

^{236}Np 衰变纲图编评报告

顾家辉

中国科学院上海原子核研究所

一九七八年七月

$^{236}\text{Np}_{14}$ 衰变纲图编评

本编评根据 M. K. Schmorak 在 1970⁽¹¹⁾ 和 1977 年⁽¹⁷⁾ 编评结果, 据收集到 1978 年 8 月。此核素 (1—) 激发态以 22.5 小时衰变, 基态 (6—) 以 115000 年衰变, 因此分两部份来编评。

^{236}Np (22.5 小时) 衰变纲图编评

一 半衰期 $T_{1/2}$:

^{236}Np 核素 (1—) 激发态以 22.5 小时半衰期进行衰变, 其衰变方式为 48.1% β^- 到 $^{236}\text{Pu}_{14}$, 52.1% EC 衰变到 $^{236}\text{U}_{14}$ 。1949 年 R. A.

James⁽¹⁾ 测到半衰期为 22 小时, 69 年 C. M. Lederer⁽⁸⁾ 在贝克雷 88 英寸回旋加速器上用浓缩 ^{235}U 作靶, 利用 $^{235}\text{U}(\text{d}, \text{n})^{236}\text{Np}$ 反应, 入射 α 粒子能量 11 Mev 生成 ^{236}Np 。用平面 Ge(11) 探测器进行测量, 测到了 γ 射线和 UX 射线谱, 得到了 γ 射线和 X 射线相应的各半寿命, 这里取了最强 $\text{U}_{\text{K}\alpha}$, 半寿命 22.5 ± 0.4 小时为 ^{236}Np 激发态寿命。

早期测量 (1—) 态 EC/ β^- 的工作, 其中有 56 年 P. R. Gray⁽³⁾, 采用双聚焦磁 β 谱仪测量俄歇电子, 并测量了 γ 射线和 X 射线谱。导得 $\text{EC}(\text{K})/\beta^- = 0.75$, $\text{EC}(\text{K})/\text{EC} = 0.75$, 得 $\text{EC}/\beta^- = 1.59$ 年 J. E. Gindler⁽⁶⁾ 采用测量 α 放射性和质谱分析测量 ^{236}Np 子核, ^{235}U 作为示踪加入溶液。利用了公式进行计标, 得每 100 衰变 EC 为 51 ± 8 , β^- 衰变为 49 ± 1 。这里采用了 ^{239}Pu 半寿命为 2.851 年, ^{235}U 为 73.6 年值。70 年 M. R. Schmorak 编评时把 ^{235}U 寿命 73.6 年变为 72 年, 从而得 48.1% β^- 衰变和 52.1% EC 衰变。77 年编评和我们都采用此数据。

二 γ 射线能量和强度:

表1. ^{236}Np (22.5小时) EC衰变来 γ 射线能量

	$E(\gamma_1)$ Mev	$E(\gamma_2)$	$E(\gamma_3)$	$E(\gamma_4)$
R.G.Albridge(56年) ⁽⁴⁾	0.04528 ⁶			
P.R.Gray(56年) ⁽³⁾	0.0442 ⁸⁰			
C.J.Gallagher(59年) ⁽⁷⁾	0.04532		0.6430	0.6882
C.M.Lederer(69年) ⁽⁸⁾	0.0453	0.5382 ²	0.6424 ¹	0.6877 ¹
M.R.Schmorak(70年)编评 ⁽¹¹⁾	0.0453	0.5382 ²	0.6424 ¹	0.6877 ¹
M.R. " " (77年)编评 ⁽¹⁷⁾	0.04528 ⁶	0.5382 ²	0.6424 ¹	0.6877 ¹
本编评采用	"	"	"	"

^{236}Np γ 射线能量各家实验结果和编评值见表1., γ 能量值采用56年R.G.Albridge结果, 他采用贝克雷永磁 β 谱仪得到精确内转换电子能量, 从而导得 γ 射线能量. 其他三根 γ 射线都采用69年C.M.Lederer值, 便用一平面Ge(11)探测器测 γ 射线谱, 探测器分辨率从100Kev时1.5Kev到1 Mev为2.4Kev变化.

