

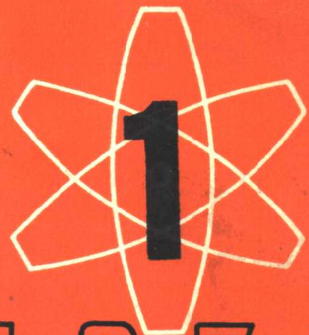
13.26
4

原子核物理

中国核物理学会

CHINESE JOURNAL OF NUCLEAR PHYSICS

第一卷 Vol. 1



1979

原子能出版社

ANNOUNCEMENT

This is a journal of the Chinese Nuclear Physics Society. In this journal original papers and research notes are published. In 1979 only one number is published, and in 1980 this journal will be published quarterly. This journal can be ordered from ZHONGGUO GUOJI SHUDIAN (China publication centre, P. O. Box 399 Beijing).

Office of Editors
(P. O. Box 275 Beijing)

告 读 者

本刊今年出版一期由新华书店发行, 明年出版季刊改由全国各地邮局发行, 请速向当地邮局办理预订。

编辑部

原 子 核 物 理

1979 年 第 1 卷 第 1 期

编辑者	《原子核物理》编辑委员会 (北京市275信箱65分箱)
出版者	原 子 能 出 版 社 (北京市2108信箱)
印刷者	重 庆 印 制 第 一 厂
发行者	新 华 书 店 北 京 发 行 所

1979年10月15日出版

统一书号: 15175·184

定价: 1.20元

发 刊 词

在广大原子核物理学工作者和读者的要求与努力下,《原子核物理》杂志在中华人民共和国成立三十周年的时候与读者见面了,这是一件值得庆贺的事情。

我们的国家在中国共产党的领导下,三十年来取得了伟大的成就。党和政府历来十分重视科学研究事业。在新中国成立初期就着手于开展原子核物理学的研究。在旧中国一穷二白的基础上,经过坚持不懈的努力,我国原子核物理学理论和实验研究工作已发展到初具规模的水平,建立了一些研究机构和教学单位,做出了一些有价值的科研成果。但由于近十年来林彪、“四人帮”的干扰、破坏,使我国原子核物理学研究工作处于停滞不前、进展迟缓的状态,拉大了与国际先进水平的差距。粉碎“四人帮”以后出现了一派大好形势。广大原子核物理学工作者正意气风发,同心同德,踏踏实实地在埋头苦干。我们充满信心,一定要使我国的原子核物理学与世界先进水平并驾齐驱。

杂志的出版正值我们国家进入以实现农业、工业、国防和科学技术现代化为中心任务的新的历史时期。原子能的利用是实现四个现代化的标志之一。原子核物理学,作为原子能科学技术的基础之一,在实现四个现代化的进程中也必然要求有迅速的发展。因此,本杂志对于开展国内外学术交流,促进我国原子核物理学的发展肩负着十分艰巨的任务。

本刊为中国核物理学会的学报性刊物,以刊登核物理理论和实验研究工作报告为主,包括加速器技术、核探测技术等核物理实验技术,以及与核物理直接有关的边缘学科的工作成果。今年出版一期,明年起出版季刊,对国内外公开发行人。

我们殷切期望原子核物理学工作者和广大读者积极支持,对我们工作中的缺点和错误及时提出批评和建议,使杂志对我国实现四个现代化作出应有的贡献。

《原子核物理》杂志编辑委员会

一九七九年十月

《原子核物理》编辑委员会

主 编 王淦昌

副主编 金星南(常务) 杨澄中 卢鹤绂 虞福春 戴传曾 梅镇岳 程晓吾

委 员 (以姓名笔划为序)

丁大钊 于 敏 王乃彦 王国荣 卢希庭 刘圣康 刘建业 刘运祚 孙汉城
李扬国 李德平 李寿楠 杨立铭 杨福家 何国柱 陈玲燕 陈庭延 吴式枢
卓益忠 郑林生 郑志豪 郑金学 周瑞英 张家骅 张纯祥 张宗焯 胡济民
胡仁宇 赵 玄 姜承烈 徐躬耦 黄祖洽 黄胜年 曹建华 戴光曦

编辑部 周俞斌 侯逸民 肖竹英

《原子核物理》征稿简则

本刊宗旨是在原子核物理研究工作领域以马克思主义、列宁主义、毛泽东思想为指导,贯彻执行“百花齐放、百家争鸣”的方针,开展科学技术成果的交流 and 学术讨论,促进原子核物理学科的发展。

杂志以刊登核物理理论和实验研究报告为主,包括加速器技术、核探测技术等核物理实验技术,以及与核物理直接有关的边缘学科的工作成果。读者对象主要是从事核物理研究工作的研究人员,大专院校相应专业的师生以及有关的科技人员。

来稿注意事项:

1. 稿件需用 $20 \times 20 = 400$ 字稿纸誊清,文字力求简练,简化字请用国务院批准公布推行的。不收复写或晒图复制的稿件。每篇字数最多不超过一万字。
2. 研究工作成果报告,正文前要有摘要,并附标题、摘要的英文译文和汉语拼音的作者姓名。简报栏文章可不要摘要。
3. 署名需注作者单位的,请在稿上注明,集体署名的请告执笔人姓名。
4. 理论文章中的公式、符号,有特殊排印要求的,请另附纸说明。公式中的符号如属难分辨的文种或字母,请在首次出现处用铅笔在文字旁注明,如希文,大(小)写等。
5. 计量单位,或全部用中文名称,或全部用国际单位制符号。质量数写在化学元素符号的左上方,如 ^{235}U 。
6. 插图不要贴在稿上,另装袋纸。稿上相应处标出位置,注明图号、图题和图注。插图幅面以 14×20 或 7×10 厘米为宜。照片务求黑白分明、层次清晰。
7. 参考文献只择最主要的列入,序号以文中引用先后编排,未公开发表的资料请勿引用。

书写格式如下:

(序号)作者,期刊名,卷,期,页(年)。

(序号)编著者,书名,出版者,年,页。

8. 来稿请寄北京市275信箱65分箱本刊编辑部。

原子核物理

第1卷 第1期

1979年10月



目 录

发刊词

《原子核物理》编辑委员会 本刊征稿简则

低能氦和 α 粒子与 ${}^6\text{Li}$ 核的准自由过程	孙汉城 姚锦章 孙祖训 文克玲 卢慧筠 戴能雄 金荣华 阎辰 (1)
${}^{252}\text{Cf}$ 自发裂变瞬发中子平均数及中子数目分布的测量	张焕乔 刘祖华 (9)
${}^{242}\text{Cm}$ α 和自发裂变半衰期测定	张焕乔 许谨诚 温同庆 (21)
${}^{12}\text{C}$ 离子轰击 ${}^{12}\text{C}$ 核的散射和转移反应研究	诸永泰 范国英 吴钟立 冯恩普 梁国照 李发渭 焦敦龙 李先卉 郭应祥 夏国中 苏荫权 肖钦羨 (31)
14.9 兆电子伏中子与 C, F, Mg, Al, Si, Fe 和 Cu 相互作用中 γ 射线产生截面的测量	石宗仁 石侠民 曾宪堂 陆志荣 邢进强 沈荣林 丁大钊 (45)
9 MeV 氦在 ${}^{12}\text{C}$ 核上引起的反应研究	王新霖 王树茂 毛振麟 汪芳林 曾聘鑒 (63)
${}^{208}\text{Pb}$ 的 核实极化对单粒子谱的效应	李祝霞 张锡珍 萨本豪 施义晋 (73)
核反应的统计理论及其在裂变核中的应用	苏宗涤 张竞上 施向军 王书暖 唐学田 田野 王翠兰 (81)
用阻塞效应测量 ${}^{12}\text{C} + {}^{197}\text{Au}$ 反应复合核 ${}^{209}\text{At}$ 的寿命	孙相富 潘宗佑 袁双贵 徐国俊 (93)
分离扇回旋加速器在实际场形下的等时性轨道和线性性质	陈务忠 (101)
波导中非均匀密度分布的空间电荷效应	陈银宝 谢羲 (107)

工 作 简 报

裂变形状同质异能态半寿命计算	王书暖 (129)
----------------	-------------

CONTENTS

D+ ⁶ Li and α + ⁶ Li Quasi-Free Processes at Low Energies <i>Sun Han-cheng, Yao Jin-zhang, Sun Tsu-xun, Wen Ke-ling, Lu Hui-jun, Dai Neng-xiong, Jin Rong-hua, Yan chen</i>	(1)
The Measurement of the Average Number of Prompt Neutrons and the Distribution of Prompt Neutron Numbers for ²⁵² Cf Spontaneous Fission.....	<i>Chang Huan-qiao, Liu Zu-hua</i> (9)
Determination of the Half-Lives of α Disintegration and Spontaneous Fission of ²⁴² Cm.....	<i>Chang Huan-qiao, Xu Jin-cheng, Wen Tong-qing</i> (21)
The Research of Scattering and Transfer Reaction of ¹² C With ¹² C <i>Chu Yung-tai, Fan Guo-ying, Wu Zhong-li, Feng En-pu, Liang Guo-zhao, Li Fa-wei, Jiao Dun-long, Li Xian-hui, Guo Ying-xiang, Xia Guo-zhong, Su Yin-quan, Xiao Qin-pian</i> ...	(31)
Gamma-Ray Productions Cross Sections from Interactions of 14.9 MeV Neutrons with C, F, Al, Si, Fe and Cu <i>Shi Zong-ren, Shi Xia-min, Zeng Xian-tang, Lu Zhi-rong, Xing Jin-qiang, Shen Rong-lin, Ding Da-zhao</i>	(45)
Deuteron-Induced Reactions on ¹² C at Bombarding Energy of 9 MeV <i>Wang Xin-lin, Wang Shu-mao, Mao Zhen-lin, Wang Fang-lin, Ceng Pin-liu</i>	(63)
The Effects of Core Polarization on the Single Particle State in ²⁰⁸ Pb	<i>Li Zhu-xia, Zhang Xi-zhen, Sa Ben-hao, Shi Yi-jin</i> (73)
The Statistical Theory of Nuclear Reactions and its Application to Fissionable Nuclei <i>Su Zong-di, Zhang Jing-shang, Shi Xiang-jun, Wang Shu-nuan, Tang Xue-tian, Tian Ye, Wang Cui-lan</i>	(81)
Determination of the Lifetime of Excited Compound Nuclei from ¹² C+ ¹⁹⁷ Au Reaction by Blocking Effect.....	<i>Sun Xiang-fu, Pan Zong-you, Yuan Shuang-gui, Xu Guo-jun</i> (93)
The Isochronous Orbits and Linear Properties in Separated Sector Cyc- lotron with Practical Field.....	<i>Chen Wu-zhong</i> (101)
The Nonuniform-Density Space Charge Effect in the Waveguide of Ele- ctron Linac.....	<i>Chen Yin-bao, Xie Xi</i> (107)

Research Notes

Calculation of Half-Lives of Fission Isomers.....	<i>Wang Shu-nuan</i> (129)
---	------------------------------------

ANNOUNCEMENT

低能氦和 α 粒子与 ${}^6\text{Li}$ 核的准自由过程

孙汉城 姚锦章 孙祖训 文克玲
卢慧筠 戴能雄 金荣华 阎辰

研究了9 MeV 氦和18 MeV α 粒子引起的准自由散射 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{dd})$, ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$, ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\text{d})$ 和准自由反应 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{tp})$ 。用平面波冲量近似得到 ${}^6\text{Li}$ 核内 α -d集团间相对运动的动量分布和成团几率。观察到峰位移动并作了讨论。

一、引言

轻核的集团现象是当前核物理研究的重要课题之一。准自由散射与准自由反应是研究核的集团结构的一种直接而有效的手段。一个靶核可以看成是由两个集团以结合能 E_B 组成的体系。在一定条件下,入射粒子只与一个集团发生散射或反应,另一个集团是一个旁观者,没有参加反应。这种过程就是准自由过程。

准自由过程是一种三体反应。通过运动学完全的测量可以推算出旁观者在实验室系中的动量分布,也就是反应前靶核内两集团间相对动量的分布。这样就可与靶核两集团间相对运动波函数的理论计算进行比较。

一般认为,发生准自由过程的必要条件是,入射能量远大于 E_B 。但是,象 ${}^6\text{Li}$ 这样的轻核,不但在入射能量为几十到几百 MeV 区有不少工作研究了准自由过程^[1-13],而且在低能区,例如7—11 MeV 的氦核^[14-16]和14—18 MeV 的中子^[17,18]入射时也观察到它的准自由过程。

为什么低能区也会发生准自由过程呢?这是一个值得探讨的问题。

统观前人工作,还有一些问题没有解决。核内两集团间动量分布宽度决定于核结构本身,不应与所用探针的能量有关。但从准自由过程所引出的动量分布宽度却与入射能量有关。此外, ${}^6\text{Li}$ 核氦和 α 两集团间相对运动是S波,相对动量分布的峰位应在动量等于零处,但不少工作所得动量分布峰位不在零^[6,7,10,11,13,14,16]。这不仅是 ${}^6\text{Li}$ 的问题,在 ${}^3\text{He}(\text{p}, \text{pd})$ ^[19]、 $\text{D}({}^3\text{He}, \text{tp})$ ^[20]、 $\text{D}({}^3\text{He}, {}^3\text{He p})$ ^[21]、 $\text{D}(\alpha, \alpha\text{p})$ ^[22]等准自由过程中也观察到峰位移动。

