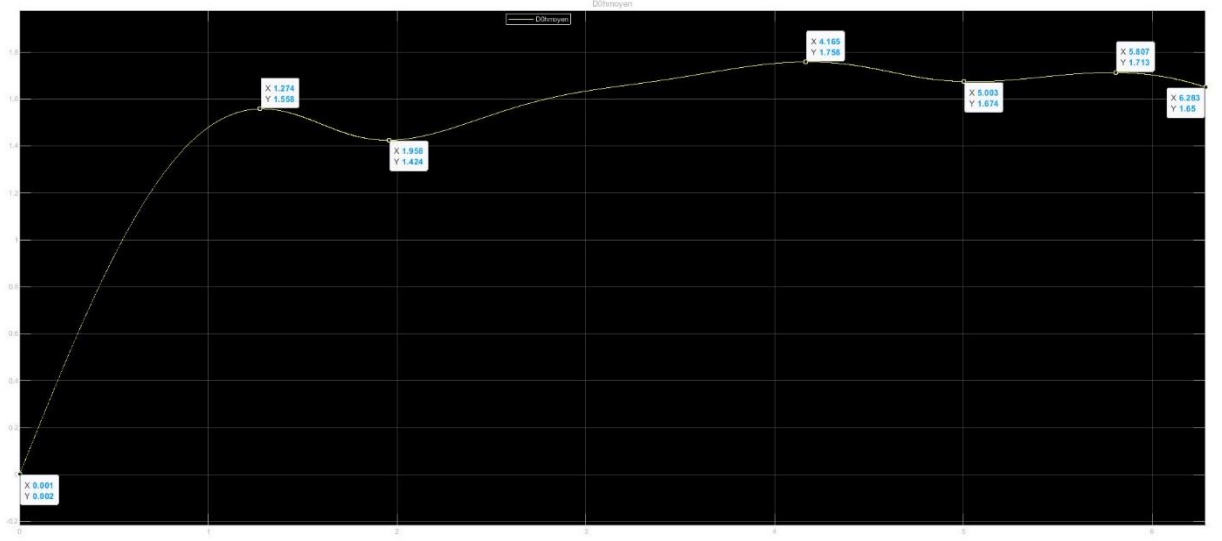


图 22 - 平均距离 HA

$$D_{HA} = r \cdot f_{HA} = 0.55605 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.9174825 \cdot 10^{-15}$$

- $D_{HI} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{[\cos(3\omega t) + \cos(\omega t) + 2]^2 + 4[\sin(3\omega t) + \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(\omega t) - \cos(3\omega t)]^2}$

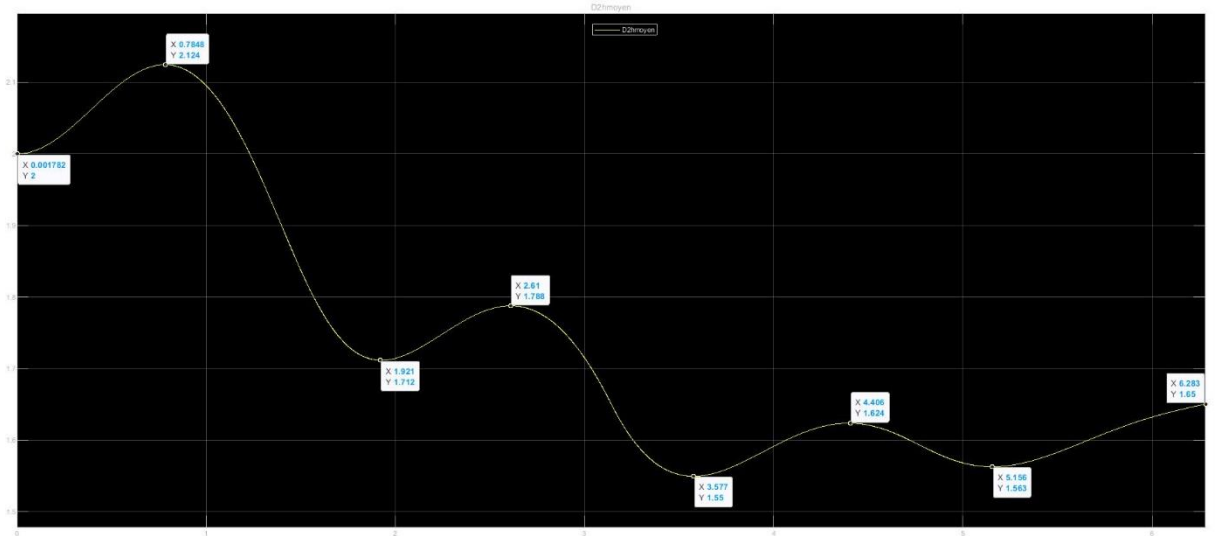


图 23 - 平均距离 HI

$$D_{HI} = r \cdot f_{HI} = 0.55605 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.9174825 \cdot 10^{-15}$$

(文件：Courbe\_distance\_D\_HI.slx)

电子 H 的总重量变成：

$$中_{H\#} = 中_H + \frac{k_e e^2}{2c^2 中_{ref}^2} \left[ \frac{中_{H0} 中_{A0}}{D_{HA}} + \frac{中_{H0} 中_{I0}}{D_{HI}} \right]$$

电偶的轨道速度远低于  $c$ ,  $中_H = 中_{H0}$ . 所以我们有:

$$中_{H\#} = 中_{H0} + \frac{k_e e^2 中_{H0}}{2c^2 中_{ref}^2 r} \left[ \frac{中_{A0}}{f_{HA}} + \frac{中_{I0}}{f_{HI}} \right]$$

$$中_{H\#x} = 6.478 + \frac{8.98755 * 1.602176^2 * 6.478 * 10}{2 * 2.997524^2 * 9.109382_0^2 * 0.55605} \left[ \frac{0.72}{1.65} + \frac{0.72}{1.65} \right]$$

$$中_{H\#x} = 6.478 + 3.6048375[0.872727273]$$

$$中_{H\#x} = 9.62404$$

通过对称性,  $中_{G\#} = 中_{H\#}$ .

$(中_{H0x}, v_{3x}, r_x) = (6.478, 9.0, 0.55605)$ .

$(中_{F0x}, v_{1x}, r_x) = (0.72, 3.0, 0.55605)$ .

$$中_{F\#x} = 1.588603$$

三角子所有电子是:

- $4 * 中_{F\#x} = 4 * 1.588603 = 6.354413$
- $2 * 中_{H\#x} = 2 * 9.6404 = 19.24808$

给出了三角子(=chrominette)的重量:

$$中_{chromx} = 6.354412 + 19.24808 = 25.6025$$

$$中_{chrom} = 25.6025 * 10^{-31} \text{kg}.$$

$$中_{chrom} = 25.6025 * 10^{-31} \text{kg} * c^2 / 1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{J}.$$

$$中_{chrom} = 143.581077215 * 10^4 \text{eV} = 1.435811 \text{MeV}.$$

$$中_{quark} = 1.435811 \text{MeV} + 511 \text{keV} = 1.946811 \text{MeV}.$$

电子对三角子的影响:

在夸克的情况下, 有一个电子位于三角子的中间。由于电偶的中和大大降低了电力, 因此该电子与电偶之间的电力作用相对较弱。这解释了夸克的不稳定性。

#### 4.8.3.3 确定电子之间的电力相互作用

为了模拟三角子电子之间的相互作用, 将使用以下属性:

- 电偶的行为就像实心圆盘, 外围有两个旋转的电子。
- 电子产生的电场如电偶段落中所述衰减。
- 电子之间的相互作用被双重衰减, 因为每一侧的电场都是如此。因此, 电偶内部的两个电子 1 和 2 之间的衰减系数可写为:

$$k_{n12} = \frac{10^3}{f_1} \cdot \frac{10^3}{f_2} = \frac{10^6}{f_1 \cdot f_2}$$

在这里：

$f_i$  表示电偶  $i$  的旋转频率。

- 当两个电子非常靠近时，就会有一个特殊性。事实上，正负电荷的中和取决于相互作用距离。我们建议使用以下公式：

$$k_{n12} = 10^{-\frac{D}{r} \cdot 100} + \frac{10^6}{f_1 \cdot f_2}$$

这里有：

1.  $k_{n12}$  : 是频率为  $f_1$  的电偶 1 的 A 电子和频率为  $f_2$  的电偶 2 的 B 电子之间的相互作用的衰减系数。
2.  $D$  : 是电子 A 和电子 B 之间的距离。
3.  $r$  : 是具有相同半径的电偶 1 和 2 的半径。

数字化应用：

- $r = 0.55605 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $v_1 = 3 \cdot 10^2 \text{ m/s}$
- $v_3 = 9 \cdot 10^2 \text{ m/s}$
- $f_1 = v_1/r = 5,395198 \cdot 10^{17}$ . 对于衰减，保留的值为  $10^{11}$ 。
- $f_3 = v_3/r = 1,618559 \cdot 10^{18}$ . 对于衰减，保留的值为  $10^{11}$ 。
- $k_{n13} = 10^{-\frac{D}{r} \cdot 100} + 10^{-22}$

#### 4.8.3.4 建立控制每个电子的动态方程

在三角子内，我们假设每个电偶沿其对称轴移动。这些是 AF 电偶的  $O_1Z_1$  轴、IJ 电偶的  $O_2Z_2$  轴、GH 电偶的  $O_3Z_3$  轴。根据对称性，电子 A、F、I 和 J 服从同一个方程。电子 G 和 H 服从另一个方程。

将电子 F 和 A 的动力学方程投影到轴  $O_1Z_1$  上：

$$m_{FA} \cdot \ddot{z}_1 = \text{力}_{ez_1}$$

在这里要加上：

- $m_{FA}$  : 是电子 F 的总重量 + 电子 A 的总重量. 对于远低于  $c$  的线性速度,  $m_F = m_{F\#}$  还有  $m_{FA} = m_{A\#}$ .
- $\text{力}_{ez_1}$  : 是电子 F 所受的电力 + 电子 A 在轴  $O_1Z_1$  上所受的电力。

电子 F 所受的力  $\overrightarrow{\text{力}}_F$  如下：

$$\overrightarrow{\text{力}}_F = \frac{k_{nFI} k_e q_F q_I \overrightarrow{D_{FI}}}{D_{FI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFJ} k_e q_F q_J \overrightarrow{D_{FJ}}}{D_{FJ}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFG} k_e q_F q_G \overrightarrow{D_{FG}}}{D_{FG}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFH} k_e q_F q_H \overrightarrow{D_{FH}}}{D_{FH}^3 + \beta^3}$$

电子 A 所受的力  $\overrightarrow{\text{力}}_A$  如下：

$$\overrightarrow{\text{力}}_A = -\frac{k_{nAI}k_e q_A q_I \overrightarrow{D_{AI}}}{D_{AI}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAJ}k_e q_A q_J \overrightarrow{D_{AJ}}}{D_{AJ}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAG}k_e q_A q_G \overrightarrow{D_{AG}}}{D_{AG}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAH}k_e q_A q_H \overrightarrow{D_{AH}}}{D_{AH}^3 + \beta^3}$$

FA 电偶所受到的力  $\overrightarrow{\text{力}}_{FA}$  如下:

$$\overrightarrow{\text{力}}_{FA} = \overrightarrow{\text{力}}_F + \overrightarrow{\text{力}}_A$$

通过投影到轴  $O_1Z_1$ : 其向量为:

$$\frac{\overrightarrow{O_1\vec{O}}}{\|\overrightarrow{O_1\vec{O}}\|} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

知道  $OZ$  轴与  $O_1Z_1$  轴共线, 我们投影到  $OZ$  轴上:

$$\begin{aligned} \text{力}_{Fz} = & \frac{k_{nFI}k_e q_F q_I \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]}{D_{FI}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFJ}k_e q_F q_J \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]}{D_{FJ}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nFG}k_e q_F q_G \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]}{D_{FG}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nFH}k_e q_F q_H \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]}{D_{FH}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAI}k_e q_A q_I \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]}{D_{AI}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nAJ}k_e q_A q_J \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]}{D_{AJ}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAG}k_e q_A q_G \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]}{D_{AG}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nAH}k_e q_A q_H \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]}{D_{AH}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

通过改变比例, 方程变为:



$$\begin{aligned}
\text{中}_{FA\#x} \cdot \ddot{z}_x = & \frac{k_{nFlx} k_{ex} q_{Fx} q_{Ix} \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{Flx}^3 + \beta_x^3} + \frac{k_{nFJx} k_{ex} q_{Fx} q_{Jx} \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{FJx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFGx} k_{ex} q_{Fx} q_{Gx} \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) + \frac{z_{0x}}{2} - \frac{z_{3x}}{2} + z_x \right]}{D_{FGx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFHx} k_{ex} q_{Fx} q_{Hx} \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) - \frac{z_{0x}}{2} + \frac{z_{3x}}{2} - z_x \right]}{D_{FHx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nAlx} k_{ex} q_{Ax} q_{Ix} \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{Alx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nAJx} k_{ex} q_{Ax} q_{Jx} \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{AJx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nAGx} k_{ex} q_{Ax} q_{Gx} \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) + \frac{z_{0x}}{2} - \frac{z_{3x}}{2} + z_x \right]}{D_{AGx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nAHx} k_{ex} q_{Ax} q_{Hx} \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) - \frac{z_{0x}}{2} + \frac{z_{3x}}{2} - z_x \right]}{D_{AHx}^3 + \beta_x^3}
\end{aligned}$$

方程2 - 三角子FA

$$z'' = z_x'' \cdot 10^{31} \text{ m s}^{-2}.$$

$$\text{中}_{F\#} = \text{中}_{F\#x} \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 1,588603 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_{FA\#} = \text{中}_{F\#} + \text{中}_{A\#} = 2 \text{ 中}_{F\#} = \text{中}_{FA\#x} \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 3,177207 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$r = r_x \cdot 10^{-15} \text{ m} = 0,55605 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$\beta = \beta_x \cdot 10^{-15} \text{ m} = 10^{-3} \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$z = z_x \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$e = 1,602 \ 176 \ 565 \cdot 10^{-19} \text{ C} = e_x \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$k_e = 8,987 \ 551 \ 787 \ 368 \ 176 \cdot 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2} = k_{ex} \cdot 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2}$$

$$v = v_x \cdot 10^8 \text{ m/s} = (3 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\omega = v / r = \omega_x \cdot 10^{23} \text{ radian s}^{-1} = (5,395198274 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^{23} \text{ radian s}^{-1} = 2\pi f = 2\pi / T$$

$$T = 2\pi / \omega = 2\pi r / v = t_x \cdot 10^{-23} \text{ s} = (1,164588397 \cdot 10^6) \cdot 10^{-23} \text{ s}$$

$$q_{?x} = \frac{\text{中}_{?0x}}{\text{中}_{refx}} \cdot e_x$$

在这里有：? = F, I, J, G, H. 已知：中<sub>F0</sub> = 中<sub>I0</sub> = 中<sub>J0</sub> 和 中<sub>G0</sub> = 中<sub>H0</sub>：

- $k_{ex}q_{Fx}q_{Ix} = k_{ex}q_{Fx}q_{Jx} = k_{ex} \frac{\text{中}_{F0x}}{\text{中}_{refx}} \cdot \frac{\text{中}_{F0x}}{\text{中}_{refx}} \cdot e_x^2 = k_{ex} \cdot \frac{\text{中}_{F0x}^2}{\text{中}_{refx}^2} \cdot e_x^2 = k_{11x} \cdot e_x^2$
- $k_{11} = 8.987551787 \cdot 10^9 \frac{0.72^2}{9.109382^2} = 0.05614726 \cdot 10^9 = k_{11x} \cdot 10^9$
- $k_{ex}q_{Fx}q_{Gx} = k_{ex}q_{Fx}q_{Hx} = k_{ex} \frac{\text{中}_{F0x}}{\text{中}_{refx}} \cdot \frac{\text{中}_{H0x}}{\text{中}_{refx}} \cdot e_x^2 = k_{16x} \cdot e_x^2$
- $k_{16} = 8.987551787 \cdot 10^9 \frac{0.72 \cdot 6.478}{9.109382^2} = 0.505169378 \cdot 10^9 = k_{16x} \cdot 10^9$

$$k_{nF?} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + k_{n0F?x} \cdot 10^{+1} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + \frac{10^3}{f_F} \cdot \frac{10^3}{f?} \cdot 10^{+1}$$

由于频率值大于饱和值，我们有：

$$k_{nF?} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + 10^{-11} \cdot 10^{-11} \cdot 10^1$$

所以：

$$k_{nF?} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

将电子 H 的动力学方程投影到  $O_3Z_3$  轴上：

$$m_h \cdot \ddot{z}_3 = \text{力}_{ez_3}$$

在这里有：

- $m_h$  : 是电子 H 的总重量. 对于远小于 c 的线性速度,  $m_h = \text{中}_{H\#}$
- $\text{力}_{ez_3}$  : 是电子 H 在轴  $O_3Z_3$  上受到的电力。

电子 H 所受的力  $\overrightarrow{\text{力}_h}$  如下：

$$\overrightarrow{\text{力}_h} = \frac{k_{nHA}k_eq_Hq_A\overrightarrow{D_{HA}}}{D_{HA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHF}k_eq_Hq_F\overrightarrow{D_{HF}}}{D_{HF}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nHI}k_eq_Hq_I\overrightarrow{D_{HI}}}{D_{HI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHJ}k_eq_Hq_J\overrightarrow{D_{HJ}}}{D_{HJ}^3 + \beta^3}$$

通过投影到具有下面向量的  $O_3Z_3$  轴上：

$$\frac{\overrightarrow{O_3O}}{\|\overrightarrow{O_3O}\|} = \begin{pmatrix} \frac{-\sqrt{3}}{2} \\ 0 \\ 1 \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 \text{力}_{hz3} = & \frac{k_{nHA}k_e q_H q_A \left[ z_0 - z_3 - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} \right]}{D_{HA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHF}k_e q_H q_F \left[ z_0 - z_3 + \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} \right]}{D_{HF}^3 + \beta^3} \\
 & + \frac{k_{nHI}k_e q_H q_I \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} + z_0 - z_3 \right]}{D_{HI}^3 + \beta^3} \\
 & - \frac{k_{nHJ}k_e q_H q_J \left[ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} + z_0 - z_3 \right]}{D_{HJ}^3 + \beta^3}
 \end{aligned}$$

通过改变比例，方程变为：

$$\begin{aligned}
 \text{中}_{H\#} \cdot z_{3x}'' = & \frac{k_{nHAx}k_{ex} q_{Hx} q_{Ax} \left[ -\frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + z_{0x} - z_{3x} + \frac{z_x}{2} \right]}{D_{HAx}^3 + \beta_x^3} \\
 & - \frac{k_{nHFx}k_{ex} q_{Hx} q_{Fx} \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + z_{0x} - z_{3x} + \frac{z_x}{2} \right]}{D_{HFx}^3 + \beta_x^3} \\
 & + \frac{k_{nHlx}k_{ex} q_{Hx} q_{Ix} \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{z_x}{2} + z_{0x} - z_{3x} \right]}{D_{Hlx}^3 + \beta_x^3} \\
 & - \frac{k_{nHJx}k_{ex} q_{Hx} q_{Jx} \left[ -\frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{z_x}{2} + z_{0x} - z_{3x} \right]}{D_{HJx}^3 + \beta_x^3}
 \end{aligned}$$

方程3-三角子H

和：

$$q_{?x} = \frac{\text{中}_{?0x}}{\text{中}_{refx}} \cdot e_x$$

在这里有：? = F, A, I, J, H. 已知：中<sub>F0</sub> = 中<sub>A0</sub> = 中<sub>I0</sub> = 中<sub>J0</sub>, et 中<sub>G0</sub> = 中<sub>H0</sub>：

$$\bullet \quad k_{ex} q_{Hx} q_{Ax} = k_{ex} q_{Hx} q_{Fx} = k_{ex} q_{Hx} q_{Ix} = k_{ex} q_{Hx} q_{Jx} = k_{ex} \frac{\text{中}_{H0x}}{\text{中}_{refx}} \cdot \frac{\text{中}_{F0x}}{\text{中}_{refx}} = k_{16x}$$

$$k_{nH?} = 10^{-\frac{D_{H?}}{r} 100} + 10^{-21}$$

#### 4.8.3.5 使用 Matlab-Simulink 软件包工具求解微分方程

通过使用 Simulink 求解方程，我们得到 z（蓝色）和 z3（黄色）曲线：

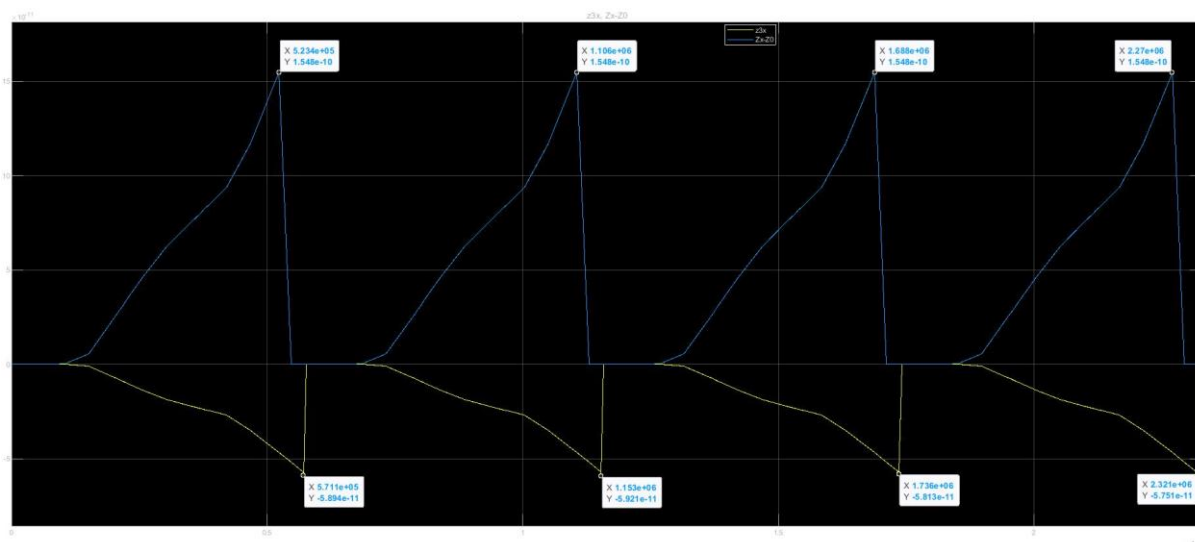


图24 - 三角子电偶的振荡

我们看到  $z_x$  的振荡幅度为  $1.548 \cdot 10^{-10}$ 。与电偶半径  $r_x$  之比为  $2.78 \cdot 10^{-10}$ 。

$z_{3x}$  的振荡幅度为  $5.921 \cdot 10^{-11}$ 。与电偶半径  $r_x$  之比为  $1.06 \cdot 10^{-10}$ 。

进一步的详细信息请参见：附录 A.2。

#### 4.8.4 下品晶子的稳定性

质子的电荷半径  $R_p$  是在实验室中测量的。它位于以下范围内：

- $0.82 \cdot 10^{-15} \text{ m} < R_p < 0.88 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

优选值为： $0.84 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ 。现在质子的结构可以用下图来表示：

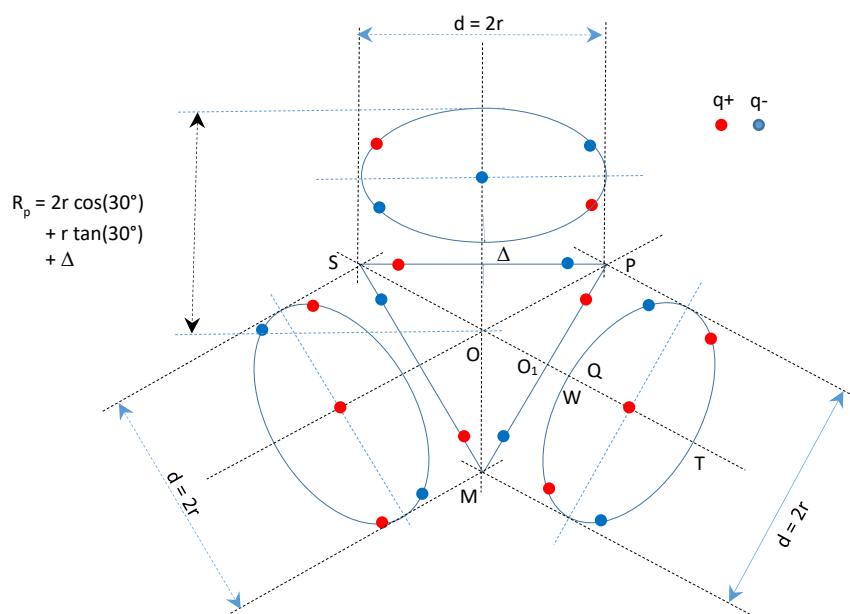


图25 - 质子半径

假设电荷半径对应于质子的最大半径。我们有：

- $R_p = 2r \cos(30^\circ) + r \tan(30^\circ) + \Delta$

我们由此推导出包含组成质子的电偶的圆的半径  $r$ :

$$r = \frac{R_p - \Delta}{2 \cdot \cos(30^\circ) + \tan(30^\circ)} = \frac{R_p - \Delta}{\sqrt{3} + \frac{1}{\sqrt{3}}}$$

与  $r$  相比,  $\Delta$  的值可以忽略不计。因此:  $r = 0.36373067 \cdot 10^{-15} \text{ m}$  四舍五入到  $0.36373 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ .

电偶半径的该值也将用于构成品晶子的电偶。

为了建立核子内 9 个电偶的动态行为, 我们将按以下 5 个步骤进行:

1. 确定电子的坐标以及它们之间的距离
2. 确定每个电子的重量
3. 确定电子之间的电力的相互作用
4. 建立控制每个电子的动态方程
5. 使用 Matlab-Simulink 软件包工具求解微分方程

#### 4.8.4.1 位于 3 个三角子之间的距离

通过检查  $z$  和  $z_3$  幅度曲线, 出现了相干性问题。事实上, 与最小  $z$  的位置相比, 最大  $z$  的位置位于角度  $\alpha$  接近  $\pi$  处。但理想的位置是  $\alpha = \pi/2$ 。问题是, 在这个位置, AF 电偶的速度不为零。因此, 有必要考虑将 AF 电偶停止在位置  $\alpha = \pi/2$  处。这是一个限制。事实上, 如果位置不同, 三角子的结构将不再成立。此约束对于 3 个中间电偶有效。

#### 4.8.4.2 确定电子的坐标以及它们之间的距离

让我们建立电子的全局坐标和局部坐标之间的关系。

下图说明了全局坐标和外部三角子的局部坐标:

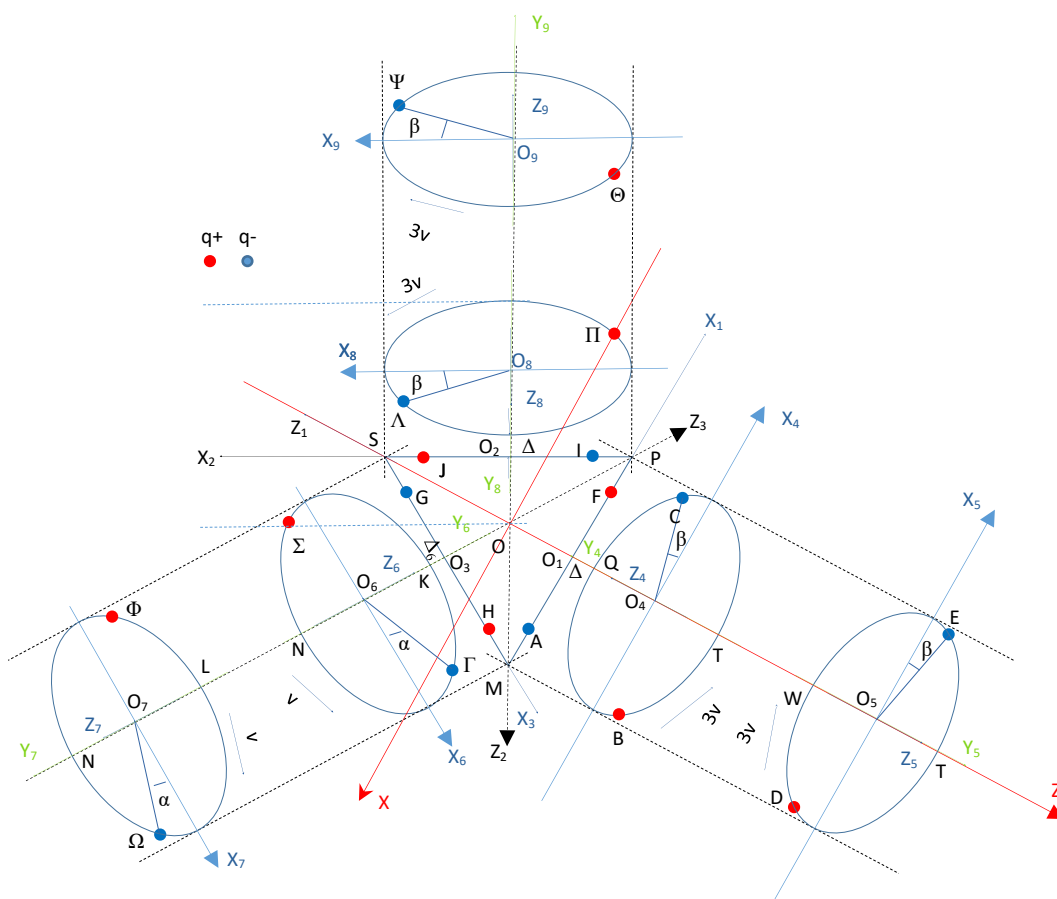


图26 - 晶晶子结构

我们从三角子的稳定性段中取用基准  $R$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  和  $R_3$ 。我们添加基准  $R_4(O_4, X_4, Y_4, Z_4)$ ,  $R_5(O_5, X_5, Y_5, Z_5)$ ,  $R_6(O_6, X_6, Y_6, Z_6)$  和  $R_7(O_7, X_7, Y_7, Z_7)$ 。

$\Delta$  表示  $AF$  电偶在  $OZ$  轴上的振幅。 $\Delta_6$  表示  $GH$  电偶在  $O_3Z_3$  轴上的振幅。

让我们确定这 4 个新基准的原点坐标。对于  $O_4$  和  $O_5$  的坐标，我们使用下图：

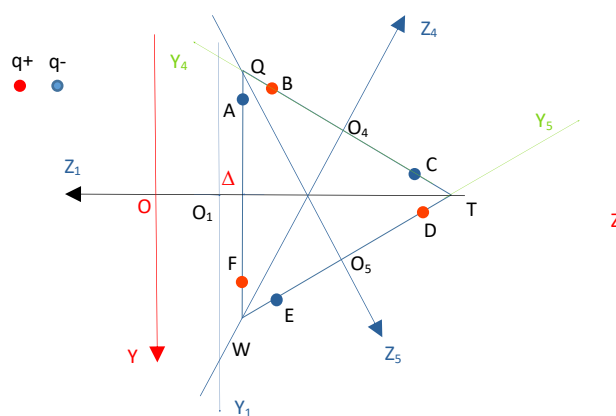


图27 - ABCDEF 三角子轴向视图

在  $R_1$  参考系中， $O_4$  和  $O_5$  的坐标为：

$$O_4 \begin{pmatrix} 0 \\ -r \cdot \sin(30^\circ) \\ -\Delta - r \cdot \cos(30^\circ) \end{pmatrix} = O_4 \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{r}{2} \\ -\Delta - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

$$O_5 \begin{pmatrix} 0 \\ r \cdot \sin(30^\circ) \\ -\Delta - r \cdot \cos(30^\circ) \end{pmatrix} = O_5 \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{r}{2} \\ -\Delta - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

在确定了局部基准的原点坐标之后，剩下的就是确定它们的距离。

从  $R_1$  坐标系开始，绕轴  $O_1X_1$  旋转  $2\pi/3$ ，然后向  $O_4$  移动，得到  $R_4$  坐标系 ( $O_4, X_4, Y_4, Z_4$ )。首先需要在  $R$  基准系中添加  $R_1$  的旋转。

$$M_{4R1} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\frac{r}{2} \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_1 \begin{pmatrix} \cos(\pi) & 0 & \sin(\pi) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\pi) & 0 & \cos(\pi) & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_4 = M_1 \otimes M_{4R1} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

还有：

$$z_0 = \frac{r}{\sqrt{3}} = \frac{0.36373}{\sqrt{3}} = 0.21$$

从  $R_1$  坐标系开始，绕  $OX$  轴旋转  $-2\pi/3$ ，然后向  $O_5$  移动，得到  $R_5$  坐标系  $R_5(O_5, X_5, Y_5, Z_5)$ 。首先需要在  $R$  基准系中添加  $R_1$  的旋转。

$$M_{5R1} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right) & \frac{r}{2} \\ 0 & \sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right) & -\Delta - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 M_5 = M_1 \otimes M_{5R1} &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & \Delta + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

对于  $O_6$  和  $O_7$  的坐标，我们使用下图：

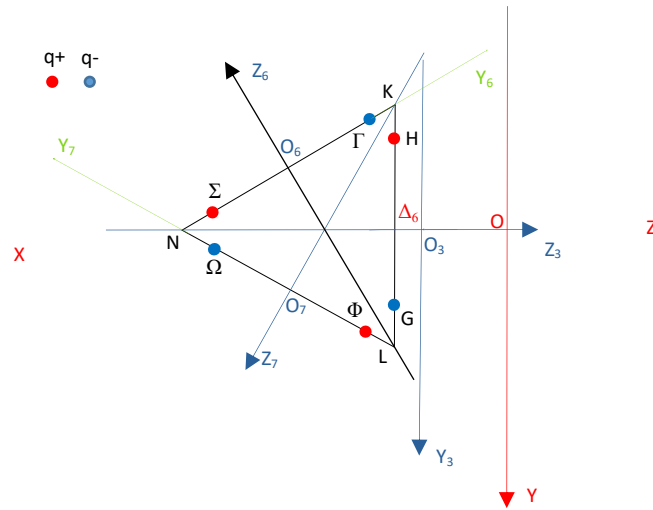


图28 - GH Γ Σ Ω Φ 三角子轴向视图

在  $R_3$  基准系中， $O_6$  和  $O_7$  的坐标为：

$$\begin{aligned}
 O_6 \begin{pmatrix} 0 \\ -r \cdot \sin(30^\circ) \\ -\Delta_6 - r \cdot \cos(30^\circ) \end{pmatrix} &= O_6 \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{r}{2} \\ -\Delta_6 - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} \\
 O_7 \begin{pmatrix} 0 \\ r \cdot \sin(30^\circ) \\ -\Delta_6 - r \cdot \cos(30^\circ) \end{pmatrix} &= O_7 \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{r}{2} \\ -\Delta_6 - r \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

从坐标系  $R_3$  开始，绕轴  $O_3X_3$  旋转  $2\pi/3$ ，然后向  $O_6$  移动，得到坐标系  $R_6(O_6, X_6, Y_6, Z_6)$ 。首先需要在  $R$  坐标系中添加  $R_3$  的旋转。



$$\begin{aligned}
M_{6R3} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\frac{r}{2} \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
M_3 \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 & \sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) & \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 & \cos\left(\frac{-\pi}{3}\right) & -\frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
M_6 = M_3 \otimes M_{6R3} &= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

从坐标系  $R_3$  开始，绕轴  $O_3X_3$  旋转  $-2\pi/3$ ，然后向  $O_7$  移动，获得坐标系  $R_7(O_7, X_7, Y_7, Z_7)$ 。首先需要在  $R$  坐标系中添加  $R_3$  的旋转。

$$M_{7R3} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{-2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{-2\pi}{3}\right) & \frac{r}{2} \\ 0 & \sin\left(\frac{-2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{-2\pi}{3}\right) & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
M_7 = M_3 \otimes M_{7R3} &= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

确定电子 B 和 C 在局部坐标系  $R_4$  中的坐标：

$$\begin{aligned}
B_{R4} &\begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \end{pmatrix} \\
C_{R4} &\begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

确定电子 B 和 C 在全局坐标系 R 中的坐标：

$$\begin{aligned}
B \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \\ 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + r\frac{\sqrt{3}}{2} + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix} \\
B \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \\ 1 \end{pmatrix} &= B \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ \frac{r}{2}\sin(3\omega t) - z_4\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ r\frac{\sqrt{3}}{2}\sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r\frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
C \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + r\frac{\sqrt{3}}{2} + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

$$C \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -\frac{r}{2} \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

确定电子 D 和 E 在局部坐标系  $R_5$  中的坐标:

$$D_{R5} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \end{pmatrix}$$

$$E_{R5} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \end{pmatrix}$$

确定电子 D 和 E 在全局坐标系 R 中的坐标:

$$D \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + r \frac{\sqrt{3}}{2} + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$D \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \\ 1 \end{pmatrix} = D \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ \frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$E \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \Delta + r \frac{\sqrt{3}}{2} + z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$E \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) \\ -\frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

确定电子  $\Gamma$  和  $\Sigma$  在局部坐标系  $R_6$  中的坐标:

$$\Gamma_{R6} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{R6} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \end{pmatrix}$$

确定电子  $\Gamma$  和  $\Sigma$  在全局坐标系  $R$  中的坐标:

$$\Gamma \begin{pmatrix} x_\gamma \\ y_\gamma \\ z_\gamma \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{-3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{-r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{1}{-4} & -\frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Gamma \begin{pmatrix} x_\gamma \\ y_\gamma \\ z_\gamma \\ 1 \end{pmatrix} = \Gamma \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4} r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma \begin{pmatrix} x_\sigma \\ y_\sigma \\ z_\sigma \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{-3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{-r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{1}{-4} & -\frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma \begin{pmatrix} x_\sigma \\ y_\sigma \\ z_\sigma \\ 1 \end{pmatrix} = \Sigma \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4} r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

确定电子  $\Omega$  和  $\Phi$  在局部坐标系  $R_7$  中的坐标:

$$\Omega_{R7} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_{R7} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \end{pmatrix}$$

确定电子  $\Omega$  和  $\Phi$  在全局坐标系  $R$  中的坐标:

$$\begin{aligned}
\Omega \begin{pmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \\ 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \\ 1 \end{pmatrix} \\
\Omega \begin{pmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \\ 1 \end{pmatrix} &= \Omega \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4} r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix} \\
\Phi \begin{pmatrix} x_\varphi \\ y_\varphi \\ z_\varphi \\ 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{z_0}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \\ 1 \end{pmatrix} \\
\Phi \begin{pmatrix} x_\omega \\ y_\omega \\ z_\omega \\ 1 \end{pmatrix} &= \Phi \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4} r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

确定电子 F、B、C、D 和 E 之间的矢量和距离：

$$\begin{aligned}
\overrightarrow{D_{FB}} = \overrightarrow{FB} &= \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix} \\
D_{FB}^2 &= [r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 \\
&\quad + \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2
\end{aligned}$$

$$\overrightarrow{D_{FC}} = \overrightarrow{FC} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FC}^2 = [-r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 \\ + \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{FD}} = \overrightarrow{FD} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FD}^2 = [r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 \\ + \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{FE}} = \overrightarrow{FE} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t) \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$D_{FE}^2 = [-r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ -\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 \\ + \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$$

确定电子 H、Γ、Σ、Ω 和 Φ 之间的矢量以及距离：

$$\overrightarrow{D_{H\Gamma}} = \overrightarrow{H\Gamma} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4} r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{HR}^2 = \left[ \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2$$

$$+ \left[ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2$$

$$+ \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{H\Sigma}} = \overrightarrow{H\Sigma} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{H\Sigma}^2 = \left[ \frac{-r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2$$

$$+ \left[ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2$$

$$+ \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{H\Omega}} = \overrightarrow{H\Omega} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \end{pmatrix}$$

$$D_{H\Omega}^2 = \left[ \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2$$

$$+ \left[ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2$$

$$+ \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{H\Phi}} = \overrightarrow{H\Phi} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
D_{H\Phi}^2 = & \left[ \frac{-r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 \\
& + \left[ \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 \\
& + \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} \right]^2
\end{aligned}$$

确定电子 C、D、E 和 A 之间的矢量以及距离：

$$\overrightarrow{D_{AC}} = \overrightarrow{AC} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) \\ -\frac{r}{2} \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
D_{AC}^2 = & [r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ r \cdot \sin(\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \right]^2 \\
& + \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2
\end{aligned}$$

$$\overrightarrow{D_{AD}} = \overrightarrow{AD} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) \\ \frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \\ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
D_{AD}^2 = & [r \cdot \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ r \cdot \sin(\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \right]^2 \\
& + \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2
\end{aligned}$$

$$\overrightarrow{D_{AE}} = \overrightarrow{AE} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(3\omega t) - r \cdot \cos(\omega t) \\ -\frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
D_{AE}^2 = & [r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ r \cdot \sin(\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2} z_4 + \frac{r}{2} \right]^2 \\
& + \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2
\end{aligned}$$

确定电子 B、A、D 和 E 之间的矢量以及距离：



$$\overrightarrow{D_{BA}} = \overrightarrow{BA} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) - r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) - \frac{r}{2} \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ z - r \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) - \frac{z_4}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta - z_0 \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{D_{BE}} = \overrightarrow{BE} = \begin{pmatrix} -2r \cdot \cos(3\omega t) \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$D_{BE}^2 = [2r \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r]^2$$

$$\overrightarrow{D_{BD}} = \overrightarrow{BD} = \begin{pmatrix} 0 \\ z_4 \sqrt{3} + r \\ r \sqrt{3} \sin(3\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{BD}^2 = [r + z_4 \sqrt{3}]^2 + 3[r \cdot \sin(3\omega t)]^2$$

确定电子 D、E 和 C 之间的矢量以及距离：

$$\overrightarrow{D_{CD}} = \overrightarrow{CD} = \begin{pmatrix} 2r \cdot \cos(3\omega t) \\ r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$D_{CD}^2 = 4[r \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r]^2$$

$$\overrightarrow{D_{CE}} = \overrightarrow{CE} = \begin{pmatrix} 0 \\ z_4 \sqrt{3} + r \\ r \sqrt{3} \sin(3\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{CE}^2 = [r + z_4 \sqrt{3}]^2 + 3[r \cdot \sin(3\omega t)]^2$$

确定电子  $\Sigma$ 、 $\Phi$ 、 $G$  和  $\Omega$  之间的矢量以及距离：

$$\overrightarrow{D_{\Sigma\Omega}} = \overrightarrow{\Sigma\Omega} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\omega t) \\ -r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \sqrt{3} + r \\ r \sqrt{3} \cdot \cos(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{\Sigma\Omega}^2 = [r \cdot \cos(\omega t)]^2 + [-r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \sqrt{3} + r]^2 + [r \sqrt{3} \cdot \cos(\omega t)]^2$$

$$\overrightarrow{D_{\Sigma\Phi}} = \overrightarrow{\Sigma\Phi} = \begin{pmatrix} -\frac{3}{2}r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6 \sqrt{3} + r \\ \frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{\Sigma\Phi}^2 = \left[ -\frac{3}{2}r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + [z_6\sqrt{3} + r]^2 + \left[ \frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \sin(\omega t) \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{\Sigma G}} = \overrightarrow{\Sigma G} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4}z_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3r}{4} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2}z_6 + \frac{r}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4}r \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{\Delta_6}{2} \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{D_{\Gamma H}} = \overrightarrow{\Gamma H} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) - z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} - \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{3r}{4} \\ r \cdot \sin(3\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) - r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\Delta_6}{2} \end{pmatrix}$$

确定电子  $\Gamma$ 、 $\Phi$ 、 $G$  和  $\Omega$  之间的矢量以及距离：

$$\overrightarrow{D_{\Gamma\Omega}} = \overrightarrow{\Gamma\Omega} = \begin{pmatrix} \frac{3}{2}r \cdot \sin(\omega t) \\ z_6\sqrt{3} + r \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \sin(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{\Gamma\Omega}^2 = \left[ \frac{3}{2}r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + [z_6\sqrt{3} + r]^2 + \left[ \frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \sin(\omega t) \right]^2$$

$$\overrightarrow{D_{\Gamma\Phi}} = \overrightarrow{\Gamma\Phi} = \begin{pmatrix} -r \cdot \cos(\omega t) \\ r \cdot \sin(\omega t) + z_6\sqrt{3} + r \\ -\sqrt{3}r \cdot \cos(\omega t) \end{pmatrix}$$

$$D_{\Gamma\Phi}^2 = [-r \cdot \cos(\omega t)]^2 + [r + r \cdot \sin(\omega t) + z_6\sqrt{3}]^2 + [-\sqrt{3}r \cdot \cos(\omega t)]^2$$

$$\overrightarrow{D_{\Gamma G}} = \overrightarrow{\Gamma G} = \begin{pmatrix} -\frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) - \frac{z_3\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4}z_6 - \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3r}{4} \\ -r \cdot \sin(3\omega t) + \frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2}z_6 + \frac{r}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \cdot \cos(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4}r \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{\Delta_6}{2} \end{pmatrix}$$

#### 4.8.4.3 确定每个电子的重量

电子的编号如下：

1. 电子 F : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
2. 电子 A : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
3. 电子 J : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
4. 电子 I : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
5. 电子 G : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>H#</sub>.
6. 电子 H : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>H#</sub>.
7. 电子 B : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
8. 电子 C : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
9. 电子 D : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
10. 电子 E : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
11. 电子  $\Theta$  : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
12. 电子  $\Psi$  : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
13. 电子  $\Pi$  : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
14. 电子  $\Lambda$  : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
15. 电子  $\Gamma$  : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
16. 电子  $\Sigma$  : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
17. 电子  $\Omega$  : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
18. 电子  $\Phi$  : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.