69年C.M.Lederer测量 γ 射线谱和X射线谱, 用3 mm厚Si(11)探测器测量了转换电子和 β 谱. 把转换电子和 γ 射线强度与从 ^{137}Cs 中测量到的相比较, 得到了绝对转换系数. 测量到转换系数把转换线强度与 β 线线和K α -射线和 γ 射线相联系了, 便用已知荧光产额和理论电子俘获壳层比, 计标得 ^{236}Np 激发态EC衰变到687.7能级上强度为 $1.5 \pm 0.3\%$, 到149.5能级上为 $8 \pm 3\%$. 并采用Ge(11)探测器测642 γ 射线, 用5cm $\times$ 5cm NaI(Tl)测K α 射线, 进行X- γ 符合得688 keV能级半寿命为 $4.4 \pm 0.6\text{ns}$. 虽然文章中从K α 射线与 β 粒子比中得到 $\text{EC}/(\text{EC}+\beta) = 47 \pm 8\%$, 但纲图中采用了P.R.Gray⁽³⁾的结果 $\text{EC}/(\text{EC}+\beta) = 50 \pm 5\%$, 从而原始纲图给出到 ^{236}U 基态

EC 分支比为 $40 \pm 7\%$ 。看第一节知道 $EC/(EC+\beta^-)$ 值应为 52% ，以后到基态 EC 分支比为 42.5% ，可参看图 1。

69 年 C.M. Lederer 测量 γ 射线相对强度见表 2。

表 2. γ 射线相对强度和转换系数

E_γ (MeV)	0.04528	0.5382	0.6424	0.6877
I_γ (相对)		1.11 ¹²	100	26.5 ⁹
α (77 年编评)	600	0.040	0.15 ²	0.31 ⁹

由于 0.5382, 0.6424, 0.6877 MeV 三条 γ 射线都起源于 0.6877 MeV 能级，此能级绝对跃迁强度为 $1.5 \pm 0.3\%$ ，根据相对强度和内转换系数可求得 γ 绝对强度。70 年 M.R. Schmorak 编评时求得各绝对跃迁强度 0.34 (γ_1), 1.14 (γ_2), 0.02 (γ_3)，77 年 M.R. Schmorak 编评时为 0.34 (γ_1), 1.1 (γ_2), 0.011 (γ_3)。我们为了得到此数值，利用了 77 年 M.R. Schmorak ^{236}Pu α 衰变的数值和 0.6877 MeV 绝对强度 1.5%，得 0.46×10^3 : 1.49×10^3 ; $0.0147 \times 10^3 = 0.34:1.14:0.0112$ 。

77 年 M.R. Schmorak 编评时说明每 100 次衰变绝对 γ 强度，为表 2 中相对 γ 强度乘以 0.009，为此我们利用纲图上给出绝对跃迁强度 1.1 和内转换系数 0.15，求得 0.6424 MeV 绝对 γ 强度为 0.96。所以我们取绝对强度为表 2 给出相对强度值乘以 0.0096。

77 年 M.R. Schmorak 给出 45.3 keV 能级绝对跃迁 $I_\gamma + I_{\text{ce}} \approx 14$ ，69 年 C.M. Lederer 给出到 45.3 keV 的强度 $I_E = 8$ ，另外还有二条 γ 射线退激到此能级，所以绝对跃迁强度为 $I_E + I(\gamma_2) + I(\gamma_3) = 8 + 1.1 + 0.011 = 9.111$ ，我们仍取 77 年 M.R. Schmorak 值 14。

^{236}Np (22.5 小时) β^- 衰变到 ^{236}Pu ，测得 γ 射线能量见表 3。

表3. ^{236}Np (22.5小时) β^- 衰变 γ 射线能量

	R.G.Albridge (56)	P.R.Gray ⁽⁵⁶⁾	C.J. Gallagher (59年)	C.M. Lederer (69)
E(kev)	44.63 $\pm$ 0.1	43.5 $\pm$ 1	44.6	44.6

56年R.G.Albridge等⁽²⁾在贝克雷用永久磁铁 β 谱仪精确测量了内转换电子谱,从而得第一激发态 γ 射线能量44.63 $\pm$ 0.1 keV, 77年编评和我们都取此数值。