我们用9 MeV 氦和18 MeV α 粒子同时研究 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{dd})$ 、 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{tp})$ 、 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$ 和

${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha d)$ 四种反应道, 对上述问题作了进一步探讨。

二、实 验 方 法

加速粒子由 1.2 米回旋加速器提供, 束流为 $0.01-0.03\mu\text{A}$ 。同位素丰度为 90.5% 的 ${}^6\text{LiF}$ 靶, 厚约 $150\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。底衬为厚 $20\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的碳膜。用两对 $\Delta E-E$ 半导体探测器组成的望远镜。对靶心所张立体角为 $8.73 \times 10^{-4} \text{ sr}$ 。 ΔE 探测器厚 $30\mu\text{m}$ 。将 ΔE_2 和 E_2 信号相对于 ΔE_1 和 E_1 信号延迟 $80\mu\text{s}$ 。使四个信号分成两路进入多道-计算机分析系统。 ΔE_1 和 ΔE_2 信号进入 ADC_1 , E_1 和 E_2 信号进入 ADC_2 。用自编四参量程序对 ΔE_1-E_1 和 ΔE_2-E_2 在多道-计算机上实现四参量获取, 作在线粒子分辨处理, 进行 E_1-E_2 两维分析。得到的 E_1-E_2 符合谱是离线处理的。

测量过程中用微分截面已知的 ${}^6\text{Li}(d, \alpha){}^4\text{He}$ 和 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha){}^6\text{Li}$ 反应分别作 $d+{}^6\text{Li}$ 和 $\alpha+{}^6\text{Li}$ 反应的束流监视和计数归一。

实验系统的调试已在文献[23]中作了详细描述, 这里不再重复。在研究不同的核反应时, 需要利用多种核反应检验仪器的线性范围。如研究 18MeV α 粒子引起的 $\alpha+{}^6\text{Li}$ 反应时, 利用 α 粒子与 ${}^6\text{LiF}$ 靶上的 H, ${}^6\text{Li}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{19}\text{F}$ 以及氧化聚乙烯薄膜靶上的氘的弹性散射峰作能量线性刻度。

此外, 在实验开始与进行过程中, 我们用 α 粒子与金靶的弹性散射峰对加速粒子的能量进行测量与检验。测量表明, 在整个实验过程中, 加速粒子的能量稳定在 $\pm 2\%$ 以内, 这已能满足本工作的要求。

三、反应运动学与平面波冲量近似分析

我们研究的三体反应是 $A(a_0, a_1 a_2)a_3$ 。 a_1, a_2 是实验中直接探测的两个粒子。如图 1 所示。 θ_1, θ_2 分别为 a_1, a_2 的散射角。 $\vec{p}_i$ 为 a_i 在实验室系的动量($i=0, 1, 2, 3$)。

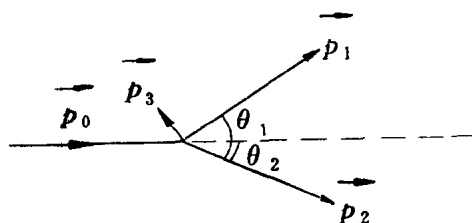


图 1 入射和出射粒子的动量关系

粒子 a_1, a_2 的运动学轨迹, 即其动能 E_1, E_2 所满足的方程为^[24]:

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{m_3} [E_1(m_1 + m_3) + E_2(m_2 + m_3) - 2(m_0 m_1 E_0 E_1)^{1/2} \\ & \cos \theta_1 - 2(m_0 m_2 E_0 E_2)^{1/2} \cos \theta_2 \\ & + 2(m_1 m_2 E_1 E_2)^{1/2} \cos \theta_{12}] = Q + E_0 \left(1 - \frac{m_0}{m_3} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

式中 m_i 为 a_i 的质量($i=0, 1, 2, 3$), E_0 为入射能量, Q 为反应能, θ_{12} 为 $\vec{p}_1, \vec{p}_2$ 间夹角。

对于准自由过程, a_3 是旁观者。实验观察此过程时, 应该选取 θ_1, θ_2 使之在准自由角度附近。所谓准自由角度对, 即满足旁观者最小动量为零的条件的 (θ_1, θ_2) 角度对, 即下式的解:

$$\frac{p_0^2}{2m_0} + Q = \frac{p_0^2}{2\sin^2(\theta_1 - \theta_2)} \left[\frac{\sin^2 \theta_2}{m_1} + \frac{\sin^2 \theta_1}{m_2} \right]. \quad (2)$$

若 $\theta_1 = -\theta_2$, (2) 式的解为“对称准自由角度对”。

用平面波冲量近似 (PWIA), 准自由过程的微分截面由下式给出^[14]:

$$\frac{d^3\sigma}{d\Omega_1 d\Omega_2 dE_1} = K \left[\frac{d\sigma(E, \theta)}{d\Omega} \right]_{12} |\phi(q)|^2, \quad (3)$$

式中 $\phi(q)$ 为动量表象中靶核内两集团相对运动波函数。K 为运动学因子, 在非相对论近似下, 由下式给出:

$$K = \frac{p_1 p_2 (m_1 + m_2)^2}{p_0 m_2} \left[1 + \frac{m_2}{m_3} \left(1 + \frac{p_1}{p_2} \cos \theta_{12} - \frac{p_0}{p_1} \cos \theta_2 \right) \right]^{-1}. \quad (4)$$

(3) 式中 $\left[\frac{d\sigma(E, \theta)}{d\Omega} \right]_{12}$ 是入射粒子与被散射集团的离壳散射 (或反应) 截面, 用质心系自由散射 (或反应) 截面近似代替。质心系能量 E 取反应产物 a_1 、 a_2 的相对能量 E_{12} , 即

$$E_{12} = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \left| \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \right|^2. \quad (5)$$

散射角 θ 为反应前相对速度与反应后相对速度的夹角, 满足

$$\cos \theta = (\vec{v}_0 - \vec{v}_{20}) \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) / |\vec{v}_0 - \vec{v}_{20}| \cdot |\vec{v}_1 - \vec{v}_2|. \quad (6)$$

