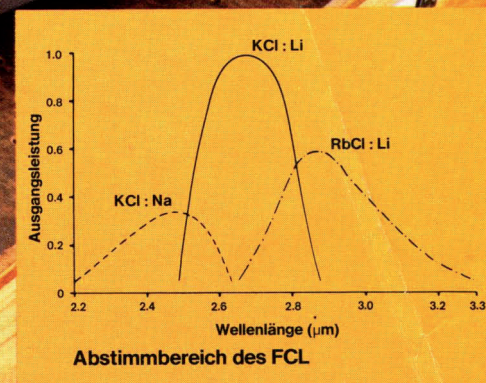
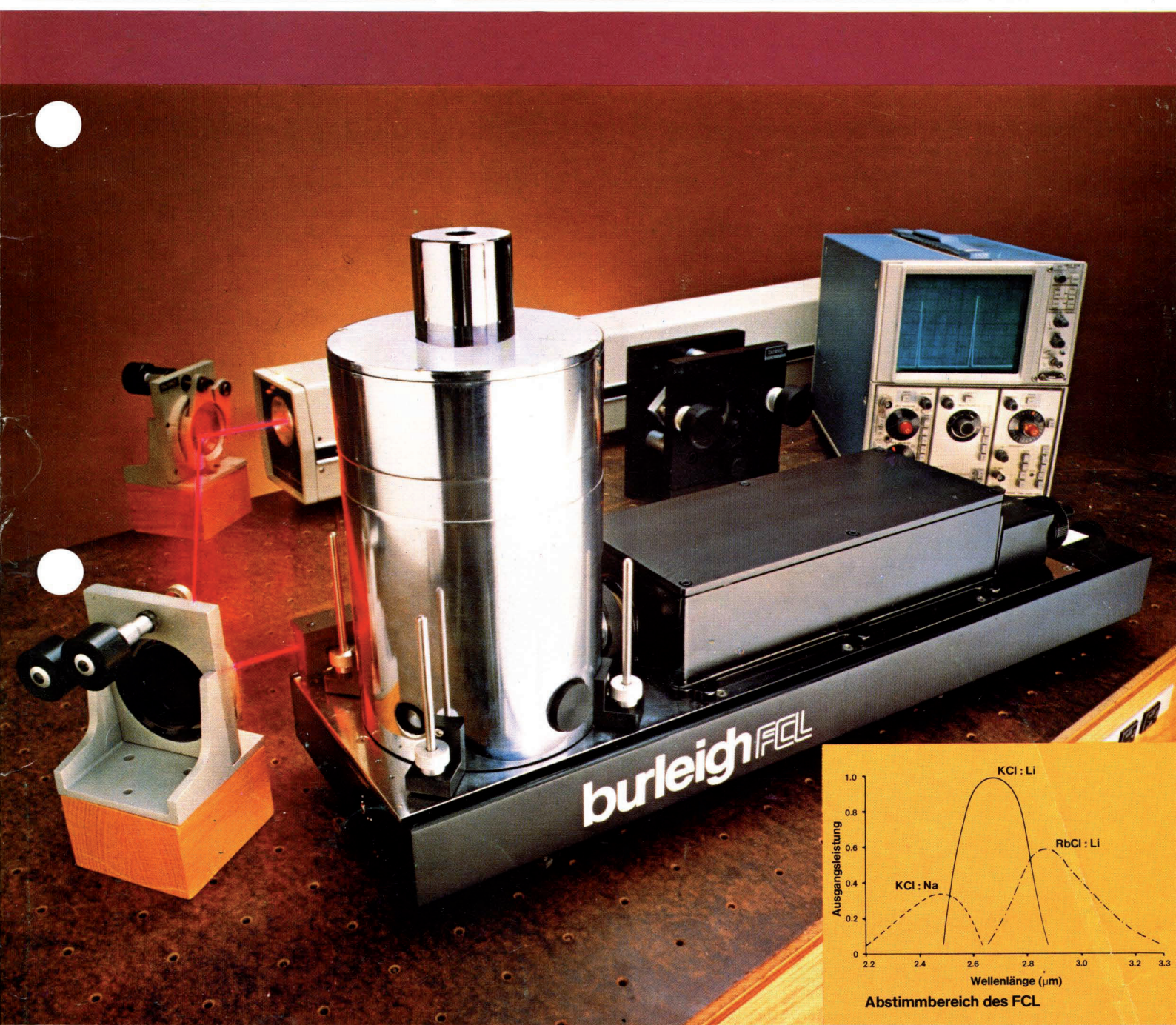


E 2688 FX

laser + elektro- optik



1 DM 12,50
Stuttgart
März 1979
11. Jahrgang



Erste deutschsprachige
Fachzeitschrift für Laser, Elektro-Optik
und Strahlentechnik

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

Versuch's und beweis es: Nr. 1 Try and prove it: No. 1

Eine Reihe von Lehrversuchen werden dieses Jahr von Robert Schwankner* gebracht. Kleine Aufgaben mit kohärenten Wellen, die einesteils Spass machen, andererseits in die kohärente Optik einführen.

