

pole coupling constant tensors in ¹⁴N principal axis system as well as inertial axis system. Table 1 summarizes our NQR values at 77 °K compared with the microwave data. Difference between both data is 100 kHz in quadrupole coupling constant and 10% in the asymmetry parameter. A quantitative solid state shift, of course, can be evaluated from a temperature dependence studies of the NQR lines and by an extrapolation to the 0 °K. The solid state shift might be then smaller than 100 kHz due to the general trend of the temperature dependency of NQR lines. Considering that the solid state shift for ¹⁴N in ammonia (0.61 MHz shift³: gaseous, -4.04 MHz, solid, -3.47 MHz) the shift in ethylenimine is very small. The solid state shift generally can be attributed to both direct and indirect effects of the crystal lattice on the field gradient. The direct effect involves a contribution at the ¹⁴N of the reference molecule from the charge distributions of the surrounding molecules, while the indirect effect involves a redistribution of electrons by the crystal field due to the hydrogen bond in the solid state. The most of shift

	Microwave (gas)	NQR (solid)
<i>e</i> <i>Q</i> <i>q</i> _{zz}	-3.689 ± 0.09 MHz	-3.581 MHz
<i>e</i> <i>Q</i> <i>q</i> _{xx}	3.004 ± 0.09 MHz	2.736 MHz
<i>e</i> <i>Q</i> <i>q</i> _{yy}	0.685 ± 0.005 MHz	0.845 MHz
<i>η</i> ^a	63%	53%

^a Asymmetry parameter.
Table 1. ¹⁴N nuclear quadrupole coupling constants in the principal axis system for ethylenimine.

is due to the indirect effect as we have shown earlier⁴ by the molecular Hartree-Fock-Roothaan SCF calculations on ammonia. A similar ¹⁴N NQR line shift due to the hydrogen bond formation in molecular complexes (pyridine-pyrrole system etc.) will be reported elsewhere⁵.

This research was supported by a Grant-In-Aid from the U.S. Public Health Service, Research Grant GM 12082-05, from the National Institute of General Medical Sciences.

³ S. S. LEHRER and C. T. O'KONSKI, J. Chem. Phys. **43**, 1941 [1965].

⁴ T.-K. HA and C. T. O'KONSKI, J. Chem. Phys. **51**, 460 [1969].

⁵ T.-K. HA and C. T. O'KONSKI, to be published.

Fallout der chinesischen Kernwaffenexplosion vom 29. September 1969

R. WEINREICH, E. KREBS und K. WACHNER

Institut für Anorganische Chemie und Kernchemie der Universität Mainz

(Z. Naturforsch. **25 a**, 1156-1158 [1970]; eingegangen am 23. Juni 1970)

The analysis of fallout from the Chinese nuclear test of September 29th, 1969, showed the typical features of a hydrogen bomb explosion. The fissionable material was probably ²³⁹Pu combined with ²³⁸U. However, the use of a combination of ²³⁵U and ²³⁸U employed in all earlier Chinese experiments cannot be excluded.

Am 29. September 1969 unternahm die Volksrepublik China ihren 9. Kernwaffenversuch im Gebiet Lop Nor, Provinz Sinkiang. Die Tagespresse gab eine Sprengkraft von 3 Mt TNT an und charakterisierte den Versuch als Wasserstoffbombenexplosion.

Mittels Wischproben von den Rotoren zweier Linienmaschinen der Lufthansa wurde stratosphärischer Fallout entnommen. Die Maschinen flogen zwischen dem 4. und 7. Oktober die Polarroute Frankfurt/Main-Tokio-Frankfurt/Main. Der Fallout wurde radiochemischen Standardanalysen unterworfen; die Meßergebnisse wurden nach einem von FAHLAND¹ beschriebenen Analysen-

verfahren ausgewertet, das Rückschlüsse auf die häufigste Neutronenenergie, die Neutronenfluenz und das Spaltmaterial des Kernwaffenversuchs gestattet. Dieses Verfahren wurde bereits anlässlich des 8. chinesischen Kernwaffenversuchs vom 27. Dezember 1968 angewandt²; es waren also Vergleiche zwischen dem 8. und 9. Versuch, die beide als Wasserstoffbombenexplosionen deklariert waren, möglich.