电子 F 的总重量用下式表示：

$$\text{中}_{F\#} = \text{中}_F + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eFI} + E_{eFG} + E_{eFC} + E_{eFE})$$

再加上：

- 中<sub>F#</sub> : 代表电子 F 的整体惰性重量。
- 中<sub>F</sub> : 是电子 F 的中性载荷
- $E_{eFp}$  : 是电子 F 和电子 p 之间的电势能，其符号与电子 F 的符号相反。此外，电子 F 和 p 之间的距离在 0 和  $d > 0$  之间变化。其中  $p = I, G, C$  或。

要计算势能  $E_{eFp}$ ，就需要知道它们之间的距离平均值。忽略电偶相对于等边三角形的运动，距离为：

- $D_{FI} = r \cdot f_{FI} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FG} = r \cdot f_{FG} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FC}^2 = [-r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} + r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2$

计算条件：

$$\Delta = \Delta_6 = z_4 = z_6 = 0$$

$$z = z_0 = r/\sqrt{3}$$

$$D_{FC} = \frac{r}{2} \sqrt{4[-\cos(3\omega t) + \cos(\omega t)]^2 + [\sin(3\omega t) + 1 + 2 \cdot \sin(\omega t)]^2 + 3[1 - \sin(3\omega t)]^2}$$

使用 Simulink 绘制曲线（文件： Courbe\_distance\_D\_FC.slx)

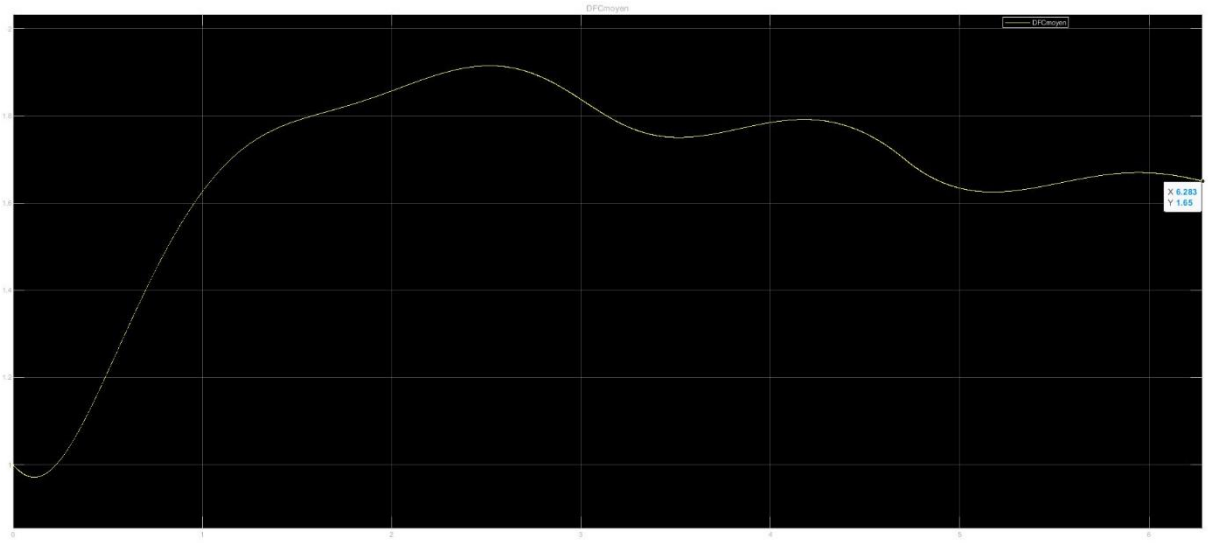


图 29 - 平均距离 FC

$$D_{FC} = r \cdot f_{FC} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad D_{FE}^2 &= [-r \cdot \cos(3\omega t) + r \cdot \cos(\omega t)]^2 + \left[ -\frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(\omega t) \right]^2 + \\ &\quad \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta + z_0 - z \right]^2 \\ D_{FE} &= \frac{r}{2} \sqrt{4[-\cos(3\omega t) + \cos(\omega t)]^2 + [-\sin(3\omega t) + 1 - 2 \cdot \sin(\omega t)]^2 + 3[1 + \sin(3\omega t)]^2} \end{aligned}$$

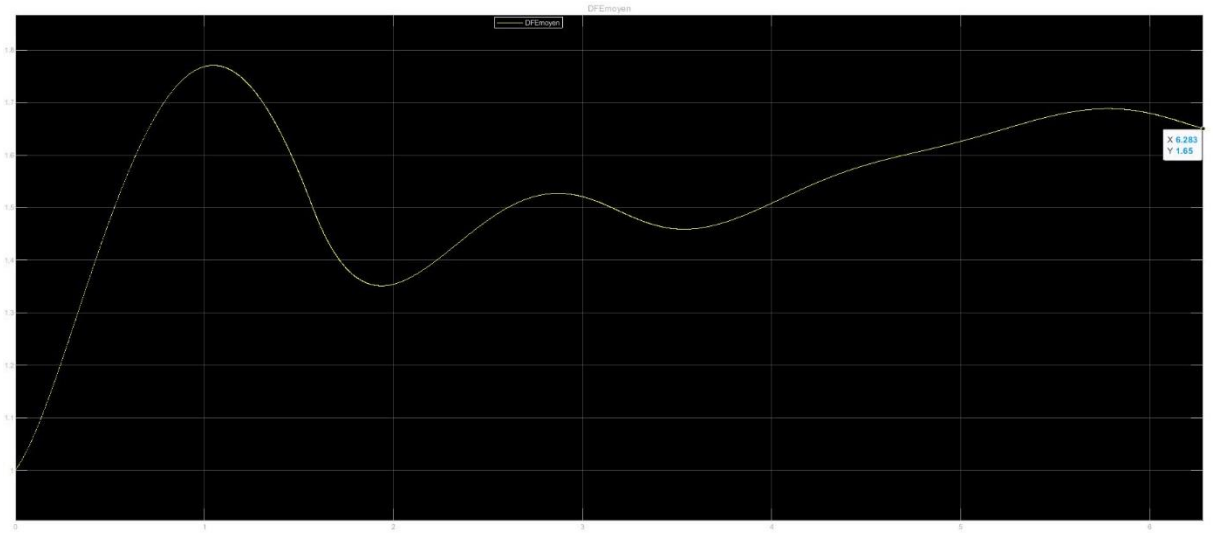


图 30 - 平均距离 FE

$$D_{FE} = r \cdot f_{FE} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(文件: Courbe\_distance\_D\_FE.slx)

- $D_{HA} = r \cdot f_{HA} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{HI} = r \cdot f_{HI} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

$$\begin{aligned}
\bullet \quad D_{H\Gamma}^2 &= \left[ \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \\
&\quad \left[ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - r \frac{\sqrt{3}}{4} - \right. \\
&\quad \left. \frac{\Delta_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_3}{2} \right]^2 \\
\frac{D_{H\Gamma}^2}{r^2} &= \left[ \frac{1}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{3}{4} - \frac{1}{2} \cdot \cos(3\omega t) \right]^2 + \left[ \frac{1}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{1}{2} + \sin(3\omega t) \right]^2 \\
&\quad + \left[ \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) \right]^2 \\
\frac{4 \cdot D_{H\Gamma}^2}{r^2} &= \left[ \frac{3}{2} + \cos(\omega t) - \frac{3}{2} \cdot \sin(\omega t) - \cos(3\omega t) \right]^2 + [\sin(\omega t) + 1 + 2 \cdot \sin(3\omega t)]^2 \\
&\quad + 3 \left[ \cos(\omega t) + \frac{1}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{1}{2} - \cos(3\omega t) \right]^2 \\
\frac{4^2 \cdot D_{H\Gamma}^2}{r^2} &= [3 + 2\cos(\omega t) - 3 \cdot \sin(\omega t) - 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [2 \cdot \sin(\omega t) + 2 + 4 \cdot \sin(3\omega t)]^2 \\
&\quad + 3[2 \cdot \cos(\omega t) + \sin(\omega t) - 1 - 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2
\end{aligned}$$

使用 Simulink 绘制曲线（文件： Courbe\_distance\_D\_Hgamma.slx）

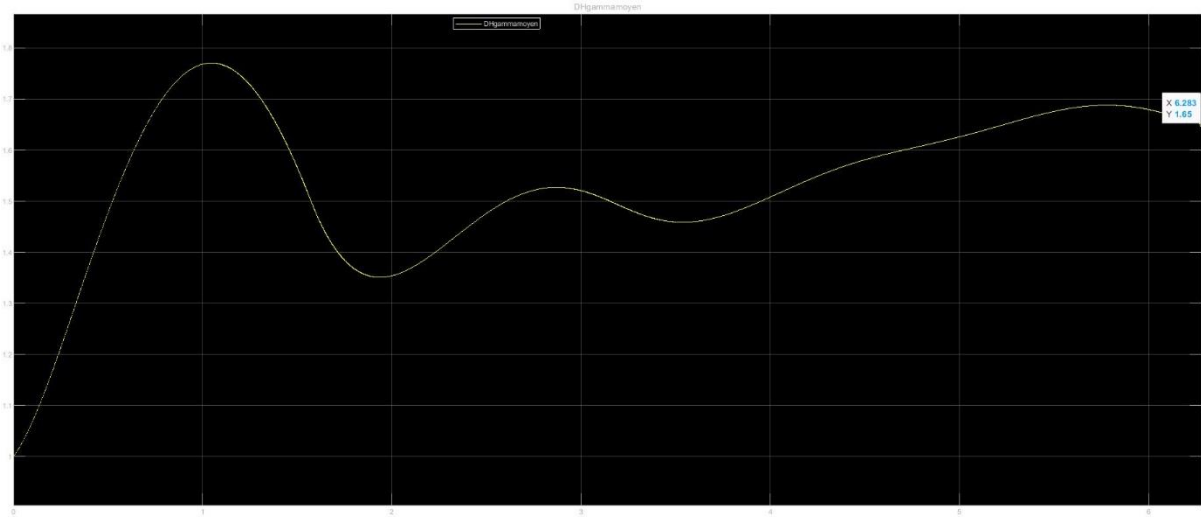
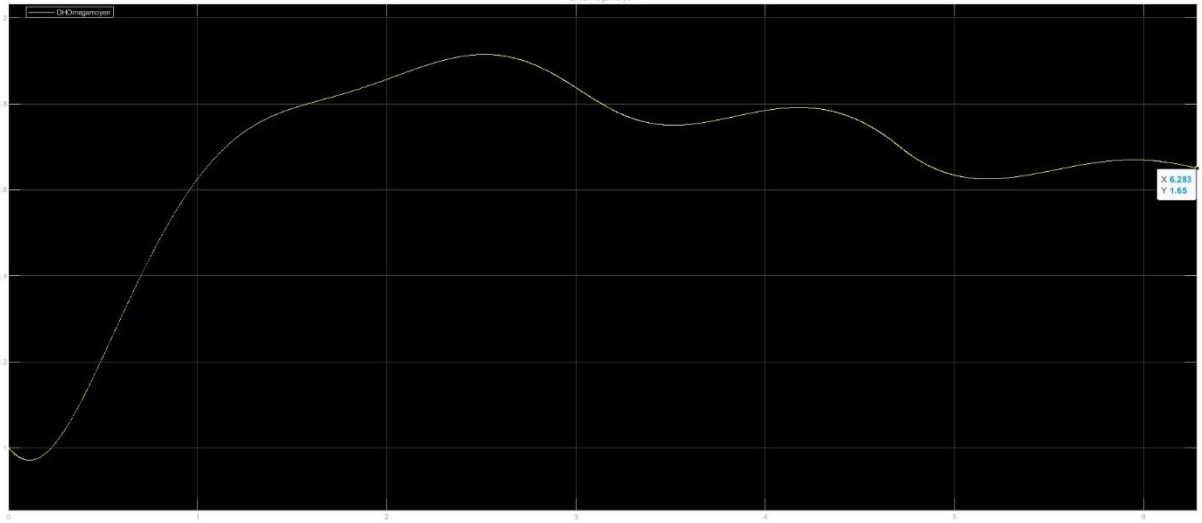


图31 - 平均距离  $H\Gamma$

$$D_{H\Gamma} = r \cdot f_{H\Gamma} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\bullet \quad D_{H\Omega}^2 &= \left[ \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) + z_3 \frac{\sqrt{3}}{2} \right]^2 + \\
&\quad \left[ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + \frac{z_6}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{4} + \right. \\
&\quad \left. \frac{\Delta_6}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_3}{2} \right]^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_{H\Omega}^2 &= \left[ \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{3}{4}r \cdot \sin(\omega t) + \frac{3r}{4} - \frac{r}{2} \cdot \cos(3\omega t) \right]^2 + \left[ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{r}{2} - r \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 \\
&\quad + \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) \right]^2 \\
\frac{4}{r^2} D_{H\Omega}^2 &= \left[ \cos(\omega t) + \frac{3}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{3}{2} - \cos(3\omega t) \right]^2 + [-\sin(\omega t) + 1 - 2 \cdot \sin(3\omega t)]^2 \\
&\quad + 3 \left[ -\cos(\omega t) + \frac{1}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{1}{2} + \cos(3\omega t) \right]^2 \\
\frac{4^2}{r^2} D_{H\Omega}^2 &= [3 + 2 \cdot \cos(\omega t) + 3 \cdot \sin(\omega t) - 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [2 - 2 \cdot \sin(\omega t) - 4 \cdot \sin(3\omega t)]^2 \\
&\quad + 3[\sin(\omega t) - 2 \cdot \cos(\omega t) + 1 + 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2
\end{aligned}$$

图32 - 平均距离  $H\Omega$ 

$$D_{H\Omega} = r \cdot f_{H\Omega} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(文件 : Courbe\_distance\_D\_HOmega.slx)

- $$D_{BE}^2 = [2r \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [-r \cdot \sin(3\omega t) + z_4 \sqrt{3} + r]^2$$

$$z_4 = 0$$

$$D_{BE} = r \cdot \sqrt{[2 \cdot \cos(3\omega t)]^2 + [1 - \sin(3\omega t)]^2}$$

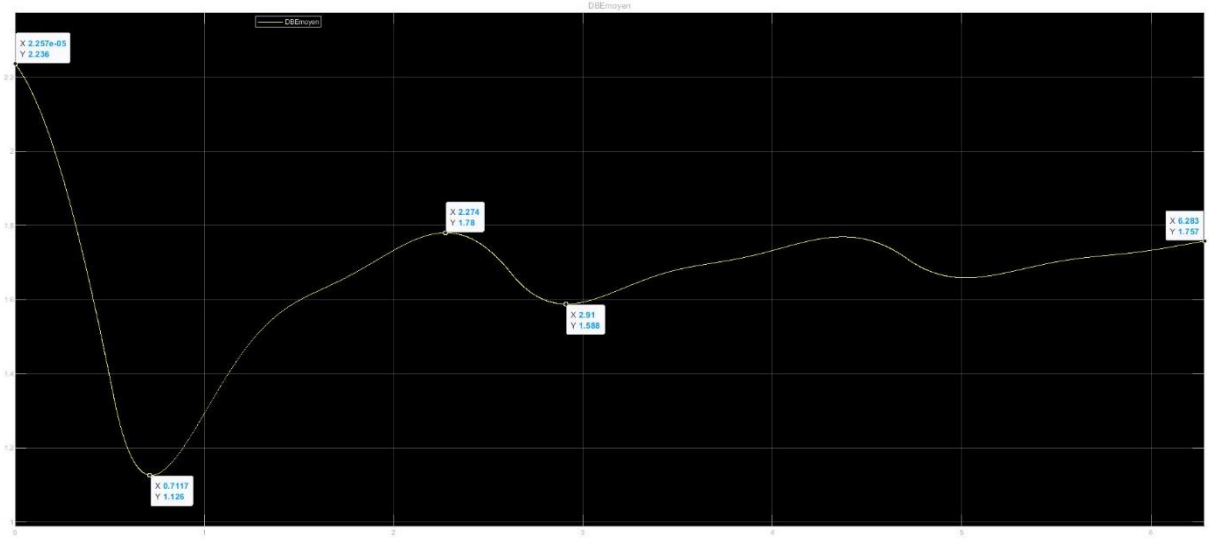


图33 - 平均距离 BE

$$D_{BE} = r \cdot f_{BE} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(文件: Courbe\_distance\_D\_BE.slx)

$$D_{BA}^2 = [r \cdot \cos(\omega t) - r \cdot \cos(3\omega t)]^2 + \left[ \frac{r}{2} - r \sin(\omega t) - \frac{r}{2} \cdot \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} + r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) \right]^2$$

$$D_{BA}^2 \frac{4}{r^2} = 4[\cos(\omega t) - \cos(3\omega t)]^2 + [1 - 2 \sin(\omega t) - \sin(3\omega t)]^2 + 3[1 + \sin(3\omega t)]^2$$

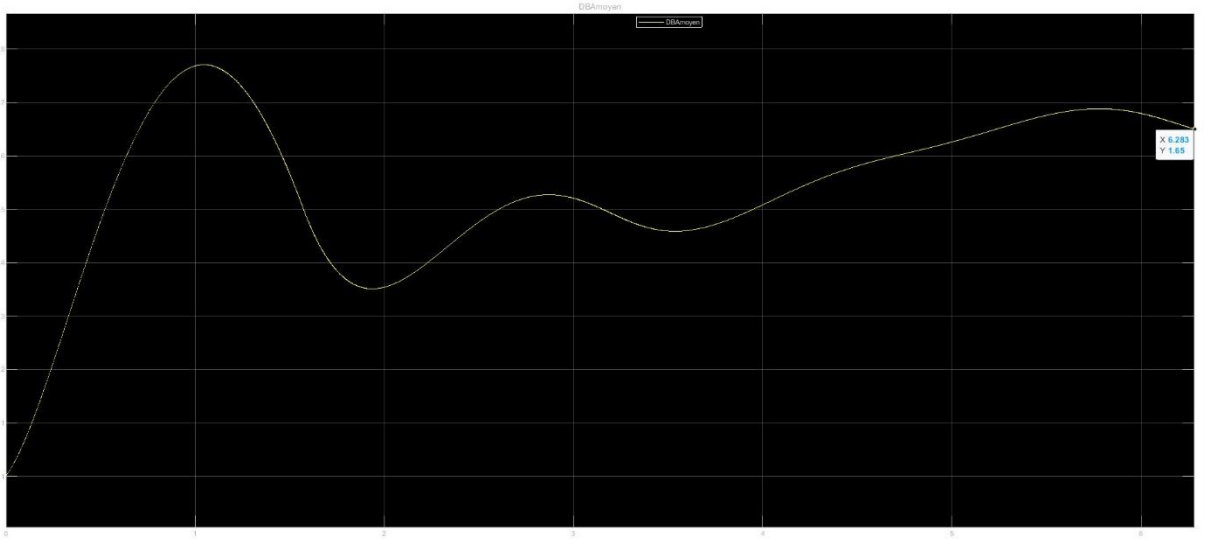


图34 - 平均距离 BA

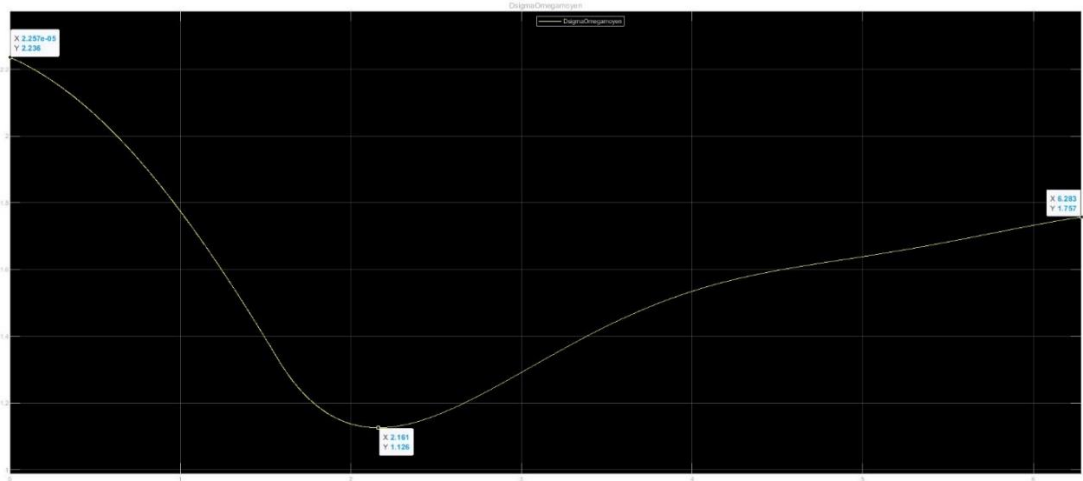
$$D_{BA} = r \cdot f_{BA} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(文件: Courbe\_distance\_D\_BA.slx)

$$D_{\Sigma\Omega}^2 = [r \cdot \cos(\omega t)]^2 + [-r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \sqrt{3} + r]^2 + [r \sqrt{3} \cdot \cos(\omega t)]^2$$

$$Z_6 = 0$$

$$D_{\Sigma\Omega} = r \cdot \sqrt{[\cos(\omega t)]^2 + [1 - \sin(\omega t)]^2 + 3[\cos(\omega t)]^2}$$

图35 - 平均距离 $\Sigma\Omega$ 

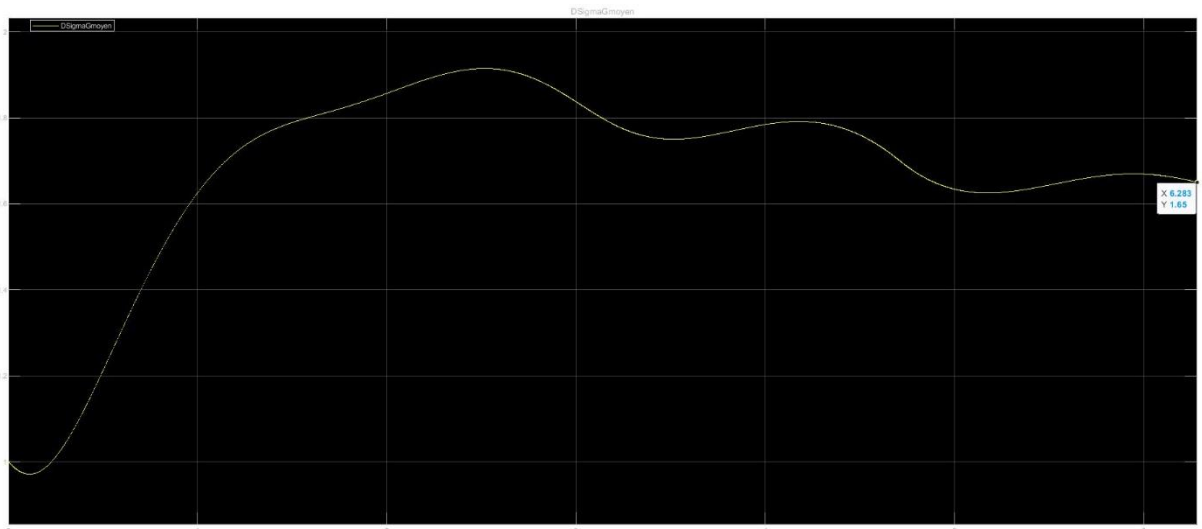
$$D_{\Sigma\Omega} = r \cdot f_{\Sigma\Omega} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(文件: Courbe\_distance\_D\_SigmaOmega.slx)

$$\bullet \quad D_{\Sigma G}^2 \frac{1}{r^2} = \left[ \frac{1}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{1}{2} \cdot \cos(3\omega t) - \frac{3}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{3}{4} \right]^2 + \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sin(\omega t) - \sin(3\omega t) \right]^2 + \left[ \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(3\omega t) \right]^2$$

$$Z_6 = Z_3 = \Delta_6 = 0$$

$$D_{\Sigma G}^2 \frac{4^2}{r^2} = [2 \cdot \cos(\omega t) - 2 \cdot \cos(3\omega t) - 3 \cdot \sin(\omega t) - 3]^2 + [2 - 2 \cdot \sin(\omega t) - 4 \cdot \sin(3\omega t)]^2 + 3[1 + 2 \cdot \cos(\omega t) + \sin(\omega t) - 2 \cdot \cos(3\omega t)]^2$$

图36 - 平均距离 $\Sigma G$ 

$$D_{\Sigma G} = r \cdot f_{\Sigma G} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

(文件: Courbe\_distance\_D\_SigmaG.slx)



电子 F 的总重量变为:

$$\text{中}_{F\#} = \text{中}_F + \frac{k_e e^2}{2c^2 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0} \text{中}_{I0}}{D_{FI}} + \frac{\text{中}_{F0} \text{中}_{G0}}{D_{FG}} + \frac{\text{中}_{F0} \text{中}_{C0}}{D_{FC}} + \frac{\text{中}_{F0} \text{中}_{E0}}{D_{FE}} \right)$$

由于小电荷的轨道速度远低于  $c$ ,  $\text{中}_F = \text{中}_{F0}$ 。所以我们有:

$$\begin{aligned} \text{中}_{F\#} &= \text{中}_{F0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{F0}}{2c^2 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{D_{FI}} + \frac{\text{中}_{H0}}{D_{FG}} + \frac{\text{中}_{H0}}{D_{FC}} + \frac{\text{中}_{H0}}{D_{FE}} \right) \\ \text{中}_{F\#} &= \text{中}_{F0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{F0}}{2c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FE}} \right) \end{aligned}$$

通过对称性,  $\text{中}_{A\#} = \text{中}_{I\#} = \text{中}_{J\#} = \text{中}_{F\#}$ 。

电子 H 的总重量由下式表示:

$$\text{中}_{H\#} = \text{中}_H + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eHA} + E_{eHI} + E_{eH\Gamma} + E_{eH\Omega})$$

再加上:

- $\text{中}_{H\#}$  : 代表电子 H 的全部惰性重量。
- $\text{中}_H$  : 是电子 H 的中性载荷
- $E_{eHp}$  : 是电子 H 和电子 p 之间的电势能。其中  $p = A、I、\Gamma$  或  $\Omega$ 。

$$\begin{aligned} \text{中}_{H\#} &= \text{中}_H + \frac{k_e e^2}{2c^2 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{H0} \text{中}_{A0}}{D_{HA}} + \frac{\text{中}_{H0} \text{中}_{I0}}{D_{HI}} + \frac{\text{中}_{H0} \text{中}_{\Gamma}}{D_{H\Gamma}} + \frac{\text{中}_{H0} \text{中}_{\Omega}}{D_{H\Omega}} \right) \\ \text{中}_{H\#} &= \text{中}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0}}{2c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{HA}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{HI}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{H\Omega}} \right) \\ \text{中}_{H\#} &= \text{中}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0} \cdot \text{中}_{F0}}{2c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right) \end{aligned}$$

通过对称性,  $\text{中}_{G\#} = \text{中}_{H\#}$ 。

电子 B 的整体重量用以下公式表示:

$$\text{中}_{B\#} = \text{中}_B + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eBA} + E_{eBE})$$

再加上:

- $\text{中}_{B\#}$  : 代表电子 B 的全部惰性重量。
- $\text{中}_B$  : 是电子 B 的中性载荷
- $E_{eBp}$  : 是电子 B 和电子 p 之间的电势能, 其符号与电子 B 的符号相反。此外, 电子 B 和 p 之间的距离在 0 和  $d > 0$  之间变化。其中  $p = A$  或  $E$ 。

$$\text{中}_{B\#} = \text{中}_B + \frac{k_e e^2}{2c^2 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{B0} \text{中}_{F0}}{D_{BA}} + \frac{\text{中}_{B0} \text{中}_{E0}}{D_{BE}} \right)$$

$$\text{中}_{B\#} = \text{中}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0}}{2c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{BE}} \right)$$

通过对称性,  $\text{中}_{C\#} = \text{中}_{D\#} = \text{中}_{E\#} = \text{中}_{\Theta\#} = \text{中}_{\Psi\#} = \text{中}_{\Pi\#} = \text{中}_{\Lambda\#} = \text{中}_{B\#}$ .

电子  $\Sigma$  的总重量用下式表示:

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{\Sigma} + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{e\Sigma G} + E_{e\Sigma\Omega})$$

再加上:

- $\text{中}_{\Sigma\#}$  : 代表电子  $\Sigma$  的全部惰性重量。
- $\text{中}_{\Sigma}$  : 是电子  $\Sigma$  的中性载荷
- $E_{e\Sigma p}$  : 是电子  $\Sigma$  和电子  $p$  之间的电势能, 其符号与电子  $\Sigma$  相反。此外, 电子  $\Sigma$  和  $p$  之间的距离在 0 和  $d > 0$  之间变化。其中  $p = G$  或  $\Omega$ 。

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{\Sigma} + \frac{k_e e^2}{2c^2 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{\Sigma0} \text{中}_{G0}}{D_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{\Sigma0} \text{中}_{\Omega0}}{D_{\Sigma\Omega}} \right)$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{F0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{F0}}{2c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{\Sigma\Omega}} \right)$$

通过对称性,  $\text{中}_{\Gamma\#} = \text{中}_{\Omega\#} = \text{中}_{\Phi\#} = \text{中}_{\Sigma\#}$ .

晶晶子的总体重量是:

$$\text{中}_{nucl} = \sum_{p=1}^{18} \text{中}_{p\#}$$

$$\text{中}_{nucl} = 4 \cdot \text{中}_{F\#} + 2 \cdot \text{中}_{H\#} + 8 \cdot \text{中}_{B\#} + 4 \cdot \text{中}_{\Sigma\#}$$

$$\begin{aligned} \text{中}_{nucl} = & 4 \cdot \text{中}_{F0} + \frac{2k_e e^2 \text{中}_{F0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FE}} \right) + 2 \cdot \text{中}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0} \cdot \text{中}_{F0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \\ & \cdot \left( \frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right) + 8 \cdot \text{中}_{H0} + \frac{4k_e e^2 \text{中}_{H0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{BE}} \right) + 4 \cdot \text{中}_{F0} \\ & + \frac{2k_e e^2 \text{中}_{F0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{\Sigma\Omega}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{中}_{nucl} = & 8 \cdot \text{中}_{F0} + \frac{2k_e e^2 \text{中}_{F0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FE}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + 10 \cdot \text{中}_{H0} \\ & + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{HA}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{HI}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{H\Omega}} + \frac{4 \text{中}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{4 \text{中}_{H0}}{f_{BE}} \right) \end{aligned}$$

品晶子的重量等于质子的重量 - 2 个正电子和 1 个负电子的重量：

$$\text{中}_{nucl} = \text{中}_{p+} - \text{中}_{e+} = 938.272 \text{ MeV} - 3 \cdot 511 \text{ KeV} = 936.739 \text{ MeV}$$

Or :

$$\begin{aligned} r &= \frac{k_e \text{中}_{F0} e^2}{4 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{k_n}{v_1^2} \right) \\ r &= \frac{k_e \text{中}_{H0} e^2}{4 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left[ \frac{k_n}{(3v_1)^2} \right] = \frac{k_e \text{中}_{H0} e^2}{4 \text{中}_{ref}^2 \cdot 9} \cdot \left[ \frac{k_n}{(v_1)^2} \right] \end{aligned}$$

将两者结合起来：

$$\begin{aligned} \frac{r}{\text{中}_{F0}} &= \frac{9r}{\text{中}_{H0}} \\ \text{中}_{H0} &= 9 \cdot \text{中}_{F0} \end{aligned}$$

之前的等式变为：

$$\begin{aligned} \text{中}_{nucl} = & 8 \cdot \text{中}_{F0} + \frac{2k_e e^2 \text{中}_{F0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{9 \text{中}_{F0}}{f_{FG}} + \frac{9 \text{中}_{F0}}{f_{FC}} + \frac{9 \text{中}_{F0}}{f_{FE}} + \frac{9 \text{中}_{F0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + 10 \cdot 9 \text{中}_{F0} \\ & + \frac{9k_e e^2 \text{中}_{F0}}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{HA}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{HI}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{H\Omega}} + \frac{4 \text{中}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{4 \cdot 9 \text{中}_{F0}}{f_{BE}} \right) \\ \text{中}_{nucl} = & 98 \text{中}_{F0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{F0}^2}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left[ \left( \frac{2}{f_{FI}} + \frac{18}{f_{FG}} + \frac{18}{f_{FC}} + \frac{18}{f_{FE}} + \frac{18}{f_{\Sigma G}} + \frac{2}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + \left( \frac{9}{f_{HA}} + \frac{9}{f_{HI}} + \frac{9}{f_{H\Gamma}} + \frac{9}{f_{H\Omega}} + \frac{36}{f_{BA}} + \frac{324}{f_{BE}} \right) \right] \end{aligned}$$

我们有一个关于中<sub>F0</sub>的二次方程。

$$a = \frac{k_e e^2}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \left[ \frac{2}{f_{FI}} + \frac{18}{f_{FG}} + \frac{18}{f_{FC}} + \frac{18}{f_{FE}} + \frac{18}{f_{\Sigma G}} + \frac{2}{f_{\Sigma \Omega}} + \frac{9}{f_{HA}} + \frac{9}{f_{HI}} + \frac{9}{f_{H\Gamma}} + \frac{9}{f_{H\Omega}} + \frac{36}{f_{BA}} + \frac{324}{f_{BE}} \right]$$

$$b = 98$$

$$c_s = -\text{中}_{nucl} = -\text{中}_{nucl} \cdot \frac{e}{c^2} = -\frac{936.739 \cdot 1.602177 \cdot 10^6 \cdot 10^{-19}}{2.997525^2 \cdot 10^{16}} = -1,67033456 \cdot 10^{-27} \cdot kg$$

$$[\Sigma_f] = \frac{2}{1.757} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{2}{1.757} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{36}{1.65} + \frac{324}{1.757}$$

$$[\Sigma_f] = \frac{2+2+324}{1.757} + \frac{18 \cdot 4 + 9 \cdot 4 + 36}{1.65}$$

$$[\Sigma_f] = \frac{328}{1.757} + \frac{144}{1.65}$$

$$[\Sigma_f] = 273,954571325$$

$$\frac{a_n}{a_d} = \frac{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^9 \cdot 10^{-38}}{2.997525^2 \cdot 9.109382^2 \cdot 0.36373 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-62} \cdot 10^{-15}} = 8,5070664 \cdot 10^{30}$$

$$a = \frac{a_n}{a_d} [\Sigma_f] = 8,5070664 \cdot 10^{30} \cdot 273,954571325 = 2,330\,549\,728\,846 \cdot 10^{33}$$

$$\text{中}_{F0} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2 \cdot a} = \frac{-98 \pm \sqrt{98^2 + 4 \cdot 2.330549729 \cdot 10^{33} \cdot 1,67033456 \cdot 10^{-27}}}{2 \cdot 2.330549729 \cdot 10^{33}}$$

$$\text{中}_{F0} = \frac{-98 \pm 3947.251578448}{4.6610994577 \cdot 10^{33}} = 8,258248109 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\text{中}_{H0} = 9 \cdot \text{中}_{F0} = 7,432423298 \cdot 10^{-30} kg$$

$$v_1^2 = \frac{k_e \text{中}_{F0} e^2}{4 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{k_n}{r} \right) = \frac{8.987552 \cdot 8.258248109 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^9 10^{-31} 10^{-38}}{4 \cdot 9.109382^2 \cdot 10^{-62}} \cdot \frac{10^{-11+15}}{0.36373}$$

$$v_1^2 = 1,578095879 \cdot 10^6$$

$$v_1 = 1,256222862 \cdot 10^3 m/s$$

$$v_3 = 3,768668586 \cdot 10^3 m/s$$

确定角速度:

$$\omega_1 = \frac{v_1}{r} = \frac{1,256222862 \cdot 10^3}{0.36373 \cdot 10^{-15}} = 3.453723537 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{23} \text{ radian/s}$$

$$\omega_{1x} = 3.453723537 \cdot 10^{-5}$$

$$T_1 = \frac{2\pi r}{v_1} = 1.819249642 \cdot 10^5 \cdot 10^{-23} s$$

$$\text{中}_{F\#} = \text{中}_{F0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{F0}}{2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FE}} \right)$$

$$\text{中}_{F\#} \cdot 10^{31} = 8,258248109 + 0,850707 \cdot \frac{8,258248109}{2} \cdot \left( \frac{8,258248109}{1.757} + \frac{74,32423298}{1.65} + \frac{74,32423298}{1.65} + \frac{74,32423298}{1.65} \right)$$

$$\text{中}_{F\#} \cdot 10^{31} = 499,453707217$$

$$\text{中}_{F\#} = 499,453,707,217 \cdot 10^{-31} kg$$

$$2 \text{中}_{F\#} = 998,907,414,435 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\text{中}_{H\#} = \text{中}_{H0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{H0} \cdot \text{中}_{F0}}{2} \cdot \left( \frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right)$$

$$\text{中}_{H\#} \cdot 10^{31} = 74,324,232,98 + 0,850,707 \cdot \frac{74,324,232,98 \cdot 8,258,248,109}{2} \cdot \left( \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} \right)$$

$$\text{中}_{H\#} = 707,237,822,163 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\text{中}_{B\#} = \text{中}_{H0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{H0}}{2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{BE}} \right)$$

$$\text{中}_{B\#} \cdot 10^{31} = 74,324,232,98 + 0,850,707 \cdot \frac{74,324,232,98}{2} \cdot \left( \frac{8,258,248,109}{1.65} + \frac{74,324,232,98}{1.757} \right)$$

$$\text{中}_{B\#} = 1569,884,275,018 \cdot 10^{-31} kg$$

$$2 \text{中}_{B\#} = 3139,768,55 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{F0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{F0}}{2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right)$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} \cdot 10^{31} = 8,258,248,109 + 0,850,707 \cdot \frac{8,258,248,109}{2} \cdot \left( \frac{74,324,232,98}{1.65} + \frac{8,258,248,109}{1.757} \right)$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} = 182,996,912,624 \cdot 10^{-31} kg$$

$$2 \text{中}_{\Sigma\#} = 365.993,825,249 \cdot 10^{-31} kg$$

确认：

$$\text{中}_{nucl} = 4 \text{中}_{F\#} + 2 \text{中}_{H\#} + 8 \text{中}_{B\#} + 4 \text{中}_{\Sigma\#}$$

$$\text{中}_{nucl} = 4 \cdot 499,454 + 2 \cdot 707,238 + 8 \cdot 1569,884 + 4 \cdot 182,997 = 16703.352 \cdot 10^{-31} kg$$

该值很好地对应于质子的重量 - 3 个电子的重量。

#### 4.8.4.4 确定电子之间的电力相互作用

电子 F 所受到的第一阶电力如下：

- $\overrightarrow{\text{力}_{FI}} = \frac{k_{nFI} \cdot k_{eFI} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{FI}}}{D_{FI}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}_{FJ}} = \frac{k_{nFJ} \cdot k_{eFJ} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{FJ}}}{D_{FJ}^3}$

- $\overrightarrow{\text{力}}_{FG} = \frac{k_{nFG} \cdot k_{eFG} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{FG}}}{D_{FG}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{FH} = \frac{k_{nFH} \cdot k_{eFH} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{FH}}}{D_{FH}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{FB} = \frac{k_{nFB} \cdot k_{eFB} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{FB}}}{D_{FB}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{FC} = \frac{k_{nFC} \cdot k_{eFC} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{FC}}}{D_{FC}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{FD} = \frac{k_{nFD} \cdot k_{eFD} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{FD}}}{D_{FD}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{FE} = \frac{k_{nFE} \cdot k_{eFE} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{FE}}}{D_{FE}^3}$

Les forces électriques subies par l'électron F de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Sigma} = \frac{k_{nF\Sigma} \cdot k_{eF\Sigma} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Sigma}}}{D_{F\Sigma}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Gamma} = \frac{k_{nF\Gamma} \cdot k_{eF\Gamma} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Gamma}}}{D_{F\Gamma}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Phi} = \frac{k_{nF\Phi} \cdot k_{eF\Phi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Phi}}}{D_{F\Phi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Omega} = \frac{k_{nF\Omega} \cdot k_{eF\Omega} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Omega}}}{D_{F\Omega}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Theta} = \frac{k_{nF\Theta} \cdot k_{eF\Theta} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Theta}}}{D_{F\Theta}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Psi} = \frac{k_{nF\Psi} \cdot k_{eF\Psi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Psi}}}{D_{F\Psi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Pi} = \frac{k_{nF\Pi} \cdot k_{eF\Pi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Pi}}}{D_{F\Pi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{F\Lambda} = \frac{k_{nF\Lambda} \cdot k_{eF\Lambda} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{F\Lambda}}}{D_{F\Lambda}^3}$

Les forces de deuxième rang sont négligeables car les électrons concernées sont derrière une charginette qui joue le rôle d'écran électrique.

Déterminer les coefficients :

$$k_{eF?} = k_e \frac{\text{中}_F}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{nF?} = 10^{-\frac{D_{F?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = I, J, G, H, B, C, D, E.

Sachant que :

$$\text{中}_I = \text{中}_J = \text{中}_A = \text{中}_F$$

$$\text{中}_G = \text{中}_B = \text{中}_C = \text{中}_D = \text{中}_E = \text{中}_H$$

On a donc :

$$k_{eFI} = k_{eFJ} = k_{eFF} = k_e \frac{\text{中}_F^2}{\text{中}_{ref}^2} = 8.987552 \cdot 10^9 \cdot \frac{8,258248109^2}{9.109382^2} = 7.386512554 \cdot 10^9$$

$$k_{eFG} = k_{eFH} = k_{eFB} = k_{eFC} = k_{eFD} = k_{eFE}$$

$$k_{eFH} = k_e \frac{\frac{\text{中}_F}{2} \frac{\text{中}_H}{\text{中}_{ref}} = 9 \cdot k_{eFF} = 66.478612987 \cdot 10^9$$

Les forces électriques subies par l'électron A de premier rang sont les suivantes :

- $\vec{F}_{AI} = \frac{k_{nAI} \cdot k_{eAI} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{AI}}{D_{AI}^3}$
- $\vec{F}_{AJ} = \frac{k_{nAJ} \cdot k_{eAJ} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{AJ}}{D_{AJ}^3}$
- $\vec{F}_{AG} = \frac{k_{nAG} \cdot k_{eAG} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{AG}}{D_{AG}^3}$
- $\vec{F}_{AH} = \frac{k_{nAH} \cdot k_{eAH} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{AH}}{D_{AH}^3}$
- $\vec{F}_{AB} = \frac{k_{nAB} \cdot k_{eAB} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{AB}}{D_{AB}^3}$
- $\vec{F}_{AC} = \frac{k_{nAC} \cdot k_{eAC} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{AC}}{D_{AC}^3}$
- $\vec{F}_{AD} = \frac{k_{nAD} \cdot k_{eAD} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{AD}}{D_{AD}^3}$
- $\vec{F}_{AE} = \frac{k_{nAE} \cdot k_{eAE} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{AE}}{D_{AE}^3}$

Les forces électriques subies par l'électron A de deuxième rang sont les suivantes :

- $\vec{F}_{A\Sigma} = \frac{k_{nA\Sigma} \cdot k_{eA\Sigma} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{A\Sigma}}{D_{A\Sigma}^3}$
- $\vec{F}_{A\Gamma} = \frac{k_{nA\Gamma} \cdot k_{eA\Gamma} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{A\Gamma}}{D_{A\Gamma}^3}$
- $\vec{F}_{A\Phi} = \frac{k_{nA\Phi} \cdot k_{eA\Phi} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{A\Phi}}{D_{A\Phi}^3}$
- $\vec{F}_{A\Omega} = \frac{k_{nA\Omega} \cdot k_{eA\Omega} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{A\Omega}}{D_{A\Omega}^3}$
- $\vec{F}_{A\Theta} = \frac{k_{nA\Theta} \cdot k_{eA\Theta} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{A\Theta}}{D_{A\Theta}^3}$
- $\vec{F}_{A\Psi} = \frac{k_{nA\Psi} \cdot k_{eA\Psi} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{A\Psi}}{D_{A\Psi}^3}$
- $\vec{F}_{A\Pi} = \frac{k_{nA\Pi} \cdot k_{eA\Pi} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{A\Pi}}{D_{A\Pi}^3}$
- $\vec{F}_{A\Lambda} = \frac{k_{nA\Lambda} \cdot k_{eA\Lambda} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{A\Lambda}}{D_{A\Lambda}^3}$

Les forces de deuxième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{eA?} = k_e \frac{\frac{\text{中}_A}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}}$$

$$k_{nA?} = 10^{-\frac{D_{A?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = I, J, G, H, B, C, D, E.

Sachant que :

$$\text{中}_I = \text{中}_J = \text{中}_A = \text{中}_F$$

$$\text{中}_G = \text{中}_B = \text{中}_C = \text{中}_D = \text{中}_E = \text{中}_H$$

On a donc :

$$k_{eAI} = k_{eAJ} = k_{eFF} = k_e \frac{\text{中}_F^2}{\text{中}_{ref}^2} = 7.386512554 \cdot 10^9$$

$$k_{eAG} = k_{eAH} = k_{eAB} = k_{eAC} = k_{eAD} = k_{eAE} = k_{eFH} = 66.478612987 \cdot 10^9$$

Les forces électriques subies par l'électron H de premier rang sont les suivantes :

- $\vec{F}_{HI} = \frac{k_{nHI} \cdot k_{eHI} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{HI}}{D_{HI}^3}$
- $\vec{F}_{HJ} = \frac{k_{nHJ} \cdot k_{eHJ} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{HJ}}{D_{HJ}^3}$
- $\vec{F}_{HA} = \frac{k_{nHA} \cdot k_{eHA} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{HA}}{D_{HA}^3}$
- $\vec{F}_{HF} = \frac{k_{nHF} \cdot k_{eHF} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{HF}}{D_{HF}^3}$
- $\vec{F}_{H\Gamma} = \frac{k_{nH\Gamma} \cdot k_{eH\Gamma} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{H\Gamma}}{D_{H\Gamma}^3}$
- $\vec{F}_{H\Sigma} = \frac{k_{nH\Sigma} \cdot k_{eH\Sigma} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{H\Sigma}}{D_{H\Sigma}^3}$
- $\vec{F}_{H\Omega} = \frac{k_{nH\Omega} \cdot k_{eH\Omega} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{H\Omega}}{D_{H\Omega}^3}$
- $\vec{F}_{H\Phi} = \frac{k_{nH\Phi} \cdot k_{eH\Phi} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{H\Phi}}{D_{H\Phi}^3}$

Les forces électriques subies par l'électron H de deuxième rang sont les suivantes :

- $\vec{F}_{HB} = \frac{k_{nHB} \cdot k_{eHB} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{HB}}{D_{HB}^3}$
- $\vec{F}_{HC} = \frac{k_{nHC} \cdot k_{eHC} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{HC}}{D_{HC}^3}$
- $\vec{F}_{HD} = \frac{k_{nHD} \cdot k_{eHD} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{HD}}{D_{HD}^3}$
- $\vec{F}_{HE} = \frac{k_{nHE} \cdot k_{eHE} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{HE}}{D_{HE}^3}$
- $\vec{F}_{H\Lambda} = \frac{k_{nH\Lambda} \cdot k_{eH\Lambda} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{H\Lambda}}{D_{H\Lambda}^3}$
- $\vec{F}_{H\Pi} = \frac{k_{nH\Pi} \cdot k_{eH\Pi} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{H\Pi}}{D_{H\Pi}^3}$
- $\vec{F}_{H\Psi} = \frac{k_{nH\Psi} \cdot k_{eH\Psi} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{H\Psi}}{D_{H\Psi}^3}$
- $\vec{F}_{H\Theta} = \frac{k_{nH\Theta} \cdot k_{eH\Theta} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{H\Theta}}{D_{H\Theta}^3}$

Les forces de deuxième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :



$$k_{eH?} = k_e \frac{\text{中}_H}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{nH?} = 10^{-\frac{D_{H?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = I, J, A, F, Γ, Σ, Ω, Φ.

Sachant que :

$$\text{中}_I = \text{中}_J = \text{中}_A = \text{中}_\Gamma = \text{中}_\Sigma = \text{中}_\Omega = \text{中}_\Phi = \text{中}_F$$

On a donc :

$$k_{eHI} = k_{eHJ} = k_{eHA} = k_{eH\Gamma} = k_{eH\Sigma} = k_{eH\Omega} = k_{eH\Phi} = k_{eHF} = k_{eFH}$$

Les forces électriques subies par l'électron B de premier rang sont les suivantes :

- $\vec{\text{力}}_{BF} = \frac{k_{nBF} \cdot k_{eBF} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{BF}}{D_{BF}^3}$
- $\vec{\text{力}}_{BA} = \frac{k_{nBA} \cdot k_{eBA} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{BA}}{D_{BA}^3}$
- $\vec{\text{力}}_{BD} = \frac{k_{nBD} \cdot k_{eBD} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{BD}}{D_{BD}^3}$
- $\vec{\text{力}}_{BE} = \frac{k_{nBE} \cdot k_{eBE} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{BE}}{D_{BE}^3}$

Les forces électriques subies par l'électron B de deuxième rang sont les suivantes :

- $\vec{\text{力}}_{BI} = \frac{k_{nBI} \cdot k_{eBI} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{BI}}{D_{BI}^3}$
- $\vec{\text{力}}_{BJ} = \frac{k_{nBJ} \cdot k_{eBJ} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{BJ}}{D_{BJ}^3}$
- $\vec{\text{力}}_{BG} = \frac{k_{nBG} \cdot k_{eBG} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{BG}}{D_{BG}^3}$
- $\vec{\text{力}}_{BH} = \frac{k_{nBH} \cdot k_{eBH} \cdot e^2 \cdot \vec{D}_{BH}}{D_{BH}^3}$

Les forces de deuxième rang ainsi que celles de troisième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{eB?} = k_e \frac{\text{中}_B}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_?}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{nB?} = 10^{-\frac{D_{B?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = F, A, D, E.

Sachant que :

$$\text{中}_A = \text{中}_F$$

$$中_B = 中_D = 中_E = 中_H$$

On a donc :

$$k_{eBA} = k_{eBF} = k_{eFH}$$

$$k_{eBD} = k_{eBE} = k_{eHH} = k_e \frac{\frac{中_H^2}{中_{ref}^2}}{2} = 9 \cdot k_{eFH} = 598.307516882 \cdot 10^9$$

Les forces électriques subies par l'électron C de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{力_{CF}} = \frac{k_{nCF} \cdot k_{eCF} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CF}}}{D_{CF}^3}$
- $\overrightarrow{力_{CA}} = \frac{k_{nCA} \cdot k_{eCA} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CA}}}{D_{CA}^3}$
- $\overrightarrow{力_{CD}} = \frac{k_{nCD} \cdot k_{eCD} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CD}}}{D_{CD}^3}$
- $\overrightarrow{力_{CE}} = \frac{k_{nCE} \cdot k_{eCE} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CE}}}{D_{CE}^3}$

Les forces électriques subies par l'électron C de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{力_{CI}} = \frac{k_{nCI} \cdot k_{eCI} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CI}}}{D_{CI}^3}$
- $\overrightarrow{力_{CJ}} = \frac{k_{nCJ} \cdot k_{eCJ} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CJ}}}{D_{CJ}^3}$
- $\overrightarrow{力_{CG}} = \frac{k_{nCG} \cdot k_{eCG} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CG}}}{D_{CG}^3}$
- $\overrightarrow{力_{CH}} = \frac{k_{nCH} \cdot k_{eCH} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{CH}}}{D_{CH}^3}$

Les forces de deuxième rang ainsi que celles de troisième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{ec?} = k_e \frac{\frac{中_C}{中_{ref}}}{\frac{中_?}{中_{ref}}} \cdot \frac{中_?}{中_{ref}}$$

$$k_{nC?} = 10^{-\frac{D_{C?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = F, A, D, E.

Sachant que :

$$中_A = 中_F$$

$$中_C = 中_D = 中_E = 中_H$$

On a donc :

$$k_{eCA} = k_{eCF} = k_{eFH}$$

$$k_{eCD} = k_{eCE} = k_{eHH}$$

Les forces électriques subies par l'électron  $\Sigma$  de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma G} = \frac{k_{n\Sigma G} \cdot k_{e\Sigma G} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma G}}}{D_{\Sigma G}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma H} = \frac{k_{n\Sigma H} \cdot k_{e\Sigma H} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma H}}}{D_{\Sigma H}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma \Phi} = \frac{k_{n\Sigma \Phi} \cdot k_{e\Sigma \Phi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma \Phi}}}{D_{\Sigma \Phi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma \Omega} = \frac{k_{n\Sigma \Omega} \cdot k_{e\Sigma \Omega} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma \Omega}}}{D_{\Sigma \Omega}^3}$

Les forces électriques subies par l'électron  $\Sigma$  de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma F} = \frac{k_{n\Sigma F} \cdot k_{e\Sigma F} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma F}}}{D_{\Sigma F}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma A} = \frac{k_{n\Sigma A} \cdot k_{e\Sigma A} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma A}}}{D_{\Sigma A}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma I} = \frac{k_{n\Sigma I} \cdot k_{e\Sigma I} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma I}}}{D_{\Sigma I}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Sigma J} = \frac{k_{n\Sigma J} \cdot k_{e\Sigma J} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Sigma J}}}{D_{\Sigma J}^3}$

Les forces de deuxième rang ainsi que celles de troisième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{e\Sigma ?} = k_e \frac{\text{中}_{\Sigma}}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_{?}}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{n\Sigma ?} = 10^{-\frac{D_{\Sigma ?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = G, H,  $\Phi$ ,  $\Omega$ .

Sachant que :

$$\text{中}_G = \text{中}_H$$

$$\text{中}_{\Phi} = \text{中}_{\Omega} = \text{中}_{\Sigma} = \text{中}_F$$

On a donc :

$$k_{e\Sigma G} = k_{e\Sigma H} = k_{eFH}$$

$$k_{e\Sigma \Omega} = k_{e\Sigma \Phi} = k_{eFF}$$

Les forces électriques subies par l'électron  $\Gamma$  de premier rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma G} = \frac{k_{n\Gamma G} \cdot k_{e\Gamma G} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma G}}}{D_{\Gamma G}^3}$

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma H} = \frac{k_{n\Gamma H} \cdot k_{e\Gamma H} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma H}}}{D_{\Gamma H}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma \Phi} = \frac{k_{n\Gamma \Phi} \cdot k_{e\Gamma \Phi} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma \Phi}}}{D_{\Gamma \Phi}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma \Omega} = \frac{k_{n\Gamma \Omega} \cdot k_{e\Gamma \Omega} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma \Omega}}}{D_{\Gamma \Omega}^3}$

Les forces électriques subies par l'électron  $\Gamma$  de deuxième rang sont les suivantes :

- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma F} = \frac{k_{n\Gamma F} \cdot k_{e\Gamma F} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma F}}}{D_{\Gamma F}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma A} = \frac{k_{n\Gamma A} \cdot k_{e\Gamma A} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma A}}}{D_{\Gamma A}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma I} = \frac{k_{n\Gamma I} \cdot k_{e\Gamma I} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma I}}}{D_{\Gamma I}^3}$
- $\overrightarrow{\text{力}}_{\Gamma J} = \frac{k_{n\Gamma J} \cdot k_{e\Gamma J} \cdot e^2 \cdot \overrightarrow{D_{\Gamma J}}}{D_{\Gamma J}^3}$

Les forces de deuxième rang ainsi que celles de troisième rang sont négligeables pour les mêmes raisons que précédemment.

Déterminer les coefficients :

$$k_{e\Gamma ?} = k_e \frac{\text{中}_{\Gamma}}{\text{中}_{ref}} \cdot \frac{\text{中}_{?}}{\text{中}_{ref}}$$

$$k_{n\Gamma ?} = 10^{-\frac{D_{\Gamma ?}}{r} \cdot 100} + 10^{-21}$$

Avec ? = G, H,  $\Phi$ ,  $\Omega$ .

Sachant que :

$$\text{中}_G = \text{中}_H$$

$$\text{中}_{\Phi} = \text{中}_{\Omega} = \text{中}_{\Gamma} = \text{中}_F$$

On a donc :

$$k_{e\Gamma G} = k_{e\Gamma H} = k_{eFH}$$

$$k_{e\Gamma \Omega} = k_{e\Gamma \Phi} = k_{eFF}$$

#### 4.8.4.5 建立控制每个电子的动态方程

在核晶子内，假设每个电偶沿着其对称轴移动。这些是以下轴：

1. AF 电偶的  $O_1Z_1$  轴，
2. IJ 电偶的  $O_2Z_2$  轴
3. GH 电偶的  $O_3Z_3$  轴
4. BC 电偶的  $O_4Z_4$  轴
5. DE 电偶的  $O_5Z_5$  轴
6.  $\Gamma\Sigma$  电偶的  $O_6Z_6$  轴
7.  $\Phi\Omega$  电偶的  $O_7Z_7$  轴
8.  $\Lambda\Pi$  电偶的  $O_8Z_8$  轴

### 9. $\Theta\Psi$ 电偶的 $O_9Z_9$ 轴

根据对称性，控制电子的方程分组如下：

1. 方程 1 : 电子 A、F、I 和 J 服从第一方程使用质量中  $F\#$
2. 方程 2 : 电子 G 和 H 服从第二方程使用质量中  $H\#$ .
3. 方程 3 : 电子 B、C、D、E、 $\Lambda$ 、 $\Pi$ 、 $\theta$  和  $\Psi$  服从第三方程质量中  $B\#$ .
4. 方程 4 : 电子  $\Gamma$ 、 $\Sigma$ 、 $\Phi$  和  $\Omega$  服从第四方程使用质量中  $\Sigma\#$ .

