

Eichspektrum der Americium-Quelle

U. Landgraf, 21.2.1997

Die Americium-Quelle ^{241}Am ist zunächst ein Alphastrahler mit einer Halbwertszeit von 432.7 Jahren, der in einen Tochterkern ^{237}Np mit sehr langer Halbwertszeit ($> 10^6$ Jahre) übergeht. Dabei erfolgen aber 85.2 % der Zerfälle in einen angeregten Zustand des ^{237}Np , so daß zusätzlich γ -Strahlung entsteht. Die α -Strahlung bleibt sowieso in der Quelle und ihrer Umhüllung stecken, so daß nur die γ -Strahlung den Detektor erreicht.

Bei dieser γ -Strahlung gibt es zwei Arten:

- Kern-Übergänge, vorwiegend elektromagnetische Dipolübergänge (γ E1)
- Röntgenübergänge aus der K- und L-Schale des Tochterkerns. Dabei wird ein Elektron aus der K- bzw. L-Schale des Np herausgeschlagen und durch einen Übergang von einem der äußeren Hüllenelektronen ersetzt. Diese Röntgenübergänge sind natürlich in einem Kernniveauschema des Tochterkerns nicht zu sehen!

In unserer Quelle sind von der Häufigkeit her 5 Linien wichtig, alle anderen Linien erscheinen mit weniger als 1 %:

Energie [keV]	Häufigkeit [%]	Zerfallsmodus
13.927	13.0	L_{α} -Übergang
17.611	20.2	L_{β} -Übergang
20.997	5.2	L_{γ} -Übergang
26.345	2.4	E1-Kernübergang
59.536	35.7	E1-Kernübergang

Dabei beziehen sich die Häufigkeiten auf die totale Anzahl von zerfallenden Kernen von ^{241}Am , d.h. sie addieren sich nicht zu 100 % auf, weil der Zerfall auch ohne Gamma-Strahlung erfolgen kann.

Unser NaJ-Szintillationszähler im Praktikum löst die ersten vier Linien nicht auf, d.h. man erhält nur einen breiten Peak, der im wesentlichen aus den zwei Linien bei 13.927 und 17.611 keV besteht und eine Schulter zu höheren Energien hat, in der die viel schwächeren 20.997 und 26.345 keV-Linien verborgen sind.

In der Anlage sieht man ein Spektrum, auf dem diese Linien getrennt werden konnten. Es wurde in der Abteilung Herten mit einem Proportio-

nalzählrohr aufgenommen, das mit extrem niedriger Gasverstärkung und einer entsprechend rauscharmen und empfindlichen Elektronik aufgenommen wurde. Allerdings findet man dort andere relative Häufigkeiten der Linien, da die Empfindlichkeit des Detektors für Photonen höherer Energie schnell abnimmt, so daß die höchste Linie bei 59 keV gar nicht mehr zu sehen ist.

Um die Interpretation der breiten Linie um 17 keV des Eichspektrums im Praktikum zu testen, wurden die Spektren des ^{241}Am - und des ^{57}Co -Präparates gemeinsam analysiert. Das Rauschen beider Spektren wurde mit einer Exponentialfunktion parametrisiert, die Photo-Peaks mit einer Gaußkurve. Beim ^{57}Co -Spektrum wurde der untere und obere Bereich separat angepaßt, weil dazwischen deutlich eine Compton-Kante zu erkennen ist, die nicht berücksichtigt werden sollte. Außerdem kann nicht der gesamte Rauschanteil mit einer einzigen Exponentialfunktion beschrieben werden, so daß nur der Teil angepaßt wurde, der ein gutes χ^2 ergab. Die angepaßten Funktionen, die Werte der Parameter und das χ^2 dieser Anpassungen sind auf den Blättern vermerkt.

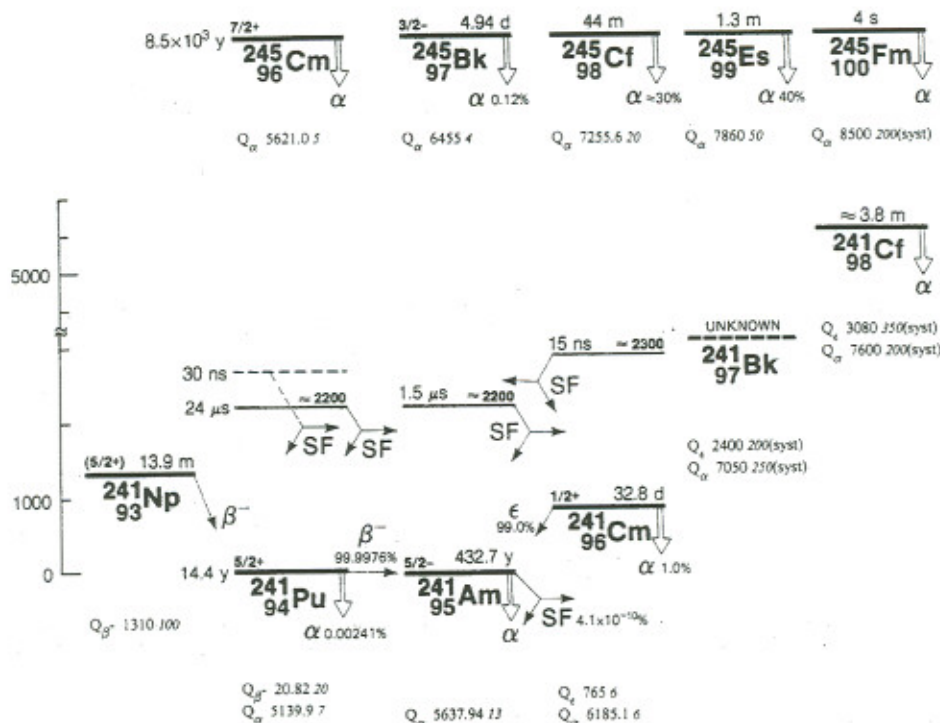
Um den verschmierten ^{241}Am -Peak zu berücksichtigen, wurde ihm einmal eine Energie zugeordnet, die nur aus dem gewichteten Mittel der beiden starken Linien bestand (16.2 keV) und einmal aus dem gewichteten Mittel aller 4 Linien (17.4 keV). Obwohl der Fit die Schulter nicht ganz perfekt beschreibt, wenn man genau hinsieht, ergibt der Mittelwert aller 4 Linien eine bessere Ausgleichsgerade für alle 5 Peaks aus beiden Spektren. Auch wenn man die Energieeichung nur aus den 2 Peaks des ^{241}Am bestimmt (wie es im Praktikum gemacht wird), geht die Gerade besser durch den Nullpunkt, wenn man den unteren ^{241}Am -Peak mit 17.4 keV ansetzt.

