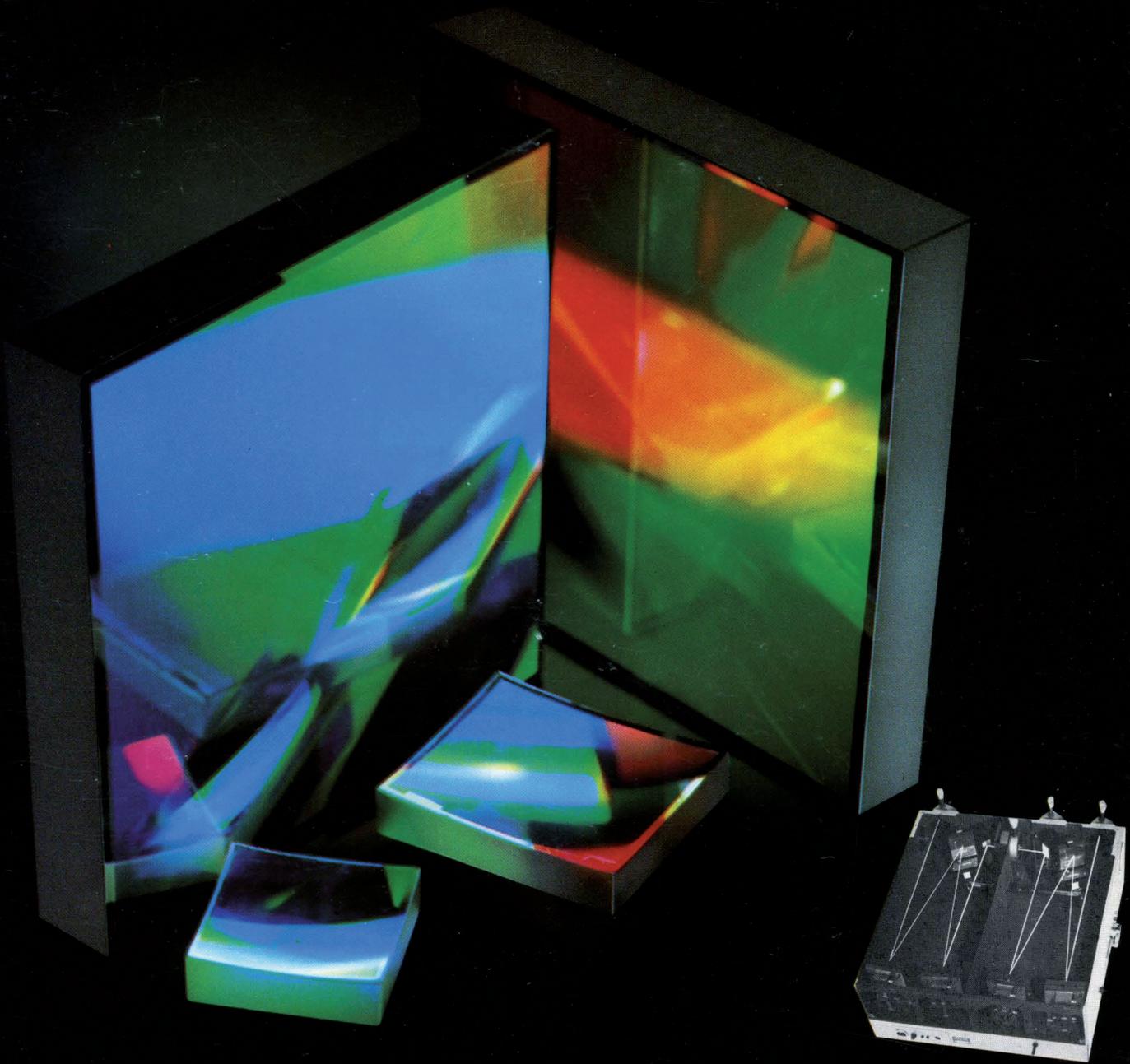


E 2688 FX

# laser + elektro- optik 1



DM 12,50  
Stuttgart  
März 1981  
13. Jahrgang



Erste deutschsprachige  
Fachzeitschrift für Laser, Elektro-Optik  
und Strahlentechnik

Industrielle Anwendungen · Materialbearbeitung  
Chemie · Nachrichten- und  
Messtechnik · Medizin · Umweltforschung



