

# Über eine Verbesserung an der Pendelwaage von Weiß-Foëx.

Von  
H. Bittner.

Aus dem I. Chemischen Laboratorium der Universität Wien.

Mit 1 Abbildung.

(Eingelangt am 17. Aug. 1951. Vorgelegt in der Sitzung am 11. Okt. 1951.)

Das Prinzip dieses für magnetische Messungen an schwach magnetischen Stoffen viel verwendeten Kraftmessers<sup>1</sup> ist folgendes:

Ein an mehreren (meist zwei V-förmig gespannten) Fäden horizontal aufgehängtes Stäbchen aus Quarz o. dgl. trägt an einem Ende die zu untersuchende Substanz. Die Kraft, die das zur Messung verwendete Feld auf die Probe ausübt, lenkt das System aus seiner Ruhelage ab. Die Ablenkung wird dann, meist durch eine Dynamometerspule, wieder rückgängig gemacht; man mißt den diese Spule durchfließenden Strom (Kompensationsmethode). Die V-förmigen Fäden erschweren dabei eine Bewegung des Systems in seitlicher Richtung auf die Polschuhe zu.

Ein solches System hat auch gewisse Nachteile:

1. Die Schwingungsdauer ist so kurz, daß die Ablesung des Nullpunktes sehr schwierig wird.
2. Bei der Messung insbesondere sehr schwach magnetischer Stoffe ist seine Empfindlichkeit kaum ausreichend.

Die Schwingungsdauer ist, wie bei jedem Pendel, gegeben durch

$$\tau = 2\pi \left(\frac{l}{g}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Ist also z. B.  $l = 20$  cm, so wird  $\tau$  für Hin- und Rückgang zirka 1 Sek. Viel länger kann man die Fäden praktisch kaum machen. Durch Erschütterungen des Gebäudes wird das System dauernd zu solchen Schwingungen angeregt und dadurch die Ablesung des Nullpunktes

---

<sup>1</sup> Vgl. G. Foëx, Ann. Physique 16, 196 (1921).

unsicher. Im Interesse ausreichender Empfindlichkeit muß man aber das System leicht halten.

Verschiedene Autoren suchten diesen Störschwingungen durch die Anwendung von Dämpfungsscheiben zu begegnen, die sich in Metallzylindern bewegen. Da man jedoch diese Scheiben nicht allzu genau einpassen kann — das System ist ja gegen seitliche Bewegungen nicht völlig stabil —, reicht die dämpfende Kraft dieser Vorrichtungen nicht aus.

Anders wird das, wenn es gelingt, die Kraftkonstante des schwingenden Systems herabzusetzen, etwa so, wie man es bei empfindlichen Waagen

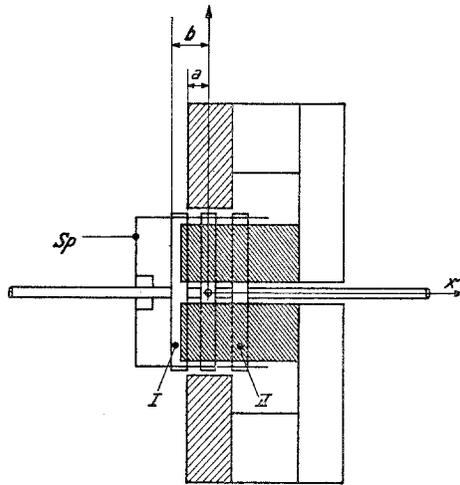


Abb. 1.

durch die Hebung des Schwerpunktes bis unter die Mittelschneide tut. Dadurch steigt gleichzeitig die Empfindlichkeit und man kann den Apparat auch schwerer und stabiler bauen.

