

3,886; 3,893 mg Subst. gaben 10,494; 10,482 mg CO₂ und 2,945; 2,967 mg H₂O.
4,210; 3,782 mg Subst. verbrauchten bei der Methoxylbestimmung nach *Vieböck* und

Brecher 2,569; 2,224 cm³ 0,02-n. Na₂S₂O₃
C₃₃H₄₆O₆ Ber. C 73,57 H 8,60 OCH₃ 5,76%
Gef. „ 73,64; 73,43 „ 8,48; 8,53 „ 6,31; 6,08%
[α]_D = +146° (c = 0,673 Chloroform)

Verseifung. 100 mg der Substanz vom Smp. 227—228° wurden 1 Stunde mit 20 cm³ 5-proz. methylalkoholischer Kalilauge gekocht. Nach dem Abdampfen des Methylalkohols wurde der Rückstand in Äther und Wasser aufgenommen. Die ätherische Lösung wurde mit Wasser gewaschen und der Äther abdestilliert. Der Rückstand wurde aus Methanol umkrystallisiert. Die Verbindung krystallisiert in prismatische Nadeln vom Smp. 168—169°.

4,302 mg Subst. gaben 12,515 mg CO₂ und 3,993 mg H₂O.
4,940 mg Subst. verbrauchten bei der Methoxylbestimmung nach *Vieböck* und *Brecher*
3,108 cm³ 0,02-n. Na₂S₂O₃
C₃₁H₄₈O₃ Ber. C 79,43 H 10,32 OCH₃ 6,62%
Gef. „ 79,33 „ 10,39 „ 6,51%

Die Mikroanalysen und Absorptionsspektren sind in unserem mikrochem. Laboratorium (Leitung Privatdoz. Dr. *M. Furter*) ausgeführt worden.

Organisch-chemisches Laboratorium der
Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

96. Über das Schwefeltetroxyd SO₄

von *Fr. Fichter* und *Alfred Maritz*¹⁾.

(30. III. 39.)

1. Einleitung.

In einer Reihe von Untersuchungen²⁾ wurde früher gezeigt, dass bei der Einwirkung von Fluor auf Lösungen von Bisulfaten oder auf Schwefelsäure neben Peroxy-disulfat bzw. Peroxy-dischwefelsäure ein höheres, unbeständiges, von Peroxy-monoschwefelsäure verschiedenes Schwefeloxyd entsteht, das charakteristische Oxydationen hervorruft, das aber aus den Lösungen, in denen es nur einen kleinen Anteil ausmacht, nicht isoliert werden konnte. Wir nahmen an, es handle sich um das schon von andern Forschern³⁾ vermutete Schwefeltetroxyd SO₄.

Als nun vor einigen Jahren *R. Schwarz* und *H. Achenbach*⁴⁾ durch Einwirkung der Glimmentladung auf Gemische von Schwefeldioxyd

¹⁾ Auszug aus der Diss. *Alfred Maritz*, 1939.

²⁾ *Fr. Fichter* und *K. Humpert*, *Helv.* **9**, 602 (1926); *Fr. Fichter* und *W. Bladergroen*, *Helv.* **10**, 553 (1927); *Fr. Fichter* und *A. Goldach*, *Helv.* **13**, 378 (1930).

³⁾ *M. Berthelot*, *C. r.* **86**, 277, 288 (1878); *F. Meyer*, *G. Bailleul*, *G. Henkel*, *B.* **55**, 2923 (1922); *J. Maisin*, *Bl. Soc. chim. Belg.* **37**, 326 (1925).

⁴⁾ *Z. anorg. Ch.* **219**, 271 (1934).

und Sauerstoff das Schwefeltetroxyd, wenn auch nur in kleinen Mengen, rein darstellten und sein Molekulargewicht, seine physikalischen und chemischen Eigenschaften bestimmten, so interessierte es uns, einen Vergleich dieses Stoffes mit dem von uns nur in Lösung erhaltenen labilen höheren Schwefeloxyd durchzuführen. Wir stellten darum einerseits Schwefeltetroxyd durch elektrische Entladung dar, lösten es dann in Kaliumbisulfatlösung, um ähnliche Verhältnisse zu haben wie bei einer mit Fluor behandelten Kaliumbisulfatlösung, und unterwarfen es einer Reihe von qualitativen und quantitativen Proben; andererseits stellten wir Lösungen des unbeständigen höheren Schwefeloxyds durch Einleiten von Fluor in Kaliumbisulfatlösung her und unterwarfen diese den gleichen Proben.