Abschließend noch eine Bemerkung zu den Fehlern des Graphen mit der Eichgerade: Wenn man die Fehler aus den Anpassungen der Spektren nimmt, erkennt man, daß sie viel kleiner sind als die Streuung um eine Ausgleichsgerade. Der Grund ist einem sofort klar, wenn man die Anpassungen selbst vorgenommen hat: die Position des Mittelwerts der Gaußkurve hängt z.T. sehr stark davon ab, welchen Bereich man anpaßt und wie man die Subtraktion des Untergrundes (was ich hier mit einer Exponentialfunktion gemacht habe) durchführt. Daneben sind komplexere Beiträge zum Spektrum wie z.B. Comptonkanten nicht berücksichtigt. Dies führt zu systematischen Fehlern, die sich auf die Bestimmung jeden Peaks verschieden auswirken. Am genauesten ist wahrscheinlich der 59.7 keV-Peak des Americiums angepaßt, da er weder Untergrund hat noch mit einem zweiten Peak zusammen gefittet werden muß, wie dies beim Kobaltspektrum der Fall ist.

Um eine sensitive Aussage zu erhalten, wurden daher die Fehler einfach soweit skaliert, bis sich ein χ^2 pro Freiheitsgrad ergab, das nahe bei Eins lag. Dieses Verfahren wird bisweilen bei unbekannten systematischen Fehlern angewendet (siehe z.B. Review of Particle Physics, Phys. Rev. D54 (1996) page 12).

A = 241

NDS 23, 123 (1978)



$^{241}_{93}\text{Np}$ (13.9 2 min)

Mode: β^-
 Δ : 54260 100 keV
 SpA: 5.61×10^7 Ci/g
 Prod: $^{238}\text{U}(\alpha, p)$

Photons (^{241}Np)

γ_{mode}	$\gamma(\text{keV})$	$\gamma(\text{rel})$
$\gamma[\text{M1+E2}]$	132.99 3	29.2 15
$\gamma[\text{M1+E2}]$	174.94 4	100
γ	280 1	

$^{241}_{94}\text{Pu}$ (14.4 2 yr)

Mode: $\beta^-(99.99759 \pm \%)$, $\alpha(0.00241 \pm \%)$
 Δ : 52952.0 21 keV
 SpA: 103.0 Ci/g
 Prod: multiple n-capture from ^{238}U ;
 multiple n-capture from ^{239}Pu

Alpha Particles (^{241}Pu)

$\langle \alpha \rangle = 0.1178 \pm \text{keV}$

$\alpha(\text{keV})$	$\alpha(\%)$
4693 6	$\sim 7 \times 10^{-7}$
4733 25	$\sim 7 \times 10^{-7}$
4743 5	$\sim 2 \times 10^{-6}$
4784.5 12	$\sim 5 \times 10^{-6}$
4797.5 11	2.89×10^{-5}
4853.2 7	0.000292 5
4896.6 7	0.002005 12
4969 ?	
4972.4 7	3.13×10^{-5}
4998.5 7	9.9×10^{-6}
4999 ?	
5042.7 7	2.5×10^{-5}
5053.9 7	8×10^{-6}

Photons (^{241}Pu)

$\langle \gamma \rangle = 0.001354 \pm \text{keV}$

γ_{mode}	$\gamma(\text{keV})$	$\gamma(\%)$
γ	38.57 10	9.6×10^{-6}
$\gamma[\text{M1+E2}]$	44.16 9	4.10×10^{-6}
$\gamma[\text{M1+E2}]$	44.887 11	8.2×10^{-7}
$\gamma[\text{E2}]$	56.275 20	2.46×10^{-6}
$\gamma[\text{M1+E2}]$	56.6 10	9.6×10^{-7}
$\gamma[\text{E2}]$	71.49 8	2.8×10^{-6}
$\gamma[\text{M1+E2}]$	77.04 8	2.17×10^{-5}
$\text{U K}_{\alpha 2}$	94.65 1	0.000280 7 *

Photons (^{241}Pu)

(continued)

γ_{mode}	$\gamma(\text{keV})$	$\gamma(\%)$
$\text{U K}_{\alpha 1}$	98.434	0.000448 9 *
$\gamma[\text{M1+E2}]$	103.653 5	0.000991 20
$\text{U K}_{\beta 1}$	111.025	0.00016 1 *
γE1	114.0 10	6.0×10^{-6}
$\text{U K}_{\beta 2}$	114.866	4.46×10^{-5} *
$\gamma[\text{M1+E2}]$	121.21 11	6.7×10^{-7}
$\gamma[\text{M1+E2}]$	148.540 10	0.000183 4
$\gamma[\text{E2}]$	159.928 19	6.60×10^{-6}

† 1.7% uncert(syst)
 * exp value

Continuous Radiation (^{241}Pu)

$\langle \beta^- \rangle = 5.2 \text{ keV}$; $\langle \text{IB} \rangle = 0.000106 \text{ keV}$

$E_{\text{bin}}(\text{keV})$	$\langle \gamma \rangle(\text{keV})$	(%)
0 - 10	β^- : 3.43 IB : 0.000104	86
10 - 20	β^- : 1.81 IB : 2.5×10^{-6}	14.2 2.1×10^{-5}
20 - 21	β^- : 0.00127 IB : 4.7×10^{-12}	0.0063 2.4×10^{-11}

uninteressant!

