

nämlich an, daß die Fadenmoleküle starr sind und $\epsilon_2 + kT \Delta \nu / \nu_1 = \tau_2 > 0$ ist, so gilt

$$\Phi_{nn'} = (z - 2) n n' [\exp(-\eta_2/kT) - 1]. \quad (65)$$

Es ist dann $f(z) = z$, und man erhält als I.Näherung

$$\ln B(T) = \ln B(T)_{\text{ath}} + \frac{1}{2} \frac{(\bar{n} N_1)^2}{N_2 + \bar{n} N_1} \frac{z - 2}{z} [\exp(-\eta_2/kT) - 1]. \quad (66)$$

³⁵ G. V. Schulz, Z. physik. Chem., Abt. A, **176**, 317 [1936].

Die obigen Voraussetzungen treffen näherungsweise bei dem System Nitrocellulose-Aceton zu. Merkwürdigerweise scheint dies der einzige Fall zu sein, in welchem das Problem experimentell untersucht worden ist. G. V. Schulz³⁵ fand in der Tat, daß zwei Produkte von verschiedener Polydispersität, aber gleichem mittlerem Molekulargewicht, den gleichen Verlauf des osmotischen Druckes zeigen.

Der Gesellschaft der Freunde der Universität Heidelberg danke ich für die Gewährung eines Forschungsstipendiums.

Isotopenverschiebung beim Cadmium durch Ionenwanderung in geschmolzenem Cadmiumchlorid

Von ALFRED KLEMM, HEINRICH HINTENBERGER und WALTER SEELMANN-EGGEBERT

Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Tailfingen

(Z. Naturforschg. **3a**, 172–176 [1948]; eingegangen am 27. Februar 1948)

An der Grenze zwischen LiCl und CdCl₂ wurde durch elektrolytische Ionenwanderung (Dauer 50 h, Stromdichte 5,5 A/cm², Trennstrecke 13 cm, Temperatur 630 °C) die Isotopenverteilung beim Cd zugunsten der leichten Isotope verschoben. Der Trennfaktor der besten Fraktion (47 mg CdCl₂) in bezug auf natürliches Cd betrug 1,046 für 1% Massenunterschied, also 1,5 für die Isotope ¹⁰⁶Cd und ¹¹⁶Cd. Als Masseneffekt ergab sich $\mu = \ln(iw/kw) / \ln(im/km) = -0,067$ und als Vervielfachung (Trennstufenzahl) 67.

In einer Apparatur aus Supremaxglas (Abb. 1), die sich von einer früher beschriebenen¹ nur dadurch unterschied, daß sie etwas länger war (Trennröhr 25,5 cm statt 22,5 cm), wurde die Kette Anodenkohlen—CdCl₂—LiCl—PbCl₂—Kathodenkohle bei 630 °C zwei Tage lang mit 95 V und 550 mA elektrolysiert. Als Diaphragma im Trennröhr (4 mm Innendurchmesser) diente wieder Quarzpulver B₂ (Korndurchmesser 0,1 mm) in loser Packung. Der stromdurchflossene Querschnitt im Trennröhr betrug demnach etwa 0,1 cm², die Stromdichte 5,5 A/cm² und die Verschiebung des Cadmiums relativ zum Chlor etwa 3 m. An der Kathode wurde wieder PbCl₂ verwendet, weil kathodisch abgeschiedenes Li das Glas zerstören würde und zudem die Pb-Abscheidung sehr bequem ist. Da eine Anreicherung der leichten Cd-Isotope beabsichtigt war, wurde die Grenze zwischen LiCl und CdCl₂ im Trennröhr so gelegt, daß

¹ A. Klemm, H. Hintenberger u. Ph. Hoernes, Z. Naturforschg. **2a**, 245 [1947].

der größere Teil des Trennröhrs mit CdCl₂ gefüllt war.

