

氘代乙烷团簇库仑爆炸产生高能氘核和中子的研究

代丽蛟 李洪玉

Generations of energetic deuterons and neutrons from the Coulomb explosion of deuterated ethane clusters

Dai Li-Jiao Li Hong-Yu

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 63, 243601 (2014) DOI: 10.7498/aps.63.243601

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.243601>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2014/V63/I24>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中等光强纳秒激光电离苯团簇产生多价碳离子的数值模拟和实验研究

Numerical simulation and experimental investigation of the production of multiply charged ions by the ionization of benzene cluster with a moderate intensity laser

物理学报.2014, 63(10): 103602 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.103602>

基于神光Ⅲ原型的背向散射实验技术研究

Backscattered Light diagnostic technique on Shen Guang-III prototype Laser Facility

物理学报.2013, 62(17): 175202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.175202>

激光-纳米丝靶相互作用过程中超热电子的加热机理研究

Heating mechanism of hot electrons in the interaction between laser and nanolayered target

物理学报.2012, 61(22): 225202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.225202>

驱动激光束间相干性以及对背向散射影响的研究

Research of coherence between driven-laser beams and its influence on backscatter

物理学报.2012, 61(18): 185202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.185202>

氘代乙烷团簇库仑爆炸产生高能氘核和中子的研究*

代丽姣 李洪玉†

(天津师范大学物理与材料科学学院, 天津 300387)

(2014年7月13日收到; 2014年8月17日收到修改稿)

采用简化库仑爆炸模型对强激光脉冲照射氘代乙烷团簇发生的库仑爆炸过程进行数值模拟, 研究了氘代乙烷团簇爆炸产生的氘核动能、中子产额与团簇尺寸的关系, 且与氘代甲烷团簇产生的氘核动能及中子产额进行了比较. 研究表明, 尺寸为5 nm的氘代乙烷团簇在发生库仑爆炸后氘核的最大动能为20.96 keV, 获得的中子产额为 6.31×10^5 , 比同尺寸氘代甲烷团簇产生的氘核最大动能及中子产额更大. 因此相对于氘代甲烷团簇, 大尺寸的氘代乙烷团簇更适合作为激光驱动团簇库仑爆炸获得高额中子的靶材, 这与报道的实验推论相一致.

关键词: 氘代乙烷团簇, 库仑爆炸, 氘核动能, 中子产额

PACS: 36.40.Wa, 52.38.-r, 25.45.-z

DOI: 10.7498/aps.63.243601

1 引言

近年来, 强激光脉冲与团簇的相互作用被广泛研究. 由于两者相互作用过程能产生能量高达MeV量级的高能离子和中子^[1,2]以及非常强的X射线辐射, 故强激光脉冲与团簇相互作用的研究有望对X射线激光和激光核聚变等研究领域产生重要影响. 在文献^[3, 4]的实验中, 每焦耳激光能量产生的中子产额约为 10^5 ^[5], 达不到实际应用所需每焦耳激光能量产生 10^7 — 10^8 中子产额的要求^[6,7]. 因此国内外研究人员展开了一系列提高中子产额的探索. 研究表明, 异核氘代团簇(如 $(CD_4)_N$ 和 $(D_2O)_N$)在激光照射下发生库仑爆炸产生的中子产额要明显高于同核氘代团簇 $(D_2)_N$ ^[8-11]. 近期中国科学院上海光学精密机械研究所的研究人员用强激光照射乙烷团簇 $(C_2H_6)_N$ 使之发生库仑爆炸^[12], 发现实验温度为298 K、背压为30 bar (1 bar = 10^5 Pa)时得到的乙烷团簇是

甲烷团簇尺寸的1.7倍, 约为5.0 nm, 在相同激光条件(6×10^{17} W/cm², 55 fs, 160 mJ, 800 nm)照射下乙烷团簇喷流库仑爆炸后质子的终态平均动能比相同尺寸下甲烷团簇的高. 当实验温度升高为308 K, 背压增大为80 bar时, 乙烷团簇初始半径可达9.6 nm. 因此他们推论: 若将乙烷团簇换为氘代乙烷团簇, 则这样大的尺寸将增大氘核聚变的反应截面, 进而获得比氘代甲烷团簇更多的中子. 然而相关实验还未展开, 针对氘代乙烷团簇与飞秒强激光相互作用产生的氘核能量及中子产额的理论研究也较少.

