

Bestimmung der Bildkurve bei einem elektromagnetischen Isotopenseparator mit inhomogenem magnetischen Sektorfeld

Von F. P. VIEHBÖCK,

Physikinstitut des Reaktorzentrums Seibersdorf,
Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie G.m.b.H.,
Österreich,

H. WOTKE *

Institut für Experimentalphysik der Technischen Hochschule
Wien

und F. RÜDENAUER,

I. Physikalisches Institut der Universität Wien

(Z. Naturforschg. **19 a**, 1333–1334 [1964]; eingegangen am 19. Mai 1964)

Die Dimensionierung der Vakuumkammer und des Magnetfeldes des Seibersdorfer Isotopenseparators wurde so vorgenommen, daß Massen, die sich um $\pm 5\%$ von der Mittelmasse M_0 unterscheiden, gleichzeitig gesammelt werden können^{1, 2}. Dabei müssen die Eintrittsspalte der Kollektortaschen für die einzelnen Isotope entlang der Richtungsfokussierungskurve des magnetischen Sektorfeldes angeordnet werden. Würden sich die Eintrittsspalte der Kollektortaschen nicht entlang der Richtungsfokussierungskurve befinden, so würde infolge unscharfer Abbildung eine Kontamination durch die Nachbarmassen erfolgen und der gewünschte Anreicherungsfaktor verlorengehen.

Als Ablenkmagnetfeld wird ein inhomogenes Sektorfeld verwendet, das durch konische Polschuhe realisiert wurde. Das Feld hat einen Sektorwinkel von $\Phi = 169^\circ 42'$ und einen logarithmischen Feldgradienten von $n = 1/2$. Der Radius der mittleren Ionenbahn beträgt $r_m = 100$ cm; der mittlere Polschuhabstand $2 Z_0 = 15$ cm.

Die Koordinaten für den einem Gegenstandspunkt entsprechenden Bildpunkt können mit Hilfe der von TASMAN und BOERBOOM³ angegebenen Formeln berechnet werden. Berücksichtigt man nur Glieder 1. Ordnung in α_m und das gemischte Glied $\alpha_m \beta$ (α_m ist der halbe radiale Öffnungswinkel des Ionenstrahls in der Symmetrieebene), so erhält man für den Abstand l'' des Bildpunktes vom Polschuhrand den Ausdruck:

$$l'' = -r_m \frac{M_1 + M_{12} \beta}{N_1 + N_{12} \beta} \quad (1)$$

(siehe Abb. 1), wobei die relative Geschwindigkeitsstreuung

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{\delta m}{m} \quad (2)$$

ist und die Koeffizienten M_1 , M_{12} , N_1 und N_{12} nur von den Magnetfeldparametern abhängig sind³. r_m ist der Radius der mittleren Ionenbahn. Der Abstand des Bildpunktes vom Feldrand ist, wie aus (1) zu sehen

ist, eine Funktion der relativen Massendifferenz. Der senkrechte Abstand einer Ionenbahn vom Bildpunkt der mittleren Ionenbahn ($r = r_m$) ist (unter Berücksichtigung der Glieder 1. Ordnung in β) gegeben durch

$$y_2 = r_m \left(M_2 - \frac{M_1}{N_1} N_2 \right) \beta = 2 D_m \cdot \beta, \quad (3)$$

wobei D_m der Dispersionskoeffizient des inhomogenen Sektorfeldes ist. Die Neigung der Bildkurve im System x_2, y_2 ist also gegeben durch (Abb. 1)

$$\tan \chi = \frac{\delta x_2}{\delta y_2} = \frac{\delta l''}{\delta \beta} \cdot \frac{\delta \beta}{\delta y_2}. \quad (4)$$

Einsetzen der Differentialquotienten von (1) und (3) in (4) ergibt:

$$\tan \chi = \frac{M_{12} N_1 - N_{12} M_1}{(M_1/N_1) N_2 - M_2} \cdot \frac{1}{[N_1 + (N_{12}/2 D_m) y_2]^2}. \quad (5)$$

Für $y_2 = 0$ ist

$$\tan \chi(y_2 = 0) = \frac{M_{12} - N_{12} (M_1/N_1)}{N_1 [M_2 - (M_1/N_1) N_2]}. \quad (5 a)$$

Bei einem Sektorwinkel von $169^\circ 42'$ und bei $l' = l''$ (symmetrische Anordnung) schneidet somit die Bildkurve unter einem Winkel von $\chi_0 = 56^\circ 42'$ die Senkrechte zur optischen Achse.