R. Schwankner\*

## Die Lichtmühle nach Crookes

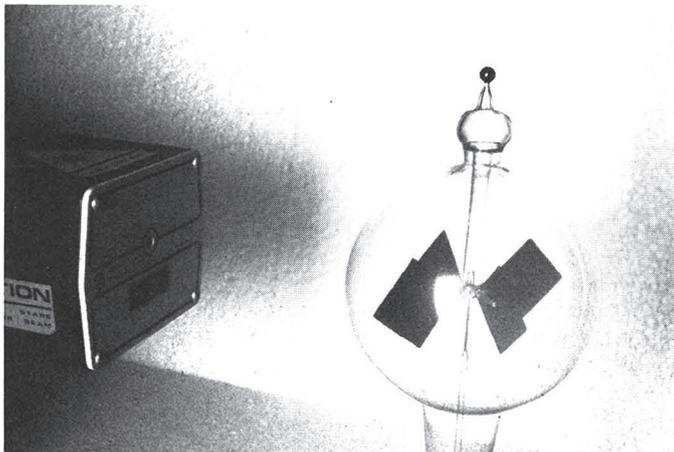
*The fifth experiment of this series deals with Crookes' radiometer a very subtle device for radiation measurement in far IR in the pre-photomultiplier era.*

## Die Crookesche Lichtmühle

Die Crookesche Lichtmühle (1874) oder genauer ihre Abwandlung, das Radiometer, war bis in die vierziger Jahre unseres Jahrhunderts hinein ein vielbeachtetes Strahlungsmessgerät. Die Lichtmühle besteht in der Originalform aus einer evakuierten Glaskugel, in der ein Flügelrad leichtester Bauart mit vier einseitig berussten Glimmerplättchen möglichst reibungsarm gelagert ist und um seine senkrechte Achse rotieren kann. Zu Beginn unseres Jahrhunderts begann man, die Natur der «Radiometerkräfte», die bei Lichteinfall das Flügelrad einem scheinbaren «perpetuum mobile» gleich bewegen, näher zu studieren. Zunächst dachte man, dafür die Impulsänderung der auftretenden Lichtquanten verantwortlich machen zu können, wovon man aber bald abkam, da der Radiometereffekt im Hochvakuum verschwindet.

Die Druck-/Radiometerkurve wurde mit einer Variante der Lichtmühle aufgenommen, dabei diente die Auslenkung eines Balkens als Mass der Strahlungsintensität, an dessen einem Ende eine einseitig berusste Glimmerscheibe und an dessen anderem Ende ein Balancegewicht befestigt war. An der Drehachse befand sich ein Spiegel, so dass die Ablesung mit einem Lichtzeiger möglich wurde, ähnlich einem Spiegelgalvanometer oder einer Gravitationsdrehwaage (übrigens zwei Instrumente, bei denen sich die Verwendung eines Justierlasers als Lichtquelle sehr gut bewährt). Bei niedrigen Gasdichten, wenn also die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle gross gegenüber den Dimensionen des Balkens ist, wächst der Radiometereffekt proportional mit dem Druck, bei grossen Gasdichten hingegen (also im Bereich von Zehntel- bis etwa einige Torr) nimmt der Effekt mit  $1/p$  ab. Dazwischen liegt ein theoretisch mechanistisch wenig verstandenes Gebiet

\*Wissenschaftliches Studienteam, Scheibenstrasse 18, 8220 Traunstein



## Versuch's und beweis es: Nr. 5 Try and prove it: No. 5

maximaler Radiometerwirkung. Die Theorie im Hochdruckbereich ist komplex und bei Hettner nachzulesen [1, 2], der das Radiometer zu dem IR-Strahlungsmessgerät gemacht hat. In allen Druckgebieten erfolgt bei nichtselektiver Bestrahlung die Bewegung immer in Richtung des Temperaturgradienten der Glimmerplatten, der mit der Einstrahlrichtung zusammenfällt. Wir wollen uns einmal eine prinzipielle Betrachtungsweise für den Niederdruckbereich (0,1-0,001 Torr) ansehen, die auf einem einfachen gaskinetischen Modell beruht. Doch zunächst ein kleines Experiment [3]:

Bestrahlen wir mit einem HeNe-Laser (2mW) im abgedunkelten Raum eine geschwärzte Hälfte des Radiometerflügels, so setzt sich das System in Einstrahlrichtung in Bewegung. Strahlt man hingegen auf die reflektierende Seite, so ist nur eine fast unmerkliche Bewegung festzustellen [3]. Zur Kontrolle muss auf alle Fälle immer darauf geachtet werden, dass das Radiometer gerade nicht mehr von selbst anläuft, was durch eine Verstärkung der Verdunklung erzielt werden kann. Auch die Berührung des Glaskolbens mit der warmen Hand sollte vermieden werden. Hingegen kann das leichte Antippen mit einem Bleistift o.ä. die Anfangsreibung überwinden helfen und die Reaktionsschwelle herabsetzen. Die Laserphotonen ( $\lambda = 632,8\text{nm}$ ) werden im Idealfall vollständig von der berussten Glimmerhälfte absorbiert.

$$W = h\nu$$

$\nu$  = Frequenz

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = \text{Plancksches Wirkungsquantum}$$

Bedingt durch die damit verbundene lokale Aufheizung kann die Wärmeenergie an vorbeistreichende bzw. reflektierte Gasmoleküle übertragen werden, die damit eine Geschwindigkeitszunahme erfahren. Der entstehende Rückstoss aufgrund dieser **einseitigen** minimalen Differenz zwischen Auftreff- und Abflugimpuls der Gasmoleküle ist Motor der Flügelradbewegung.