式中 $\vec{v}_0$, $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ 分别为 a_0 , a_1 , a_2 在实验室系的速度, $\vec{v}_{20}$ 为靶核内散射集团在反应前的速度。由 (3) 式可以得到 $|\phi(q)|^2$ 的实验值。另一方面, 我们可以由理论计算得到 $\phi(q)$ 。

${}^6\text{Li}$ 核内 α 与 d 集团相对运动波函数在小距离处取集团模型波函数, 在大距离处取渐近形式汉克函数^[14], 即

$$\psi(r) = NC \left(\frac{8}{9} \beta_0 r^2 - 1 \right) \exp \frac{2}{3} \beta_0 x r^2, \quad \text{当 } r \leq r_1, \quad (7)$$

$$\psi(r) = N \frac{1}{r} \exp(-\alpha r), \quad \text{当 } r \geq r_1. \quad (8)$$

式中 $\beta_0 = 0.433 \text{ fm}^{-2}$, 标志 α 集团的大小; $x = 0.4$ 标志集团间距离; $\alpha = \sqrt{2\mu E_B}/\hbar = 0.307 \text{ fm}^{-1}$ ($E_B = 1.47 \text{ MeV}$); $r_1 = 4.5 \text{ fm}$; $C = 0.085 \text{ fm}^{-1}$, 使在 $r = r_1$ 处 (7)、(8) 两式平滑相接。归一化因子 $N = 2.081 \text{ fm}^{-1/2}$, 满足

$$\int_0^\infty |\psi(r)|^2 r^2 dr = 1. \quad (9)$$

$\psi(r)$ 的傅里叶变换就是动量空间波函数 $\phi(q)$ 。对于相对运动 S 波, 截止半径 $R > r_1$ 的情况, 易证

$$|\phi(q)|^2 = \frac{1.304 \times 10^{-7}}{2\pi^2} \cdot N^2 (\alpha e^{-\alpha R})^2 \left[\left(\frac{\sin qR}{q} + \frac{\cos qR}{\alpha} \right) / (q^2 + \alpha^2) \right]^2. \quad (10)$$

(10) 式 $|\phi(q)|^2$ 的单位是 $(\text{MeV}/c)^{-3}$, 截止半径 R 是可调参数, 作傅里叶变换时积分从 R 积到 ∞ 。

480112

四、数 据 处 理

实验测得的 E_1-E_2 符合谱, 扣除偶然符合本底后即得纯效应计数。偶然符合本底是这样处理的 (如图 2 所示): 真符合计数落在轨迹 S 上, 在 $E_1 > x$ 和 $E_2 > y$ 的区域, 为纯偶然符合本底区。令 n_{x_i} 为 E_1 探测器记录的幅度为 x_i 的脉冲计数, n_{y_i} 为 E_2 探测器记录的幅度为 y_i 的脉冲计数, 则座标为 (x_i, y_i) 处的偶然符合计数为:

$$n_{x_i y_i} = 2\tau n_{x_i} n_{y_i}, \quad i=1, 2. \quad (11)$$

式中 τ 为符合分辨时间。由(11)式得:

$$n_{x_1 y_1} = \frac{n_{x_2 y_2}}{n_{x_2 y_1}} \cdot n_{x_1 y_2}. \quad (12)$$

$n_{x_2 y_1}$, $n_{x_2 y_2}$, $n_{x_1 y_1}$ 为二维谱的高能区, 即无三体反应效应的纯偶然符合本底区的计数。

由(12)式即得 (x_1, y_1) 处的偶然符合本底计数, 对 ${}^6\text{Li}(d, dd)$ 反应, 偶然符合本底约 10%, 对 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$ 约为 1%。

扣除偶然符合本底后的二维谱向 E_1 或 E_2 轴投影, 除去级联衰变峰以外的区域就是准自由过程的贡献。图 3 是 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$ 二维谱向 E_1 轴的投影。计数率向监视反应 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha_0){}^6\text{Li}$ 计数归一后, 即得微分截面的绝对值。由(3)式即得 $|\phi(q)|^2$ 的实验值。再与(10)式计算的 $|\phi(q)|^2$ 理论值比较, 实验与理论的 $|\phi(q)|^2$ 峰值之比为成团几率 P_α 。

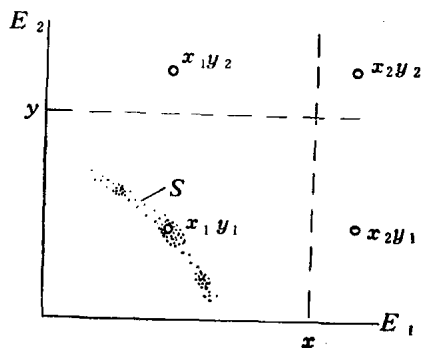


图 2 偶然符合本底扣除方法示意

五、实 验 结 果

实验结果示于表 1 和图 4—7 中。

表 1 中动量分布宽度的理论值是用截止半径 $R=9.4\text{fm}$ 由(10)式算得的。成团几率是 $|\phi(q)|^2$ 实验峰值与理论峰值之比。

图 4—7 分别为 ${}^6\text{Li}(d, dd)$ 、 ${}^6\text{Li}(d, tp)$ 、 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$ 和 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha d)$ 各反应道测得的 ${}^6\text{Li}$ 核内 α -d 两集团间相对动量分布。虚线都是由(10)式算得的理论结果。截止半径 R 都取为 9fm , 已作了成团几率修正。对于非对称准自由角度对的情况, 虚线已作了平移以修正峰位移动。

由表与图, 我们得到下列结果:

1. 各反应道所得 ${}^6\text{Li}$ 核内 α -d 两集团间相对动量分布宽度都接近 $40\text{MeV}/c$, 与

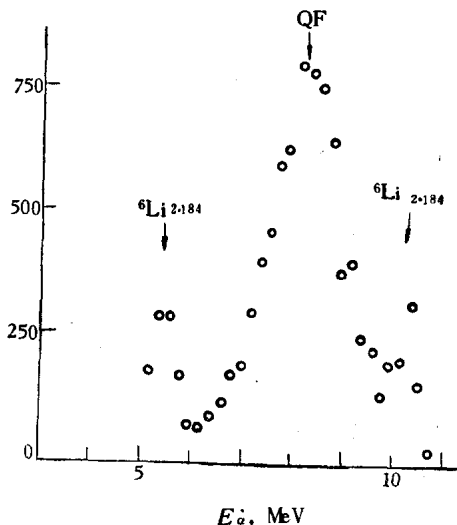


图 3 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$ 二维谱向 E_1 轴投影
 $\theta_{\alpha_1}=42.4^\circ$, $\theta_{\alpha_2}=-42.4^\circ$.