R.G.Albridge在56年精确测量44.6 keV γ 射线内转换电子谱,得每100个 ^{236}Np (22.5小时)衰变的转换电子强度8.3%,即 β^- 衰变到此能级的 β 射线强度,也就是此能级的绝对跃迁强度。77年Schmorak编评时给出此 γ 射线转换系数为754,因此对 ^{236}Np (22.5小时) 100%为 β^- 衰变时 γ 射线相对强度为 $8.3/(0.48 \times 754) = 0.0229$,即编评时给出的结果。因此对 ^{236}Np (22.5小时) 每100个衰变时绝对强度值为 $0.0229 \times 0.48 = 1.1 \times 10^{-2}\%$ 。

三 β 射线强度和能量,电子俘获强度:

表4. ^{236}Np (β^-)衰变 β 射线能量和强度

	E(β_1) MeV	I(β_1) %	E(β_2) MeV	I(β_2) %
T.O.Passell (54年) ⁽²⁾			0.53 ³	
P.R.Gray (56年) ⁽³⁾			0.518 ¹⁰	42
C.M.Lederer (69年) ⁽⁸⁾	0.492	12 ⁹	0.537 ⁸	38 ⁹
M.R.Schmorak (70年)编评	0.492	8.3	0.537 ⁸	39.7
" " (77年) "	0.492	8.3	0.537 ⁸	39.7
本编评	0.492	8.3	0.537 ⁸	39.7

注: 此强度为 ^{236}Np (22.5小时) 每100次衰变时的值。

这里 β 射线能量值采用 69 年 C.M. Lederer 用 Si (Li) 测量值, 但没有采用他在纲图中给出的 β 射线绝对强度值, 文章中没有给出绝对强度从那里计标得来。70 年和 77 年 M.R. Schmorak 编评时都采用 56 年 R.G. Albridge 测到 44.6 Kev γ 射线转换电子强度 8.3, 从而得到 $I(\beta_1) = 8.3\%$, ^{236}Np (22.5 小时) 衰变有 48% 是 β 衰变, 因此 $I(\beta_2) = (48 - 8.3)\% = 39.7\%$ 。

电子俘获强度都采用 69 年 C.M. Lederer 给出数值, 见第二节中叙述和纲图 2。

四 ^{236}Np (22.5 小时) 衰变纲图:

从前三节的讨论可得出图 2 和图 3, 这是 $^{236}\text{Np}(-1)$ 激发态的衰变纲图。

^{236}Np (115000年) 衰变纲图编评

一 半衰期:

长寿命 ^{236}Np (6-) 基态衰变, 它半寿命为 $115000 \pm (12000)$ 年, 其衰变方式为 91.2% EC衰变到 ^{236}U , 8.920% β^- 衰变到 ^{236}Pu 。可能还有 $<10\%$ 的 α 衰变, 这里讨论都忽略了 α 衰变分支, 根据72年D.W. Engelkemeir⁽¹²⁾测量和 α 衰变性质分析就标有 α 衰变, $T_{1/2}(\alpha) > 10^6$ 年。

最初由M.H. Studier等(Phys. Rev. 97, 88 (1955))报导了存在寿命 ≥ 5000 年的衰变, 72年D.W. Engelkemir利用测量 ^{236}Pu α 放射性在化学纯NP样品中的生长, 使用已知半衰期的 ^{236}Pu 放射性的生长和衰变方程来计标 ^{236}Np $T_{1/2}(\beta^-)$, 得到 $T_{1/2}(\beta^-) = (1.29 \pm 0.09) \times 10^5$ 年。76年T.E. Gindler⁽¹³⁾根据 ^{236}Np 基态EC衰变到 ^{236}U 的104Kev γ 射线的比放射性, 得到 $T_{1/2}(\epsilon) = 1.26 \times 10^5$ 年。

