

KFK-314

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

März 1965

KFK 314

*Gesellschaft für Kernforschung m. b. H.
T. 1000, 22. April*

Isotopen-Laboratorium

Ein Rechenschieber zur Berechnung der spezifischen Aktivität
bei Neutronenaktivierung

Rolf Schubert, Cesar Thielen



**GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE**

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

März 1965

K F K 314

Isotopen-Laboratorium

Ein Rechenschieber zur Berechnung der spezifischen Aktivität
bei Neutronenaktivierung

von

Rolf Schubert und Cesar Thielen

Gesellschaft für Kernforschung, m.b.H., Karlsruhe.

In Laboratorien, die sich zu Forschungszwecken oder aus gewerblichem Interesse mit der Herstellung radioaktiver Substanzen durch Neutronenaktivierung in Reaktoren befassen, muß täglich in immer wiederkehrender Weise die Aktivität der bestrahlten Proben berechnet werden, bzw. es muß bestimmt werden, welche Bestrahlungsdaten zur Erzielung einer geforderten Aktivität gewählt werden müssen.

Bei solchen Bestrahlungen laßt sich die spezifische Aktivität in den meisten Fällen nach der Gleichung (1) bestimmen:

$$A = \frac{0,6 \cdot \phi \cdot \sigma \cdot f}{3,7 \cdot 10^{10} \cdot M} \left(1 - e^{-0,69 \frac{t}{T}}\right) \quad (1)$$

A = spezifische Aktivität in Ci/g

ϕ = Neutronenfluß in n/cm²·s

σ = Anregungsquerschnitt des bestrahlten Kerns in barn (10⁻²⁴ cm²)

f = relative Häufigkeit des zu aktivierenden Kerns in der Probe

M = Atomgewicht des bestrahlten Kerns

T = Halbwertszeit des entstehenden Nuklids

t = Bestrahlungszeit

Die ständige Anwendung dieser Gleichung ist zwar nicht kompliziert, jedoch sehr zeitraubend und verleitet leicht zu Fehlern insbesondere bei der Abschätzung der richtigen Zehnerpotenz.

Man kann sich die Arbeit wesentlich erleichtern, indem man die rechte Seite der Gleichung (1) so umformt, daß sie zu einem einfachen Produkt aus zwei oder drei Faktoren wird, die man für alle vorkommenden Fälle einzeln tabelliert. Die Berechnung der Aktivität reduziert sich dann auf das Ablesen der drei Faktoren aus Tabellen bzw. graphischen Darstellungen und ihre multiplikative Verknüpfung mittels normalem Rechenschieber oder Nomogramm [1, 2]. Auch mechanische Rechenhilfsmittel, die im Prinzip dem im folgenden beschriebenen Rechenschieber sehr nahe kommen, sind bekannt geworden [3].

Der von uns entwickelte Rechenschieber gestattet eine mühelose Berechnung der spezifischen Aktivität, ohne daß man Zwischenergebnisse notieren und in einer Nebenrechnung den richtigen Stellenwert der berechneten Ziffern ermitteln muß.

Unsere Berechnungsmethode geht davon aus, daß der Ausdruck $0,6 \cdot \phi \cdot f / 3,7 \cdot 10^{10} \cdot M$ (die Sättigungsaktivität A_s) für alle vorkommenden Nuklide und einen Neutronenfluß von 10^{13} n/cm²·s bereits berechnet vorliegt. Gleichung (1) nimmt dann die Form

$$A = A_s \cdot P \cdot \left(1 - e^{-0,69 \frac{t}{T}}\right) \quad (2)$$

an, wobei P den Neutronenfluß, gemessen im Vielfachen des Einheitsflusses 10^{13} n/cm²·s darstellt. Damit sind in Gleichung (2) die Größen A_s und T Stoffkonstanten, die man Tabellen entnehmen muß, die Größen P und t repräsentieren die gewünschten Bestrahlungsdaten Fluß und Zeit. Für die wichtigsten Nuklide sind A_s und T im Anhang dieser Arbeit zusammengestellt.

Der in Abb. 1 dargestellte Rechenschieber hat 8 Skalen mit den Bedeutungen:

G....x	Grundskala, logarithmisch geteilt, beziffert von 0,0001 bis 10
A.... $1 - e^{-x}$	laufend von 0,0001 bis 0,99
B....x	Grundskala, wie G, unbeziffert
C.... $10^4 \cdot x$	beziffert von 1 bis 100 000
D.... $\frac{1}{24} \cdot 10^4 \cdot x$	beziffert von 0,1 bis 5 000
E.... $\frac{1}{365} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10^4 \cdot x$	beziffert von 0,001 bis 20
F.... $10^3 \cdot x$	beziffert von 0,1 bis 10 000
H.... $10^3 \cdot x$	beziffert von 0,1 bis 10 000

Die Bedeutung der auf der Zunge angebrachten Skalen C,D,E,F beziehen sich auf die Grundstellung der Zunge. Mit den Skalen C,D,E kann man mühelos Stunden, Tage und Jahre ineinander umrechnen. Zu einem Zeitwert in Stunden auf Skala C findet man unmittelbar darunter auf den Skalen D und E den gleichen Zeitwert in Tagen und Jahren. Der Nutzen dieser bequemen Umrechnungsmöglichkeit erweist sich immer dann, wenn die Halbwertszeit des gewünschten Nuklids und die Bestrahlungszeit nicht in gleichen Maßeinheiten vorliegen.

