

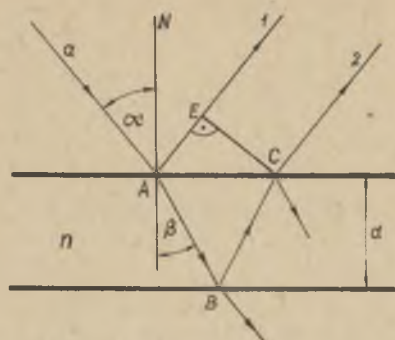
BOGUSŁAW NOSOWICZ

INTERFEROMETR JAMINA
W ADAPTACJI DO POMIARU ZAWARTOŚCI METANU
W POWIETRZU KOPALNIA NYM

Streszczenie: W artykule podano fizykalne podstawy działania interferometru Jamina w zastosowaniu do b. dokładnego pomiaru procentowej zawartości metanu w powietrzu kopalnianym oraz konkretne przykłady, jak należy obliczać ważniejsze elementy interferometru mającego służyć do wyżej wspomnianego celu. W końcowej części artykułu omówiono dla porównania dotychczas stosowany w górnictwie interferometr tego typu tzw. Riken - Gas indicator.

Jak wiadomo interferencja fal świetlnych polega na nakładaniu się na siebie tych fal. Zjawisko to można zaobserwować wtedy, gdy oba ciągi fal, pochodzące z tego samego źródła dochodzą do tego samego punktu po różnych drogach. Jeżeli drogi te różnią się o wielokrotność długości fali, to fale spotykają się w danym punkcie w zgodnych fazach i następuje ich wzmocnienie. Jeżeli natomiast jeden ciąg fal przebywa drogę o nieparzystą wielokrotność połówek fali dłuższą lub krótszą niż drugi, wówczas spotykają się w danym punkcie w fazach przeciwnych i następuje ich wygaszanie.

Niech na jednorodną przeźroczystą płytkę o grubości d (rys.1) pada w punkcie A promień światła a pod kątem α . Ulega on tu częściowo odbiciu, dając promień 1, a częściowo załamaniu pod kątem β . W punkcie B promień znów się częściowo załamuje, a częściowo odbija. To samo zachodzi w punkcie C, z którego równoległe do promienia 1, wychodzi promień 2.



Rys.1. Interferencja przy odbiciu od płytki płasko-równoległej

Różnica fazy pomiędzy interferującymi ze sobą promieniami 1 i 2 zostaje wywołana różnicą ich dróg optycznych Δ . (Przez drogę optyczną rozumieć należy iloczyn drogi geometrycznej i współczynnika załamania n ośrodka, w którym przebiega promień). Z rys.1 wynika, że:

$$\Delta = (AB + BC) \cdot n - (AE + \frac{1}{2} \lambda)$$

gdzie:

λ jest długością fali rozpatrywanego światła.

Wielkość $\frac{\lambda}{2}$ wynika z teorii elektromagnetycznej światła i określa dodatkową różnicę dróg powstałą przy odbiciu promienia na granicy pomiędzy powietrzem i płytką.

$$AB = BC = \frac{d}{\cos \beta}$$

gdzie β jest kątem załamania
oraz

$$AE = AC \cdot \sin \alpha = 2d \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \alpha$$

Posługując się prawem załamania:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \text{czyli: } \sin \alpha = n \cdot \sin \beta$$

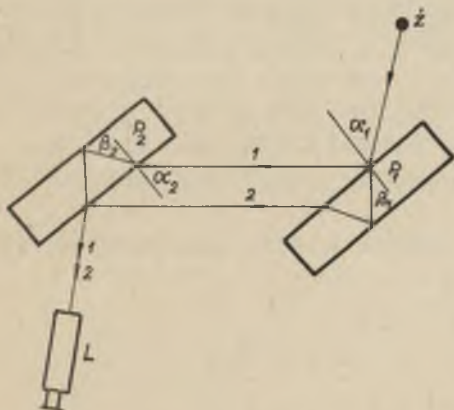
otrzymuje się wyrażenie na AE w następującej postaci:

$$AE = 2d \cdot n \cdot \frac{\sin^2 \beta}{\cos \beta}$$

Podstawiając do wyrażenia na różnicę dróg optycznych Δ zamiast AB, BC i AE otrzymane ich wartości, dostaje się:

$$\Delta = 2d \cdot n \cdot \frac{1 - \sin^2 \beta}{\cos \beta} - \frac{1}{2} \lambda$$

a ostatecznie: $\Delta = 2d \cdot n \cdot \cos \beta - \frac{1}{2} \lambda$



Rys.2. Interferometr Jamina

Interferometr Jamina składa się właśnie z dwóch takich jednakowych płasko-równoległych płytek szklanych każda o grubości d . (rys.2). Wiązka promieni równoległych pada na powierzchnię płytki P_1 , częściowo odbija się od niej, częściowo załamuje się i odbija się od tylnej ścianki tej płytki. W rezultacie powstają dwa promienie