2. Darstellung von Schwefeltetroxyd durch elektrische Entladungen.

R. Schwarz und *H. Achenbach* ist es gelungen, mit Hilfe der Glimmentladung reines Schwefeltetroxyd darzustellen. Zu diesem Behufe musste aber der Druck des Gemisches von Schwefeldioxyd und Sauerstoff zur Erzielung des nötigen Leitvermögens auf 0,5 mm Quecksilbersäule herabgesetzt werden, wodurch das Gewicht des Schwefeltetroxyds bei sechsständiger Versuchsdauer nur etwa 0,1 g erreicht.

Wir haben darum versucht, die Darstellung des Schwefeltetroxyds im Ozonisator nach *Meyer*, *Bailleul* und *Henkel* zu verbessern. Jene Autoren erzielten nur Gemische von Schwefeltetroxyd mit Schwefeltrioxyd, deren Tetroxydgehalt im günstigsten Fall dem Verhältnis von 2SO_4 auf 1SO_3 oder etwa der Formel S_3O_{11} entsprach.

Unser Ozonisator besass eine wirksame Länge von 200 mm; der äussere Durchmesser der mit Hilfe eines Normalschliffs eingesetzten inneren Röhre war 35 mm, der innere Durchmesser der äusseren Röhre war 37 mm, der Abstand also ringsherum 1 mm. Zur Verbesserung der Ozonausbeute wurde das innere Rohr von innen und das äussere Rohr von aussen mit Eis-Kochsalz-Mischung gekühlt. Die beiden Gase Sauerstoff und Schwefeldioxyd wurden vor dem Eintritt in den Entladungsraum gründlich getrocknet, zuletzt mit konz. Schwefelsäure und mit Phosphorperoxyd; ihre Menge wurde mit Hilfe von Manometern kontrolliert. Das beste Strömungs- und Mischungsverhältnis ermittelten wir zu 0,4 Liter Schwefeldioxyd und 10 Liter Sauerstoff in der Stunde. Hinter dem Ozonisator folgte zum Schutz gegen Feuchtigkeit nochmals eine Waschflasche mit konz. Schwefelsäure und dann eine solche mit Sodalösung zur Aufnahme des unverbundenen Schwefeldioxyds. Die verschiedenen Waschflaschen waren teils durch Schliffe, teils durch Zusammenschmelzen miteinander verbunden. Die Spannung des städtischen Wechselstroms wurde durch einen Transformator auf 8000 Volt gebracht.

Nach etwa 4 Stunden traten in dem Zwischenraum zwischen den beiden Glasröhren farblose Krystalle auf, die beim Herausnehmen des Entladungsröhres aus der Kältemischung bald schmolzen (Smp. des SO_4 nach *R. Schwarz* und *H. Achenbach* + 3°). Das feste weisse Produkt verpufft beim Reiben, wie dies auch *Meyer*, *Bailleul* und *Henkel* beobachtet haben.

Der nach $8\frac{1}{2}$ Stunden entstandene weisse Überzug der Entladungsröhre wurde in konz. Schwefelsäure gelöst, die Lösung auf Eis

gegossen und mit Kaliumjodid umgesetzt, wonach 91,68 cm³ 0,1-n. Natriumthiosulfat verbraucht wurden, entsprechend 0,44 g SO₄. Die schwefelsaure Lösung oxydiert verdünnte Mangan(II)-sulfatlösung sofort zu Permangansäure und Anilin zu Nitrosobenzol.