Der Einfachheit halber sei hier nur der Sonderfall der «in sich» reflektierten Moleküle angesprochen, jedoch ist die Komponentenbildung für andere Einfallswinkel als das Flächenlot ähnlich. Die Gasmoleküle erfahren bei der idealen senkrechten Reflexion eine Drehung ihres Geschwindigkeitsvektors um  $180^\circ$ , also folgende Betragsänderung:

$$\Delta v = 2\bar{v}$$

$\bar{v}$  = mittlere Geschwindigkeit der Gasmoleküle

Bei der Reflexion an der unbeschichteten Oberfläche gilt:

$$v \text{ einfallend} \approx v \text{ ausfallend}$$

Dagegen bei der Reflexion an der berussten Seite:

$$v \text{ einfallend} < v \text{ ausfallend}$$

Die Kraft, die bei der Reflexion auf die Unterlage allgemein ausgeübt wird, ist die zeitliche Ableitung der Bewegungsgrösse ( $p$ ) multipliziert mit der Zahl der Ereignisse ( $N$ ) pro Zeiteinheit;  $N$  ist für beide Seiten der Plättchen identisch:

Rückstosskraft, herrührend von Reflexionen auf der *ideal* reflektierenden Seite:

$$|F_{R1}| = N \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{(2\bar{v})m}{\Delta t}$$

Rückstosskraft, bedingt durch Reflexionen an der berussten Seite:

$$|F_{R2}| = N \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{N(2\bar{v} + \Delta v)m}{\Delta t}$$

Der Unterschied ergibt sich zu:

$$|\Delta F| = F_{R2} - F_{R1}$$

Nun könnte man versucht sein, in diesem primitiven Modell erster Näherung Energiebilanzen aufzustellen usw.

Tatsächlich haben jedoch Präzisionsmessungen ergeben, dass man mit obigem Modell, das z. B. auf die Reflexion einer Stahlkugel auf Stahlplatte anwendbar wäre, hier nur bedingt operieren kann und dass die Gasmoleküle nicht gezielt reflektiert, sondern diffus rückgestreut bzw. reemittiert werden und so nicht dem «starrten Modell» der Stoss-gesetze unterliegen [4].

Trotzdem ist das Radiometer ein interessantes Experimentiergerät, an dem man viel Freude haben kann.

**Noch einige Aufgaben:** Beleuchte das Radiometer im abgedunkelten Raum der Reihe nach durch folgende Lösungen hindurch:

Dünnwandige Küvette 1 cm Schichtdicke mit gesättigter Jod-CS<sub>2</sub>-Lsg.; dickwandige Küvette 1 cm Schichtdicke mit gesättigter Alaunlösung. Wie können die Beobachtungen gedeutet werden? Tauche das Radiometer in kaltes Wasser und beobachte.

Acknowledgement: The financial assistance in form of a scholarship from the Studienstiftung des Deutschen Volkes without which this series could not have been achieved is greatly appreciated.

**Literatur:**

- [1] Hettner: Zeitschrift für Physik, 47 (1928), 499
- [2] Hettner: Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, 7 (1928), 209
- [3] Schwankner, R.: Laseranwendungen in der Experimentalchemie – Ein Praktikum, Carl Hanser Verlag, München-Wien 1978
- [4] Franke, H.: Lexikon der Physik, Stuttgart 1969

*Crookesche Lichtmühle*

**Erratum:**

Durch ein bedauerliches Versehen seitens der Redaktion geriet der Formelsatz von Try and Prove it: No. 4 durcheinander, worauf uns der Autor mit Recht hinweist:

$$E = h\nu$$

h = Plancksches Wirkungsquantum

$$h\nu = mc_0^2$$

$$\lambda = \frac{h}{m\nu}$$

$$p = c_0 \frac{h}{\lambda} (c = \lambda\nu)$$

$$\Delta p \cdot \Delta x \approx h$$

$$p = m\nu = \frac{h}{\lambda}$$

$$\Delta\nu = \frac{h}{\Delta x m}$$