Überhaupt ist es erwünscht, höhere Empfindlichkeiten zu erreichen: Die Verschiebung  $s$ , die das System unter der Einwirkung der Kraft  $K$  erleidet, ist gegeben durch  $s = (K/P) \cdot l$  ( $P$  = Gewicht des Waagebalkens,  $l$  = Fadenlänge). Ist z. B.  $P = 2$  g,  $l = 20$  cm, so ist für  $K = 10^{-3}$  g:  $s = 0,1$  mm. In dieser Größenordnung bewegen sich die Kräfte, die bei der Messung diamagnetischer Substanzen auftreten. Will man sie auf 1% genau messen, so muß die Lage des Balkens auf  $1/1000$  mm genau bestimmt werden. Die Amplitude der oben erwähnten Zitterschwingungen ist aber im allgemeinen wesentlich größer. Bei einem von uns früher verwendeten Apparat wurde diesen Mängeln durch Verwendung eines Pendels mit Gegengewichten an Stelle eines

Fadenpaares abgeholfen<sup>2</sup>. Dieses Schneidenpendel bringt aber unkontrollierbare Reibungskräfte mit ins Spiel, so daß der Nullpunkt unsicher wird; dadurch geht der Vorteil der höheren Empfindlichkeit zum großen Teil wieder verloren. Zudem genügt ein leichter, seitlicher Stoß, um die Justierung des Apparates zunichte zu machen. Dies wird bei dem im folgenden beschriebenen System vermieden (Abb. 1).

Auf dem aus Papier gefertigten Spulenkörper *Sp* sitzen drei Wicklungen mit je zehn Windungen 0,1 mm  $\varnothing$  Kupferdraht; die mittlere Wicklung schwingt zwischen den Polschuhen eines Lautsprechermagneten und dient als Meßspule; den sie durchfließenden Strom mißt ein Galvanometer. Die Ströme, die die Spulen I und II durchfließen, werden für jede einzelne Spule je einem Akkumulator entnommen und sind durch Widerstände regelbar. Wenn man die Spulen in Serie schaltet, braucht man dann vier Stromzuleitungen, wozu wir 5  $\mu$  starke, 1 mm breite Goldfolien verwenden.

Man schiebt nun durch Spule I einen Strom, der so gerichtet ist, daß er das System nach rechts zu ziehen sucht, bzw. durch Spule II einen solchen, der eine nach links gerichtete Kraft ergibt; diese Kräfte mögen sich nun, einschließlich der mechanischen Pendelkraft, bei  $x = 0$  das Gleichgewicht halten. Bewegt sich dann das System um eine kleine Strecke nach rechts, so nimmt die magnetische Kraft der Spule I zu, da sie in stärkere Feldbereiche kommt; die Kraft auf Spule II nimmt ab.

Es entsteht also eine Resultierende der magnetischen Kräfte, die, in erster Näherung proportional der Elongation, der Pendelkraft entgegengerichtet. Das gleiche geschieht natürlich auch bei Bewegung nach links.

Die Schwingung des Systems erfolgt dann nach

$$m \ddot{x} = [\varepsilon(i_1, i_2) - \alpha] \cdot x \quad i_1, i_2 = \text{Stromstärken in I und II}$$

und eine elementare Rechnung ergibt:

$$\varepsilon(i_1, i_2) = 2 \pi R v \{ i_1 [H(x - b) - H(x - a)] + i_2 [H(x + a) - H(x + b)] \}.$$

$R$  = Spulendurchmesser,  $v$  = Windungszahl pro cm.

Man sieht also, daß man  $i_1$  und  $i_2$  so wählen kann, daß die Summe der mechanischen und magnetischen Bindungskonstante der Schwingung beliebig klein wird.

Im praktischen Betrieb wurde diese Astasierung so weit getrieben, daß die Kräfte der Luftreibung, die an der im Magneten schwingenden Spule auftreten, zu aperiodischer Dämpfung hinreichen. Die Empfind-

<sup>2</sup> H. Nowotny und H. Bittner, Mh. Chem. 81, 887 (1950).

lichkeit steigt dann auf etwa das 5fache und die aperiodische Einstellung ermöglicht rasches Arbeiten. Der Apparat ist gegenüber Störungen durch Schwingungen usw. wesentlich unempfindlicher als die übliche Form der Pendelwaage und hat sich bereits bei einer Reihe von magnetochemischen Untersuchungen bestens bewährt, die demnächst in dieser Zeitschrift erscheinen werden.

#### Zusammenfassung.

Es wird eine Verbesserung der Pendelwaage nach *Weiß-Foëx* beschrieben, bei der durch ein System von Dynamometerspulen im Felde eines Permanentmagneten höhere Empfindlichkeit und aperiodische Einstellung erreicht werden.