1 i 2. Promienie te padają następnie na płytkę P_2 i dalej zachowują się tak, jak pokazano na rysunku 2. Ostatecznie do lunetki L wpadają dwa nakładające się promienie 1 i 2.

O ile płytki P_1 i P_2 są ustawione cośkolwiek nierównolegle, wówczas pomiędzy promieniami 1 i 2 wytworzy się, po ich odbiciu od obu płytek, różnica dróg optycznych: $\Delta = \Delta_2 - \Delta_1$

gdzie: $\Delta_1 = 2d \cdot n \cdot \cos \beta_1 - \frac{1}{2} \lambda$ jest różnicą dróg optycznych pomiędzy tymi promieniami po ich odbiciu od pierwszej płytki.

Analogicznie: $\Delta_2 = 2d \cdot n \cdot \cos \beta_2 - \frac{1}{2} \lambda$ jest różn. dróg opt. po odbiciu od drugiej płytki.

Promienie te będą więc interferować i ostatecznie:

$$\Delta = 2d \cdot n \cdot (\cos \beta_2 - \cos \beta_1)$$

Obrazem tej interferencji są barwne prążki widziane w lunetce przyrządu.

Jeżeli teraz na drodze promieni 1 i 2, pomiędzy płytki P_1 i P_2 , wstawić dwie identyczne rurki (komory) zamknięte szybkami tak, aby promień 1 przechodził przez jedną z nich, a promień 2 przez drugą i jedną z tych rurek napełnić powietrzem laboratoryjnym (wsp. załam. = n_1), a drugą napełnić powietrzem zanieczyszczonym metanem (wsp. załam. = n_2) to pomiędzy promieniami powstanie dodatkowa różnica dróg optycznych i obraz prążków interferencyjnych, widziany w lunetce zostanie przesunięty.

Oczywiście przesunięcie prążków interferencyjnych będzie tym większe, im większa będzie różnica: $n_2 - n_1$, czyli im większa będzie procentowa zawartość metanu w powietrzu.

Ta dodatkowa różnica dróg optycznych wynosi:

$$(n_2 - n_1) \cdot l = N \cdot \lambda$$

gdzie:

l ... długość rurki

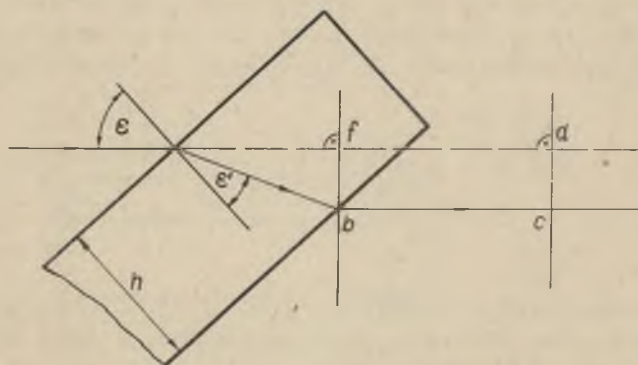
N ... liczba prążków, o którą przesunie się obraz interferenc.

Jeżeli ustawienie lunetki zachodzi z dokładnością do części prążka ΔN , to błąd pomiaru współczynnika załamania określa się z formuły: $\Delta n \cdot l = \Delta N \cdot \lambda$. Z tej formuły można obliczyć długość rurek wynikającą z dokładności pomiarowej. Jeśli np. potrzeba określić różnicę współczynnika załamania z dokładnością do 7 miejsca dziesiętnego, to wstawiając $n = 1 \cdot 10^{-7}$, a długość fali np.