本文采用简化的库仑爆炸模型对氘代乙烷团簇的库仑爆炸过程进行研究, 计算得到氘代乙烷团簇爆炸后氘核的能量分布以及氘核聚变的中子产额, 并与已报道的实验推论^[12]进行比较, 得出了定性一致的结论: 相同尺寸的乙烷团簇在库仑爆炸过程中质子能量高于甲烷团簇的质子能量, 对应的氘代乙烷团簇的氘核能量和中子产额同样大于氘代甲烷团簇的氘核能量和中子产额.

* 国家自然科学基金青年科学基金(批准号: 11005080)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: hongyuli79@gmail.com

2 异核团簇纯库仑爆炸模型与赶超效应的判定参数

根据引发团簇纯库仑爆炸的临界激光强度公式 $I_{\text{crit}}(\text{W}/\text{cm}^2) = \frac{8\pi^2 c^3 m_e \rho R_0^2}{3\lambda^2}$ [13] (式中 ρ 为团簇的原子密度, R_0 为团簇的初始半径, λ 为激光场的中心波长), 代入文献 [12] 实验中的相关数据 $\lambda = 800 \text{ nm}$, $\rho = 1.1 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 以及乙烷团簇初始半径 $R_0 = 10 \text{ nm}$, 可知乙烷团簇发生纯库仑爆炸的所需临界激光强度为 $I_{\text{crit}} = 1.1 \times 10^{17} \text{ W}/\text{cm}^2$, 小于实验中的激光强度 $I = 6 \times 10^{17} \text{ W}/\text{cm}^2$, 故实验中强激光照射乙烷团簇发生的库仑膨胀可以近似视为纯库仑爆炸. 当初始半径小于 10 nm , 临界激光强度会更小, 所以下文均采用简化的库仑爆炸模型 [13] 对乙烷团簇及氘代乙烷团簇的库仑爆炸过程进行研究.

假设乙烷团簇 $(\text{C}_2\text{A}_6)_N$ 被完全电离 (下文中的 B 离子为碳离子, 平均价态为 +4 价 [12,14], A 离子代表质子或氘核), 非束缚电子在团簇发生膨胀前已被强激光场剥离, 留在团簇中的紧束缚电子不影响团簇的库仑爆炸, 且重离子和轻离子未膨胀前均匀分布于团簇中. 处于团簇中某一位置的离子只会受到离团簇中心位置更近的离子的排斥力, 可表示为

$$\begin{aligned} F_{AA} &= \frac{q_A^2 e^2 N_{AA}}{4\pi\epsilon_0 r_A^2}, \\ F_{AB} &= \frac{q_A q_B e^2 N_{AB}}{4\pi\epsilon_0 r_A^2}, \\ F_{BA} &= \frac{q_B q_A e^2 N_{BA}}{4\pi\epsilon_0 r_B^2}, \\ F_{BB} &= \frac{q_B^2 e^2 N_{BB}}{4\pi\epsilon_0 r_B^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

式中, F_{AA} , F_{AB} , F_{BA} , F_{BB} 分别表示 A 离子对 A 离子的排斥力, B 离子对 A 离子的排斥力, A 离子对 B 离子的排斥力以及 B 离子对 B 离子的排斥力. N_{AA} , N_{AB} 分别是半径为 r_A 球体空间内包含离子 A , B 的总数. 计算公式如下:

$$\begin{aligned} N_{AA} &= \int_0^{r_A} dN_A, \\ N_{AB} &= \int_0^{r_A} dN_B (r_A < R_B) \text{ 或} \\ N_{AB} &= N_B (r_A \geq R_B), \end{aligned} \quad (2)$$

N_{BA} , N_{BB} 具有同样的定义:

$$\begin{aligned} N_{BB} &= \int_0^{r_B} dN_B, \\ N_{BA} &= \int_0^{r_B} dN_A (r_B < R_A) \text{ 或} \\ N_{BA} &= N_A (r_B \geq R_A), \end{aligned} \quad (3)$$

其中 R_A , R_B 是离子 A , B 瞬时径向坐标的最大值 [13].