²⁴¹Am(432.75 yr)Mode: α , SF(4.1 $\times 10^{-10}$ %) Δ : 52931.2 \pm 21 keV

SpA: 3.428 Ci/g

Prod: daughter ²⁴¹Pu**Alpha Particles (²⁴¹Am)** $\langle\alpha\rangle=5480$ keV

α (keV)	α (%)
4757.56 \pm 16	
4800.92 \pm 9	9×10^{-5}
4834.28 \pm 9	0.0007
4883 \pm 7	
4959 \pm 7	
5004 \pm 3	0.00010
5055.58 \pm 10	
5066 \pm 3	0.00014
5092.31 \pm 9	~ 0.00040
5099.36 \pm 13	~ 0.00040
5107 \pm 7	
5117.30 \pm 10	0.0004
5133 \pm 7	
5155.32 \pm 9	0.0007
5179.49 \pm 9	0.0003
5181.78 \pm 8	0.0009
5190.59 \pm 13	0.0006
5217.41 \pm 8	
5225.24 \pm 9	0.0013
5236 \pm 7	
5244.29 \pm 9	0.0024
5281.15 \pm 8	0.0005
5322.06 \pm 9	0.015 \pm
5388.40 \pm 9	1.4 \pm
5416.54 \pm 13	~ 0.010
5443.01 \pm 8	12.8 \pm
5469.68 \pm 7	< 0.04
5485.70 \pm 8	85.2 \pm
5511.61 \pm 8	0.20 \pm
5544.25 \pm 8	0.34 \pm

Photons (²⁴¹Am) $\langle\gamma\rangle=28.76$ keV

γ mode	γ (keV)	γ (%)
Np L _α	11.871	0.81 \pm 10
¹ I+0.1%E2	13.804 \pm 16	
L _α	13.927	13.0 \pm 12
Np L _β	15.861	0.33 \pm
Np L _γ	17.611	20.2 \pm 24
Np L _δ	20.997	5.2 \pm
¹ E1	26.3445 \pm 10	2.4 \pm
¹ γ	32.2 \pm 10	0.0174 \pm
¹ γ M1+1.8%E2	33.1920 \pm 14	0.12 \pm
¹ γ (M1+~43%E2)	42.64 \pm	~ 0.0010
¹ γ M1+14%E2	43.415 \pm 10	0.073 \pm
¹ γ E1	51.013 \pm 18	2.5×10^{-5}
¹ γ (M1+E2)	54.04 \pm 11	~ 0.0006
¹ γ M1+17%E2	55.528 \pm 23	0.020 \pm
¹ γ E2	56.86 \pm	
¹ γ E1	59.5364 \pm 10	35.7
¹ γ E1	64.817 \pm 13	0.00014 \pm
¹ γ (M1+18%E2)	67.46 \pm	~ 0.00044
¹ γ E1	69.760 \pm 10	~ 0.024
¹ γ E2	75.83 \pm	~ 0.00011
¹ γ (M1+E2)	79.09 \pm	
¹ γ (M1+E2)	92.09 \pm 10	
¹ γ E2	96.67 \pm 11	4.7×10^{-5} ?

Photons (²⁴¹Am)

(continued)