Miljanic^[14]用 7—10 MeV 氦的 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{dd})$ 所得结果一致。

2. 对称准自由角度对条件下所得动量分布的峰位与理论符合, 非对称准自由角度对条件下有明显的峰位移动。

3. (d, dd) 、 (d, tp) 、 $(\alpha, \alpha\alpha)$ 各反应道所得 ${}^6\text{Li}$ 的 α -d 成团几率接近 1。 $(\alpha, \alpha\text{d})$ 反应道所得成团几率与上述不符, 明显低。

表 1 各反应道得到的动量分布宽度、成团几率与峰位移动

反应道	E_0 , MeV	θ_1 , 度	θ_2 , 度	动量分布宽度 FWHM, MeV/c		成团几率 P_α	峰位移动 MeV/c	截止半径 R , fm
				实验值	理论值			
${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{dd}){}^4\text{He}$	9	39.3	-39.3	38 ± 4	40	1.06 ± 0.14	0	9
	9	45	-33.3	30 ± 4	40	0.95 ± 0.16	12	9
${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{tp}){}^4\text{He}$	9	35.9	-65.3	36 ± 4	40	0.62 ± 0.19	6	9
${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{dd})\text{D}$	18	42.4	-42.4	40 ± 4	40	0.65 ± 0.14	0	9
	18	35	-49.7	38 ± 4	40	0.75 ± 0.17	12	9
	18	30	-54.3	36 ± 4	40	0.62 ± 0.25	15	9
${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\text{d}){}^4\text{He}$	18	17.8	-52.3	36 ± 4	40	0.21 ± 0.05	3	9
	18	22	-44.9	36 ± 4	40	0.20 ± 0.04	8	9

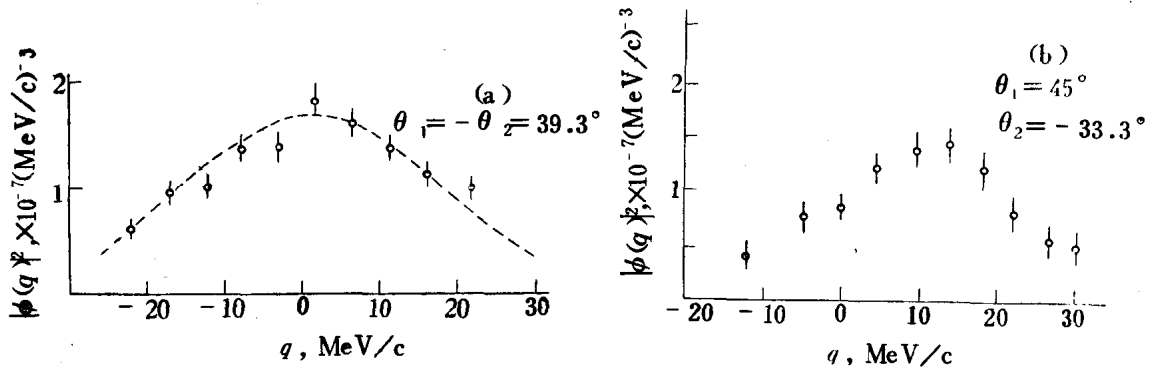


图 4 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{dd})$ 得到的 ${}^6\text{Li}$ 核 α -d 集团相对动量分布
虚线是理论计算结果; $R = 9 \text{ fm}$ 。

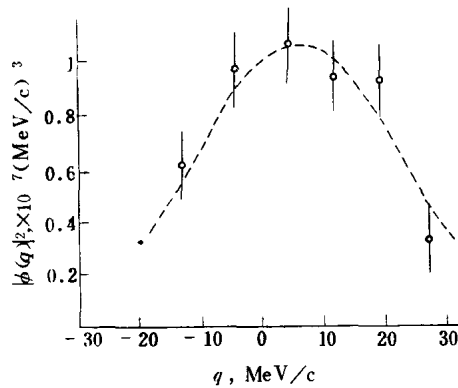


图 5 ${}^6\text{Li}(\text{d}, \text{tp})$ 得到 ${}^6\text{Li}$ 核 α -d 集团相对动量分布
虚线是理论计算结果; $R = 9 \text{ fm}$;
已作成团几率与峰位移动修正。
 $\theta_1 = 35.9^\circ$; $\theta_2 = -65.3^\circ$ 。

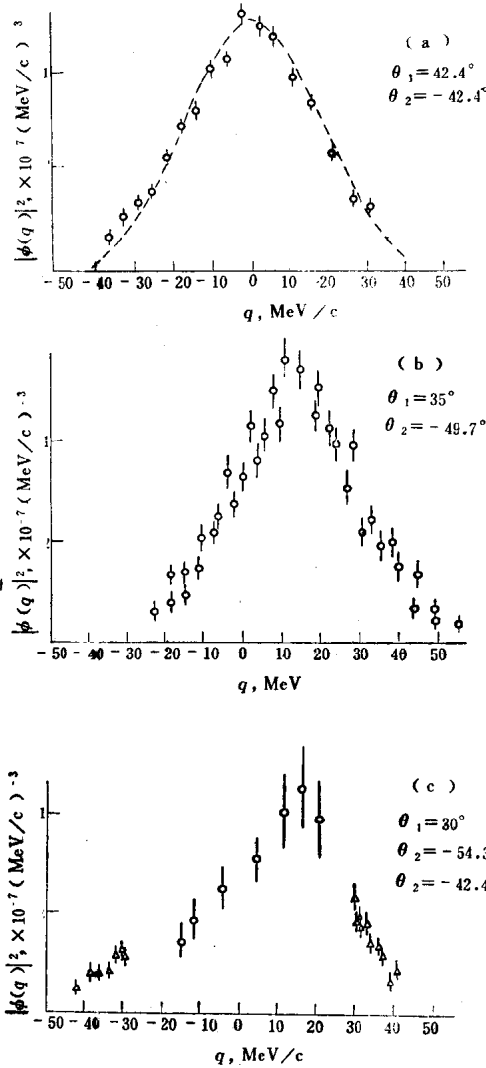


图 6 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$ 得到的 ${}^6\text{Li}$ 核 α -d 集团相对动量分布
虚线是理论计算结果; $R = 9 \text{ fm}$; 作了成团几率修正。