可根据 $N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\lambda_\beta t} + N_0 e^{-\lambda_\epsilon t}$, 得到 $T_{1/2} = T_{1/2}(\epsilon) + T_{1/2}(\beta^-) / (T_{1/2}(\epsilon) + T_{1/2}(\beta^-)) = 115000$ 年, 从而得到77年M.R. Schmorak编评值。基态(6-)的半寿命 $T_{1/2} = 115000 \pm 12000$ 年。

假定忽略 ^{236}Np α 衰变分支, 从 $T_{1/2}(\beta^-)$ 和 $T_{1/2}(\epsilon)$ 可标出, 基态 β^- 和EC衰变分支比。由下式

$$dN_\beta / dt = -\lambda_\beta N$$

$$dN / dt = -(\lambda_\beta + \lambda_\epsilon) N$$

得 β^- 的分支比 $\beta \% = \lambda_\beta / (\lambda_\beta + \lambda_\epsilon) = T_{1/2}(\epsilon) / (T_{1/2}(\beta^-) + T_{1/2}(\epsilon))$

同理可得 $\epsilon \% = T_{1/2}(\beta^-) / (T_{1/2}(\beta^-) + T_{1/2}(\epsilon))$

77年M.R. Schmorak进行了计标得 $\epsilon \% = 91.2$, $\beta \% = 8.920$, 并

认为 $\% \alpha < 10$ 。我们也采用此结果。

三 γ 射线强度和能量:

76年J.E.Gindler⁽¹⁶⁾测量了 ^{236}Np (115000年)衰变,因发表于私人通讯,未审查,见文章。现在把77年M.R.Schmorak 编评时列出数据给出如下:

表1. ^{236}Np (115000年) EC γ 衰变产生
 γ 射线强度和能量

$E\gamma(\text{keV})$	$I\gamma\%$	α	注
45			$\alpha(L)=448, \alpha(M)=123$
104	2.75	11.2	$\alpha(L)=8.2, \alpha(M)=2.28, N_+=0.86$ $\alpha(\text{实})=13.9$
160.2°	10.17	1.80	$\alpha(k)=0.212, \alpha(L)=1.15,$ $\alpha(M)=0.319, N_+=0.119$ $\alpha(k)_{\text{实}}=0.203$

注:对 ^{236}Np (115000) 每100次衰变绝对强度值,应乘以2.71.

77年M.R.Schmorak利用了EC和 β^- 衰变半寿命估计 $\% \beta^- = 8.9\%$, 76年J.E.Gindler没观察到 ^{236}Np β^- 衰变产生的 γ 射线,理由是 β^- 分支(8.9%)太弱了,可能由于把100和44.6 keV γ 射线从 ^{236}U K_{α} X射线和 ^{236}U 的45.24 γ 射线分开困难之故。从纲图上看应存在44.6 keV和100 keV γ 射线。

三 电子俘获强度和 β 射线强度、能量

76年J.E.Gindler把160 keV γ 射线和85 keV X射线进行了符合,如果所有K X—射线是电子俘获到 6^+ 能级产生,得到 $\epsilon(k)/K$ 0.90到 6^+ 态。纲图上给出77% EC俘获到310 keV (6^+) 态能级, 14% EC俘获到149 keV (4^+) 态能级,这里假设了没有EC俘获衰变到 2^+

0^+ 低自旋态。

72年 D.W. Engelkemir 测得长寿命 ^{236}Np β^- 衰变的半寿命，从而导得 8.9% β^- 衰变存在，从 ^{236}Pu 的纲图得可能存在衰变到 6^+ 和 4^+ 态的二条 β 射线，在 ^{236}Pu 中 6^+ 态到 4^+ 态的跃迁能没有精确地知道，但从文章 (13, 16) 中得可能是 $\approx 157 \text{ keV}$ ，具体详见纲图 3。

四 $^{236}\text{Np}(115000)$ 衰变纲图：

见图 1, 3.