γ mode	γ (keV)	γ (%)
Np K _{α2}	97.066	0.00126 \pm 11
¹ γ E2	98.944 \pm 11	0.020 \pm
Np K _{α1}	101.059	0.00201 \pm 17
¹ γ (M1+E2)	101.43 \pm 6	
¹ γ E1	102.952 \pm 10	0.0195 \pm
¹ γ E2	109.76 \pm	$\sim 2 \times 10^{-5}$?
Np K _{β1}	113.944	0.00074 \pm 6
Np K _{β2}	117.891	0.000249 \pm 22
¹ γ E2	122.989 \pm 25	0.0010 \pm
¹ γ E1	125.288 \pm 21	0.00400 \pm 10
¹ γ	139.40 \pm 20	4.5×10^{-6}
¹ γ E2	146.549 \pm 20	0.00046 \pm
¹ γ E1	150.110 \pm 25	8.0×10^{-5}
¹ γ	154.4 \pm	8.0×10^{-6} ?
¹ γ	156.4 \pm	1.20×10^{-5} ?
¹ γ (M2)	158.480 \pm 21	1.4×10^{-6} ?
¹ γ	161.7 \pm	9.0×10^{-6} ?
¹ γ E2	164.593 \pm 11	6.6×10^{-5}
¹ γ (M1+E2)	165.92 \pm	2.4×10^{-5}
¹ γ E2	169.56 \pm	0.000168 \pm 18
¹ γ	175.09 \pm 10	1.8×10^{-5}
¹ γ	190.40 \pm 10	2.2×10^{-6}
¹ γ E2	191.90 \pm	2.16×10^{-7}
¹ γ	197.0 \pm	1.3×10^{-5} ?
¹ γ	201.70 \pm 14	$< 20 \times 10^{-7}$?
¹ γ	203.9 \pm 10	2.9×10^{-6}
¹ γ M1+2.4%E2	208.008 \pm	0.00079 \pm 13
¹ γ (M1+E2)	221.45 \pm	4.2×10^{-5}
¹ γ E2	221.812 \pm 17	
¹ γ (M1+E2)	232.86 \pm	4.6×10^{-6}
¹ γ M2	234.352 \pm	7.0×10^{-7}
¹ γ	242.4 \pm	3.0×10^{-5} ?
¹ γ	245.0 \pm	3.0×10^{-5} ?
¹ γ (M1+E2)	246.66 \pm	2.4×10^{-6}
¹ γ	249.10 \pm 16	4×10^{-6} ?
¹ γ	260.90 \pm 10	$\sim 10 \times 10^{-7}$
¹ γ (M1+E2)	264.87 \pm	9×10^{-6}
¹ γ E1+19%M2	267.544 \pm	2.56×10^{-5}
¹ γ	271.58 \pm 10	6.42×10^{-7}
¹ γ (M1+E2)	275.68 \pm	6.6×10^{-6}
¹ γ E1	291.21 \pm	3.1×10^{-6}
¹ γ E2	292.76 \pm	1.38×10^{-5}
¹ γ	294.9 \pm	5.5×10^{-5} ?
¹ γ (M1+E2)	300.10 \pm 10	$< 20 \times 10^{-7}$?
¹ γ	304.2 \pm 10	1.0×10^{-6}
¹ γ	310.3 \pm	1.5×10^{-5} ?
¹ γ	317 \pm	
¹ γ (M1+~26%E2)	322.54 \pm	0.000152 \pm
¹ γ E2	329.71 \pm 11	$< 2 \times 10^{-5}$?
¹ γ E2	332.361 \pm 13	0.00015 \pm
¹ γ M1+18%E2	335.401 \pm 14	0.000495 \pm 10
¹ γ (E2)	337.727 \pm 19	4.2×10^{-6}
¹ γ E1	349.46 \pm 10	1.2×10^{-6} ?
¹ γ	358.36 \pm 10	1.2×10^{-6}
¹ γ M1(+<8.8%E2)	368.592 \pm 14	0.000231 \pm 14
¹ γ M1+12%E2	370.919 \pm 19	5.26×10^{-5}
¹ γ (M1)	376.58 \pm 10	0.000138 \pm
¹ γ (M1+E2)	383.75 \pm	2.8×10^{-5}
¹ γ	390.6 \pm	5.9×10^{-6}
¹ γ	406.4 \pm 10	1.4×10^{-6} ?
¹ γ (M1+E2)	419.22 \pm 10	2.8×10^{-5}
¹ γ (M1+E2)	426.39 \pm	2.46×10^{-5}
¹ γ	429.8 \pm 10	$\sim 1 \times 10^{-6}$
¹ γ	435.3 \pm 10	$\sim 2 \times 10^{-6}$
¹ γ	442.75 \pm 20	3.5×10^{-6}
¹ γ E2	452.41 \pm 10	2.4×10^{-6} ?

Photons (²⁴¹Am)

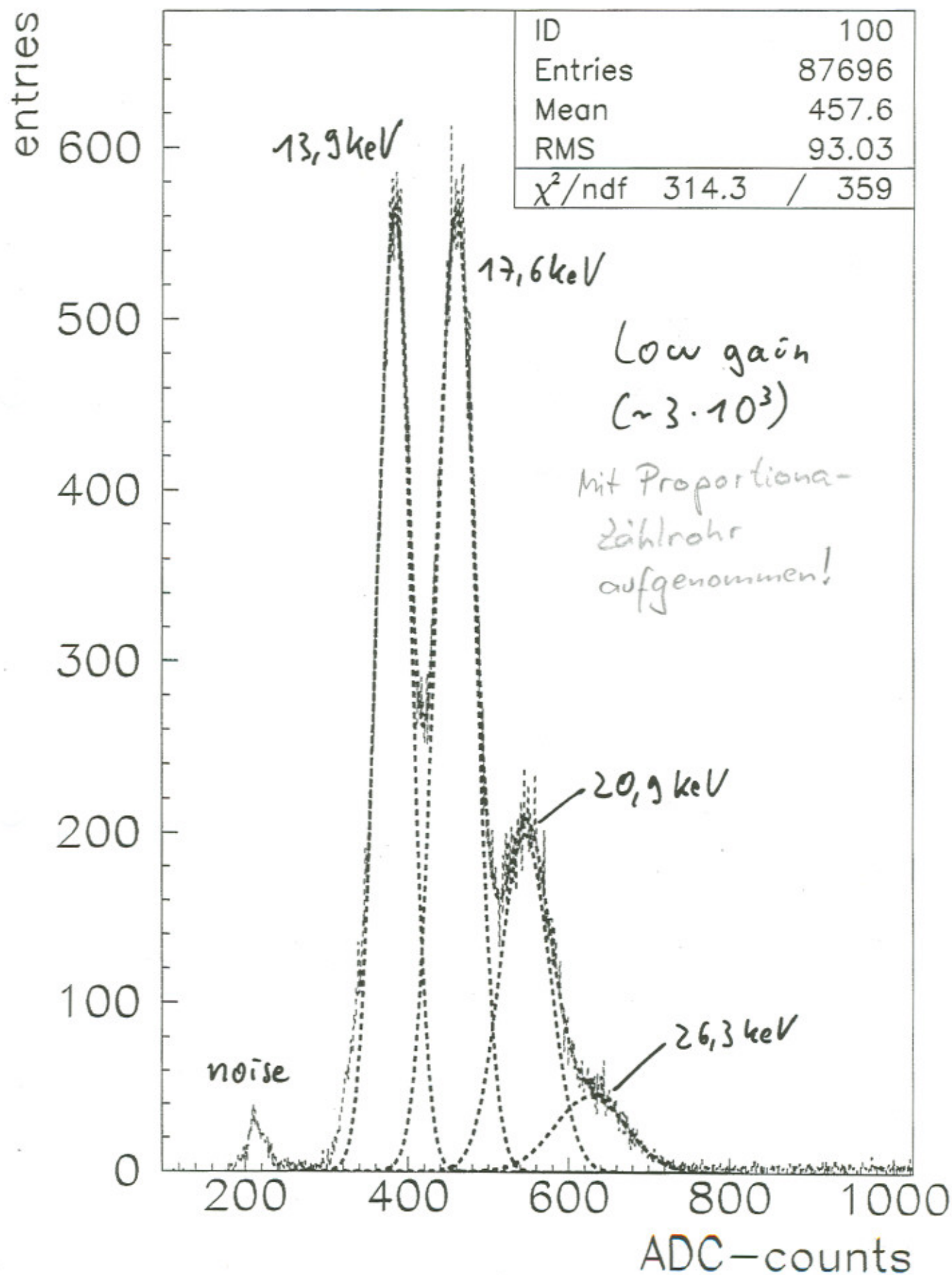
(continued)