将电子 F 和 A 的动力学方程投影到轴  $O_1Z_1$  上：

$$m_{FA} \cdot \ddot{z}_1 = \text{力}_{ez_1}$$

再加上：

- $m_{FA}$  : 是电子 F 的全部重量 + 电子 A 的全部重量。对于远低于  $c$  的线性速度,  $m_F = \text{中}_{F\#}$  和  $m_A = \text{中}_{F\#}$ .
- $\text{力}_{ez_1}$  : 是电子 F 所受的电力 + 电子 A 所受的电力，在轴  $O_1Z_1$  上。

电子 F 所受的力  $\overrightarrow{\text{力}}_F$  如下：

$$\begin{aligned} \overrightarrow{\text{力}}_F = & \frac{k_{nFI}k_{eFI}e^2\overrightarrow{D_{FI}}}{D_{FI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFJ}k_{eFJ}e^2\overrightarrow{D_{FJ}}}{D_{FJ}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFG}k_{eFG}e^2\overrightarrow{D_{FG}}}{D_{FG}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFH}k_{eFH}e^2\overrightarrow{D_{FH}}}{D_{FH}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFB}k_{eFB}e^2\overrightarrow{D_{FB}}}{D_{FB}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nFC}k_{eFC}e^2\overrightarrow{D_{FC}}}{D_{FC}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nFD}k_{eFD}e^2\overrightarrow{D_{FD}}}{D_{FD}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFE}k_{eFE}e^2\overrightarrow{D_{FE}}}{D_{FE}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

电子 A 所受的力  $\overrightarrow{\text{力}}_A$  如下：

$$\begin{aligned} \overrightarrow{\text{力}}_A = & -\frac{k_{nAI}k_{eAI}e^2\overrightarrow{D_{AI}}}{D_{AI}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAJ}k_{eAJ}e^2\overrightarrow{D_{AJ}}}{D_{AJ}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAG}k_{eAG}e^2\overrightarrow{D_{AG}}}{D_{AG}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAH}k_{eAH}e^2\overrightarrow{D_{AH}}}{D_{AH}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAB}k_{eAB}e^2\overrightarrow{D_{AB}}}{D_{AB}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nAC}k_{eAC}e^2\overrightarrow{D_{AC}}}{D_{AC}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nAD}k_{eAD}e^2\overrightarrow{D_{AD}}}{D_{AD}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAE}k_{eAE}e^2\overrightarrow{D_{AE}}}{D_{AE}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

FA 细绳所受到的力  $\overrightarrow{\text{力}}_{FA}$  如下：

$$\overrightarrow{\text{力}}_{FA} = \overrightarrow{\text{力}}_F + \overrightarrow{\text{力}}_A$$

通过投影到轴  $O_1Z_1$ ：其向量为：

$$\frac{\overrightarrow{O_1O}}{\|\overrightarrow{O_1O}\|} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

知道  $OZ$  轴与  $O_1Z_1$  轴共线，我们投影到  $OZ$  轴上：

$$\begin{aligned}
力_{FAZ} = & \frac{k_{nFI}k_{eFI}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]}{D_{FI}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nFJ}k_{eFJ} \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]}{D_{FJ}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nFG}k_{eFG}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]}{D_{FG}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nFH}k_{eFH}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]}{D_{FH}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nFB}k_{eFB}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{FB}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nFC}k_{eFC}e^2 \left[ z + \frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) - \frac{z_4}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \Delta - z_0 \right]}{D_{FC}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nFD}k_{eFD}e^2 \left[ z + \frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) - \frac{z_4}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r - \Delta - z_0 \right]}{D_{FD}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nFE}k_{eFE}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{FE}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nAI}k_{eAI}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) - \frac{3z}{2} \right]}{D_{AI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nAJ}k_{eAJ}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{3z}{2} \right]}{D_{AJ}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nAG}k_{eAG}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) + \frac{z_0}{2} - \frac{z_3}{2} + z \right]}{D_{AG}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nAH}k_{eAH}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega t) - \frac{z_0}{2} + \frac{z_3}{2} - z \right]}{D_{AH}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nAB}k_{eAB}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{AB}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nAC}k_{eAC}e^2 \left[ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{AC}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{nAD}k_{eAD}e^2 \left[ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{AD}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{nAE}k_{eAE}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega t) + \frac{z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r + \Delta + z_0 - z \right]}{D_{AE}^3 + \beta^3}
\end{aligned}$$

通过改变比例，方程变为：

$$\begin{aligned}
\text{中}_{FA\#x} \cdot \ddot{z}_x = & \frac{k_{nFIx}k_{eFIx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{FIx}^3 + \beta_x^3} + \frac{k_{nFJx}k_{eFJx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{FJx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFGx}k_{eFGx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) + \frac{z_{0x}}{2} - \frac{z_{3x}}{2} + z_x \right]}{D_{FGx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFHx}k_{eFHx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) - \frac{z_{0x}}{2} + \frac{z_{3x}}{2} - z_x \right]}{D_{FHx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFBx}k_{eFBx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{FBx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nFCx}k_{eFCx}e_x^2 \left[ -\frac{r_x\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{FCx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nFDx}k_{eFDx}e_x^2 \left[ -\frac{r_x\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{FDx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nFEx}k_{eFEx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{FEx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nAIx}k_{eAIx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{AIx}^3 + \beta_x^3} - \frac{k_{nAJx}k_{eAJx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{3z_x}{2} \right]}{D_{AJx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nAGx}k_{eAGx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) + \frac{z_{0x}}{2} - \frac{z_{3x}}{2} + z_x \right]}{D_{AGx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nAHx}k_{eAHx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \cos(3\omega_x t_x) - \frac{z_{0x}}{2} + \frac{z_{3x}}{2} - z_x \right]}{D_{AHx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nABx}k_{eABx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{ABx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nACx}k_{eACx}e_x^2 \left[ -\frac{r_x\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{ACx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nADx}k_{eADx}e_x^2 \left[ -\frac{r_x\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{ADx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nAEx}k_{eAEx}e_x^2 \left[ \frac{r_x\sqrt{3}}{2} \sin(3\omega_x t_x) + \frac{z_{4x}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r_x + \Delta_x + z_{0x} - z_x \right]}{D_{AEx}^3 + \beta_x^3}
\end{aligned}$$

方程4-力FA

将电子 H 的动力学方程投影到  $O_3Z_3$  轴上：其向量为：

$$\frac{\overrightarrow{O_3O}}{\|\overrightarrow{O_3O}\|} = \begin{pmatrix} \frac{-\sqrt{3}}{2} \\ 0 \\ 1 \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$m_h \cdot \ddot{z}_3 = \text{力}_{ez_3}$$

再加上：

- $m_h$  : 是电子 H 的全部重量。对于远小于 c 的线性速度,  $m_h = m_{H\#}$
- $\text{力}_{ez_3}$  : 是电子 H 在轴  $O_3Z_3$  上受到的电力。

电子 H 所受的力  $\overrightarrow{\text{力}}_h$  如下：

$$\begin{aligned} \overrightarrow{\text{力}}_h = & \frac{k_{nHA}k_{eHA}e^2\overrightarrow{D_{HA}}}{D_{HA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHF}k_{eHF}e^2\overrightarrow{D_{HF}}}{D_{HF}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nHI}k_{eHI}e^2\overrightarrow{D_{HI}}}{D_{HI}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHJ}k_{eHJ}e^2\overrightarrow{D_{HJ}}}{D_{HJ}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nH\Gamma}k_{eH\Gamma}e^2\overrightarrow{D_{H\Gamma}}}{D_{H\Gamma}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nH\Sigma}k_{eH\Sigma}e^2\overrightarrow{D_{H\Sigma}}}{D_{H\Sigma}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nH\Omega}k_{eH\Omega}e^2\overrightarrow{D_{H\Omega}}}{D_{H\Omega}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nH\Phi}k_{eH\Phi}e^2\overrightarrow{D_{H\Phi}}}{D_{H\Phi}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

投影到  $O_3Z_3$  轴上：

$$\begin{aligned} \text{力}_{hz3} = & \frac{k_{nHA}k_{eHA}e^2 \left[ z_0 - z_3 - \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} \right]}{D_{HA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nHF}k_{eHF}e^2 \left[ z_0 - z_3 + \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} \right]}{D_{HF}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nHI}k_{eHI}e^2 \left[ \frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} + z_0 - z_3 \right]}{D_{HI}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nHJ}k_{eHJ}e^2 \left[ -\frac{r\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) + \frac{z}{2} + z_0 - z_3 \right]}{D_{HJ}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nH\Gamma}k_{eH\Gamma}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_6 - z_3 \right]}{D_{H\Gamma}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nH\Sigma}k_{eH\Sigma}e^2 \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_6 - z_3 \right]}{D_{H\Sigma}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nH\Omega}k_{eH\Omega}e^2 \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_6 - z_3 \right]}{D_{H\Omega}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nH\Phi}k_{eH\Phi}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{2} - r \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_6 - z_3 \right]}{D_{H\Phi}^3 + \beta^3} \end{aligned}$$

通过改变比例，方程变为：



$$\begin{aligned}
\text{中}_{H\#} \cdot \ddot{z}_{3x} = & - \frac{k_{nHAx} k_{eHAx} e_x^2 \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - z_{0x} + z_{3x} - \frac{z_x}{2} \right]}{D_{HAx}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nHFx} k_{eHFx} e_x^2 \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + z_{0x} - z_{3x} + \frac{z_x}{2} \right]}{D_{HFx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nHlx} k_{eHlx} e_x^2 \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) + \frac{z_x}{2} + z_{0x} - z_{3x} \right]}{D_{Hlx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nHJx} k_{eHJx} e_x^2 \left[ \frac{r_x \sqrt{3}}{2} \cos(\omega_x t_x) - \frac{z_x}{2} - z_{0x} + z_{3x} \right]}{D_{HJx}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nH\Gamma x} k_{eH\Gamma x} e_x^2 \left[ r_x \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_x t_x) - \frac{z_{6x}}{2} - r_x \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_{6x} - z_{3x} \right]}{D_{H\Gamma x}^3 + \beta_x^3} \\
& + \frac{k_{nH\Sigma x} k_{eH\Sigma x} e_x^2 \left[ r_x \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_x t_x) + \frac{z_{6x}}{2} + r_x \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta_{6x} + z_{3x} \right]}{D_{H\Sigma x}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nH\Omega x} k_{eH\Omega x} e_x^2 \left[ r_x \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_x t_x) + \frac{z_{6x}}{2} + r_x \frac{\sqrt{3}}{2} + \Delta_{6x} + z_{3x} \right]}{D_{H\Omega x}^3 + \beta_x^3} \\
& - \frac{k_{nH\Phi x} k_{eH\Phi x} e_x^2 \left[ r_x \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(\omega_x t_x) - \frac{z_{6x}}{2} - r_x \frac{\sqrt{3}}{2} - \Delta_{6x} - z_{3x} \right]}{D_{H\Phi x}^3 + \beta_x^3}
\end{aligned}$$

方程5-力H

将电子 B 和 C 的动力学方程投影到  $O_4Z_4$  轴上:

$$m_{BC} \cdot \ddot{z}_4 = \text{力}_{ez_4}$$

再加上:

- $m_{BC}$  : 是电子 B 的全部重量 + 电子 C 的全部重量。对于远低于 c 的线性速度,  $m_B = \text{中}_{B\#}$  和  $m_C = \text{中}_{C\#}$ .
- $\text{力}_{ez_4}$  : 是电子 B 所受的电力 + 电子 C 所受的电力, 在  $O_4Z_4$  轴上。

电子 B 所受的力  $\overrightarrow{\text{力}}_b$  如下:

$$\overrightarrow{\text{力}}_b = - \frac{k_{nBF} k_{eBF} e^2 \overrightarrow{D_{BF}}}{D_{BF}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nBA} k_{eBA} e^2 \overrightarrow{D_{BA}}}{D_{BA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nBD} k_{eBD} e^2 \overrightarrow{D_{BD}}}{D_{BD}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nBE} k_{eBE} e^2 \overrightarrow{D_{BE}}}{D_{BE}^3 + \beta^3}$$

电子 C 所受到的力  $\overrightarrow{\text{力}}_c$  如下:

$$\overrightarrow{\text{力}}_c = \frac{k_{nCF} k_{eCF} e^2 \overrightarrow{D_{CF}}}{D_{CF}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nCA} k_{eCA} e^2 \overrightarrow{D_{CA}}}{D_{CA}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nCD} k_{eCD} e^2 \overrightarrow{D_{CD}}}{D_{CD}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nCE} k_{eCE} e^2 \overrightarrow{D_{CE}}}{D_{CE}^3 + \beta^3}$$

BC 电偶所受的力  $\overrightarrow{\text{力}}_{BC}$  如下:

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\text{力}}_{BC} = & -\frac{k_{nBF}k_{eBF}e^2\overrightarrow{D_{BF}}}{D_{BF}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nBA}k_{eBA}e^2\overrightarrow{D_{BA}}}{D_{BA}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nBD}k_{eBD}e^2\overrightarrow{D_{BD}}}{D_{BD}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nBE}k_{eBE}e^2\overrightarrow{D_{BE}}}{D_{BE}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nCF}k_{eCF}e^2\overrightarrow{D_{CF}}}{D_{CF}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nCA}k_{eCA}e^2\overrightarrow{D_{CA}}}{D_{CA}^3 + \beta^3} + \frac{k_{nCD}k_{eCD}e^2\overrightarrow{D_{CD}}}{D_{CD}^3 + \beta^3} - \frac{k_{nCE}k_{eCE}e^2\overrightarrow{D_{CE}}}{D_{CE}^3 + \beta^3}\end{aligned}$$

通过投影到轴  $O_4Z_4$  上，其矢量为：

$$k_4 \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}\text{力}_{BCZ_4} = & \frac{k_{nBF}k_{eBF}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_4 + \frac{\Delta}{2} + \frac{z_0}{2} - \frac{z}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{BF}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nBA}k_{eBA}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_4 - \frac{\Delta}{2} - \frac{z_0}{2} + \frac{z}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{BA}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nBD}k_{eBD}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) - \frac{3z_4}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{BD}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nBE}k_{eBE}e^2 \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{3z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{BE}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nCF}k_{eCF}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + z_4 + \frac{\Delta}{2} + \frac{z_0}{2} - \frac{z}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{CF}^3 + \beta^3} \\ & - \frac{k_{nCA}k_{eCA}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_4 - \frac{\Delta}{2} - \frac{z_0}{2} + \frac{z}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{CA}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nCD}k_{eCD}e^2 \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) - \frac{3z_4}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{CD}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{nCE}k_{eCE}e^2 \left[ -r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + \frac{3z_4}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} r \right]}{D_{CE}^3 + \beta^3}\end{aligned}$$

方程6- 力BC

将电子  $\Sigma$  和  $\Gamma$  的动态方程投影到  $O_6Z_6$  轴上：

$$m_{\Sigma\Gamma} \cdot \ddot{z}_6 = \text{力}_{ez_6}$$

再加上：

- $m_{\Sigma\Gamma}$  : 是电子  $\Sigma$  的全部重量 + 电子  $\Gamma$  的全部重量。对于远低于  $c$  的线性速度,  $m_{\Sigma} = m_{\Sigma\#}$  和  $m_{\Gamma} = m_{\Gamma\#}$ 。
- 力  $e_{z6}$  : 是  $O_6Z_6$  轴上电子  $\Sigma$  所受的电力 + 电子  $\Gamma$  所受的电力。

电子  $\Sigma$  所受到的力  $\overrightarrow{力_{\sigma}}$  如下：

$$\overrightarrow{力_{\sigma}} = -\frac{k_{n\Sigma H}k_{e\Sigma H}e^2\overrightarrow{D_{\Sigma H}}}{D_{\Sigma H}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Sigma G}k_{e\Sigma G}e^2\overrightarrow{D_{\Sigma G}}}{D_{\Sigma G}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Sigma\Omega}k_{e\Sigma\Omega}e^2\overrightarrow{D_{\Sigma\Omega}}}{D_{\Sigma\Omega}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Sigma\Phi}k_{e\Sigma\Phi}e^2\overrightarrow{D_{\Sigma\Phi}}}{D_{\Sigma\Phi}^3 + \beta^3}$$

电子  $\Gamma$  所受到的力  $\overrightarrow{力_{\gamma}}$  如下：

$$\overrightarrow{力_{\gamma}} = \frac{k_{n\Gamma H}k_{e\Gamma H}e^2\overrightarrow{D_{\Gamma H}}}{D_{\Gamma H}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Gamma G}k_{e\Gamma G}e^2\overrightarrow{D_{\Gamma G}}}{D_{\Gamma G}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Gamma\Omega}k_{e\Gamma\Omega}e^2\overrightarrow{D_{\Gamma\Omega}}}{D_{\Gamma\Omega}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Gamma\Phi}k_{e\Gamma\Phi}e^2\overrightarrow{D_{\Gamma\Phi}}}{D_{\Gamma\Phi}^3 + \beta^3}$$

小船  $\Sigma$  所受的力  $\overrightarrow{力_{\Sigma\Gamma}}$  如下：

$$\begin{aligned}\overrightarrow{力_{\Sigma\Gamma}} = & -\frac{k_{n\Sigma H}k_{e\Sigma H}e^2\overrightarrow{D_{\Sigma H}}}{D_{\Sigma H}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Sigma G}k_{e\Sigma G}e^2\overrightarrow{D_{\Sigma G}}}{D_{\Sigma G}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Sigma\Omega}k_{e\Sigma\Omega}e^2\overrightarrow{D_{\Sigma\Omega}}}{D_{\Sigma\Omega}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Sigma\Phi}k_{e\Sigma\Phi}e^2\overrightarrow{D_{\Sigma\Phi}}}{D_{\Sigma\Phi}^3 + \beta^3} \\ & + \frac{k_{n\Gamma H}k_{e\Gamma H}e^2\overrightarrow{D_{\Gamma H}}}{D_{\Gamma H}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Gamma G}k_{e\Gamma G}e^2\overrightarrow{D_{\Gamma G}}}{D_{\Gamma G}^3 + \beta^3} - \frac{k_{n\Gamma\Omega}k_{e\Gamma\Omega}e^2\overrightarrow{D_{\Gamma\Omega}}}{D_{\Gamma\Omega}^3 + \beta^3} + \frac{k_{n\Gamma\Phi}k_{e\Gamma\Phi}e^2\overrightarrow{D_{\Gamma\Phi}}}{D_{\Gamma\Phi}^3 + \beta^3}\end{aligned}$$

通过投影到轴  $O_6Z_6$  上，其矢量为：

$$k_6 \begin{pmatrix} x_6 \\ y_6 \\ z_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{-3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{4} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
力_{\Sigma\Gamma z6} = & \frac{k_{n\Sigma H}k_{e\Sigma H}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_6 + \frac{\Delta_6}{2} + \frac{z_3}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{\Sigma H}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{n\Sigma G}k_{e\Sigma G}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_6 - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{\Sigma G}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{n\Sigma\Omega}k_{e\Sigma\Omega}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{3z_6}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{\Sigma\Omega}^3 + \beta^3} \\
& + \frac{k_{n\Sigma\Phi}k_{e\Sigma\Phi}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{3z_6}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{\Sigma\Phi}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{n\Gamma H}k_{e\Gamma H}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) + z_6 + \frac{\Delta_6}{2} + \frac{z_3}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{\Gamma H}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{n\Gamma G}k_{e\Gamma G}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(3\omega t) - z_6 - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_3}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{\Gamma G}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{n\Gamma\Omega}k_{e\Gamma\Omega}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) - \frac{3z_6}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{\Gamma\Omega}^3 + \beta^3} \\
& - \frac{k_{n\Gamma\Phi}k_{e\Gamma\Phi}e^2 \left[ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{3z_6}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}r \right]}{D_{\Gamma\Phi}^3 + \beta^3}
\end{aligned}$$

方程 7 - 力 z6

#### 4.8.4.6 使用 Matlab-Simulink 软件包工具求解微分方程

通过使用 Simulink 求解方程（文件：nucleonette\_r\_036\_zhf\_00164\_B\_10\_3\_kn\_21\_U.slx），我们得到曲线  $z$ 、 $z_3$ 、 $z_4$  和  $z_6$ ：

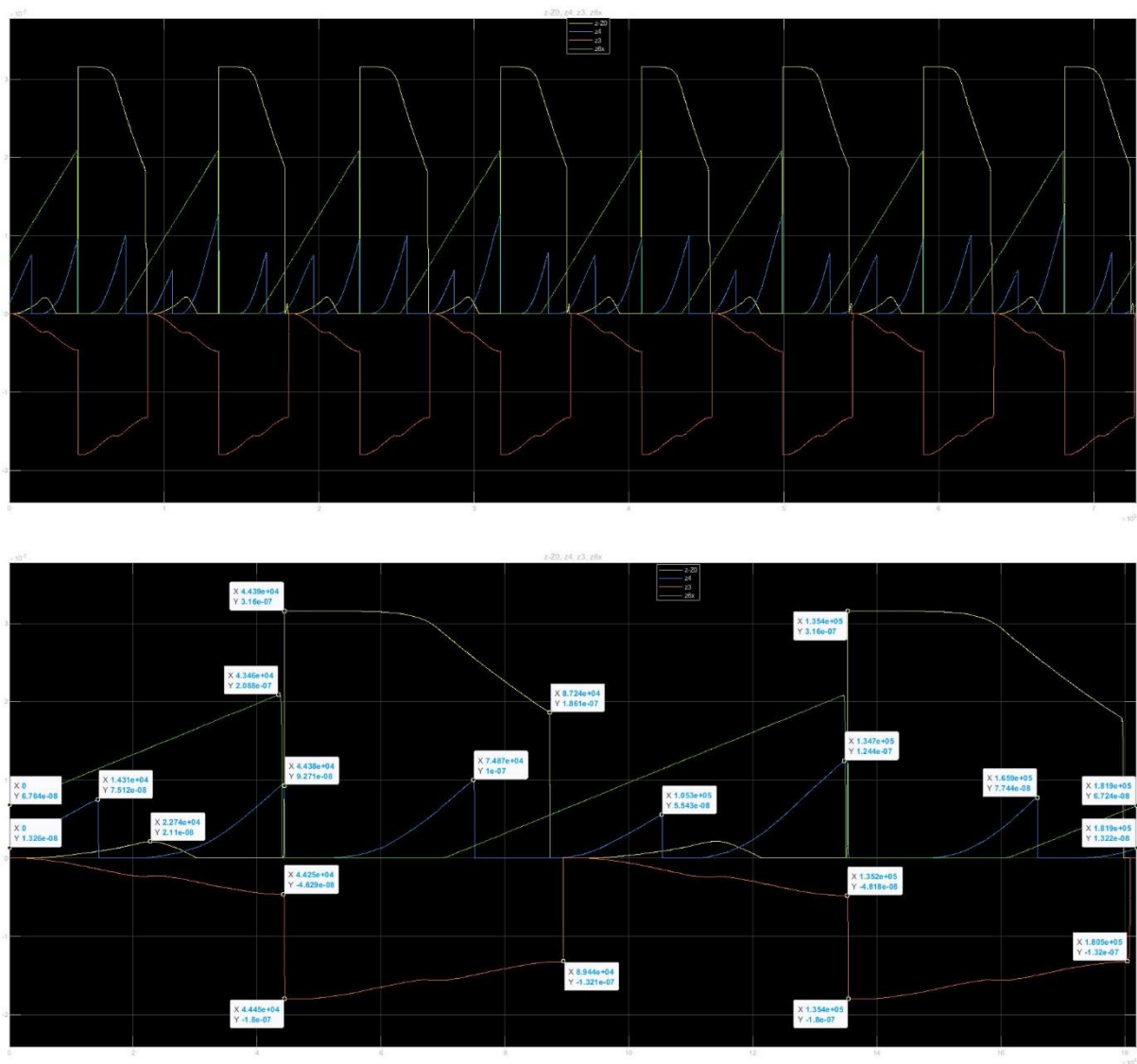


图37- 品晶子电偶的振荡

Nucleonette = 品晶子

进一步详细信息请参见：附录 A.3。

每条曲线的系数为：

- $Z-Z_0$  :  $10^{-5}$ .
- $Z_3$  :  $10^{-5}$ .
- $Z_4$  :  $10^{-5}$ .
- $Z_6$  : 1.

释义：

1.  $z$ 、 $z_3$ 、 $z_4$  和  $z_6$  代表的 9 个电偶的轨迹是周期性的。周期  $T_{1x} = 182248.8079$  是 AF 电偶的旋转周期。
2. 电偶的运动幅度  $a_x$  在  $[1.279 \cdot 10^{-12} ; 3.16 \cdot 10^{-7}]$  区间内与它们的直径  $r_x = 0.36373$  相比，它们相对较小。

3. 在  $t_x = 0$  时,  $(z_x - z_{0x}) = 0$ 。且  $z_{3x} = 0$ 。电偶 AF、GH 和 IJ 处于最紧位置。  $z_{4x} = 1.326 \cdot 10^{-13}$ ,  $z_{6x} = 6.764 \cdot 10^{-8}$ 。外部三角子 BCDEAF、 $\Sigma \Gamma \Omega \Phi$  GH 和  $\Lambda \Pi \theta \Psi$  IJ 正在扩展。
4. 在  $t_x = 0$  和  $t_x = T_{1x}/4$  之间, AF 电偶( $z_x$ ) 首先稍微偏离其内部极限位置, 然后返回到该极限位置。电偶 IJ ( $z_x$ ) 也是如此。 GH 电偶 ( $z_{x3}$ ) 逐渐偏离其内部极限位置  $z_{3x} = 0$  朝向  $z_{3x} = -4.632 \cdot 10^{-13}$ 。电偶  $\Sigma \Gamma$  ( $z_{x6}$ ) 从其初始位置  $z_{6x} = 6.764 \cdot 10^{-8}$  向  $z_{6x} = 2.081 \cdot 10^{-7}$  线性偏离。  $\Omega \Phi$  电偶也是如此。电偶 BC ( $z_{x4}$ ) 在  $t_x = T_{1x}/12$  处从其初始位置  $z_{4x} = 1.326 \cdot 10^{-13}$  向  $z_{4x} = 7.533 \cdot 10^{-13}$  线性偏离。然后快速回到  $z_{4x} = 0$  的位置逐渐回到  $z_{4x} = 9.506 \cdot 10^{-13}$ 。 DE、 $\Lambda \Pi$  和  $\Psi \Psi$  电偶也是如此。
5. 在  $t_x = T_{1x}/4$  时, AF 电偶 ( $z_x$ ) 非常快速地从其内部极限位置 ( $z_x - z_{0x}$ ) = 0 偏离到最远位置 ( $z_x - z_{0x}$ ) =  $3.16 \cdot 10^{-12}$ 。电偶 IJ ( $z_x$ ) 也是如此。 GH 电偶 ( $z_{x3}$ ) 非常快速地从其位置  $z_{3x} = -4.632 \cdot 10^{-13}$  偏离到外部极限  $z_{3x} = -1.8 \cdot 10^{-12}$ 。 AFGHIJ 三角子处于最大扩张状态。同时, 电偶 BC ( $z_{x4}$ ) 从位置  $z_{4x} = 9.506 \cdot 10^{-13}$  快速落向  $z_{4x} = 0$ 。电偶 DE、 $\Lambda \Pi$  和  $\theta \Psi$  也是如此。 BCDEAF 和  $\Lambda \Pi \theta \Psi$  IJ 三角子处于最紧缩的状态。电偶  $\Sigma \Gamma$  ( $z_{x6}$ ) 从位置  $z_{6x} = 2.081 \cdot 10^{-7}$  快速下降到  $z_{6x} = 0$ 。电偶  $\Omega \Phi$  也是如此。  $\Sigma \Gamma \Omega \Phi$  GH 三角子处于最紧缩的状态。
6. 在  $t_x = T_{1x}/4$  和  $t_x = T_{1x}/2$  之间, AF 电偶( $z_x$ ) 首先保持在其外部极限位置, 然后偏离该极限位置 ( $z_x - z_{0x}$ ) =  $3.16 \cdot 10^{-12}$  朝向中间位置 ( $z_x - z_{0x}$ ) =  $2.008 \cdot 10^{-12}$ 。电偶 IJ ( $z_x$ ) 也是如此。 GH 电偶 ( $z_{x3}$ ) 逐渐从其外部极限位置  $z_{3x} = -1.8 \cdot 10^{-12}$  向中间位置  $z_{3x} = -1.325 \cdot 10^{-13}$  偏离。电偶  $\Sigma \Pi$  ( $z_{x6}$ ) 保持在位置  $z_{6x} = 0$ 。然后从该位置  $z_{6x} = 0$  向  $z_{6x} = 6.99 \cdot 10^{-8}$  线性偏离。  $\Omega \Phi$  电偶也是如此。电偶 BC ( $z_{x4}$ ) 在  $t_x = 5T_{1x}/12$  处逐渐从位置  $z_{4x} = 0$  向  $z_{4x} = 9.943 \cdot 10^{-13}$  偏离。然后快速返回到  $z_{4x} = 0$  的位置。电偶 DE、 $\Lambda \Pi$  和  $\theta \Psi$  也是如此。
7. 在  $t_x = T_{1x}/2$  时, 电偶 AF ( $z_x$ ) 从其中间位置 ( $z_x - z_{0x}$ ) =  $2.008 \cdot 10^{-12}$  快速落向内部极限位置 ( $z_x - z_{0x}$ ) = 0。电偶 IJ ( $z_x$ ) 是这样。 GH 电偶 ( $z_{x3}$ ) 从其中间位置  $z_{3x} = -1.325 \cdot 10^{-13}$  向内部极限  $z_{3x} = 0$  快速下降。 AFGHIJ 三角子处于最紧的状态。在此期间, 电偶 BC ( $z_{x4}$ ) 保持在位置  $z_{4x} = 0$ 。电偶 DE、 $\Lambda \Pi$  和  $\theta \Psi$  也是如此。 BCDEAF 和  $\Lambda \Pi \theta \Psi$  IJ 三角子不处于极限状态。电偶  $\Sigma \Gamma$  ( $z_{x6}$ ) 保持其位置  $z_{6x} = 6.99 \cdot 10^{-8}$ 。  $\Omega \Phi$  电偶也是如此。  $\Sigma \Gamma \Omega \Phi$  GH 三角子处于中间状态。
8. 在  $t_x = T_{1x}/2$  和  $t_x = T_{1x}$  之间, 电偶 AF ( $z_x$ )、IJ ( $z_x$ ) 和 GH ( $z_{x3}$ ) 基本上遵循与前半周期期间相同的行为。但是电偶 BC ( $z_{x4}$ )、 $\Sigma \Gamma$  ( $z_{x6}$ ) 以及它们的等效项的行为与上半周期有着不同。
9. 在  $t_x = T_{1x}/2$  和  $t_x = 3T_{1x}/4$  之间, 电偶 BC ( $z_{x4}$ ) 在  $t_x = 7T_{1x}/12$  处逐渐从位置  $z_{4x} = 0$  向  $z_{4x} = 5.51 \cdot 10^{-13}$  偏离。然后快速回到  $z_{4x} = 0$  的位置。然后在  $t_x = 3T_{1x}/4$  处开始逐渐从  $z_{4x} = 0$  的位置向  $z_{4x} = 1.271 \cdot 10^{-12}$  偏离。 DE、 $\Lambda \Pi$  和  $\Psi \Psi$  电偶也是如此。电偶  $\Sigma \Gamma$  ( $z_{x6}$ ) 继续向位置  $z_{6x} = 2.32 \cdot 10^{-7}$  移动。
10. 在  $t_x = 3T_{1x}/4$  时, 电偶 BC ( $z_{x4}$ ) 从位置  $z_{4x} = 1.271 \cdot 10^{-12}$  变为  $z_{4x} = 0$ 。电偶 DE、 $\Lambda \Pi$  和  $\Psi \Psi$  也是如此。 BCDEAF 和  $\Lambda \Pi \theta \Psi$  IJ 三角子处于向内极限状态。电偶  $\Sigma \Gamma$  ( $z_{x6}$ ) 从其位置  $z_{6x} = 2.32 \cdot 10^{-7}$  到  $z_{6x} = 0$ 。电偶  $\Omega \Phi$  也是如此。三角子  $\Sigma \Omega \Phi$  GH 处于向内极限状态 (最紧)。
11. 在  $t_x = 3T_{1x}/4$  和  $t_x = T_{1x}$  之间, 电偶 BC ( $z_{x4}$ ) 逐渐从位置  $z_{4x} = 0$  向  $t_x = 11T_{1x}/12$  处的  $z_{4x} = 7.823 \cdot 10^{-13}$  偏离。然后快速回到  $z_{4x} = 0$  的位置。然后在  $t_x = T_{1x}$  处开始逐渐从  $z_{4x} = 0$  的位置向  $z_{4x} = 1.326 \cdot 10^{-13}$  偏离。 DE、 $\Lambda \Pi$  和  $\Psi \Psi$  电偶也是如此。电偶  $\Sigma \Gamma$  ( $z_{x6}$ ) 逐渐从位置  $z_{6x} = 0$  向位置  $z_{6x} = 6.662 \cdot 10^{-8}$  偏离。
12. 在  $t_x = T_{1x}$  时, 三角子们处于与  $t_x = 0$  时相同的状态。

总之:

忽略小臂的小运动，晶晶子的 3 个外部三角子通过后者的 3 个接触点粘在心脏的三角子上。

#### 4.8.5 上夸克 $U^+$ 的稳定性

一个上夸克由 1 个上三角子和 1 个正电子组成。其稳定性较低。事实上，三角子的  $C_{chr}$  中心可以容纳正电子，原因如下：

1. 点  $C_{chr}$  的势能与周围环境相比最小。但差异相对较小。
2. 点  $C_{chr}$  的电位与周围环境相比最小为负。但由于组成电偶的电中和，差异相对较小。

静止时，正电子稳定在  $C_{chr}$  点。但如果上夸克加速过度，正电子与三角子之间的弱耦合就会分离。这解释了实验室中观察到的上夸克的不稳定性。

#### 4.8.6 下夸克 $D^-$ 的稳定性

一个下夸克由 1 个下三角子和 1 个负电子组成。其稳定性较低。事实上，三角子中心  $C_{chr}$  可以容纳负电子，原因如下：

1. 点  $C_{chr}$  的势能与周围环境相比最小。但差异相对较小。
2. 点  $C_{chr}$  的电位相对于周围环境最大为正。但由于组成电偶的电中和，差异相对较小。

静止时，电子在  $C_{chr}$  点稳定。但是如果下夸克加速过多，电子和三角子之间的弱耦合就会分离。这解释了实验室中观察到的下夸克的不稳定性。

#### 4.8.7 质子 $H^+$ 的稳定性

一个质子由 1 个低晶晶子、2 个正电子和 1 个负电子组成。它的稳定性非常好。事实上，心脏有 3 个接触点连接 3 个外部三角子。每一个接触点都蕴藏着巨大的潜在能量。它构成了一个势能屏障，关闭了通过这个接触点连接的两个三角子的开口。因此，外面的 3 个三角子各自包裹着自己的电子。这使得质子非常稳定。

#### 4.8.8 中子 $n^0$ 的稳定性

一个中子由 1 个上品晶子、2 个正电子和 2 个负电子组成。它的稳定性也非常好。

由于与质子相同的原因，3 个最外面的色子包裹着它们的电子。

对于心脏来说，它的两个开口各由三个接触点闭合。因此核心电子也被锁定了。这使得中子非常稳定。

#### 4.8.9 上品晶子的稳定性

上品晶子的结构与下晶晶子的结构相似。这里仅描述差异。

为了确定晶晶子内部 9 个电偶的动态行为，我们将按照以下 5 个步骤进行：

1. 使用先前确定的电子坐标和它们之间的距离。
2. 确定每个电子的质量。

3. 使用先前确定的电子之间的电相互作用。
4. 使用先前确定的控制每个电子的动态方程。
5. 使用 Matlab-Simulink 软件包工具求解微分方程。

#### 4.8.9.1 确定每个电子的质量

电子的编号如下：

1. 电子 F : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
2. 电子 A : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
3. 电子 J : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
4. 电子 I : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
5. 电子 G : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>H#</sub>.
6. 电子 H : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>H#</sub>.
7. 电子 B : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
8. 电子 C : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
9. 电子 D : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
10. 电子 E : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
11. 电子  $\Theta$  : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
12. 电子  $\Psi$  : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
13. 电子  $\Pi$  : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
14. 电子  $\Lambda$  : 速度  $v_3$ , 总重量 中<sub>B#</sub>.
15. 电子  $\Gamma$  : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
16. 电子  $\Sigma$  : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
17. 电子  $\Omega$  : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.
18. 电子  $\Phi$  : 速度  $v_1$ , 总重量 中<sub>F#</sub>.

电子 F 的总重量用下式表示：

$$\text{中}_{F\#} = \text{中}_F + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eFI} + E_{eFG} + E_{eFC} + E_{eFE})$$

再加上：

- 中<sub>F#</sub> : 代表电子 F 的整体惰性重量。
- 中<sub>F</sub> : 是电子 F 的中性载荷
- $E_{eFp}$  : 是电子 F 和电子 p 之间的电势能，其符号与电子 F 的符号相反。此外，电子 F 和 p 之间的距离在 0 和  $d > 0$  之间变化。其中  $p = I, G, C$  或。

要计算势能  $E_{eFp}$ ，就需要知道它们之间的距离平均值。忽略电偶相对于等边三角形的运动，距离为：

- $D_{FI} = r \cdot f_{FI} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FG} = r \cdot f_{FG} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FC} = r \cdot f_{FC} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{FE} = r \cdot f_{FE} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{HA} = r \cdot f_{HA} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{HI} = r \cdot f_{HI} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{H\Gamma} = r \cdot f_{H\Gamma} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$



- $D_{H\Omega} = r \cdot f_{H\Omega} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{BE} = r \cdot f_{BE} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{BA} = r \cdot f_{BA} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{\Sigma\Omega} = r \cdot f_{\Sigma\Omega} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.757 = 0.63907361 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $D_{\Sigma G} = r \cdot f_{\Sigma G} = 0.36373 \cdot 10^{-15} \cdot 1.65 = 0.6001545 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

电子 F 的总重量变为:

$$中_{F\#} = 中_F + \frac{k_e e^2}{2c^2 中_{ref}^2} \cdot \left( \frac{中_{F0} 中_{I0}}{D_{FI}} + \frac{中_{F0} 中_{G0}}{D_{FG}} + \frac{中_{F0} 中_{C0}}{D_{FC}} + \frac{中_{F0} 中_{E0}}{D_{FE}} \right)$$

由于小电荷的轨道速度远低于  $c$ ,  $中_F = 中_{F0}$ 。所以我们有:

$$中_{F\#} = 中_{F0} + \frac{k_e e^2 中_{F0}}{2c^2 中_{ref}^2} \cdot \left( \frac{中_{F0}}{D_{FI}} + \frac{中_{H0}}{D_{FG}} + \frac{中_{H0}}{D_{FC}} + \frac{中_{H0}}{D_{FE}} \right)$$

$$中_{F\#} = 中_{F0} + \frac{k_e e^2 中_{F0}}{2c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{F0}}{f_{FI}} + \frac{中_{H0}}{f_{FG}} + \frac{中_{H0}}{f_{FC}} + \frac{中_{H0}}{f_{FE}} \right)$$

通过对称性,  $中_{A\#} = 中_{I\#} = 中_{J\#} = 中_{F\#}$ 。

电子 H 的总重量由下式表示:

$$中_{H\#} = 中_H + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eHA} + E_{eHI} + E_{eH\Gamma} + E_{eH\Omega})$$

再加上:

- $中_{H\#}$  : 代表电子 H 的全部惰性重量。
- $中_H$  : 是电子 H 的中性载荷
- $E_{eHp}$  : 是电子 H 和电子 p 之间的电势能。其中  $p = A、I、\Gamma$  或  $\Omega$ 。

$$中_{H\#} = 中_H + \frac{k_e e^2}{2c^2 中_{ref}^2} \cdot \left( \frac{中_{H0} 中_{A0}}{D_{HA}} + \frac{中_{H0} 中_{I0}}{D_{HI}} + \frac{中_{H0} 中_{\Gamma}}{D_{H\Gamma}} + \frac{中_{H0} 中_{\Omega}}{D_{H\Omega}} \right)$$

$$中_{H\#} = 中_{H0} + \frac{k_e e^2 中_{H0}}{2c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{F0}}{f_{HA}} + \frac{中_{F0}}{f_{HI}} + \frac{中_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{中_{F0}}{f_{H\Omega}} \right)$$

$$中_{H\#} = 中_{H0} + \frac{k_e e^2 中_{H0} \cdot 中_{F0}}{2c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right)$$

通过对称性,  $中_{G\#} = 中_{H\#}$ 。

电子 B 的整体重量用以下公式表示:

$$中_{B\#} = 中_B + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{eBA} + E_{eBE})$$

再加上：

- $中_{B\#}$  : 代表电子 B 的全部惰性重量。
- $中_B$  : 是电子 B 的中性载荷
- $E_{eBp}$  : 是电子 B 和电子 p 之间的电势能，其符号与电子 B 的符号相反。此外，电子 B 和 p 之间的距离在 0 和  $d > 0$  之间变化。其中  $p = A$  或  $E$ 。

$$中_{B\#} = 中_B + \frac{k_e e^2}{2c^2 中_{ref}^2} \cdot \left( \frac{中_{B0} 中_{F0}}{D_{BA}} + \frac{中_{B0} 中_{E0}}{D_{BE}} \right)$$

$$中_{B\#} = 中_{H0} + \frac{k_e e^2 中_{H0}}{2c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{F0}}{f_{BA}} + \frac{中_{H0}}{f_{BE}} \right)$$

通过对称性,  $中_{C\#} = 中_{D\#} = 中_{E\#} = 中_{\Theta\#} = 中_{\Psi\#} = 中_{\Pi\#} = 中_{\Lambda\#} = 中_{B\#}$ 。

电子  $\Sigma$  的总重量用下式表示：

$$中_{\Sigma\#} = 中_{\Sigma} + \frac{1}{2c^2} \cdot (E_{e\Sigma G} + E_{e\Sigma\Omega})$$

再加上：

- $中_{\Sigma\#}$  : 代表电子  $\Sigma$  的全部惰性重量。
- $中_{\Sigma}$  : 是电子  $\Sigma$  的中性载荷
- $E_{e\Sigma p}$  : 是电子  $\Sigma$  和电子 p 之间的电势能，其符号与电子  $\Sigma$  相反。此外，电子  $\Sigma$  和 p 之间的距离在 0 和  $d > 0$  之间变化。其中  $p = G$  或  $\Omega$ 。

$$中_{\Sigma\#} = 中_{\Sigma} + \frac{k_e e^2}{2c^2 中_{ref}^2} \cdot \left( \frac{中_{\Sigma0} 中_{G0}}{D_{\Sigma G}} + \frac{中_{\Sigma0} 中_{\Omega0}}{D_{\Sigma\Omega}} \right)$$

$$中_{\Sigma\#} = 中_{F0} + \frac{k_e e^2 中_{F0}}{2c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{中_{F0}}{f_{\Sigma\Omega}} \right)$$

通过对称性,  $中_{\Gamma\#} = 中_{\Omega\#} = 中_{\Phi\#} = 中_{\Sigma\#}$ 。

晶晶子的总体重量是：

$$中_{nucl} = \sum_{p=1}^{18} 中_{p\#}$$

$$中_{nucl} = 4 \cdot 中_{F\#} + 2 \cdot 中_{H\#} + 8 \cdot 中_{B\#} + 4 \cdot 中_{\Sigma\#}$$

$$\begin{aligned}
中_{nucl} = & 4 \cdot 中_{F0} + \frac{2k_e e^2 中_{F0}}{c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{F0}}{f_{FI}} + \frac{中_{H0}}{f_{FG}} + \frac{中_{H0}}{f_{FC}} + \frac{中_{H0}}{f_{FE}} \right) + 2 \cdot 中_{H0} + \frac{k_e e^2 中_{H0} \cdot 中_{F0}}{c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \\
& \cdot \left( \frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{H\Gamma}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right) + 8 \cdot 中_{H0} + \frac{4k_e e^2 中_{H0}}{c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{F0}}{f_{BA}} + \frac{中_{H0}}{f_{BE}} \right) + 4 \cdot 中_{F0} \\
& + \frac{2k_e e^2 中_{F0}}{c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{中_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
中_{nucl} = & 8 \cdot 中_{F0} + \frac{2k_e e^2 中_{F0}}{c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{F0}}{f_{FI}} + \frac{中_{H0}}{f_{FG}} + \frac{中_{H0}}{f_{FC}} + \frac{中_{H0}}{f_{FE}} + \frac{中_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{中_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + 10 \cdot 中_{H0} \\
& + \frac{k_e e^2 中_{H0}}{c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{中_{F0}}{f_{HA}} + \frac{中_{F0}}{f_{HI}} + \frac{中_{F0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{中_{F0}}{f_{H\Omega}} + \frac{4 \cdot 中_{F0}}{f_{BA}} + \frac{4 \cdot 中_{H0}}{f_{BE}} \right)
\end{aligned}$$

品晶子的重量等于质子的重量 - 2 个正电子和 1 个负电子的重量：

$$中_{nucl} = 中_{p+} - 中_{e+} = 938.272 \text{ MeV} - 3 \cdot 511 \text{ KeV} = 936.739 \text{ MeV}$$

Or :

$$r = \frac{k_e 中_{H0} e^2}{4 中_{ref}^2} \cdot \left( \frac{k_n}{v_1^2} \right)$$

$$r = \frac{k_e 中_{F0} e^2}{4 中_{ref}^2} \cdot \left[ \frac{k_n}{(3v_1)^2} \right] = \frac{k_e 中_{F0} e^2}{4 中_{ref}^2 \cdot 9} \cdot \left[ \frac{k_n}{(v_1)^2} \right]$$

将两者结合起来：

$$\frac{r}{中_{H0}} = \frac{9r}{中_{F0}}$$

$$中_{F0} = 9 \cdot 中_{H0}$$

之前的等式变为：

$$\begin{aligned}
中_{nucl} = & 8 \cdot 9 \cdot 中_{H0} + \frac{2k_e e^2 9 \cdot 中_{H0}}{c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \cdot \left( \frac{9 \cdot 中_{H0}}{f_{FI}} + \frac{中_{H0}}{f_{FG}} + \frac{中_{H0}}{f_{FC}} + \frac{中_{H0}}{f_{FE}} + \frac{中_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{9 \cdot 中_{H0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + 10 \\
& \cdot 中_{H0} + \frac{k_e e^2 中_{H0}}{c^2 中_{ref}^2 \cdot r} \\
& \cdot \left( \frac{9 \cdot 中_{H0}}{f_{HA}} + \frac{9 \cdot 中_{H0}}{f_{HI}} + \frac{9 \cdot 中_{H0}}{f_{H\Gamma}} + \frac{9 \cdot 中_{H0}}{f_{H\Omega}} + \frac{4 \cdot 9 \cdot 中_{H0}}{f_{BA}} + \frac{4 \cdot 中_{H0}}{f_{BE}} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{中}_{nucl} = 82 \text{中}_{H0} + \frac{k_e e^2 \text{中}_{H0}^2}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \\ \cdot \left[ \left( \frac{162}{f_{FI}} + \frac{18}{f_{FG}} + \frac{18}{f_{FC}} + \frac{18}{f_{FE}} + \frac{18}{f_{\Sigma G}} + \frac{162}{f_{\Sigma \Omega}} \right) + \left( \frac{9}{f_{HA}} + \frac{9}{f_{HI}} + \frac{9}{f_{H\Gamma}} + \frac{9}{f_{H\Omega}} + \frac{36}{f_{BA}} + \frac{4}{f_{BE}} \right) \right] \end{aligned}$$

我们有一个关于中<sub>F0</sub>的二次方程。

$$a = \frac{k_e e^2}{c^2 \text{中}_{ref}^2 \cdot r} \left[ \frac{162}{f_{FI}} + \frac{18}{f_{FG}} + \frac{18}{f_{FC}} + \frac{18}{f_{FE}} + \frac{18}{f_{\Sigma G}} + \frac{162}{f_{\Sigma \Omega}} + \frac{9}{f_{HA}} + \frac{9}{f_{HI}} + \frac{9}{f_{H\Gamma}} + \frac{9}{f_{H\Omega}} + \frac{36}{f_{BA}} + \frac{4}{f_{BE}} \right]$$

$$b = 82$$

$$c_s = -\text{中}_{nucl} = -\text{中}_{nucl} \cdot \frac{e}{c^2} = -\frac{936.739 \cdot 1.602177 \cdot 10^6 \cdot 10^{-19}}{2.997525^2 \cdot 10^{16}} = -1,67033456 \cdot 10^{-27} \cdot kg$$

$$[\Sigma_f] = \frac{162}{1.757} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{18}{1.65} + \frac{162}{1.757} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{9}{1.65} + \frac{36}{1.65} + \frac{4}{1.757}$$

$$[\Sigma_f] = \frac{162 + 162 + 4}{1.757} + \frac{18 \cdot 4 + 9 \cdot 4 + 36}{1.65}$$

$$[\Sigma_f] = \frac{328}{1.757} + \frac{144}{1.65}$$

$$[\Sigma_f] = 273,954571325$$

$$\frac{a_n}{a_d} = \frac{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^9 \cdot 10^{-38}}{2.997525^2 \cdot 9.109382^2 \cdot 0.36373 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-62} \cdot 10^{-15}} = 8,5070664 \cdot 10^{30}$$

$$a = \frac{a_n}{a_d} [\Sigma_f] = 8,5070664 \cdot 10^{30} \cdot 273,954571325 = 2,330\,549\,728\,846 \cdot 10^{33}$$

$$\text{中}_{H0} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2 \cdot a} = \frac{-82 \pm \sqrt{82^2 + 4 \cdot 2.330549728 \cdot 10^{33} \cdot 1,67033456 \cdot 10^{-27}}}{2 \cdot 2.330549728846 \cdot 10^{33}}$$

$$\text{中}_{H0} = \frac{-82 \pm 3946.88675079}{4.661099458 \cdot 10^{33}} = 8,29179206669 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\text{中}_{F0} = 9 \cdot \text{中}_{H0} = 7,46261286 \cdot 10^{-30} kg$$

$$v_1^2 = \frac{k_e \text{中}_{H0} e^2}{4 \text{中}_{ref}^2} \cdot \left( \frac{k_n}{r} \right) = \frac{8.987552 \cdot 8.29179206669 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^9 10^{-31} 10^{-38}}{4 \cdot 9.109382^2 \cdot 10^{-62}} \cdot \frac{10^{-11+15}}{0.36373}$$

$$v_1^2 = 1,584505904 \cdot 10^6$$

$$v_1 = 1,258771585 \cdot 10^3 m/s$$

$$v_3 = 3,776314756 \cdot 10^3 m/s$$

确定角速度：

$$\omega_1 = \frac{v_1}{r} = \frac{1,258771585 \cdot 10^3}{0.36373 \cdot 10^{-15}} = 3.460730721 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{23} \text{ radian/s}$$

$$\omega_{1x} = 3.460730721 \cdot 10^{-5}$$

$$T_1 = \frac{2\pi r}{v_1} = 1.815566079 \cdot 10^5 \cdot 10^{-23} s$$

$$\text{中}_{F\#} = \text{中}_{F0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{F0}}{2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{FI}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FG}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FC}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{FE}} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{中}_{F\#} \cdot 10^{31} &= 74,6261286 + 0,850707 \cdot \frac{74,6261286}{2} \\ &\cdot \left( \frac{74,6261286}{1.757} + \frac{8,29179206669}{1.65} + \frac{8,29179206669}{1.65} + \frac{8,29179206669}{1.65} \right) \end{aligned}$$

$$\text{中}_{F\#} \cdot 10^{31} = 1901,393227111$$

$$\text{中}_{F\#} = 1901,393227111 \cdot 10^{-31} kg$$

$$2 \text{中}_{F\#} = 3802,786454222 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\text{中}_{H\#} = \text{中}_{H0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{H0} \cdot \text{中}_{F0}}{2} \cdot \left( \frac{1}{f_{HA}} + \frac{1}{f_{HI}} + \frac{1}{f_{HG}} + \frac{1}{f_{H\Omega}} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{中}_{H\#} \cdot 10^{31} &= 8,29179206669 + 0,850707 \cdot \frac{8,29179206669 \cdot 74,6261286}{2} \\ &\cdot \left( \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65} \right) \end{aligned}$$

$$\text{中}_{H\#} = 646,357453253 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\text{中}_{B\#} = \text{中}_{H0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{H0}}{2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{F0}}{f_{BA}} + \frac{\text{中}_{H0}}{f_{BE}} \right)$$

$$\text{中}_{B\#} \cdot 10^{31} = 8,291792067 + 0,850707 \cdot \frac{8,291792067}{2} \cdot \left( \frac{74,6261286}{1.65} + \frac{8,291792067}{1.757} \right)$$

$$\text{中}_{B\#} = 184,452872212 \cdot 10^{-31} kg$$

$$2 \text{中}_{B\#} = 368,905744424 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} = \text{中}_{F0} + \frac{a_n}{a_d} \cdot \frac{\text{中}_{F0}}{2} \cdot \left( \frac{\text{中}_{H0}}{f_{\Sigma G}} + \frac{\text{中}_{F0}}{f_{\Sigma \Omega}} \right)$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} \cdot 10^{31} = 74,6261286 + 0,850707 \cdot \frac{74,6261286}{2} \cdot \left( \frac{8,291792067}{1.65} + \frac{74,6261286}{1.757} \right)$$

$$\text{中}_{\Sigma\#} = 1582,360396518 \cdot 10^{-31} kg$$

$$2 \text{中}_{\Sigma\#} = 3164.720793036 \cdot 10^{-31} kg$$

确认：

$$\text{中}_{nucl} = 4\text{中}_{F\#} + 2\text{中}_{H\#} + 8\text{中}_{B\#} + 4\text{中}_{\Sigma\#}$$

$$\text{中}_{nucl} = 4 \cdot 1901,393 + 2 \cdot 646,357 + 8 \cdot 184,453 + 4 \cdot 1582,360 = 16703.35 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

该值很好地对应于质子的重量 - 3 个电子的重量。

将中<sub>F0</sub>的值与下核子的中<sub>H0</sub>的值进行比较，我们发现它们近似相等。下核子的中<sub>H0</sub>值与中<sub>F0</sub>值相同。由此我们可以说核子模型是好的。至少，没有发现不兼容的情况。

## 4.9 原子核建模

在一个原子核内，可能存在几个质子和几个中子，甚至还可能存在少量的晶晶子。这些核子之间存在结合力。本段对这些联系进行建模。

核子之间的结构可以区分出以下 5 种类型的键：

1. 质子的“自由”电子与中子的“自由”电子之间的联系。这里的“自由”一词的意思是，该电子不属于一个电偶。
2. 第一对质子-中子对（1 型）的“自由”电子与第二对质子-中子对（1 型）的“自由”电子之间的键。这种键可以推广到两组核子之间。每组核子都由通过 1 型键连接的核子组成。
3. 质子的“有结”电子与中子的“有结”电子之间的连接。
4. 第一个质子的“有结”电子与第二个质子的“有结”电子之间的连接。
5. 第一个中子的“有结”电子与第二个中子的“有结”电子之间的连接。

注意到：

理论上，有两个半中子、一个反质子和一个反中子：

- ½向下中子：1 个向下的晶晶子+1 个负电子+1 个正电子
- ½向上中子：一个向上的晶晶子+1 个负电子+1 个正电子
- 反中子：一个向下的晶晶子+2 个负电子+2 个正电子
- 反质子：一个向上的晶晶子+2 个负电子+1 个正电子

