

Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum  
Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica

---

Vladimír Malíšek; Miroslav Miler

Топография поля показателя преломления методом дифференциальной  
призмы

*Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Facultas Rerum Naturalium. Mathematica-Physica-Chemica*, Vol.  
10 (1969), No. 1, 39--44

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/119923>

**Terms of use:**

© Palacký University Olomouc, Faculty of Science, 1969

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

*Laboratoř optiky přírodovědecké fakulty  
Vedoucí laboratoře: Prof. RNDr. Bedřich Havelka, D.Sc.*

## ТОПОГРАФИЯ ПОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПРИЗМЫ

VLADIMÍR MALÍŠEK,\* MIROSLAV MILER\*\*)

(Došlo 30. 10. 1967)

Для преобразования градиентного поля показателя преломления в видимое изображение применяются методы — *интерференционный* [1] и *теневого* [2]. Интерференционный метод удобен в случае малых изменений, тогда как теневой метод в случае больших изменений показателя преломления.

Разные варианты экспериментальной установки теневого метода позволяют интерпретировать снимки с различной степенью точности. Сравнительно наилучшие количественные результаты можно получить методом Фильпота — Свенссона [3], с помощью которого изображаются градиентные кривые показателя преломления в данном сечении. При этом методе распределение градиента показателя преломления в направлении изучаемого сечения преобразуется оптическим путем в отклонения перпендикулярные к сечению и в результате на экране изображается непосредственно в форме кривой, зависимость градиента показателя преломления  $dn/dx$  на месте нахождения в сечении  $x$

$$\frac{dn}{dx} = f(x). \quad (1)$$

Интегрированием можно потом найти распределение показателя преломления вдоль сечения.

С помощью этого метода нельзя изучать несколько сечений одновременно, потому что под влиянием цилиндрической линзы отображения всех сечений отождествляются. Но при небольшом смещении экрана относительно плоскости изображения можно добиться отделения изображения разных сечений (4). Однако в этом случае общая картина «сжатая» в направлении перпендикулярном к сечениям. Модификация этого метода, при которой исключено анаморфозное изображение, была описана в работе [5].

Недостатком предшествующих методов является необходимость интегрирования соотношения (1), чтобы получить ход зависимости

\*) Laboratoř optiky, Universita Palackého, Leninova 26, Olomouc, ČSSR.

\*\*\*) Ústav radiotechniky a elektroniky, Československá akademie věd, Lumumbova 1, Praha 8, ČSSR.

показателя преломления. К прямому изображению этой зависимости в данном сечении удобен метод призмы впервые описанный Кеттелером [6].

Основным элементом этого метода измерительная призма, в которой изменяется показатель преломления в направлении параллельном с ребром преломления призмы — что соответствует направлению сечения.

Вследствие изменения показателя преломления лучи отклоняются неодинаково в направлении перпендикулярном к плоскости сечения и эти отклонения изображаются, после прохождения удобной оптической системой, на экране [7].

Изменение показателя преломления  $\Delta n$  вызывает изменение отклонения луча выходящего из призмы на угол

$$\Delta\alpha = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \varepsilon_1'}{\operatorname{tg} \varepsilon_2}\right) \operatorname{tg} \varepsilon_2' \cdot \frac{\Delta n}{n}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_1'$  угол преломления на первой грани призмы,  
 $\varepsilon_2 = \varphi - \varepsilon_1'$  угол падения на вторую грань,  
 $\varepsilon_2'$  угол преломления на второй грани,  
 $\varphi$  преломляющий угол призмы.

В случае небольших отклонений от симметричного хода луча соотношение (2) переходит в

$$\Delta\alpha = \frac{2 \sin \frac{\varphi}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}} \cdot \Delta n. \quad (3)$$

Но значение угла преломления ограничено вследствие влияния полного внутреннего отражения условием

$$\varphi < \arccos \left(1 - \frac{1}{n^2}\right). \quad (4)$$

В обыкновенных случаях показатель преломления около 1,5 и значения преломляющего угла должны быть меньше чем  $84^\circ$ .

Из за большей чувствительности и для того, чтобы оптическая ось устройства была в одной прямой, целесообразно использование так называемой *дифференциальной призмы*, которая состоит из измерительной призмы окруженной с обеих сторон призмами с параллельными крайними гранями (рис. 1). Показатель преломления изменяется только в центральной призме.