In Tab. 1 sind die untersuchten Nuklide mit ihren gemessenen Anfangsaktivitäten und Atomzahlen zusammengestellt. Zum Vergleich sind die entsprechenden Daten des 8. Versuchs² angegeben. ⁹⁵Zr wurde nicht direkt gemessen, da infolge seiner langen Halbwertszeit die Meßergebnisse durch alten Fallout unkontrollierbar verfälscht würden. Unter Berücksichtigung der Fraktionierung³ wurde die Menge an ⁹⁵Zr aus den Mengen von ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁷Nd und ¹⁵³Sm berechnet.

Die Zusammensetzung des Fallout war auch diesmal, ähnlich wie beim vorhergegangenen chinesischen Wasserstoffbombenversuch, infolge Fraktionierung während der Explosion im Sinne einer Abreicherung des ¹¹¹Ag gegenüber ⁹⁵Zr stark verschoben. Der Fraktionierungskorrekturfaktor *f_i*, der als Maß dieser Veränderung angesehen werden kann, lag bei *f_i* = 3,6 (Kernwaffenversuch vom 27. 12. 1968: *f_i* = 6,8). Dieser hohe Wert kann durch Explosion in Bodennähe gedeutet werden, bei der der Feuerball einerseits einer relativ schnellen Abkühlung unterworfen und andererseits das Boden-

¹ J. FAHLAND, Z. Naturforsch. **24 a**, 653 [1969].

² J. FAHLAND, Z. Naturforsch. **24 a**, 1832 [1969].

³ E. C. FREILING u. M. A. KAY, Nature London **209**, 236 [1966].



Explosion Nr. Datum Menge [g]	8		9		
	27. 12. 1968	29. 9. 1969			
	3,0	2,0			
Isotop	Halb- werts- zeit	Imp/min	Atome	Imp/min	Atome
Plutonium-95	65,0 d	$4,38 \cdot 10^4$	$5,92 \cdot 10^9$	$1,03 \cdot 10^4$	$1,39 \cdot 10^9$
Plutonium-111	7,5 d	$4,82 \cdot 10^3$	$7,51 \cdot 10^7$	$4,00 \cdot 10^3$	$6,23 \cdot 10^7$
Plutonium-115	2,2 d	$4,97 \cdot 10^3$	$2,30 \cdot 10^7$	—	—
Plutonium-140	12,8 d	$4,67 \cdot 10^4$	$1,24 \cdot 10^9$	$1,85 \cdot 10^4$	$4,92 \cdot 10^8$
Plutonium-147	11,1 d	$6,33 \cdot 10^4$	$1,46 \cdot 10^9$	$1,57 \cdot 10^4$	$3,62 \cdot 10^8$
Plutonium-153	46,7 h	$3,45 \cdot 10^4$	$1,40 \cdot 10^8$	$1,60 \cdot 10^4$	$6,50 \cdot 10^7$
Plutonium-156	15,2 d	$4,62 \cdot 10^2$	$1,46 \cdot 10^7$	—	—
Plutonium-237	6,75 d	$3,39 \cdot 10^5$	$4,76 \cdot 10^9$	$7,83 \cdot 10^4$	$1,10 \cdot 10^9$
Plutonium-239	2,35 d	$1,95 \cdot 10^6$	$0,95 \cdot 10^{10}$	$5,04 \cdot 10^5$	$2,46 \cdot 10^9$

Tab. 1. Anfangsaktivitäten und Atomzahlen des Fallout.

material in die Reaktion einbezogen war. Der Unterschied zum vorigen Versuch hat dabei nur graduellen Charakter, denn als Fehlerspanne bei der Ermittlung des Fraktionierungsfaktors muß man den Faktor 2 annehmen.