此外，还有晶晶子。

这里不研究这些粒子。

### 4.9.1 自由电子之间的连接建模: L<sub>0</sub>

这种键只能存在于质子和中子之间。下图显示了堆叠的质子和中子的视图。

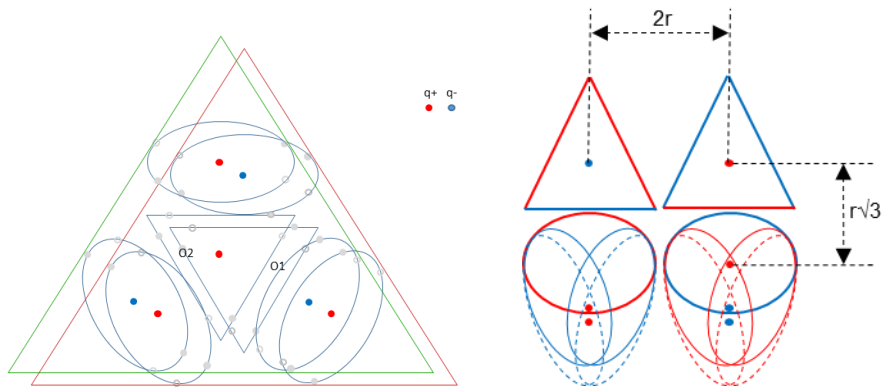


图38 - 自由电子之间的键

为了简化说明，将使用以下符号表示质子和中子之间的轴向  $L_0$  键：



要计算结合能，首先必须确定核子内自由电子的坐标。

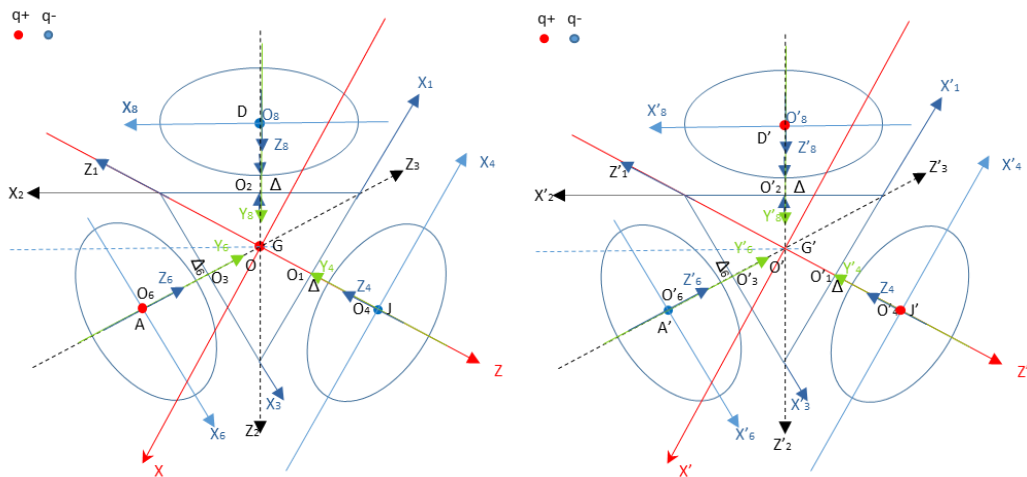


图39 - 移位中子-质子的顶视图

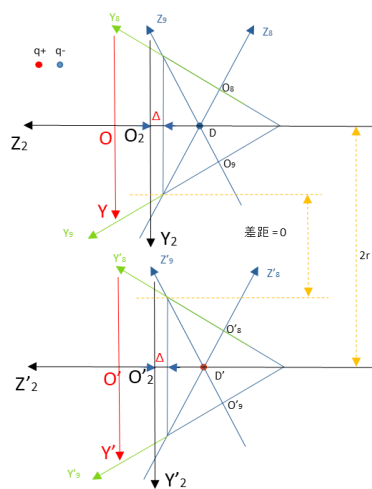


图40 - 右视图中子-质子

点 D、D'、J、J'、A、A'、G 和 G' 在全局框架中的坐标为：

$$\overrightarrow{OD} = 2 \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

$$D(x, y, z) = 2O_2 \left( -\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = D \left( -\sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = D \left( -r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D'(x, y, z) = D' \left( -r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A(x, y, z) = 2O_3 \left( \frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = A \left( \sqrt{3} \frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = A \left( r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A'(x, y, z) = A' \left( r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J(x, y, z) = 2O_1(0, 0, z_0) = J \left( 0, 0, 2 \frac{r}{\sqrt{3}} \right) = J \left( 0, 0, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J'(x, y, z) = J' \left( 0, -2r, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$G(x, y, z) = G(0, 0, 0)$$

$$G'(x, y, z) = G'(0, -2r, 0)$$

确定电荷对之间的势能：

$$E = E_A^{A'} + E_D^{D'} + E_J^{J'} + E_D^{J'} + E_J^{D'} + E_G^{A'} - E_A^{D'} - E_A^{J'} - E_D^{A'} - E_J^{A'} - E_G^{D'} - E_G^{J'}$$

$$E_x^{y'} = k_e \frac{\text{中}_x \cdot \text{中}_{y'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_x \cdot \text{中}_{\delta x})(\text{中}_{ref} + \alpha_{y'} \cdot \text{中}_{\delta y'}) e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}}$$

术语定义：

- $\text{中}_{ref}$  : 静止电子的中性电荷。
- $\alpha_x$  : 电子 x 附近的中性电荷的参与系数。
- $\text{中}_{\delta x}$  : 电子 x 附近的中性电荷。
- $\alpha_{y'}$  : 电子 y' 附近中性电荷的参与系数。
- $\text{中}_{\delta y'}$  : 电子 y' 附近的中性电荷。

$$E_A^{A'} = k_e \frac{\text{中}_A \cdot \text{中}_{A'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_A^{A'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A})(\text{中}_{ref} + \alpha_{A'} \cdot \text{中}_{\delta A'}) e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_A^{A'}}$$

$$\text{中}_{\delta x} = \text{中}_{\delta A} = 6(\text{中}_F + \text{中}_F + \text{中}_H) + 6(\text{中}_H + \text{中}_H + \text{中}_F)$$

$$\text{中}_{\delta y'} = \text{中}_{\delta A'} = \text{中}_{\delta A}$$

为了简化计算，我们忽略中子夸克的中性电荷与质子的中性电荷之间的差异。



$$\text{中}_F = \frac{8.261782 \cdot 10^{-31} + 8.291792 \cdot 10^{-31}}{2} = 8.276787 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_H = 9 \cdot \text{中}_F = 7.449108 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

首先，我们假设：

$$\alpha_A = \alpha_{A'} = \alpha_{x'} = \alpha_{y'}$$

因此，我们有：

$$\text{中}_{\delta A} = 18 \text{ 中}_F + 18 \text{ 中}_H = 1489.821\ 606 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_{\delta A'} = \text{中}_{\delta A}$$

对于其他势能项：

$$\text{中}_{\delta D} = \text{中}_{\delta J} = \text{中}_{\delta G} = \text{中}_{\delta A} = \text{中}_{\delta D'} = \text{中}_{\delta J'} = \text{中}_{\delta A'}$$

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot (\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A})^2} = \frac{1}{d_A^{A'}} + \frac{1}{d_D^{D'}} + \frac{1}{d_J^{J'}} + \frac{1}{d_D^{J'}} + \frac{1}{d_J^{D'}} + \frac{1}{d_G^{A'}} - \frac{1}{d_A^{D'}} - \frac{1}{d_A^{J'}} - \frac{1}{d_D^{A'}} - \frac{1}{d_J^{A'}} - \frac{1}{d_G^{D'}} - \frac{1}{d_G^{J'}}$$

$$d_A^{A'} = 2r = d_D^{D'} = d_J^{J'}$$

$$d_D^{J'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{3r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + 3} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_J^{D'} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_G^{A'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + \frac{1}{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r$$

$$d_A^{D'} = \sqrt{(2r)^2 + (2r)^2 + 0} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_A^{J'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{3r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + 3} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_D^{A'} = \sqrt{(2r)^2 + (2r)^2 + 0} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_J^{A'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{3r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + 3} = 2\sqrt{2} \cdot r$$

$$d_G^{D'} = \sqrt{r^2 + (2r)^2 + \left(\frac{r}{\sqrt{3}}\right)^2} = r \cdot \sqrt{1 + 4 + \frac{1}{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r$$

$$d_G^{J'} = \sqrt{0 + (2r)^2 + \left(\frac{2r}{\sqrt{3}}\right)^2} = 2r \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r$$

$$\begin{aligned} & \frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot \left(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A}\right)^2} \\ &= \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} + \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} + \frac{1}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r} - \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} \\ & \quad - \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r} - \frac{1}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r} \end{aligned}$$

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot \left(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A}\right)^2} = \frac{3}{2r} - \frac{1}{\sqrt{2} \cdot r} - \frac{1}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot r} = \frac{1}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]$$

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{\left(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A}\right)^2}{\text{中}_{ref}^2}$$

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} = \left(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A}\right)^2$$

$$\sqrt{\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} = \text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A}$$

$$\alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A} = \sqrt{\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - \text{中}_{ref}$$

$$\alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A} = \sqrt{\frac{3.564 \ 360 \ 233 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A} = \sqrt{\frac{3.564 \ 360 \ 233 \cdot 82.81 \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-61}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A} = \sqrt{12.93072 \cdot 10^{-61}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A} = 11.371332376 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A} = 2.271\,332\,376 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A \cdot 1489.821\,606 \cdot 10^{-31} = 2.271\,332\,376 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_A = 0.001\,524\,567$$

确认：

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A})^2}{\text{中}_{ref}^2}$$

$$\frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A})^2}{\text{中}_{ref}^2} = \frac{(9.1 \cdot 10^{-31} + 0.001524567 \cdot 1489.821\,606 \cdot 10^{-31})^2}{(9.1 \cdot 10^{-31})^2}$$

$$= \frac{(11.371332376 \cdot 10^{-31})^2}{82.81 \cdot 10^{-62}} = 1.561\,492\,573$$

$$E = \frac{8.987552 \cdot 1.602177^2}{4 \cdot 0.36373} \cdot 10^{9-38+15} [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \cdot 1.561492573$$

$$E = 22.826620318 \cdot 10^{-14} \cdot 1.561492573 \cdot J = 3.564\,3598\,103 \cdot 10^{-13} J$$

$$E_{L0} = -2.224694 \text{ MeV} = -3.564\,3598\,103 \cdot 10^{-13} J$$

这些电子是自由的，每个电子-正电子对的长度等于  $2r$ 。（提示： $r$  是电偶的半径）

中子的整体中性要求电子沿对称轴紧密靠近并完美排列。

一旦键建立，它就位于三对静电荷之间，因此相对稳定。这种静态特性意味着键断裂时没有键能释放。甚至必须提供能量。

每个三角子中心电子的位置是假设条件。实际情况并非如此。事实上，两个异号电子的耦合会使它们靠近。而两个同号电子的耦合会使它们远离。这会改变电子的初始位置。但确切的位置有点难以确定。

所以之前得到的值是一个近似值。

#### 4.9.2 自由电子之间的键建模：LL<sub>0</sub>

这种键可以存在于两个质子-中子对之间。下图展示了其中一种视图。

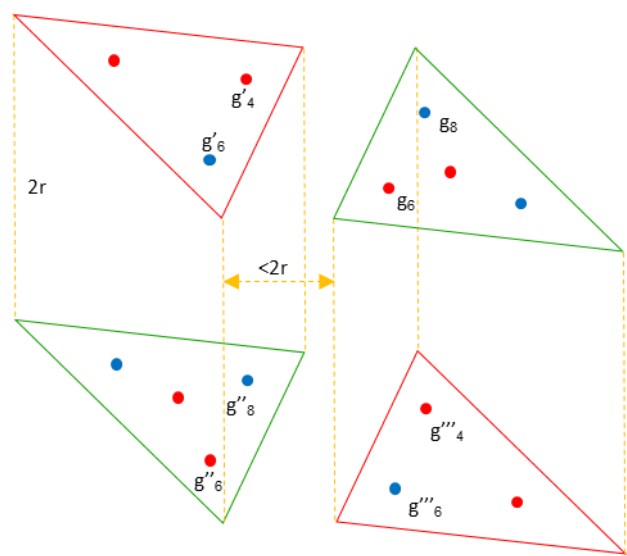
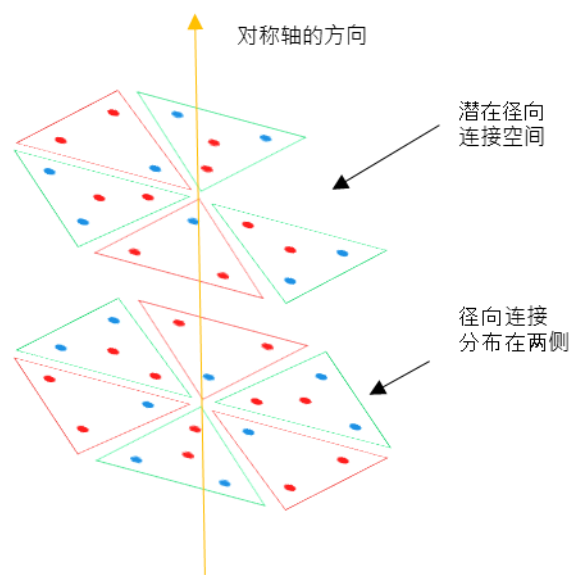


图41- 2 个质子-中子对的径向连接

还有一种特殊情况：



为了简化说明，将使用以下符号表示两个质子和中子对之间的径向  $LL_0$  键：



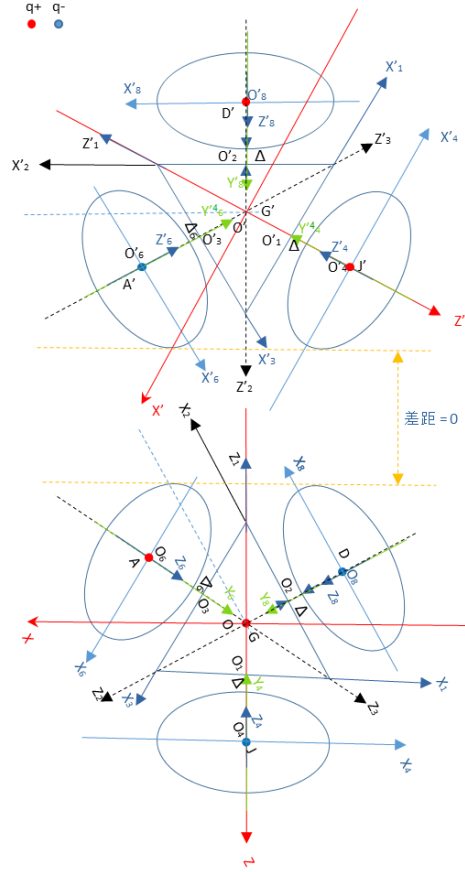


图42 - 质子和中子的坐标并排

确定  $O_6$  和  $O_8$  的坐标:

$$M_6 = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{-3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$O_6 = M_6 \otimes O_{6R6} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{-3}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} & -\frac{r}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{4} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ -\frac{r}{2} \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

为了确定  $O_8$  的坐标, 我们利用  $O_6$  和  $O_8$  相对于  $OYZ$  平面的对称性:

$$O_8 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ \frac{r}{-\frac{1}{2}} \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

通过取消  $y$  分量，我们得到  $g_6$  和  $g_8$  的坐标：

$$g_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g_8 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

将  $2r$  添加到  $y$  分量可得出  $g'''_6$  和  $g'''_4$  的坐标：

$$g'''_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g'''_4 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

确定  $O'_6$  和  $O'_4$  的坐标：

$$O'_{6R'} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ \frac{r}{-\frac{1}{2}} \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

确定点  $\Gamma$  处边  $z$  最小的角度：

$$\Gamma \begin{pmatrix} x_\gamma \\ y_\gamma \\ z_\gamma \\ 1 \end{pmatrix} = \Gamma \begin{pmatrix} \frac{r}{2} \cdot \cos(\omega t) - \frac{3}{4} r \cdot \sin(\omega t) + z_6 \frac{\sqrt{3}}{4} + \Delta_6 \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3r}{4} + z_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{r}{2} \cdot \sin(\omega t) - z_6 \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{r}{2} \\ r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$z_\Gamma = r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos(\omega t) + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \sin(\omega t) - \frac{z_6}{4} - \frac{r\sqrt{3}}{4} - \frac{\Delta_6}{2} - \frac{z_0}{2}$$

$$z'_\Gamma = r \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) \cdot \omega + r \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \cos(\omega t) \omega = 0$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sin(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \cos(\omega t) = 0$$

$$2 \cdot \sin(\omega t) + \cos(\omega t) = 0$$

$$\tan(\omega t) = -\frac{1}{2}$$

$$\omega t = -26.565\ 051\ 177^\circ \text{ ou } \omega t = -206.565\ 051\ 177^\circ$$

这里：

- $\alpha_{\text{zmin}} = -206.565\ 051\ 177^\circ$
- $z_{\Gamma\text{min}} = -0.614\ 679\ 576$

R' 参考点是向 O' 方向位移，然后绕 OY 轴旋转  $-60^\circ$  得到的。O' 的坐标为：

$$O' \begin{pmatrix} x_{O'} \\ y_{O'} \\ z_{O'} \\ 1 \end{pmatrix} = O' \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2z_{\Gamma\text{min}} \\ 1 \end{pmatrix} = O' \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1.229\ 359\ 152 \\ 1 \end{pmatrix}$$

变换矩阵为：

$$M_{OO'} = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 & \sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 0 & \cos\left(\frac{-\pi}{3}\right) & 2z_{\Gamma\text{min}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{OO'} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & -1.229\ 359\ 152 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

确定 O<sub>6</sub> 和 O<sub>4</sub> 的坐标：

$$\begin{aligned}
 O'_{6R'} &= \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 O'_6 &= M_{OO'} \otimes O'_{6R'} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 2z_{\Gamma min} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4}r - \frac{1}{2}z_0 \\ 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

为了确定  $O'_4$  的坐标，我们利用  $O'_6$  和  $O'_4$  相对于  $OYZ$  平面的对称性：

$$O'_4 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ r \\ -\frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

通过取消  $y$  分量，我们得到  $g'_6$  和  $g'_4$  的坐标：

$$\begin{aligned}
 g'_6 &= \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix} \\
 g'_4 &= \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 0 \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

将  $2r$  添加到  $y$  分量，我们得到  $g''_6$  和  $g''_8$  的坐标：



$$g''_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 + \frac{3}{4}r + \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g''_8 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2}\Delta_6 - \frac{3}{4}r - \frac{\sqrt{3}}{2}z_0 \\ 2r \\ \frac{1}{2}\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4}r + \frac{1}{2}z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

总键能为:

$$E_{total} = E_{PN1} + E_{PN2} + E_{2PN}$$

$$E_{PN1} = E_{PN2} = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_A \cdot \text{中}_{\delta A})^2}{\text{中}_{ref}^2}$$

确定电荷对之间的势能:

$$E_{2PN} = E_{g6}^{g6'} + E_{g8}^{g4'} + E_{g6''}^{g6'''} + E_{g8''}^{g4'''} + E_{g6}^{g8''} + E_{g8}^{g6''} + E_{g6'}^{g4'''} + E_{g4'}^{g6'''} - E_{g6}^{g4'} - E_{g8}^{g6'} - E_{g6''}^{g4'''} \\ - E_{g8''}^{g6'''} - E_{g6}^{g6''} - E_{g8}^{g8''} - E_{g6'}^{g6'''} - E_{g4'}^{g4'''} \\ E_x^{y'} = k_e \frac{\text{中}_x \cdot \text{中}_{y'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_x \cdot \text{中}_{\delta x})(\text{中}_{ref} + \alpha_{y'} \cdot \text{中}_{\delta y'})}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}} e^2$$

术语定义:

- $\text{中}_{ref}$  : 静止电子的中性电荷。
- $\alpha_x$  : 电子 x 附近的中性电荷的参与系数。
- $\text{中}_{\delta x}$  : 电子 x 附近的中性电荷。
- $\alpha_{y'}$  : 电子附近中性电荷的参与系数  $y'$ 。
- $\text{中}_{\delta y'}$  : 电子  $y'$  附近的中性电荷。

$$E_g^{g'} = k_e \frac{\text{中}_g \cdot \text{中}_{g'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_g^{g'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g})(\text{中}_{ref} + \alpha_{g'} \cdot \text{中}_{\delta g'})}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_g^{g'}} e^2$$

$$\text{中}_{\delta x} = \text{中}_{\delta g} = 12(\text{中}_F + \text{中}_F + \text{中}_H) + 12(\text{中}_H + \text{中}_H + \text{中}_F)$$

$$\text{中}_{\delta y'} = \text{中}_{\delta g'} = \text{中}_{\delta g}$$

$$\text{中}_{\delta g} = 2979.643212 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\begin{aligned}
& \frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot \left( \text{中}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g} \right)^2} \\
&= \frac{1}{d_{g6}^{g6'}} + \frac{1}{d_{g8}^{g4'}} + \frac{1}{d_{g6}^{g6''}} + \frac{1}{d_{g8}^{g4''}} + \frac{1}{d_{g6}^{g8''}} + \frac{1}{d_{g8}^{g6''}} + \frac{1}{d_{g6}^{g4''}} + \frac{1}{d_{g4}^{g6''}} - \frac{1}{d_{g6}^{g4'}} - \frac{1}{d_{g8}^{g6'}} \\
&- \frac{1}{d_{g6}^{g4''}} - \frac{1}{d_{g8}^{g6''}} - \frac{1}{d_{g6}^{g6''}} - \frac{1}{d_{g8}^{g8''}} - \frac{1}{d_{g6}^{g6''}} - \frac{1}{d_{g4}^{g4''}}
\end{aligned}$$

$$g_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 + \frac{3}{4} r + \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 0 \\ -\frac{1}{2} \Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{4} r - \frac{1}{2} z_0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g''_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 + \frac{3}{4} r + \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 2r \\ \frac{1}{2} \Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4} r + \frac{1}{2} z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g'_4 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 - \frac{3}{4} r - \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 0 \\ \frac{1}{2} \Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4} r + \frac{1}{2} z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g'_6 = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 + \frac{3}{4} r + \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 0 \\ \frac{1}{2} \Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4} r + \frac{1}{2} z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$g''_8 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_6 - \frac{3}{4} r - \frac{\sqrt{3}}{2} z_0 \\ 2r \\ \frac{1}{2} \Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{4} r + \frac{1}{2} z_0 + 2z_{\Gamma min} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$d_{g6}^{g6'} = \sqrt{\left( \Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{2} r + z_0 + 2 \cdot z_{\Gamma min} \right)^2} = -\Delta_6 - \frac{\sqrt{3}}{2} r - z_0 - 2 \cdot z_{\Gamma min}$$

$$d_{g8}^{g4'} = d_{g6}^{g6''} = d_{g8}^{g4''} = d_{g6}^{g6'} = 0.704\ 360\ 118$$

$$d_{g6}^{g8''} = \sqrt{\left(\sqrt{3}\Delta_6 + \frac{3}{2}r + \sqrt{3}z_0\right)^2 + (2r)^2 + \left(\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 + 2 \cdot z_{\Gamma min}\right)^2}$$

$$d_{g8}^{g6''} = d_{g6'}^{g4'''} = d_{g4'}^{g6'''} = d_{g6}^{g8''} = 1.360\ 953\ 042$$

$$d_{g6}^{g4'} = \sqrt{\left(\sqrt{3}\Delta_6 + \frac{3}{2}r + \sqrt{3}z_0\right)^2 + \left(\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 + 2 \cdot z_{\Gamma min}\right)^2}$$

$$d_{g8}^{g6'} = d_{g6''}^{g4'''} = d_{g8''}^{g6'''} = d_{g6}^{g4'} = 1.150\ 215\ 254$$

$$d_{g6}^{g6''} = \sqrt{(2r)^2 + \left(\Delta_6 + \frac{\sqrt{3}}{2}r + z_0 + 2 \cdot z_{\Gamma min}\right)^2}$$

$$d_{g8}^{g8''} = d_{g6'}^{g6'''} = d_{g4'}^{g4'''} = d_{g6}^{g6''} = 1.012\ 581\ 467$$

数字应用:

- $r = 0.36373 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $\Delta_6 = 0$
- $z_0 = r / \sqrt{3}$
- $z_{\Gamma min} = -0.614\ 679\ 576 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

$$\frac{E_{2PN} \cdot \text{中}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot \left(\text{中}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g}\right)^2} = \frac{4}{d_{g6}^{g6'}} + \frac{4}{d_{g6}^{g8''}} - \frac{4}{d_{g6}^{g4'}} - \frac{4}{d_{g6}^{g6''}}$$

$$E_{total} = \frac{k_e \cdot e^2}{2r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{\left(\text{中}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g}\right)^2}{\text{中}_{ref}^2} + k_e \cdot \frac{\left(\text{中}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g}\right)^2 e^2}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \left[ \frac{4}{d_{g6}^{g6'}} + \frac{4}{d_{g6}^{g8''}} - \frac{4}{d_{g6}^{g4'}} - \frac{4}{d_{g6}^{g6''}} \right]$$

$$\frac{E_{total} \cdot \text{中}_{ref}^2}{k_e \cdot e^2 \cdot \left(\text{中}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g}\right)^2} = \frac{[6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}{2r} + \frac{4}{d_{g6}^{g6'}} + \frac{4}{d_{g6}^{g8''}} - \frac{4}{d_{g6}^{g4'}} - \frac{4}{d_{g6}^{g6''}}$$

$$\begin{aligned} & \frac{E_{total} \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 10^{-15}}{k_e \cdot e^2 \cdot \left(\text{中}_{ref} + \alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g}\right)^2} \\ &= 1.978\ 833\ 293 + \frac{4}{0.704\ 360\ 118} + \frac{4}{1.360\ 953\ 042} - \frac{4}{1.150\ 215\ 254} \\ & \quad - \frac{4}{1.012\ 581\ 467} = 1.978\ 833\ 293 + 1.190\ 120\ 7 = 3.168\ 953\ 993 \end{aligned}$$

这里，

$$E_{\text{total}} = E_{\text{He000}} = -28.297\,499\,001 \text{ MeV} = -45.337\,686\,948 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

我们推导出  $\alpha_g$  的值：

$$\frac{E_{\text{total}} \cdot \text{中}_{\text{ref}}^2 \cdot 10^{-15}}{k_e \cdot e^2 \cdot [3.168\,953\,993]} = \left( \text{中}_{\text{ref}} + \alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g} \right)^2$$

$$\alpha_g \cdot \text{中}_{\delta g} = \sqrt{\frac{E_{\text{total}} \cdot \text{中}_{\text{ref}}^2 \cdot 10^{-15}}{k_e \cdot e^2 \cdot [3.168\,953\,993]}} - \left( \text{中}_{\text{ref}} \right)$$

我们有：

$$\text{中}_{\delta g} = 12(\text{中}_F + \text{中}_F + \text{中}_H) + 12(\text{中}_H + \text{中}_H + \text{中}_F) = 2979.643212 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_{\text{ref}} = 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_g \text{中}_{\delta g} = \sqrt{\frac{45.337686948 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [3.168\,953\,993]}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_g \text{中}_{\delta g} = \sqrt{\frac{3.380\,596\,505 \cdot 10^{-61}}{1.0}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_g \text{中}_{\delta g} = 22.661\,147\,831 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_g \cdot 2979.643212 \cdot 10^{-31} = 13.561\,147\,831 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_g = 0.004\,551\,266$$

#### 4.9.3 链接电子之间的连接建模

这种类型的键可以存在于两个核子之间。核子包括质子和中子或品晶子。下图显示了质子和中子的顶视图。

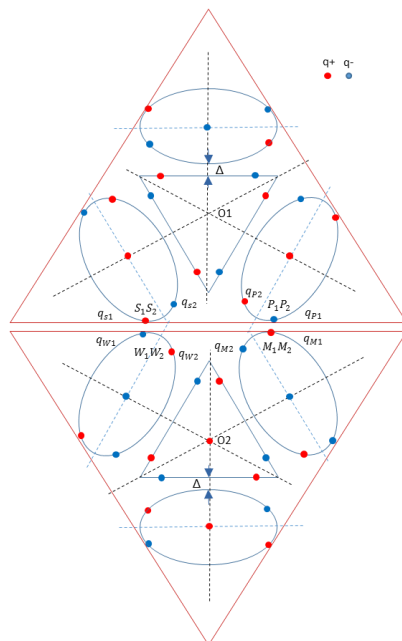


图43 - 有结电子之间的键

接触点定义如下：

1. O1 核子的外部电偶与 O2 核子的外部电偶接触，形成 4 对。
2. 与图表相比，2 个上部电偶的两个接触点是：S<sub>1</sub> 和 P<sub>1</sub>。
3. 与图表相比，2 个下部电偶的两个接触点是：S<sub>2</sub> 和 P<sub>2</sub>。
4. 与 O1 核子接触的 O2 核子外部电偶数必然为 4 个。
5. 对比图表，2 个上部电偶的两个接触点分别是：W<sub>1</sub> 和 M<sub>1</sub>。W<sub>1</sub> 与 S<sub>1</sub> 非常接近。M<sub>1</sub> 与 P<sub>1</sub> 非常接近。
6. 与图表相比，2 个下部电偶的两个接触点是：W<sub>2</sub> 和 M<sub>2</sub>。W<sub>2</sub> 与 S<sub>2</sub> 非常接近。M<sub>2</sub> 与 P<sub>2</sub> 非常接近。
7. 电子 q<sub>S1</sub> 和电子 q<sub>W1</sub> 在接触点 S<sub>1</sub> 和 W<sub>1</sub> 处相遇。
8. 电子 q<sub>P1</sub> 和电子 q<sub>M1</sub> 在接触点 P<sub>1</sub> 和 M<sub>1</sub> 处相遇。
9. 电子 q<sub>S2</sub> 和电子 q<sub>W2</sub> 在接触点 S<sub>2</sub> 和 W<sub>2</sub> 处相遇。
10. 电子 q<sub>P2</sub> 和电子 q<sub>M2</sub> 在接触点 P<sub>2</sub> 和 M<sub>2</sub> 处相遇。

为了使两个核子的接触点位于形成两个大三角形的 6 个平面上，所有电偶的旋转都必须同步。

因此，为了发生聚变，核子必须同步。其情况与三角子和晶晶子相同。

除了同步之外，对旋转方向或能量水平不再有任何限制。事实上，接近接触点的两个电子具有相反的符号。因此，它们可以（但不一定）具有相同的能量水平和相同的运动方向。

接触点不在现有接触点的中间。它们的位置有点偏僻。但这并不妨碍连接的发生。

接触点以 4 个为一组。这使得连接稳定。

每个核子或晶晶子有 4 种情况。我们以第一个核子 O1 为例：

1. 电子 q<sub>P1</sub>, q<sub>P2</sub>, q<sub>S1</sub> 和 q<sub>S2</sub> 处于同一能级 E<sub>1</sub>。
2. 电子 q<sub>P1</sub>, q<sub>P2</sub>, q<sub>S1</sub> 和 q<sub>S2</sub> 处于同一能级 E<sub>2</sub>, E<sub>2</sub> > E<sub>1</sub>。
3. 电子 q<sub>P1</sub>, q<sub>P2</sub>, q<sub>S1</sub> 和 q<sub>S2</sub> 具有不同的能级 E<sub>P1</sub> = E<sub>P2</sub> = E<sub>1</sub> 和 E<sub>S1</sub> = E<sub>S2</sub> = E<sub>2</sub>。

4. 电子  $q_{p1}$ ,  $q_{p2}$ ,  $q_{s1}$  和  $q_{s2}$  具有不同的能级  $E_{p1} = E_{p2} = E_2$  和  $E_{s1} = E_{s2} = E_1$ .

结合第二个 O2 晶晶子的 4 种情况，一共有 16 种可能的组合。但由于对称性，结合能级只有 6 个。

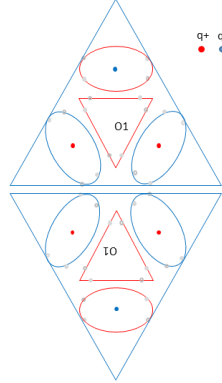
这要求电子 Q 和 W 也具有相同的能级  $E_2$ 。  $E_2 \neq E_1$ 。这要求电子 Q 和 W 也具有不同的能级  $E_2$  和  $E_1$ 。第一种情况对应于质子-中子键。第二种情况对应于质子-质子、中子-中子或质子-中子键。

#### 4.9.3.1 案件 1: 电子 $q_s$ 和 $q_p$ 处于同一能级 $E_1$

通过与 O2 核子的 4 种情况相结合，我们得到以下 4 种组合：

1. 电子  $q_{w1}$ ,  $q_{w2}$ ,  $q_{m1}$  和  $q_{m2}$  具有相同的能级  $E_1$ .

$$L_{11} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \end{pmatrix}$$



结合能是否应该除以系数  $k$ ？确实，当电荷不只有一个扭矩时，我们如何确定势能？同样的问题也出现在晶晶子内部。由于接触点是独立的（相距相当远），因此假设它们是独立的。

由于电偶有两个电子，因此结合能可写为：

$$E_{L11} = 2 \cdot 4 \cdot k_e \frac{\text{中}_{10} \text{中}_{10}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d}$$

有必要确定两个电子之间的平均距离  $d$ 。由于两个相对的电偶位于同一平面，因此  $d$  等于它们的直径。

$$d = 2 \cdot r = 2 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 0.72746 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$E_{L11} = 2 \cdot 4 k_e \frac{\text{中}_{10} \text{中}_{10}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} = 2 \cdot 105.532549241 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 13.173648 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

数字应用：

$$\text{中}_{10} = 8.3 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

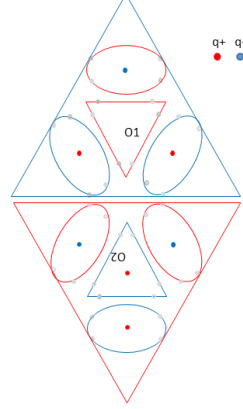
$$\text{中}_{ref} = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,602 \ 176 \ 565 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$k_e = 8,987 \ 551 \ 787 \ 368 \ 176 \cdot 10^9 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ A}^{-2}$$

2. 电子  $q_{W1}$ ,  $q_{W2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  具有相同的能级  $E_2$ .  $E_2 > E_1$ .

$$L_{12} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix}$$

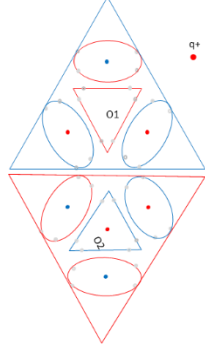


结合能写为:

$$E_{L12} = 2 \cdot 4k_e \frac{\text{中}_{10} \text{中}_{20}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} = 2 \cdot 940.892619526 * 10^{-14} J = 117.4518 * 10^6 eV$$

3. 电子  $q_{W1}$ ,  $q_{W2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  有两种不同的能量水平  $E_{W1} = E_{W2} = E_1$  和  $E_{M1} = E_{M2} = E_2$ .

$$L_{13} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix}$$



结合能写为:

$$E_{L13} = 2 \cdot 2k_e \frac{\text{中}_{10} \text{中}_{10}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} + 2 \cdot 2k_e \frac{\text{中}_{10} \text{中}_{20}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} = 2 \cdot 523.2126 * 10^{-14} J$$

$$E_{L13} = 65.31273 * 10^6 eV$$

4. 电子  $q_{W1}$ ,  $q_{W2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  有两种不同的能量水平  $E_{W1} = E_{W2} = E_2$  和  $E_{M1} = E_{M2} = E_1$ .

$$L'_{14} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \end{pmatrix}$$

案例  $L_{14}$  与案例  $L_{13}$  相同。所以只有 3 种不同的能量连接。

#### 4.9.3.2 案件 2: 电子 $q_s$ 和 $q_p$ 处于同一能级 $E_2$

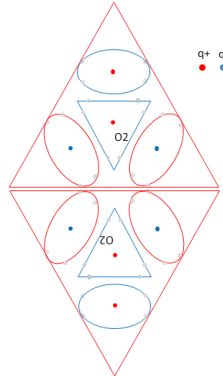
结合 O2 核子的 4 种情况，我们得到以下 4 种组合：

1. 电子  $q_{w1}$ ,  $q_{w2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  具有相同的能级  $E_1$ .

$$L'_{21} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \end{pmatrix}$$

2. 电子  $q_{w1}$ ,  $q_{w2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  具有相同的能级  $E_2$ .  $E_2 > E_1$ .

$$L_{22} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \end{pmatrix}$$



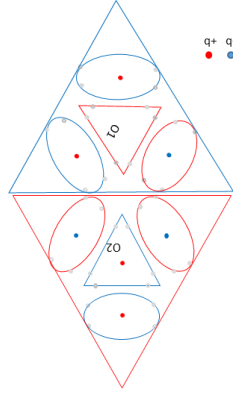
结合能写为：

$$E_{L22} = 2 \cdot 4k_e \frac{\frac{\text{中}_{20}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d}}{\text{中}_{20}} = 2 \cdot 8388.681082 * 10^{-14} J = 1047.161 * 10^6 eV$$

3. 电子  $q_{w1}$ ,  $q_{w2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  有两种不同的能量水平  $E_{w1} = E_{w2} = E_1$  和  $E_{M1} = E_{M2} = E_2$ .

$$L_{23} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \end{pmatrix}$$





结合能写为：

$$E_{L23} = 2 \cdot 2k_e \frac{\frac{\text{中}_{20} \text{中}_{10}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d}} + 2 \cdot 2k_e \frac{\frac{\text{中}_{20} \text{中}_{20}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d}} = 2 \cdot 4664.786844 \cdot 10^{-14} J$$

$$E_{L23} = 582.3062 \cdot 10^6 eV$$

4. 电子  $q_{w1}$ ,  $q_{w2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  有两种不同的能量水平  $E_{w1} = E_{w2} = E_2$  和  $E_{M1} = E_{M2} = E_1$ .

$$L'_{24} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \end{pmatrix}$$

案例  $L_{21}$  与案例  $L_{12}$  相同。案例  $L_{24}$  与案例  $L_{23}$  相同。所以只有 2 种不同的能量连接。

#### 4.9.3.3 案件3: 电子 $q_s$ 和 $q_p$ 具有不同的能级 $E_1$ 和 $E_2$

结合 O2 核子的 4 种情况，我们得到以下 4 种组合：

1. 电子  $q_{w1}$ ,  $q_{w2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  具有相同的能级  $E_1$ .

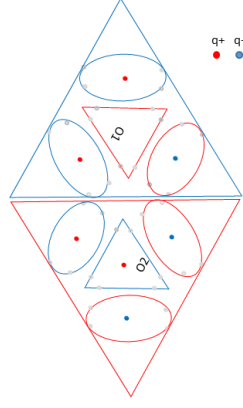
$$L''_{31} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \end{pmatrix}$$

2. 电子  $q_{w1}$ ,  $q_{w2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  具有相同的能级  $E_2$ .  $E_2 > E_1$ .

$$L''_{32} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \end{pmatrix}$$

3. 电子  $q_{w1}$ ,  $q_{w2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  有两种不同的能量水平  $E_{w1} = E_{w2} = E_1$  和  $E_{M1} = E_{M2} = E_2$ .

$$L_{33} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \end{pmatrix}$$



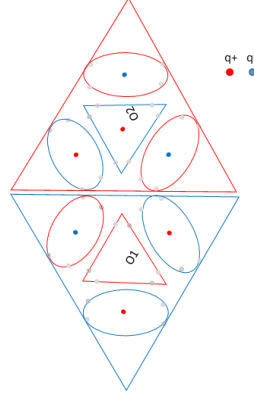
结合能写为:

$$E_{L33} = 2 \cdot 2k_e \frac{\text{中}_{10}^{\text{中}} \text{中}_{10}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} + 2 \cdot 2k_e \frac{\text{中}_{20}^{\text{中}} \text{中}_{20}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d} = 2 \cdot 4247.1068158 * 10^{-14} J$$

$$E_{L33} = 530.1671 * 10^6 eV$$

4. 电子  $q_{W1}$ ,  $q_{W2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  有两种不同的能量水平  $E_{W1} = E_{W2} = E_2$  和  $E_{M1} = E_{M2} = E_1$ .

$$L''_{34} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \end{pmatrix}$$



案例  $L_{31}$  与案例  $L_{13}$  相同。案例  $L_{32}$  相当于案例  $L_{23}$ 。案例  $L_{34}$  与案例  $L_{12}$  相同。因此，不同能量之间的连接只有 1 个。

#### 4.9.3.4 案件4: 电子 $q_s$ 和 $q_p$ 具有不同的能级 $E_2$ 和 $E_1$

结合 O2 核子的 4 种情况，我们得到以下 4 种组合：

1. 电子  $q_{W1}$ ,  $q_{W2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  具有相同的能级  $E_1$ .

$$L'''_{41} = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \end{pmatrix}$$

2. 电子  $q_{W1}$ ,  $q_{W2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  具有相同的能级  $E_2$ .  $E_2 > E_1$ .

$$L_{42}''' = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix}$$

3. 电子  $q_{W1}$ ,  $q_{W2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  有两种不同的能量水平  $E_{W1} = E_{W2} = E_1$  和  $E_{M1} = E_{M2} = E_2$ .

$$L_{43}' = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_1 \\ E_2 & E_1 \\ E_1 & E_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix}$$

4. 电子  $q_{W1}$ ,  $q_{W2}$ ,  $q_{M1}$  和  $q_{M2}$  有两种不同的能量水平  $E_{W1} = E_{W2} = E_2$  和  $E_{M1} = E_{M2} = E_1$ .

$$L_{44}' = \begin{pmatrix} S_1 & W_1 \\ S_2 & W_2 \\ P_1 & M_1 \\ P_2 & M_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 & E_2 \\ E_2 & E_2 \\ E_1 & E_1 \\ E_1 & E_1 \end{pmatrix}$$

案例  $L_{41}$  与案例  $L_{12}$  相同。案例  $L_{42}$  与案例  $L_{23}$  相同。案例  $L_{43}$  与案例  $L_{12}$  相同。案件  $L_{44}$  与案件  $L_{33}$  相同。因此不同能量的连接只有 0 个。

#### 4.9.3.5 结论

能量链接有 6 个不同的级别。

链接数	SP, WM 对	能级（单位： MeV）	可能的配置	$L_n$
<b><math>L_{11}</math></b>	<b>(<math>E_1, E_1</math>), (<math>E_1, E_1</math>)</b>	<b>13.173648</b>	<b>Proton – proton</b>	<b>1</b>
$L_{12}$	( $E_1, E_1$ ), ( $E_2, E_2$ )	117.4518	Proton – neutron	3
$L_{13}$	( $E_1, E_1$ ), ( $E_1, E_2$ )	65.31273	Proton – nucleon	2
$L_{14}$	( $E_1, E_1$ ), ( $E_2, E_1$ )	65.31273	Proton – nucleon	2
$L_{21}$	( $E_2, E_2$ ), ( $E_1, E_1$ )	117.4518	Neutron - Proton	3
<b><math>L_{22}</math></b>	<b>(<math>E_2, E_2</math>), (<math>E_2, E_2</math>)</b>	<b>1047.161</b>	<b>Neutron – neutron</b>	<b>6</b>
$L_{23}$	( $E_2, E_2$ ), ( $E_1, E_2$ )	582.3062	Neutron – nucleon	5
$L_{24}$	( $E_2, E_2$ ), ( $E_2, E_1$ )	582.3062	Neutron – nucleon	5
$L_{31}$	( $E_1, E_2$ ), ( $E_1, E_1$ )	65.31273	Nucleon – Proton	2
$L_{32}$	( $E_1, E_2$ ), ( $E_2, E_2$ )	582.3062	Nucleon – neutron	5
$L_{33}$	( $E_1, E_2$ ), ( $E_1, E_2$ )	530.1671	Nucleon – Nucleon	4
$L_{34}$	( $E_1, E_2$ ), ( $E_2, E_1$ )	117.4518	Nucleon – Nucleon	3
$L_{41}$	( $E_2, E_1$ ), ( $E_1, E_1$ )	65.31273	Nucleon – Proton	2
$L_{42}$	( $E_2, E_1$ ), ( $E_2, E_2$ )	582.3062	Nucleon – neutron	5
$L_{43}$	( $E_2, E_1$ ), ( $E_1, E_2$ )	117.4518	nucleon – nucleon	3
$L_{44}$	( $E_2, E_1$ ), ( $E_2, E_1$ )	530.1671	Nucleon – Nucleon	4

本表中的数值为近似值。

能量最小且因此最稳定的键是两个质子之间的键。但是两个正电荷的存在会产生排斥力，从而削弱这种键。

两个中子之间的键是能量最高的键，因此也是最不稳定的键。

涉及中子的键可能是第二稳定的键。

#### 4.9.4 两个晶晶子之间的键的建模。

2 个晶晶子之间的电子键与 2 个 2 型纯核子之间的键相似。可以在同一平面上将 6 个晶晶子组合成环链。然后继续在同一平面上的外围。

与核子的不同之处在于，没有自由电子能够将另一个平面堆叠在与第一个平面平行的位置。

两个晶晶子组成的块可能是标准模型的中微子  $\nu_e$ ，其质量为 1.777 GeV。

#### 4.9.5 氦核的建模

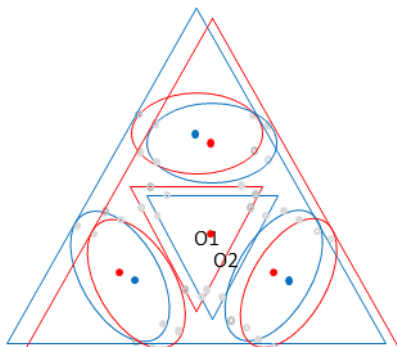
氦核由一个质子和一个中子组成。这两个核子之间的相对位置是什么？

共有 15 种可能的连接（除  $L_{11}$  和  $L_{22}$  之外的所有行）。它们的能量等级按从大到小的顺序排列： $E_{L0}$ ,  $E_{L2}$ ,  $E_{L3}$ ,  $E_{L4}$  和  $E_{L5}$ 。

##### 4.9.5.1 案件 0: 能量水平 $E_{de0}$

通过采取具有负能量的组合，我们有：

$$E_{de0} = E_{L0} = -2.224694 \text{ MeV}$$

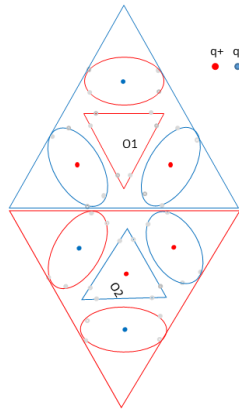


当环境足够冷却时就会发生这种情况。事实上，如果环境是等离子体，低能键就会断裂，就像原子中电子与核之间的键一样。这是冷却过程中的最后一次连接。

##### 4.9.5.2 案件 2: 能量水平 $E_{de2}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L2}$ ，我们有：

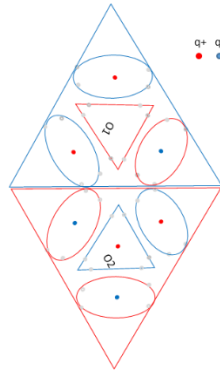
$$E_{de2} = E_{L2} = 65.313 \text{ MeV}$$



#### 4.9.5.3 案件3: 能量水平 $E_{de3}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$ , 我们有:

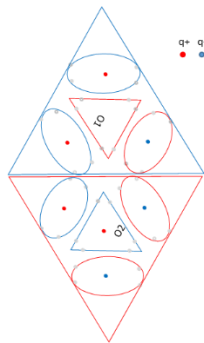
$$E_{de3} = E_{L3} = 117.45 \text{ MeV}$$



#### 4.9.5.4 案件4: 能量水平 $E_{de4}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$ , 我们有:

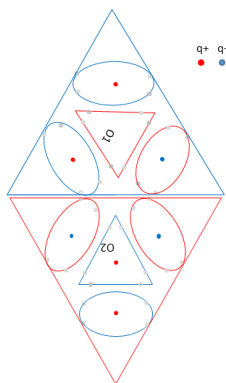
$$E_{de4} = E_{L4} = 530.17 \text{ MeV}$$



#### 4.9.5.5 案件5: 能量水平 $E_{de5}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$ , 我们有:

$$E_{de5} = E_{L5} = 582.31 \text{ MeV}$$



这个组合最有能量。当环境的能量水平超过一定值时，就会形成这种情况。这是聚变后冷却过程中出现的第一种情况。

#### 4.9.5.6 结论

链接计数有 5 个不同的级别。

顺序	组合	结合能	静态稳定性	动态稳定性	电场稳定性	评论
1	De0	-2.224694	10	1	10	堆垛率+
2	De2	65.313	1	60	0	低能量率 $n_0$
3	De3	117.45	1	100	20	低能量率 ++
4	De4	530.17	1	500	-20	中等能量率 --
5	De5	582.31	1	600	0	中等能量率 $n_0$

在冷却过程中，氘的存在情况按 5 个级别依次降序出现。首先是能量为  $E_{de4}$  的氘核。随后温度下降，氘核的能量为  $E_{de3}$ 。等等。

当然，除了  $E_{L0}$  的情况外，核子必须满足同步条件。

#### 4.9.6 氘核的建模

氘核由一个质子和两个中子组成。这三个核子之间的相对位置是什么？

质子和第一个中子之间的键具有与氘相同的可能性。

为了连接剩余的中子，有多种可能性将其粘贴到已经固定的中子或质子上。

##### 4.9.6.1 案件 0n: 能量水平 $E_{tr0n}$

通过采取具有负能量的组合，我们有：

$$E_{tr0n} = -4.241\,082\text{ MeV}$$

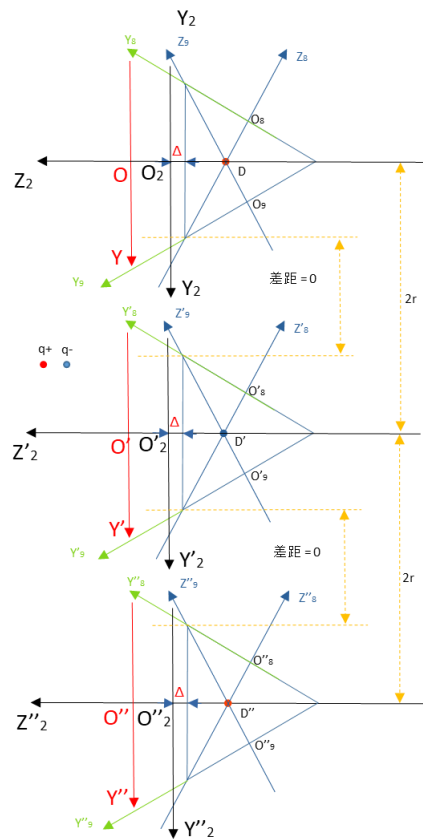
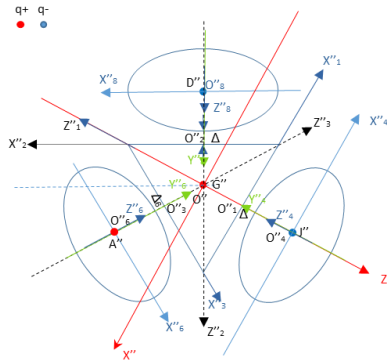
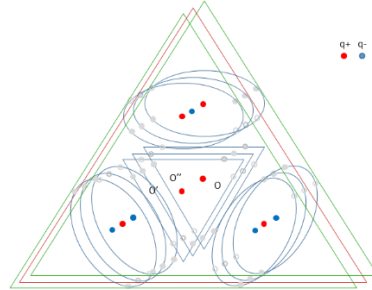
第一个连接是  $L_{tr0n}$ ，质子与第一个中子平行。

4.9.6.1.1 案件 00: 能量水平  $E_{tr00}$ 

取第二个中子具有负能量的组合，我们得到：

$$E_{tr00} = -8.482\ 164\ \text{MeV} \text{ (实验值)}$$

两个连接均记作  $L_{tr00}$ . 第二个中子与质子平行。



这些是冷却过程中的最后连接。

结合能可以用与氦相同的方式计算。

点 D、D'、D''、J、J'、J''、A、A'、A''、G、G'、G'' 在整体参考系中的坐标分别为：

$$\overrightarrow{OD} = 2 \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

$$D(x, y, z) = 2O_2 \left( -\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = D \left( -\sqrt{3}\frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = D \left( -r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D'(x, y, z) = D' \left( -r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D''(x, y, z) = D'' \left( -r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A(x, y, z) = 2O_3 \left( \frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = A \left( \sqrt{3}\frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = A \left( r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A'(x, y, z) = A' \left( r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A''(x, y, z) = A'' \left( r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J(x, y, z) = 2O_1(0, 0, z_0) = J \left( 0, 0, 2\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = J \left( 0, 0, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J'(x, y, z) = J' \left( 0, -2r, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J''(x, y, z) = J'' \left( 0, -4r, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$G(x, y, z) = G(0, 0, 0)$$

$$G'(x, y, z) = G'(0, -2r, 0)$$

$$G''(x, y, z) = G''(0, -4r, 0)$$

确定第一个中子和质子的电荷对之间的势能：

$$E = E_A^{A'} + E_D^{D'} + E_J^{J'} + E_D^{J'} + E_J^{D'} + E_G^{A'} - E_A^{D'} - E_A^{J'} - E_D^{A'} - E_J^{A'} - E_G^{D'} - E_G^{J'}$$

$$E_x^{y'} = k_e \frac{\text{中}_x \cdot \text{中}_{y'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_B \cdot \text{中}_{\delta y''}) (\text{中}_{ref} + \alpha_B \cdot \text{中}_{\delta y'''})}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}} e^2$$

附加术语定义如下：



- $\alpha_B$  : 中性电荷影响氘的比例系数。
- $中_{\delta y''}$  : 不含静电的氘的中性电荷。

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(中_{ref} + \alpha_B \cdot 中_{\delta y''})^2}{中_{ref}^2}$$

这里,

$$E = E_{tr00} / 2 = -4.241\ 082\ \text{MeV} = 6.794976759 \cdot 10^{-13}\ \text{J}.$$

我们推导出  $\alpha_B$  的值:

$$\frac{E \cdot 中_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} = (中_{ref} + \alpha_B \cdot 中_{\delta y''})^2$$

$$\alpha_B \cdot 中_{\delta y''} = \sqrt{\frac{E \cdot 中_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - (中_{ref})$$

我们有:

$$中_{\delta y''} = 8(中_F + 中_F + 中_H) + 10(中_H + 中_H + 中_F) = 2300.946\ 702 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}$$

$$中_{ref} = 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_B 中_{\delta y''} = \sqrt{\frac{6.794976759 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_B 中_{\delta y''} = \sqrt{\frac{24.650693695 \cdot 10^{-61}}{1.0}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_B 中_{\delta y''} = 15.700\ 539\ 384 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

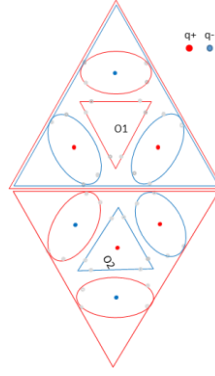
$$\alpha_B \cdot 2300.946702 \cdot 10^{-31} = 6.600\ 539\ 384 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_B = 0.002\ 868\ 619$$