Beim Zusammenbringen der schwefelsauren Lösung des weissen Stoffes mit Kaliumjodid scheidet sich, wie schon bemerkt, sofort Jod ab. Lässt man einen derartigen Ansatz aber über Nacht stehen, so verbraucht er ein grösseres Volumen von Thiosulfatlösung, genau wie die mit Fluor aus Kaliumbisulfatlösung erhaltenen Proben; das unmittelbar abgeschiedene Jod entspricht dem Schwefeltetroxyd, das nachträglich abgeschiedene der Peroxy-dischwefelsäure. Tabelle I zeigt die Abhängigkeit dieses Verhältnisses von der Ozonisierungsdauer.

Tabelle I.

Versuchs- dauer	sofort titriert cm ³ 0,1-n. Na ₂ S ₂ O ₃	nach 12 Std. titriert cm ³ 0,1-n. Na ₂ S ₂ O ₃	Verh. des sofort ausgeschiedenen J ₂ zum nach- träglich ausge- schiedenen J ₂	Verh. SO ₄ zu H ₂ S ₂ O ₈
4 Stdn.	1,98	3,85	1,98 : 1,87	~1 : 1
6 „	9,72	15,73	9,72 : 6,01	~1,5 : 1
8 „	19,44	26,34	19,44 : 6,90	~3 : 1
10 „	45,71	55,84	45,71 : 10,13	~4,5 : 1
12 „	50,20	59,91	50,20 : 9,71	~5 : 1

Über das Verhältnis 5 : 1 sind wir nicht hinausgekommen. Schreibt man anstatt H₂S₂O₈ ihr Anhydrid S₂O₇, das seinerseits zerlegt werden kann in SO₄ + SO₃, so wären wir beim 12-stündigen Versuch zu einer Mischung von 6 SO₄ : 1 SO₃, also nahezu zu reinem SO₄ gelangt.

Diese Analysenmethode ist aber insofern nicht zuverlässig, als begreiflicherweise bei der ersten Titration nicht nur das tatsächlich vorhandene Schwefeltetroxyd, sondern auch ein Teil der Peroxy-dischwefelsäure miterfasst wird, was ein zu günstiges Bild ergibt. Wir haben darum in einer andern Versuchsreihe das Produkt einer 10-stündigen Ozonisierung sofort durch Einsaugen eisgekühlter Kaliumjodidlösung umgesetzt, die Lösung in zwei Teile geteilt, den einen Teil mit 0,1-n. Natriumthiosulfatlösung titriert und den andern Teil nach Wegkochen des Jods mit Bariumchlorid gefällt.

Tabelle II.

Jodometr. Titration cm ³ 0,1-n. Na ₂ S ₂ O ₃	entspre- chend SO ₄ g	BaSO ₄ g	entspre- chend Gesamt- SO ₄ ''	Differenz	entspre- chend SO ₃	Verhältnis SO ₄ : SO ₃
46,21	0,2219	0,7150	0,2942	0,0723	0,0603	2,22 : 0,6 3,7 : 1
45,50	0,2185	0,7043	0,2898	0,0713	0,0594	2,18 : 0,59 3,68 : 1

Wir erhalten somit ein ungefähres Verhältnis von mindestens 3SO_4 auf 1SO_3 (S_4O_{15}), das wesentlich höheren Gehalten an SO_4 entspricht als das von *Meyer, Bailleul* und *Henkel* gefundene von 2SO_4 auf 1SO_3 (S_3O_{11}).

3. Verhalten der Lösungen von Schwefeltetroxyd in Kaliumbisulfat beim Stehen.

Bei den fluorierten Kaliumbisulfatlösungen haben *Fichter* und *Goldach*¹⁾ gefunden, dass die durch unmittelbare Abscheidung von Jod messbare Menge von Schwefeltetroxyd mit der Zeit rasch abnimmt, während die Menge des erst über Nacht Jod abscheidenden Peroxy-disulfats bei Zimmertemperatur mit der Zeit zunimmt.

Ganz Ähnliches beobachteten wir an dem im Ozonisor hergestellten Schwefeltetroxyd, das in Kaliumbisulfatlösung gelöst wurde.