Die gemessenen Ausbeuten wurden auf ^{95}Zr bezogen, mittels des Faktors f_i hinsichtlich Fraktionierung korrigiert und mit nach einer gegebenen Vorschrift¹ berechneten Quotienten verglichen. Die Wurzel aus der Quadratsumme der Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Ausbeutequotienten wurde gegen die häufigste Neutronenenergie E_p einer Maxwell'schen Energieverteilung für den abgeregten Anteil der Neutronen aufgetragen. Diese Fehlerkurve wurde sowohl für ^{235}U als auch für ^{239}Pu als Spaltmaterial — jeweils mit einem Neutronenreflektor aus Natururan umgeben — berechnet. Abb. 1 a zeigt die Fehlerkurven dieses 9. chinesischen Kernwaffenversuchs, Abb. 1 b die des vorhergehenden. Aus dem Fehlerminimum wird entnommen, welche Bedingungen bei der Explosion wahrscheinlich vorgelegen haben¹.

Gemäß Abb. 1 b kann man für den 8. Versuch deutlich ^{235}U als Spaltmaterial festlegen²; denn die für

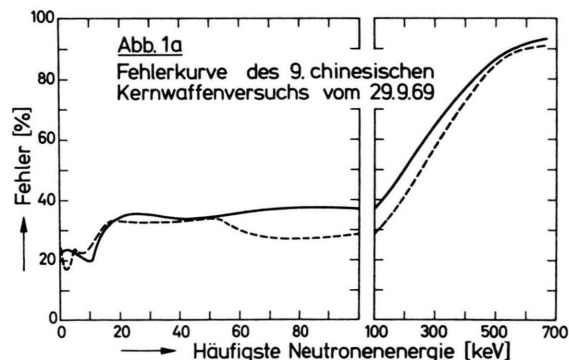


Abb. 1 a. Fehlerkurve des 9. chinesischen Kernwaffenversuchs. Kombination $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ (durchgezogene Kurve), Kombination $^{239}\text{Pu}/^{238}\text{U}$ (gestrichelte Kurve).

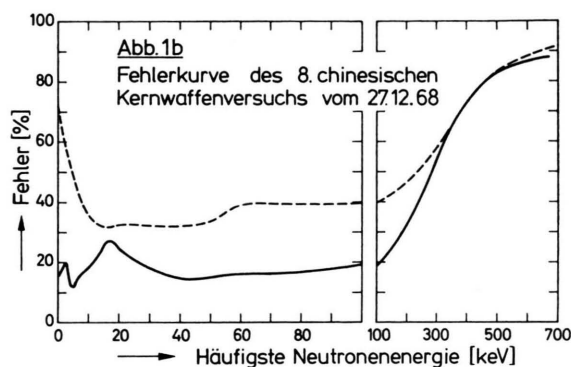


Abb. 1 b. Fehlerkurve des 8. chinesischen Kernwaffenversuchs².

diesen Fall geltende ausgezogene Kurve zeigt über den gesamten Energiebereich einen wesentlich geringeren Fehler auf als die für ^{239}Pu geltende gestrichelte Kurve. Abb. 1 a zeigt jedoch, daß für den 9. Versuch eine Unterscheidung zwischen ^{235}U und ^{239}Pu nach dem verwendeten Modell vorerst nicht möglich ist; die Kurven unterscheiden sich nicht wesentlich. In der nachfolgenden Diskussion müssen somit beide Möglichkeiten in Betracht gezogen werden.

Tabelle 2 gibt die Ergebnisse des Vergleichs der gemessenen, fraktionierungskorrigierten und berechneten Ausbeutequotienten von ^{111}Ag , ^{237}U und ^{239}Np an, jeweils bezogen auf ^{95}Zr .

