中国科学 B辑:化学 2008 年 第 38 卷 第 11 期: 1035 ~ 1037
www.scichina.com chem.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE IN CHINA PRESS

机械运动能改变放射性同位素的半衰期吗?

丁有钱*, 孙宏清, 杨志红, 梁小虎, 王孝荣, 张生栋, 崔安智

中国原子能科学研究院 放射化学研究所, 北京 102413

* 联系人, E-mail: dingyq@ciae.ac.cn

收稿日期: 2008-03-26; 接受日期: 2008-04-15

摘要 采用液闪测量法考察了机械运动对放射性核素 ^{32}P 的 β^-衰变速率的影响. 结果表明, 在地球北半球的逆时针圆周离心运动条件下(半径 10 cm, 4000 r/min), ^{32}P 的 β^-衰变速率与自然条件下的衰变速率在测量不确定度范围(0.6%)内没有变化.

关键词
圆周离心运动
^{32}P
衰变速率

1 前言

自发现物质的放射性开始, 人们就一直研究能否采用某种手段来改变物质放射性衰变的速率. 早在 1919 年Rutherford和Compton研究[1]表明, 20000 g 离心力对氢的衰变在 0.1%内不产生影响. 1943 年 Freed等人[2]研究表明, 5×10^5 g离心力(离心半径 0.8 cm, 转速 4000 r/s)对多种衰变类型核素的衰变在实验误差范围内不产生影响. 然而, 2007 年何裕建等人[3]考察了外在机械运动对 ^{111}In(电子俘获衰变)和 ^{32}P(β衰变)衰变速率的影响, 表明顺时针和逆时针的圆周运动分别使 ^{111}In和 ^{32}P半衰期减小和增大, 并且其效应随转速的增加而增大.

通常认为放射性衰变常数不受外界物理因素或化学因素的影响. 倘若文献[3]中的结论是正确的, 将开辟核性质研究的新局面. 为此, 有必要对其结果进行考证. ^{32}P放射源容易制备且半衰期适中, 因此本工作选择了 ^{32}P为考察对象.

2 材料与方法

2.1 ^{32}P 样品

^{32}P, 通过 ^{31}P(n, γ)^{32}P 反应产生. 称取分析纯磷酸 0.23276 g, 密封于聚乙烯管中, 在中国原子能科学研究院微型反应堆中辐照 7 h, 中子注量率为~7×10^{11} $cm^{-2}\cdot s^{-1}$. 冷却 15 d 后用医用注射器向聚乙烯管中注入~2 mL 去离子水, 摇匀. 切去塑料管上端, 用尖嘴塑料小壶将溶液全部吸出, 溶液重量为 2.2034 g(溶液Ⅰ). 从溶液Ⅰ中称取 2 份样品(A_1: 100.68 mg; A_2: 49.93 mg), 用液闪谱仪测量, 得到比活度为 408.5±0.8 Bq/mg(参考时间为 2007 年 5 月 8 日 14:06).

2.2 仪器

LS6000 型液闪谱仪, BECKMAN 公司生产. 闪烁液组成: 500 mL 二噁烷或二氧杂环己烷+150 g 萘+4 g 2,5-二苯基噁唑(PPO)+0.5 g 1,4-双-[2-(5-苯基噁唑)]苯(POPOP). 系统本底计数率为 30 min^{-1}, 对 1710 keV β 射线的探测效率近似 100%.

飞鸽牌 TDL-60B 型离心机, 上海安亭科学仪器厂生产, 逆时针转动, 最大转速 6000 r/min.

BP211D 型电子天平, 德国生产, 感量为 10^{-5} g.

2.3 实验方法

从溶液Ⅰ中再称取 9 份样品分别密封于 7 mL 液闪测量管中, 将这 11 份样品分为 A, B 两组, 分组情况及每份 $H_3{}^{32}PO_4$溶液重量列于表 1. A 组样品(A_1, A_2, A_3)置于室温 25~29℃、相对湿度 20%~40%的环境中

作为参比, B 组样品(B_1, B_2,…,B_8)置于离心机中做逆时针圆周运动, 转速为 4000 r/min, 离心半径为 10 cm, 离心机转子裸露于空气中, 以保证B组样品与A组样品温度、湿度一致.

