

Untersuchung eines Temperaturgradientenfeldes mittels eines streifenden Refraktometers

W. I. Bojarinzew, E. W. Gummjennik, B. S. Rinkewitschjus, W. A. Frost

Eine der Möglichkeiten zur Untersuchung makroskopischer Wirbelstrukturen in Stratifikationsflüssigkeiten stellt die Anwendung von refraktometrischen Methoden dar, die auf die Erfassung von kurzzeitigen Refraktionswerten eines engen Laserbündels, welches das Untersuchungsobjekt durchstrahlt, basieren [1], [2]. Der unbestreitbare Vorteil dieser Methode besteht darin, daß es möglich ist, operative, quantitative Informationen über den Integralwert des Brechungskoeffizientengradienten (der Temperatur, der Konzentration) zu erhalten.

Das Aufbauschema eines Laserrefraktometers, mit dessen Hilfe Dichtestörungen, verursacht durch einen sich in der Stratifikationsflüssigkeit ausbreitenden Wirbelring, untersucht wurden, ist in Bild 1 dargestellt. Das durch

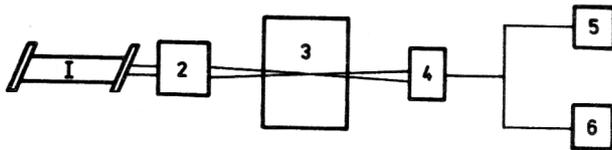


Bild 1
Aufbauschema eines Laserrefraktometers, 1 – Laser, 2 – optisches System, 3 – Arbeitsabschnitt, 4 – Fotoempfänger, 5 – Lichtstrahloszillograf, 6 – Spektralanalysator

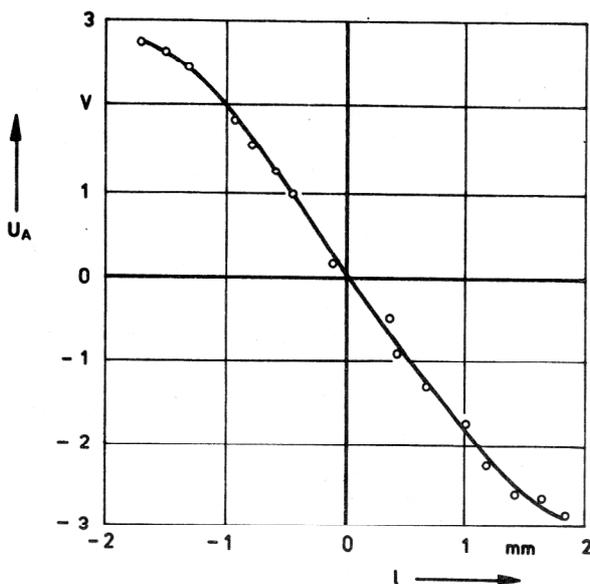


Bild 2
Eichgrafik des positionssensiblen Fotoempfängers

den Laser 1 erzeugte Bündel wird im optischen System 2 umgewandelt, um die erforderlichen räumlichen Parameter im Arbeitsbereich 3 zu haben. Das durch den Arbeitsbereich hindurchgegangene Laserbündel fällt auf den positionssensiblen Fotoempfänger 4. Die Ausgangsspannung des Fotoempfängers wird mittels des digitalen Voltmeters 5 fixiert und auf dem Band des Schreibgerätes 6 registriert.

Für die Arbeit mit dem positionssensiblen Fotoempfänger wird eine Eichgrafik $U_A = f(l)$ aufgenommen, wobei l die Verschiebung des Bündels in der Ebene des Fotoempfängers für gegebene Intensität und gegebenen Durchmesser des Lichtbündels ist. In Bild 2 ist die Eichgrafik für ein Lichtbündel der Leistung $P = 5$ MW bei einem Durchmesser von $d = 2$ mm dargestellt.

In Bild 3 ist die mittels des Laserrefraktometers in einem fixierten Querschnitt gewonnene Aufzeichnung einer Störung des Dichtegradienten, verursacht durch die Ausbreitung eines Wirbelrings in einer Stratifikationsflüssigkeit, zu sehen.