异核团簇中轻重离子因质量和电荷不同, 所以即使在同一位置的离子也可能具有不同的加速度, 从而出现赶超效应. 根据 Last 和 Jortner [15] 提出的团簇动力学参数 $\eta = q_A m_B / (q_B m_A)$ 来确定轻离子是否会获得比重离子更高的加速度而超越重离子, 根据竞争参数 $\zeta = \rho_B q_B / (\rho_A q_A)$ 确定内层轻离子是否会超越外层轻离子.

3 数据与分析

由动力学参数的计算公式知乙烷团簇和氘代乙烷团簇的 η 均大于 1, 这意味着在乙烷团簇和氘代乙烷团簇中, 轻离子 (乙烷团簇中轻离子指质子, 氘代乙烷团簇中轻离子指氘核) 获得比重离子 (碳离子) 更大的加速度. 随着团簇的膨胀, 原本均匀分布于团簇内部的轻离子将逐渐移出均匀分布的重离子所在的框架空间, 在膨胀过程中逐渐形成两个具有不同径向膨胀速度的子团簇. 处于某一位置的碳离子所受的驱动力将主要来自于内层的碳离子, 因此碳离子的膨胀近乎均匀. 当团簇膨胀在无穷远处终止时, 初始处于内层的轻离子受到来自碳离子的做功要比那些初始处于外层的同种离子为多, 轻离子的非均匀膨胀使轻离子的密度沿团簇半径方向不均匀分布 [13,16]. 由竞争参数计算公式知, 乙烷团簇和氘代乙烷团簇的竞争参数 ζ 都小于 2, 意味着膨胀过程中轻离子速度会越来越大但是始终不会超越外层轻离子, 最终在无穷远处达到最大速度并形成高能轻离子的聚集壳层.

在模拟计算中选择甲烷团簇 $(\text{C}^4+\text{H}_4^+)_N$ 的初始密度为 $1.6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ [13], 而乙烷团簇 $(\text{C}_2^4+\text{H}_6^+)_N$ 的初始密度选为 $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$, 略小于文献 [12] 中乙烷团簇的初始密度 ($1.1 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$). 乙烷团簇密度选为 $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 是为使之与同尺寸的甲烷团簇具有相同的离子数目. 图 1 给出了这两种团簇纯库仑爆炸后产生的质子能谱以及对应

氘代团簇的氘核能谱. 图 1 (a) 乙烷团簇的质子最大动能和氘代乙烷团簇的氘核最大动能均分别大于甲烷团簇的质子最大动能和氘代甲烷团簇的氘核最大动能. 图 1 (a) 中, 当轻离子动能逐渐增大至最大值时能量分布曲线上升的速度比图 1 (b) 中的曲线上升速度快, 这意味着乙烷团簇中聚集于高能区域的质子多于甲烷团簇, 与之对应的氘代乙烷团簇的高能氘核也比氘代甲烷团簇中的高能氘核多. 这些聚集于高能区域中的氘核之间的有效碰撞为相邻团簇间的氘核聚变做出了很大的贡献.

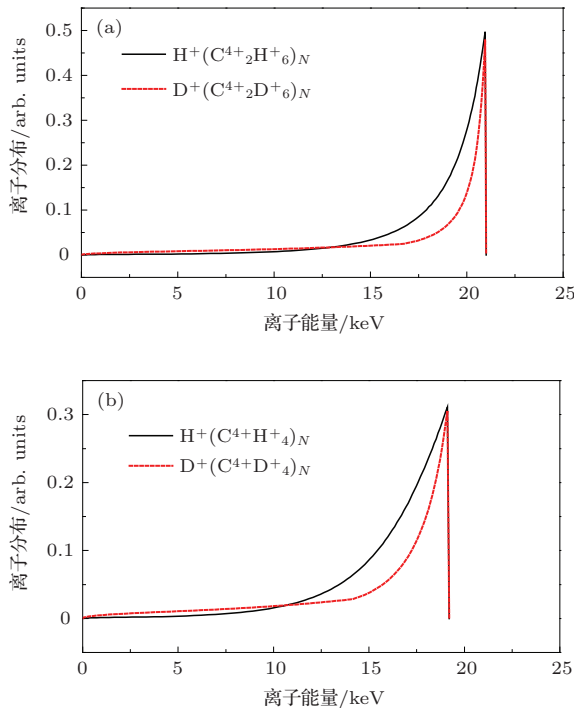


图 1 (网刊彩色) 初始半径为 5 nm 的团簇发生纯库仑爆炸后产生的轻离子能谱 (a) 乙烷团簇 $(C_2^4+H_6^+)_N$ (初始密度为 $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$) 及相同尺寸等密度的氘代乙烷团簇 $(C_2^4+D_6^+)_N$; (b) 甲烷团簇 $(C^4+H_4^+)_N$ (初始密度为 $1.6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$) 及相同尺寸等密度的氘代甲烷团簇 $(C^4+D_4^+)_N$