以离心机开始转动为零时刻, 每隔数十小时取出 1 个 B 组样品, 与 A 组样品一同用液闪谱仪测量. 记录各个操作环节的时刻, 并与测量仪器的时间统一. 取样过程中, 离心机从开始减速至再次达到4000 r/min 所需时间为 2 min, 每个样品测量时间为 1 min.

表 1　样品的分组情况

A 组样品编号	样品质量/mg	B 组样品编号	样品质量/mg
A_1	100.68	B_1	111.60
A_2	49.90	B_2	115.48
A_3	98.50	B_3	116.34
		B_4	115.95
		B_5	116.80
		B_6	104.60
		B_7	103.57
		B_8	70.62

3　结果与讨论

3.1　测量方法可靠性检验

采用液闪谱仪进行放射性测量时, 需向样品中加入闪烁液. 对放射性物质在闪烁液中存放时间是否影响探测效率进行了考察(见表 2). A_1 与 A_2 同时加入闪烁液进行测量, 其比活度在 0.3%以内一致. 16d 后, 向 A_3 中加入闪烁液, 与 A_1 一同用液闪谱仪测量, 两者比活度在 0.3%内一致. 因此认为, 液闪测量 ^{32}P (计数率>10^5 min^{-1})的不确定度<0.6%, 方法可靠.

3.2　^{32}P 在运动场中和自然条件下的衰变比较

将 B 组样品置于离心机中, 9:50 22/5/2007 离心开始, 每隔数十小时取出一个 B 组样品, 加入闪烁液后与 A 组样品(A_1 和 A_3)一同进行液闪测量(如表 3 和 4), 对比两者的比活度, 就可看出 ^{32}P 的衰变速率是否发生变化.

从表3和4中可以看出, 在离心机中连续转动647小时后, B_8 样品中 ^{32}P比活度仍与自然条件下同时刻A组样品的比活度一致. 这一结果与文献[3]不一致.

表 2　闪烁液样品稳定性的考察

		A_1	A_2	A_3	RSD/%
第一次测量	测量时刻	14:06 8/5/2007	13:54 8/5/2007	–	
	计数率/min^{-1}	2472910	1221484	–	
	比活度/ Bq·mg^{-1}	409.37	407.57[a)]	–	0.3
第二次测量	测量时刻	10:08 24/5/2007	–	9:04 24/5/2007	
	计数率/min^{-1}	1137936	–	1120495	
	比活度/ Bq·mg^{-1}	188.38	–	189.16[a)]	0.3

a) 比活度值归一至A_1测量时刻, 半衰期取值 14.262 d[4]

表 3　^{32}P 在运动场中的衰变

测量时刻	转动时间/h	样品编号	样品溶液质量/mg	放射性计数率/min^{-1}	放射性比活度/Bq·mg^{-1}
9:01 24/5/2007	47.18	B_1	111.60	1266654	189.17
9:09 28/5/2007	143.32	B_2	115.48	1077925	155.57
14:17 1/6/2007	244.45	B_3	116.34	882416.6	126.41
8:52 4/6/2007	311.03	B_4	115.95	768991.9	110.53
9:41 8/6/2007	407.85	B_5	116.80	634821	90.59
8:52 11/6/2007	479.03	B_6	104.60	490927.4	78.22
8:59 15/6/2007	575.15	B_7	103.57	401348.7	64.59
8:56 18/6/2007	647.10	B_8	70.62	235467.9	55.57

表 4 ^{32}P 在自然条件下的衰变

归一时刻	A_1			A_3		
	测量时刻	放射性计数率/ min^{-1}	比活度 a) /Bq·mg^{-1}	测量时刻	放射性计数率/min^{-1}	比活度 a) /Bq·mg^{-1}
9:01 24/5/2007	10:08 24/5/2007	1137936	188.80	9:04 24/5/2007	1112399	189.61
9:09 28/5/2007	9:24 28/5/2007	938215	155.39	9:15 28/5/2007	915395	155.62
14:17 1/6/2007	14:33 1/6/2007	763487	126.46	14:25 1/6/2007	743803	126.51
8:52 4/6/2007	9:08 4/6/2007	667663	110.59	9:01 4/6/2007	650460	110.73
9:41 8/6/2007	9:58 8/6/2007	549039	90.94	9:52 8/6/2007	534818	90.90
8:52 11/6/2007	9:10 11/6/2007	474602	78.61	9:04 11/6/2007	463673	78.58
8:59 15/6/2007	9:20 15/6/2007	390564	64.70	9:14 15/6/2007	379401	64.58
8:56 18/6/2007	9:18 18/6/2007	337679	55.94	9:12 18/6/2007	327270	55.93

a) 将 A_1 和 A_3 的比活度归一至对应 B 组样品的测量时刻(表中第一列)