Mit Hilfe der beschriebenen Skalen wird die spezifische Aktivität dann folgendermaßen berechnet: Man sucht die Halbwertszeit des erzeugten Nuklids auf einer der Skalen C,D oder E. Dann verschiebt man die Zunge so lange, bis die Halbwertszeit T unter dem Wert C,5 auf Skala A (bzw. 0,69 auf Skala G) steht. Über der Bestrahlungszeit t (wiederum wahlweise auf den Skalen C,D oder E abgelesen) könnte man dann auf Skala B den Wert $0,69 \frac{t}{T}$ ablesen. Dieser Wert ist aber für die weitere Rechnung nicht wichtig (die Skala B ist daher nicht beschriftet). Man geht nun weiter senkrecht nach oben und findet auf Skala A

den Wert $(1 - e^{-0,69 \frac{t}{T}})$. Diese Größe wird mit Hilfe der Verbindungsstriche zwischen den Skalen A und B auf die Skala B übertragen und durch Verschieben der Zunge mit der 1 (oder 1 000) auf Skala F zur Deckung gebracht. Unter der Sättigungsaktivität A_s auf Skala F kann man dann auf Skala G (oder auf Skala H, falls man beim Schritt zuvor auf Skala F die 1 000 als Bezugspunkt genommen hat) die gesuchte spezifische Aktivität ablesen. Das Ergebnis liegt automatisch in der gleichen Maßeinheit vor wie die zur Berechnung verwendete Sättigungsaktivität. Die Sättigungsaktivitäten sind in unserer Tabelle immer in solchen Einheiten angegeben, daß die Maßzahlen zwischen 1 und 1 000 liegen. Da unser Rechenstab einen Bereich von 5 Zehnerpotenzen erfaßt, braucht die richtige Größenordnung des Ergebnisses niemals getrennt berechnet zu werden, sie kommt vielmehr automatisch mit heraus.

Mit den Skalen F,G,H kann man anschließend wie mit einem gewöhnlichen Rechenschieber weiterrechnen (Multiplikation mit Füllfaktor, Gewicht o.ä.).

Die Zeitskalen C,D,E können selbstverständlich auch unabhängig von ihren praktisch besonders wichtigen Bedeutungen Stunden, Tagen, Jahren benutzt werden. Man muß dann aber immer prüfen, ob der Übergang zwischen den Skalen C,D,E noch einen vernünftigen Sinn hat und dann gegebenenfalls in einer einzigen Skala bleiben.

Durch geeignete Umkehr des oben beschriebenen Rechnungsganges lassen sich auch andere Aufgaben wie die Bestimmung der Bestrahlungszeit oder des notwendigen Flusses bei gewünschter Aktivität lösen.

[1] F. Baumgärtner, Tabelle zur Neutronenaktivierung
Kerntechnik 3, 1961, 356 - 369

[2] P.A. Bensen and C.E. Gleit, Nomograph for Determination of
Neutron-Induced Activities
Nucleonics 21, 1963, 148 - 150

[3] Eastwood, W.S., AERE-Report I/R 333 (1949)

Sättigungsaktivität bei einem Neutronenfluß von $1 \cdot 10^{13}$ n/cm².s

Symbol u. Massenzahl	Halbwerts- zeit T	Spezifische Sättigungs- aktivität A _s /g
Ar-37	34,5 d	82,5 mCi/g
39	260 a	2,1 mCi/g
41	110 m	2,2 Ci/g
Ag-110m	253 d	2,35 Ci/g
Al		
(n,p) Mg-27	9,5 m	20,7 mCi/g
(n,α) Na-24	15,0 h	3,6 mCi/g
As-76	26,5 h	11,75 Ci/g
Au-198	2,7 d	79,4 Ci/g
Ba-131	11,5 d	14,6 mCi/g
133	7,5 a	15,8 mCi/g
139	85 m	417 mCi/g
Bi-210m	5,0 d	14,8 mCi/g
Br-80m	4,4 h	3 Ci/g
80	18 m	8,9 Ci/g
82	36 h	3,5 Ci/g
Ca-45	153 d	54,8 mCi/g
47	4,7 d	30,5 μCi/g
49	8,8 m	7,2 μCi/g
Cd-115m	43 d	58,5 mCi/g
115	2,3 d	460 mCi/g
117m	2,9 h	165 mCi/g
Ce-141	32,5 d	310 mCi/g
143	33 h	129 mCi/g
Cl-38	37,3 m	630 mCi/g
(n,p) S-35	87,2 d	660 mCi/g
(n,α) P-32	14,2 d	14,2 mCi/g
Co-60m	10,5 m	44,3 Ci/g
60	5,27 a	55,3 Ci/g
(n,p) Fe-59	45 d	15,7 mCi/g
(n,α) Mn-56	2,58 h	390 μCi/g
Cr-51	27,8 d	1,86 Ci/g
Cs-134m	3,15 h	19,6 mCi/g
134	2,19 a	36,8 Ci/g