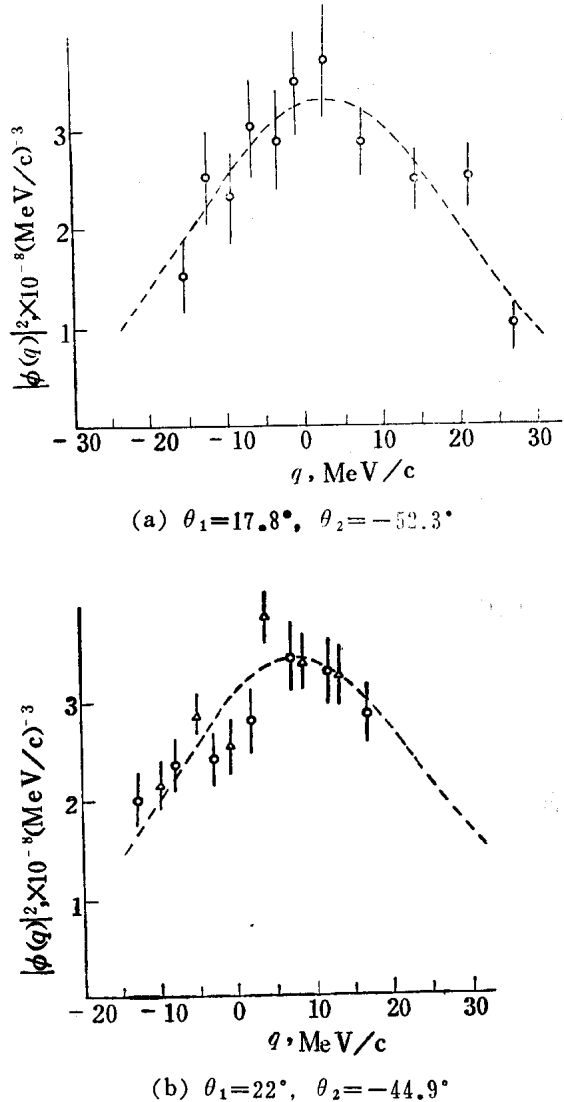


图 7 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$ 得到 ${}^6\text{Li}$ 核 α -d 集团相对动量分布
虚线是理论计算结果; $R = 9 \text{ fm}$; 作了成团几率与峰位移动修正。

六、讨 论

1. 本文表明, 在 ${}^6\text{Li}$ 上的准自由过程, 不但在低能氘入射的情况下存在^[13], 而且在低能 α 粒子入射的情况下也存在。不同反应道用平面波冲量近似分析所得结果基本相同, 说明低能准自由过程是确实存在的, 而且作为一级近似, 可以用平面波冲量近似处理。

2. 低能探针所得 ${}^6\text{Li}$ 核内 α -d 集团相对动量分布宽度比较高能量所得结果明显小。例如, 70 MeV α 粒子引起的 ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$ 准自由散射所得结果为 $58 \text{ MeV}/c$ ^[9], 590 MeV 质子引起的 ${}^6\text{Li}(p, \text{pd})$ 准自由散射所得结果为 $100 \text{ MeV}/c$ ^[2]。

我们的解释是: 核内两集团间距离总是不停地变化的, 根据测不准关系, 间距大时, 相对动量小。准自由散射所测得核内集团间动量分布不是整个核内的动量分布, 而是当集团间距大于入射粒子德布罗意波长的状态下的动量分布, 因为只有在这种条件下才有可能发生准自由散射。低能探针波长长, 只能探测集团间距大的状态, 所得动量分布就比高能探针所得窄。本文所用 9 MeV 氦核波长为 9 fm, 只能感觉到集团间距大于 9 fm 的状态, 这与截止半径为 9 fm 也符合。文献上一般将截止半径 R 作可调参数处理, 我们对 R 作了一个“不少于入射波长”的限制。换言之, 即发生准自由过程的必要条件是, 入射粒子的德布罗意波长应小于靶核内两集团间距离。只要间距足够大, 低能也能发生准自由过程。

3. 峰位移动现象, 文献上尚无适当解释。不少作者认为是由于库仑排斥作用。入射粒子与靶核接近时, 在核力未起作用时, 长程库仑力先起作用, 将靶核中的集团排斥, 其动量与原来有了差异。但这不能解释为什么对称几何条件下没有峰位移动, 而且库仑排斥的移动方向与我们的实验结果也不符。我们分析, 峰位移动现象说明平面波冲量近似理论的不足, 现正进一步用扭曲波冲量近似处理, 结果将另文发表。

4. ${}^6\text{Li}(\alpha, ad)\alpha$ 反应道所得成团几率偏低, 这也表明平面波冲量近似理论的不足。我们这样解释: 对于 ${}^6\text{Li}(\alpha, ad)\alpha$ 反应道, 旁观者 α 与入射 α 有较强的初态相互作用, 而旁观者 α 与出射 α 有较强的末态相互作用, 亦即有较强的扭曲效应, 作平面波处理太简单了。J. M. Lambert 等^[12] 用 50 MeV α 粒子引起的 ${}^6\text{Li}(\alpha, aa)\text{D}$ 所得成团几率也比 ${}^6\text{Li}(\alpha, ad)\alpha$ 反应所得高 3 倍。M. Tayama 等^[25] 在电子引起的 ${}^6\text{Li}(e, e'd)\alpha$ 与 ${}^6\text{Li}(e, e'\alpha)\text{D}$ 反应中也观察到末态相互作用的影响。

参加本工作部分实验的还有申本新、祁步嘉、司国建、张洪起等同志。

参 考 文 献

- [1] J. C. Alder et al., *Phys. Rev.*, **C6**, 18(1972).
- [2] P. Kitching et al., *Phys. Rev.*, **C11**, 420(1975).
- [3] D. Bachelier et al., Ph. D. Thesis No. CNRS 5636, Univ. de Paris, 1971, p. 53.
- [4] P. G. Roos et al., *Nucl. Phys.*, **A257**, 317(1976).
- [5] M. Jain et al., *Nucl. Phys.*, **A153**, 49(1970).
- [6] R. Hagelberg et al., *Nucl. Phys.*, **A207**, 366(1973).
- [7] A. K. Jain et al., *Nucl. Phys.*, **A195**, 566(1972).
- [8] A. K. Jain, *Nucl. Phys.*, **A216**, 519(1973).
- [9] A. K. Jain et al., *Nucl. Phys.*, **A233**, 145(1974).
- [10] J. R. Pizzi et al., *Phys. Lett.*, **28B**, 32(1968).
- [11] P. Gaillard et al., *Phys. Rev. Lett.*, **25**, 593(1970).
- [12] J. M. Lambert et al., *Phys. Rev.*, **C4**, 2010(1971).
- [13] K. Baehr et al., *Phys. Rev.*, **178**, 1706(1969).
- [14] D. Miljanic et al., *Nucl. Phys.*, **A215**, 221(1973).
- [15] D. Miljanic et al., *Phys. Lett.*, **50B**, 330(1974).
- [16] D. Miljanic et al., *Nucl. Phys.*, **A290**, 27(1977).