3.3 半衰期求取及比较

3.3.1 运动场中 ^{32}P 的半衰期

将表 3 中 B 组样品的放射性比活度的自然对数对转动时间作图(见图 1).

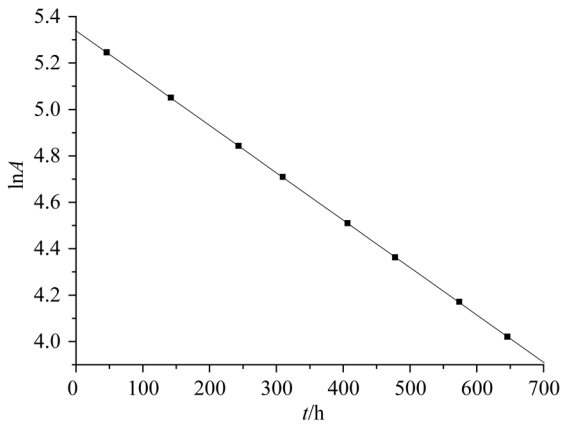


图 1 运动场中 ^{32}P 的衰变

由图中直线拟合公式 $\ln A=(5.3390\pm0.0011)-(2.040\pm0.0027)\times10^{-3}\ t$ 的斜率求得 ^{32}P 的半衰期为 $T_{1/2}=(339.78\pm0.45)\text{h}=(14.156\pm0.019)\text{d}$.

3.3.2 自然条件下 ^{32}P 的半衰期

将表 3 中 A_3 的放射性比活度的自然对数对时间作图, 得 $\ln A=(5.3396\pm0.0009)-(2.040\pm0.0022)\times10^{-3}\ t$, 得出 ^{32}P 的半衰期为 $T_{1/2}=(339.78\pm0.37)\text{h}=(14.156\pm0.015)\text{d}$. 这一数值与运动场中 ^{32}P 的半衰期值在实验误差范围内完全一致.

将表 3 中 A_1 的放射性比活度的自然对数对时间作图, 得 $\ln A=(6.0187\pm0.0043)-(2.028\pm0.001)\times10^{-3}\ t$, 求得 ^{32}P 的半衰期为 $T_{1/2}=(341.78\pm0.16)\text{h}=(14.241\pm0.007)\text{d}$. 此数据与运动场中的 ^{32}P 的半衰期数值在 0.6%误差范围内一致.

而在文献[3]中, ^{32}P在圆周离心(半径 8 cm, 4000 r/min)中的半衰期较自然条件下的增加 4.34%.

4 结论

本实验的研究结果表明, 在转速为 4000 r/min 逆时针的圆周运动中的 ^{32}P 的衰变速率与自然条件下的衰变速率一致, 未能引起半衰期的变化.

致谢 舒复君、马鹏、游新锋、胡彦涛、赵雅平、宋志君、毛国淑、杨春莉、杨金玲、杨磊、刘素环、吴俊德等同志参加了实验工作, 作者对他们的辛勤劳动表示感谢.

参考文献

1 Rutherford E, Compton A H. Radio-activity and Gravitation. Nature, 1919, 104: 412[DOI]
2 Freed S, Jaffey A, Schultz M. High centrifugal fields and radioactive decay. Phys Rev, 1943, 63: 12—17[DOI]
3 何裕建, 戚菲, 戚生初. 机械运动诱导的 ^{111}In 和 ^{32}P 核衰变速率变化. 中国科学 B 辑, 2007, 37(1): 1—5.
4 Firestone R B, Shirley V S, Table of Isotope 8th CD- ROM Edition, Version 1.0. New York: John Wiley and Sons, 1996