

Elżbieta JANOSIK

ŚWIATŁO SPOLARYZOWANE I JEGO ZASTOSOWANIE W MEDYCYNIE

STRESZCZENIE *W artykule przypomniano pojęcie polaryzacji światła oraz główne sposoby uzyskiwania polaryzacji liniowej. Wymieniono również typowe zastosowania światła spolaryzowanego w nauce i technice (m.in. polarymetria, mikroskop polaryzacyjny, filtry polaryzacyjne). Następnie omówiono główne sposoby wykorzystywania światła polaryzacyjnego w medycynie do celów terapeutycznych, mając na uwadze takie urządzenia biostymulacyjne jak lampa BIOPTRON, lampa BIOSTIMUL, laser niskoenergetyczny.*

Słowa kluczowe: *promieniowanie optyczne, polaryzacja, biostymulacja*

1. WSTĘP

Zgodnie z definicją polaryzacja światła to uporządkowanie kierunków drgań wektorów natężenia pola elektrycznego i pola magnetycznego fali świetlnej. Jak wiadomo, światło to fale elektromagnetyczne (o długościach zawartych w przedziale $4\cdot 10^{-7}$ m) czyli zjawisko polegające na rozchodzeniu się drgań

dr Elżbieta JANOSIK

e.janosik@imp.sosnowiec.pl

Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego

41-200 Sosnowiec, ul.Kościelna 13

tel. 0-32 2660885 wew. 144

elektrycznych i magnetycznych, wzajemnie sprzężonych i prostopadłych względem siebie i względem kierunku rozchodzenia się światła [11]. Fale świetlne są falami poprzecznymi, ponieważ wektory natężenia pola elektrycznego i magnetycznego są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali. Doświadczalne potwierdzenie tego faktu jest utrudnione, gdyż światło wysyłane przez większość źródeł – naturalnych i sztucznych – jest falą złożoną, niespolaryzowaną tzn. drgania elektryczne i magnetyczne zachodzą w nim chaotycznie we wszystkich płaszczyznach, w których leży prosta określająca kierunek wiązki [11]. Światło takie nie wykazuje żadnych cech poprzecznych, jeśli jednak przejdzie przez specjalny układ, który tłumi wszystkie drgania elektryczne (i sprzężone z nimi prostopadłe drgania magnetyczne), z wyjątkiem drgań zachodzących w pewnej określonej płaszczyźnie, to przez układ przejdą tylko składowe drgań elektrycznych równoległe do tej wyróżnionej płaszczyzny. Światło, w którym drgania zachodzą tylko w jednej określonej płaszczyźnie (a sprzężone zaś z nimi drgania magnetyczne – w płaszczyźnie prostopadłej) nazywa się światłem spolaryzowanym liniowo, tę wyróżnioną płaszczyznę – płaszczyznę polaryzacji światła (przyjęto uważać za płaszczyznę polaryzacji światła płaszczyznę drgań pola elektrycznego [8]), a z kolei różnego typu urządzenia za pomocą których polaryzuje się światło niespolaryzowane nazywa się ogólnie polaryzatorami optycznymi [11].

Polaryzacja światła, częściowa lub całkowita, następuje m.in. [1, 5, 11, 13]:

- przy przechodzeniu światła przez ośrodki wykazujące własności tzw. dichroizmu liniowego (selektywnej absorpcji czyli niejednakowego pochłaniania fal świetlnych o różnych kierunkach drgań świetlnych), w tym przez tzw. polaroidy:
polaroid jest uporządkowanym układem łańcuchów cząsteczek, umieszczonym na przezroczystej błonie/płytkie szklanej, cząsteczki te mają własność pochłaniania mniej więcej równomiernie wszystkich długości fal światła o określonych kierunkach drgań wektora pola elektrycznego oraz przepuszczania fal światła o konkretnym kierunku drgań.
- podczas załamania wiązki światła w kryształach anizotropowych posiadających właściwość dwójłomności:
wiązka światła niespolaryzowanego skierowana na ośrodek dwójłomny (np. kryształ kalcytu) rozdziela się na dwie składowe wiązki (zwykłą i nadzwyczajną), załamane pod różnymi kątami, spolaryzowane liniowo w płaszczyznach do siebie prostopadłych (o wektorach drgań prostopadłych do siebie).
- przy odbiciu i załamaniu światła od powierzchni szkła lub innego ośrodka przezroczystego:

światło padające na granicę dwóch ośrodków ulega częściowo odbiciu, a częściowo przechodzi do drugiego ośrodka, dla szkła i innych materiałów dielektrycznych istnieje taki charakterystyczny kąt padania światła (tzw. kąt Brewstera), dla którego wiązka odbita tworzy z wiązką załamana kąt 90° , przy czym wiązka odbita charakteryzuje się 100 % polaryzacją (kierunek drgań pola elektrycznego jest równoległy do powierzchni odbijającej), a wiązka załamana polaryzacją częściową [1].