- [17] 卢慧筠等, 原子核物理 (1974年会议资料选编), 原子能出版社, 1977, 106页.
- [18] 卢慧筠等, 科技, 2, 124(1976).
- [19] I. Slaus et al., *Phys. Rev. Lett.*, 27, 751(1971).
- [20] R. E. Warner et al., *Phys. Rev. Lett.*, 27, 961(1971).
- [21] R. E. Warner et al., *Nucl. Phys.*, A255, 95(1975).
- [22] I. Koorsner et al., *Nucl. Phys.*, A286, 431(1977).
- [23] 孙祖训等, 一个用于粒子-粒子关联实验的四参量在线分析谱仪, 高能物理与核物理, 待发表.
- [24] G. G. Ohlsen et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 37, 240(1965).
- [25] M. Tayama et al., *Nucl. Phys.*, A268, 469(1976).

D + ${}^6\text{Li}$ AND α + ${}^6\text{Li}$ QUASI-FREE PROCESSES AT LOW ENERGIES

SUN HAN-CHENG YAO JIN-ZHANG SUN TSU-XUN WEN KE-LING
LU HUI-JUN DAI NENG-XIOXG JIN RONG-HUA YAN CHEN

(*Institute of Atomic Energy*)

ABSTRACT

The quasi-free scattering processes ${}^6\text{Li}(d, dd)$, ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha\alpha)$, ${}^6\text{Li}(\alpha, \alpha d)$ and the quasi-free reaction ${}^6\text{Li}(d, tp)$ have been studied with 9 MeV deuterons and 18 MeV α particles. The relative momentum distributions of α -d clusters in ${}^6\text{Li}$ and their clustering probabilities have been extracted by use of PWIA. Peak shifts have been observed and discussed.

^{252}Cf 自发裂变瞬发中子 平均数及中子数目分布的测量

张焕乔 刘祖华

(原子能研究所)

利用球形载钚液体闪烁探测器绝对测量了 ^{252}Cf 自发裂变瞬发中子平均数 $\bar{\nu}_p$ 和瞬发中子数目分布 P_ν 。根据准直单能快中子在蒾晶体上产生的 (n, p) 散射, 刻度了液体闪烁体探测中子的效率曲线。裂变事件用电流型脉冲电离室探测。最后得到 $\bar{\nu}_p = 3.743 \pm 0.018$ 。

引言

^{252}Cf 自发裂变瞬发中子平均数 $\bar{\nu}_p$ 是国际上测量重核裂变中子数的通用标准, 进行精确测量十分重要。可是, 历史上, 液体闪烁体法^[1,2]测量结果比硼堆^[3]、锰浴^[4-8]法系统偏高 2% 左右。从六十年代后期以来, 人们致力寻找这两类数据中存在系统误差的来源。后来, 在液体闪烁体法测量中找到两个系统误差, 一个是缓发 γ 射线效应^[9-12] ($\sim 0.3\%$), 另一个是“法国效应”^[11-13], 即液体闪烁体探测瞬发裂变 γ 射线的效率随裂变中子数目 ν 有微小的变化 ($\sim 0.2\%$)。但这两种修正只能将 $\bar{\nu}_p$ 值降低 0.5% 左右, 仍不能排除两类数据的系统差异。直到 1974 年, 博尔德曼 (J. W. Boldeman)^[12]重新用液体闪烁体法作了精确测量, 得到的 $\bar{\nu}_p$ 值比原来两个结果^[1,2]低 1% 左右。这样才使液体闪烁体法的结果与硼堆、锰浴法的在实验误差范围内一致。但博尔德曼第一次披露的结果为 3.735 ± 0.014 ^[7], 正式发表为 3.738 ± 0.015 ^[12], 而 1977 年又订正为 3.745 ^[14] (未说明订正原因)。鉴于这种情况, 以及考虑到液体闪烁体法目前仍是测量裂变中子数的主要手段, 我们认为再一次用液体闪烁体法精确测量 ^{252}Cf 自发裂变的 $\bar{\nu}_p$ 值是完全必要的, 因此开展了本工作。我们和博尔德曼的测量结果, 已在很大程度上消除了历史上两类数据的分歧。

测量方法与装置

测量方法和装置与阿斯普伦德-尼尔森 (I. Asplund-Nilsson) 等^[11]、霍普金斯 (J.C. Hopkins) 等^[2]和裂变中子数测量组^[15]的类似。在 ^{252}Cf 自发裂变的 $\bar{\nu}_p$ 值的绝对测量中, 包括两部份实验, 即测定液体闪烁体探测中子的效率和分析每次裂变发射的瞬发中子数目。

实验装置如图 1 所示。为了刻度液体闪烁体探测中子的效率，整套装置安在 2.5 兆伏静电加速器的实验厅内。液体闪烁体中心距加速器靶 226 厘米。在离靶 55 厘米处放一个开孔 $\phi 1.5 \times 55$ 厘米的铁准直器，埋在 60 厘米厚的铅锥屏蔽体内。为了避开加速器管道 0° 方向来的杂散中子，将球形探测器置于偏开加速器管道 10° 的方向上。用激光束使靶、准直器和球形探测器管道中心对准。在加速器靶附近，用 45 厘米厚的含硼石蜡球屏蔽，留有一个直径为 3 厘米的引束孔。液体闪烁体的四周用 30 厘米厚的含硼石蜡屏蔽，在靠近准直器的石蜡屏蔽内，有一层 10 厘米厚的铅墙。