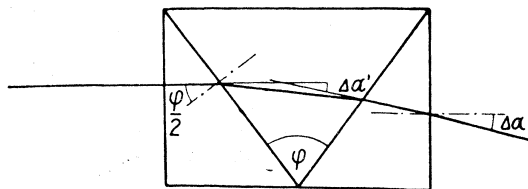


Рис. 1  
Ход луча дифференциальной призмой

На дифференциальной границе раздела отделяющей центральную и периферийную призмы изменяется показатель преломления скачком, но на небольшое значение, так что луч отклоняется от первоначального направления на угол

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta n}{n} \cdot \operatorname{tg} \varepsilon, \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  угол падения. Если луч падает на призму в направлении перпендикулярном к плоскости симметрии призмы, угол  $\varepsilon$  равен  $\varphi/2$  и, пренебрегая изменением направления луча после прохождения первой границей раздела при сравнении с преломляющим углом призмы, возможно отклонение луча после прохождения второй границей раздела выразить соотношением

$$\Delta\alpha' = 2 \frac{\Delta n}{n} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (6)$$

Так как для отклонения луча на последней грани третьей призмы имеет место приблизительное соотношение  $n \cdot \Delta\alpha' = \Delta\alpha$ , получим для общей величины отклонения луча всей системой дифференциальной призмы формулу

$$\Delta\alpha = 2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \cdot \Delta n. \quad (7)$$

Соотношение для изменения направления луча, отвечающее единичному изменению показателя преломления, назовем чувствительностью дифференциальной призмы

$$S \equiv \frac{\Delta\alpha}{\Delta n} = 2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (8)$$

Очевидно имеет место возрастание чувствительности с увеличением преломляющего угла  $\varphi$ . Величина угла  $\varphi$  органичена условием

$$\varphi < 2 \arcsin \left( 1 - \frac{\Delta n}{n} \right) < \pi, \quad (9)$$

которое дает возможность использования преломляющего угла в два раза больше чем для простой призмы. Из этого практически следует двукратное увеличение чувствительности.

Для определения изменений показателя преломления одновременно в нескольких параллельных сечениях невозможно использовать описанных ранее установок [7], [8], но возможно приспособить измерительную установку исходя из работы [5]. Эта установка изображена на рис. 2.

Щелевой монохроматический источник света 1 освещает линзу 2. Пучок параллельных лучей проходит далее диафрагмой с параллельными щелями 3, дифференциальной призмой 4 и линзой 5, которая создает изображение щели 1 в плоскости горизонтальной щели 6. Линза 5 также изображает плоскость диафрагмы 3 на плоскость изо-

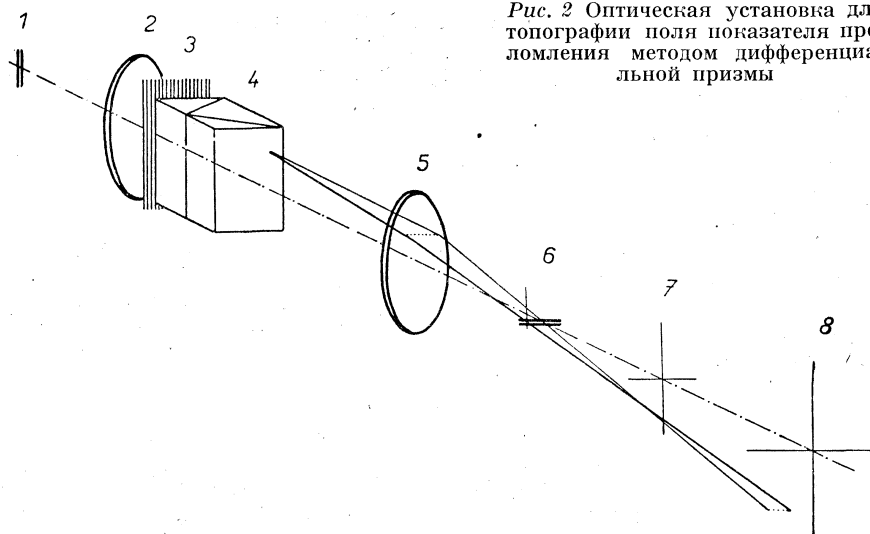


Рис. 2 Оптическая установка для топографии поля показателя преломления методом дифференциальной призмы

бражения 7. Экран помещен в плоскости 8 помимо плоскости изображения 7.

Функция описанной оптической системы следующая. В случае отклонения некоторого узкого пучка лучей на угол  $\Delta\alpha$  изображение источника 1 в плоскости щели 6 сдвигается на расстояние  $e = \Delta\alpha \cdot f'_2$  от оптической оси. Из полного изображения источника 1 проходит этой щелью 6 только небольшая часть пучка, которая дальше пройдет плоскостью 7 в месте изображения и падает на экран 8 на расстоянии  $E$  от места падения среднего неотклоненного луча.

