

Ein einfacher Radionuklidgenerator

Prof. Dr. Bernd Ulmann

13. Februar 2022

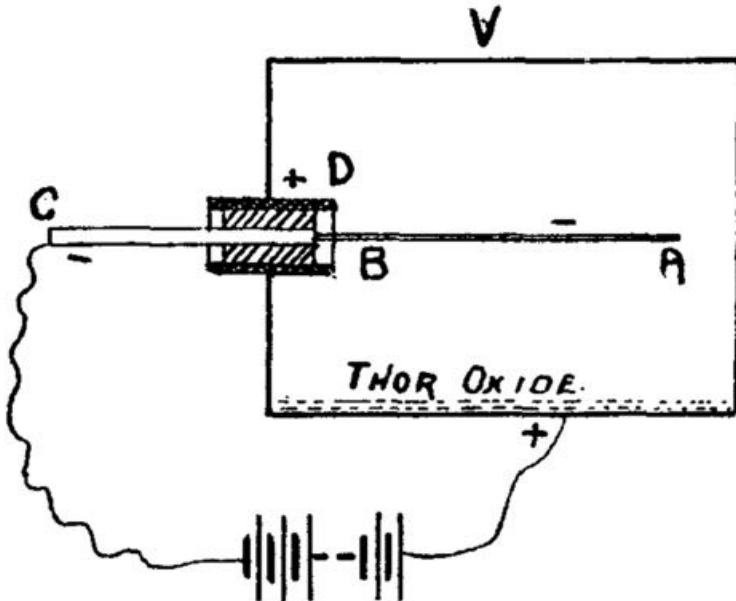


Grundlagen

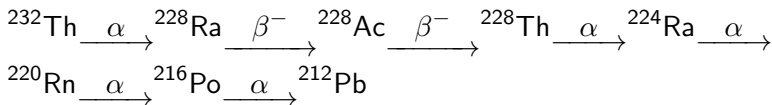
Im Jahre 1900 veröffentlichte ERNEST RUTHERFORD eine Arbeit (siehe [RUTHERFORD 1900]), in welcher er einen einfachen Radionuklidgenerator beschreibt, der umgangssprachlich oftmals als *Thorium-Kuh* bezeichnet wird, weil mit seiner Hilfe ein ^{232}Th -Präparat „gemolken“ werden kann, d. h. es kann konkret das durch seine kurze Halbwertszeit von 10.64 h zum Experimentieren einladende Isotop ^{212}Pb isoliert werden.

Ausschlaggebend für dieses Experiment war die Beobachtung, dass bestimmte Substanzen eine „*temporary radioactivity*“ erzeugten.

RUTHERFORD's Radionuklidgenerator ist auf der folgenden Seite dargestellt (siehe [RUTHERFORD 1900, p. 167]) und besteht im Wesentlichen aus einer Kammer, in der sich beispielsweise ein ^{232}Th -haltiges Präparat befindet, in dessen Zerfallsreihe (unter anderem) ^{212}Pb entsteht, das mit Hilfe eines elektrostatischen Feldes an einer in der Mitte der Kammer befindlichen, negativ geladenen Elektrode abgeschieden werden kann.



Die Thoriumreihe hat bis zum hier interessierenden ^{212}Pb folgende Gestalt:



Die positiv ionisierten Atome des Edelgases ^{220}Rn breiten sich in der Kammer aus und werden durch die Potentialdifferenz zwischen Kammerwand und Mittelelektrode von jener angezogen, wo sich im weiteren Verlauf der Th-Zerfallsreihe das gewünschte ^{212}Pb bildet.

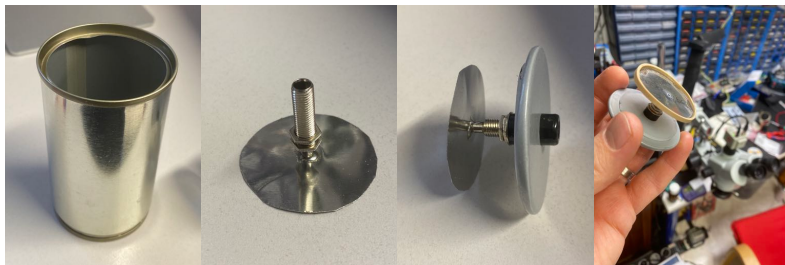
Eine ausführliche Darstellung aus Sicht der Radiochemie findet sich in [SCHWANKNER1986, S. 184 ff.], eine Bauanleitung für eine einfache solche Thorium-Kuh in [HANSKY 2018].