Die erhaltene Lösung wurde halbiert, und in der ersten Hälfte sofort titriert und nach 12 Stunden titriert; die Summe beider Titrationsen gibt die Gesamtoxydationskraft, die erste entspricht im wesentlichen dem Schwefeltetroxyd, die zweite der Peroxydischwefelsäure. Die zweite Hälfte der Lösung wurde erst nach 12 Stunden titriert, und nach weiteren 12 Stunden nachtitriert. Tabelle III vereinigt 3 derartige Versuche; die Zahlen bedeuten cm^3 0,1-n. Natriumthiosulfatlösung.

Tabelle III.

Vers. 1.	I. Hälfte	sofort titriert 15,50	nach 12 Stdn. titriert 2,21	Summe 17,71
	II. Hälfte	nach 12 Stdn. 10,20	nach 24 Stdn. 7,71	
Vers. 2.	I. Hälfte	sofort 16,08	nach 12 Stdn. 5,65	21,73
	II. Hälfte	nach 12 Stdn. 12,12	nach 24 Stdn. 9,80	
Vers. 3.	I. Hälfte	sofort 16,60	nach 12 Stdn. 4,76	21,36
	II. Hälfte	nach 12 Stdn. 10,90	nach 24 Stdn. 11,27	

Das Verhalten der Lösungen von Schwefeltetroxyd in Kaliumbisulfat entspricht also vollständig demjenigen der fluorierten Lösungen.

4. Titrationsversuche nach *K. Gleu*³⁾.

Von *Karl Gleu* stammt eine Methode, um Peroxy-monoschwefelsäure, Hydroperoxyd und Peroxy-dischwefelsäure nebeneinander zu bestimmen. In unsern Lösungen von Schwefeltetroxyd in Kalium-

¹⁾ Helv. **13**, 381 (1930).

²⁾ Die scheinbare Vergrößerung der Summe ist darauf zurückzuführen, dass bei der Titration die II. Hälfte nochmals in 4 Teile unterteilt wurde, so dass Ablesefehler stark ins Gewicht fallen.

³⁾ Z. anorg. Ch. **195**, 61 (1931).

bisulfat oder in den durch Fluorierung von Kaliumbisulfat erhaltenen Lösungen lässt sich zwar Peroxy-monoschwefelsäure nicht nachweisen, und Hydroperoxyd ist wenigstens in den frischen Lösungen nicht oder kaum enthalten, denn sonst gelänge die Oxydation von Mangan(II)-sulfat zu Permangansäure nicht. Rein formelmässig hängt aber Schwefeltetroxyd mit Peroxy-monoschwefelsäure zusammen, indem letztere sich vom Tetroxyd nur durch den Gehalt von Wasser unterscheidet, und wenn in einer Lösung Peroxy-monoschwefelsäure auftritt, so wird auch Hydroperoxyd nicht fehlen.

Nach *Gleu* versetzt man die Mischung der drei Oxydationsmittel mit arseniger Säure und reichlich mit Kaliumbromid; die Peroxy-monoschwefelsäure setzt Brom in Freiheit und dieses oxydiert die arsenige Säure. Man titriert mit Kaliumbromat bis zum Auftreten von freiem Brom zurück und erfährt so die Menge der unverbrauchten arsenigen Säure.

Hierauf gibt man Mangan(II)-sulfat zu und titriert nun mit Kaliumpermanganat das Hydroperoxyd, wobei wieder die Gelbfärbung durch Brom den Endpunkt der Titration anzeigt.

Zum Schluss wird nochmals arsenige Säure zugegeben und erwärmt, wodurch die Peroxy-dischwefelsäure zur Einwirkung gebracht wird. Durch Zurücktitrieren mit Kaliumbromat wird wiederum die Menge der unverbrauchten arsenigen Säure ermittelt.

In Tabelle IV stellen wir nun nebeneinander die Ergebnisse derartiger Titrationsen, einerseits mit Lösungen von Schwefeltetroxyd in Kaliumbisulfat, andererseits mit fluorierten Lösungen von Kaliumbisulfat. Die Zahlen sind cm^3 0,1-n. Lösung.

Tabelle IV.