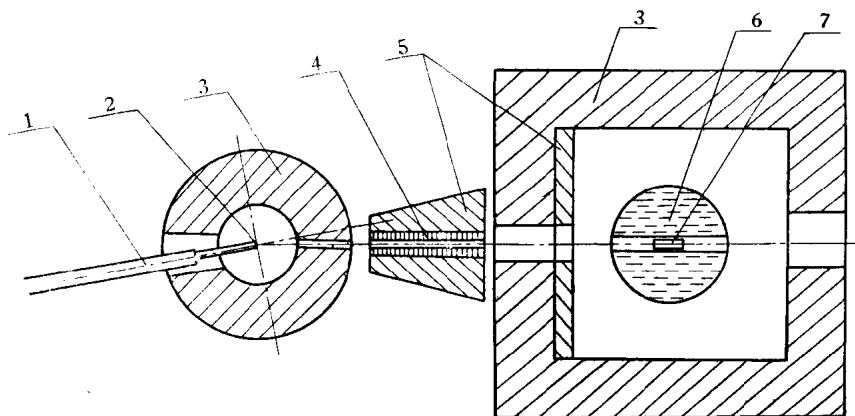


图 1 实验装置简图

1——加速器管道；2——中子靶；3——硼-石蜡屏蔽；4——铁准直器；5——铅屏蔽；6——中子探测器；7—— ^{252}Cf 电离室。

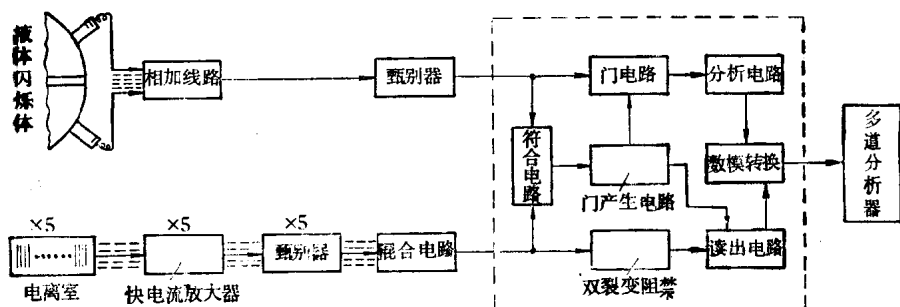


图 2 测量裂变瞬时中子数目时的线路框图

虚线方框中的电路是中子数目分析器的主要部分。

实验用的球形探测器直径为 60 厘米，内装 111 升甲苯基的载钆闪烁液体^[16]，钆含量为 0.33%（重量比），钆-氢原子比为 0.00023。球形探测器有一直径为 6.5 厘米的中心管道，允许加速器中子束注入和穿出，也允许在中心放置样品。在球壳表面上对称均匀配置六只 EMI9530B 光电倍增管，收集中子在液体中（被俘获）引起的闪烁发光。中子平均寿命为 13.8 微秒。光电倍增管引出脉冲底宽约 100 毫微秒。

^{252}Cf 自发裂变事件用电流型脉冲电离室^[17]探测，极间距离 3 毫米，充 1 个大气压的甲

烷, 工作电压 -500 伏。 ^{252}Cf 的自发裂变率为 257 次/秒。

测量裂变中子数用的线路如图 2 所示。测量时将 ^{252}Cf 电离室放在液体闪烁体的中心。电离室的裂变信号与液体闪烁体的瞬时信号 (瞬发裂变 γ 射线或反冲质子) 符合, 以符合输出去打开计数的电子门, 让液体闪烁体记录的中子脉冲通过。每次裂变打开中子数目分析器^[18] 的两个电子门, 门宽 $T=30$ 微秒, 第一个门是在裂变的 50 毫微秒后打开, 第二个门在 130 毫微秒后打开, 分别记效应 (包括本底) 和本底脉冲。由于线路采用石英晶体振荡器分频产生电子门, 且两个电子门由同一线路获得, 因此保证两个电子门宽度严格相等, 改善了测量精度。中子脉冲数目分析器按每次开门通过的脉冲数目进行分析, 然后数字脉冲经数模变换后在多道分析器上记录。经测定, 中子道线路的分辨时间 τ 为 (120 ± 2) 毫微秒, 裂变道的符合时间为 (220 ± 4) 毫微秒。应当指出, 由于 ^{252}Cf 本身自发裂变率较高, 为获得适中的开门率, 电离室信号经过 32 分频, 实际测量中开门率为 8 次/秒左右。此外, 为了消除二次裂变事件的影响, 在中子脉冲数目分析器中设置了二次裂变阻禁电路。

液体闪烁体探测中子的效率刻度采用迪万 (B. C. Diven) 等^[19] 提出的方法, 将苾晶体放在液体球管道的中心, 以静电加速器的 d-D 和 d-T 准直单能中子注入, 在苾晶体上产生 (n, p) 散射, 反冲质子由苾晶体本身构成的闪烁探测器记录, 散射中子由液体闪烁体记录, 将两者脉冲进行符合选择测量, 方式如图 3 所示。实验用的 d-D 和 d-T 中子能量分别为 3.70, 4.40, 5.25, 16.1 和 17.1 兆电子伏。苾晶体闪烁探测器带 (n, γ) 分辨, 晶体大小为 $\phi 3 \times 3$ 厘米, 光电倍增管为 56AVP, 高压 -2000 伏, 在选定的阈值下, γ 射线脉冲全被甄别掉, 而相应的中子能量下限为 0.6 兆电子伏。

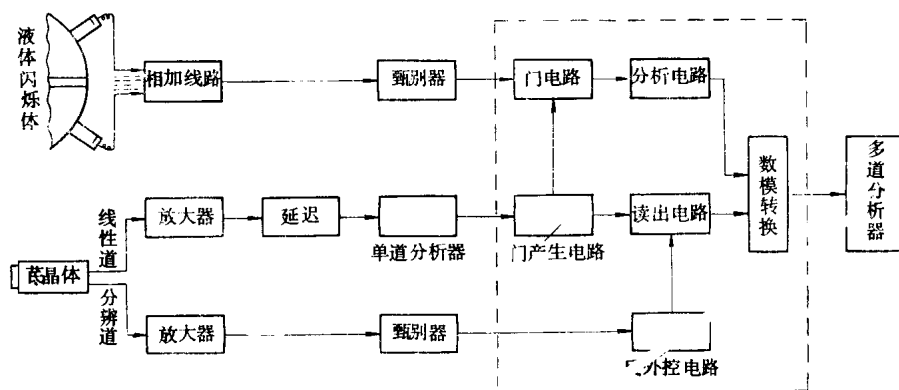


图 3 测量液体闪烁探测器效率的线路框图(虚线方框中的电路是中子数目分析器的主要部分)

在测量过程中经常监督系统的稳定性, 中子道靠测液体闪烁体的天然本底率 (6.6×10^4 脉冲/分) 和裂变室在球心的固有放射性计数率 (1.3×10^5 脉冲/分), 整套系统靠测自发裂变的 $\bar{\eta}\bar{\nu}_p$ 不变性来监督。在正式测量前, 用加速器中子和天然 γ 放射源检查过液体闪烁体探测中子的效率随计数率的变化。实验表明, 计数率直到 1.2×10^6 脉冲/分, 效率不变。在实际测量中, 中子道最大计数率仅 8×10^5 脉冲/分。本底情况大致为: d-D 中子 ~ 0.2 脉冲/门, d-T 中子 ~ 0.45 脉冲/门, 自发裂变为 0.06 脉冲/门。

此外, 用脉冲时幅变换器测量了中子在液体中的俘获时间分布。测量时 苾晶体 放在球