Im Folgenden wird der Aufbau einer sehr einfachen Thorium-Kuh zur Abscheidung von ^{212}Pb beschrieben, dessen Halbwertszeit in der Folge experimentell bestimmt wird.

Da das ganze als Wochenendprojekt entstand, wurden Dinge verwendet, die zuhause gerade zur Hand waren: Eine leere Katzenfutterdose, ein Ausschnitt aus dem Boden einer Erdnussdose, ein altes Hochspannungsnetzteil einer Elektrophoreseeinrichtung sowie ein altes Telefunken Strahlungsmessgerät.

Aufbau und Durchführung

Von links nach rechts: Gereinigte Katzenfutterdose, Elektrode aus dem Boden einer Erdnussdose, Elektrode an Decke mit Buchse montiert, Elektrode mit angeklebtem Gummiring (als Abstandshalter zur Positionierung auf dem Zählrohr und um die Schnittgefahr durch die doch sehr scharfen Ränder etwas zu verringern):



Von links nach rechts: Glühstrumpf in der Kammer, Gesamtaufbau des Radionuklidgenerators, Betrieb an einer Konstantspannungsquelle (300 V):



- Der Radionuklidgenerator wurde mit einem einzelnen ^{232}Th -haltigen Glühstrumpf für 48 h bei einer Spannung von 300 V betrieben.
- Nach Ablauf dieser Zeitspanne wurde mit dem auf der folgenden Seite dargestellten klassischen Telefunken Strahlungsmessgerät mit einem Telefunken Zählrohr MS GM 592/1 bei einer Zählrohrspannung von 415 V Aktivitätsmessungen durchgeführt.



Auswertung

Zunächst wird mit dem auch für die folgenden Messungen eingesetzten Instrument die Nullrate R_0 bestimmt, indem mehrfach über Intervalle von 10 Minuten Dauer gemessen wird.

Die gemittelten Messergebnisse ergeben

$$R_0 = 64 \text{ CPM.}^1$$

¹Counts per minute

Die nach einer Zeitspanne t noch vorhandenen Atome eines Isotops mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2}$ beträgt

$$N(t) = N(0) \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad (1)$$

wobei $N(0)$ die zu Anzahl der zu Beginn des Experimentes vorhandenen Atome des Isotops repräsentiert.

Gleichung (1) lässt sich auch mit Hilfe der Exponentialfunktion formulieren:

$$N(t) = N(0) e^{\frac{\ln \left(\frac{1}{2} \right) t}{T_{1/2}}} \quad (2)$$

Es wurden über einen Zeitraum von mehreren Tagen Aktivitätsmessungen am Target des Radionuklidgenerators durchgeführt, wobei die folgenden Daten erhoben wurden:

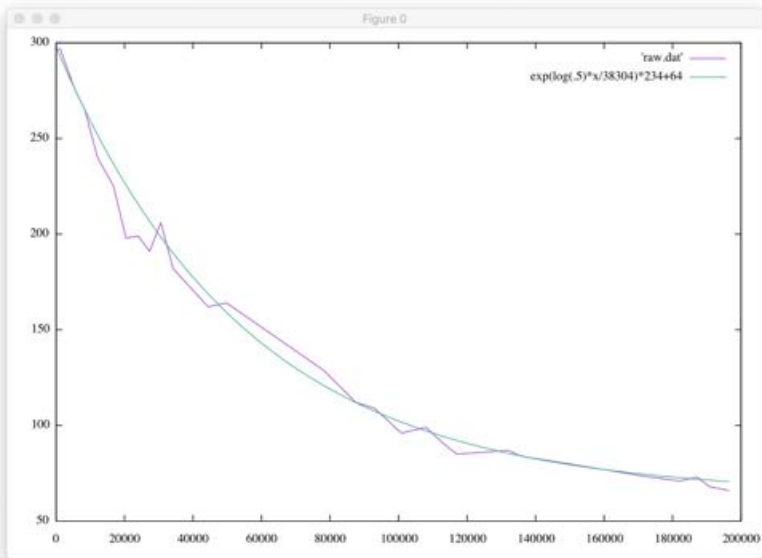
t [sec]	CPM	t [sec]	CPM	t [sec]	CPM
0	296	1200	297	5400	276
8400	265	12120	240	16800	225
20400	198	24000	199	27300	191
30600	206	34200	182	44400	162
49800	164	78000	129	87600	112
93000	109	100800	96	108000	99
112800	91	117000	85	132000	87
135600	84	173400	73	182100	71
187200	73	190800	68	196500	66

Die Messdaten wurden mit Hilfe von `gnuplot` geplottet (violett), wobei im gleichen Koordinatensystem die exakte Zerfallskurve gemäß (2) eingezeichnet wurde (grün):

```
$ gnuplot
Terminal type set to 'aqua'
gnuplot> plot 'raw.dat' w l,
exp(log(.5)*x/38304)*234+64
gnuplot>
```

Die Konstante 234 entspricht der zu Beginn gemessenen Aktivität.


Wie die folgende Abbildung zeigt, stimmen Messung und exakte Zerfallskurve gut überein:





Die eben gezeigte Auswertung ist viel zu „hemdsärmelig“ für richtige Physik. :-)

Im Anhang findet sich eine saubere Auswertung von Dr. KÖPPEL mit einem *least square fit* mit einem exponentiellen Modell mit konstantem Offset.

Bibliographie

- 
 KARSTEN HANSKY, „Die Thoriumkuh von Rutherford – Ein einfacher Radionuklidgenerator“, in *Praxisheft 28 für Amateurfunk und Elektronik in Schule und Freizeit*, 2018

- 
 E. RUTHERFORD, „Radioactivity produced in substances by the action of thorium compounds“, in *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Volume 49, Issue 297, 1900, S. 161–192

- 
 ROBERT SCHWANKNER, *Radiochemie-Praktikum*, UTB Schöningh, 1986

Anhang

Untitled

February 12, 2022

```
[19]: from pylab import *  
      from scipy.optimize import curve_fit
```

```
[9]: sec, counts = genfromtxt("./raw.dat").T
```

```
[50]: # Sekunden seit Beginn der Messung  
      sec
```

```
[50]: array([  0.,  1200.,  5400.,  8400., 12120., 16800., 20400.,  
          24000., 27300., 30600., 34200., 44400., 49800., 78000.,  
          87600., 93000., 100800., 108000., 112800., 117000., 132000.,  
          135600., 173400., 182100., 187200., 190800., 196500.] )
```

```
[52]: # Counts-per-Minute  
      counts
```

```
[52]: array([296., 297., 276., 265., 240., 225., 198., 199., 191., 206., 182.,  
          162., 164., 129., 112., 109., 96., 99., 91., 85., 87., 84.,  
          73., 71., 73., 68., 66.] )
```

```
[53]: # Nullrate (Hintergrundrauschen auf den Daten)  
      offset = 64
```