In der Nähe der mittleren Ionenbahn läßt sich die Bildkurve näherungsweise durch Integration von (5) berechnen und man erhält folgenden Ausdruck:

$$s = 2 D_m \cdot \frac{(M_{12}/N_{12}) N_1 - M_1}{(M_1/N_1) N_2 - M_2} \left\{ \frac{1}{N_1 - (N_{12}/2 D_m) t} - \frac{1}{N_1} \right\}. \quad (6)$$

Das Koordinatensystem (s, t) ist aus Abb. 1 ersichtlich.

Es ist zu berücksichtigen, daß eine zusätzliche Ablenkung des Ionenstrahls im Streufeld erfolgt und ins-

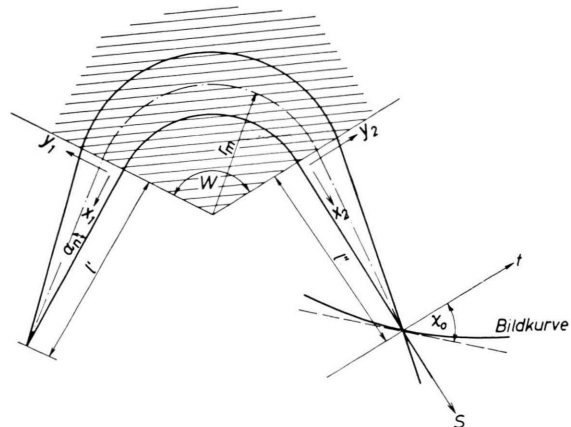


Abb. 1. Koordinatensystem. $s \parallel x_2$.

* Derzeit Laboratoire Joliot-Curie de Physique Nucleaire, Orsay.

¹ F. P. VIEHBÖCK, The Design of the E. M. Isotope Separator in Reactor Center Seibersdorf, in E. M. Sep. of Radioact. Isotopes, p. 91, Springer-Verlag, Wien 1961.

² F. P. VIEHBÖCK u. F. BUSCHBECK, Atomkernenergie **7**, 362 [1962].

³ H. A. TASMAN u. A. J. H. BOERBOOM, Z. Naturforschg. **14 a**, 121 [1959].



besondere die von der mittleren Ionenbahn abweichenden Bahnen im Streufeld eine verschieden starke Ablenkung erfahren können, daher wurde auch eine experimentelle Bestimmung der Kollektorebene durchgeführt. Als Grundlage für die Berechnung der Gl. (5) wurden die Feldkoeffizienten M_1 , M_2 , N_1 und N_{12} , wie sie sich ohne Berücksichtigung des Streufeldes ergeben, herangezogen. Das Streufeld wurde dadurch berücksichtigt, daß der Ursprung des Koordinatensystems s , t in den experimentell ermittelten Bildpunkt der mittleren Ionenbahn verlegt wurde (97,7 cm vom Polschuhrand).

Für die experimentelle Bestimmung der Richtungsfokussierungskurve wurde folgende Methode angewandt (siehe Abb. 2):

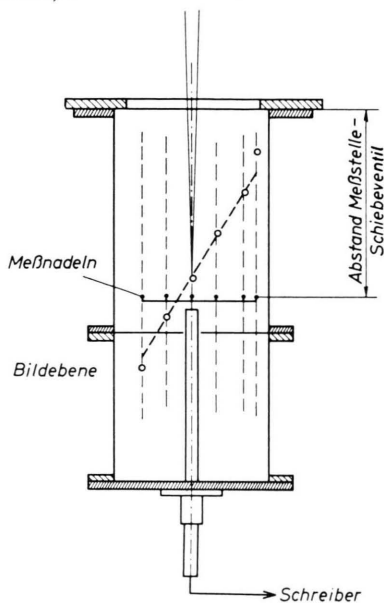


Abb. 2. Meßanordnung in der Kollektorkammer.

