

DZIAŁANIA ŚWIATŁA LASERA NA POWIERZCHNIĘ CIAŁA STAŁEGO

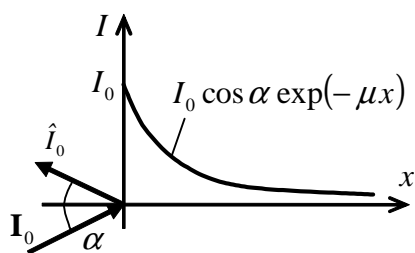
Jan KUBIK
Politechnika Opolska, Opole

1. Wprowadzenie

Zastosowanie lasera do diagnostyki i konserwacji nawarstwień polichromii zabytkowych, stanowi przełom w konserwacji. Obecnie problemem jest skuteczność wykorzystania światła lasera w diagnostyce zakrytych powierzchni zabytku. Wymaga to badań, ponieważ kapilarno-porowata struktura materiału wprowadza wiele nowych idei, które trzeba przeanalizować. Jest to też przedmiotem pracy.

2. Penetracja światła lasera

W odróżnieniu od zwykłego światła, promienie światła lasera penetrują w ograniczonym zakresie w głąb materiału budowlanego. Właściwość ta pozwala na identyfikację warstw podłoża, co jest zasadnicze w diagnostyce nawarstwień zabytków, a szczególnie malowideł.



Proces ten opisuje równanie:

$$\frac{dI}{dx} = -\mu I, \quad (1)$$

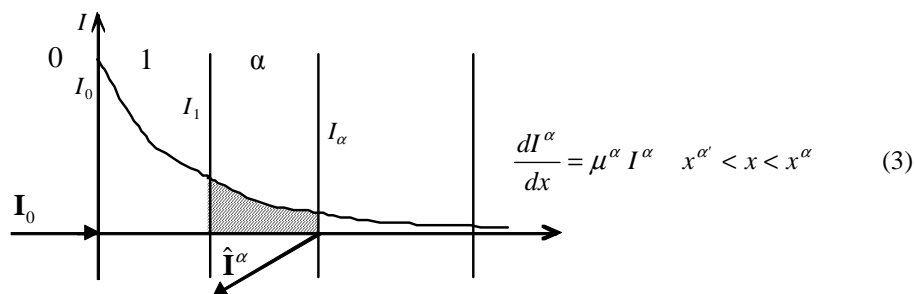
którego całka ma postać:

$$I = I_0 e^{-\mu x}. \quad (2)$$

Rys. 1. Zanik promieniowania światła lasera w głąb fazy stałej
Fig. 1. Delay of laser light radiation into a solid phase

Tutaj współczynnik zanikania promieniowania μ jest o rzędy większy od długości l światła lasera $\mu \gg l$.

W przypadku uwarstwowionego podłoża zabytku, w każdej warstwie będzie następowało odbicie oraz pochłanianie światła. Pomiar tych wielkości pozwalała identyfikować kolejne warstwy w podłożu, pokryte późniejszym wystrojem. W przypadku malowideł na warstwie (α) będzie spełnione równanie (3)



Rys. 2. Zanik promieniowania w ciele warstwowym
Fig. 2. Delay of radiation in a stratified body

a na obu brzegach warunki zgodności strumieni.

3. Promieniowanie pochłonięte i odbite w układzie warstw

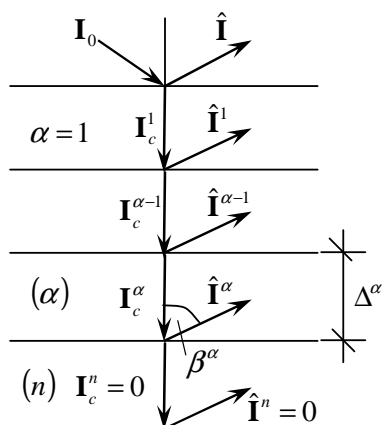
Wnikający w powierzchnię ciała strumień I_c maleje zgodnie z relacją $I_c = I_0 e^{-\mu x}$ co wynika z równania na przyrost strumienia światła

$$\frac{dI_c}{dx} = -\mu I_c \quad \text{stąd} \quad I_c(x) = I_0 e^{-\mu x}. \quad (4)$$

Zauważmy, iż człon μI_c odpowiada źródłu ciepła i zmianie temperatury w przepływach ciepła

$$\rho r - \rho c_v \dot{T} \approx \mu I_c. \quad (5)$$

Analizować będziemy z kolei przepływ przez układ warstwowy o różnych adsorpcjach promieniowania światła lasera. Różne też będą wartości strumieni odbitych od granic warstw.