γ mode	γ (keV)	γ (%)
¹ γ (M1+E2)	454.67 \pm 6	9.7×10^{-6}
¹ γ (M1+E2)	459.58 \pm 5	3.6×10^{-6}
¹ γ	468.0 \pm 10	2.9×10^{-6}
¹ γ	486.3 \pm 10	1.0×10^{-6}
¹ γ	512.00 \pm 20	1.15×10^{-6} ?
¹ γ E1	514.20 \pm 6	2.6×10^{-6}
¹ γ	522.0 \pm 10	9×10^{-7}
¹ γ	525.7 \pm 10	8.0×10^{-5} ?
¹ γ (M1+E2)	574.05 \pm 14	$\sim 1 \times 10^{-6}$
¹ γ	582.6 \pm 10	$\sim 2 \times 10^{-7}$?
¹ γ	586.5 \pm 10	1.3×10^{-6}
¹ γ	590.3 \pm 10	2.8×10^{-6}
¹ γ (M1+E2)	597.41 \pm 5	7.4×10^{-6}
¹ γ (M1+E2)	619.011 \pm 24	5.90×10^{-5}
¹ γ	627.2 \pm 10	5.6×10^{-7}
¹ γ	633 \pm	1.3×10^{-6}
¹ γ (M1+E2)	641.51 \pm 14	7×10^{-6}
¹ γ (M1+E2)	652.94 \pm	3.8×10^{-5}
¹ γ (E0+M1+E2)	662.426 \pm 23	0.00036 \pm
¹ γ	669.9 \pm 10	3.8×10^{-7}
¹ γ	675.8 \pm 10	6.4×10^{-7}
¹ γ E1	680.06 \pm 5	3.1×10^{-6}
¹ γ E1	688.770 \pm 23	3×10^{-5}
¹ γ	693.5 \pm 10	3.7×10^{-6}
¹ γ (M1+E2)	696.36 \pm 4	5.0×10^{-6} §
¹ γ (M1+E2)	697.03 \pm 14	
¹ γ	710.95 \pm 16	6.4×10^{-6}
¹ γ E1	721.962 \pm 23	6.0×10^{-5}
¹ γ E1	722.70 \pm 4	0.00013 \pm
¹ γ	729.5 \pm 10	1.3×10^{-6}
¹ γ	731.5 \pm 10	4.7×10^{-7}
¹ γ	737.30 \pm 16	8.0×10^{-6}
¹ γ E1	755.89 \pm 4	7.6×10^{-6}
¹ γ	759.5 \pm 10	1.70×10^{-6}
¹ γ	763.4 \pm 10	1.98×10^{-7}
¹ γ E1	766.79 \pm 14	5.0×10^{-6}
¹ γ	770.49 \pm 16	5.0×10^{-6}
¹ γ	772.1 \pm 10	2.66×10^{-6}
¹ γ	777.2 \pm 10	$\sim 6 \times 10^{-8}$
¹ γ	780.5 \pm 10	2.5×10^{-7}
¹ γ	788.8 \pm 10	3.9×10^{-7}
¹ γ	801.9 \pm 2	1.3×10^{-6}
¹ γ	811.8 \pm 10	6×10^{-7}
¹ γ	819.3 \pm 10	4.0×10^{-7}
¹ γ	822.6 \pm 10	2.2×10^{-7}
¹ γ	828.5 \pm 10	2.4×10^{-7}
¹ γ	851.5 \pm 10	3.8×10^{-7}
¹ γ	854.7 \pm 10	2.0×10^{-7}
¹ γ	859.2 \pm 10	8.4×10^{-8}
¹ γ	862.6 \pm 10	5.3×10^{-7}
¹ γ	872.7 \pm 20	7×10^{-7}
¹ γ	887.5 \pm 10	2.2×10^{-7}
¹ γ	898.4 \pm 10	7×10^{-8}
¹ γ	902.5 \pm 10	3.0×10^{-7}
¹ γ	912.4 \pm 10	2.5×10^{-7}
¹ γ	922.2 \pm 10	1.9×10^{-7}
¹ γ	928.8 \pm 10	$\sim 5 \times 10^{-8}$
¹ γ	945.7 \pm 10	$\sim 5 \times 10^{-8}$
¹ γ	955.7 \pm 10	5.8×10^{-7}

†1.4% uncert(syst)
§ 696.4γ + 697.0γ

Aus Edgardo Browne et R.B. Firestone
"Table of Radioactive Isotopes"