#### 4.9.6.1.2 案件 02: 能量水平 $E_{tr02}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L2}$  对于第二个中子, 我们有:

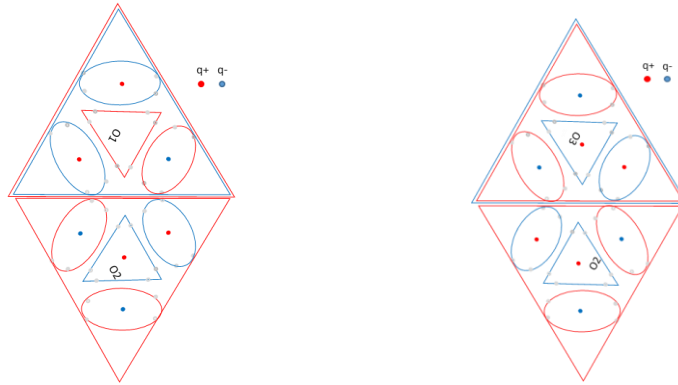
$$E_{tr02} = E_{tr0n} + E_{L2} = 65.313 - 4.241\ 082\ \text{MeV} = 61.072\ \text{MeV}$$



#### 4.9.6.1.3 案件 03: 能量水平 $E_{tr03}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$  对于第二个中子, 我们有:

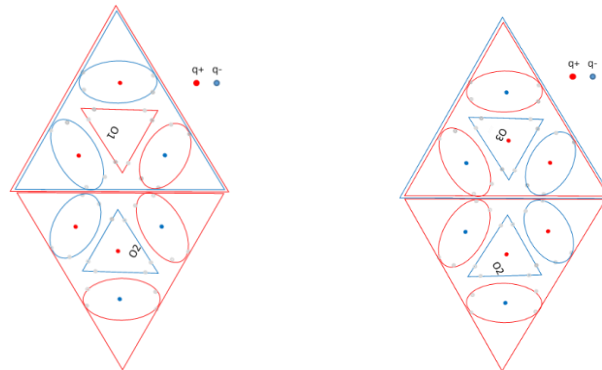
$$E_{tr03} = E_{tr0n} + E_{L3} = 117.45 - 4.241\ 082\ \text{MeV} = 113.209\ \text{MeV}$$



#### 4.9.6.1.4 案件 04: 能量水平 $E_{tr04}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$  对于第二个中子, 我们有:

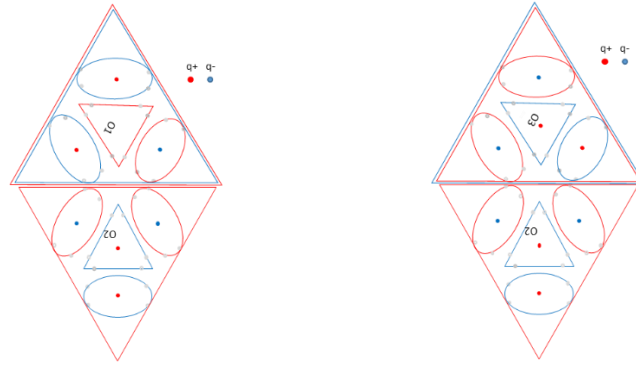
$$E_{tr04} = E_{tr0n} + E_{L4} = 530.1671 - 4.241\ 082\ \text{MeV} = 525.926\ \text{MeV}$$



#### 4.9.6.1.5 案件 05: 能量水平 $E_{tr05}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

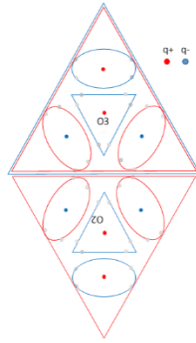
$$E_{tr05} = E_{tr0n} + E_{L5} = 582.3062 - 4.241\ 082\ \text{MeV} = 578.065\ \text{MeV}$$



#### 4.9.6.1.6 案件 06: 能量水平 $E_{tr06}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L6}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{tr06} = E_{tr0n} + E_{L6} = 1047.161 - 4.241\,082\text{ MeV} = 1042.92\text{ MeV}$$



#### 4.9.6.2 案件 2n: 能量水平 $E_{tr2n}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L2}$ , 我们有:

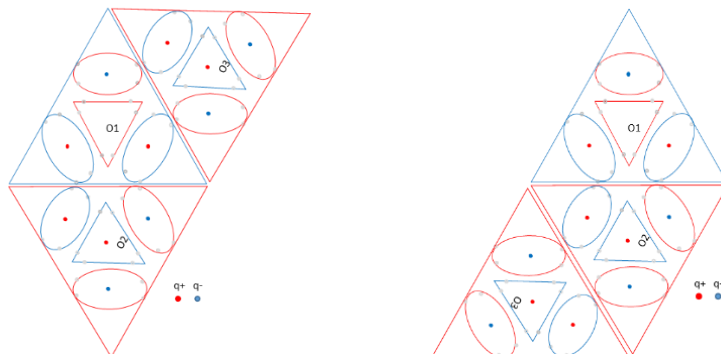
$$E_{tr2n} = E_{L2} = 65.31273\text{ MeV}$$

第一个连接是  $L_{2n}$ . 质子与第一个中子并排。

#### 4.9.6.2.1 案件 23: 能量水平 $E_{tr23}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$  对于第二个中子, 我们有:

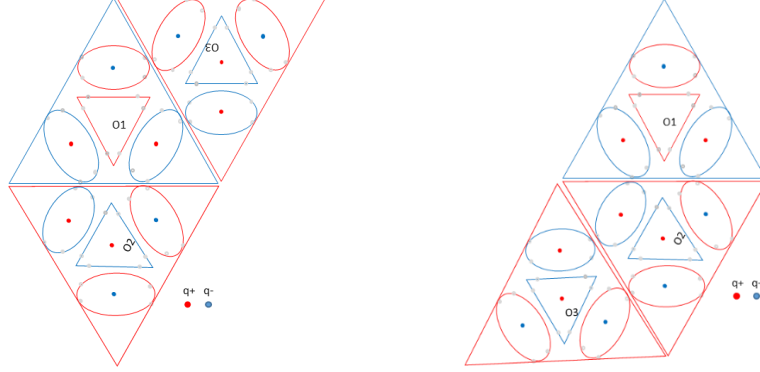
$$E_{tr23} = E_{L2} + E_{L3} = 65.31273 + 117.4518\text{ MeV} = 182.76\text{ MeV}$$



4.9.6.2.2 案件 24: 能量水平  $E_{tr24}$ 

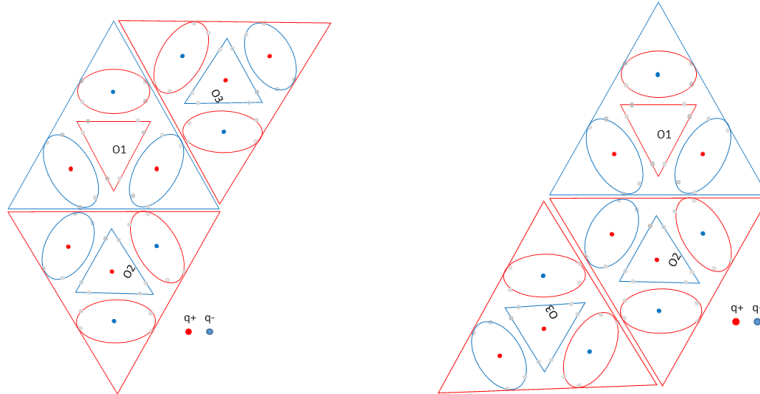
通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{tr24} = E_{L2} + E_{L4} = 65.31273 + 530.1671 \text{ MeV} = 595.48 \text{ MeV}$$

4.9.6.2.3 案件 25: 能量水平  $E_{tr25}$ 

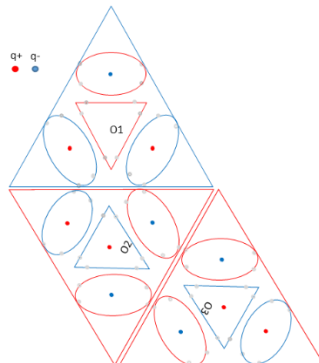
通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{tr25} = E_{L2} + E_{L5} = 65.31273 + 582.3062 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$

4.9.6.2.4 案件 26: 能量水平  $E_{tr26}$ 

通过采取具有能量的组合  $E_{L6}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{tr26} = E_{L2} + E_{L6} = 65.31273 + 1047.161 \text{ MeV} = 1112.47 \text{ MeV}$$



#### 4.9.6.3 案件 3n: 能量水平 $E_{tr3n}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$ , 我们有:

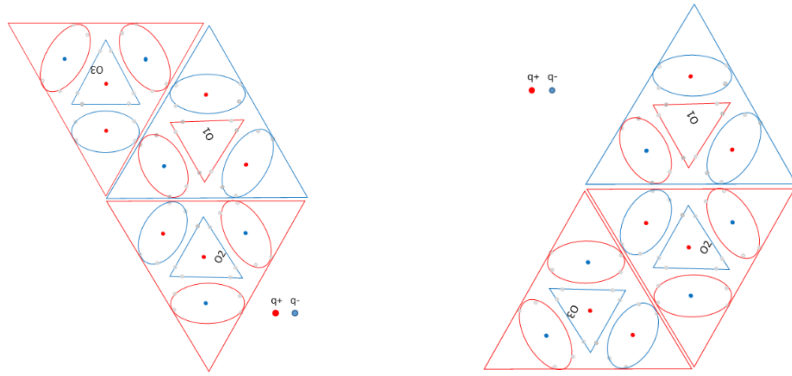
$$E_{tr3n} = E_{L3} = 117.4518 \text{ MeV}$$

第一个连接是  $L_{3n}$ . 质子与第一个中子并排。

##### 4.9.6.3.1 案件 33: 能量水平 $E_{tr33}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$  对于第二个中子, 我们有:

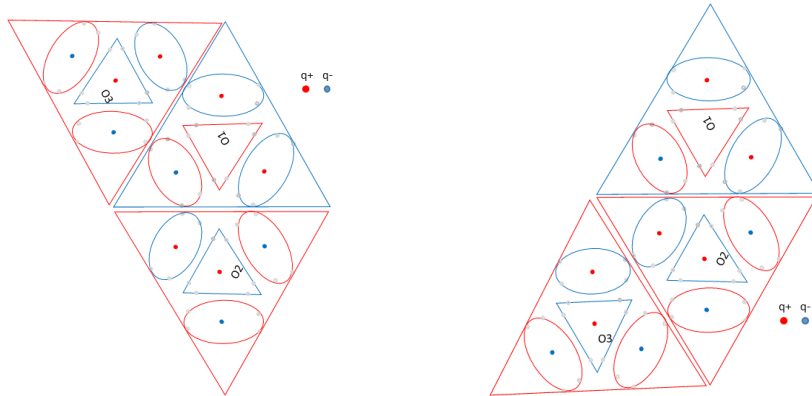
$$E_{tr33} = E_{L3} + E_{L3} = 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 234.90 \text{ MeV}$$



##### 4.9.6.3.2 案件 34: 能量水平 $E_{tr34}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$  对于第二个中子, 我们有:

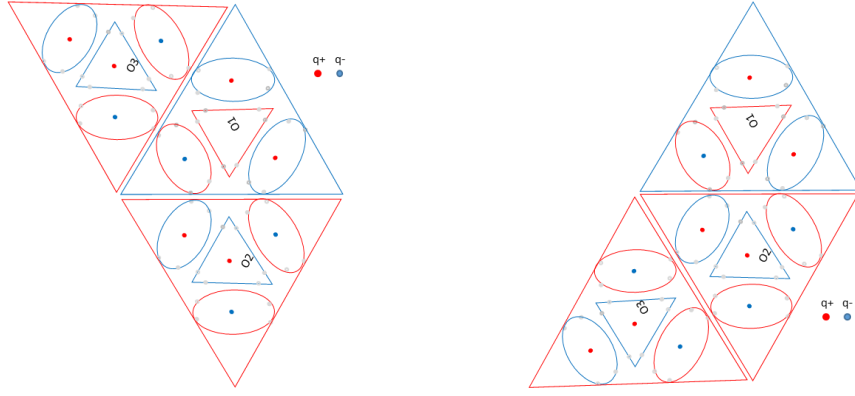
$$E_{tr34} = E_{L3} + E_{L4} = 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$



##### 4.9.6.3.3 案件 35: 能量水平 $E_{tr35}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

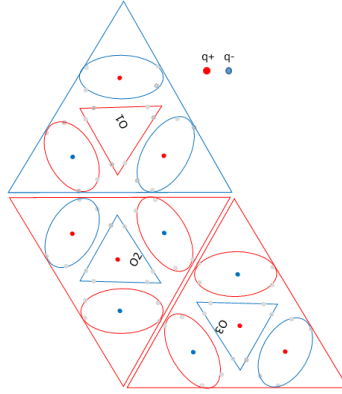
$$E_{tr35} = E_{L3} + E_{L5} = 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 699.76 \text{ MeV}$$



#### 4.9.6.3.4 案件 36: 能量水平 $E_{tr36}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L6}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{tr36} = E_{L3} + E_{L6} = 117.4518 + 1047.161 \text{ MeV} = 1164.61 \text{ MeV}$$



#### 4.9.6.4 案件 4n: 能量水平 $E_{tr4n}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$ , 我们有:

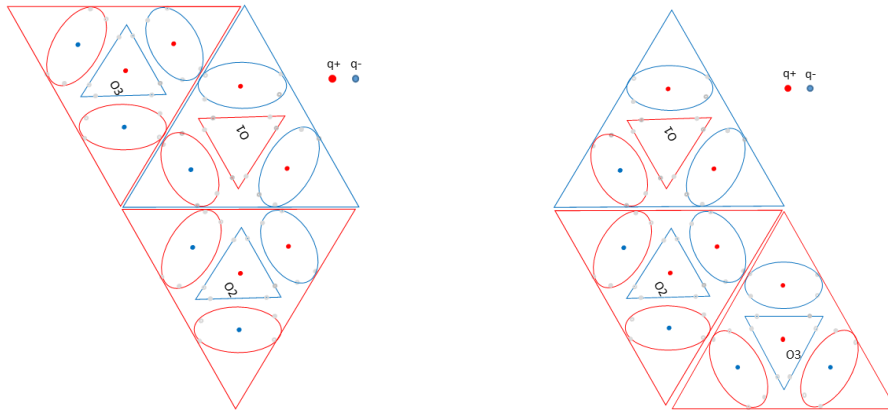
$$E_{tr4n} = E_{L4} = 530.1671 \text{ MeV}$$

第一个连接是  $L_{4n}$ . 质子与第一个中子并排。

#### 4.9.6.4.1 案件 44: 能量水平 $E_{tr44}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$  对于第二个中子, 我们有:

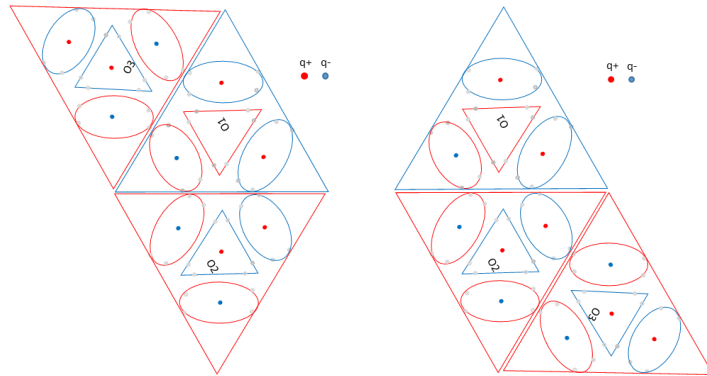
$$E_{tr44} = E_{L4} + E_{L4} = 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1060.33 \text{ MeV}$$



#### 4.9.6.4.2 案件 45: 能量水平 $E_{tr45}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

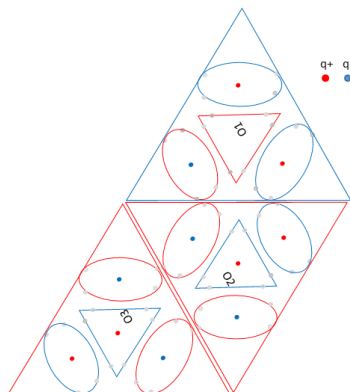
$$E_{tr45} = E_{L4} + E_{L5} = 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1112.47 \text{ MeV}$$



#### 4.9.6.4.3 案件 46: 能量水平 $E_{tr46}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L6}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{tr46} = E_{L4} + E_{L6} = 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 1577.33 \text{ MeV}$$



#### 4.9.6.5 案件 5n: 能量水平 $E_{tr4n}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$ , 我们有:

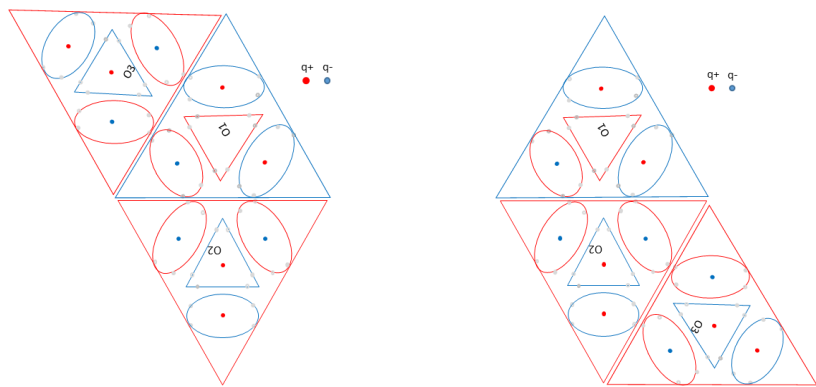
$E_{tr5n} = E_{L5} = 582.3062 \text{ MeV}$

第一个连接是  $L_{5n}$ . 质子与第一个中子并排。

4.9.6.5.1 案件 55: 能量水平  $E_{tr55}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

$E_{tr55} = E_{L5} + E_{L5} = 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1164.61 \text{ MeV}$



4.9.6.6 结论

键数包括 18 个不同的能级。

顺序	组合	结合能	静态稳定性	动态稳定性	电场稳定性	评论
1	Tr00	-8.4822	10	1	10	堆垛率+
2	Tr02	61.072	10	60	0	低能量率 n0
3	Tr03	113.209	10	100	20	低能量率 ++
4	Tr23	182.76	1	200	20	低能量率 ++
5	Tr33	234.90	1	200	40	低能量率 ++++
6	Tr04	525.93	10	500	-20	中等能量率 --
7	Tr05	578.07	10	600	0	中等能量率 n0
8	Tr24	595.48	1	600	-20	中等能量率 --
9	Tr25	647.62	1	600	0	中等能量率 n0
10	Tr34	647.62	1	600	0	中等能量率 n0
11	Tr35	699.76	1	700	20	中等能量率 ++
12	Tr06	1042.92	10	1000	-20	高能量率 --
13	Tr44	1060.33	1	1000	-40	高能量率 ----
14	Tr26	1112.47	1	1000	-20	高能量率 --
15	Tr45	1112.47	1	1100	-20	高能量率 --
16	Tr36	1164.61	1	1000	0	高能量率 n0
17	Tr55	1164.61	1	1100	0	高能量率 n0
18	Tr46	1577.33	1	1500	-40	高能量率 ----

Tr33 配置表现为稳定的低能量情况，且具有较高的存在率。



#### 4.9.7 氦 4 原子核的建模

氦 4 原子核由两个质子和两个中子组成。这四个核子之间的相对位置是怎样的？

为了描述可能的配置，我们从氦的描述开始，对于每一种情况，都会添加一个质子。

##### 4.9.7.1 案件 0n: 能量水平 $E_{he0n}$

以第一个键的负能量组合为例，我们得到：

$$E_{he0n} = -9.432\ 500\ \text{MeV}$$

第一个连接是  $L_{he0n}$ 。第一个质子与第一个中子平行。

##### 4.9.7.1.1 案件 00: 能量水平 $E_{he00}$

取第二个中子具有负能量的组合，我们得到：

$$E_{he00} = E_{he0n} + E_{he0n} = -18.865\ 00\ \text{MeV}$$

两个连接均记作  $L_{he00}$ 。第二个中子与第一个质子平行。

本文不研究 P-N-P 情况。

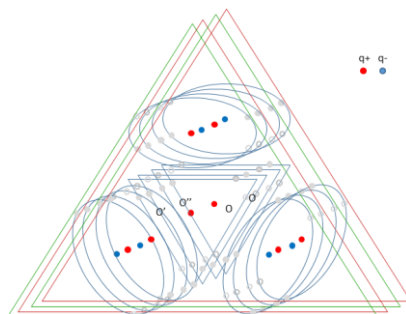
##### 4.9.7.1.1.1 案件 000: 能量水平 $E_{he000}$

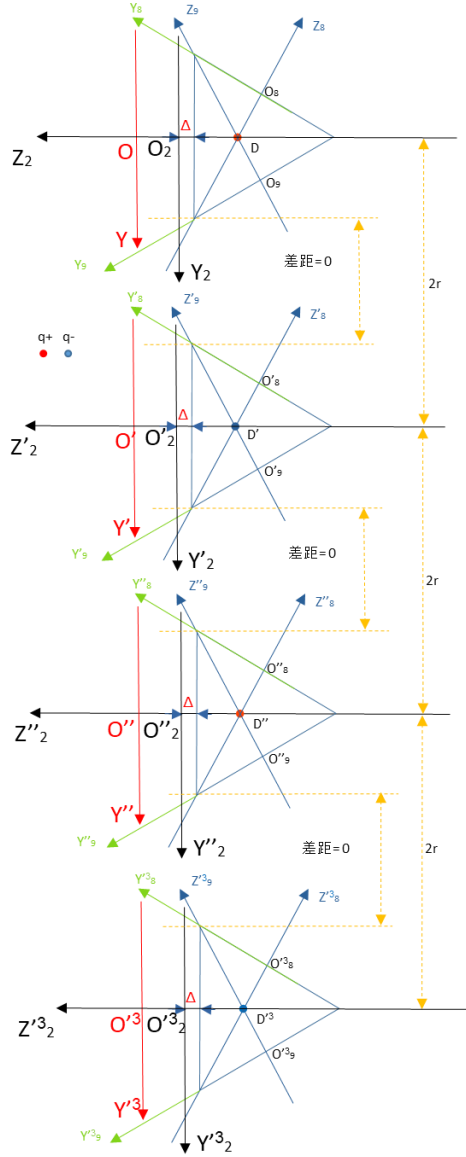
最后一个质子具有负能级：

$$E_{he000} = E_{he000} + E_{he0n} = -28.297\ 499\ \text{MeV}$$

4 个核子按以下两种方式之一堆叠：

- N-P-N-P





结合能可以用与氦相同的方法计算。

点 D、D'、D''、D'<sup>3</sup>、J、J'、J''、J'<sup>3</sup>、A、A'、A''、A'<sup>3</sup>、G、G'、G''、G'<sup>3</sup> 在整体参考系中的坐标分别为：

$$\overrightarrow{OD} = 2 \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

$$D(x, y, z) = 2O_2 \left( -\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = D \left( -\sqrt{3}\frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = D \left( -r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D'(x, y, z) = D' \left( -r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D''(x, y, z) = D'' \left( -r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D'^3(x, y, z) = D'^3 \left( -r, -6r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A(x, y, z) = 2O_3\left(\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0\right) = A\left(\sqrt{3}\frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}}\right) = A\left(r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}}\right)$$

$$A'(x, y, z) = A'\left(r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}}\right)$$

$$A''(x, y, z) = A''\left(r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}}\right)$$

$$A'^3(x, y, z) = A'^3\left(r, -6r, -\frac{r}{\sqrt{3}}\right)$$

$$J(x, y, z) = 2O_1(0, 0, z_0) = J\left(0, 0, 2\frac{r}{\sqrt{3}}\right) = J\left(0, 0, \frac{2r}{\sqrt{3}}\right)$$

$$J'(x, y, z) = J'\left(0, -2r, \frac{2r}{\sqrt{3}}\right)$$

$$J''(x, y, z) = J''\left(0, -4r, \frac{2r}{\sqrt{3}}\right)$$

$$J'^3(x, y, z) = J'^3\left(0, -6r, \frac{2r}{\sqrt{3}}\right)$$

$$G(x, y, z) = G(0, 0, 0)$$

$$G'(x, y, z) = G'(0, -2r, 0)$$

$$G''(x, y, z) = G''(0, -4r, 0)$$

$$G'^3(x, y, z) = G'^3(0, -6r, 0)$$

确定第一个中子和质子的电荷对之间的势能：

$$E = E_A^{A'} + E_D^{D'} + E_f^{J'} + E_D^{J'} + E_f^{D'} + E_G^{A'} - E_A^{D'} - E_A^{J'} - E_D^{A'} - E_f^{A'} - E_G^{D'} - E_G^{J'}$$

$$E_x^{y'} = k_e \frac{\text{中}_x \cdot \text{中}_{y'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{\left(\text{中}_{ref} + \alpha_c \cdot \text{中}_{\delta y'3}\right)^2 e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}}$$

附加术语定义如下：

- $\alpha_c$  : 中性电荷影响氦的比例系数。
- $\text{中}_{\delta y'3}$  : 不含静电的氦的中性电荷。

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_C \cdot \text{中}_{\delta y'3})^2}{\text{中}_{ref}^2}$$

这里，

$$E = E_{\text{he000}}/3 = -9.432\,499\,667 \text{ MeV} = -15.112\,562\,316 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

我们推导出  $\alpha_C$  的值：

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} = (\text{中}_{ref} + \alpha_C \cdot \text{中}_{\delta y'3})^2$$

$$\alpha_C \cdot \text{中}_{\delta y'3} = \sqrt{\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - (\text{中}_{ref})$$

我们有：

$$\text{中}_{\delta y'3} = 12(\text{中}_F + \text{中}_F + \text{中}_H) + 12(\text{中}_H + \text{中}_H + \text{中}_F) = 2979.643212 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{中}_{ref} = 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_C \text{中}_{\delta y'3} = \sqrt{\frac{15.112562316 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_C \text{中}_{\delta y'3} = \sqrt{\frac{54.825080027 \cdot 10^{-61}}{1.0}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_C \text{中}_{\delta C} = 23.414\,756\,037 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_C \cdot 2979.643212 \cdot 10^{-31} = 14.314\,756\,037 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_C = 0.004\,804\,185$$

与使用 He0330 配置计算的系数进行比较，但使用负能量径向键：

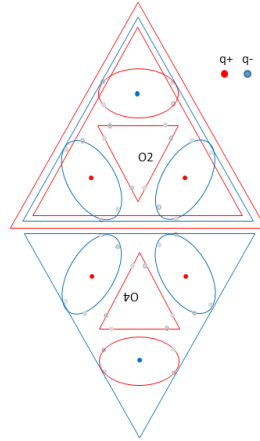
$$\alpha_g = 0.004\,551\,266$$

粗略地说，它们是等价的。

#### 4.9.7.1.1.2 案件 001: 能量水平 $E_{\text{he001}}$

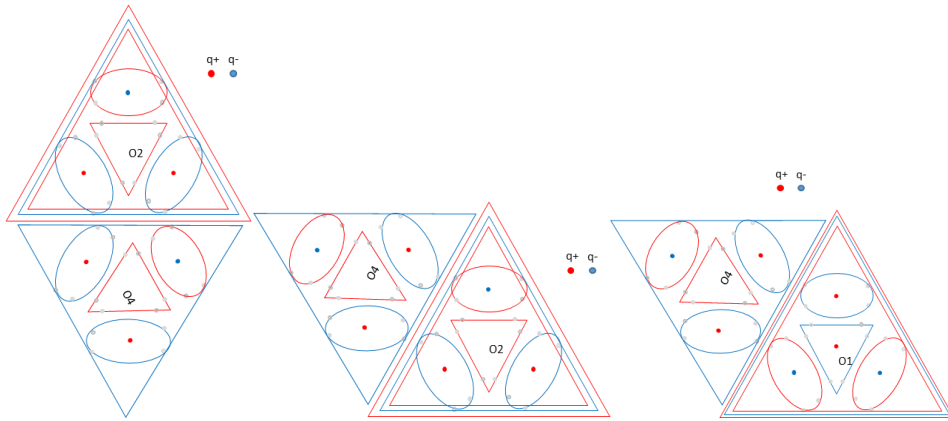
最后一个质子的能量水平  $E_{L1}$ ：

$$E_{\text{he001}} = E_{\text{he00}} + E_{L1} = 13.173648 - 18.865 = -5.691\,351 \text{ MeV}$$



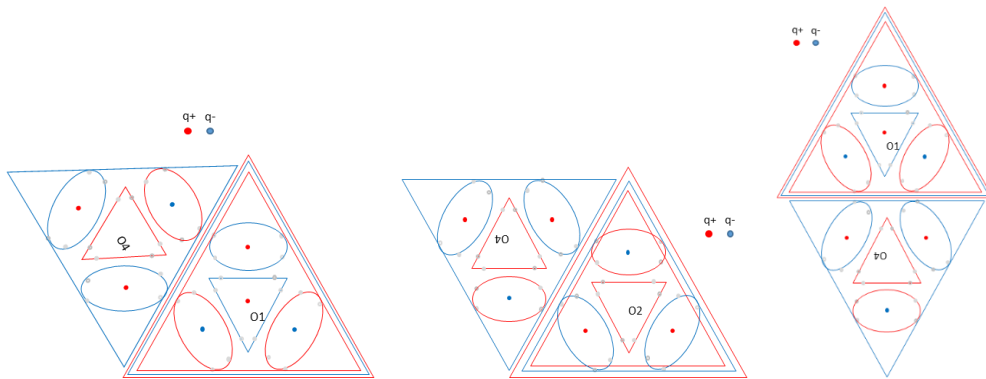
4.9.7.1.1.3 案件 002: 能量水平  $E_{\text{he002}}$   
 最后一个质子的能量水平  $E_{L2}$ :

$$E_{\text{he002}} = E_{\text{he00}} + E_{L2} = 65.31273 - 18.865 = 46.448 \text{ MeV}$$



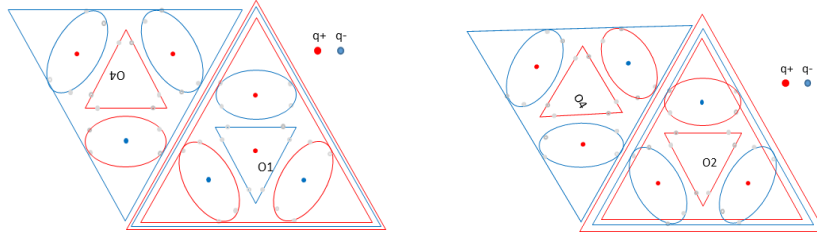
4.9.7.1.1.4 案件 003: 能量水平  $E_{\text{he003}}$   
 最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$ :

$$E_{\text{he003}} = E_{\text{he00}} + E_{L3} = 117.45 - 18.865 \text{ MeV} = 98.585 \text{ MeV}$$



4.9.7.1.1.5 案件 004: 能量水平  $E_{\text{he004}}$   
 最后一个质子的能量水平  $E_{L4}$ :

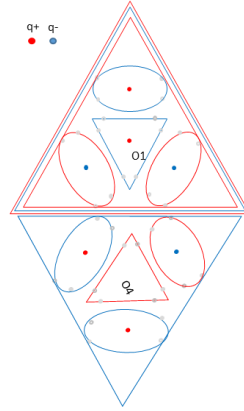
$$E_{\text{he004}} = E_{\text{he00}} + E_{L4} = 530.1671 - 18.865 \text{ MeV} = 511.302 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.1.6 案件 005: 能量水平 $E_{\text{he005}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L5}$ :

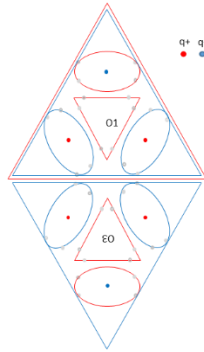
$$E_{\text{he005}} = E_{\text{he00}} + E_{L5} = 582.3062 - 18.865 \text{ MeV} = 563.441 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.2 案件 01: 能量水平 $E_{\text{he01}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L1}$  对于第二个中子, 我们有:

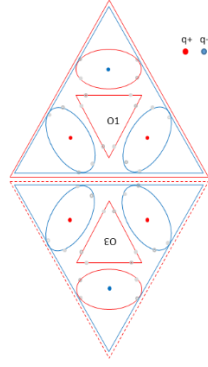
$$E_{\text{he01}} = E_{\text{he0n}} + E_{L1} = 13.173648 - 9.4325 \text{ MeV} = 3.741 \ 147 \ 667 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.2.1 案件 010: 能量水平 $E_{\text{he010}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L0}$ :

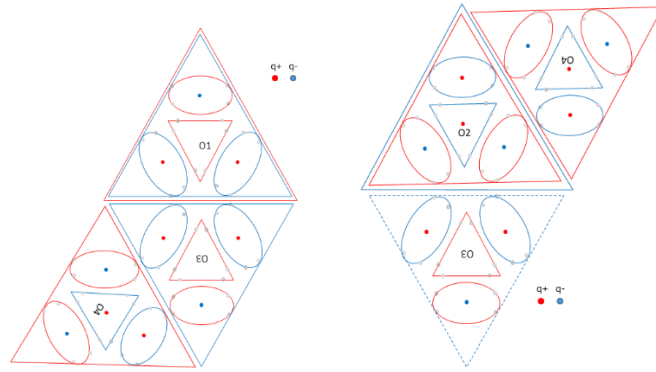
$$E_{\text{he010}} = E_{\text{he0n}} + E_{L1} + E_{\text{he0n}} = -9.4325 + 13.173648 - 9.4325 = -5.691 \ 351 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.2.2 案件 013: 能量水平 $E_{\text{he013}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$ :

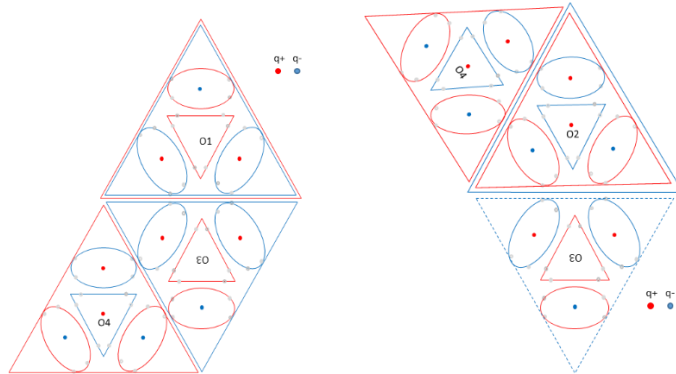
$$E_{\text{he013}} = E_{\text{he0n}} + E_{L1} + E_{L3} = 117.4518 + 13.173648 - 9.4325 = 121.191 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.2.3 案件 014: 能量水平 $E_{\text{he014}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L4}$ :

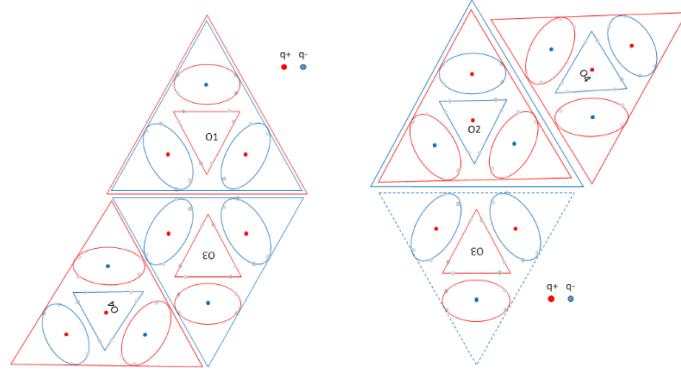
$$E_{\text{he014}} = E_{\text{he0n}} + E_{L1} + E_{L4} = 530.1671 + 13.173648 - 9.4325 = 533.908 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.2.4 案件 015: 能量水平 $E_{\text{he015}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L5}$ :

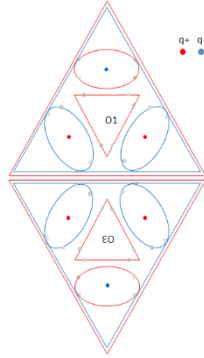
$$E_{\text{he015}} = E_{\text{he0n}} + E_{L1} + E_{L5} = 582.3062 + 13.173648 - 9.4325 = 586.047348 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.2.5 案件 0160: 能量水平 $E_{\text{he0160}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L6}$  和 能量水平  $E_{\text{he0n}}$ :

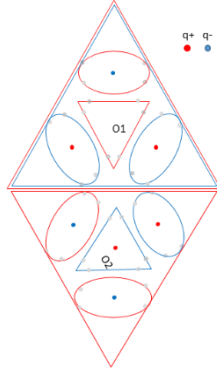
$$E_{\text{he0160}} = E_{\text{he0n}} + E_{L1} + E_{L6} + E_{\text{he0n}} = 1047.161 + 13.173648 - 9.4325 - 9.4325 = 1041.469648 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.3 案件 02: 能量水平 $E_{\text{he02}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L2}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{\text{he02}} = E_{\text{he0n}} + E_{L2} = 65.313 - 9.4325 \text{ MeV} = 55.8805 \text{ MeV}$$

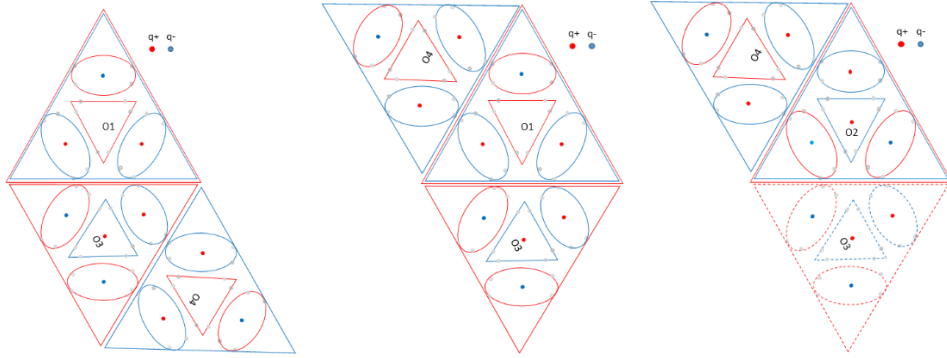


#### 4.9.7.1.3.1 案件 022: 能量水平 $E_{\text{he022}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L2}$ :

$$E_{\text{he022}} = E_{\text{he0n}} + E_{L2} + E_{L2} = 65.31273 + 65.31273 - 9.4325 = 121.19296 \text{ MeV}$$

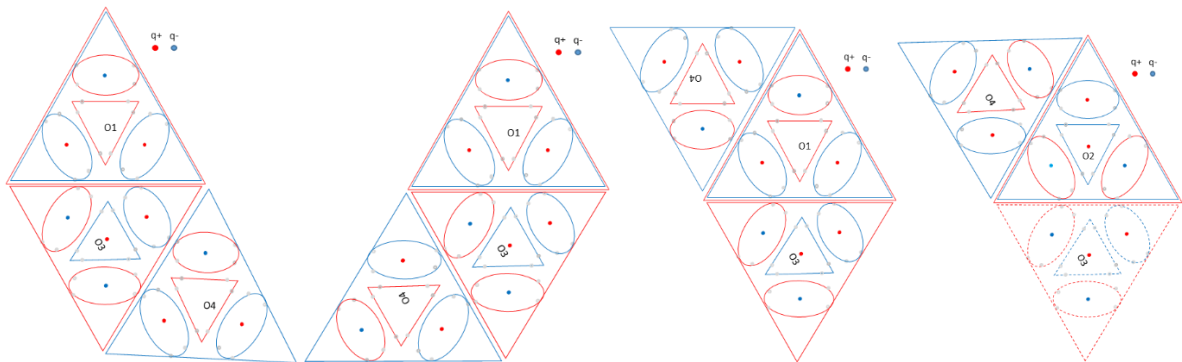




#### 4.9.7.1.3.2 案件 023: 能量水平 $E_{\text{he023}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$ :

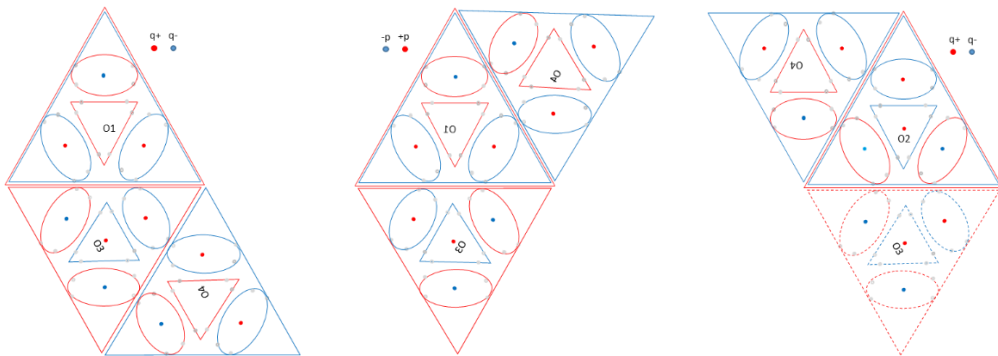
$$E_{\text{he023}} = E_{\text{he0n}} + E_{L2} + E_{L3} = 117.4518 + 65.31273 - 9.4325 = 173.33203 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.3.3 案件 024: 能量水平 $E_{\text{he024}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L4}$ :

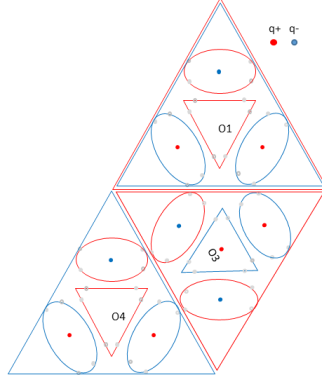
$$E_{\text{he024}} = E_{\text{he0n}} + E_{L2} + E_{L4} = 530.1671 + 65.31273 - 9.4325 = 586.04733 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.3.4 案件 025: 能量水平 $E_{\text{he025}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L5}$ :

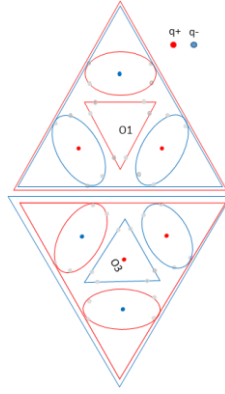
$$E_{\text{he025}} = E_{\text{he0n}} + E_{L2} + E_{L5} = 582.3062 + 65.31273 - 9.4325 = 638.18643 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.3.5 案件 0250: 能量水平 $E_{\text{he0250}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L5}$  和 能量水平  $E_{L0}$ :

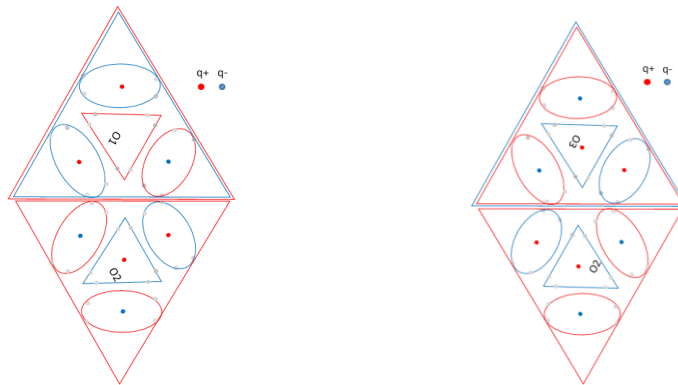
$$E_{\text{he022}} = E_{\text{he0n}} + E_{L2} + E_{L5} + E_{\text{he0n}} = 582.3062 + 65.31273 - 9.4325 - 9.4325 = 628.75393 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.4 案件 03: 能量水平 $E_{\text{he03}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$  对于第二个中子, 我们有:

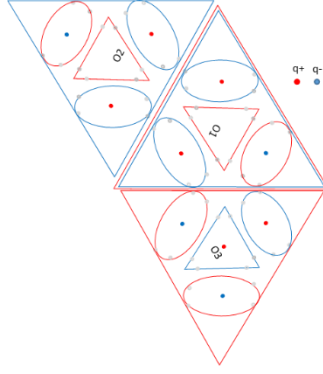
$$E_{\text{he03}} = E_{\text{he0n}} + E_{L3} = 117.45 - 9.4325 \text{ MeV} = 108.0193 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.4.1 案件 031: 能量水平 $E_{\text{he031}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L1}$ :

$$E_{\text{he031}} = E_{\text{he0n}} + E_{L3} + E_{L1} = 13.173648 + 117.4518 - 9.4325 = 121.192948 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.4.2 案件 032: 能量水平 $E_{\text{he032}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L2}$ :

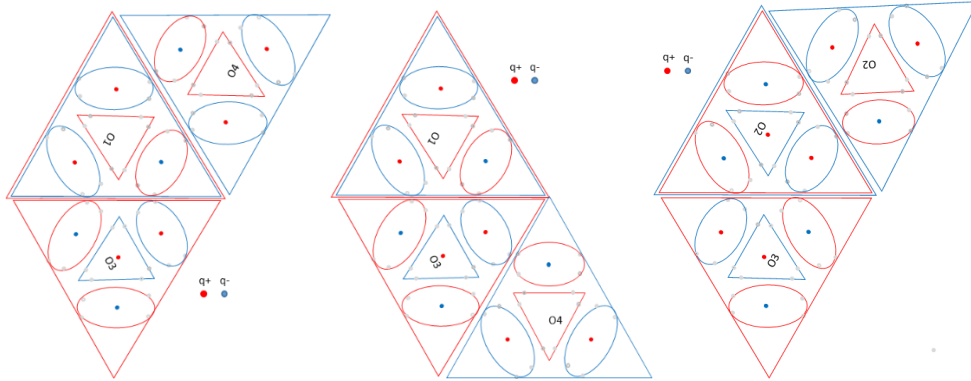
$$E_{\text{he032}} = E_{\text{he0n}} + E_{L3} + E_{L2} = 65.31273 + 117.4518 - 9.4325 = 173.33203 \text{ MeV}$$

此案与以下案件相同  $E_{\text{he012}}$ .

#### 4.9.7.1.4.3 案件 033: 能量水平 $E_{\text{he033}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$ :

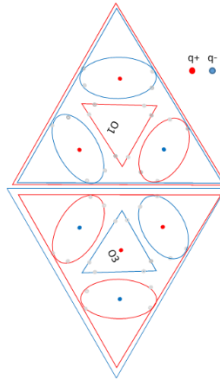
$$E_{\text{he033}} = E_{\text{he0n}} + E_{L3} + E_{L3} = 117.4518 + 117.4518 - 9.4325 = 225.4711 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.4.4 案件 0330: 能量水平 $E_{\text{he0330}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$  和 能量水平  $E_{\text{he0n}}$ :

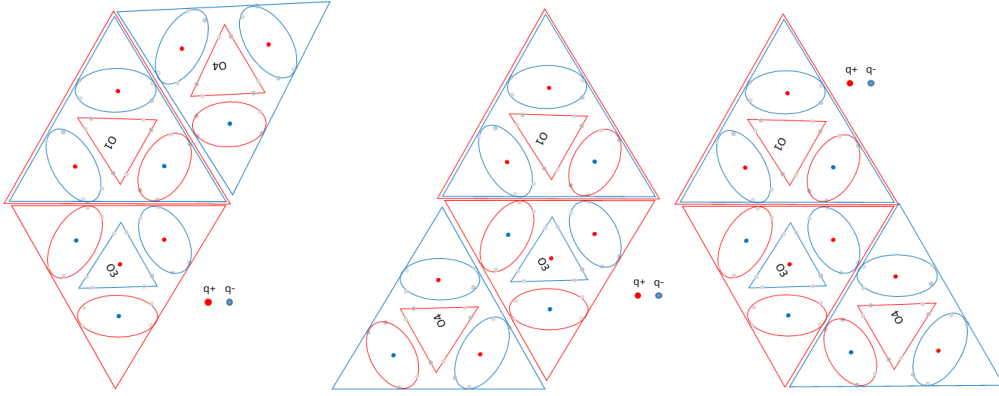
$$E_{\text{he022}} = E_{\text{he0n}} + E_{L3} + E_{L3} + E_{\text{he0n}} = 117.4518 + 117.4518 - 9.4325 - 9.4325 = 216.0386 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.4.5 案件 034: 能量水平 $E_{\text{he034}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L4}$ :

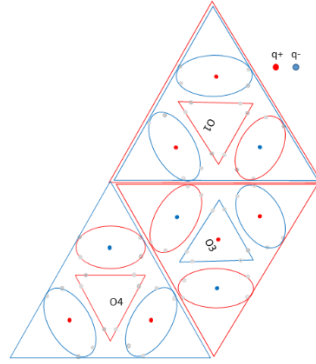
$$E_{\text{he034}} = E_{\text{he0n}} + E_{\text{L3}} + E_{\text{L4}} = 530.1671 + 117.4518 - 9.4325 = 638.1864 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.4.6 案件 035: 能量水平 $E_{\text{he035}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{\text{L5}}$ :

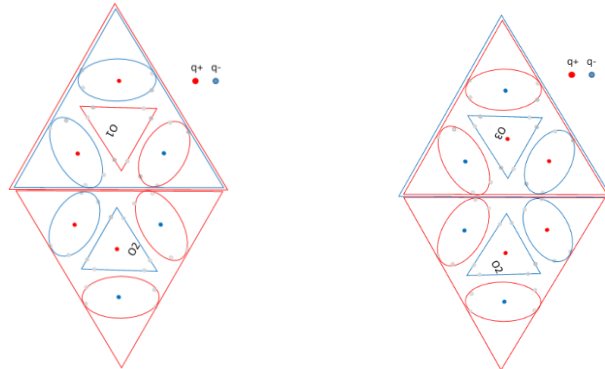
$$E_{\text{he035}} = E_{\text{he0n}} + E_{\text{L3}} + E_{\text{L5}} = 582.3062 + 117.4518 - 9.4325 = 690.3255 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.5 案件 04: 能量水平 $E_{\text{he04}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{\text{L4}}$  对于第二个中子, 我们有:

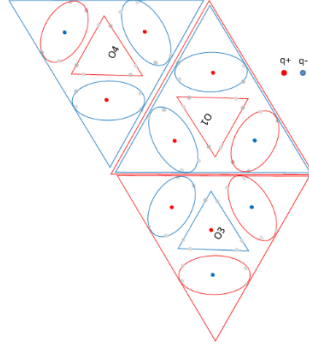
$$E_{\text{he04}} = E_{\text{he0n}} + E_{\text{L4}} = 530.1671 - 9.4325 \text{ MeV} = 520.7346 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.5.1 案件 041: 能量水平 $E_{\text{he041}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{\text{L1}}$ :

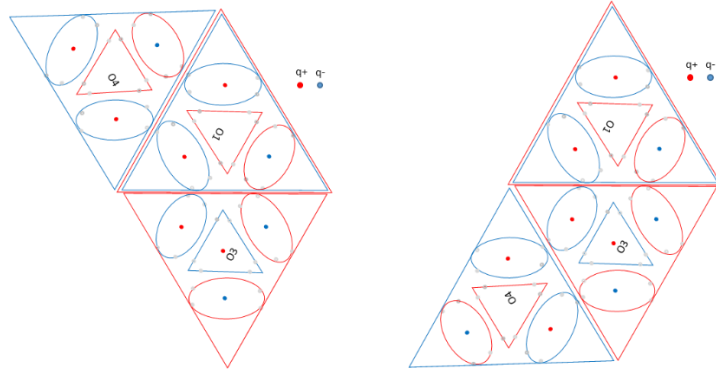
$$E_{\text{he041}} = E_{\text{he0n}} + E_{\text{L4}} + E_{\text{L1}} = 13.173648 + 530.1671 - 9.4325 = 533.908248 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.5.2 案件 042: 能量水平 $E_{\text{he042}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L2}$ :

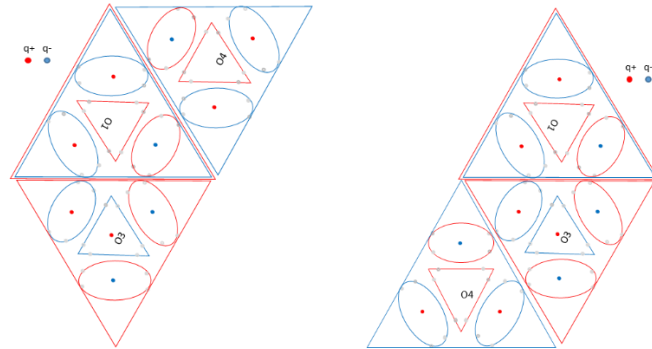
$$E_{\text{he042}} = E_{\text{he0n}} + E_{L4} + E_{L2} = 65.31273 + 530.1671 - 9.4325 = 586.04733 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.5.3 案件 043: 能量水平 $E_{\text{he043}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$ :

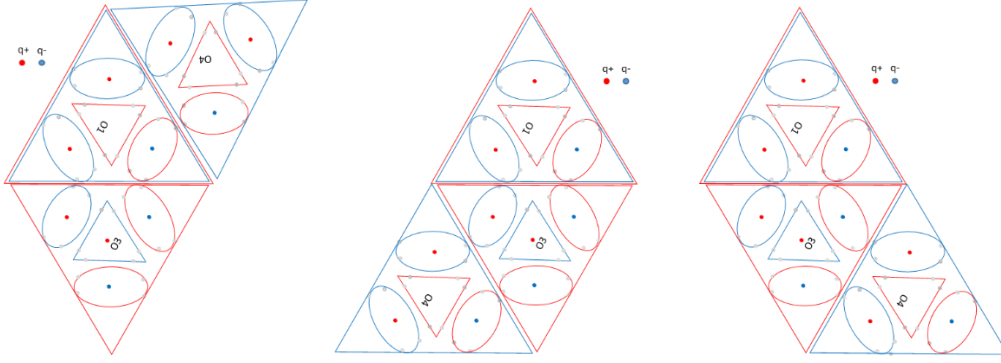
$$E_{\text{he043}} = E_{\text{he0n}} + E_{L4} + E_{L3} = 117.4518 + 530.1671 - 9.4325 = 638.1864 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.5.4 案件 044: 能量水平 $E_{\text{he044}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$ :

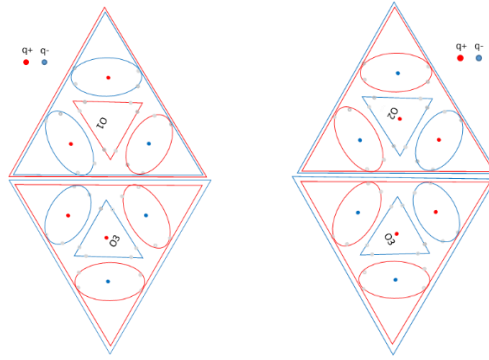
$$E_{\text{he044}} = E_{\text{he0n}} + E_{L4} + E_{L4} = 530.1671 + 530.1671 - 9.4325 = 1050.9017 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.5.5 案件 0440: 能量水平 $E_{\text{he0440}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L4}$  和 能量水平  $E_{L0}$ :

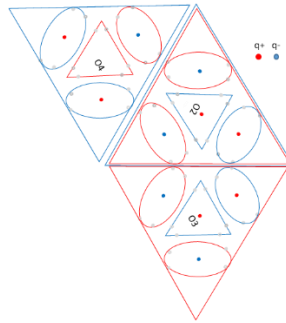
$$E_{\text{he044}} = E_{\text{he0n}} + E_{L4} + E_{L4} + E_{\text{he0n}} = 530.1671 + 530.1671 - 9.4325 - 9.4325 = 1041.4692 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.5.6 案件 045: 能量水平 $E_{\text{he045}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L5}$ :

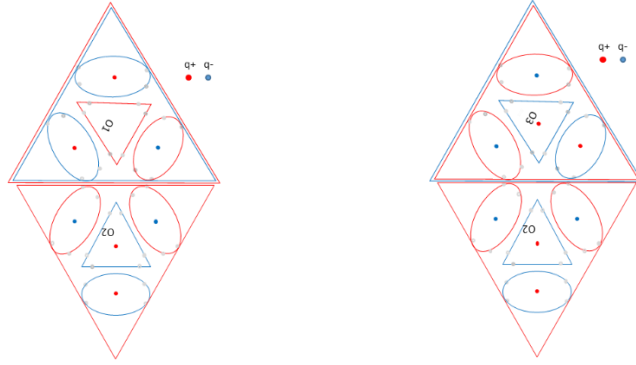
$$E_{\text{he045}} = E_{\text{he0n}} + E_{L4} + E_{L5} = 530.1671 + 582.3062 - 9.4325 = 1103.0408 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.6 案件 05: 能量水平 $E_{\text{he05}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

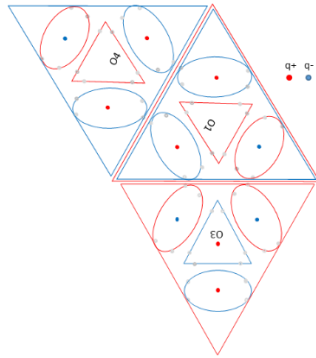
$$E_{\text{he05}} = E_{\text{he0n}} + E_{L5} = 582.3062 - 9.4325 \text{ MeV} = 572.8737 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.6.1 案件 051: 能量水平 $E_{\text{he051}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L1}$ :

$$E_{\text{he051}} = E_{\text{he0n}} + E_{L5} + E_{L1} = 13.173648 + 582.3062 - 9.4325 = 586.047348 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.6.2 案件 052: 能量水平 $E_{\text{he052}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L2}$ :

$$E_{\text{he052}} = E_{\text{he0n}} + E_{L5} + E_{L2} = 65.31273 + 582.3062 - 9.4325 = 638.18643 \text{ MeV}$$

此案与以下案件相同  $E_{\text{he025}}$ .