This is the beginning of a series of several different laser experiments, presented by R. Schwankner. These tested demonstrations are meant for university and highschool practical courses. Exp. 1 shows how to demonstrate basic phenomenon of refraction and continually changing refraction index by He-Ne-laser. The latter is produced by continual concentration gradient of sugar and can also prove useful as model-model-experiment in order to get an idea of the relativity of view. An inside observer B has no special report about his surroundings, whereas the outsider A swears that the light beams inside the vessel are curved. – Paradoxon of the view ...

Kontinuierlich sich verändernder Brechungsindex

Trifft ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zweier Medien, so ändert sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei scharfer Mediengrenze unsteigig, da die Wechselwirkung mit den Medien eine mehr oder minder starke Verzögerung der Lichtweiterleitung bewirkt. Dieses Phänomen der sprunghaften Geschwindigkeitsänderung beim Medienübergang und der damit verbundenen Richtungsänderung – da jetzt im gleichen Zeitintervall im zweiten Medium eine unterschiedliche Wegstrecke zurückgelegt wird – ist eine in der Natur relativ häufig auftretende Erscheinung (Brechung).

Erfolgt der Übergang vom optisch dünneren ins optisch dichtere Medium (mit kleinerer Lichtgeschwindigkeit), so ist makroskopisch eine Brechung zum Einfallslot hin festzustellen. Aus dem Prinzip der Umkehrbarkeit des Strahlweges folgt, dass bei umgekehrtem Lichtweg die Brechung vom Einfallslot weg führt. Im 19. Jahrhundert waren die Naturforscher, insbesondere jene, welche zu einer teleologischen Auffassung der Naturgesetze neigten, der Meinung, dass die Natur mit der Gewalt zielstrebigere Vernunft beseelt sei. Das Fermatsche Prinzip drückt dies aus, indem es besagt, dass bei Betrachtung eines beliebigen Abschnitts eines Lichtstrahls – von besonderem Interesse in unserem Fall die unmittelbare Umgebung der Mediengrenze – der Verlauf desselben so beschaffen ist, dass ein Extremum der Durchlaufzeit zwischen zwei frei wählbaren Punkten erzielt wird. Die Erfahrung lehrt, dass in der geometrischen Optik Minima der Durchlaufzeiten auftreten. Das Fermatsche Prinzip wird deshalb häufig Prinzip der «kürzesten Lichtzeit» genannt. Es sind grundsätzlich 3 Fälle zu unterscheiden:

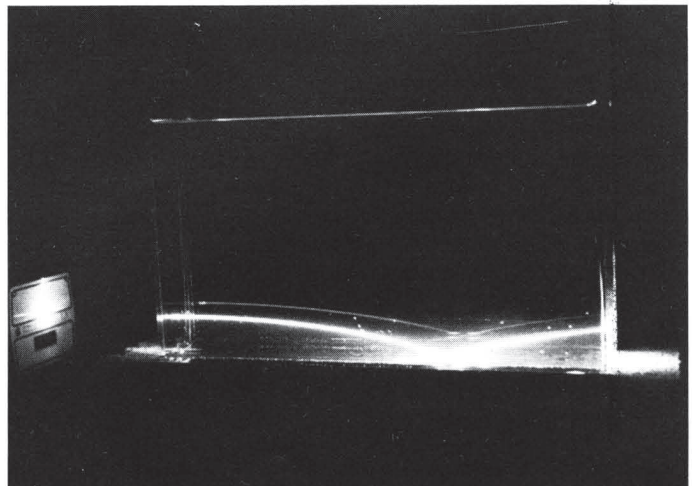
- Beim Eintritt ins optisch dichtere Medium erfolgt Brechung zum Einfallslot hin.
- Beim Eintritt ins optisch dünnere Medium erfolgt die Brechung vom Einfallslot weg.
- Oberhalb eines bestimmten Grenzwinkels kann der Austritt von optisch dichteren ins optisch dünnere Medium nicht mehr erfolgen. Man spricht in diesem Fall von Totalreflexion. Alle diese besprochenen Erscheinungen lassen sich mittels eines 0,5-mW-Helium-Neon-

Lasers einfach belegen. Man benötigt dazu eine grosse Klarsichtküvette, die mit Wasser gefüllt ist. Zur besseren Kontrastierung wird dem Wasser eine Lösung von Styropor in Aceton beigemischt. Der Eintritt vom optisch dünneren ins optisch dichtere Medium erfolgt von Luft in Wasser. Der umgekehrte Fall lässt sich realisieren, wenn man mit dem Laser seitlich in die Küvette einstrahlt und innerhalb der Küvette mit einem kleinen Spiegel den Laserstrahl gegen die Wasseroberfläche umlenkt. Es hat sich als nützlich erwiesen, den Justierspiegel an einem steifen Kupferdraht zu befestigen, um damit frei im Gefäss operieren zu können.