Der 42 cm lange elektrische Ofen hatte 42 mm Innendurchmesser und bestand diesmal aus nur zwei ineinandergesteckten Supremaxröhren, von denen das innere mit Chromnickelband bewickelt war. Im Dauerbetrieb hielt der Ofen bei einer Leistungsaufnahme von 1,6 KW das LiCl (Schmp. 614 °C) geschmolzen.

Etwas schwierig war bei diesen Trennversuchen immer das Füllen der Apparatur. Nach manchen Versuchen hatte sich folgendes Füllverfahren bewährt, das bei dem mitgeteilten Versuch auch im wesentlichen eingehalten werden konnte: Die verschiedenen Niveaus, bis zu denen die Apparatur zu füllen war, wurden vorher mit Wasser festgestellt und angemerkt. Dann wurde die Apparatur mit Chrom-Schwefelsäure gereinigt und samt der Kathodenkohle bei 650 °C und 2 mm Hg-Druck getrocknet.

Wenn man Stücke von wasserfreiem LiCl, CdCl₂ oder PbCl₂ aus einer Pulverflasche in ein Reagensglas brachte, dann schmolz und evakuierte, so stiegen in der Regel bei 100 bis 10 mm Hg aus den Schmelzen Gasblasen auf. Die Blasenbildung hörte aber wieder auf und man erhielt schließlich alle drei Schmelzen auch



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

bei 2 mm Hg frei von Gasentwicklung. Wahrscheinlich waren diese Blasen abgehendes Wasser, das die Salze beim Umfüllen usw. aufgenommen hatten. Da sich auch während der Elektrolyse im Trennrohr leicht sehr störende Blasen bildeten, war das Austreiben von Gasen durch Evakuieren wichtig. Dies geschah in drei gläsernen elektrischen Öfen in drei Reagentgläsern aus Supremax-Glas, die mit Hilfe von Buna-Stopfen (Buna ist hitzebeständiger als gewöhnlicher Gummi) evakuierbar waren. Die Schmel-

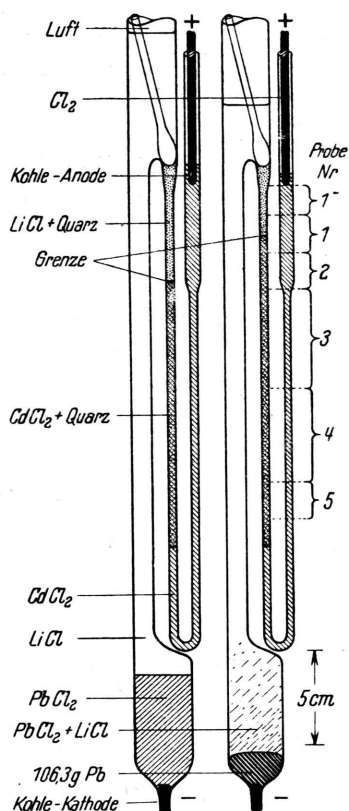


Abb. 1. Die Apparatur vor (links) und nach (rechts) dem Durchgang von 99300 Coulomb.

zen wurden dann von Hand in die Apparatur eingegossen, wobei die entstehende Tülle aus erstarrtem Salz das Gießen erleichterte.

Zuerst wurde LiCl eingefüllt, und zwar durch einen Trichter aus einem weiten Rohrstück mit lang ausgezogener Spitze. Das weite Rohrstück nahm die Schmelze innerhalb der Apparatur und des Ofens auf, so daß sie nicht erstarrte. Die Kapillare leitete sie an den Grund der Apparatur, so daß beim Eingießen keine Lufteinschlüsse das LiCl höher als nötig steigen und damit in das Trennrohr übertreten ließen. Nach Entfernung des Trichters wurde die Apparatur nochmals evakuiert, damit das hygroskopische LiCl wirklich ganz wasserfrei wurde. Dazu dienten zwei, auf den wohlgerundeten oberen Apparaturenden leicht und doch dicht sitzende, durchbohrte Buna-Stopfen