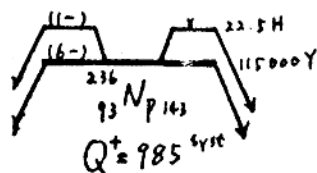
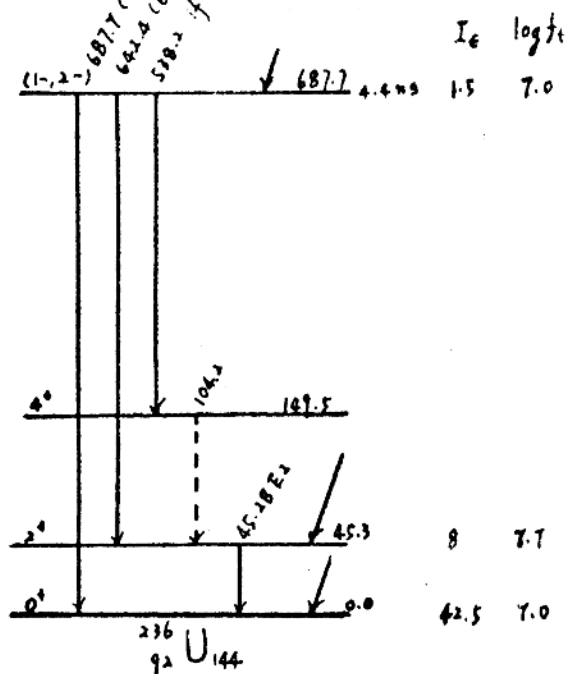
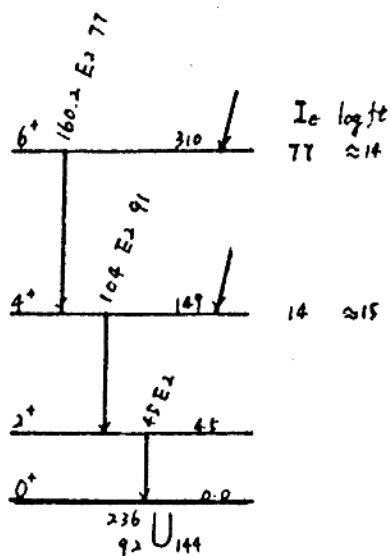
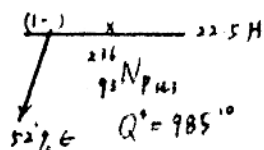
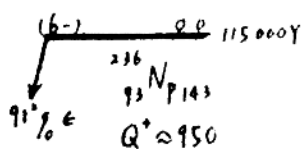
参考文献:

1. R.A.James, NNES 14B, 1604 (1949)
2. T.O.Passel, UCRL - 2528 (1954)
3. P.R.Gray, Phys. Rev. 101, 1306 (1956)
4. R.G.Albridge et al, Quoted by (5)
5. J.M.Hollander, Phys.Rev, 103, 1590 (1956)
6. J.E.Gindler et al, J.Inorg. Nuclear Chem. 12, 8 (1959)
7. C.J.Gallogher et al, Nuclear Phys, 14, 1 (1959)
8. C.M.Lederer et al, Nucl.Phys. A135, 36 (1969)
9. A.Flenry et al, C.R.Acad.Sci., Ser.B, 271, 1116 (1970)
10. Y.A.Ellis, Nucl.Data Sheets B4, 635 (1970)
11. M.R.Schmorak, Nucl.Data Sheets B4, 623 (1970)
12. D.W.Engelkemeir et al, J.Inorg.Nucl.Chem. 34, 1799
(1972)
13. M.R.Schmorak et al, Nucl.Phys.A 178, 410 (1972)
14. J.E.Gindler, Priv.Comm. (April 1976)
15. W.L.Plsthumus et al, Priv.Comm. (November 1976)
16. M.R.Schmorak, Nucl.Data Sheets 17, 391 (1976)
17. M.R.Schmorak, Nucl.Data Sheets 20, 192 (1977)

图 1 ^{236}Np EC 衰变 (115 E+3 Y)

图 2 ^{236}Np EC 衰变 (22.5 H)

每 100 次衰变时跃迁至基态 (0⁺, I_{ce})



$^{236}\text{Np}_{143}$

$^{236}\text{Np}_{143}$

23 $^{236}_{93}\text{Np}$ 0.0 (115000Y)

24 $^{236}_{93}\text{Np}$ 3.7 (115000Y)

100-72 = 28% (115000Y)