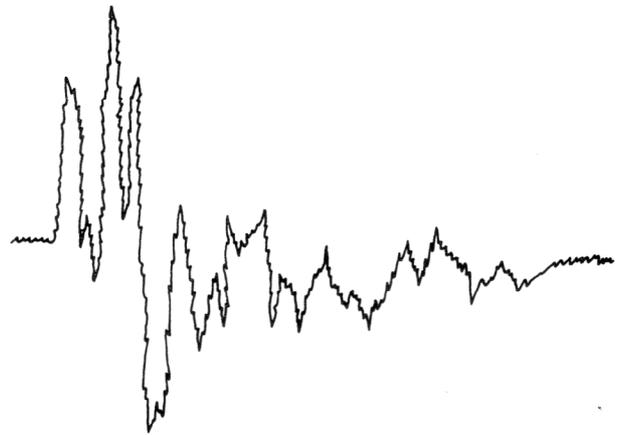


Bild 3
Aufzeichnung einer Dichtestörung, die durch die Ausbreitung eines Wirbelrings hervorgerufen wurde ($N = 0,5 \cdot 1/s$)

Der Nachteil des oben beschriebenen Refraktometers ist der, daß die Information über die Änderung des Brechungskoeffizientengradienten (der Temperatur, der Konzentration) nur aus einem kleinen Bereich des Untersuchungsobjektes gewonnen werden kann, der durch die Abmessung des Laserbündels bestimmt wird. Eine Vergrößerung des mit Hilfe des statischen Refraktometers untersuchbaren Bereiches ist möglich durch Anordnung eines Mehrkanalsystems [3], dessen Meßkanäle jeder für sich dem oben beschriebenen Refraktometer analog sind. Jedoch trifft die praktische Realisierung solch eines

Mehrkanalsystems auf erhebliche Schwierigkeiten, die zusammenhängen mit der Komplizierung des Aufspaltblocks des Laserbündels, der Matrix der positionssensiblen Elemente und der Forderung nach einem eindeutigen Zusammenhang zwischen jedem Lichtbündel und jedem Element der Empfangsmatrix.

Eine andere Möglichkeit, den untersuchbaren Bereich mit hoher räumlicher Auflösung zu vergrößern, besteht in der Anfertigung eines streifenden Refraktometers.

Das Arbeitsprinzip solch einer Anlage basiert auf der kurzzeitigen Erfassung der Refraktion eines Laserbündels, die durch die in der Strömung vorhandenen Brechungskoeffizientgradienten hervorgerufen wird. Das Aufbauschema des angefertigten streifenden Laserrefraktometers ist in Bild 4 dargestellt. Das durch den

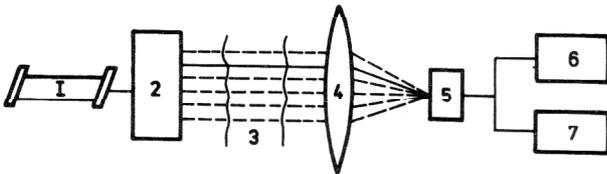


Bild 4

Aufbauschema eines streifenden Laserrefraktometers, 1 – Laserlichtquelle, 2 – Abtaster, 3 – Untersuchungsobjekt, 4 – Brennlense, 5 – positionssensibler Fotoempfänger, 6 – Lichtstrahloszillograf, 7 – Spektralanalysator

optischen Quantengenerator 1 erzeugte Laserbündel fällt auf den Abtaster 2, der einen im Neigungswinkel regulierbaren Spiegel darstellt. Der Spiegel liegt in der Brennebene der Linse 3. Mit dieser Konstruktion des Abtasters erfolgt eine parallele Verschiebung des Laserbündels in einem Bereich, der durch die Apertur der Linse des Abtasters bestimmt wird. Der Empfangsteil der Anlage enthält die Sammellinse 4 und den in ihrer Brennfäche angeordneten positionssensiblen Fotoempfänger 5. Die Signalerfassung erfolgt mittels des Lichtstrahloszillographen 6 und dem Spektralanalysator 7. Ist die z-Achse entlang des ungestörten Strahls gerichtet, so wird die Winkelablenkung in der xz-Ebene durch folgenden Ausdruck bestimmt [4]:

$$\Theta = \frac{1}{n_0} \int_0^L \frac{\partial n}{\partial x} dz \quad (1)$$

mit n_0 als Brechungskoeffizient des Umgebungsmediums, L – Breite des Arbeitsbereiches, $\partial n/\partial x$ – Brechungskoeffizientgradient in einem fixierten Punkt des Untersuchungsgebietes.

Im Falle der zweidimensionalen Strömung nimmt der Ausdruck (1) die einfache Form an

$$\Theta = \frac{L}{n_0} \frac{\partial n}{\partial x} \quad (2)$$

Dann haben wir für den Augenblickswert der Ausgangsspannung des positionssensiblen Fotoempfängers

$$U(t) = \frac{AfL}{n_0} \cdot \frac{\partial n}{\partial x} (t) \quad (3)$$

mit A als Empfindlichkeit des Fotoempfängers, die durch den Neigungswinkel des linearen Abschnitts der

Eichkurve (Bild 2) definiert wird, und f – Brennpunkt Abstand der Empfangslinse 4 (Bild 4).