#### 4.9.7.1.6.3 案件 053: 能量水平 $E_{\text{he053}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$ :

$$E_{\text{he053}} = E_{\text{he0n}} + E_{L5} + E_{L3} = 117.4518 + 582.3062 - 9.4325 = 690.3255 \text{ MeV}$$

此案与以下案件相同  $E_{\text{he035}}$ .

#### 4.9.7.1.6.4 案件 054: 能量水平 $E_{\text{he054}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L4}$ :

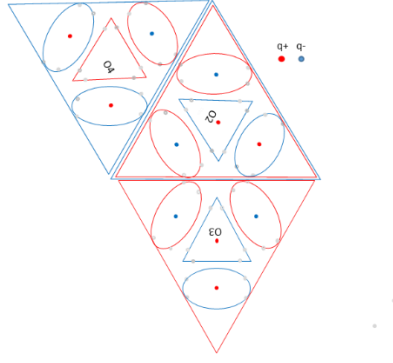
$$E_{\text{he054}} = E_{\text{he0n}} + E_{L5} + E_{L4} = 530.1671 + 582.3062 - 9.4325 = 1103.0408 \text{ MeV}$$

此案与以下案件相同  $E_{\text{he045}}$ .

#### 4.9.7.1.6.5 案件 055: 能量水平 $E_{\text{he055}}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L5}$ :

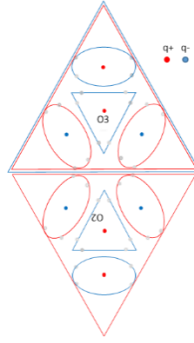
$$E_{\text{he055}} = E_{\text{he0n}} + E_{L5} + E_{L5} = 582.3062 + 582.3062 - 9.4325 = 1155.1799 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.7 案件 06: 能量水平 $E_{he06}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L6}$  对于第二个中子, 我们有:

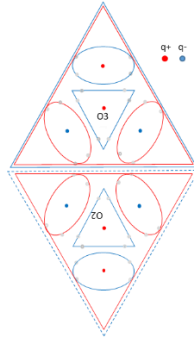
$$E_{he06} = E_{he0n} + E_{L6} = 1047.161 - 9.4325 \text{ MeV} = 1037.7285 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.7.1 案件 060: 能量水平 $E_{he060}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L0}$ :

$$E_{he060} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L0} = -9.4325 + 1047.161 - 9.4325 = 1028.296 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.7.2 案件 0610: 能量水平 $E_{he0610}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L1}$  和 能量水平  $E_{L0}$ :

$$E_{he0610} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L1} + E_{he0n} = 13.173648 + 1047.161 - 9.4325 - 9.4325 = 1041.469648 \text{ MeV}$$

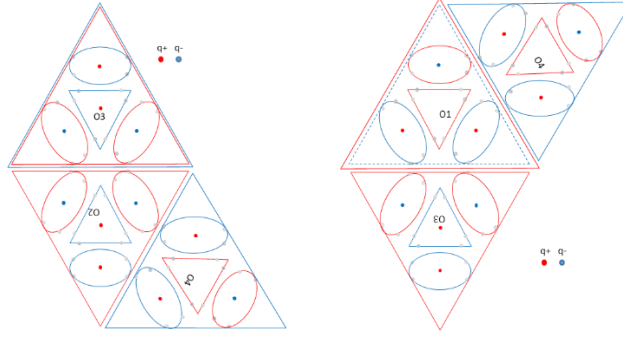
此案与以下案件相同  $E_{he0160}$ .

#### 4.9.7.1.7.3 案件 062: 能量水平 $E_{he062}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L2}$ :

$$E_{he062} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L2} = 65.31273 + 1047.161 - 9.4325 = 1103.04123 \text{ MeV}$$

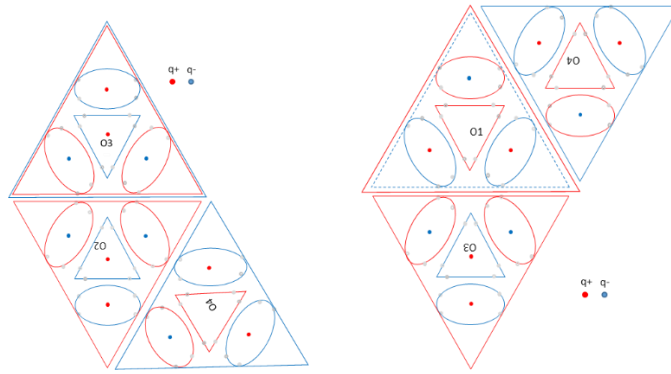




#### 4.9.7.1.7.4 案件 063: 能量水平 $E_{he063}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L3}$ :

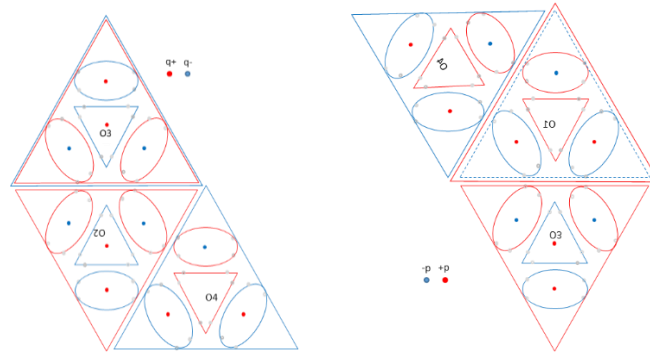
$$E_{he063} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L3} = 117.4517 + 1047.161 - 9.4325 = 1155.1802 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.1.7.5 案件 064: 能量水平 $E_{he064}$

最后一个质子的能量水平  $E_{L4}$ :

$$E_{he064} = E_{he0n} + E_{L6} + E_{L4} = 530.1671 + 1047.161 - 9.4325 = 1567.8956 \text{ MeV}$$

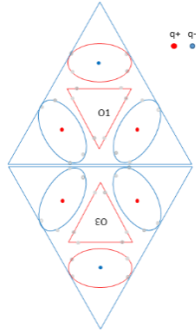


#### 4.9.7.2 案件 1n: 能量水平 $E_{he1n}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L1}$  第一次连接, 我们有:

$$E_{he1n} = E_{L1} = 13.173648 \text{ MeV}$$

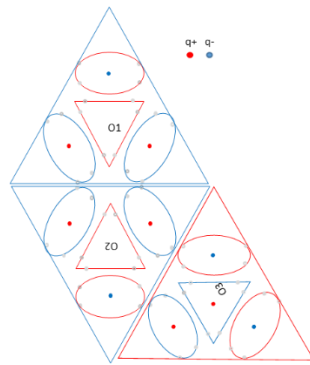
第一个连接是  $L_{1n}$ . 第一个质子与第二个质子并排。



#### 4.9.7.2.1 案件 13: 能量水平 $E_{\text{he13}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$  pour le premier neutron, 我们有:

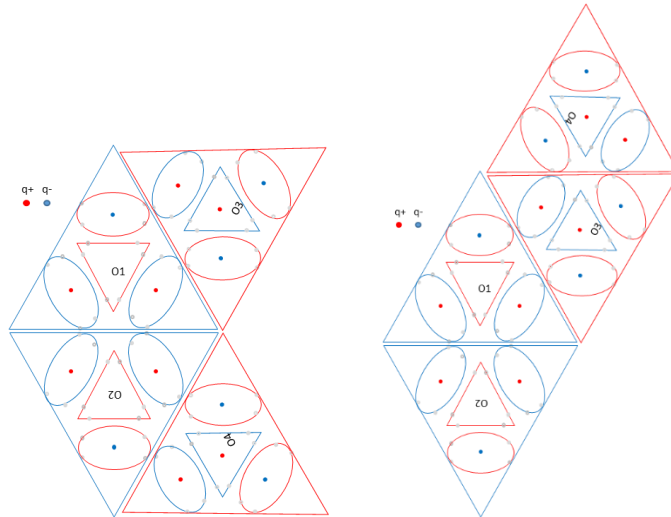
$$E_{\text{he13}} = E_{L1} + E_{L3} = 13.173648 + 117.4518 \text{ MeV} = 130.63 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.2.1.1 案件 133: 能量水平 $E_{\text{he133}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L3}$ :

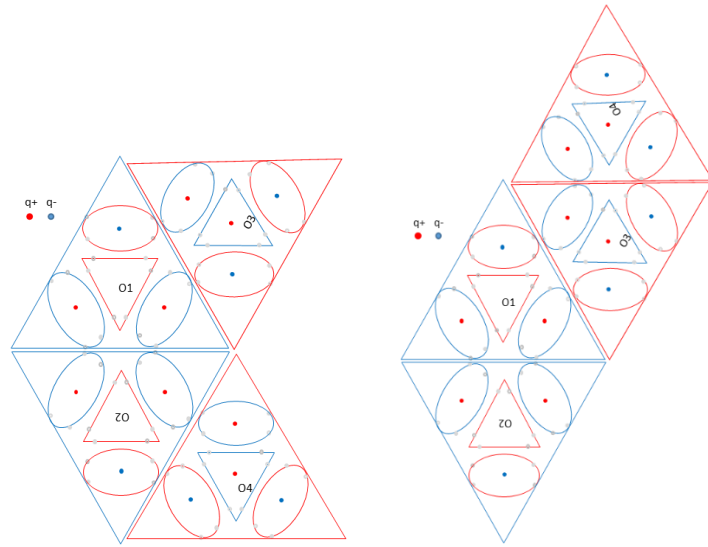
$$E_{\text{he133}} = E_{L1} + E_{L3} + E_{L3} = 13.173648 + 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 248.08 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.2.1.2 案件 134: 能量水平 $E_{\text{he134}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

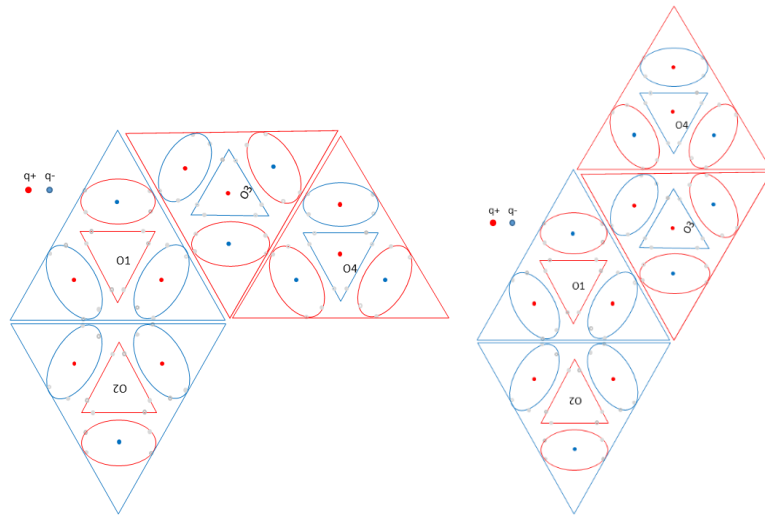
$$E_{\text{he134}} = E_{L1} + E_{L3} + E_{L4} = 13.173648 + 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 660.79 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.2.1.3 案件 135: 能量水平 $E_{\text{he135}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

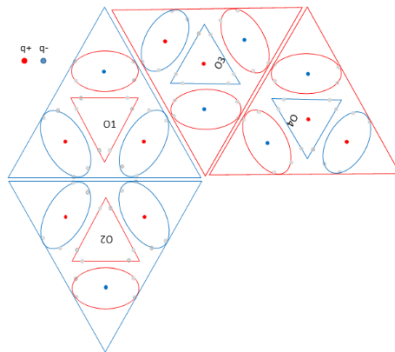
$$E_{\text{he135}} = E_{L1} + E_{L3} + E_{L5} = 13.173648 + 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 712.93 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.2.1.4 案件 136: 能量水平 $E_{\text{he136}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L6}$ :

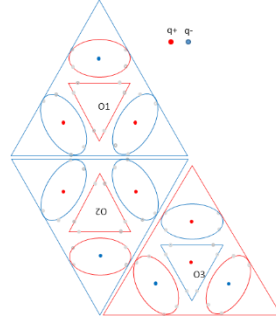
$$E_{\text{he136}} = E_{L1} + E_{L3} + E_{L6} = 13.173648 + 117.4518 + 1047.161 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.2 案件 14: 能量水平  $E_{\text{he14}}$ 

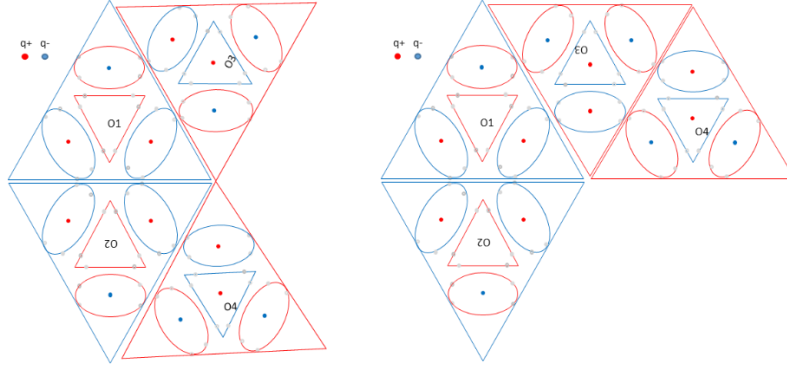
通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$  pour le premier neutron, 我们有:

$$E_{\text{he14}} = E_{L1} + E_{L4} = 13.173648 + 530.1671 \text{ MeV} = 543.34 \text{ MeV}$$

4.9.7.2.2.1 案件 143: 能量水平  $E_{\text{he143}}$ 

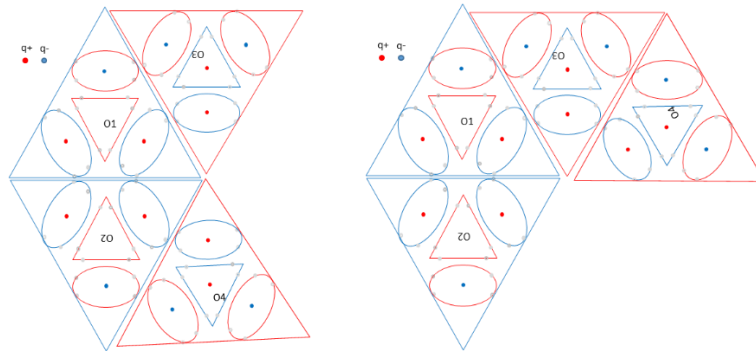
最后一个中子 能量水平  $E_{L3}$ :

$$E_{\text{he143}} = E_{L1} + E_{L4} + E_{L3} = 13.173648 + 530.1671 + 117.4518 \text{ MeV} = 660.79 \text{ MeV}$$

4.9.7.2.2.2 案件 144: 能量水平  $E_{\text{he144}}$ 

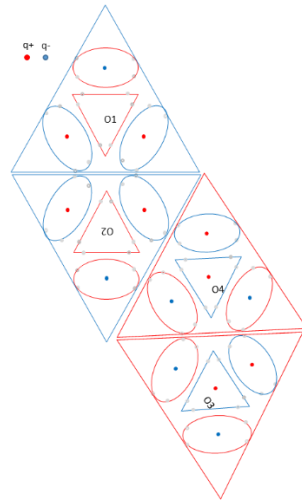
最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

$$E_{\text{he144}} = E_{L1} + E_{L4} + E_{L4} = 13.173648 + 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1073.51 \text{ MeV}$$

4.9.7.2.2.3 案件 145: 能量水平  $E_{\text{he145}}$ 

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

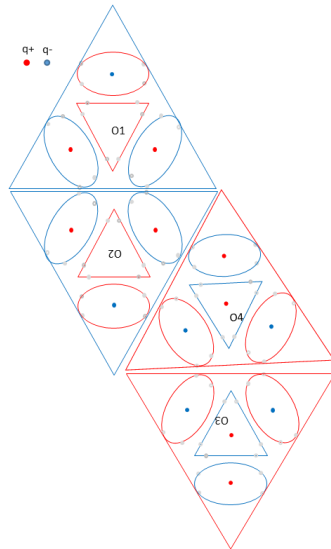
$$E_{\text{he145}} = E_{L1} + E_{L4} + E_{L5} = 13.173648 + 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1125.65 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.2.2.4 案件 146: 能量水平 $E_{\text{he146}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L6}$ :

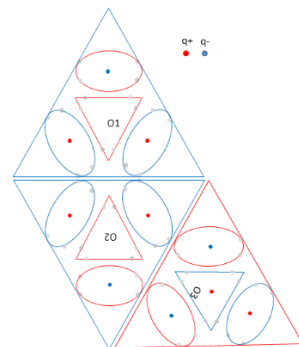
$$E_{\text{he146}} = E_{L1} + E_{L4} + E_{L6} = 13.173648 + 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 1590.50 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.2.3 案件 15: 能量水平 $E_{\text{he15}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

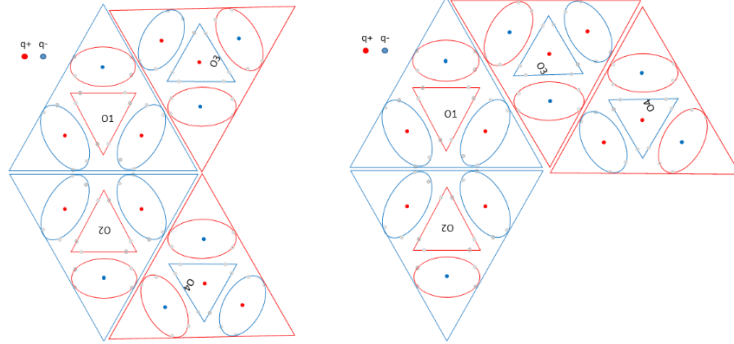
$$E_{\text{he15}} = E_{L1} + E_{L5} = 13.173648 + 582.3062 \text{ MeV} = 595.48 \text{ MeV}$$



4.9.7.2.3.1 案件 153: 能量水平  $E_{\text{he153}}$ 

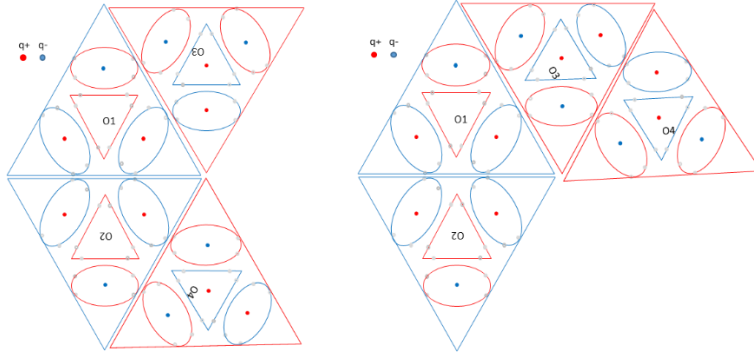
最后一个中子 能量水平  $E_{L3}$ :

$$E_{\text{he153}} = E_{L1} + E_{L5} + E_{L3} = 13.173648 + 582.3062 + 117.4518 \text{ MeV} = 712.93 \text{ MeV}$$

4.9.7.2.3.2 案件 154: 能量水平  $E_{\text{he154}}$ 

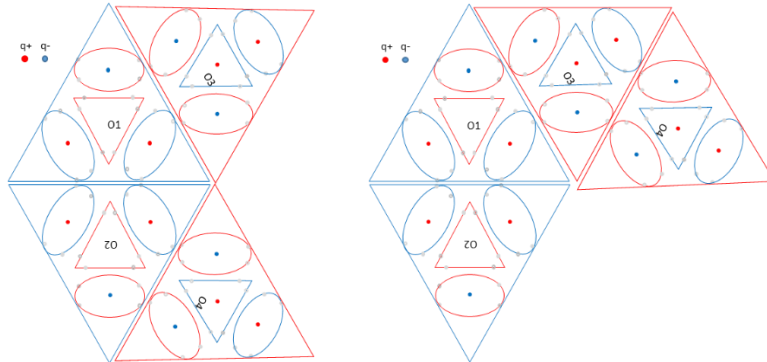
最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

$$E_{\text{he154}} = E_{L1} + E_{L5} + E_{L4} = 13.173648 + 582.3062 + 530.1671 \text{ MeV} = 1125.65 \text{ MeV}$$

4.9.7.2.3.3 案件 155: 能量水平  $E_{\text{he155}}$ 

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

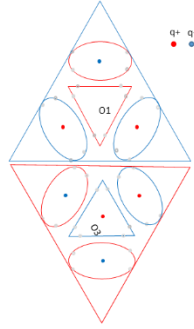
$$E_{\text{he155}} = E_{L1} + E_{L5} + E_{L5} = 13.173648 + 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$

4.9.7.3 案件 2n: 能量水平  $E_{\text{he2n}}$ 

通过采取具有能量的组合  $E_{L2}$  第一次连接, 我们有:

$$E_{\text{he2n}} = E_{L2} = 65.31273 \text{ MeV}$$

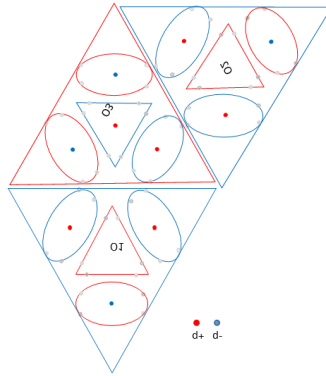
第一个连接是  $L_{2n}$ . 第一个质子与第一个中子并排。



#### 4.9.7.3.1 案件 22: 能量水平 $E_{\text{he22}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L2}$  对于第二个质子, 我们有:

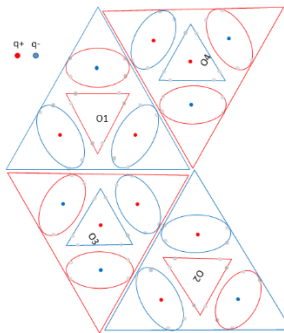
$$E_{\text{he22}} = E_{L2} + E_{L2} = 65.31273 + 65.31273 \text{ MeV} = 130.63 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.1.1 案件 223: 能量水平 $E_{\text{he223}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L3}$ :

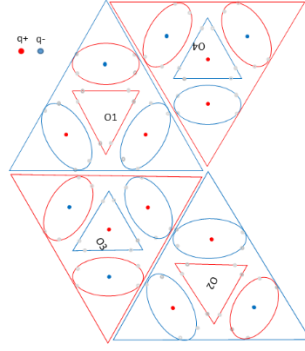
$$E_{\text{he223}} = E_{L2} + E_{L2} + E_{L3} = 65.31273 + 65.31273 + 117.4518 \text{ MeV} = 248.08 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.1.2 案件 224: 能量水平 $E_{\text{he224}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

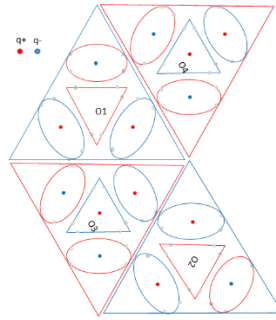
$$E_{\text{he224}} = E_{L2} + E_{L2} + E_{L4} = 65.31273 + 65.31273 + 530.1671 \text{ MeV} = 660.79 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.1.3 案件 225: 能量水平 $E_{\text{he225}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

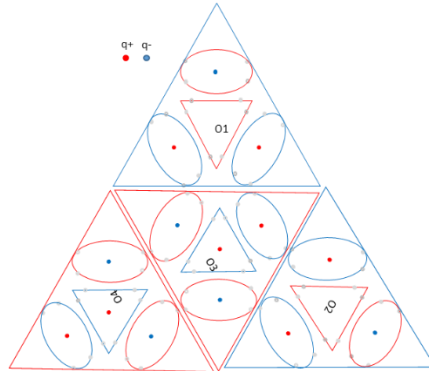
$$E_{\text{he225}} = E_{L2} + E_{L2} + E_{L5} = 65.31273 + 65.31273 + 582.3062 \text{ MeV} = 712.93 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.1.4 案件 226: 能量水平 $E_{\text{he226}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L6}$ :

$$E_{\text{he226}} = E_{L2} + E_{L2} + E_{L6} = 65.31273 + 65.31273 + 1047.161 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$

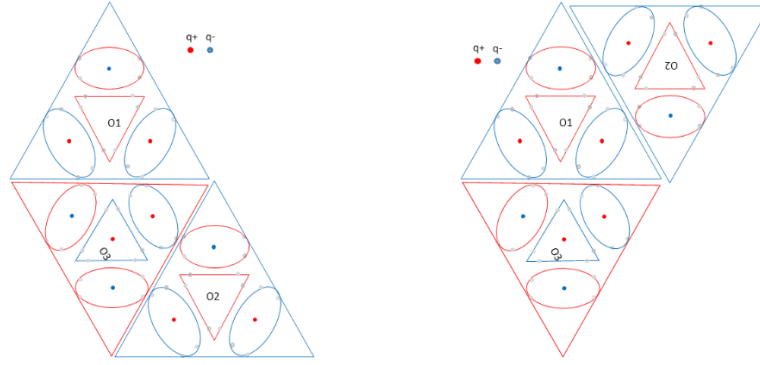


#### 4.9.7.3.2 案件 23: 能量水平 $E_{\text{he23}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$  对于第二个质子, 我们有:

$$E_{\text{tr23}} = E_{L2} + E_{L3} = 117.4518 + 65.31273 \text{ MeV} = 182.76 \text{ MeV}$$

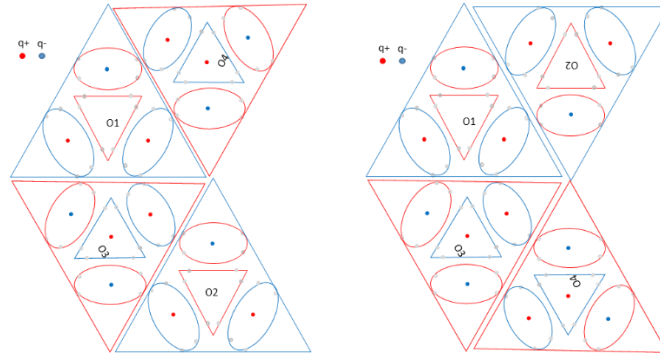




#### 4.9.7.3.2.1 案件 233: 能量水平 $E_{\text{he233}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L3}$ :

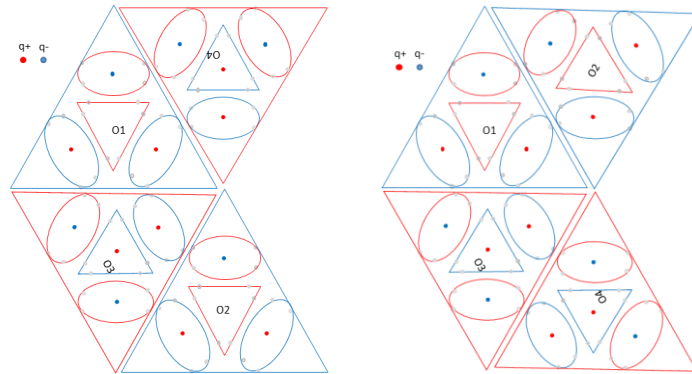
$$E_{\text{he233}} = E_{L2} + E_{L3} + E_{L3} = 65.31273 + 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 300.22 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.2.2 案件 234: 能量水平 $E_{\text{he234}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

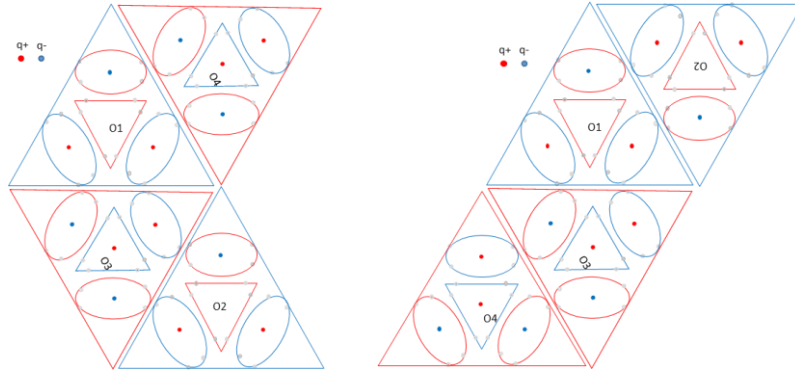
$$E_{\text{he234}} = E_{L2} + E_{L3} + E_{L4} = 65.31273 + 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 712.93 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.2.3 案件 235: 能量水平 $E_{\text{he235}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

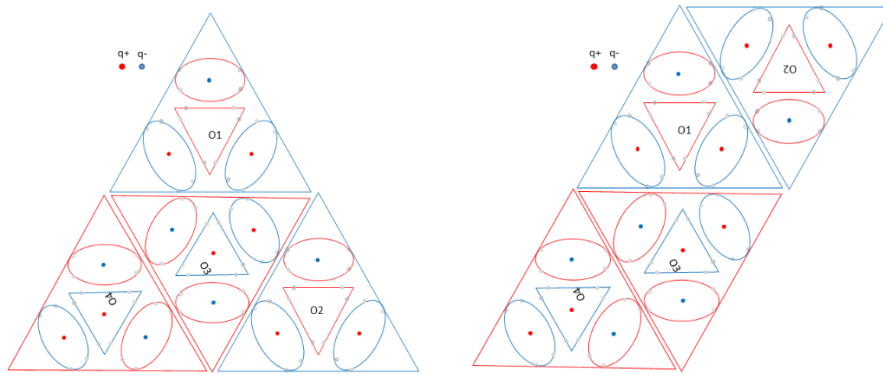
$$E_{\text{he235}} = E_{L2} + E_{L3} + E_{L5} = 65.31273 + 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 765.07 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.2.4 案件 236: 能量水平 $E_{\text{he236}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L6}$ :

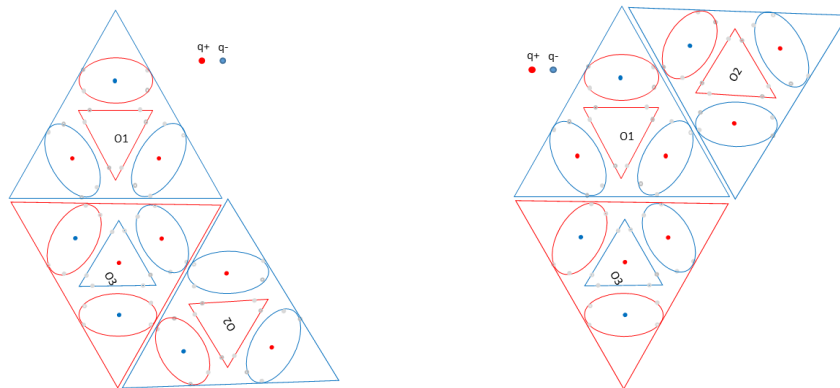
$$E_{\text{he236}} = E_{L2} + E_{L3} + E_{L6} = 65.31273 + 117.4518 + 1047.161 \text{ MeV} = 1229.93 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.3 案件 24: 能量水平 $E_{\text{he24}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$  对于第二个质子, 我们有:

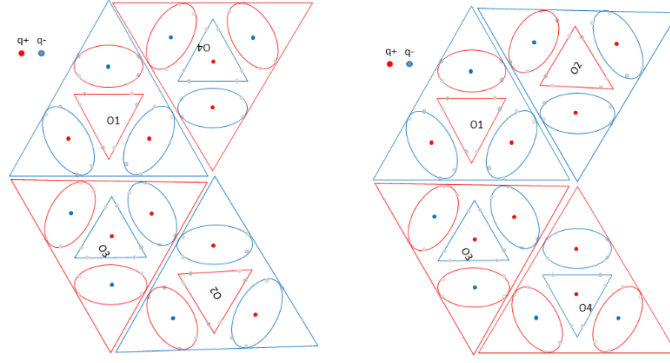
$$E_{\text{he24}} = E_{L2} + E_{L4} = 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.3.1 案件 244: 能量水平 $E_{\text{he244}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

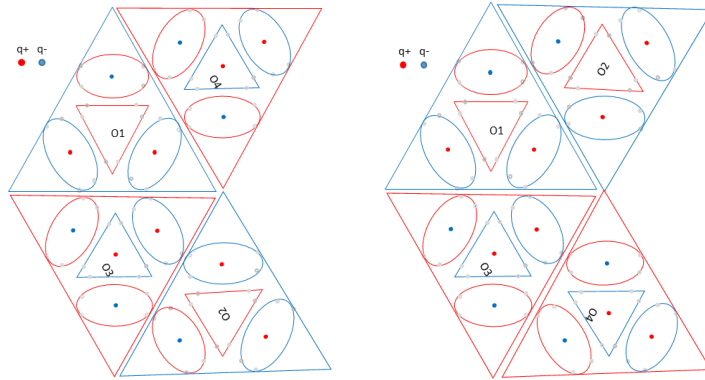
$$E_{\text{he244}} = E_{L2} + E_{L4} + E_{L4} = 65.31273 + 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1125.65 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.2 案件 245: 能量水平 $E_{\text{he245}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

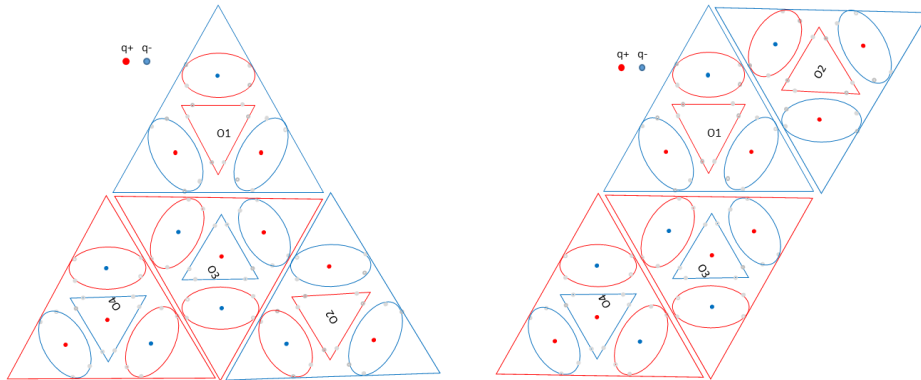
$$E_{\text{he245}} = E_{L2} + E_{L4} + E_{L5} = 65.31273 + 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.3 案件 246: 能量水平 $E_{\text{he246}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L6}$ :

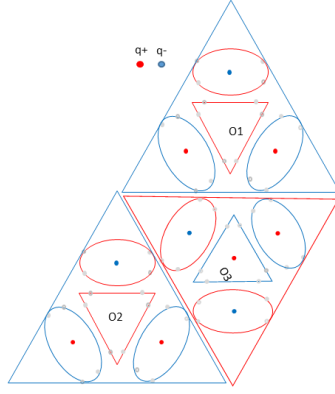
$$E_{\text{he246}} = E_{L2} + E_{L4} + E_{L6} = 65.31273 + 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 1642.64 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.4 案件 25: 能量水平 $E_{\text{he25}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

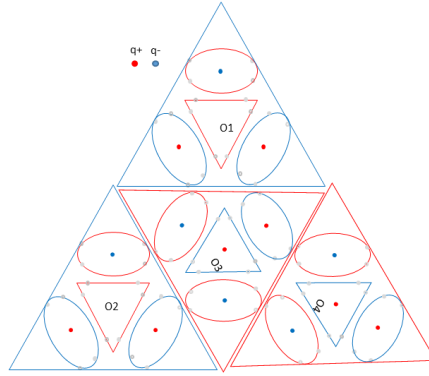
$$E_{\text{he25}} = E_{L2} + E_{L5} = 65.31273 + 582.3062 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.3.4.1 案件 255: 能量水平 $E_{\text{he255}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

$$E_{\text{he255}} = E_{L2} + E_{L5} + E_{L5} = 65.31273 + 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1229.93 \text{ MeV}$$

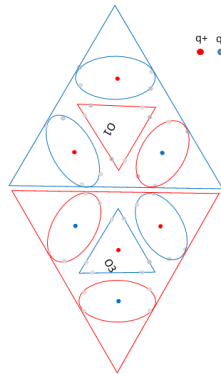


#### 4.9.7.4 案件 3n: 能量水平 $E_{\text{he3n}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$  第一次连接, 我们有:

$$E_{\text{he3n}} = E_{L3} = 117.4518 \text{ MeV}$$

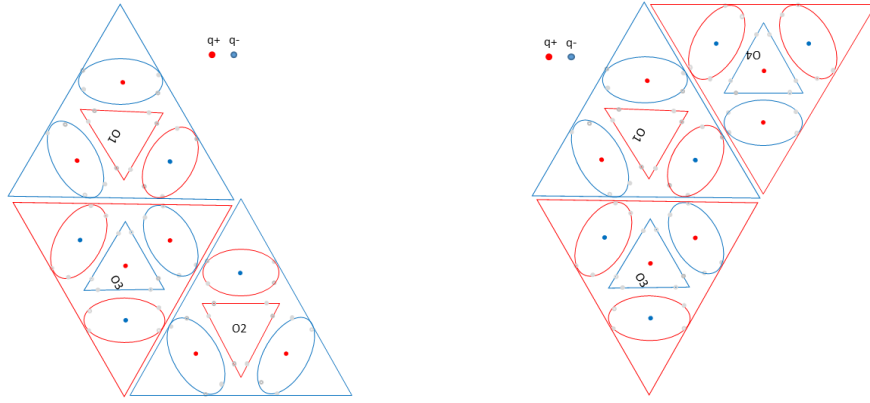
第一个连接是  $L_{3n}$ . 第一个质子与第一个中子并排。



#### 4.9.7.4.1 案件 33: 能量水平 $E_{\text{he33}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L3}$  对于第二个质子, 我们有:

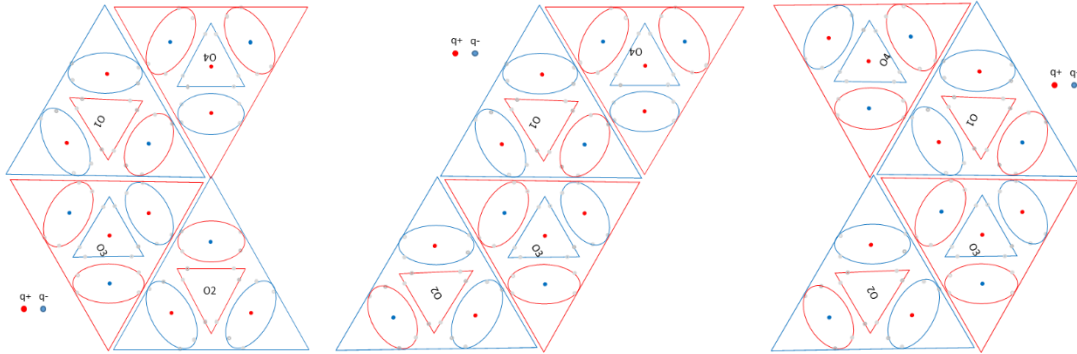
$$E_{\text{he33}} = E_{L3} + E_{L3} = 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 234.90 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.1.1 案件 333: 能量水平 $E_{\text{he333}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L3}$ :

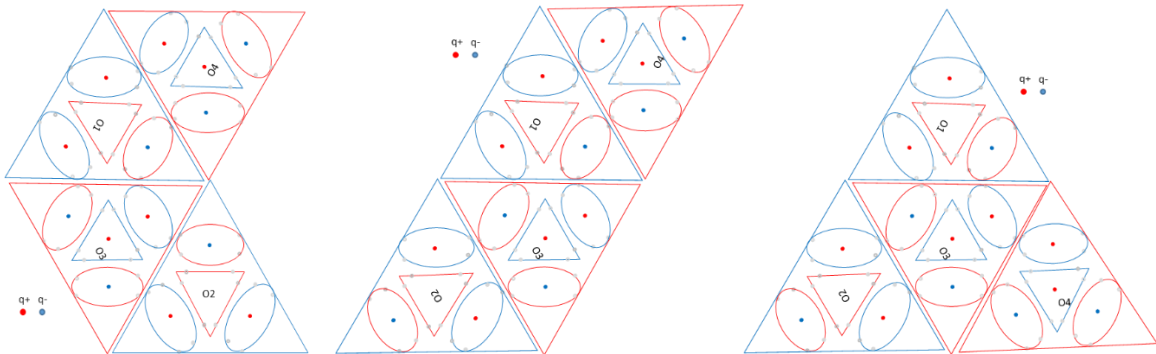
$$E_{\text{he333}} = E_{L3} + E_{L3} + E_{L3} = 117.4518 + 117.4518 + 117.4518 \text{ MeV} = 352.36 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.1.2 案件 334: 能量水平 $E_{\text{he334}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

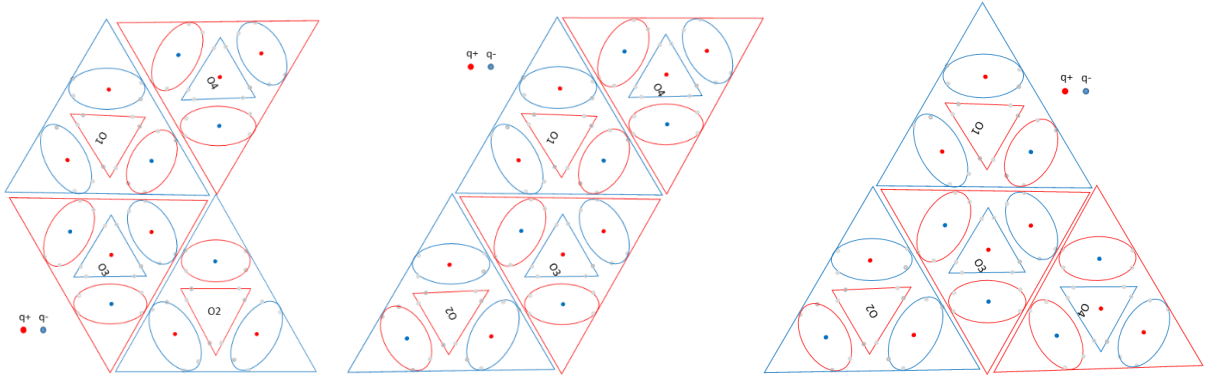
$$E_{\text{he334}} = E_{L3} + E_{L3} + E_{L4} = 117.4518 + 117.4518 + 530.1671 \text{ MeV} = 765.07 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.1.3 案件 335: 能量水平 $E_{\text{he335}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

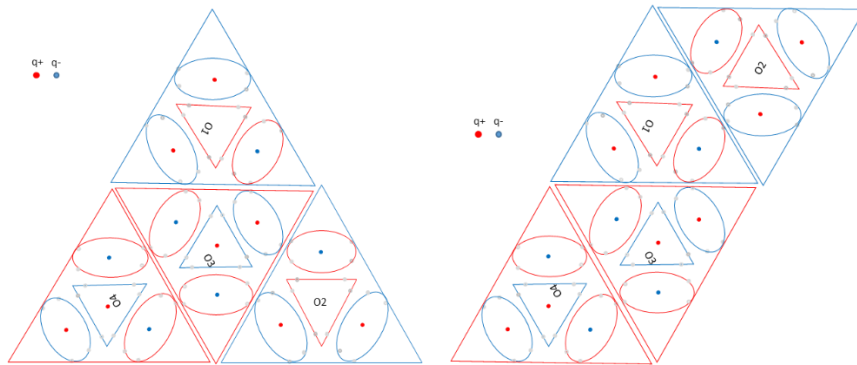
$$E_{\text{he335}} = E_{L3} + E_{L3} + E_{L5} = 117.4518 + 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 817.21 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.1.4 案件 336: 能量水平 $E_{\text{He336}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L6}$ :

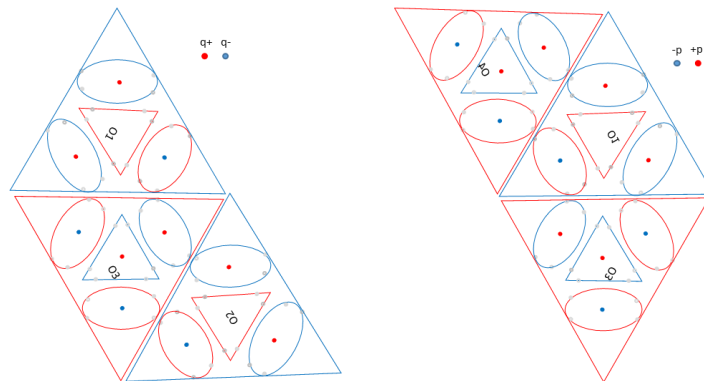
$$E_{\text{He336}} = E_{L3} + E_{L3} + E_{L6} = 117.4518 + 117.4518 + 1047.161 \text{ MeV} = 1282.06 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.2 案件 34: 能量水平 $E_{\text{He34}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个质子, 我们有:

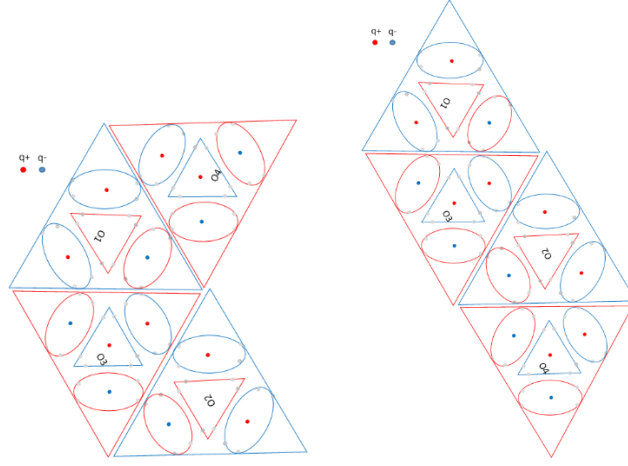
$$E_{\text{He34}} = E_{L3} + E_{L4} = 530.1671 + 117.4518 \text{ MeV} = 647.62 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.2.1 案件 344: 能量水平 $E_{\text{He344}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

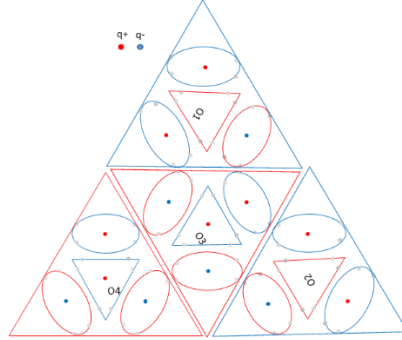
$$E_{\text{He344}} = E_{L3} + E_{L4} + E_{L4} = 117.4518 + 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1177.79 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.2.2 案件 345: 能量水平 $E_{\text{he345}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

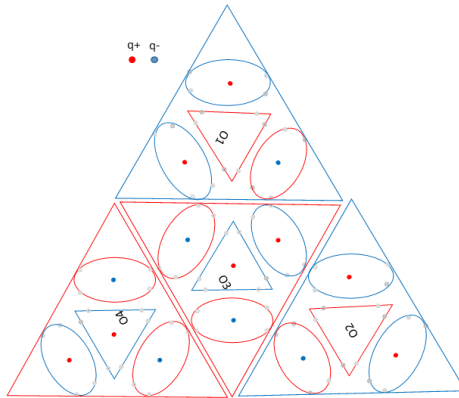
$$E_{\text{he345}} = E_{L3} + E_{L4} + E_{L5} = 117.4518 + 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1229.93 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.2.3 案件 346: 能量水平 $E_{\text{he346}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L6}$ :

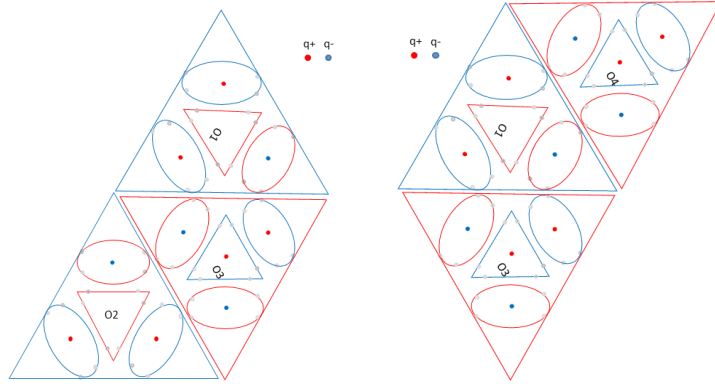
$$E_{\text{he346}} = E_{L3} + E_{L4} + E_{L6} = 117.4518 + 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 1694.78 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.3 案件 35: 能量水平 $E_{\text{he35}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

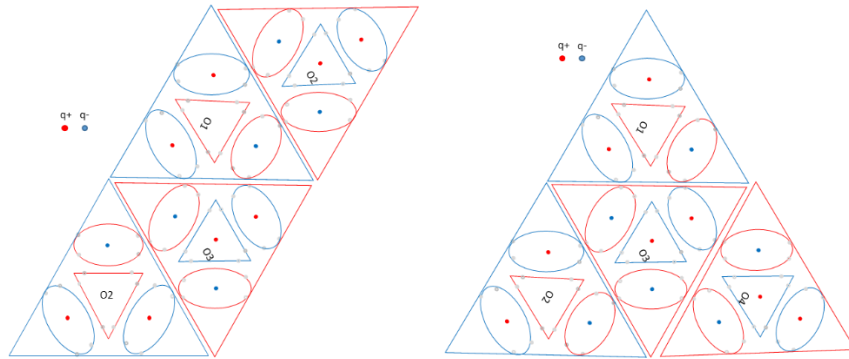
$$E_{\text{he35}} = E_{L3} + E_{L5} = 117.4518 + 582.3062 \text{ MeV} = 699.76 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.4.3.1 案件 355: 能量水平 $E_{\text{he355}}$

最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

$$E_{\text{he355}} = E_{L3} + E_{L5} + E_{L5} = 117.4518 + 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1282.06 \text{ MeV}$$