^{241}Am source repro05.dat



— B

2000

Ereignisse

Y Axis Title

^{241}Am - Spektrum



X axis title

Kanäle

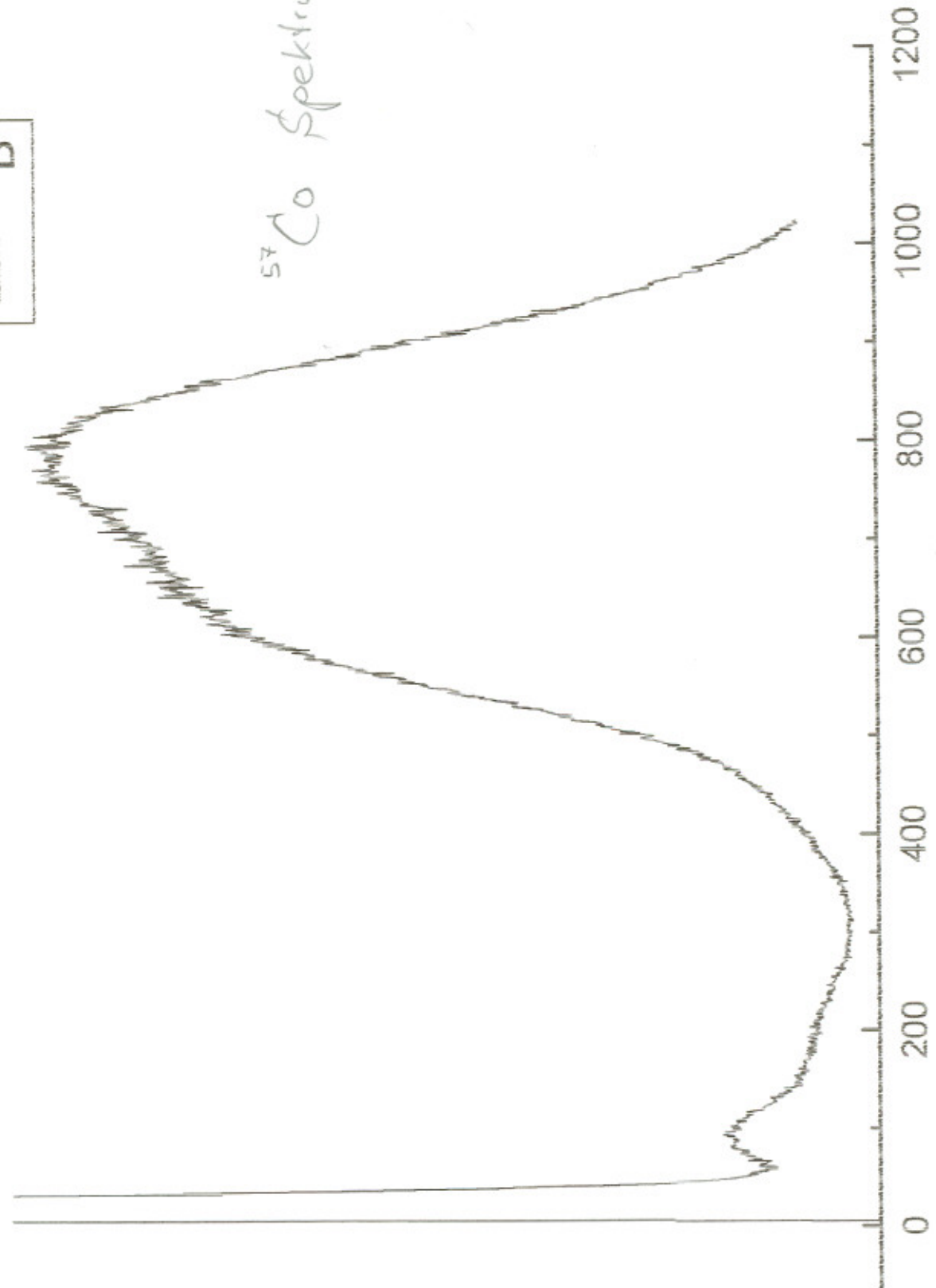
— B

Ereignisse 6000

Y Axis Title

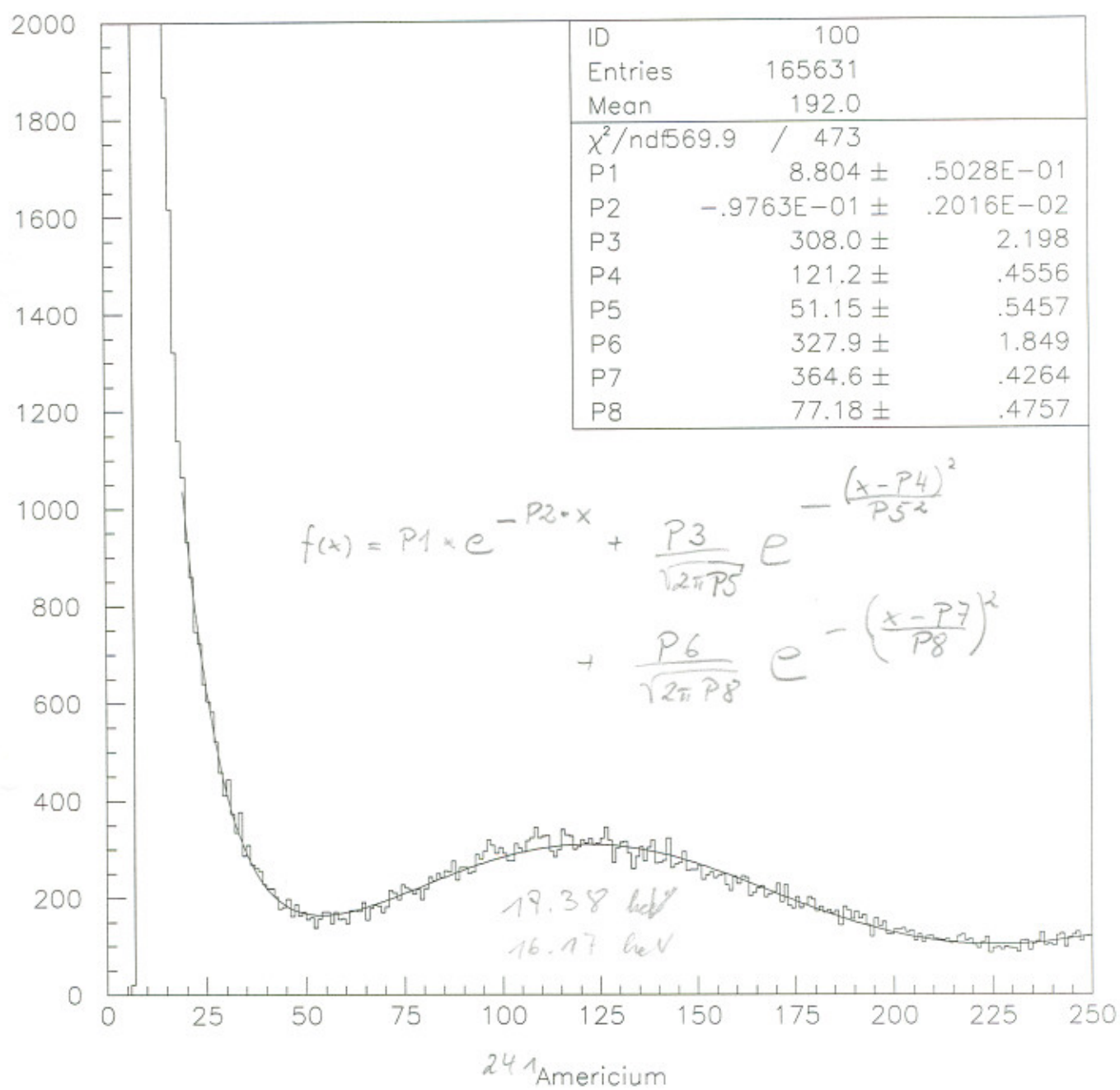
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0