	SO ₄ in KHSO ₄		SO ₄ in KHSO ₄ +HF	
	Direkt	nach 105 Stdn.	Direkt	nach 109 Stdn.
H ₂ SO ₅ . .	10,13	8,32	21,04	17,76
H ₂ O ₂ . . .	0,27	0,12	0,16	0,08
H ₂ S ₂ O ₈ . .	10,61	12,56	22,46	27,56
Fluorierte Kaliumbisulfatlösung ¹⁾				
	Direkt	nach 65 Stdn.	Direkt	nach 48½ Stdn.
H ₂ SO ₅ . .	9,30	0,40	16,79	1,24
H ₂ O ₂ . . .	0,92	1,00	1,00	1,20
H ₂ S ₂ O ₈ . .	3,67	10,80	2,38	7,76

Man ersieht aus der Zusammenstellung, dass die beiden Arten von Lösungen sich ähneln, und dass in beiden Systemen die Zunahme des Peroxy-disulfats mit der Zeit deutlich ist; die Steigerung ist bei den fluorierten Lösungen viel ausgeprägter. Ebenso kommt dort die Abnahme der Peroxy-monoschwefelsäure bzw. des Schwefeltetroxyds stärker zum Ausdruck.

Wir haben geprüft, ob der Gehalt der fluorierten Lösungen an Flussäure diesen Unterschied bedingen kann; doch hat der in Ta-

¹⁾ Nach *Fichter* und *Goldach*, loc. cit., hergestellt.

belle IV aufgenommene Versuch mit Zusatz von $\frac{1}{3}$ Volumen starker Flußsäure nichts wesentlich anderes gegeben.

Das Vorhandensein von Flußsäure dürfte bewirken, dass die Oxydation von Mangan(II)-sulfat mit den fluorierten Lösungen sicherer eintritt. *A. Travers*¹⁾ hat dies an Mischungen von Peroxy-disulfat und Flußsäure beobachtet und auf die Stabilisierung der als Zwischenprodukt nötigen Mangan(III)-ionen durch die Fluorionen zurückgeführt.

Der Unterschied im Verhalten der fluorierten Lösungen ist wohl nur graduell, nicht grundsätzlich, und kann vielleicht darauf zurückgeführt werden, dass mit Fluor unmittelbar die höchste Oxydationsstufe SO_4 erreicht wird, während bei der Ozonisierung stets nur Gemenge von Schwefeltetroxyd mit Schwefeltrioxyd erhalten werden.

Wir haben uns zum Schluss die Frage vorgelegt, ob der Unterschied zwischen Schwefeltetroxyd und den fluorierten Lösungen darin besteht, dass sich bei der Einwirkung von Fluor- auf Schwefelsäure ein hochoxydiertes Tetroxyd-fluorid SO_4F_2 bildet, entsprechend dem Nitrylfluorid NO_3F von *G. H. Cady*²⁾, *D. M. Yost* und *Beerbower*³⁾ und von *O. Ruff* und *W. Kwasnik*⁴⁾. Wir liessen darum Fluor auf konz. Schwefelsäure in einer Quarzapparatur einwirken. In den mit flüssiger Luft gekühlten Vorlagen kondensierte sich dabei wohl Fluor, aber keine Schwefelverbindung. Wenn ein Schwefeltetroxyd-fluorid existiert, so ist es demnach nicht flüchtig.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse.

- a) Es wird ein Apparat beschrieben, mit dessen Hilfe aus einer Mischung von Schwefeldioxyd und Sauerstoff durch elektrische Entladung ein höheres Schwefeloxyd von der Formel $3\text{SO}_4 + 1\text{SO}_3$ (S_4O_{15}) oder noch sauerstoffreichere Präparate dargestellt werden können. Solche höheren Schwefeloxyde geben die gleichen qualitativen Reaktionen wie fluorierte Bisulfatlösungen.
- b) Die durch Entladung hergestellten höheren Schwefeloxyde, in Kaliumsulfatlösung gelöst, verhalten sich ähnlich wie fluorierte Kaliumbisulfatlösungen, indem beim Stehen ihr Gehalt an Schwefeltetroxyd ab-, ihr Gehalt an Peroxy-disulfat zunimmt.
- c) Der Vergleich von Lösungen des durch Ozonisierung erhaltenen höheren Schwefeloxyds und der fluorierten Lösungen von Kaliumbisulfat zeigt, dass in den letzteren der Gehalt an Schwefeltetroxyd beim Stehen rascher abnimmt, vielleicht weil es in höherer Konzentration vorliegt.
- d) Versuche zur Isolierung eines Schwefeltetroxyd-fluorids SO_4F_2 haben ergeben, dass diese Verbindung, wenn sie existiert, nicht flüchtig ist.