und zwei verschlossene Gummischlauchstücke für den in Abb. 1 nicht sichtbaren Chlor-Auslaß und die Kathodenöffnung. Durch den Anodenschenkel wurde nun das CdCl_2 sehr heiß (weil der Schenkel eng war) eingegossen, wobei wieder darauf zu achten war, daß nicht Lufteinschlüsse das CdCl_2 im Trennrohr zu hoch steigen und in das LiCl hinübertreten ließen. Unmittelbar nach dem Einbringen des CdCl_2 wurde durch Eintauchen eines heißen Glaskörpers etwas LiCl zum Übertritt in das Trennrohr veranlaßt. Dieses Übersichten des CdCl_2 mit LiCl sollte verhindern, daß CdCl_2 durch Verdampfen in den Kathodenschenkel gelangte. Zum Erhitzen von Hilfsgerät war ein fünfter Ofen erforderlich.

Dann wurde das PbCl_2 mittels eines Trichters unter das LiCl im Kathodenschenkel geschichtet. Der Trichter bestand aus einem weiten Rohr, das aber doch 4 mm Spielraum im oberen Teil der Apparatur hatte, damit nicht zwischen dem Trichter und der Innenwand der Apparatur LiCl kapillar hochstieg und außerhalb des Ofens erstarrte, und aus einer bis zur Anodenkohle hinabreichenden Kapillare von 2 mm Außendurchmesser. (Ein Ersatztrichter wurde wegen Bruchgefahr bereitgehalten.) War die Kapillare zu eng, so bestand Verstopfungsgefahr; war sie zu weit, so lief das PbCl_2 zu rasch durch und es wurde beim Nachgießen von PbCl_2 Luft eingeschlossen, die beim Austreten aus der Kapillare die Grenze $\text{PbCl}_2 - \text{LiCl}$ verwischte.

Die Salze waren nun eingebracht und es mußte nur noch das Quarzpulver eingefüllt werden. Hierzu wurde zunächst in dem Vorratsschenkel ein unten wenig verengtes, weites Rohr auf die oben erweiterte Öffnung des Trennrohres gesetzt. Durch diesen Trichter wurden einige Quarzkörner eingebracht, die an der Grenze $\text{CdCl}_2 - \text{LiCl}$ schwebten und diese markierten. Nun wurde durch gelinden Unterdruck im Anodenschenkel jene Grenze im Trennrohr bis nahe an sein unteres Ende herabgesaugt. Dies mußte unter Verwendung von Feinventilen sehr vorsichtig geschehen, damit unnötige Vermischung oder Übertreten von LiCl in den Anodenschenkel vermieden wurde. Dann ließ man den heißen Quarz durch den Trichter einrieseln. Er sank bis zum CdCl_2 hinab und füllte somit fast das ganze Trennrohr. Der Trichter wurde nun durch einen unten verdickten Glasstab ersetzt, der ein Aufsteigen des Quarzpulvers verhindern sollte. Stellte man jetzt im Anodenschenkel langsam Atmosphärendruck her, so verdrängte das CdCl_2 das LiCl im Trennrohr bis auf das oberste Stück, und die beabsichtigte Füllung der Apparatur war hergestellt. Während der Elektrolyse färbte sich das vorher farblose CdCl_2 gelblich, so daß die Grenze im Diaphragma sichtbar wurde.

Da 2,6 Stdn. nach dem Einschalten des Elektrolysestromes von 600 mA eine Gasblase an der Grenze bedenkliche Größe annahm und ein schwaches Glühen der Schmelze an dieser Stelle verursachte, wurde in den folgenden 22,8 Stdn. nur mit 500 mA elektrolysiert, in den weiteren 24,8 Stdn. aber wieder mit 600 mA.

Nach der Elektrolyse und dem Erkalten wurde das Trennrohr in die aus Abb. 1 ersichtlichen Proben zerschnitten, die chemisch und massenspektrometrisch analysiert wurden.