$\lambda = 0,00055$ mm, przy $N = 1/20$ prążka otrzyma się:

$$l = \frac{\Delta N \cdot \lambda}{\Delta n} = \frac{0,05 \cdot 0,00055}{1 \cdot 10^{-7}} = 300 \text{ mm.}$$

Aby móc teraz wyznaczyć procentową zawartość metanu w badanym powietrzu, należy tę dodatkową różnicę dróg optycznych skompensować. Kompensator, do tego celu służący, składa się z dwu identycznych, przezroczystych płytek płaskorównoległych (ze względu na przejrzystość, na rys.2 nie są one narysowane), ustawionych pomiędzy płytkami P_1 i P_2 , na drodze interferujących promieni, tak że promień 1, po opuszczeniu swojej komory, przechodzi przez jedną z płytek kompensatora, a promień drugi przez drugą. Jedna z tych płytek jest ruchoma (rys.3), ustawiona pod kątem ε do padającego na nią promienia, wprowadza następującą różnicę dróg optycznych δ



Rys.3. Ruchoma płytka kompensatora

gdy brak płytki to droga od punktu a do punktu d jest równa: ad

po wprowadzeniu płytki droga optyczna od a do c staje się równa: $(n \cdot ab + bc)$ gdzie n jest współcz. załam. Jeżeli linia dc jest prostopadła do promienia opuszczającego płytkę, to różnica dróg optycznych:

$$\delta = (n \cdot ab + bc) - ad \quad \text{czyli:}$$

$$\delta = n \cdot db - af$$

po podstawieniu: $ab = \frac{h}{\cos \epsilon}$, h ... jest grubością płytki

$$\sin \epsilon = n \cdot \sin \epsilon'$$

$$af = ab \cos (\epsilon - \epsilon')$$

i po przekształceniu otrzymuje się ostatecznie:

$$\delta = h \cdot (\sqrt{n^2 - \sin^2 \epsilon} - \cos \epsilon)$$

Ta cała różnica dróg jest kompensowana drugą, nieruchomą płytką kompensatora, ustawioną na stałe pod takim kątem do promienia na nią padającego, aby w interferometrze grała rolę tylko dodatkowa różnica dróg optycznych, powstała wskutek wprowadzenia do jednej z rurek powietrza zanieczyszczonego metanem. Dopiero tę dodatkową różnicę dróg kompensuje się przez obrót ruchomej płytki o nieznaczne kąty $d\epsilon$ od pierwotnego położenia. Po zróżniczkowaniu wyrażenia na δ otrzymuje się:

$$d\delta = h \cdot \sin \epsilon \left(1 - \frac{\cos \epsilon}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \epsilon}}\right) d\epsilon$$

Z ostatniej relacji wynika, że przy stałej grubości płytki, dodatkowa różnica dróg optycznych jest wprost proporcjonalna do zmiany kąta ustawienia płytki ruchomej czyli kąta skręcenia kompensatora. Np. dla: $\epsilon = 45^\circ$ oraz: $n = 1,5$:

$$d\delta = h \cdot \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 2,25 - 0,5}}\right) d\epsilon \approx \frac{h}{3} d\epsilon$$

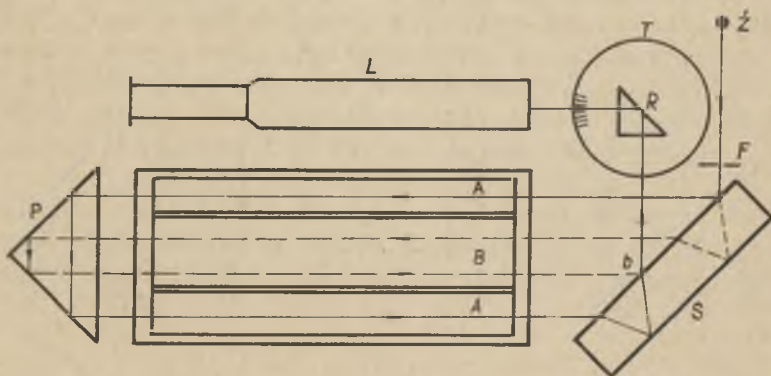
Jeśli dokładność równa $\frac{1}{20}$ prążka i grubość płytki $h = 5$ mm to obrót płytki winien zachodzić z dokładnością:

$$d\varepsilon = \frac{3 \cdot d\delta}{h} = \left(\frac{3 \cdot 0,00055}{20,5} \cdot 206000 \right)'' = 3''$$

Jeśli interferencję obserwuje się w białym świetle to wprowadzenie dodatkowej warstwy szkła w jedną z gałęzi interferometru nie tylko przesuwa prążki interferencyjne, ale i zmienia ich zabarwienie. Przyczyną tego jest dyspersja szkła. Dlatego płytki kompensatora wykonuje się z gatunków szkieł o małej dyspersji.