Symbol u. Massenzahl	Halbwerts- zeit T	Spezifische Sättigungs- aktivität A _s /g
Cu-64	12,8 h	7,6 Ci/g
66	5,1 m	1,4 Ci/g
Dy-165m	1,3 m	143,8 Ci/g
165	2,3 h	592 Ci/g
Er-169	9,4 d	530 mCi/g
171	7,5 h	1,3 Ci/g
Eu-152m	9,3 h	717 Ci/g
152	13 a	3690 Ci/g
154	16 a	235 Ci/g
Fe-55	2,7 a	430 mCi/g
59	45 d	9,4 mCi/g
(n,p) Mn-54	291 d	4 mCi/g
(n,p) Mn-56	2,58 h	1,2 mCi/g
Ga-70	21,1 m	2 Ci/g
72	14,1 h	3,7 Ci/g
Gd-153	236 d	266 mCi/g
159	18 h	1 Ci/g
Ge-71	11 d	1,8 Ci/g
75	82 m	172 mCi/g
77	11 h	14 mCi/g
Hf-175	70 d	0,23 Ci/g
180m	5,5 h	8,2 Ci/g
181	42,5 d	3,2 Ci/g
Hg-203	47 d	968 mCi/g
Ho-166	27 h	59,3 Ci/g
J-128	25 m	7,2 Ci/g
In-114m	50 d	3,4 Ci/g
116m	54 m	210,6 Ci/g
Ir-192	74,4 d	227,5 Ci/g
194	19 h	67,5 Ci/g
K-42	12,45 h	280 mCi/g
Kr-85m	4,4 h	110 mCi/g
La-114	14,2 h	10 Ci/g
Lu-176m	3,7 h	31,7 Ci/g
177	6,75 d	97 Ci/g
Mg-27	9,5 m	19,3 mCi/g
Mn-56	2,58 h	39,5 Ci/g

Symbol u. Massenzahl	Halbwertszeit T		Spezifische Sättigungs- aktivität A_s/g	
Mo-99	67	h	182	mCi/g
101	15	m	32,3	mCi/g
Na-24	15	h	4	Ci/g
Nb-94m	6,6	m	1,75	Ci/g
Nd-147	11,1	d	347	mCi/g
149	1,8	h	237	mCi/g
151	12	m	176	mCi/g
Ni-63	125	a	1,5	Ci/g
65	2,56	h	44,4	mCi/g
Os-191	14,6	d	1,8	Ci/g
193	31	h	562	mCi/g
P-32	14,2	d	1	Ci/g
Pb-209	3,3	h	250	μ Ci/g
Pd-103	17	d	76,5	mCi/g
109	13,6	h	4,9	Ci/g
Pr-142	19,2	h	11,6	Ci/g
Pt-197	20	h	168	mCi/g
199	30	m	240	mCi/g
Rb-86	18,7	d	960	mCi/g
88	17,7	m	53	mCi/g
Re-186	3,7	d	32,5	Ci/g
188	16,7	h	41,3	Ci/g
Rh-104m	4,4	m	19	Ci/g
Ru-97	2,9	d	12,7	mCi/g
103	40,0	d	730	mCi/g
105	4,4	h	207	mCi/g
S-35	87,2	d	55,8	mCi/g
(n,p) P-32	14,2	d	290	mCi/g
Sb-122	2,74	d	5,2	Ci/g
124	60	d	1,4	Ci/g
Sc-46	84	d	36,1	Ci/g
Se-75	121	d	500	mCi/g
81m	57	m	31	mCi/g
Si-31	2,62	h	20	mCi/g
Sm-153	46,2	h	40,7	Ci/g
155	22	m	1,4	Ci/g

Symbol u. Massenzahl	Halbwerts- zeit T		Spezifische Sättigungs- aktivität A_s/g	
Sn-113	119	d	18,2	mCi/g
119m	175	d	3,3	mCi/g
Sr-85	65	d	10,8	mCi/g
87m	2,8	h	240	mCi/g
Ta-182	115	d	17,1	Ci/g
Tb-160	73	d	22,5	Ci/g
Te-127m	105	d	21,5	mCi/g
127	9,4	h	190	mCi/g
Ti-51	5,8	m	25,5	mCi/g
(n,p) Sc-46	84	d	1,1	mCi/g
Tl-204	3,9	a	1,9	Ci/g
Tm-170	127	d	125	Ci/g
U-239	23,5	m	2,0	Ci/g
W-185	73	d	570	mCi/g
187	24	h	8,7	Ci/g
Xe-125	18	h	86,2	mCi/g
133	5,65	d	66,8	mCi/g
Y-90	64,8	h	2,2	Ci/g
Yb-169	31	d	14	Ci/g
175	4,2	d	18	Ci/g
177	1,9	h	650	mCi/g
Zn-65	245	d	540	mCi/g
69m	13,8	h	46,4	mCi/g
69	55	m	464	mCi/g
Zr-95	65	d	31,4	mCi/g
97	17	h	5	mCi/g