Erfolgt das Abtasten des Untersuchungsgebietes entlang der x-Achse in der Zeit $t_A \ll t_0$ (t_0 – charakteristische Zeit der räumlichen Strukturänderung des Untersuchungsobjektes), so ist

$$U(t) = \frac{AfL}{n_0} \cdot \frac{\partial n}{\partial x} \left(\frac{x}{v} \right), \quad (4)$$

mit v als der Geschwindigkeit der gleichmäßigen Verschiebung des Laserbündels entlang der Streifrichtung. Jetzt läßt sich über das Frequenzspektrum des Signals $U(t)$ das räumliche Spektrum der Ausbreitung des Brechungskoeffizienten bestimmen

$$F[n(t)] = \frac{AfL}{n_0} F \left[\frac{\partial n}{\partial x} \left(\frac{x}{v} \right) \right], \quad (5)$$

oder, was das gleiche ist, die räumlichen Spektren der Gradienten von T (Temperatur) und C (Konzentration). Um die Arbeitsfähigkeit der angefertigten Anlage zu überprüfen, wurden Testmessungen durchgeführt. Im Bild 5 ist die mittels des Lichtstrahloszillographen gewon-

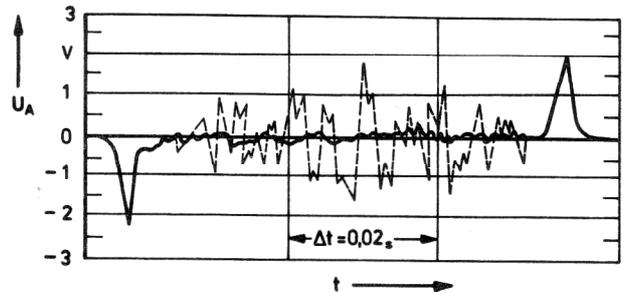


Bild 5

Aufzeichnung der Abtastung einer Störung, die durch die Ausbreitung eines Wirbelringes in einer Stratifikationsflüssigkeit hervorgerufen wurde

nene Abhängigkeit der Ausgangsspannung U_A des positionssensiblen Fotoempfängers von der Abtastzeit gezeigt, einmal beim Fehlen von T- oder C-Gradienten in der Arbeitszone (durchgezogene Linie), und zum anderen bei Vorhandensein von Gradienten, die beim Durchgang eines Wirbelringes in einem linearen Stratifikationsmedium entstehen (gestrichelte Linie). Im Bild 6 ist die

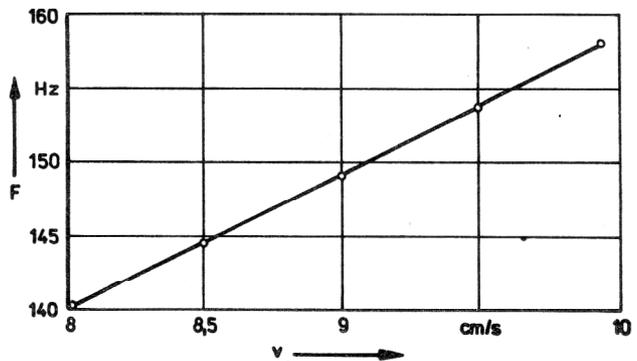


Bild 6

Mittlere Frequenz des Signalspektrums des streifenden Laserrefraktometers in Abhängigkeit von der Abtastgeschwindigkeit

Abhängigkeit der mittleren Frequenz F des Spektrums, die beim Abtasten des Untersuchungsobjektes gewonnen wurde, von der Geschwindigkeit v der Verschiebung des Laserbündels dargestellt. Der lineare Charakter dieser Abhängigkeit unterstreicht die Arbeitsfähigkeit der angefertigten Anlage.

Es sei bemerkt, daß die räumliche Auflösung, die durch die Abmessung des Sondierbündels im Untersuchungsbereich bestimmt wird, 0,2 mm ausmachte. Jedoch läßt sich bei Bedarf die räumliche Auflösung verbessern.

LITERATUR

- [1] Аменицкий А. Н., Евтихиева О. А., Ринкевичюс Б. С.: Определение градиента температуры в жидкости по рефракции лазерного луча. ТВТ (1974) т. 12, № 4, с. 902 – 904.
- [2] Баженов В. А., Евтихиева О. А., Ринкевичюс Б. С., Шаров С. К.: Лазерный микро-рефрактометр для измерения градиента показателя преломления в жидкости. Приборы и техника эксперимента (1979), № 2, с. 280 – 282.
- [3] Евтихиева О. А., Ринкевичюс Б. С.: Авторское свидетельство СССР № 704339.
- [4] Холдер Д., Норт Р.: Теневые методы в аэродинамике. Москва „Мир” 1966, с. 150.

Адрес автора:

W. I. Bojarinzew

E. W. Gummjennik

B. S. Rinkewitschjus

W. A. Frost

Institut für Probleme der Mechanik
der Akademie der Wissenschaften der UdSSR
Moskau (UdSSR),
Wernadskij Prospekt