Rys. 3. Przepływ światła w układzie warstwowym
Fig.3. Light flow in a layered system

Całkując równanie (3) po objętości $V^\alpha = A^\alpha \Delta^\alpha$

$$\int_{V^\alpha} \frac{dI_c^\alpha}{dx} dV^\alpha = - \int_{V^\alpha} \mu^\alpha I_c^\alpha dV^\alpha \quad (6)$$

otrzymamy zależność

$$I_c^\alpha - (I_c^{\alpha-1} - \hat{I}_c^{\alpha-1} \cos \beta^\alpha) = -\mu^\alpha I_c^\alpha \Delta^\alpha, \quad (7)$$

z której po zsumowaniu po warstwach otrzymamy

$$\sum_\alpha [I_c^\alpha - I_c^{\alpha-1} + \hat{I}_c^{\alpha-1} \cos \beta^\alpha] = -\sum_\alpha \mu^\alpha I_c^\alpha \Delta^\alpha, \quad (8)$$

a dalej

$$-I_o + \sum_\alpha \hat{I}_c^\alpha \cos \beta^\alpha = -\sum_\alpha \mu^\alpha I_c^\alpha \Delta^\alpha \quad (9)$$

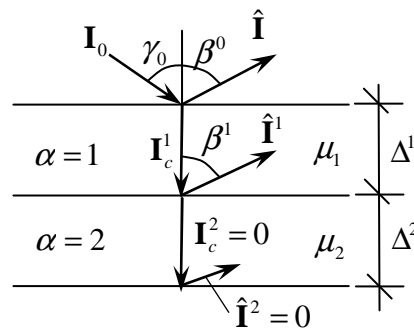
oraz

$$I_o - \hat{I}_o \cos \beta = \mu I_c \Delta \rightarrow \hat{I}_o \cos \beta = I_o - \mu I_c \Delta. \quad (10)$$

Z podanych wzorów można oszacować średnią wartość promienia odbitego od kolejnych warstw przypowierzchniowych. Może więc służyć do identyfikacji kolejnych nawarstwień powierzchni zabytkowych.

4. Przypadek warstwy zakrytej

Analizować będziemy układ 3 warstw: wierzchniej, środkowej i podłoża, do którego nie dociera już promieniowanie lasera. Odpowiada to warstwie wierzchniej oraz zakrytej warstwy polichromii zabytkowej, którą chcemy zidentyfikować. Zakładamy upraszczająco, iż na granicy tej warstwy z podłożem zanika strumień światła lasera.



Rys. 4. Przepływ światła w układzie 3 warstw
Fig.4. Light flow in a set of 3 layers

Przepływ energii w warstwach opisują równania

$$\frac{d}{dx} (I_c^\alpha - \hat{I}_c^\alpha \cos \beta^\alpha) = -\mu^\alpha (I_c^\alpha - \hat{I}_c^\alpha \cos \beta^\alpha), \quad \alpha = 1, 2. \quad (11)$$

Całkując je po objętości warstwy $V^\alpha = A^\alpha \Delta^\alpha$ uzyskamy

$$(I_0 - \hat{I} \cos \beta^0) - (I_c^1 - \hat{I}^1 \cos \beta^1) = -\mu^1 (I_0 - \hat{I} \cos \beta^0) \Delta^1, \quad (12)$$

$$(I_c^1 - \hat{I}^1 \cos \beta^1) = -\mu^2 (I_c^1 - \hat{I}^1 \cos \beta^1) \Delta^2. \quad (13)$$

Do układu tych równań dołączymy jeszcze równanie na przewodność strumienia światła w ośrodku nieprzeźroczystym

$$\begin{aligned} I_c^1 &= (I_0 \cos \gamma_0 - \hat{I} \cos \beta^0) e^{-\mu^1 \Delta^1}, \\ I_c^2 &= (I_c^1 - \hat{I}^1 \cos \beta^1) e^{-\mu^2 \Delta^2} \approx 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Otrzymany układ 4 równań pozwala wyznaczyć odpowiednio: strumienie $I_c^\alpha, \hat{I}^\alpha$ w każdej z warstw.

W prowadzonych rozważaniach możemy przy znajomości strumieni I_0, \hat{I} , kątów γ_0, β^0 oraz grubości Δ^1, Δ^2 i współczynników pochłaniania energii lasera przez materiał μ_1, μ_2 wyznaczyć wartość odbitego strumienia energii \hat{I}^1 na granicy warstwy wierzchniej i zakrytej oraz kąt β^1 .

Literatura

- [1] Domański R.: Promieniowanie laserowe – oddziaływanie na ciała stałe, WNT Warszawa 1995.
- [2] Kaczmarek F.: Wstęp do fizyki laserów, PWN Warszawa 1987.
- [3] Nowicki M.: Lasery w technologii elektronicznej i obróbce materiałów, WNT Warszawa 1978.
- [4] Klemm P., Roźniakowski K.: Fotonowe czyszczenie powierzchni, WN SA Łódź 1997.
- [5] Klemm P. (red.): Fizyka budowli – ochrona zabytków, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2009.
- [6] Roźniakowski K.: Zastosowanie promieniowania laserowego w badaniach i modyfikacji materiałów, Prace z Fizyki Budowli, KILiW PAN Warszawa-Łódź 2001.

LASER LIGHT IMPACT ON A SURFACE OF SOLID BODY

Summary

In the paper, a laser light flow by layers of the mural paintings is analyzed. Each layer adsorbs and reflects laser light, allowing the identification of the underlying surfaces of mural paintings.