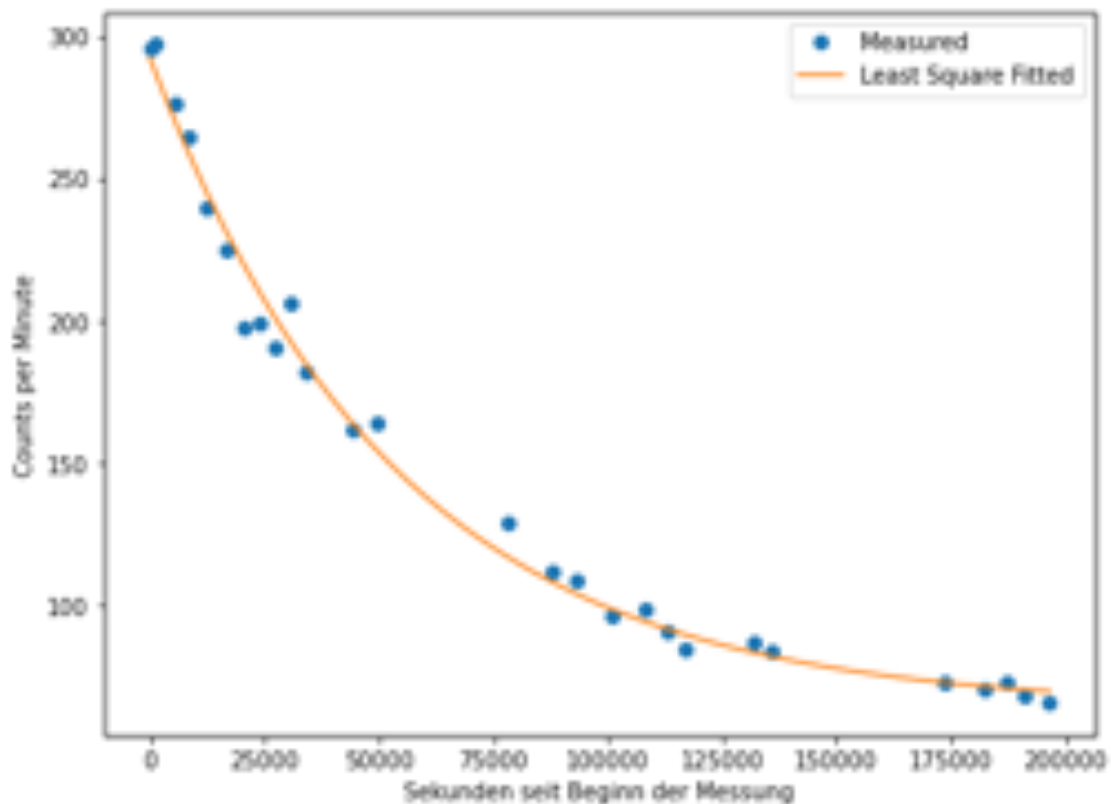
```
[63]: # nichtlineares Fitmodell:  
      modelExp = lambda t, N0, T12: N0 * 0.5**(t / T12) + offset  
  
      # Anfangswert für den Least Square Fitting Algorithmus  
      initial_guess = (counts[0], 200)  
  
      # Curve Fitting/Optimierung, Ergebnis sind gefittete Parameter + Covarianzmatrix  
      (opt_N0, opt_T12), cov = curve_fit(modelExp, sec, counts, initial_guess)  
  
      # Evaluation auf der X-Achse und Darstellung  
      denser_sec = linspace(min(sec), max(sec))  
      fitted = modelExp(denser_sec, opt_N0, opt_T12)  
  
      figure(figsize=(8,6))
```

```

plot(sec, counts, "o", label="Measured")
plot(denser_sec, fitted, "-", label="Least Square Fitted")
xlabel("Sekunden seit Beginn der Messung")
ylabel("Counts per Minute")
legend()

```

[63]: <matplotlib.legend.Legend at 0x7fe910922890>



```

[57]: R2 = sum(square(counts - fitted)) / sum(square(counts - mean(counts)))
print(f"Fit results: {opt_N0 = }, {opt_T12 = }")
print(f"Fit quality: {R2 = }")

```

Fit results: opt_N0 = 228.22948213384203, opt_T12 = 37127.49108903896
Fit quality: R2 = 0.009746875696614745

```

[59]: print(f"Halbwertszeit T12 in Sekunden: {opt_T12}")
print(f"Halbwertszeit T12 in Minuten: {opt_T12/60}")
print(f"Halbwertszeit T12 in Stunden: {opt_T12/60/60}")

```

Halbwertszeit T12 in Sekunden: 37127.49108903896
Halbwertszeit T12 in Minuten: 618.7915181506493
Halbwertszeit T12 in Stunden: 10.313191969177488