Obrót kompensatora o odpowiedni kąt powoduje więc wyrównanie dróg optycznych promieni 1 i 2 do stanu takiego, jaki był przed wprowadzeniem rurek, tzn. prążki interferencyjne wracają do położenia zerowego. Ten sposób postępowania nosi nazwę metody zerowej. Postępując odwrotnie tzn. wstawiając rurkę ze znaną, każdorazowo procentowo różną, zawartością metanu w powietrzu można znaleźć odpowiadające jej kąty skręcenia kompensatora, a zatem można wycechować interferometr Jamina do pomiaru procentowej zawartości metanu w powietrzu kopalnianym.

Na zasadzie działania interferometru Jamina oparty jest tzw. Riken Gas - indicator (rys.4). Posiada on pew-



Rys.4. Interferometr RIKENa. (metanomierz)

ne zmiany w stosunku do interferometru wyżej opisanego. W miejsce płytki płasko-równoległej P_2 umieszczony jest pryzmat prostokątny odbijający. P . Rolę kompensatora spełnia tu pryzmat R umieszczony na tarczy T zaopatrzonej w podziałkę kątową. Komora środkowa przeznaczona jest dla badania powietrza zawierającego metan. Światło opuszczając źródło Z , którego promienie stają się równoległe po przejściu przez soczewkę skupiającą, przechodzi przez przesłonę F i pada na płytkę szklaną S , gdzie zostaje rozdzielone na dwie wiązki promieni, z których jedna wędruje drogą oznaczoną na rysunku linią ciągłą, a druga przebiega po innej drodze, oznaczonej linią przerywaną. Jak widać z rysunku w powrotnej drodze obydwie wiązki promieni spotykają się na powierzchni płytki S w punkcie b , po czym aż do lunetki biegną już razem, przechodząc po drodze przez pryzmat R . Następuje interferencja spowodowana przebieganiem promieni różnymi drogami, to też w polu widzenia lunetki można zaobserwować obraz złożony z prążków. Pozycję prążków, która ukazuje się w lunecie, gdy wszystkie komory wypełnione są tym samym czystym powietrzem przyjmuje się za podstawę przy pomiarach, czyli jest to położenie zerowe.

Gdy do komory B wprowadzimy mieszaninę powietrza z metanem, prążki przesuną się, a wielkość przesunięcia będzie się zwiększać ze zwiększaniem zawartości metanu w powietrzu. Przez obrót pryzmatu R przesuwamy tak prążki, aby znalazły się ponownie w położeniu zerowym. Podziałka na tarczy T wskazuje wtedy od razu procentową zawartość metanu w powietrzu kopalnianym.

Powietrze to zawiera parę wodną i dwutlenek węgla, które muszą być przed pomiarem usunięte przez wprowadzenie w tym celu odpowiednich substancji absorbujących.

Interferometr może wykrywać nawet dziesiąte części procentu zawartości metanu w powietrzu kopalnianym, gdyż nawet już tak małe ilości metanu powodują wyraźne przesunięcie prążków interferencyjnych. Tak więc dzięki dużej czułości interferometru można przeprowadzać bardzo dokładne pomiary zawartości metanu w powietrzu kopalnianym.

LITERATURA

- Dr F.Lowe: Interferenz-Messgerate und Verfahren. Berlin
1954.
- A.M.Zahariewskij: Intierferometry - Oborongiz 1952.
- S.Szczeniowski: Fizyka doświadczalna
- Riken Gas-- indicator - prospekt.

Интерферометр Ямина приспособленный для замера содержания метана в рудничном воздухе

С о к р а щ е н и е

В статье приводятся физические основы работы интерферометра Ямина приспособленного для особенно точного замера процентного содержания метана в рудничном воздухе. Даются практические примеры расчета более ответственных элементов интерферометра, который предназначается для этой цели.

В конечной части статьи описан для сравнения применяемый до сих пор в горном деле интерферометр типа Рикен-Гас Индикатор.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Jamins — Interferenzmessgerät in Anwendung für Messungen des Methaninhaltes in der Grubenluft

In dem Aufsatz sind physikalische Grundlagen der Wirkung des Jamins — Interferenzmessgerätes in Anwendung für höchstgenaue Messungen des Prozentinhaltes von Methan in der Grubenluft gegeben worden. Weiter wurden Beispiele für Berechnung von wichtigeren Bestandteilen solch Gerätes beigebracht. Zwecks Vergleiches wurde auch der bisher im Bergbau angewendete Riken — Gasindicator besprochen.