Aus der Wägung des Bleiregulus (106,3 g) ergab sich die transportierte Ladungsmenge zu 99300 Coulomb. Da, wie sich aus der chemischen Analyse schätzen ließ, an der Grenze zwischen Probe 4 und 5 dauernd etwa 3 Vol.-% LiCl waren, sind nicht die gesamten 99300 Coulomb für die Cd-Anreicherung wirksam gewesen, sondern nur 90% davon. Also war die wirksame Ladungsmenge $L = 90000$ Coulomb.

Das Ergebnis der im folgenden beschriebenen chemischen Analyse zeigt Tab. 1.

Probe Nr.	Vol.-% bei 18° C					mg			
	Quarz	PbCl ₂	CdCl ₂	LiCl	Lunker	Quarz	PbCl ₂	CdCl ₂	LiCl
1 ⁻						100	2	0	772
1	18,7	0,1	4,8	45,7	31,3	125	2	47,5	239
2	22,6	1,2	59,2	4,4	12,6	152	20	603	23
3	16,7	1,9	67,2	2,1	12,1	277	71	1711	26
4	17,2	0,6	70,1	1,7	10,3	285	24	1785	22
5	19,2	0,4	76,6	2,8	1,0	130	7	780	15

Tab. 1. Chemische Analyse der Proben.

Die Schmelze wurde in Wasser gelöst, filtriert und das unlösliche Quarzpulver nach dem Glühen als SiO₂ gewogen. Im Filtrat wurde zunächst das Blei als PbSO₄ abgeschieden und auch als solches bestimmt. Die Abtrennung des noch im Filtrat vorhandenen Cadmiums vom Lithium erfolgte in schwach saurer Lösung mit Schwefelwasserstoff. Der Niederschlag von CdS wurde vor der Wägung in CdSO₄ übergeführt. Das Filtrat, welches nun allein noch Lithiumsalze enthielt, wurde zur Trockne eingedampft, mit Schwefelsäure abgeraucht und als LiSO₄ gewogen.

Die ursprünglich scharfkantigen Quarzsplitter der Korngröße 0,1 mm waren nach der Elektrolyse stark korrodiert und teilweise zerbröckelt, weshalb möglicherweise der Quarz zu Beginn der Elektrolyse einen größeren Volumenteil einnahm als in dem durch Tab. 1 beschriebenen Endzustand. In allen Proben war LiCl anwesend, weil beim Füllen der Apparatur unbeabsichtigt etwas LiCl in den Anodenschenkel geraten war. Unter „Lunker“ ist in Tab. 1 das Defizit der Analyse gegenüber dem errechneten Rohrvolumen angeführt. Da die Innenwand des Supremaxrohres korrodiert war, sind die Volumenangaben nicht sehr genau. Aber besonders in Probe 1 waren wirklich Hohlräume erkennbar, die schon während der Elektrolyse aufgefallen waren.

Tab. 2 zeigt das Ergebnis der massenspektrometrischen Analyse. Die Messungen wurden mit einem Massenspektrometer vom Nierschen Typ durchgeführt, das von Prof. Mattauch und dem einen von uns in Tailfingen aufgestellt worden war. Es wurde dabei CdCl₂ aus einem elek-

Probe Nr.	Massenzahl							
	106	108	110	111	112	113	114	116
1	1,88	1,20	14,15	14,05	24,51	11,87	26,22	6,12
2	1,64	1,20	13,66	13,64	24,43	11,89	26,99	6,55
3	1,47	1,02	13,33	13,60	24,24	12,23	27,41	6,70
4	1,49	1,11	13,14	13,38	24,25	12,15	27,58	6,90
5	1,46	0,99	12,78	13,35	24,15	12,27	27,93	7,07
0	1,43	1,01	12,92	13,21	24,22	12,17	27,97	7,07

Tab. 2. Gemessene Häufigkeiten der Cadmium-Isotope in %.

trisch geheizten Nickelöfchen verdampft und durch Elektronenstoß ionisiert. Zur einfacheren Durchführung der Messungen wurde bei konstantem Magnetfeld die Beschleunigungsspannung verändert und ein Führungsmagnet für die Elektronen verwendet. Beide Maßnahmen haben eine leichte systematische Fälschung der Häufigkeitsmessungen zur Folge, weshalb die angegebenen Häufigkeiten nur für den Vergleich der einzelnen Proben mit der Normalsubstanz (Probe 0) verwendbar sind. Über eine Absolutbestimmung der Isotopenhäufigkeiten von normalem Cd wird bei anderer Gelegenheit berichtet werden.