Basel, Anstalt für Anorganische Chemie, März 1939.

¹⁾ Bl. [4] **37**, 456 (1925).

³⁾ Am. Soc. **57**, 782 (1935).

²⁾ Am. Soc. **56**, 2635 (1934).

⁴⁾ Z. angew. Ch. **48**, 238 (1935).

Atomgewichte 1939¹⁾.

	Sym- bol	Ord- nungs- zahl	Atom- gewicht		Sym- bol	Ord- nungs- zahl	Atom- gewicht
Aluminium . .	Al	13	26,97	Neon	Ne	10	20,183
Antimon . . .	Sb	51	121,76	Nickel	Ni	28	58,69
Argon	A	18	39,944	Niob	Nb	41	92,91
Arsen	As	33	74,91	Osmium	Os	76	190,2
Barium	Ba	56	137,36	Palladium . . .	Pd	46	106,7
Beryllium . .	Be	4	9,02	Phosphor . . .	P	15	30,98
Blei	Pb	82	207,21	Platin	Pt	78	195,23
Bor	B	5	10,82	Praseodym . . .	Pr	59	140,92
Brom	Br	35	79,916	Protactinium . .	Pa	91	231
Cadmium . . .	Cd	48	112,41	Quecksilber . .	Hg	80	200,61
Caesium . . .	Cs	55	132,91	Radium	Ra	88	226,05
Calcium . . .	Ca	20	40,08	Radon	Rn	86	222
Cassiopeium .	Cp	71	175,0	Rhenium	Re	75	186,31
Cer	Ce	58	140,13	Rhodium	Rh	45	102,91
Chlor	Cl	17	35,457	Rubidium	Rb	37	85,48
Chrom	Cr	24	52,01	Ruthenium . . .	Ru	44	101,7
Dysprosium . .	Dy	66	162,46	Samarium	Sm	62	150,43
Eisen	Fe	26	55,84	Sauerstoff . . .	O	8	16,0000
Erbium	Er	68	167,2	Scandium	Sc	21	45,10
Europium . . .	Eu	63	152,0	Schwefel	S	16	32,06
Fluor	F	9	19,00	Selen	Se	34	78,96
Gadolinium . .	Gd	64	156,9	Silber	Ag	47	107,880
Gallium	Ga	31	69,72	Silicium	Si	14	28,06
Germanium . .	Ge	32	72,60	Stickstoff . . .	N	7	14,008
Gold	Au	79	197,2	Strontium	Sr	38	87,63
Hafnium	Hf	72	178,6	Tantal	Ta	73	180,88
Helium	He	2	4,003	Tellur	Te	52	127,61
Holmium . . .	Ho	67	163,5	Terbium	Tb	65	159,2
Indium	In	49	114,76	Thallium	Tl	81	204,39
Iridium	Ir	77	193,1	Thorium	Th	90	232,12
Jod	J	53	126,92	Thulium	Tm	69	169,4
Kalium	K	19	39,096	Titan	Ti	22	47,90
Kobalt	Co	27	58,94	Uran	U	92	238,07
Kohlenstoff . .	C	6	12,010	Vanadium	V	23	50,95
Krypton	Kr	36	83,7	Wasserstoff . . .	H	1	1,0081
Kupfer	Cu	29	63,57	Wismut	Bi	83	209,00
Lanthan	La	57	138,92	Wolfram	W	74	183,92
Lithium	Li	3	6,940	Xenon	X	54	131,3
Magnesium . .	Mg	12	24,32	Ytterbium	Yb	70	173,04
Mangan	Mn	25	54,93	Yttrium	Y	39	88,92
Molybdän . . .	Mo	42	95,95	Zink	Zn	30	65,38
Natrium	Na	11	22,997	Zinn	Sn	50	118,70
Neodym	Nd	60	144,27	Zirkonium	Zr	40	91,22

¹⁾ Auszug aus dem neunten Bericht der Atomgewichtskommission der Internationalen chemischen Union, *G. P. Baxter* (Vorsitzender), *M. Guichard*, *O. Hönigschmid* und *R. Whyllaw-Gray*.