Обозначая буквой  $a$  расстояние призмы 4 от линзы 5, буквой  $a'$  расстояние плоскости изображения 7 от той же самой линзы и  $\Delta z$  расстояние экрана 8 от плоскости 7, получим соотношение

$$\frac{E}{a \cdot \Delta\alpha} = \frac{\Delta z}{a'}. \quad (10)$$

Обозначая дальше  $\beta = a'/a$  поперечное увеличение линзы 5, получим для отклонения  $E$  кривой показателя преломления на экране 8 соотношение

$$E = \frac{\Delta z}{\beta} \cdot \Delta\alpha. \quad (11)$$

При возрастании сдвига  $\Delta z$  возрастает тоже отклонение  $E$ , но уменьшается острота изображения. В технике фотографирования допустимый диаметр пятна — изображения точки —  $y_0 = 0,075$  мм. Для максимального сдвига экрана получим

$$\frac{\Delta z_{\max}}{y_0} = \frac{a'}{d}, \quad (12)$$

где  $d$  ширина щелей диафрагмы 3. В случае описываемых кривых возможно пользоваться не так строгим критерием, но достаточно положить напр.  $y_0 = 0,15$  мм.

Вследствие изменения показателя преломления в вертикальном сечении существует градиент показателя преломления и с этим связанное отклонение пучка лучей в вертикальном направлении на угол  $l \cdot \frac{\delta n}{\delta x}$ , где  $l$  длина пути луча внутри средней призмы. Если изображение источника 1 в плоскости щели 6 будет при максимальном градиенте еще покрывать щель, то гарантируется, что горизонтальное отклонение  $E$  на экране изобразится, но вертикальное отклонение выступающее вследствие градиента компенсируется горизонтальной щелью 6.

Горизонтальный градиент алгебраически складывается с отклонением  $\Delta\alpha$  и тем самым повышается чувствительность метода к различию зависимости показателя преломления в отдельных сечениях.

Примером использования этого метода является изучение температурного поля в охлаждающем масле в окрестности моделей электрических машин [9], рис. 3. Горизонтальная пластинка нагруженная в масле электрически нагревается. Фотография сделана непосредственно перед отрывом нагретого слоя масла от пластинки.

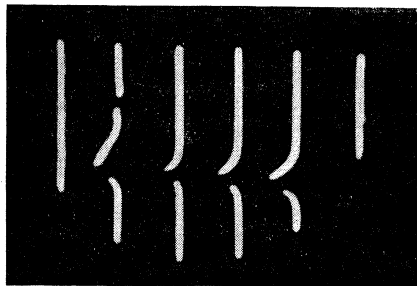


Рис. 3 Распределение температурного поля в слое охлаждающего масла при поверхности нагреваемой пластинки

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Born M., Wolf E.*: Principles of Optics. Pergamon Press, London 1959.
- [2] *Schardin H.*: Die Schlierenverfahren und ihre Anwendungen. Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 20, 303 (1942).
- [3] *Philpot G. S.*: Nature 741, 238 (1938).  
*Svensson H.*: Kolloidzeitschrift 87, 181 (1938).
- [4] *Miler M., Sequens J.*: Acta Technica ČSAV (Praha) 10, 121 (1965).
- [5] *Miler M., Sequens J.*: J. Sci. Instrum. 43, 46 (1966).
- [6] *Ketteler E.*: Theoretische Optik. Braunschweig 1885.
- [7] *Ковальский Л. В., Полянский В. К.*: Опт. и спектр. 20, 733 (1966).
- [8] *Svensson H., Forsberg R.*: J. Opt. Soc. Am. 44, 414 (1954).
- [9] *Malíšek V., Miler M.*: Zpráva ÚRE ČSAV, Z — 159 (1966).

## SHRnutí

### MAPOVÁNÍ POLE INDEXU LOMU METODOU DIFERENCIÁLNÍHO HRANOLU

VLADIMÍR MALÍŠEK a MIROSLAV MILER

Ke zviditelnění pole indexu lomu a pole gradientu indexu lomu průhledných prostředí se užívá *metody interferenční a šlívové*, z nichž prvá je vhodná pro studium malých změn, druhá pro studium velkých změn pole. Philpotova-Svenssonova modifikace šlívové metody (3) a z ní odvozené metody (5), (6) mají některé nevýhody spočívající zejména v tom, že jejich pomocí lze studovat pole jen v jednom řezu studovaným prostředím a že k vyhodnocení nalezených křivek je třeba dalších úvah — integrace a eliminace vlivu y-ové a z-ové složky gradientu.

O analogické metody se projevuje zájem i v zahraničí [7] a protože jsme se jimi již dříve zabývali [9], uvádíme v tomto příspěvku jednu modifikaci, jíž lze zmíněné nevýhody eliminovat. Uspořádání optické soustavy ukazuje obr. 2., jednoduchý výsledek získaný touto metodou pro změny indexu lomu průhledného oleje nad elektricky vytápnou horizontální deskou ukazuje obr. 3.