Sprunghafte Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen an der Mediengrenze treten nur auf, wenn diese hinreichend scharf ausgeprägt ist. Ist sie hingegen fließend, ändert sich der Brechungsindex kontinuierlich, das heisst, wir erhalten einen gekrümmten Lichtweg [1].

In die Grossküvette füllen wir bis zu zwei Dritteln Wasser ein und stellen sie erhöht an einen ruhigen Ort. Mit einem Analysentrichter, welcher bis an den Gefässboden reicht, wird vorsichtig mit höchstkonzentrierter Zuckerlösung unterschichtet. Aufgrund der Diffusion breitet sich die zunächst wegen der höheren Dichte absinkende Zuckerlösung entgegen dem Gravitationsfeld langsam aus. Wir erhalten eine Durchmischungszone, in der sich der Brechungsindex kontinuierlich verändert. Nach einigen Stunden ist die daraus resultierende Krümmung des seitlich einfallenden Lichtstrahls unverkennbar, wenn mit Hilfe einer Hebebühne die Schichtgrenze durch Heben und Senken des Lasers vorsichtig abgetastet wird. Die Abbildung zeigt einen derartig gekrümmten Strahl.

Nach einigen Stunden ist das kontinuierliche Konzentrationsgefälle so stark ausgeprägt, dass der Lichtstrahl aufgrund der Krümmung den Küvettenboden erreicht und dort totalreflektiert wird. Nach Reflexion also auf seinem Weg vom optisch dichteren, höher konzentrierten ins optisch dünnere, niedriger konzentrierte Medium, weist der Strahl jetzt inverse Krümmung auf! Mit einigem Geschick können bis zu 3 derartige Bögen in der Küvette erzeugt werden, was eindrucksvoll die Theorie der Brechung untermauert. Mit fortschreitender Diffusion werden die Brechungsindexunterschiede immer geringer. Die Strahlkrümmung nimmt ab. Die Zone maximaler Krümmung verschiebt



*Robert Schwankner, Wissenschaftliches Studienteam, Scheibenstr. 18, 8220 Traunstein

sich ständig nach oben. Nach einigen Tagen liegt eine homogene Lösung vor. Der Lichtstrahl passiert die Küvette ungehindert. [2].

Nach Robert Pohl kann man dem Lichtstrahl auch einen wellenförmigen Verlauf auf diese Weise aufzwingen: Man bedient sich dabei der Schichtung folgender drei Flüssigkeiten: Unten: gesättigte Alaunlösung ($1,04 \text{ g/cm}^3$); Mitte: Glycerin mit Ethanol 1:1 ($1,01 \text{ g/cm}^3$); Oben: 10% Ethanol in Wasser ($0,98 \text{ g/cm}^3$); alle Lösungen sind mit etwas Chininsulfat und Schwefelsäure versetzt und die scharfen Grenzen durch mehrstündige Diffusion beseitigt.

Stellen wir uns das abgebildete Experiment vielfach vergrößert vor und bezeichnen den Lichteintritt mit A und den Totalreflexionsauftrittspunkt mit B. Ein Beobachter in B empfindet die Strecke AB als «Gerade». Der Begriff «Gerade» in einem Raum wird ja normalerweise mit der geraden Ausbreitung des Lichtes definiert. Ein externer Beobachter erkennt jedoch, dass in dem System alle Lichtstrahlen gekrümmt verlaufen. Die Ursache dafür liegt in den beiden unterschiedlichen Medien begründet – Zuckerlösung mit kontinuierlichem Konzentrationsgefälle, Luft mit isotropem Brechungsindex. Es zeigt sich mit diesem Modell-Modell-Experiment, die Relativität des

Begriffs «Gerade». Einsteins allgemeine Relativitätstheorie forderte eine Raumkrümmung durch starke Gravitationsfelder: Im Schwerfeld der Sonne sollte das von benachbarten Fixsternen ausgesandte Licht abgelenkt werden. Während der Sonnenfinsternis 1919 konnten zwei englische Expeditionen – eine nach Sobral in Nordbrasilien, die andere auf die Insel Principe im Golf von Guinea – Einsteins Voraussagen exakt bestätigen und damit die Relativitätstheorie untermauern.

Die neue Physik war in aller Munde:

«Alle Zweifel sind verschwunden,
Endlich ist es nun gefunden,
das Licht, das läuft natürlich krumm
zu Einsteins allergrösstem Ruhm».

Literatur:

- [1] Schwankner, Robert: Laseranwendungen in der Experimentalchemie e-Praktikum. 1. Aufl., München, Wien, Hanser 1978
- [2] Pohl, Robert: Optik und Atomphysik. 12. Auflage, Berlin-Heidelberg-New York, Springer 1967