Betrachtet man zunächst die Möglichkeit der Verwendung von ^{239}Pu als Spaltmaterial, so stellt man gemäß Tab. 2 eine gute Übereinstimmung von berechneten und korrigierten Ausbeutequotienten fest. Das Neutronenspektrum ist auf 2–3 keV moderiert, was mit den bisherigen Ergebnissen an anderen Explosionen durchaus vereinbar ist. Die Fluenzen liegen ebenfalls in der Größenordnung früherer Tests, wobei der hohe Anteil der 14-MeV-Fluenz, kenntlich an $\varphi \tau / (\varphi \tau + \Phi t)$, bemerkenswert ist. Dieser weist den Versuch eindeutig als Wasserstoffbombenexplosion aus. Der Beitrag des ^{239}Pu zum insgesamt in die Reaktion eingegangenen Spaltmaterial einschließlich des Neutronenreflektors aus ^{238}U beträgt 40%. Auch dieser Wert entspricht früheren Ergebnissen² an ^{235}U .

Die zweite Möglichkeit — ^{235}U als Spaltmaterial — kann indes nicht ausgeschlossen werden. Die Übereinstimmung zwischen berechneten und korrigierten Ausbeutequotienten ist befriedigend, wenn auch nicht so gut wie im vorausgegangenen 8. chinesischen Kernwaffenversuch. Das Neutronenspektrum ist hier auf 10 keV moderiert. Bemerkenswert sind die sehr hohen Fluenzen, die bisher bei chinesischen Kernwaffentests noch nie beobachtet wurden, wohl aber bei einigen amerikanischen Versuchen, die speziell auf die Produktion schwerer Transurane abzielten^{4, 5}.

Der hohe Anteil der 14-MeV-Neutronen beweist auch unter der Voraussetzung von ^{235}U als Spaltmaterial,

⁴ G. I. BELL, Phys. Rev. **139 A**, 1207 [1965].

⁵ G. I. BELL, Rev. Mod. Phys. **39**, 59 [1967].

Explosion Nr.	8			9			9		
Spaltmaterial	Uran-235/Uran-238			Pluton.-239/Uran-238			Uran-235/Uran-238		
Ausbeutequotient	gem.	korr.	ber.	gem.	korr.	ber.	gem.	korr.	ber.
Y_{Ag-111}/Y_{Zr-95}	0,013	0,087	0,093	0,045	0,161	0,163	0,045	0,161	0,180
Y_{U-237}/Y_{Zr-95}	0,80	5,5	5,3	0,79	2,84	2,75	0,79	2,84	2,41
Y_{Np-239}/Y_{Zr-95}	1,6	11	10	1,77	6,35	5,28	1,77	6,35	6,17
Neutronenenergie E_p	5 keV			2–3 keV			10 keV		
Maxwell-Fluenz Φt	$3 \cdot 10^{23}$ n/cm ²			$3 \cdot 10^{23}$ n/cm ²			$3 \cdot 10^{24}$ n/cm ²		
14-MeV-Fluenz $\varphi \tau$	$1 \cdot 10^{23}$ n/cm ²			$3 \cdot 10^{23}$ n/cm ²			$1 \cdot 10^{24}$ n/cm ²		
$\frac{\varphi \tau}{\varphi \tau + \Phi t}$	25%			50%			25%		
$\frac{N_{238}^0}{N_{235}^0 + N_{238}^0}$ bzw. $\frac{N_{239}^0}{N_{239}^0 + N_{238}^0}$	15%			40%			1%		

Tab. 2. Gemessene, korrigierte und berechnete Ausbeutequotienten sowie zugehörige Lösungen der Rechnungsparameter.

daß der 9. chinesische Kernwaffentest eine Wasserstoffbombenexplosion war. Auffallend ist jedoch der extrem geringe Beitrag des ²³⁵U zur Spaltungsreaktion, der weit unter dem in vorangegangenen Versuchen registrierten Beitrag liegt.