#### 4.9.7.5 案件 4n: 能量水平 $E_{\text{he4n}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$  第一次连接, 我们有:

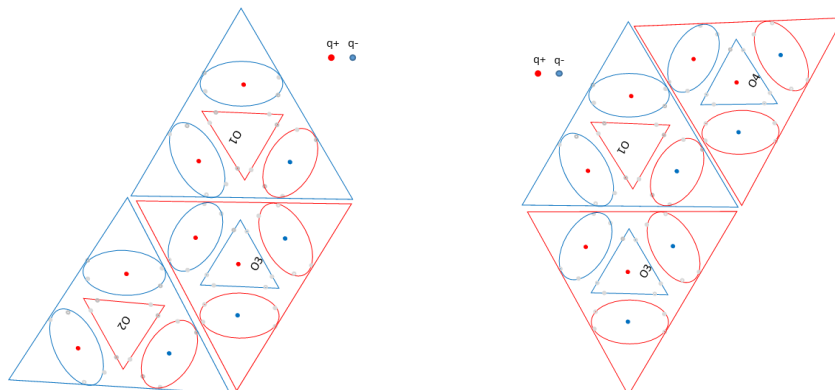
$$E_{\text{he4n}} = E_{L4} = 530.1671 \text{ MeV}$$

第一个连接是  $L_{4n}$ . 第一个质子与第一个中子并排。

#### 4.9.7.5.1 案件 44: 能量水平 $E_{\text{he44}}$

通过采取具有能量的组合  $E_{L4}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{\text{he44}} = E_{L4} + E_{L4} = 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1060.33 \text{ MeV}$$

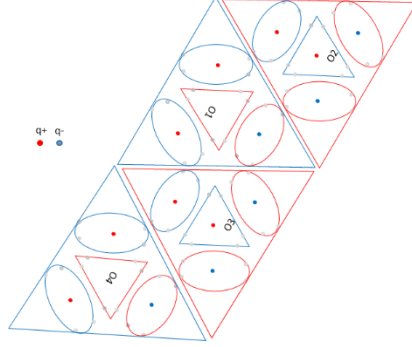




4.9.7.5.1.1 案件 444: 能量水平  $E_{\text{he444}}$ 

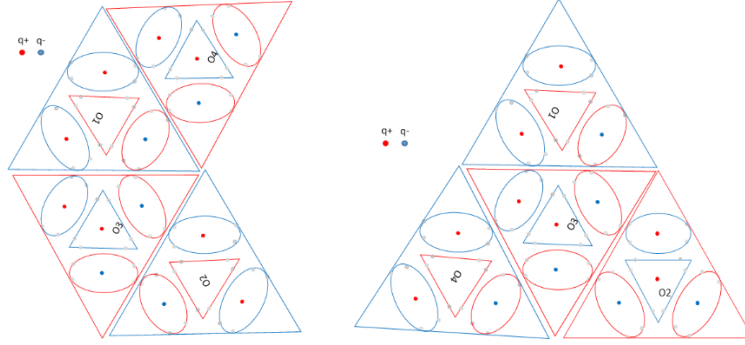
最后一个中子 能量水平  $E_{L4}$ :

$$E_{\text{he444}} = E_{L4} + E_{L4} + E_{L4} = 530.1671 + 530.1671 + 530.1671 \text{ MeV} = 1590.50 \text{ MeV}$$

4.9.7.5.1.2 案件 445: 能量水平  $E_{\text{he445}}$ 

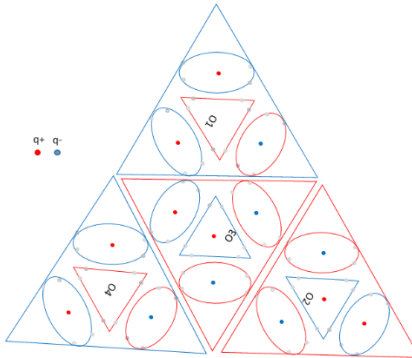
最后一个中子 能量水平  $E_{L5}$ :

$$E_{\text{he445}} = E_{L4} + E_{L4} + E_{L5} = 530.1671 + 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1642.64 \text{ MeV}$$

4.9.7.5.1.3 案件 446: 能量水平  $E_{\text{he446}}$ 

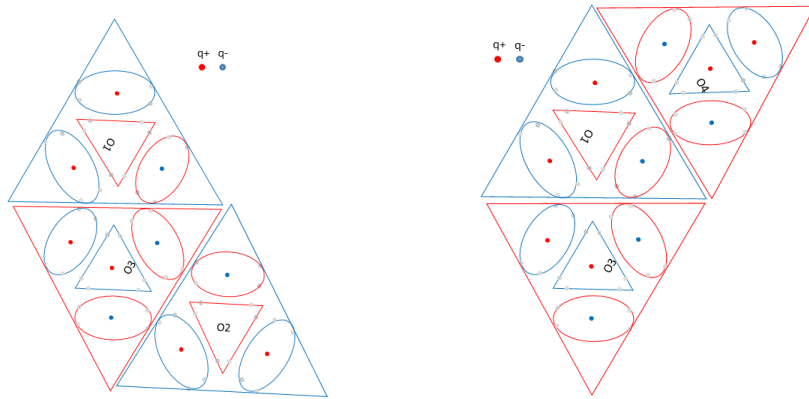
最后一个中子 能量水平  $E_{L6}$ :

$$E_{\text{he446}} = E_{L4} + E_{L4} + E_{L6} = 530.1671 + 530.1671 + 1047.161 \text{ MeV} = 2107.50 \text{ MeV}$$

4.9.7.5.2 案件 45: 能量水平  $E_{\text{he44}}$ 

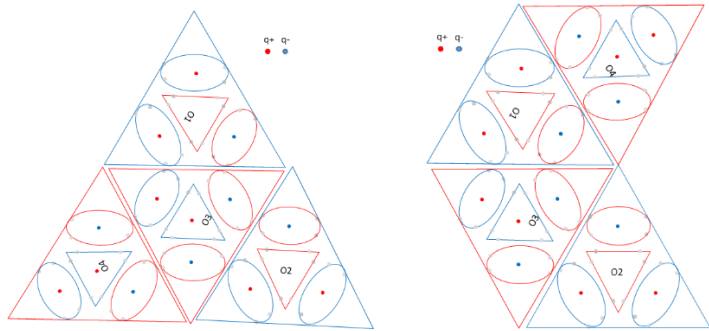
通过采取具有能量的组合  $E_{L5}$  对于第二个中子, 我们有:

$$E_{\text{he45}} = E_{L4} + E_{L5} = 530.1671 + 582.3062 \text{ MeV} = 1112.47 \text{ MeV}$$



4.9.7.5.2.1 案件 455: 能量水平  $E_{\text{He455}}$   
最后一个中子 能量水平  $E_{\text{L5}}$ :

$E_{\text{He455}} = E_{\text{L4}} + E_{\text{L5}} + E_{\text{L5}} = 530.1671 + 582.3062 + 582.3062 \text{ MeV} = 1694.78 \text{ MeV}$



4.9.7.6 结论  
结合能级的总结列于下表中:

顺序	组合	结合能	静态稳定性	动态稳定性	电场稳定性	评论
1	He000	-28.297	1000	1	10	堆垛率+
2	He001	-5.6914	100	10	10	低能量率 +
2b	He010	-5.6914	100	10	10	低能量率 +
3	He002	46.448	100	60	10	低能量率 +
4	He003	98.585	100	110	10	低能量率 +
5	He013	121.19	10	130	0	低能量率 n0
5b	He022	121.19	10	130	0	低能量率 n0
6	He023	173.33	10	180	20	低能量率 ++
7	He0330	216.04	100	230	60	非常稳定的环率 +++++
8	He033	225.47	10	230	50	低能量率 +++++
9	He133	248.08	1	250	20	低能量率 ++
9b	He223	248.08	1	250	20	低能量率 ++
10	He233	300.22	1	300	40	低能量率 ++++
11	He333	352.36	1	350	60	低能量率 +++++
12	He004	511.30	100	500	-20	中等能量率 --
13	He014	533.91	10	550	-40	中等能量率 ----
14	He005	563.44	100	600	0	中等能量率 n0

顺序	组合	结合能	静态稳定性	动态稳定性	电场稳定性	评论
15	He015	586.05	10	600	-20	中等能量率 --
15b	He024	586.05	10	600	-20	中等能量率 --
16	He0250	628.75	100	650	0	Boucle taux n0
17	He025	638.19	10	650	0	中等能量率 n0
17b	He034	638.19	10	650	0	中等能量率 n0
18	He134	660.79	1	650	-20	中等能量率 --
18b	He224	660.79	1	650	-20	中等能量率 --
19	He035	690.33	10	700	20	中等能量率 ++
20	He135	712.93	1	700	0	中等能量率 n0
20b	He225	712.93	1	700	0	中等能量率 n0
20c	He234	712.93	1	700	0	中等能量率 n0
21	He235	765.07	1	750	20	中等能量率 ++
21b	He334	765.07	1	750	20	中等能量率 ++
22	He335	817.21	1	800	40	中等能量率 ++++
23	He060	1028.29	10	1000	-40	中等能量率 ----
24	He0160	1041.47	100	1000	-40	环率 ----
24b	He0440	1041.47	100	1000	-40	环率 ----
25	He044	1050.90	10	1000	-40	高能量率 -----
26	He144	1073.51	1	1000	-60	高能量率 -----
27	He045	1103.04	10	1100	-20	高能量率 --
27b	He062	1103.04	10	1100	-20	高能量率 --
28	He145	1125.65	1	1100	-40	高能量率 ----
28b	He244	1125.65	1	1100	-40	高能量率 ----
29	He055	1155.18	10	1100	0	高能量率 n0
29b	He063	1155.18	10	1100	0	高能量率 n0
30	He136	1177.79	1	1100	-40	高能量率 ----
30b	He226	1177.79	1	1100	-20	高能量率 --
30c	He155	1177.79	1	1100	-20	高能量率 --
30d	He245	1177.79	1	1100	-20	高能量率 --
30e	He344	1177.79	1	1100	-20	高能量率 --
31	He236	1229.93	1	1200	0	高能量率 n0
31b	He255	1229.93	1	1200	0	高能量率 n0
31c	He345	1229.93	1	1200	0	高能量率 n0
32	He336	1282.06	1	1200	20	高能量率 ++
32b	He355	1282.06	1	1200	20	高能量率 ++
33	He064	1567.90	10	1500	-40	高能量率 ----
34	He146	1590.50	1	1500	-60	高能量率 -----
34b	He444	1590.50	1	1500	-60	高能量率 -----
35	He246	1642.64	1	1600	-40	高能量率 ----
35b	He445	1642.64	1	1600	-40	高能量率 ----
36	He346	1694.78	1	1600	-40	高能量率 ----
36b	He455	1694.78	1	1600	-20	高能量率 --
37	He446	2107.50	1	2100	-60	高能量率 -----

我们看到了大量连接这 4 个核子的可能性。我们注意到以下环型配置：

$$he0330 = \begin{bmatrix} P - N \\ N - P \end{bmatrix}$$

2 个堆叠的中子-质子键具有能量  $E_{L0}$ 。两个并排的中子-质子键的能量为  $E_{L3}$ 。我们具有结合能：

$$E_{he0330} = 2 * E_{L3} + 2 * E_{L0} = 231.38 \text{ MeV}$$

该能量对应于低能级。这种结构是在低温环境下冷却后形成的。

#### 4.9.8 锂 6 原子核的建模

锂 6 原子核由 3 个质子和 3 个中子组成，这 6 个核子的相对位置是怎样的？

为了描述可能的构型，我们从氦的描述开始，在每种情况下，都会添加一个质子和一个中子。组合的数量会立即增加。这里只研究结合能最低的情况。

##### 4.9.8.1 案例 0000n：能量级别 $E_{li0000n}$

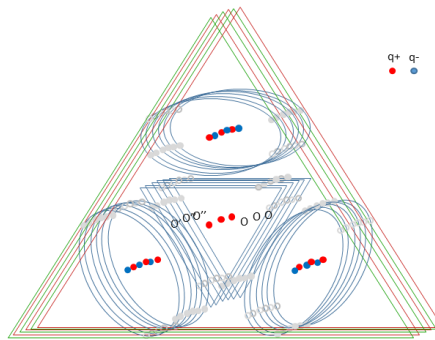
取第一个氦构型对应的能量最低的组合，我们得到：

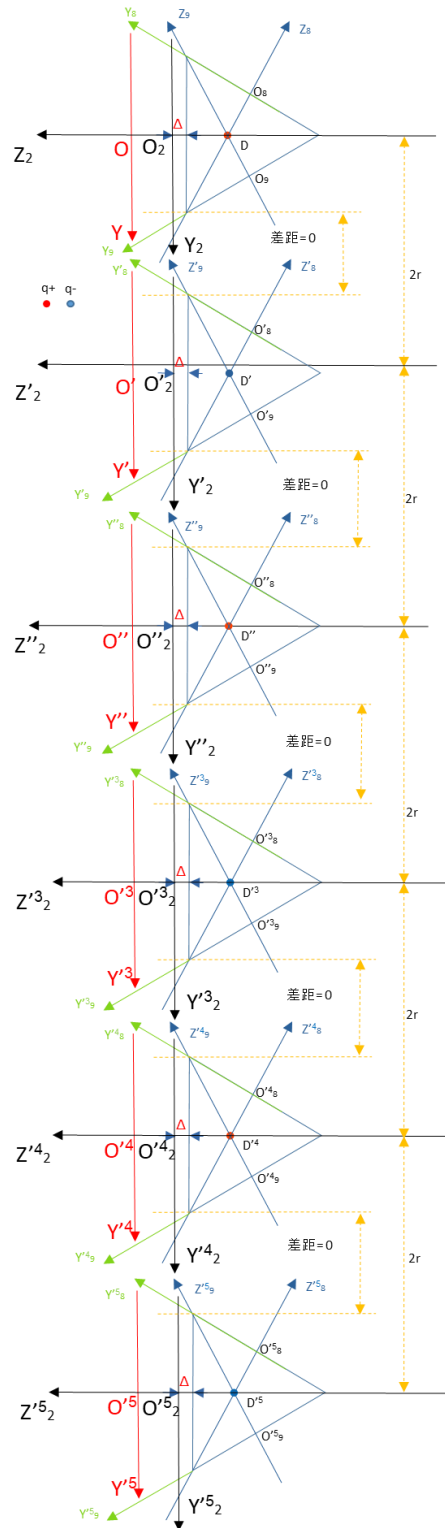
$$E_{li000n} = -21.330\,050\,514 \text{ MeV}$$

6 个核子沿其对称轴排列如下：

- N-P-N-P-N-P

$$E_{li00000} = E_{li000n} + E_{li0n} + E_{li0n} = -31.995\,075\,771 \text{ MeV}$$





结合能可以用与氦相同的方式计算。

点 D、D'、D''、D'<sup>3</sup>、J、J'、J''、J'<sup>3</sup>、A、A'、A''、A'<sup>3</sup>、G、G'、G''、G'<sup>3</sup> 在整体参考系中的坐标分别为：

$$\overrightarrow{OD} = 2 \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

$$D(x, y, z) = 2O_2 \left( -\frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = D \left( -\sqrt{3}\frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = D \left( -r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D'(x, y, z) = D' \left( -r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D''(x, y, z) = D'' \left( -r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$D'^3(x, y, z) = D'^3 \left( -r, -6r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A(x, y, z) = 2O_3 \left( \frac{\sqrt{3}}{2}z_0, 0, -\frac{1}{2}z_0 \right) = A \left( \sqrt{3}\frac{r}{\sqrt{3}}, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = A \left( r, 0, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A'(x, y, z) = A' \left( r, -2r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A''(x, y, z) = A'' \left( r, -4r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$A'^3(x, y, z) = A'^3 \left( r, -6r, -\frac{r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J(x, y, z) = 2O_1(0, 0, z_0) = J \left( 0, 0, 2\frac{r}{\sqrt{3}} \right) = J \left( 0, 0, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J'(x, y, z) = J' \left( 0, -2r, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J''(x, y, z) = J'' \left( 0, -4r, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$J'^3(x, y, z) = J'^3 \left( 0, -6r, \frac{2r}{\sqrt{3}} \right)$$

$$G(x, y, z) = G(0, 0, 0)$$

$$G'(x, y, z) = G'(0, -2r, 0)$$

$$G''(x, y, z) = G''(0, -4r, 0)$$

$$G'^3(x, y, z) = G'^3(0, -6r, 0)$$

确定第一个中子和质子的电荷对之间的势能：

$$E = E_A^{A'} + E_D^{D'} + E_J^{J'} + E_D^{J'} + E_J^{D'} + E_G^{A'} - E_A^{D'} - E_A^{J'} - E_D^{A'} - E_J^{A'} - E_G^{D'} - E_G^{J'}$$

$$E_x^{y'} = k_e \frac{\text{中}_x \cdot \text{中}_{y'}}{\text{中}_{ref}^2} \cdot \frac{e^2}{d_x^{y'}} = k_e \cdot \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_E \cdot \text{中}_{\delta y'5})^2 e^2}{\text{中}_{ref}^2 \cdot d_x^{y'}}$$

附加术语定义如下：

- $\alpha_E$  : 中性电荷影响锂的比例系数。
- $\text{中}_{\delta y'5}$  : 不含静电的锂的中性电荷。

$$E = \frac{k_e \cdot e^2}{4r} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}] \frac{(\text{中}_{ref} + \alpha_E \cdot \text{中}_{\delta y'5})^2}{\text{中}_{ref}^2}$$

这里，

$$E = E_{\text{li00000}}/5 = -6.399\,015\,154\,\text{MeV} = -10.252\,3741 \cdot 10^{-13}\,\text{J}.$$

我们推导出  $\alpha_E$  的值：

$$\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]} = (\text{中}_{ref} + \alpha_E \cdot \text{中}_{\delta y'5})^2$$

$$\alpha_E \cdot \text{中}_{\delta y'5} = \sqrt{\frac{E \cdot \text{中}_{ref}^2 \cdot 4r}{k_e \cdot e^2 \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - (\text{中}_{ref})$$

我们有：

$$\text{中}_{\delta y'5} = 18(\text{中}_F + \text{中}_F + \text{中}_H) + 18(\text{中}_H + \text{中}_H + \text{中}_F) = 4469.464818 \cdot 10^{-31}\,\text{kg}$$

$$\text{中}_{ref} = 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_E \text{中}_{\delta y'5} = \sqrt{\frac{10.2523741 \cdot 10^{-13} \cdot 82.81 \cdot 10^{-62} \cdot 4 \cdot 0.36373 \cdot 10^{-15}}{8.987552 \cdot 1.602177^2 \cdot 10^{-29} \cdot [6 - 2\sqrt{2} - \sqrt{3}]}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_E \text{中}_{\delta y'5} = \sqrt{\frac{37.193377188 \cdot 10^{-61}}{1.0}} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

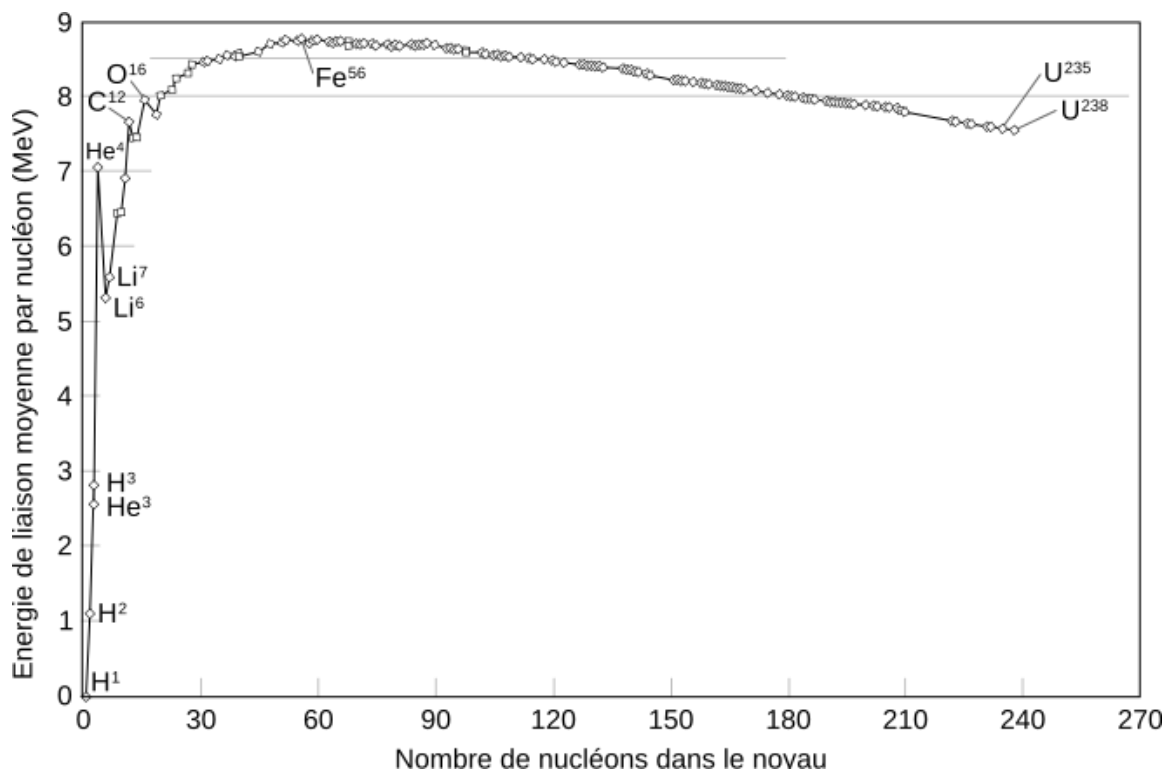
$$\alpha_E \text{中}_{\delta E} = 19.285\,584\,562 \cdot 10^{-31} - 9.1 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_E \cdot 4469.464818 \cdot 10^{-31} = 10.185\,584\,562\,037 \cdot 10^{-31}$$

$$\alpha_C = 0.002\,278\,927$$

#### 4.9.9 阿斯顿曲线的解读

阿斯顿曲线是表示原子核中每个核子的结合能与其质量数的关系的曲线。



质子和中子内夸克的几何结构使得该曲线很容易解释。

如果原子核仅包含负能量键（轴向或径向），则该曲线将严格递增。事实上，能量的体积密度最初会增加，然后随着结构的进展而迅速饱和。

He<sup>4</sup> 和 Li<sup>6</sup> 之间的钩子可以通过体积增加大于能量变化来解释。

Fe<sup>56</sup> 之后曲线的下降是由于正能键（动态径向键）的出现。随着核子数量的增加，结合能总和的增加速度减缓。这导致平均值降低。

#### 4.9.10 核聚变建模

本段描述了核子聚变的条件和所涉及的能量。将使用以下图例：

- 质子:
- 中子:

##### 4.9.10.1 质子和中子聚变的必要条件

为了使 1 个质子和 1 个中子发生聚变，必须满足以下条件：

1. 如果聚变通过轴向键发生，则能量为负。这种键基于三对相距恒定的电子对。这种键的绝对值最弱。条件是这两个核子的轴在同一条线上。
2. 如果聚变是通过径向键合发生的，那么来自 O1 核子的 4 对接触的电子对必须与来自 O2 核子的 4 对接触的电子对同步。O1 和 O2 核子必须彼此相对。
3. 两个核子必须靠近直到接触。对于轴向键，该过程可以自动完成。对于径向键，需要压力来补偿由两个同号电荷产生的电力，氘的情况 3 除外。



#### 4.9.10.2 两个质子融合的必要条件

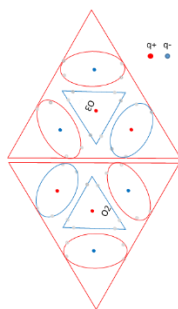
为了发生两个质子的融合，必须满足以下条件：

1. 融合只能通过径向键实现。
2. 两个质子必须相互靠近直至接触。需要压力来补偿两个同号电荷产生的力。

#### 4.9.10.3 两个中子聚变的必要条件

要使两个中子发生聚变，必须满足以下条件：

1. 融合只能通过径向键实现。
2. 两个中子必须相互靠近直至接触。需要压力来补偿两个同号电荷产生的力。但有一个例外：



在这种特定情况下，排斥力小于吸引力。无需施加压力即可实现接触。

#### 4.9.10.4 两个原子核聚变的必要条件

这里，原子核至少有两个核子。通常，前两个核子是质子-中子。两个原子核之间要发生聚变，必须满足以下条件：

1. 如果键是轴向的，则键截面必须与两个原子核的截面相对应。因此  $L_0$  键的数量为正数。
2. 如果键是径向的，那么键切必须具有足够数量的负能量  $LL_0$  双键。
3. 成键核子必须处于彼此相对的正确位置。
4. 对于径向键合，还有第二种可能性。键能为正。这些键是键合电子之间的键，是动态的。而轴向键和具有负能的径向键是静态的。
5. 在后一种情况下，键合电子必须相对于接触点同步。
6. 结合能问题：在正能量的情况下，聚变产物静止不动。在负能量的情况下，释放的结合能转化为动能。根据角动量守恒定律，最终角动量必须等于初始角动量。在初始动量为零的情况下，最终动量必须为零。这导致两个原子核向两个相反方向分离。这就是为什么最好选择产生至少两个有利于角动量守恒的粒子的聚变。

实际上，前两个条件并不像看起来那么简单。事实上，待聚变的原子核总体上带有正电荷。因此，当距离大于超导粒子半径  $r$  时，原子核会相互排斥。因此，需要足够的压力才能将它们聚到一起。

问题在于，电力与体积能量密度成正比。因此，增加压力会导致能量密度增加，从而导致排斥力增加。所以，聚变速率存在某种自然调节。

根据同样的道理，升高温度与升高压力具有相同的效果。

最后一个同步条件是最困难的。事实上，尽管核子是随着时间的推移而形成的，但它们并非全部同相。需要大量的核子才能获得少量可同步的核子。

如果我们取电子的直径，最好（因为有些人估计它趋向于 0），为以下值：

$$d_e = 10^{-22} \text{ m}$$

电偶的周长为：

$$l_c = \pi * 2 * r = \pi * 2 * 0.36373 = 2.285382992 * 10^{-15} \text{ m.}$$

电偶轨迹上的位置数：

$$N_p = l_c / d_e = 2.285 * 10^7.$$

平均而言，需要  $N_p + 1$  个原子核才能形成 2 个可同步原子核。因此，需要  $N_p$  次不同的相遇才能穿过一个可同步原子核。

第三个条件不如最后一个条件严重。但即使在压力下，它们仍然需要时间才能自然地面对面落下。事实上，当距离超过其半径时，电偶的旋转会变得中性。无法自行定位。

对于一般的负能键，新键会释放能量。这些能量是势能。这些能量不会在能量场的空间中停留，而是会在新原子核中转化为动能。

在正能量聚变的一般情况下，必须提供新键的能量。这就是势能。这些能量在能量场的空间中保留下来。

#### 4.9.10.5 1 个原子核和 1 个中子聚变的必要条件

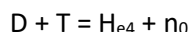
这里，原子核至少有两个核子。通常，前两个核子是质子-中子。一个原子核和一个中子要发生聚变，必须满足以下条件：

1. 如果键是轴向的，那么中子必须在原子核中找到一个质子才能将其定位在其轴上。这假设原子核至少有一个质子具有自由的轴向位置。
2. 如果结合是径向的，那么中子本身只能具有动态结合，因此具有正能量。

铀的各向同性原子核为 235，含有 143 个中子和 92 个质子。中子的数量几乎是质子数量的两倍。因此，存在一定数量的中子及其动态键。由于这些动态键比静态键更不稳定，因此放射性得以解释。

#### 4.9.10.6 氘和氚聚变的例子

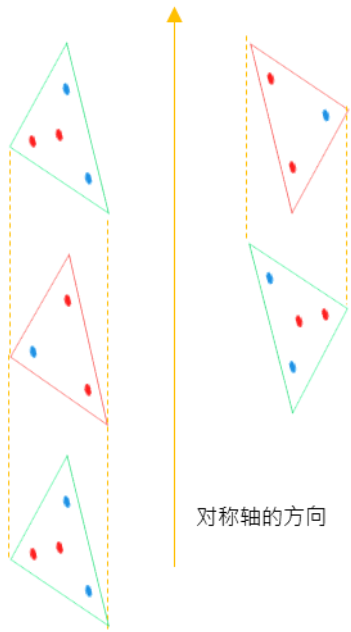
氘和氚聚变产生氦 4 核和中子，其反应式如下：



##### 4.9.10.6.1 合并进展

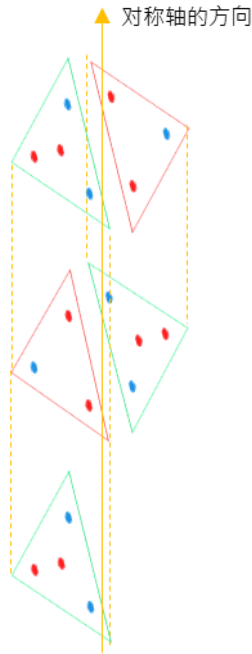
就实验室而言，出入境情况如下：

1. 步骤 1：通过高温或高压热搅拌将氦  $E_{de0}$  和氦  $E_{tr00}$  并联放置。

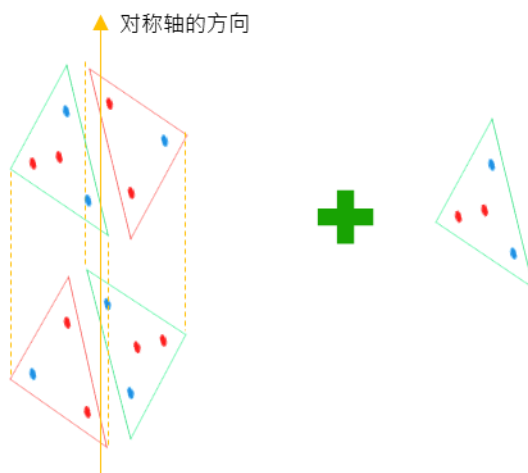


2. 第 2 步：氦  $E_{de0}$  与氦  $E_{tr00}$  在高压和热扰动的作用下结合，以补偿电力。

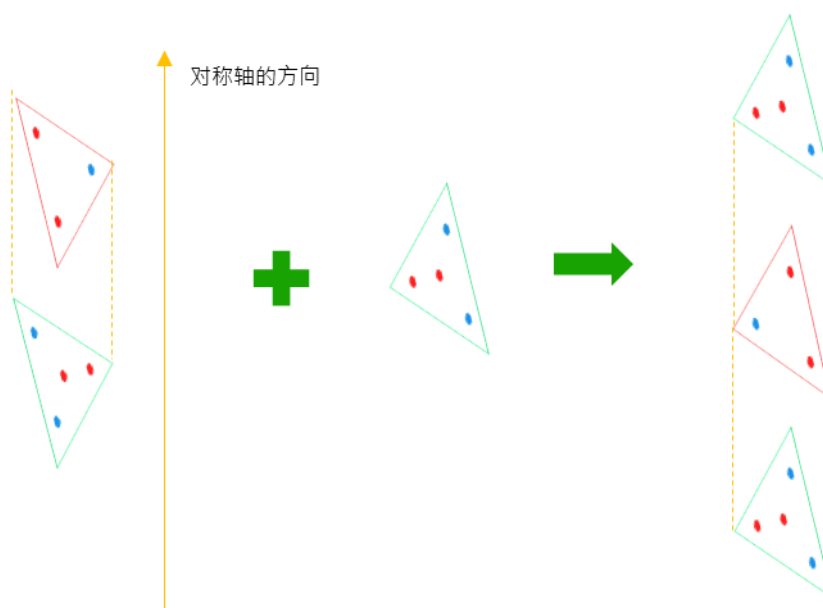
3. 步骤 3：要实现的最紧密的组合是将氦和氦径向键合成氦 5：  $E_{he00LL0}$ 。



4. 步骤 4：动量守恒使氦 5 不稳定，并从  $E_{L0}$  能级释放中子。



5. 第五步：由于氦价格昂贵，我们必须利用释放的中子来获取氦。



最后一步 5 需要在输入端添加更多的氦。初始氦充当催化剂。然后，自聚变产生氦。

注意到：

最后一步 5 会产生单个粒子。如果氦和中子沿两个相反方向运动，动量守恒会使共线碰撞不稳定。反弹是可能的，而且很有可能发生。

不使用氦，两个氦原子之间的聚变也是可能的。由于上述原因，其概率低于氦+氦的聚变，最终形成单个粒子。

#### 4.9.10.6.2 发挥能量

初始氦的构型为  $E_{de0}$ 。该氦与构型为  $E_{tr00}$  的氦结合生成氦 5。其质量平衡如下：

$$\Delta M_1 = M_{he5} - M_{de} - M_{tr}$$

$$\Delta M_1 = 5.01222u - 2.014102u - 3.016049u = -0.017931u = -16.702\ 619\ MeV$$

氦 5 失去一个中子变成氦 4。质量平衡如下：

$$\Delta M_2 = M_{\text{he4}} + M_n - M_{\text{he5}}$$

$$\Delta M_2 = 4.002603u + 1.008666u - 5.01222u = -0.000951u = -0.885851 \text{ MeV}$$

能量平衡为：

$$E = \Delta M_1 - \Delta M_2 = -16.702619 \text{ MeV} + 0.885851 \text{ MeV} = -15.816769 \text{ MeV}$$

#### 4.9.10.6.3 有利于融合的条件

解决方案：

为了使氦和氦发生聚变，必须进行两个操作：将电子从它们之间移开，并将两个原子核结合在一起。

第一种操作可以通过升高温度来实现，而第二种操作可以通过升高压力来实现。问题在于，很难同时达到极高的温度和极高的压力。目前已知的唯一成功案例是氢弹。这种方法的缺点在于，它无法以可控的方式输出聚变能量。

因此，有必要找到另一种快速释放大量的方法。迄今为止已知的最强大的能量源（例如氢弹）来自核能。根据目前的模型，这种能量来自电子-正电子键合。这导致需要使用两个非常高压的电极（一种接近氢弹模式的方法），通过中和电荷来释放大量的能量。如果能量足够，在放电过程中就会达到高温高压两种状态，而放电通常持续很短的时间（1 到 10 毫秒）。

这种短期、高度局域化的聚变得益于电磁效应。目前的模型表明，电力与体积能量密度成正比。但由于能量增长速度过快，这种正比关系在能量增长初期的短时间内无法发挥作用。这是电磁学固有的延迟效应，类似于剩磁。这使得原子核能够以与原有能量密度相对应的排斥力聚集在一起。这有利于聚变。

另一方面，托卡马克装置却没有受益于这一优势。事实上，托卡马克装置中的等离子体是通过逐渐加热获得的。这会逐渐增加电力，同时降低原子核聚变的概率。

在氢弹模式下，放电过程中的最大聚变率是根据以下特性计算的：

1. 氦和氦各有 5 个面：两个轴向面、三个径向面
2. 对于每个核心，获得融合刻面的概率为： $\frac{3}{5}$ 。实际上，只有 3 个径向刻面是融合的。
3. 对于每个融合面，落在另一个核的正确面上的概率为：单个面（2 个相同符号的电子核）的情况为  $\frac{1}{5}$ ，或者：双重面（2 个不同符号的电子核）的情况为  $\frac{1}{5}$ 。
4. 总概率为： $\tau = \frac{3}{5} \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5} \right) = \frac{3}{5} \cdot \left( \frac{3}{15} \right) = \frac{3}{25}$
5. 如果融合的时间小于放电的持续时间和剩磁的持续时间，则该速率可以大于十分之一。

该计算考虑了以下假设：

在高压下，由于吸引力的作用，两个原子核有时间重新调整，当两面状态良好时，它们就会融合。

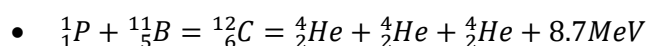
如果压力较低，则此原理不成立。事实上，如果电子的相对性不够强，原子核就会相互反弹。

为了增加聚变的可能性，可以考虑利用原子核的电矩和磁矩来影响原子核的方向。

不可能依赖高温、高压以及前两者持续性的条件。事实上，一个能够承受 1 亿度高温和 10,000 巴压力的容器很难实现。此外，稳定的环境会降低熔化速度。因此，必须使用一个循环排放的系统，就像汽油发动机中的四冲程气缸一样。容器由冷却系统冷却。因此，容器的平均温度远低于熔化温度。

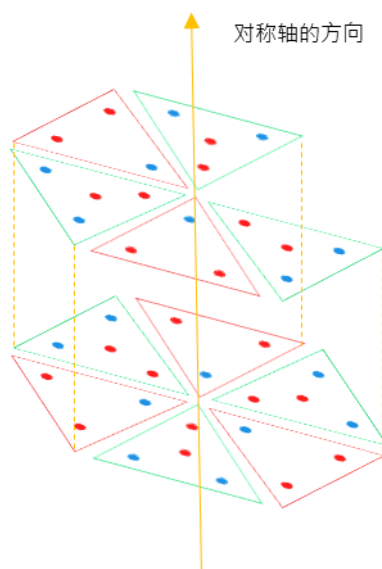
#### 4.9.10.7 质子和硼核之间的另一个例子

质子和硼核的融合：

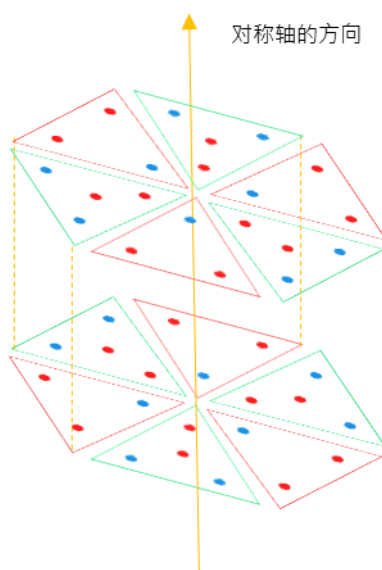


##### 4.9.10.7.1 合并进展

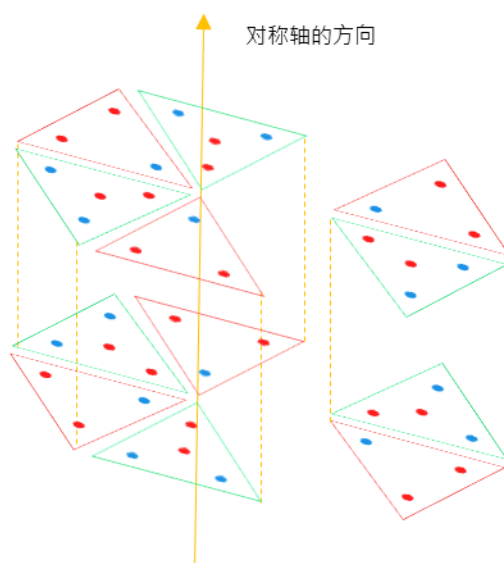
硼原子核的结构可以用下图表示：



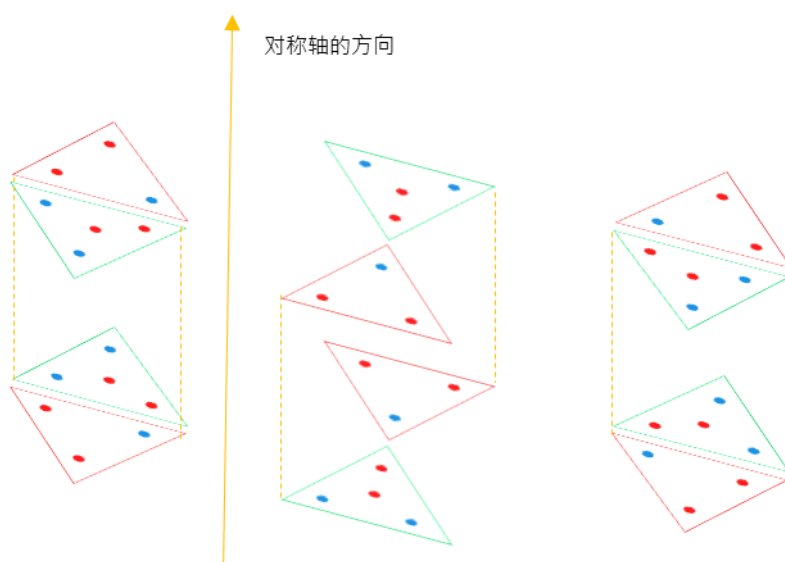
硼核与质子融合产生碳核，其结构如下：



聚变产生的动能首先将碳分离成 1 个氦和 1 个铍：



动能继续将铍分离成两种氦：



#### 4.9.10.7.2 发挥能量

硼 11 的质量为：

$$\Delta M_1 = 11,0093054u = 10255, 102\ 232\ 528\ \text{MeV}$$

质子和硼的质量总和：

$$\Delta M_2 = M_p + M_B$$

$$\Delta M_2 = 1,007\ 276\ u + 11,0093054u = 11193. 374\ 532\ 528\ \text{MeV}$$

3 个氦的总和：

$$\Delta M_3 = 3M_{\text{he4}}$$

$$\Delta M_3 = 3 * 4,002\ 602\ u = 11185. 199\ 577\ \text{MeV}$$

能量平衡为：

$$E = \Delta M_2 - \Delta M_3 = 11193.374\,532\,528\,MeV - 11185.199\,577\,MeV = 8.175\,MeV$$

#### 4.9.10.7.3 有利于融合的条件

解决方案：

硼原子核带有 5 个正电荷，其排斥力比氘原子核大得多。

所要实施的压力比氘和氚要大。

这种聚变的优点在于不释放中子，释放的能量是动能。

回收这种能量最直接的方法就是利用活塞发动机的原理。

#### 4.9.10.8 结论

这个模型可以解释为什么恒星有如此长的寿命：

恒星的寿命约为 100 亿年，具体取决于其燃料储量。这种长寿也得益于聚变的自我调节，而这需要时间才能实现。

约束：

这个模型揭示了一个重要的方面。事实上，建造聚变电站的项目必须考虑到聚变自调节的约束。否则，就会出现故障。

实验结果验证：

目前核聚变的成果表明，惯性模式（氢弹模式）的效率为 1.53；托卡马克模式的效率为 0.64；这与有利于聚变的条件的描述是一致的。

提高融合率的领域：

由于原子核带电，因此可以利用电磁场影响其方向。例如，如果原子核的对称轴全部平行，那么聚变率就会提高。

### 4.9.11 核裂变建模

本段描述了核子裂变的条件和所涉及的能量。????

#### 4.9.11.1 核子裂变的条件

由大量核子组成的原子核的结构可能不太稳定，当存在动态键时就会发生这种情况。

由于中子相对中性，它可以穿透原子。如果中子的能量大于 5.7MeV 的裂变势垒，原子核就会分裂成几个较小的原子核。裂变会释放出能量更高的中子，从而引发链式反应。



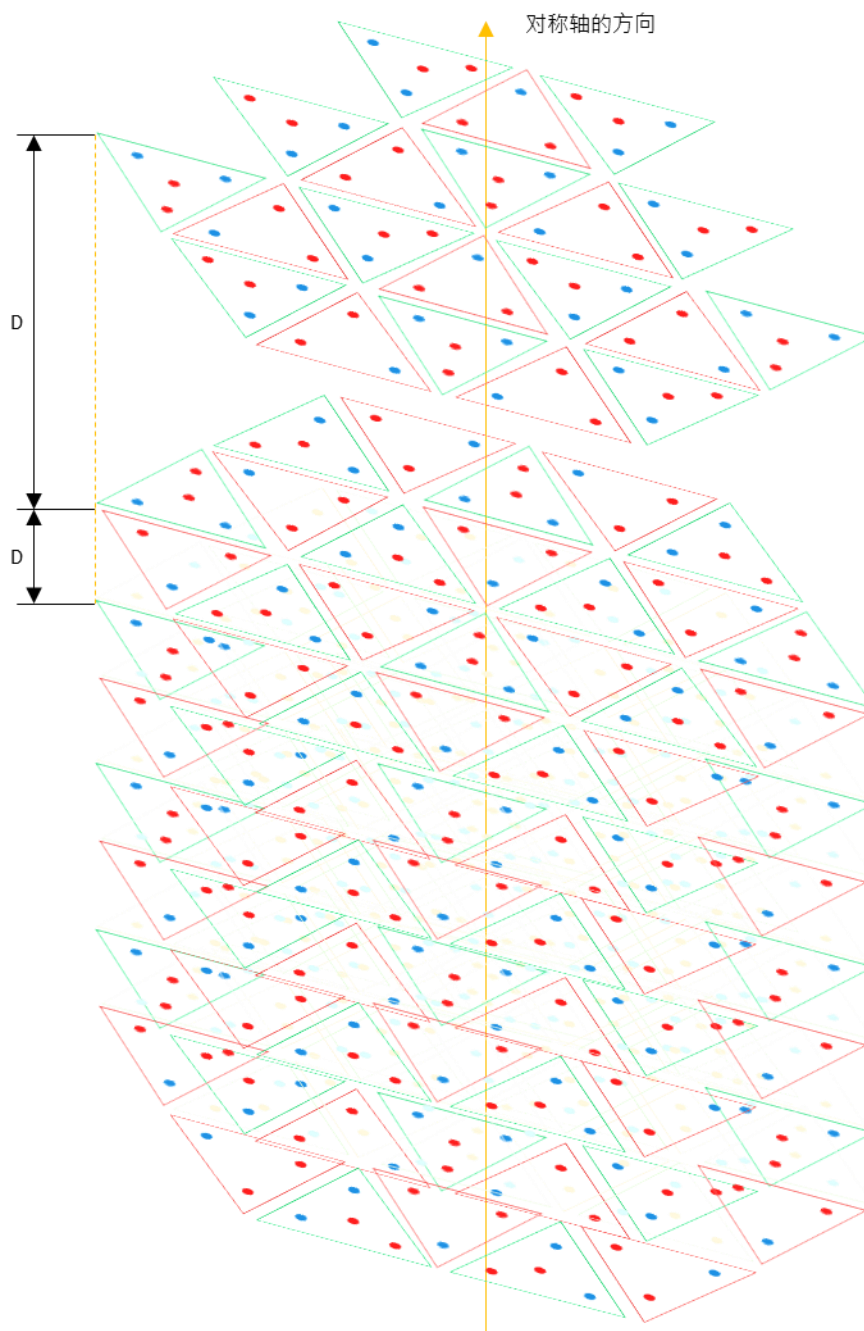
#### 4.9.11.2 裂变和所涉及能量的例子

铀 $U_{92}^{235}$ 的裂变可以用以下方程来描述：

$$U_{92}^{235} + n_0^1 = K_{r36}^{92} + B_{a56}^{141} + 3 n_0^1 + E_{\Delta}$$

##### 4.9.11.2.1 理想的几何结构

原子核的理想结构是质子和中子在三维空间中交替排列的均匀晶格。例如：92 个质子+96 个中子= $U_{92}^{188}$ ，铀的同位素。



这样获得的铀 188 非常稳定。

#### 4.9.11.2.2 剩余中子的放置

将 92 个质子+96 个中子按照原子核的理想结构放置后，剩下：235-92 个质子-96 个中子=47 个中子。

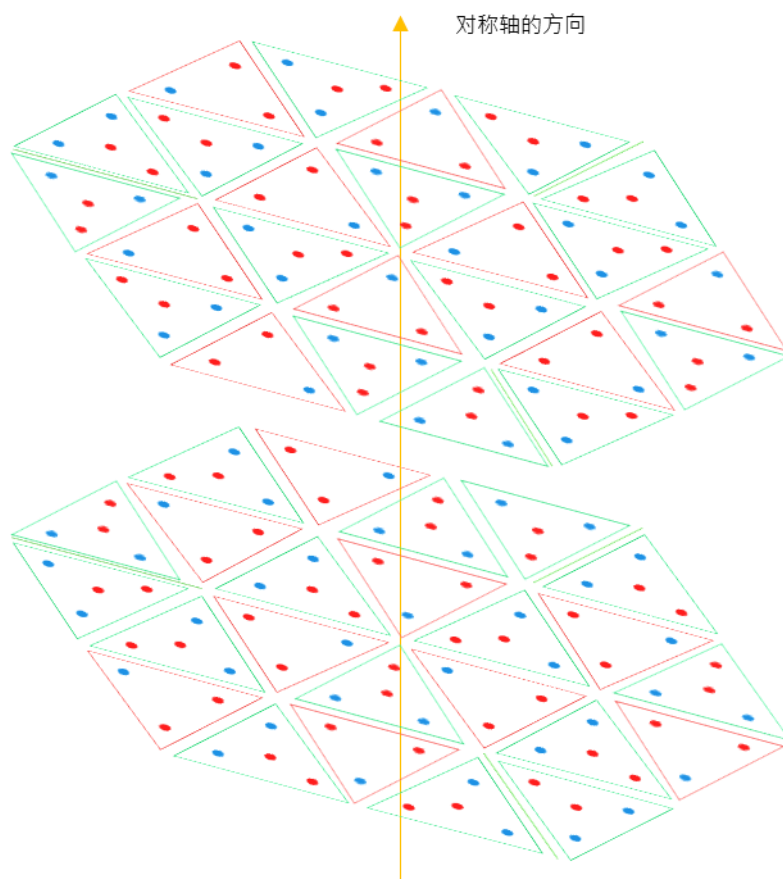
核子底部剩余 12 个质子空间，核子顶部剩余 8 个质子空间。这样一来，就有 27 个中子需要放置。但是，已经没有空间来建立轴向键了。由于中子是单独的，因此不可能建立负能量径向键。唯一剩下的可能性是建立正能量径向键。每个阶段有 12 个可能的空间。7 个阶段总共有 84 个可能的空间，不包括最后一个阶段。剩下的就是放置剩下的 27 个中子。

#### 4.9.11.2.3 脆弱的几何结构

原子核的结构具有无限多种可能性。我们必须从中找到那些脆弱的结构。

一种可能性是部分质子被中子取代，这种结构破坏了轴向键，从而削弱了轴向稳定性。

对于 10 级原子核，每级需要多 5 个中子，因此质子数减少 5 个。这样，每级需要 15 个中子+9 个质子，但最后两级需要 10 个质子+12 个（或 11 个）中子。下图显示了两个连续的阶段：



每个阶段都有 3 个正能量径向键，用 3 条绿线表示。这 3 个键构成了该阶段的 3 个脆点。取代质子的中子也构成了级间脆点。

在原子核中，用中子取代质子的可能性非常大（几乎无限）。这些替换构成了裂变过程中的裂变点。裂变可以通过一个或多个裂变点发生。

裂变时释放的能量等于断裂键能的总和，即正能量径向键能的总和减去负能量径向键能。

4.9.12  $\beta$  放射性建模

本段描述了  $\beta^+$ 、 $\beta^-$ 放射性的条件和所涉及的能量。接下来，上三角子起源于包含中性粒子海洋的环境，包括上三角子和下三角子。

如果这个三角子与原子核不同步会发生什么情况？在这种情况下，当将夸克替换到位时，质子或中子就会衰变。因此，它将释放与该原子的其他核子同步的夸克。

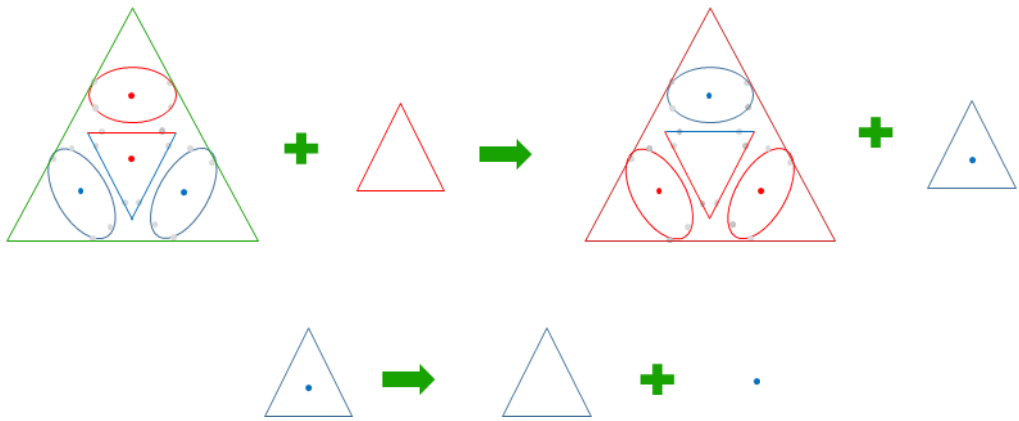
4.9.12.1  $\beta^-$ 放射性

标准模型认为中子在弱电力的帮助下变成质子：

$$\text{中子} + \text{能量} \implies \text{质子} + \text{电子} + \text{反中微子}$$

本模型认为，一个上三角子通过取代中子的两个下夸克中的一个，渗透到中子的核心中。顺便说一下，心脏的正电子被这个向上的三角子捕获了。

$$\text{中子} + \text{上三角子} \implies \text{质子} + \text{下三角子} + \text{电子}$$



分离的下夸克释放出其中的电子，成为下三角子。

条件是这个上三角子来自同一个原子核。这是电偶之间的同步条件。

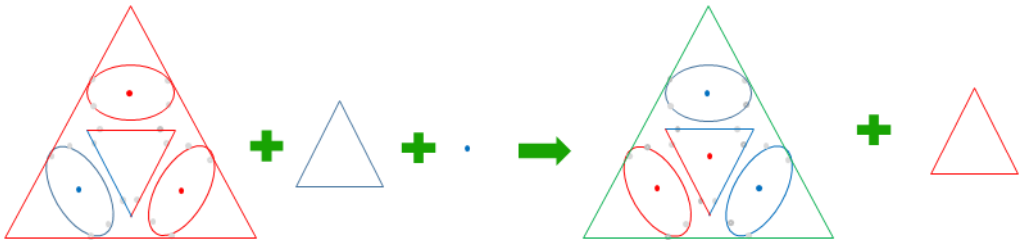
4.9.12.2  $\beta^+$ 放射性

标准模型认为质子在弱电力的作用下变成中子：

$$\text{质子} + \text{能量} \implies \text{中子} + \text{正电子} + \text{中微子}$$

本模型认为，高能下三角子在捕获一个负电子（下夸克）后，会取代质子的两个上夸克中的一个，进入质子核心。

$$\text{质子} + \text{下三角子} + \text{电子} \implies \text{中子} + \text{上三角子}$$



分离的上夸克释放出其中的正电子，立即被伪中子的中心捕获。  
条件是这个下三角子来自同一个原子核。这是电偶之间的同步条件。

4.10 用核子建成的大型结构建模

通过检查质子和中子的结构，我们可以推断出它们对称结构的存在，如下所示：

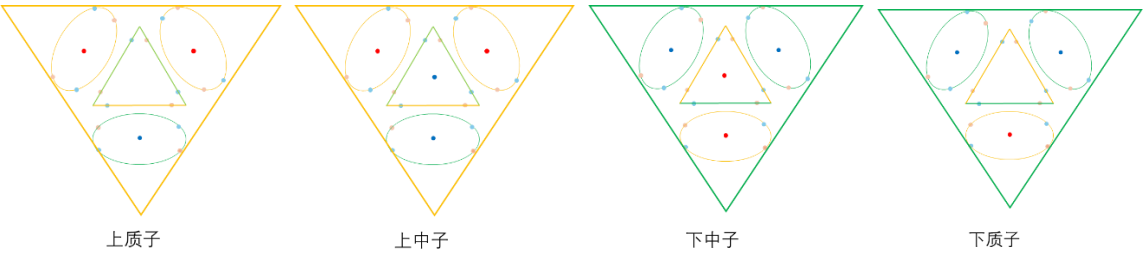


图44 - 对称核子

本模型预言了下质子的存在，它是质子的对称粒子，也是上质子。同样，它预言了上中子的存在，它是中子的对称粒子，也是下中子。  
由于与上质子相同的原因，下质子是稳定的。然而，上中子的稳定性尚不确定。迄今为止，在自然界中未观测到这两种对称核子的原因尚不清楚。