Da die Isotopenhäufigkeiten einer Probe durch die Art des Anreicherungsverfahrens in einem vorgegebenen Zusammenhang miteinander und mit den Isotopenhäufigkeiten im natürlichen Gemisch stehen, wollen wir diesen Zusammenhang zunächst dartun und dann zur Ausgleichung der Meßwerte heranziehen.

Ein Element bestehe aus einigen Isotopen, die wir durch Indices links oben unterscheiden. Von dem Element mögen verschiedene Proben vorliegen, die wir durch Indices rechts unten kennzeichnen. Der Index 0 kennzeichne das natürliche Gemisch. Wir bezeichnen Konzentrationen mit c und führen die Molenbrüche

$${}^i\Gamma_n = c_n / c_n \quad (1)$$

ein. Dabei ist

$$\sum_i {}^i\Gamma_n = 1. \quad (2)$$

Die Trennfaktoren seien

$${}^{ik}Q_{n0} = {}^i\Gamma_n {}^k\Gamma_0 / {}^i\Gamma_0 {}^k\Gamma_n. \quad (3)$$

Die Proben mögen nun von einem Trennverfahren stammen, für das die Beziehung

$$\ln {}^{ik}Q_{n0} = f_{n0} {}^u \ln ({}^i m / {}^k m) \quad (4)$$

gilt² (f = Vervielfachung, μ = Masseneffekt, m = Isotopenmasse). Im Falle eines Ionenwanderungsverfahrens sei also

$$\ln(iw/kw) = \mu \ln(i m/k m), \quad (5)$$

wo w die Wanderungsgeschwindigkeit ist.

Es sei nun $\ln(i m/k m) \ll 1$ vorausgesetzt, nicht aber $\ln i k Q_{n0} \ll 1$. Dann kann man (4) so schreiben:

$$f_{n0} \mu \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right) - \ln \frac{i \Gamma_n}{i \Gamma_0} = -a_{n0}. \quad (6)$$

Dabei ist

$$m_0 = \sum_i i \Gamma_0 i m. \quad (7)$$

a_{n0} ist eine vom Isotop unabhängige Konstante. Gl. (6), mit $i \Gamma_0 (i m/m_0 - 1)$ multipliziert, ergibt

$$f_{n0} \mu \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right)^2 - i \Gamma_0 \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right) \ln \frac{i \Gamma_n}{i \Gamma_0} = -a_{n0} i \Gamma_0 \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right), \quad (8)$$

woraus durch Summation über i folgt

$$f_{n0} \mu = \frac{\sum_i i \Gamma_0 \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right) \ln \frac{i \Gamma_n}{i \Gamma_0}}{\sum_i i \Gamma_0 \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right)^2}. \quad (9)$$

Multipliziert man andererseits (6) nur mit $i \Gamma_0$ und summiert dann wieder über i , so erhält man

$$a_{n0} = \sum_i i \Gamma_0 \ln(i \Gamma_n / i \Gamma_0). \quad (10)$$

$\ln(i \Gamma_n / i \Gamma_0)$, als Funktion von $i m/m_0 - 1$ aufgetragen, muß also die Gerade

$$\ln \frac{i \Gamma_n}{i \Gamma_0} = a_{n0} + f_{n0} \mu \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right) \quad (11)$$

ergeben, wobei die Konstanten a_{n0} und $f_{n0} \mu$ durch (10) und (9) gegeben sind. Für kleine Trennfaktoren ($\ln i \Gamma_n / i \Gamma_0 \ll 1$) gilt näherungsweise

$$f_{n0} \mu = \left(\frac{m_n}{m_0} - 1 \right) \left/ \sum_i i \Gamma_0 \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right)^2 \right., \quad (9a)$$

$$a_{n0} = 0, \quad (10a)$$

² A. K l e m m, Z. Naturforschg. 1, 252 [1946].