Poids atomiques 1939 ¹⁾.

	Sym-bole	Nom- bre ato- mique	Poids ato- mique		Sym-bole	Nom- bre ato- mique	Poids ato- mique
Aluminium . .	Al	13	26,97	Molybdène . .	Mo	42	95,95
Antimoine . .	Sb	51	121,76	Néodyme . .	Nd	60	144,27
Argent	Ag	47	107,880	Néon	Ne	10	20,183
Argon	A	18	39,944	Nickel	Ni	28	58,69
Arsenic	As	33	74,91	Niobium (colombium)	Nb(Cb)	41	92,91
Azote	N	7	14,008	Or	Au	79	197,2
Baryum	Ba	56	137,36	Osmium	Os	76	190,2
Bismuth	Bi	83	209,00	Oxygène	O	8	16,0000
Bore	B	5	10,82	Palladium . . .	Pd	46	106,7
Brome	Br	35	79,916	Phosphore . . .	P	15	30,98
Cadmium	Cd	48	112,41	Platine	Pt	78	195,23
Calcium	Ca	20	40,08	Plomb	Pb	82	207,21
Carbone	C	6	12,010	Potassium . . .	K	19	39,096
Celtium (hafnium)	Ct(Hf)	72	178,6	Praséodyme . .	Pr	59	140,92
Cérium	Ce	58	140,13	Protactinium . .	Pa	91	231
Césium	Cs	55	132,91	Radium	Ra	88	226,05
Chlore	Cl	17	35,457	Radon	Rn	86	222
Chrome	Cr	24	52,01	Rhénium	Re	75	186,31
Cobalt	Co	27	58,94	Rhodium	Rh	45	102,91
Cuivre	Cu	29	63,57	Rubidium	Rb	37	85,48
Dysprosium . .	Dy	66	162,46	Ruthénium . . .	Ru	44	101,7
Erbium	Er	68	167,2	Samarium	Sm	62	150,43
Étain	Sn	50	118,70	Scandium	Sc	21	45,10
Europium	Eu	63	152,0	Sélénium	Se	34	78,96
Fer	Fe	26	55,84	Silicium	Si	14	28,06
Fluor	F	9	19,00	Sodium	Na	11	22,997
Gadolinium . .	Gd	64	156,9	Soufre	S	16	32,06
Gallium	Ga	31	69,72	Strontium	Sr	38	87,63
Germanium . . .	Ge	32	72,60	Tantale	Ta	73	180,88
Gluéinium (béryllium)	Gl(Be)	4	9,02	Tellure	Te	52	127,61
Hélium	He	2	4,003	Terbium	Tb	65	159,2
Holmium	Ho	67	163,5	Thallium	Tl	81	204,39
Hydrogène . . .	H	1	1,0081	Thorium	Th	90	232,12
Indium	In	49	114,76	Thulium	Tm	69	169,4
Iode	I	53	126,92	Titane	Ti	22	47,90
Iridium	Ir	77	193,1	Tungstène	W(Tu)	74	183,92
Krypton	Kr	36	83,7	Uranium	U	92	238,07
Lanthane	La	57	138,92	Vanadium	V	23	50,95
Lithium	Li	3	6,940	Xénon	Xe	54	131,3
Lutécium	Lu	71	175,0	Ytterbium	Yb	70	173,04
Magnésium . . .	Mg	12	24,32	Yttrium	Y	39	88,92
Manganèse . . .	Mn	25	54,93	Zinc	Zn	30	65,38
Mercure	Hg	80	200,61	Zirconium	Zr	40	91,22

¹⁾ Extrait du neuvième rapport de la Commission des poids atomiques de l'Union internationale de Chimie, par G. P. Baxter (président), M. Guichard, O. Hönlgschmid et R. Whyllaw-Gray.