由图 1 知, 当团簇半径都为 5 nm 时, 初始密度为 $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 的氘代乙烷团簇和初始密度为 $1.6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 氘代甲烷团簇所含的总离子数目相等. 氘代甲烷团簇中碳离子与氘核的数目比 N_C/N_D 等于 1/4, 产生氘核的最大动能为 19.16 keV (图 1 (a)), 氘代乙烷团簇中 N_C/N_D 为 1/3, 产生的最大动能为 20.96 keV (图 1 (b)). 可见对于竞争参数 ζ 小于 2 的两种异核团簇, 在初始半径相同且总离子数相等的条件下, 重离子与轻离子数目比值越大, 则团簇纯库仑爆炸过程中轻离子的最大动能越大. 此外, 由文献 [12] 中计算团簇的

轻离子终态动能的公式得到, 相同条件下氘代甲烷团簇和氘代乙烷团簇的最大动能分别为 19.30 和 21.11 keV, 与本文得到的结果几乎相同.

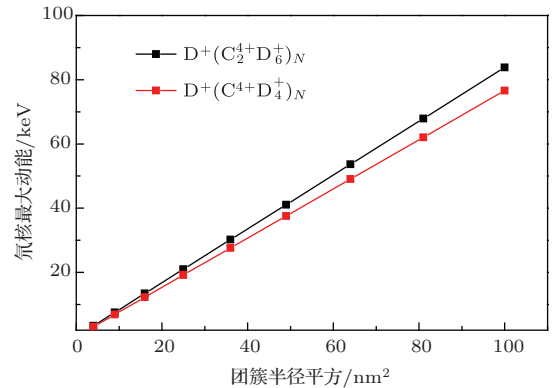


图 2 (网刊彩色) 氘代甲烷团簇 (初始密度为 $1.6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$) 和氘代乙烷团簇 (初始密度为 $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$) 在纯库仑爆炸中氘核的最大动能与团簇初始半径平方 R_0^2 的关系

本文计算了初始半径改变时氘代甲烷团簇和氘代乙烷团簇中氘核的最大动能, 如图 2 所示. 可以看出两种团簇的氘核最大动能均随团簇初始半径平方呈线性增长的趋势, 即团簇初始半径越大, 氘核的最大动能越大. 氘代乙烷团簇中氘核最大动能的增长趋势比氘代甲烷团簇中氘核最大动能的增长趋势明显, 因此当两团簇较大时, 氘代乙烷团簇的氘核最大动能明显大于氘代甲烷团簇的氘核动能. 故在实验条件允许的情况下, 尺寸较小的氘代乙烷团簇可以替代尺寸较大的氘代甲烷团簇作为激光驱动团簇库仑爆炸获得更高中子产额的靶材.

实验中一般采用高强度的短激光脉冲激光使之聚焦到团聚喷流, 快速加热团簇, 使团簇发生爆炸释放出高能离子. 这个过程中产生了一个热的等离子体细丝, 细丝的直径由激光聚焦光斑决定, 长度则有赖于激光脉冲在团簇喷流中的吸收深度. 一般来说, 团簇爆炸过程中产生的聚变中子产额主要来自两方面的贡献, 一是团簇间核聚变, 二是束靶核聚变, 它们对中子产额的贡献分别计为 Y_{IC} 和 Y_{bt} .