$$\frac{i \Gamma_n}{i \Gamma_0} - 1 = \mu f_{n0} \left(\frac{i m}{m_0} - 1 \right), \quad (11a)$$

$$m_n = \sum_i i \Gamma_n i m. \quad (12)$$

Die Größe $\sum i \Gamma_0 (i m/m_0 - 1)^2$ nennt man Isotopenmoment, in Analogie zum Trägheitsmoment (Gewicht $i \Gamma_0$, multipliziert mit dem Quadrat des Hebelarms $i m/m_0 - 1$).

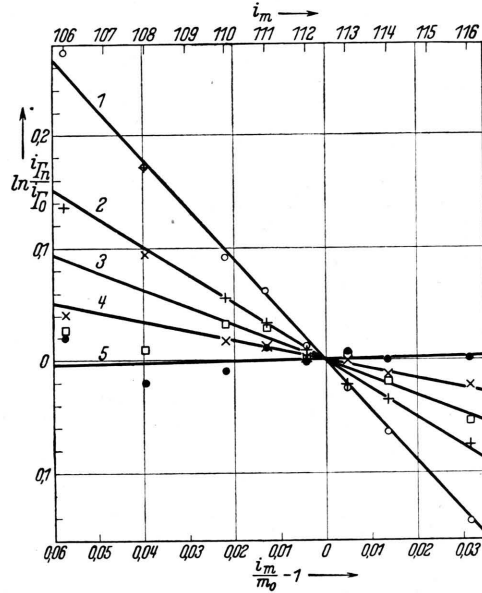


Abb. 2. Ordinate: Natürlicher Logarithmus des Verhältnisses der Häufigkeiten eines Isotops i in den Proben n und 0. Abszisse oben: Massenzahl $i m$; unten: Relative Abweichung der Massenzahl vom gemessenen Atomgewicht m_0 . \circ Probe 1, $+$ Probe 2, \square Probe 3, \times Probe 4, \bullet Probe 5. Geraden: Ergebnisse der Ausgleichsrechnung.

Mit Hilfe dieser Formeln wurden nun die Meßwerte (Tab. 2) ausgeglichen, indem aus den gemessenen $i \Gamma_n$ -Werten mittels (9) und (10) die summarischen Größen $f_{n0} \mu$ und a_{n0} berechnet wurden, woraus dann mittels (11) korrigierte Werte für die $i \Gamma_n$ zu gewinnen waren. Dabei wurden zur Ermittlung von $f_{n0} \mu$ und a_{n0} die Summationen nur über die Isotope 110 bis 116 erstreckt, weil die Meßwerte für die Isotope 106 und 108 wegen deren geringer Häufigkeit zu ungenau waren und die Fehler sehr stark in den Ausdruck $\ln(i \Gamma_n / i \Gamma_0)$ eingehen. Für a_{n0} ergab sich selbst für Probe 1 nur der kleine Wert $a_{10} = -0,003$, weshalb es statthaft erschien, bei den Proben 2–5 die Näherungsgleichungen (9a)

und (10a) anzuwenden. Das Ergebnis dieser Rechnungen zeigt Abb. 2, in die auch die Originalwerte eingetragen sind. In Abb. 2 ist erkenntlich, daß die Meßwerte für die häufigeren Isotope 110—116 recht gut auf den Geraden liegen, während dies bei den seltenen Isotopen 106 und 108 wegen der Meßungenauigkeit nicht der Fall ist.