4.10.1 基于中子的结构建模

可以构建仅包含上下中子的结构。需要注意的是，对称中子并非反中子。在中和意义上，反中子就是中子本身，但带有符号相反的自由电荷（=单个=不带相反电荷以形成电偶）。这源于反夸克的定义。Q 夸克的反夸克就是 Q 夸克本身，但带有符号相反的电荷。

4.10.1.1 中子对

最简单的复合体就是一个上中子 + 一个下中子。

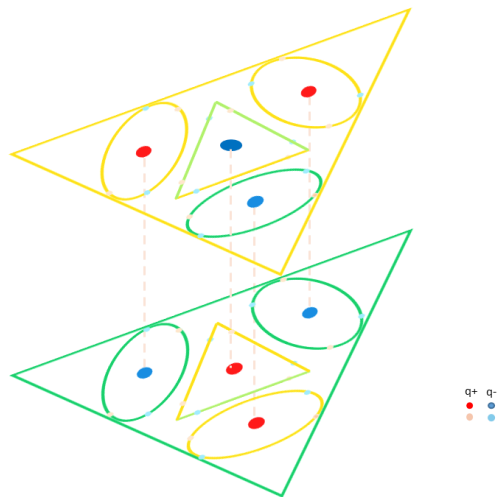


图45 - 中子对的结构

上中子的 2 个电子和 2 个正电子与下中子的 2 个正电子和 2 个电子面对面。两个中子的对称轴方向相同且重合。这种结构比氘更稳定。它被称为中子对。

4.10.1.2 三重中子

以下复合体是 1 个上中子 + 2 个下中子或 1 个下中子 + 2 个上中子。

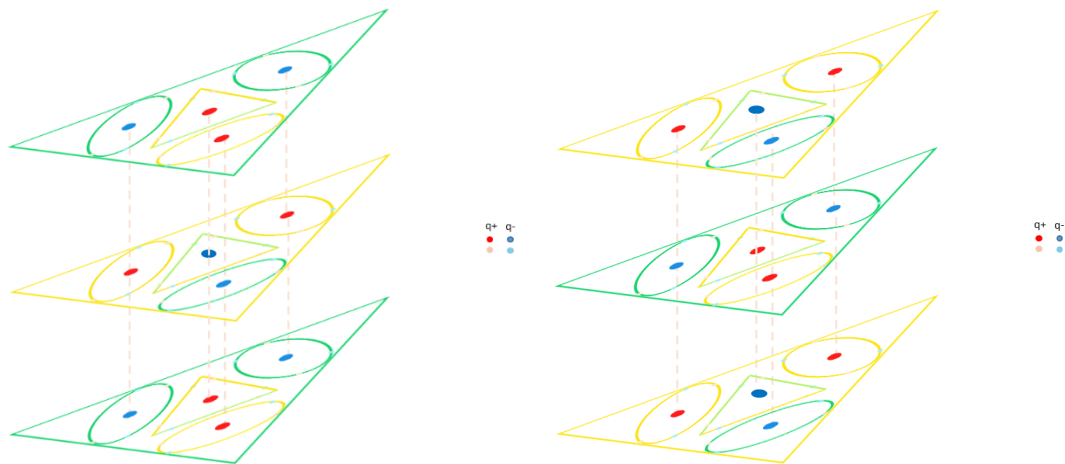


图46 - 三重中子

三个中子的对称轴方向一致且重合。这种结构比氘更稳定。它被称为三重中子。

4.10.1.3 双中子对

两个中子对可以并联放置，成为如下结构：

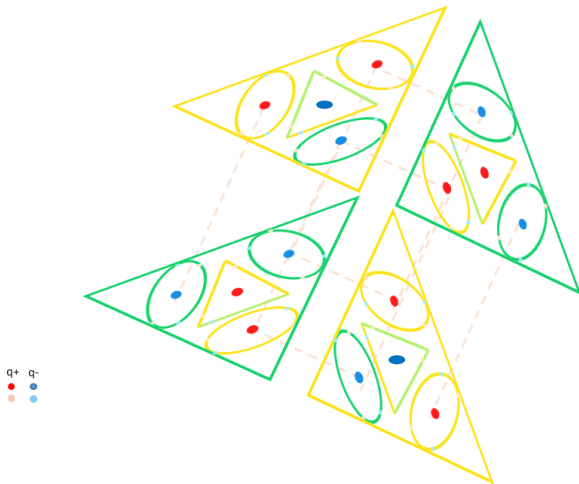


图47 - 双中子对

两个中子的对称轴方向相反。这种结构比氦更稳定。它被称为双中子对。

4.10.1.4 基于双中子对的复杂宏观结构

可以将双中子对结构复制叠加为复杂宏观结构：

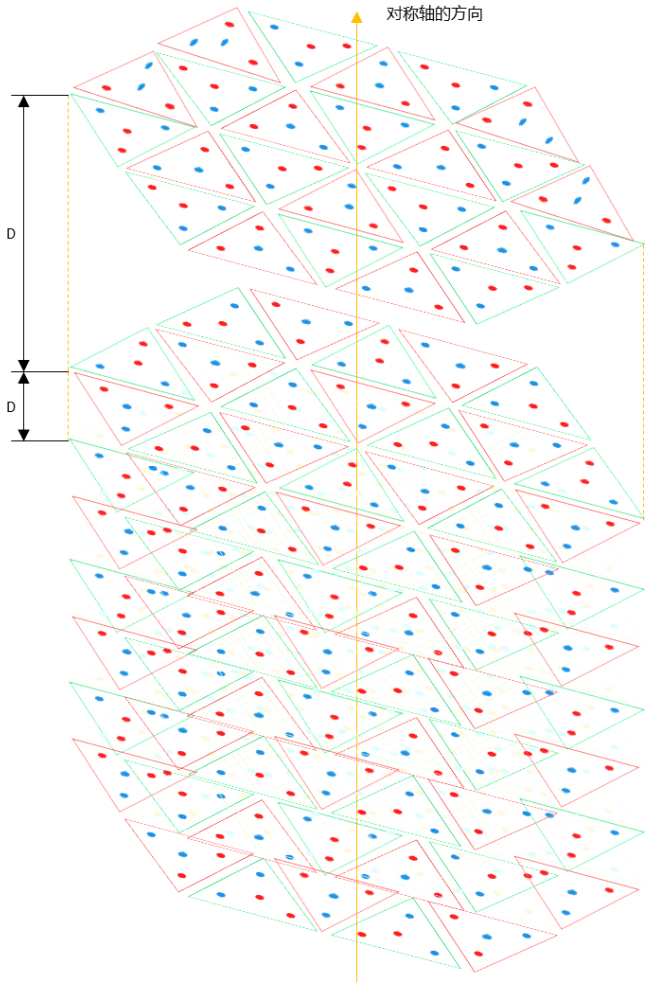


图48 - 基于双中子对的大型结构

中子的对称轴都是平行的。但它们的方向彼此相反，形成中子对结构。这种结构可以无限延伸。由于所有中子间的键都是静态的，并且具有负能量，因此它非常稳定。这种结构被称为基于中子对的宏观结构。

基于中子对的结构具有以下特性：

- 密度非常高，至少是普通物质的 10 万倍。
- 其刚性非常高，至少是金刚石的 10 万倍。
- 熔化温度非常高，至少有 2.5 亿度。
- 它应该像镜子一样反射光线。
- 它是电绝缘的。
- 它具有隔热作用。
- 等等

这种材料的应用前景非常广阔。例如：

- 极强的装甲，适用于坦克、军舰等。
- 潜艇船体可承受极高的压力，
- 耐高温的飞机发动机，
- 宇宙飞船耐高温船体，
- 耐腐蚀船体，
- 防核辐射防护墙，
- 等等

#### 4.10.2 基于质子的结构建模

可以构建仅由上下质子组成的结构。

##### 4.10.2.1 质子对

最简单的复合体是一个上质子 + 一个下质子。

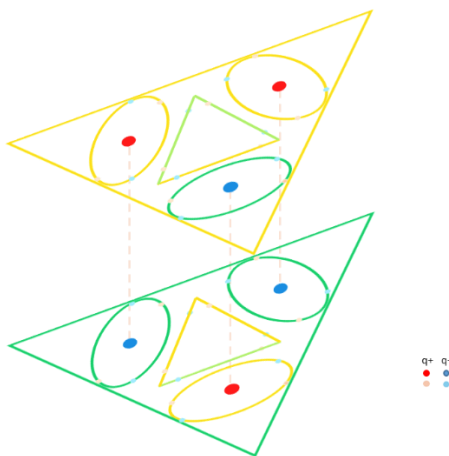


图49 - 质子对的结构

上质子的电子和两个正电子与下质子的正电子和两个电子面对面。两个质子的对称轴方向相同且重合。这种结构比氘更稳定。它被称为质子对。

4.10.2.2 三重质子

以下复合体是 1 个上质子 + 2 个下质子 或 1 个下质子 + 2 个上质子。

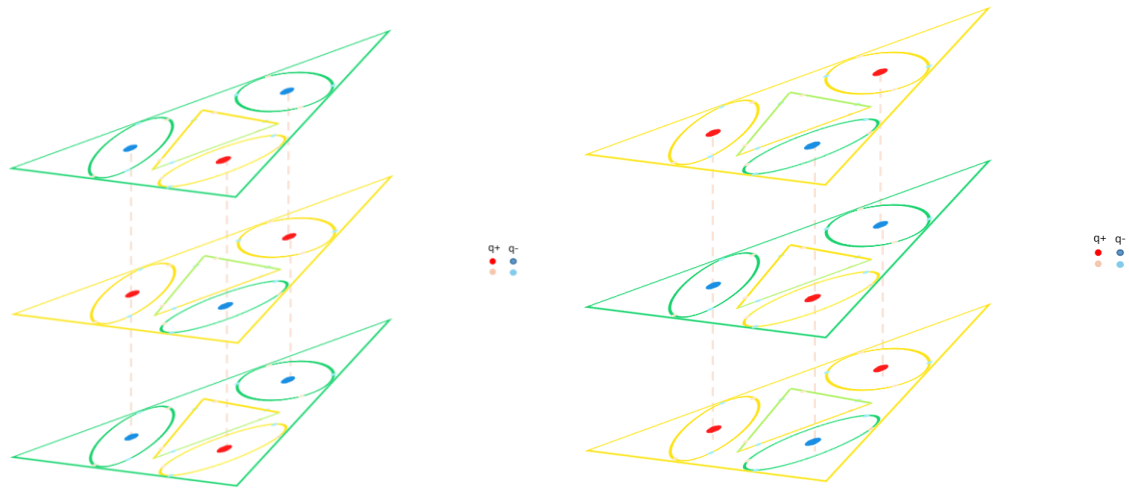


图50 - 三重质子

三个质子的对称轴方向一致且重合。这种结构比氦更稳定。它被称为三重质子。

4.10.2.3 双质子对

两个质子对可以并联起来，形成如下结构：

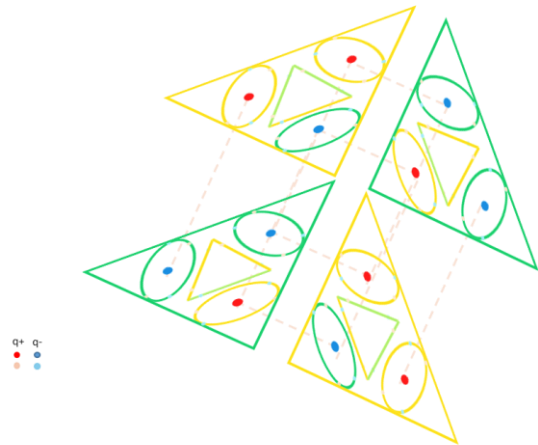


图51 - 双质子对

两个质子对的对称轴方向相反。这种结构比氦更稳定。它被称为双质子对。

4.10.2.4 基于双质子对的复杂宏观结构

可以将双质子对结构复制叠加为复杂宏观结构：



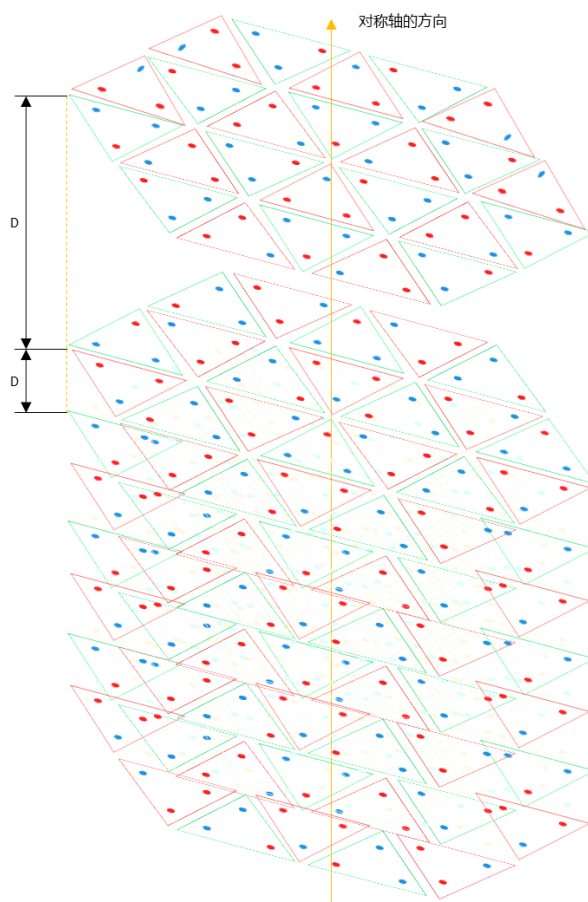


图 52 - 基于双质子对的大型结构

质子的对称轴全部平行。但它们的方向彼此相反，形成质子对结构。这种结构可以无限延伸。它非常稳定，因为所有质子间键都是静态的，并且具有负能量。这种结构被称为基于双质子对的宏观结构。

基于双质子对的结构具有以下特性：

- 密度非常高，至少是普通物质的 10 万倍。
- 其刚性非常高，至少是金刚石的 10 万倍。
- 熔化温度非常高，至少有 2.5 亿度。
- 它应该像镜子一样反射光线。
- 它具有隔热作用。
- 它是电绝缘的。
- 它沿着光子的对称轴方向传导光子。光子甚至可以是伽马射线  $\gamma$ 。
- 等等

这种材料的应用前景非常广阔。例如：

- 极强的装甲，适用于坦克、军舰等。
- 可承受极高压力的潜艇船体，
- 耐高温的飞机发动机，
- 耐高温的宇宙飞船船体，
- 耐腐蚀船体，
- 防核辐射防护墙，

- 等等

#### 4.10.3 基于质子-中子结构建模

可以构建仅用上质子、下中子的结构。

地球上的原子核就是这种情况，甚至宇宙中也可能存在这种情况。

但如果这种结构过大，正电荷的积累就会过大，以至于任何带正电荷的新核子都会被排斥。这阻碍了大型结构的形成。这也解释了为什么自然界中没有由核子（质子向上，中子向下）形成的大型结构。

#### 4.10.4 基于质子-中子对称体的结构建模

可以构建仅由下质子和上中子组成的结构。与基于质子和中子的结构相比，这些结构是它的对称体。自然界中缺乏这些结构可能意味着它们的不稳定性。

##### 4.10.4.1 氡伴

最简单的复合体是一个下质子 + 一个上中子。

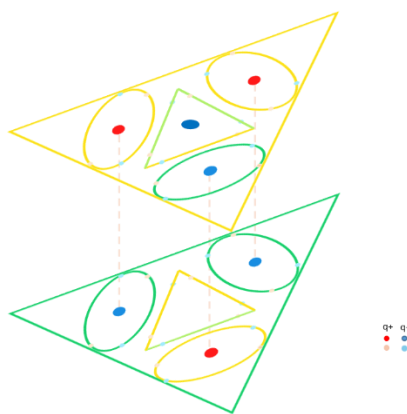


图 53 - 氡伴的结构

下质子的两个电子和一个正电子与上中子的两个正电子和一个电子面对面。两个核子的对称轴方向相同且重合。这种结构的稳定性尚不确定。它将被称为氡伴。

##### 4.10.4.2 氡伴

以下复合体是一个上中子 + 两个下质子或一个下质子 + 两个上中子。

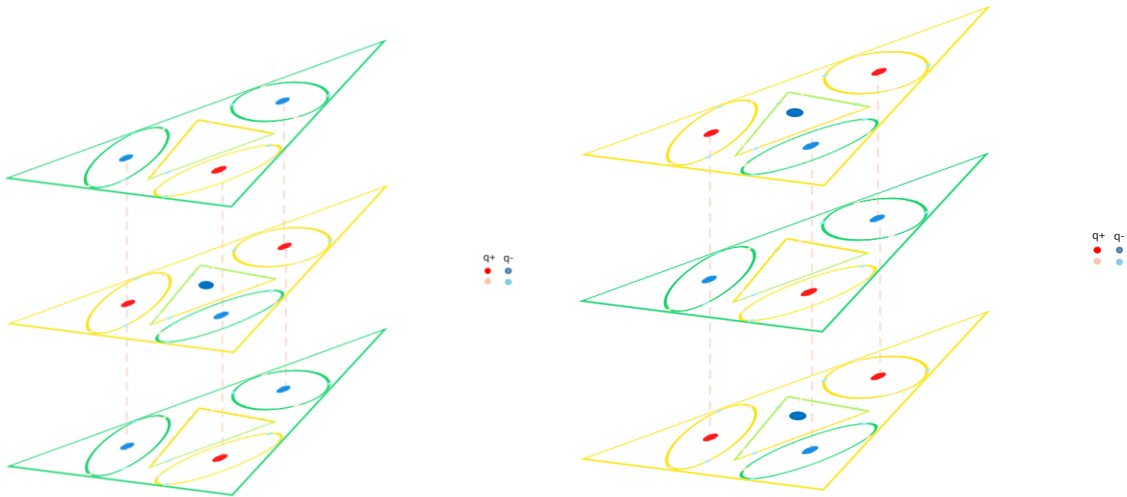


图54 - 氡伴

三个核子的对称轴方向一致且重合。该结构的稳定性尚不确定。它将被命名为氡伴。

4.10.4.3 氮伴

两个氡伴可以并联放置，成为如下结构：

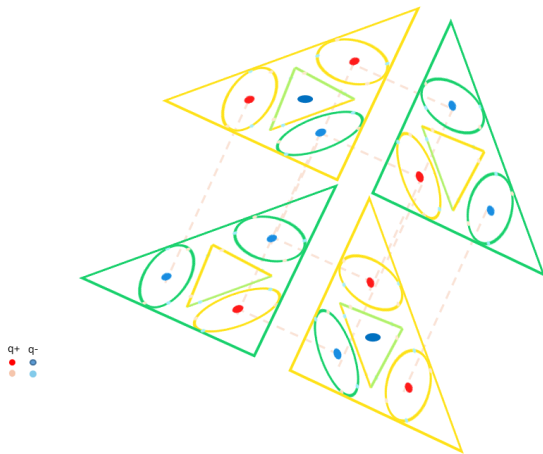


图55 - 氮伴

两个氡伴的对称轴方向相反。该结构的稳定性尚不确定。它将被称为氮伴。

4.10.4.4 基于氮伴的复合结构

可以将氮伴的结构复制叠加为复杂宏观结构：

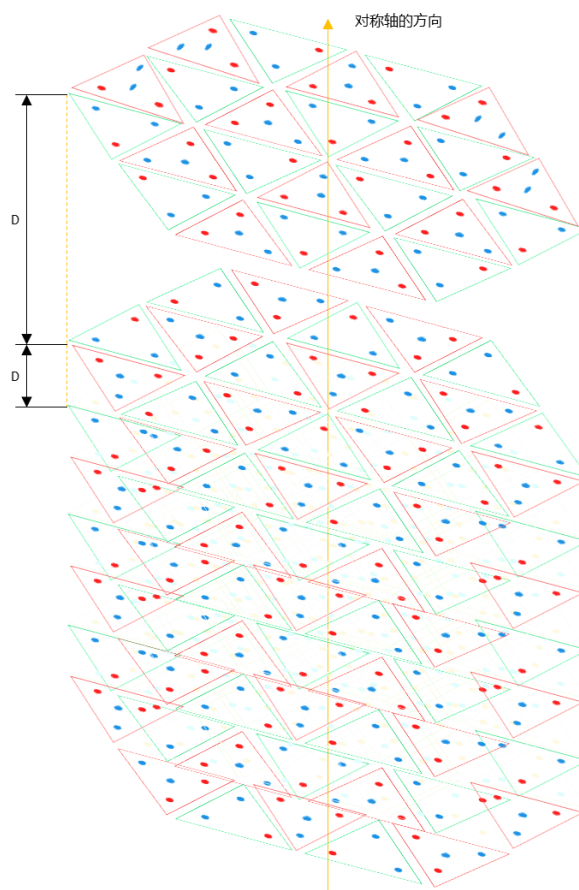


图56- 基于氦伴的大型结构

氦伴的对称轴全部平行，但它们的方向彼此相反，形成氦伴结构。这种结构可以复制叠加，但只能在一定限度内。由于所有核子间键都处于静态且具有负能量，因此非常稳定。这种结构被称为氦伴结构。但如果这种结构过大，负电荷的积累会非常严重，以至于任何带负电荷的新核子都会被排斥。这阻碍了大型结构的形成。

#### 4.10.5 基于氦及其对称体的结构建模

可以构建每行交替排列氦和氦伴的结构。

##### 4.10.5.1 氦偶

下面的复合体是由氦 + 氦伴组成。

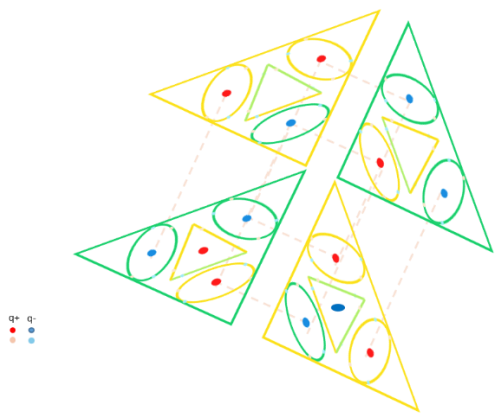


图57- 氡偶

这种结构与氦几乎完全相同。区别在于，其中一个氡核子被氡伴核子取代。它被称为氡偶。与氦相比，氡偶最重要的特性是其电中性。

这种结构的稳定性尚不确定。唯一不确定的是上中子电子的稳定性。如果它逃逸，剩余的结构将带正电，但仍保持稳定。

4.10.5.2 基于氡偶的复杂宏观结构

氡偶的结构可以在核子对称轴方向和垂直方向上进行推广。此外，氡偶的电中性使其能够形成宏观结构。

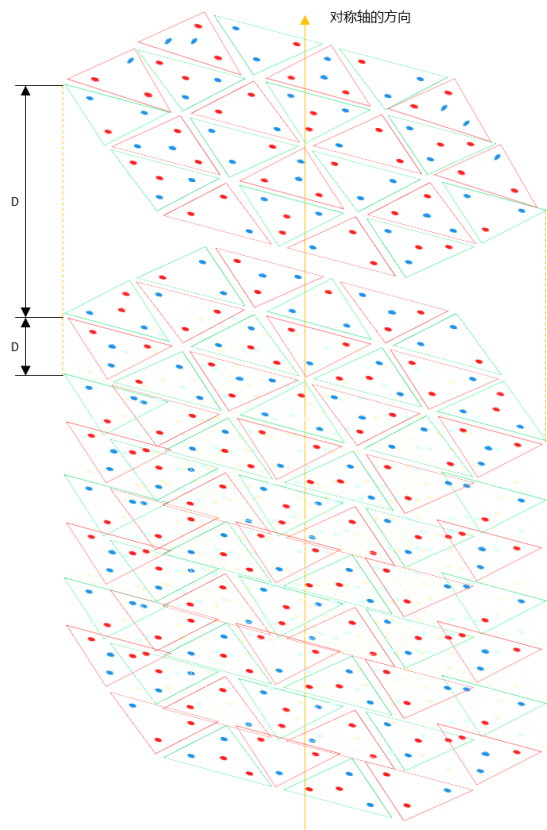


图58- 用氡偶复生叠加而成的固体

除了固体对称轴方向两端两个面外，上中子的电子都是稳定的。事实上，上中子电子的两个出口都被两个下中子阻挡，甚至还被其他上中子增强。

这种固体具有以下性质：

- 密度非常高，至少是普通物质的 10 万倍。
- 其刚性非常高，至少是金刚石的 10 万倍。
- 熔化温度非常高，至少有 2.5 亿度。
- 它应该像镜子一样反射光线。
- 它具有隔热作用。
- 它在垂直于其对称轴的方向上是电绝缘的。
- 它在对称轴方向上具有导电性，甚至具有超导性。
- 等等。

这种材料的应用前景非常广阔。例如：

- 极强的装甲，适用于坦克、军舰等。
- 潜艇船体可承受极高的压力，
- 耐高温的飞机发动机，
- 宇宙飞船耐高温船体，
- 耐腐蚀船体，
- 防核辐射防护墙，
- 高强度磁场发生器。
- 等等。

## 5 预测

一些预测是在这个模型之后可以立即推出的。这里列出了最值得注意的。

### 5.1 两个粒子就足以构建宇宙

除了光子和纯电子之外，所有粒子都是由前两者组成的。

### 5.2 潜在势能量存在于环境中

势能的存在不再需要证明。例如在月球和地球之间，当它们之间的距离  $d$  减小时，势能  $E_p$  转换为动能。月球  $v$  的速度增加。随着距离  $d$  的增加，速度  $v$  减小。势能  $E_p$  增加。但  $E_p$  位于哪里？它既不在月球上，也不在地球上。它存在于周围介质中。

### 5.3 物质守恒定律是一条绝对严格的法则

该模型预测光子永远是光子，电荷永远是电荷。光子和电荷之间没有转换。光子永远不会消失。电荷永远不会消失。

因此，能量守恒也是绝对的。

因此，物质和反物质之间不存在破坏性的中和。此外，反物质并不存在。它们只是相反符号的电子。

#### 5.4 夸克具有整数基本电荷 $e^+$ 或 $e^-$

了解质子和中子的结构，很容易预测每个夸克都有自己的基本电荷。中子的电荷之和无需拆分即可获得 0。因为这些粒子的核心是第四个夸克，它可以承载一个电子。

#### 5.5 惯性质量是矢量

粒子的惯性质量在所有方向上并不相同。在它的运动方向上根据其速度而变化。但在垂直方向上它是定量的。该定量等于粒子的中性载荷。

#### 5.6 光子具有惯性质量和引力质量

与认为光子具有零质量（惯性或引力）的标准模型不同，本模型认为光子具有无限的线性惯性质量和等于其中性载荷的垂直惯性质量。

原因很简单。光子的速度无法修改。一切的发生就好像光子具有无限的质量一样。

观察表明，光子会被大质量物体偏转。这表明垂直方向的惯性质量不是无限的。并且光子对引力有感应。

#### 5.7 光子可以从黑洞中出来

考虑到光子具有无限的线性惯性质量和等于其中性载荷的垂直惯性质量，它可以沿着黑洞的对称轴完美地离开黑洞。

事实上，黑洞的大质量无法改变光子的速度。另一方面，光子的方向将被这个大质量改变。但在黑洞的旋转轴也是黑洞对称轴的情况下，对称性意味着光子的方向不会被改变。因此，光子将继续前进，直到离开黑洞。

天文学中观察到的来自黑洞的巨大喷流证实了这一预测。

#### 5.8 光子的速度可以大于 $c$

由于光子是由引力敏感物质推动的，因此在局部坐标系  $R_i$  中测得的光子的速度都等于  $c$ 。但在绝对坐标系  $R_a$  中，每个局部系的速度  $v_{ri} > 0$ 。这给出了绝对系  $R_a$  中光子的最终速度：

$$\vec{v}_a = \vec{v}_{ri} + \vec{c}$$

如果方向  $\vec{v}_{ri}$  和方向  $\vec{c}$  方向相同，则  $v_a > c$ 。

如果方向  $\vec{v}_{ri}$  和方向  $\vec{c}$  方向相反，则  $v_a < c$ 。

在太空中，当一个光子穿过绝对坐标系中几个不同速度的区域时，这个光子的轨迹并不是一条直线。它是锯齿形的。



### 5.9 宇宙的加速膨胀不需要暗能量

该模型预测宇宙膨胀的加速仅仅是由光子造成的。

事实上，自由光子比复合粒子移动得更快。因此，这些位于宇宙外部的光子通过强大的力吸引着宇宙内部的物质。随着时间的推移，扩张速度会加快。

### 5.10 存在着围绕大质量中心运行的中性粒子海洋

该模型预测宇宙中存在中性粒子海洋。这些粒子海洋的密度取决于这些粒子引力中心的质量。

天文学的观测结果证明了这一预测。

### 5.11 粒子的波动表现不属于这些粒子

本模型预测粒子的波动表现属于能量场和中性粒子组成的环境。

就光子而言，通过移动，环境中的电偶可以暂时捕获光子。捕获光子的 2 个电子之一将进行弧形运动，然后释放光子。它根据光子的能量产生波。

在存在多个光子的情况下，捕获光子的电偶相互作用。因此，每个光子的轨迹将被相邻的电偶改变，相邻的电偶是由另一个光子提供能量的。如果电偶里得到光子的电子们具有相反的符号，则两个光子会靠得更近一些。否则，两个光子会稍微移开。最终结果称为干扰。

在电子的情况下，它从环境中吸引具有相反符号的电偶的电子。这迫使电偶的另一侧向相反方向转移。

当存在多个相同符号的电子时，它们将通过电偶在一定距离内相互作用。会发生与干扰相同的现象。我们的直观印象是电子具有波动特性。

### 5.12 核聚变需要条件

目前的模型预测核聚变只有在足够高的压力和温度下才能发生。这种现象是由电力与周围能量密度成比例的自我调节引起的。此外，两个原子核相遇需要一些时间。

### 5.13 有一种固体比钻石强硬 10 万倍

当前模型预测，有可能创造出一种仅由核子及其对称体组成的固体。这种固体比由原子组成的固体密度更大、强度更高、绝缘性更强。

### 5.14 存在光子的超导体，包括伽马射线

当前模型预测，可以创造出一种仅由核子及其对称体组成的固体。这种固体比由原子构成的固体密度更大、强度更高、绝缘性更强。而且，这种固体可以沿着核子对称轴的方向传导光子。甚至伽马射线（ $\gamma$ ）也能穿过它。光子的衰减比光纤低得多。



## 5.15 任何温度下都存在电超导体

当前模型预测，有可能创造出一种仅由核子及其对称体组成的固体。这种固体比由原子构成的固体密度更大、强度更高、绝缘性更强。更重要的是，这种固体沿核子的对称轴呈现超导性。这种超导性对高达 2.5 亿摄氏度的温度变化不敏感。

作者：董喜杰 电话：+33 6 95 31 23 08 电子邮件：jacques.dong@free.fr

## 6 缩写

本文使用了以下缩写：

Alternance	=氘偶，由 1 个氘核和 1 个氘伴组成的粒子的新名称。
Charginette	=电偶，为了命名新引入的粒子而刚刚创造的词：由负电子和正电子组成的一对。
Chrominette	=三角子，为了命名新引入的粒子而刚刚创造的词：复合粒子
Deuteriumelle	=氘伴，氘的对称粒子的新词。
Electrinette	=电子，表示负电子或正电子的新词。
Heliumelle	=氦伴，氦的对称粒子的新词。
Neutronette	=中子对，新引入粒子的新词：上中子和下中子的复合物。
Nucléonette	=品晶子，为了命名新引入的粒子而刚刚创造的词：复合粒子
PC	个人电脑
Photonette	=光偶，为了命名新引入的粒子而刚刚创造的词：光子对
Protonette	=质子对，新引入粒子的新词：上质子和下质子的复合物。
SM	=标模，标准模型
Tritiumelle	=氚伴，氚的对称粒子的新词。
XM	=董模，董喜杰模型
☯	阴阳符号，其十六进制 Unicode 为 0x262f。它代表董模中的一个电偶。
Δ	希腊字符大写 delta。他代表了董模中的三角子。
品	表示十六进制 Unicode 为 0x4637 的对象的表意文字。它代表董模中的品晶子。
中	表示中性的表意文字，其十六进制 Unicode 为 0x3197。它代表董模中光子的中性载荷。
口	表示嘴巴的表意文字，其十六进制 Unicode 为 0x2f1d。它代表董模中的纯电荷。
古	表示古老对象的表意文字，其十六进制 Unicode 为 0x3945。它代表董模中的能量场。
重	表示物体质量的表意文字，其十六进制 Unicode 为 0x5658。它代表董模中的重力场。
电	表示电气对象的表意文字，其十六进制 Unicode 为 0x3567。它表示董模中的电场。
磁	表示磁性对象的表意文字，其十六进制 Unicode 为 0x3445。它代表董模中的磁场。
山	表示山峰的表意文字，其十六进制 Unicode 为 0x2f2d。它代表董模中的潜在场。

## 7 附录 A：使用 Matlab Simulink

### 7.1 附录 A.1：电偶的特性

半径  $r$ 、转速  $v$  和质量之间的关系是一个可以使用 Matlab 绘制的表格。

Matlab 版本 R2019a 生成的文件中给出了详细信息：

charginette\_nappe\_r\_v\_zh\_kn\_10\_12\_noPot\_En.m

OX 轴代表质量。单位为  $10^{-31}$  公斤。跟踪变量是：

xx = [0.08:0.08:8.0]; (默认范围)

%xx = [0.001:0.001:0.10]; (保留范围)

%xx = 其他理想范围

为了获得合适的可见性，必须适当调整视化值的范围。删除要使用的 yy 前面的“%”，并在当前范围前面添加“%”。

OY 轴代表速度。单位为  $10^2$  米/秒。跟踪变量是：

yy = [0.1:0.1:10]; (默认范围)

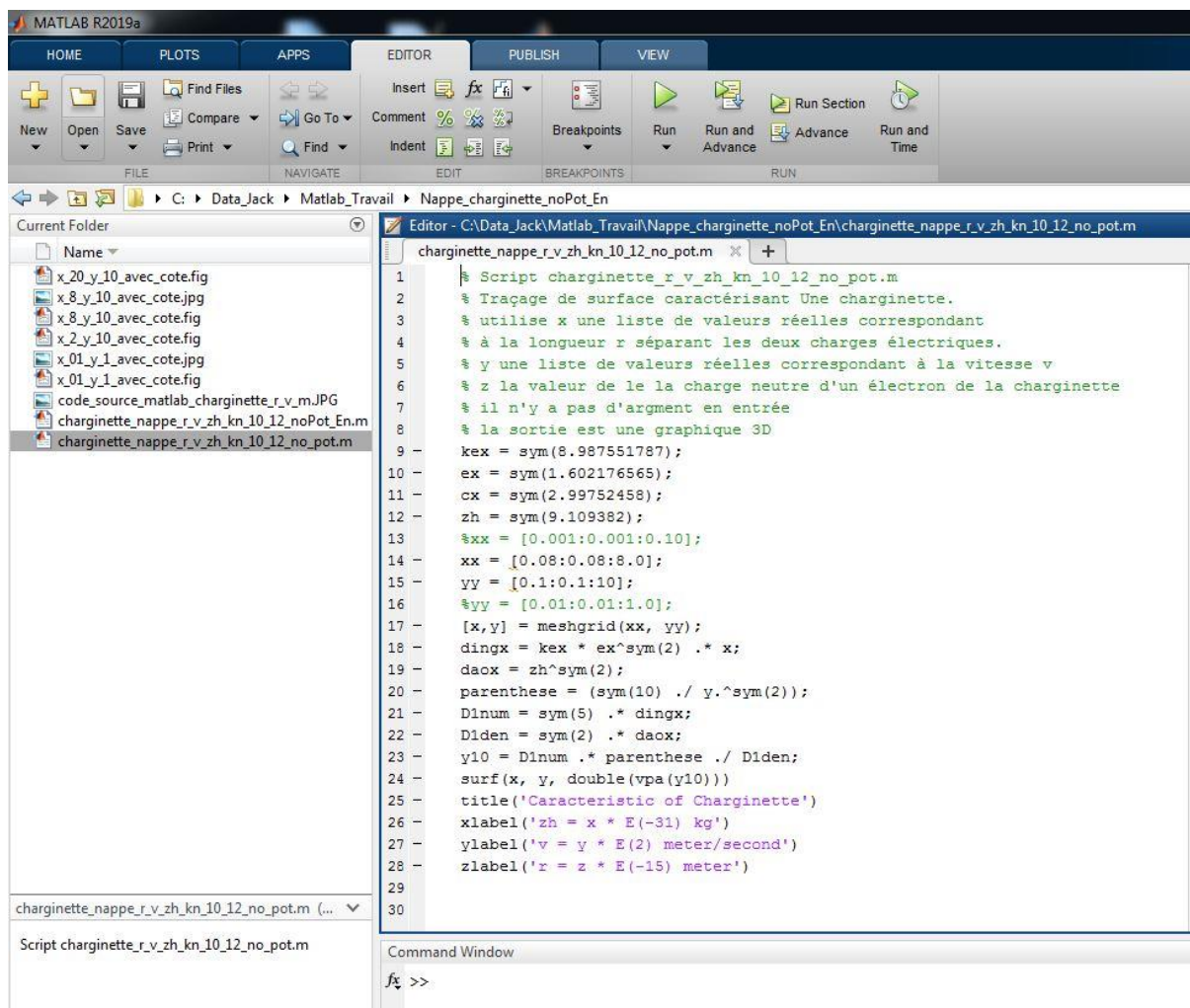
%yy = [0.01:0.01:1.0]; (保留范围)

%yy = 其他理想范围

为了获得合适的可见性，必须适当调整视化值的范围。删除要使用的 yy 前面的“%”，并在当前范围前面添加“%”。

OZ 轴表示半径 r。单位为  $10^{-15}$  米。

以下屏幕截图显示了电偶的 Matlab 源代码：



## 7.2 附录 A.2：三角子微分方程组

控制三角子内电偶行为的微分方程组由以下两个方程组成：

方程 2 - 三角子 FA - 三角子微分方程 1

方程 3 - 三角子 H - 三角子微分方程 2

Matlab 的 Simulink 软件工具非常适合该微分方程组的数值求解。

Matlab Simulink 版本 R2019a 生成的文件中给出了详细信息：

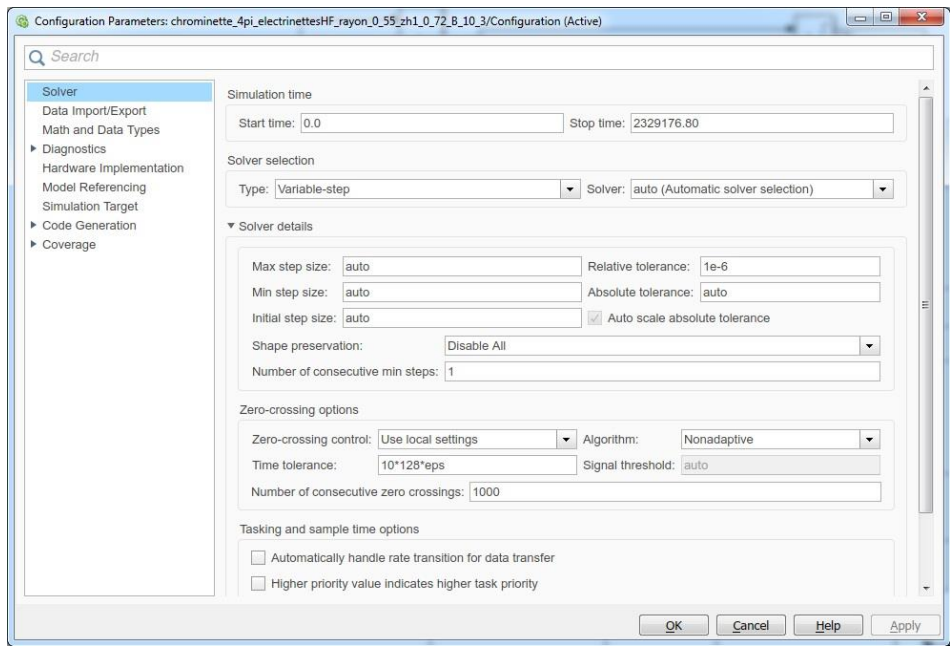
chrominette\_4pi\_electrinetteHF\_r\_055\_zhf\_072\_B\_10\_3\_kn\_21.slx

这里：

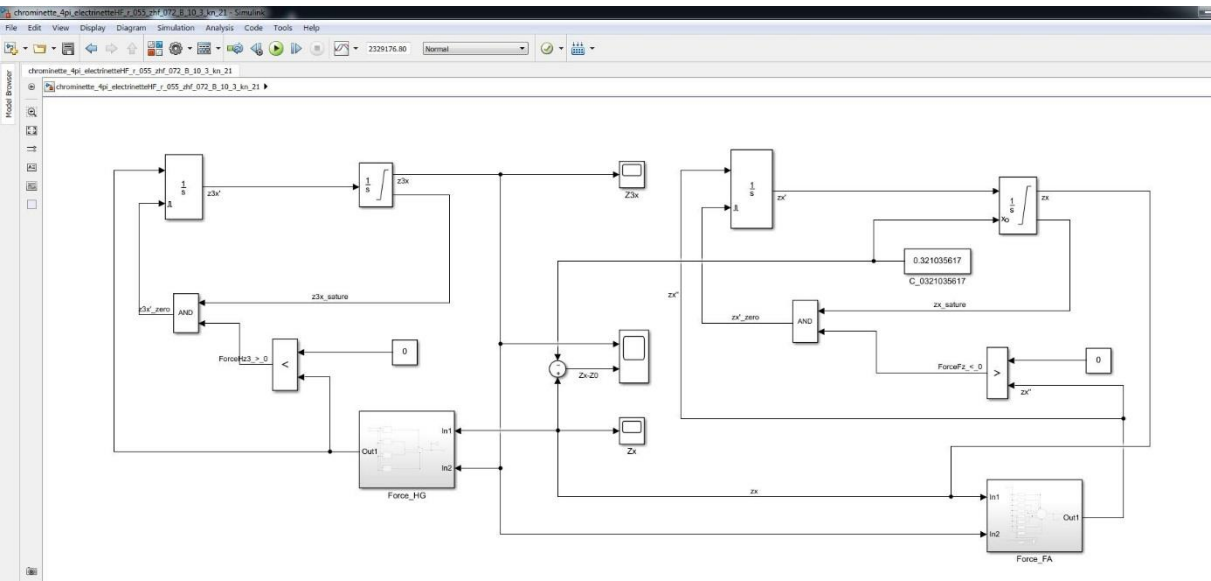
1. chrominette : 表示它是一个 chrominette = 三角子。
2. 4pi : 意味着模拟在  $2 \times 2\pi$  周期内完成。
3. electrinetteHF : 意味着该方程与 H-电偶和 F-电偶有关。
4. r\_055 : 表示电偶的半径  $r_x$  为 0.55605。
5. zhf\_072 : 表示电子 F 的中性载荷“中  $f_0$ ”为  $0.72 \times 10^{-31}$  千克。
6. B\_10\_3 : 表示常数  $\beta$  的值为： $10^{-3} \times 10^{-15}$  m。

7. kn<sub>21</sub> : 表示衰减系数为:  $10^{-100D/r} + 10^{-21}$ .

模拟参数如下图所示:



以下屏幕截图显示了三角子 Simulink 原理图的第一个视图:



7.3 附录 A.3: 晶晶子的微分方程组

控制晶晶子内部电偶行为的微分方程组由以下 4 个方程组成:

- 方程 4 - 力 FA - 晶晶子的微分方程 1
- 方程 5 - 力 H - 晶晶子的微分方程 2
- 方程 6 - 力 BC - 晶晶子的微分方程 3
- 方程 7 - 力 Z6 - 晶晶子的微分方程 4

Matlab 的 Simulink 软件工具非常适合该微分方程组的数值求解。

Matlab Simulink 版本 R2019a 生成的文件中给出了详细信息：

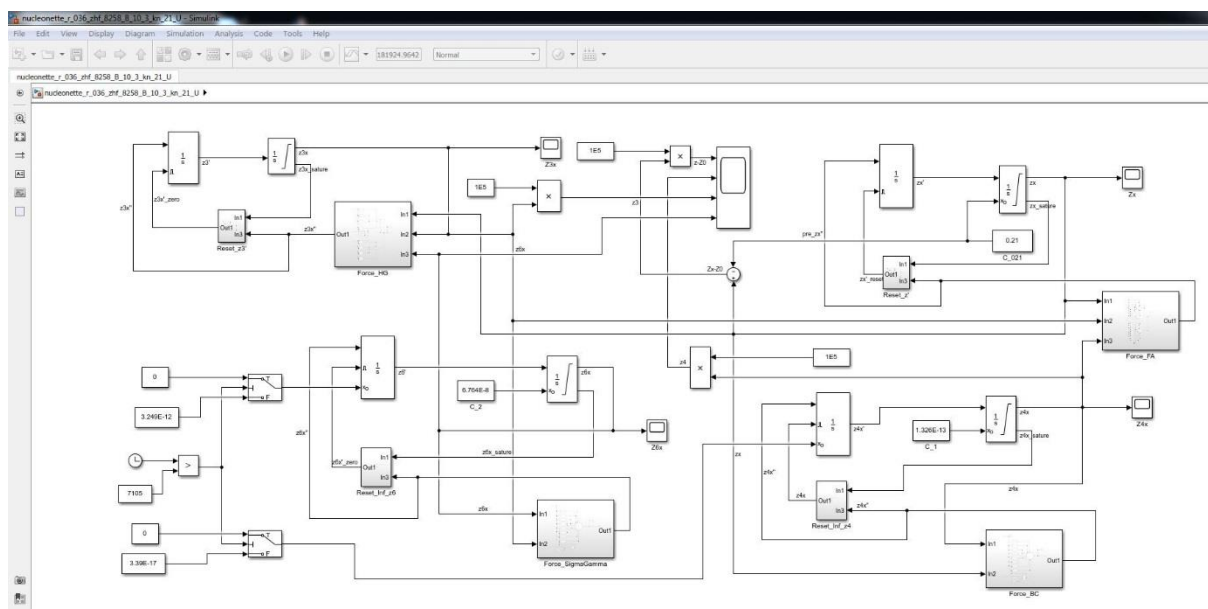
nucleonette\_r\_036\_zhf\_8262\_B\_10\_3\_kn\_21\_U.slx

这里：

1. nucleonette : 表示它是一个晶晶子。
2. r\_036 : 表示电偶的半径  $r_x$  为 0.36373。
3. zhf\_8262 : 表示电子 F 的中性载荷“中  $F_0$ ”为  $8.262 \times 10^{-31}$  千克。
4. B\_10\_3 : 表示常数  $\beta$  的值为： $10^{-3} \times 10^{-15} \text{ m}$ 。
5. kn\_21 : 表示衰减系数为： $10^{-100D/r} + 10^{-21}$ 。
6. U : 表示文件版本为 U。

模拟参数与三角子的相同。

以下屏幕截图显示了晶晶子的 Simulink 示意图的第一个视图：



## 8 参考

1. G. Kane, Modern Elementary Particle Physics, Addison Editions – Wesley Publishing Company, 1987.
2. ATLAS collaboration, « Measurement of the Higgs boson mass from the H to  $\gamma\gamma$ , H to ZZ channels with the ATLAS detector using 25 fb<sup>-1</sup> of pp collision data », arXiv, 15 juin 2014 (Bibcode 2014arXiv1406.3827A, arXiv 1406.3827;
3. Purcell, Edward M.; Morin, David J. (2013). Electricity and Magnetism (3rd ed.). Cambridge University Press. ISBN 9781107014022.

4. Les équations de Maxwell : Lev Landau 和 E. Lifchitz (trad. Sergueï Medvédev), Physique théorique : en 10 tomes [« Teoriia polia . »], Moscou, Éditions Mir, coll. «Physique théorique » (no 2), 1989, 4e éd. (ISBN 978-5-030-00641-3 和 978-5-030-00197-5)
5. Louis de Broglie. Recherches sur la théorie des Quanta. Physique [physics]. Migration - université en cours d'affectation, 1924. Français. tel-00006807
6. A Quantum Theory of the Scattering of X-Rays by Light Elements. L'article original datant de 1923, publié dans la Physical Review par Arthur H. Compton, sur le site de l'American Institute of Physics.
7. Frieman, Joshua A.; Turner, Michael S.; Huterer, Dragan (2008). "Dark Energy and the Accelerating Universe". Annual Review of Astronomy and Astrophysics. 46 (1): 385–432. arXiv:0803.0982. Bibcode:2008ARA&A..46..385F. doi:10.1146/annurev.astro.46.060407.145243
8. W. K. Guthrie, A History of Greek Philosophy, Cambridge University Press, 1962-1965, t. I, p. 270 ss. Sur le cinquième Élément (l'Ether). Einstein 1905. De l'éther aux quanta de Françoise Balibar, éd PUF, 1992, (ISBN 2 13 044298 6)
9. J. Steinberger: First Result at the LEP e+ e- collider. European Organization for Nuclear Research. CERN-PPE/90-149. 12 October 1990.
10. Stanley J. Brodsky: High energy photon-photon collisions at a linear collider. arXiv:hep-ph/0404186v1 21 Apr 2004.
11. W. J. G. de Blok1 and A. Bosma: High-resolution rotation curves of low surface brightness galaxies. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20020080> Published online 15 April 2002.
12. « Evidence for Ultra-Energetic Particles in Jet from Black Hole » [archive du 2008], Yale University – Office of Public Affairs, 20 juin 2006.
13. Eduardo Banados: An 800-million-solar-mass black hole in a significantly neutral Universe at a redshift of 7.5. DOI:10.1038/nature25180.
14. L. Brillouin. L'énigme  $E = Mc^2$  : énergie potentielle 和 renormalisation de 重量. Journal de Physique, 1964, 25 (10), pp.883-886. 10.1051/jphys:019640025010088300. jpa-00205888.
15. Electroweak Measurements in Electron-Positron Collisions at W-Boson-Pair Energies at LEP CERN-PH-EP/2013-022 arXiv:1302.3415v4 [hep-ex] 19 Sep 2013
16. Measurement of the proton antiproton pair production from two photon collision at TRISTAN. KEK preprint 97-9 KOBE HEP 97-02 OULNS 97-01 TMU-HEP 97-21 April 1997
17. A. A. Michelson 和 al. « Conference on the Michelson-Morley Experiment », *Astrophysical Journal* 68, 341 (1928)
18. <http://philippelopes.free.fr/JeanDeClimontChampMagnetiqueDesFaisceauxCathodiques.pdf>  
[jeandeclimont@yahoo.ca](mailto:jeandeclimont@yahoo.ca)
19. M. Cardoso 和 al., Lattice QCD computation of the colour fields for the static hybrid quark-gluon-antiquark system, and microscopic study of the Casimir scaling, Phys. Rev. D 81, 034504 (2010)).
20. Maurice Jacob, Au cœur de la matière : la physique des particules élémentaires, Odile Jacob, 2001, 400 p. (ISBN 978-2-7381-0980-4)
21. Jacques Heyman (de), Coulomb's Memoir on Statics – An Essay in the History of Civil Engineering, Imperial College Press, 1997, 224 p. (ISBN 978-1-78326-257-1).
22. Isaac Newton (trad. du latin en français par Émilie du Châtelet (1756)), Principes mathématiques de la philosophie naturelle « Philosophiae naturalis principia mathematica »