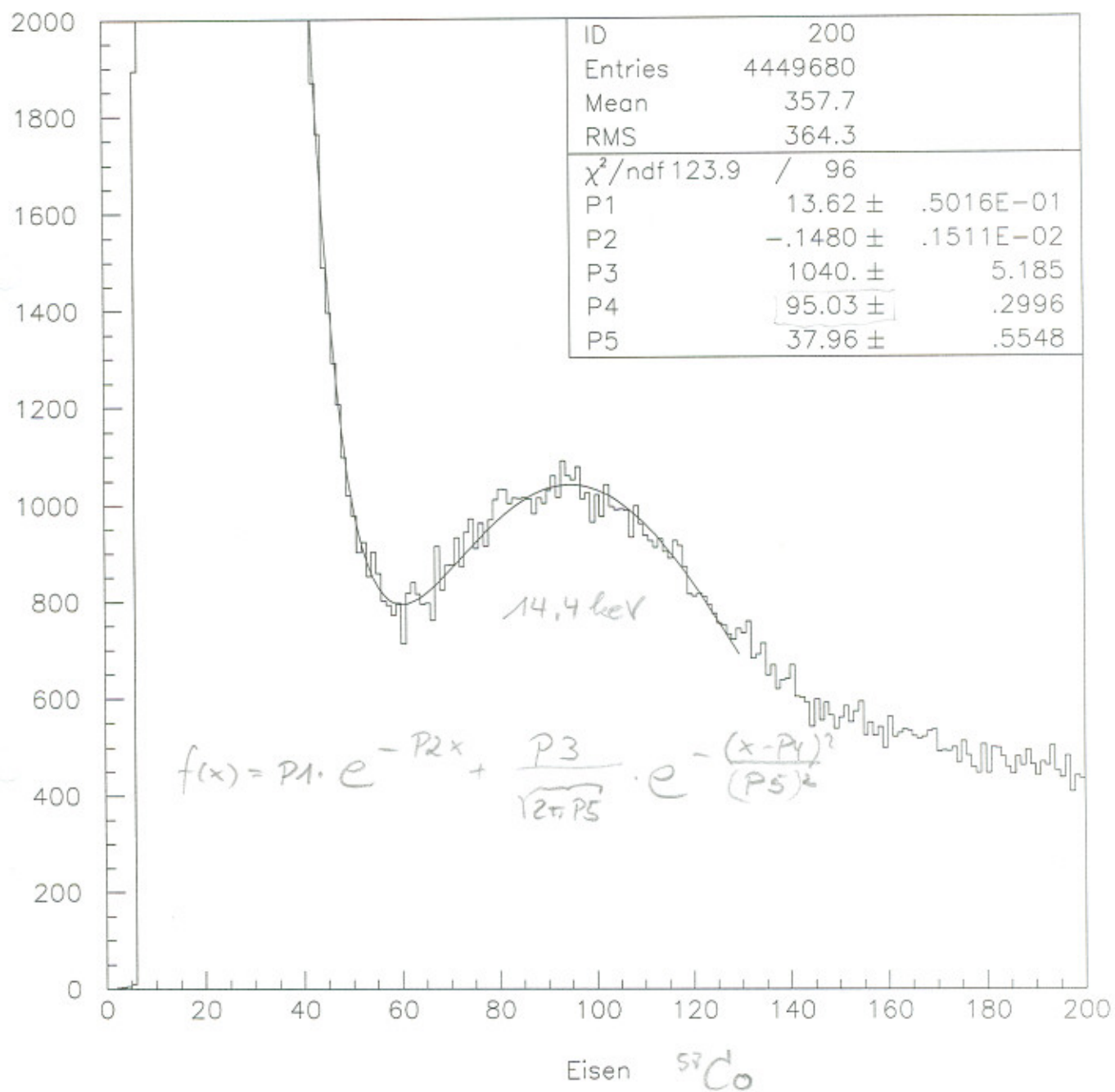
^{57}Co Spektrum

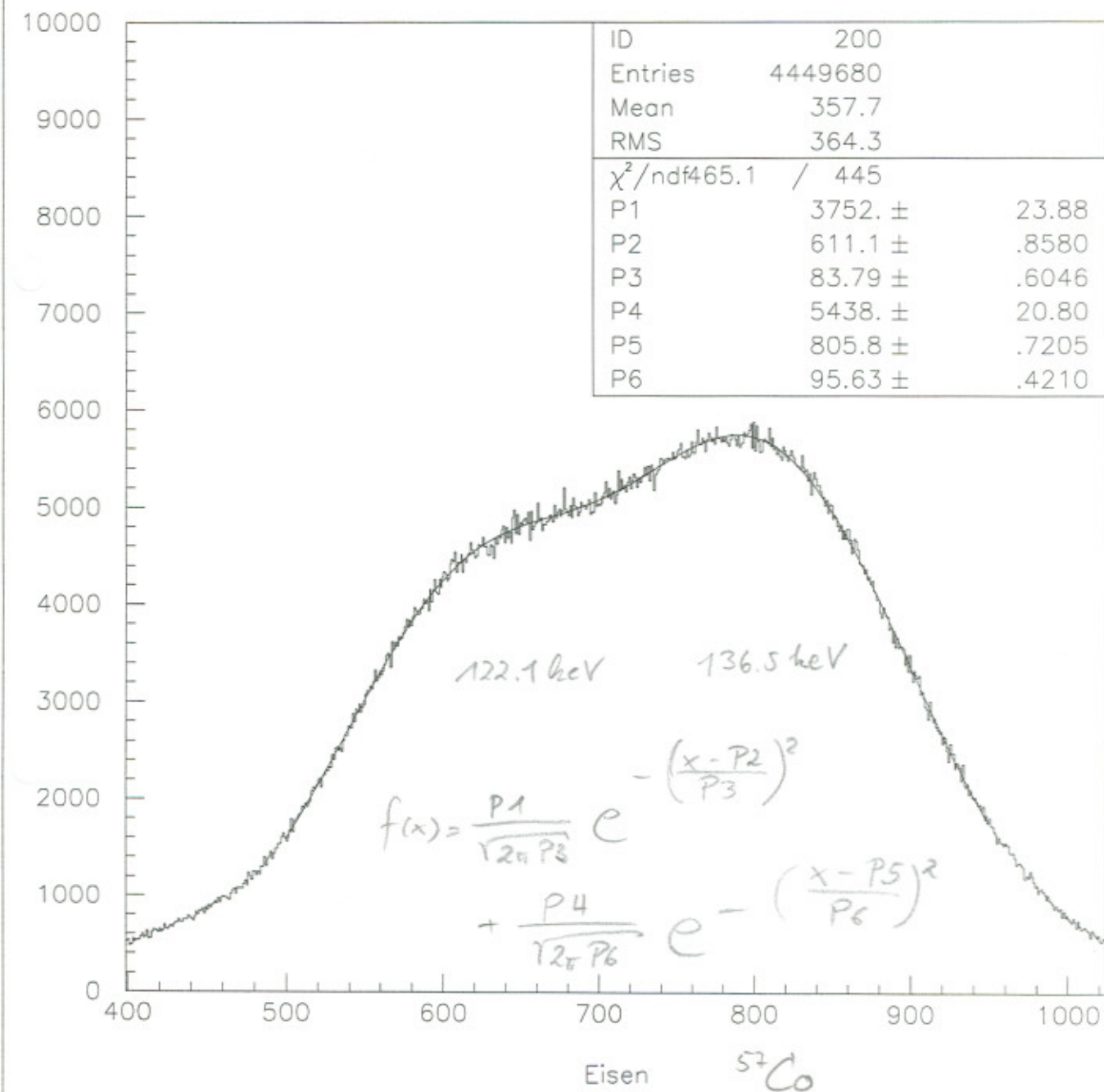


X axis title

Kanäle







KEY * 10

Channels des MCA

Daten für Eichungsgerade

CH(1) ...
 CH(143) = 0
 CH(144) = 95.03
 CH(145) ...
 CH(173) = 0
 CH(174) = 121.2
 CH(175) ...
 CH(594) = 0
 CH(595) = 364.6
 CH(596) ...
 CH(1220) = 0
 CH(1221) = 611.1
 CH(1222) ...
 CH(1364) = 0
 CH(1365) = 805.8
 CH(1366) ...
 CH(2000) = 0
 ERR(1) ...
 ERR(143) = 0
 ERR(144) = 21.1817
 ERR(145) ...
 ERR(173) = 0
 ERR(174) = 32.2109
 ERR(175) ...
 ERR(594) = 0
 ERR(595) = 30.1465
 ERR(596) ...
 ERR(1220) = 0
 ERR(1221) = 60.6606
 ERR(1222) ...
 ERR(1364) = 0
 ERR(1365) = 50.9394
 ERR(1366) ...
 ERR(2000) = 0

Die Fehler werden um
 den Faktor 50.42 skaliert,
 damit das χ^2 vernünftig
 werden.

Durch die unberücksichtigten
 Einflüsse (Untergrund, Compton-
 harte etc.) werden die Peaks
 stärker streuen als es die
 statistische Genauigkeit erwarten
 läßt. Damit läßt sich diese
 Streuung als Maß für die un-
 berücksichtigten Fehlerquellen
 verwenden (siehe z. B. Review of
 Particle Physics, Phys. Rev. D 54 (1996),
 page 12)