团簇间核聚变中子产额的计算公式如下 [17]:

$$Y_{IC} = \frac{1}{2} \bar{\rho}^2 L_{IC} V_r \langle \sigma \rangle_{IC}, \quad (4)$$

式中 $\bar{\rho}$ 是加热团簇细丝内的平均氘核数. 以文献 [18] 的相关实验为依据, 假设团簇细丝是一个半径为 R_r 高为 H_r 的圆柱体, 体积为 $V_r = \pi R_r^2 H_r$; L_{IC}

是自由离子贯穿团簇等离子体细丝的特征长度, 可以估计为等离子体细丝的直径. 考虑到离子间碰撞的双重计数, 因此要在公式中乘以因子 1/2. 团簇间的平均聚变反应截面 $\langle\sigma\rangle_{IC}$ 估算如下:

$$\langle\sigma\rangle_{IC} = \frac{1}{2} \int_0^\infty f(E_1) dE_1 \int_0^\infty f(E_2) dE_2 \times \int_0^\pi \sigma(E_{coll}) \sin\alpha d\alpha, \quad (5)$$

其中 $E_{coll} = E_1 + E_2 - 2(E_1 E_2)^{1/2} \cos\alpha$ 是动能分别为 $E_1 = m_D v_1^2/2$, $E_2 = m_D v_2^2/2$ 及碰撞夹角为 α 的氘核的二次碰撞能. $F(E)$ 是离子归一化能量, 反应截面可以拟合为

$$\sigma(E) = \{A_5 + A_2[(A_4 - A_3 E)^2 + 1]^{-1}\} / E[\exp(A_1 E^{-1/2}) - 1], \quad (6)$$

式中 $\sigma(E)$ 以 barn 为单位 ($1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$), 能量单位是 keV, $A_1 = 47.88$, $A_2 = 482$, $A_3 = 3.08 \times 10^{-4}$, $A_4 = 1.177$, $A_5 = 0$.

束靶聚变中子产额计算公式为 [8]

$$Y_{bt} = \bar{\rho}^2 L_{bt} V_r \langle\sigma\rangle_{bt}, \quad (7)$$

其中 L_{bt} 是自由离子从团簇等离子体细丝中飞出后穿越周围冷空气的特征长度, 平均束靶反应截面 $\langle\sigma\rangle_{bt}$ 为

$$\langle\sigma\rangle_{bt} = \int_0^\infty \sigma(E) f(E) dE. \quad (8)$$

氘代甲烷团簇和氘代乙烷团簇爆炸后的中子产额是团簇间核聚变和束靶聚变对中子产额贡献的加和, 即 $Yield = Y_{IC} + Y_{bt}$. 对于上式中的参数均代入典型值 $\bar{\rho} = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $R_r = 0.01 \text{ cm}$, $H_r = 0.1 \text{ cm}$, $L_{IC} = 0.02 \text{ cm}$ [19], $L_{bt} = 0.2 \text{ cm}$ [13].

将计算得到的不同初始半径下氘代甲烷和氘代乙烷团簇的氘核动能分布代入上述公式中, 分别绘制出了两种团簇的中子产额与团簇初始半径的关系, 如图 3 所示.

由图 3 可以看出, 氘代甲烷团簇和氘代乙烷团簇尺寸较小时, 团簇间聚变产生的中子产额比束靶聚变产生得多. 当团簇尺寸都逐渐增大时, 它们的氘核动能也逐渐变大, 束靶聚变产生的中子产额赶上了团簇间聚变产生的中子产额. 继续增大团簇尺寸, 束靶聚变中子产额最终超过团簇间聚变中子产额. 分别分析图 3(a), (b), 无论氘代甲烷团簇还是氘代乙烷团簇, 当团簇尺寸变大时, 总的中子产额都在非线性增大, 但是相同尺寸的氘代乙烷团簇的

中子产额总是比氘代甲烷团簇的要多. 故若想获得更高的中子产额, 应选择大尺寸的氘代乙烷团簇作为靶材.

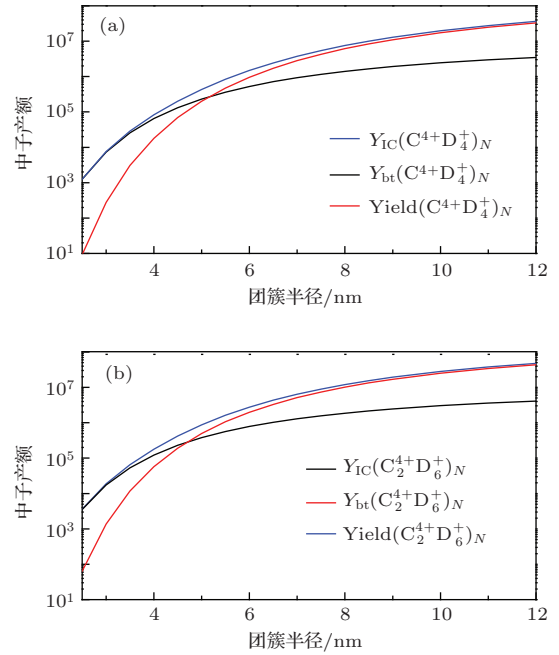


图 3 (网刊彩色) 团簇纯库仑爆炸的中子产额与其初始半径 R_0 的关系 (a) 氘代甲烷团簇 (初始密度为 $1.6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$); (b) 氘代乙烷团簇 (初始密度为 $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$)