Herrn Dr. J. FAHLAND danken wir für Anregungen und nützliche Diskussionen hinsichtlich dieser Arbeit. Der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München, danken wir für die Finanzierung dieser Arbeit und der Lufthansa, Frankfurt/Main, für die Möglichkeit der Probeentnahme des Fallout an ihren Linienmaschinen.

Interferenzen in photographischen Schichten

D. HOESCHEN und G. VIETH

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Braunschweig

(Z. Naturforsch. **25 a**, 1158–1159 [1970]; eingegangen am 12. Juni 1970)

Die von KIRILLOW¹ im Absorptionsspektrum dünner, Silberhalogenid enthaltender Schichten beobachtete Feinstruktur konnte von MOSER² nicht nachgewiesen werden. Zur weiteren Untersuchung des Effektes führte SEARLE³ Transmissionsmessungen an photographischen Platten aus. Er verglich die von ihm gefundene Feinstruktur mit den Banden Kirillows und kam zu dem Schluß, daß beide Erscheinungen auf Interferenzen in dünnen Schichten zurückzuführen seien. Dieser Ansicht widersprachen kürzlich GOLDENBERG, LATYSHEV, NESTEROVSKAYA und CHIBISOV⁴ in einer ausführlichen Darstellung der bisherigen Ergebnisse.

Wenn die Feinstruktur im Spektrum des Transmissionsgrades durch Interferenzen verursacht wird, so muß sie auch im Spektrum des Reflexionsgrades zu beobachten sein. Außerdem sollte sie unter sonst konstanten Untersuchungsbedingungen (z. B. spektrale Spaltbreite) mit wachsender Dicke der untersuchten Schicht zunehmend schlechter oder gar nicht aufzulösen sein und in stark streuenden oder absorbierenden Schichten nicht auftreten.

Zur Prüfung dieser Zusammenhänge wurden an photographischen Platten, deren Lichthofschuttschicht entfernt worden war, die spektrale Reflexion und die spektrale Transmission mit einem registrierenden Spektralphotometer (Beckman, DK 2) gemessen. Die spektrale Spaltbreite des Gerätes variierte dabei im Bereich von 425 nm bis 600 nm zwischen 2,2 nm und 1,2 nm. Den spektralen Reflexionsgrad einer unbelichteten Kodak High-Resolution-Platte zeigt als Beispiel die Abb. 1. In Abb. 2 sind der spektrale Reflexionsgrad und der spektrale Transmissionsgrad einer unbelichteten, ausfixierten Kodak HR-Platte aufgezeichnet. Den Abbildungen läßt sich folgendes entnehmen:

1. Der spektrale Reflexionsgrad von photographischen Schichten weist unter bestimmten Bedingungen eine Feinstruktur auf, ähnlich der, die von Kirillov und Searle bei Transmissionsmessungen beobachtet wurde.

2. Ein Minimum der Transmission tritt bei der Wellenlänge eines Maximums der Reflexion und ein Minimum der Reflexion tritt bei der Wellenlänge eines Maximums der Transmission auf. Dieser experimentelle Befund wird von der Theorie der Optik dünner Schichten⁵ für Interferenzen in dünnen Schichten vorausgesagt.

3. Die Feinstruktur ist nicht an das Vorhandensein des Silberhalogenids gebunden.

4. Die Lage der Minima der Reflexion bzw. der Maxima der Transmission läßt sich entsprechend der Theo-

¹ E. A. KIRILLOW, Z. wiss. Photogr. **50**, 253 [1955].

² F. MOSER, J. Opt. Soc. Amer. **51**, 603 [1961].

³ R. V. G. SEARLE, J. Photogr. Sci. **12**, 168 [1964].

⁴ A. B. GOLDENBERG, A. N. LATYSHEV, E. A. NESTEROVSKAYA, and K. V. CHIBISOV, J. Photogr. Sci. **16**, 89 [1968].