Es werden mehrere parallel geschaltete vertikale Nadeln in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse in Abständen von einigen cm montiert. Der Ionenstrahl wird durch Änderung des Magnetfeldes oder der Hochspannung mit konstanter Geschwindigkeit quer durch die Kollektorkammer bewegt. Dadurch trifft er der Reihe nach auf Nadel 1, 2, 3 usw. auf. Der auf den Nadeln auftreffende Strom wird mit Hilfe eines Schreibers registriert. Die auf diese Weise erhaltenen Ionenstrompeaks werden verschieden breit und hoch sein, je nach der Lage der Nadel zum Bildpunkt. Durch Verschieben der Nadel in Richtung der Achse der Kollektorkammer und Wiederholung der Messungen an mehreren Stellen kann man jene Punkte ermitteln, wo der Ionenstrahl bei Nadel 1, 2, 3 usw. am besten fokussiert ist. Die Punkte bester Fokussierung sind dadurch gekennzeichnet, daß bei ihnen die vom Schreiber registrierten Ionenstromkurven möglichst schmal und möglichst hoch sein müssen.

Ausführung der Messung

Es wurden fünf parallel geschaltete Nadeln (Material: Kupfer 1,4 mm Φ) verwendet, deren Abstand ca. 50 mm betrug. Auf der Innenseite war noch eine sechste Nadel (Richtung zum Krümmungsmittelpunkt) in geringerem Abstand montiert. Die Nadeln wurden isoliert an einem in Richtung der Achse der Kollektorkammer verschiebbaren Stahlrohr befestigt.

Durch Messung der Länge des aus der Kollektorkammer herausragenden Teiles des Rohres konnte jeweils die genaue Position der Nadeln in der Kammer bestimmt werden. Es wurde in einer Entfernung von 47 mm vom Schieberventil, das die Kollektorkammer vom übrigen Vakuumsystem trennt, mit den Messungen begonnen. Die Messungen wurden in Abständen von 20 mm wiederholt. Insgesamt wurde der Bereich von 47 mm bis 602 mm (Abstand Schieberventil – Meßstelle) untersucht (Abb. 2).

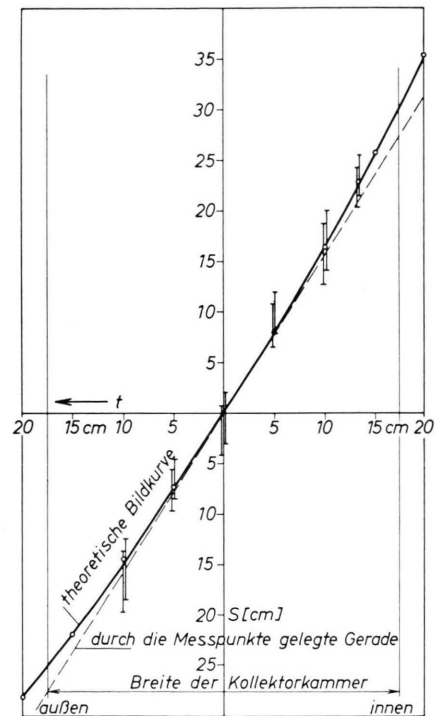


Abb. 3. Bildkurve.

In Abb. 3 ist die rechnerische und experimentelle Bildkurve dargestellt. Wie daraus ersichtlich ist, stimmen beide innerhalb der Meßgenauigkeit überein. Das magnetische Streufeld hat also keinen wesentlichen Einfluß auf die Fokussierungseigenschaften. Aus herstellungstechnischen Gründen wurden die Kollektortaschen in einer Ebene angeordnet, die innerhalb des praktisch verwendeten Bereichs in der Kollektorkammer mit der theoretischen Bildkurve fast identisch ist.