由图 1 和图 3 知, 初始半径为 5 nm 时, 氘代乙烷团簇 (初始密度为 $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$) 的最大动能以及中子产额分别约为 20.96 keV, 6.31×10^5 , 约为氘代甲烷团簇 (初始密度为 $1.6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$) 的 1.09 倍和 1.46 倍. 文献 [12] 报道了用强激光脉冲 (160 mJ, 55 fs, $6 \times 10^{17} \text{ W/cm}^2$) 照射初始密度为 $1.1 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 的乙烷团簇的库仑爆炸过程 [12]. 实验中尺寸为 5 nm 的乙烷团簇是在室温时背压为 30 bar 的条件下制备得到的, 这一尺寸是相同条件下甲烷团簇尺寸的 1.7 倍. 他们的理论计算表明相同尺寸下乙烷团簇库仑的质子终态平均动能比甲烷团簇的高. 考虑到相同制备条件下得到的乙烷团簇比甲烷团簇的尺寸大, 因而推论氘代乙烷团簇比氘代甲烷团簇更适合做团簇核实验获得更高额中子的靶材. 另外根据实验经验知: 如果温度升高为 308 K、背压增大为 80 bar 时乙烷团簇的平均半径将会达到 9.6 nm, 在激光强度足够大的情况下得到的质子将会拥有更高的动能 (50 keV), 这意味着如果是大尺寸的氘代乙烷团簇, 则更有利于与强激光相互作用得到更高动能的氘核及更高产量

的中子. 因本文的目的在于理论计算强激光照射氘代乙烷团簇发生库仑爆炸过程中氘核的最大动能及中子产额, 最终与文献[12]的推论相比较, 达到理论与实验相互借鉴, 故在此将氘代乙烷团簇的初始密度设为实验[12]中的 $1.1 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$, 计算得到氘代乙烷团簇的最大动能、中子产额分别约为 23 keV, 8.74×10^5 , 比前文中所选团簇初始密度为 $1.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 时的氘核最大动能更大, 中子产额更多, 这是与文献[12]所得推论是相一致的, 即大尺寸的氘代乙烷团簇的中子产额明显多于氘代甲烷团簇.

4 结 论

本文通过理论计算强激光照射下氘代甲烷和氘代乙烷团簇在库仑爆炸中产生氘核的最大动能及中子产额, 得到了两种团簇爆炸后轻离子的最大动能与初始半径的关系. 研究表明, 相同半径下氘代乙烷团簇 $(\text{C}_2^+ \text{D}_6^+)_N$ 中的氘核最大动能明显大于氘代甲烷团簇 $(\text{C}^+ \text{D}_4^+)_N$ 的氘核最大动能, 产生的中子产额也总是高于氘代甲烷团簇, 因此氘代乙烷团簇更适合做激光驱动团簇核聚变的靶材, 这一结论与已报道的实验推论相一致. 文中仅限于对不同密度的两种团簇的氘生的最大动能及中子产额进行分析, 希望后期工作可以对不同密度的多种异核团簇进行比较, 寻找到利用率更高的优良靶材.