Zur Berechnung des Masseneffektes μ wurde folgende, für kleine Anreicherung gültige Formel benutzt:

$$f_0 \mu = \frac{\frac{m}{m_0} - 1}{\sum_i {}^i T_0 \left(\frac{{}^i m}{m_0} - 1 \right)^2} \quad (13)$$

Dabei ist m das Atomgewicht der gesamten angereicherten Substanz (also das Mittel der Proben 1 bis 4) und f_0 die Vervielfachung für diese angereicherte Substanz. Es ist

$$f_0 = \frac{L}{F N_{\text{Cl}}} \quad (14)$$

wo L die transportierte wirksame Ladungsmenge ($L = 90\,000$ Coulomb), $F = 96\,500$ Coulomb und N_{Cl} der Chlorgehalt der Proben 1 bis 4 in Mol ist ($N_{\text{Cl}} = 0,0452$). Es ergab sich

$$\mu = -0,067.$$

Ebenso wie bei den von uns früher gemessenen μ -Werten ist auch hier anzunehmen, daß der wirkliche μ -Wert größer, aber bestimmt nicht kleiner ist als der gemessene, weil die Verluste von angereichertem Material, z. B. durch Konvektion während des Versuchs, den gemessenen μ -Wert stets herabmindern.

Probe Nr.	$f_{n_0} \mu$	f_{n_0}
1	-4,48	67
2	-2,54	38
3	-1,58	24
4	-0,85	13
5	+0,06	-0,9

Tab. 3. Die der Abb. 2 zugrunde liegenden Größen $f_{n_0} \mu$ und die Vervielfachungen f_{n_0} .

In Tab. 3 sind die aus den Versuchsergebnissen berechneten $f_{n_0} \mu$ - und f_{n_0} -Werte eingetragen. Bei Probe 5 scheint sich die Anreicherung der schweren Isotope im Anodenraum bemerkbar zu machen, jedoch nur innerhalb der Fehlergrenze. Mit Hilfe von Gl. (4) und Tab. 3 kann man alle hier aufgetretenen Trennfaktoren berechnen, z. B. den größten vorgekommenen Trennfaktor $^{106}_{116} Q_{10} = 1,5$ oder den Trennfaktor $^{106}_{10} Q_{10} = 1,046$ für 1% Massenunterschied in Probe 1.

Zur Veranschaulichung der relativistischen Zeitdilatation

Von KURT HANS von KLITZING¹

(Z. Naturforsch. 3a, 176—179 [1948]; eingegangen am 21. Oktober 1946)

Es wird am Beispiel des Hohlraumresonators gezeigt, daß die relativistische Zeitdilatation ähnlich wie die schon früher aus elektrodynamischen Gründen gefolgerte Lorentz-Kontraktion anschaulich gedeutet werden kann. Der transversale Doppler-Effekt wird behandelt. Es wird darauf hingewiesen, daß die dargelegten Veranschaulichungen lediglich den Charakter einer Hilfsvorstellung haben können.

Das Bestreben, die relativistischen Effekte dadurch dem anschaulichen Verständnis näher zu bringen, daß man ihr Zustandekommen klassisch zu erklären versucht, führt bekanntlich bei der sogen. Lorentz-Kontraktion verhältnismäßig leicht zum Ziele.

Wie aus einer zuerst im Jahre 1889 von O. Heaviside durchgeführten Rechnung hervorgeht, erfahren die Äquipotentialflächen des elektrischen Feldes aus elektrodynamischen Gründen bei einer gleichförmigen Translationsbewegung eine Ver-

kürzung in der Bewegungsrichtung im Maßstab $1:\sqrt{1-v^2/c^2}$, wobei unter v die Translationsgeschwindigkeit, unter c die Lichtgeschwindigkeit verstanden wird. Im Rahmen der neueren Vorstellungen vom elektrischen Aufbau der Materie bereitet es keine Schwierigkeiten, das gleiche Gesetz auch für die Atome und damit für alle Körper als gültig anzunehmen. Man erhält so eine anschauliche Erklärung für das Ergebnis des Michelson-Versuchs sowie für die Tatsache, daß die genannte

¹ Ratzeburg (Lbg.), Möllnerstr. 27.