参考文献

- [1] Ditmire T, Tisch J W G, Springate E 1997 *Nature* **386** 54
- [2] Ditmire T, Zweiback J, Yanovsky V P 1999 *Nature* **398** 489
- [3] Dittrich T R, Hammel B A, Keane C J, McEachern R, Turner R E, Haan S W, Suter L J 1994 *Phys. Rev. Lett.* **73** 2324
- [4] Norreys P A, Fews A P, Beg F N, Bell A R, Dangor A E, Lee P, Nelson M B, Schmidt H, Tatarakis M, Cable M D 1998 *Plasma Phys. Controlled Fusion* **40** 175
- [5] Gao Q W 2010 *M. S. Thesis* (Shantou: Shantou University) (in Chinese) [高启文 2010 硕士学位论文(汕头: 汕头大学)]
- [6] Almazouzi A, Diaz de la Rubia T, Ishino S, Lam N Q, Singh B N, Trinkaus H, Victoria M, Zinkle S 1997 *J. Nucl. Mater.* **251** 291
- [7] Ditmire T, Bless S, Dyer G, Edens A, Grigsby W, Hays G, Madison K, Maltsev A, Colvin J, Edwards M J, Lee R W, Patel P, Price D, A Remington B, Sheppherd R, Wootton A, Zweiback J, Liang E, Kielty K A 2004 *Radiat. Phys. Chem.* **70** 535
- [8] Madison K W, Patel P K, Price D, Edens A, Allen M, Cowan T E, Zweiback J, Ditmire T 2004 *Phys. Plasmas* **11** 270
- [9] Buergens F, Madison K W, Symes D R, Hartke R, Osterhoff J, Grigsby W, Dyer G, Ditmire T 2006 *Phys. Rev. E* **74** 016403
- [10] Lu H, Liu J, Wang C, Wang W, Zhou Z, Deng A, Xia C, Xu Y, Leng Y, Ni G, Li R, Xu Z 2009 *Phys. Plasmas* **16** 083107
- [11] Li H Y, Liu J S, Wang C, Wang W T, Zhou Z L, Deng A H, Xia C Q, Xu Y, Lu X M, Jiang Y H, Leng Y X, Liang X Y, Ni G Q, Li R X, Xu Z Z 2009 *Phys. Rev. A* **80** 051201
- [12] Li S, Zhou Z L, Tian Y, Lu H H, Wang W T, Ju J J, Li H Y, Xu Y, Leng Y X, Ni G Q, Wang C, Liu J S 2013 *Phys. Plasmas* **20** 043109
- [13] Li H Y 2008 *Ph. D. Dissertation* (Shanghai: Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences) (in Chinese) [李洪玉 2008 博士学位论文(上海: 中国科学院上海光学精密机械研究所)]
- [14] Li H Y, Liu J S 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 7850 (in Chinese) [李洪玉, 刘建胜 2010 物理学报 **59** 7850]
- [15] Last I, Jortner J 2001 *Phys. Rev. A* **64** 063201
- [16] Li H Y, Liu J S, Wang C, Ni G Q, Li R X, Xu Z Z 2008 *Chin. Phys. B* **17** 1237
- [17] Peano F, Fonseca R A, Martins J L, Silva L O 2006 *Phys. Rev. A* **73** 053202
- [18] Zweiback J, Ditmire T 2001 *Phys. Plasmas* **8** 4545
- [19] Zweiback J, Cowan T E, Smith R A, Hartley G H, Howell R, Steinke C A, Hays G, Wharton K B, Crane J K, Ditmire T 2000 *Phys. Rev. Lett.* **85** 3640

Generations of energetic deuterons and neutrons from the Coulomb explosion of deuterated ethane clusters^{*}

Dai Li-Jiao Li Hong-Yu[†]

(College of Physics and Materials Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

(Received 13 July 2014; revised manuscript received 17 August 2014)

Abstract

The explosion dynamics of deuterated ethane clusters driven by an intense laser pulse is simulated numerically by employing a simplified Coulomb explosion model. The dependences of deuteron kinetic energy and neutron yield on cluster size are investigated respectively in the paper. It is found that the deuteron energy and neutron yield produced from 5.0 nm deuterated ethane clusters are 20.96 keV and 6.31×10^5 respectively, which are higher than those from 5.0 nm deuterated methane clusters. So it can be inferred that deuterated ethane clusters are superior to deuterated methane clusters as the target for the efficient laser-induced nuclear fusion reaction to achieve a higher neutron yield, which is in accordance with the reported experimental conclusion.

Keywords: deuterated ethane clusters, Coulomb explosion, deuteron kinetic energy, neutron yield

PACS: 36.40.Wa, 52.38.-r, 25.45.-z

DOI: [10.7498/aps.63.243601](https://doi.org/10.7498/aps.63.243601)

^{*} Project supported by the Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11005080).

[†] Corresponding author. E-mail: hongyuli79@gmail.com