- przy rozpraszaniu światła (gdy wiązka przechodzi przez objętość w której zawieszono są małe cząsteczki wówczas światło rozproszone na boki jest częściowo spolaryzowane liniowo [6]):

istota tego zjawiska polega na emisji wtórnego promieniowania przez cząsteczki na które pada światło (promieniowanie pierwotne). Wtórne promieniowanie jest wynikiem drgań elektronów wymuszonych przez padającą falę świetlną, przy czym całkowicie spolaryzowane jest tylko światło rozproszone pod kątem 90° w stosunku do kierunku wiązki padającej. Częściowo spolaryzowane jest m.in. światło słoneczne [11]. Efekt ten wywołany jest rozpraszaniem promieniowania słonecznego w cząsteczkach gazu atmosfery ziemskiej. Atmosfera ziemska jest największym znanym polaryzatorem rozpraszającym [1]. Stopień polaryzacji światła nieboskłonu może osiągać 70-80 % [1], przy czym zależy m.in. od położenia Słońca, wysokości nad poziomem morza, składu atmosfery, zachmurzenia, zawartości cząsteczek aerozolowych, zanieczyszczeń, od długości fali. Polaryzację światła przez rozproszenie obserwuje się także w wodzie, gdzie centrami rozpraszającymi są zawieszono w niej mikrocząsteczki. Stopień polaryzacji światła docierającego w głąb jeziora czy morza waha się od 5 do 30 % [1].

2. WYBRANE ZASTOSOWANIA ŚWIATŁA SPOLARYZOWANEGO W NAUCE I TECHNICE

Zjawisko polaryzacji światła znalazło zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki. Polaryzację światła wykorzystuje się do badania własności substancji, opierając się na fakcie, że przy przechodzeniu światła spolaryzowanego liniowo przez niektóre substancje zmienia się kierunek polaryzacji światła. Zjawisko to nosi nazwę skręcenia płaszczyzny polaryzacji, a substancje w których to zjawisko występuje nazywa się optycznie czynnymi. Zaliczają się do nich niektóre kryształy (np. kwarc, NaClO_3), związki organiczne (np. białka,

kwasy nukleinowe). Na bazie tej teorii rozwinęła się dziedzina badawcza zwana polarymetrią czyli metoda określania stężenia roztworów substancji optycznie czynnych w nieaktywnych optycznie rozpuszczalnikach na podstawie pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji za pomocą polarymetru (kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji przez roztwór jest proporcjonalny do stężenia roztworu). Polarymetry służące do wyznaczania stężenia cukru nazwano sacharymetrami [5].

Zastosowanie znajduje tzw. mikroskop polaryzacyjny – mikroskop przystosowany do obserwacji i badania obiektów w świetle spolaryzowanym. Obrazy obiektów optycznie izotropowych są identyczne jak w mikroskopie służącym do obserwacji w świetle niespolaryzowanym, różnice pojawiają się w przypadku obiektów anizotropowych (np. niektórych kryształów, minerałów) [8].

Światło spolaryzowane wykorzystuje się w zastosowaniach dnia codziennego. Okulary przeciwsłoneczne, których szkła pokryto substancją polaryzującą zmniejszają blask bijący od wilgotnej powierzchni, ponieważ pochłaniają pewną ilość odbitego od niej światła spolaryzowanego (np. przepuszczają światło drgające w płaszczyźnie pionowej a absorbują światło spolaryzowane poziomo).

Światło spolaryzowane jest wykorzystywane w ciekłokrystalicznych wyświetlaczach LCD np. w kalkulatorach. Pomędzy dwoma paskami materiału polaryzującego znajduje się ciecz (ciekły kryształ). Płaszczyzna polaryzacji pierwszego paska ustawiona jest pod kątem 90° do płaszczyzny drugiego paska, mimo to paski przepuszczają światło, gdyż ciecz obraca płaszczyznę polaryzacji drugiego paska o 90° . Jeśli jednak przez ciecz zostanie przepuszczony niewielki prąd, to nie wystąpi już efekt obrotu i skrzyżowane paski stają się czarne, ponieważ drugi polaryzator nie przepuszcza światła (uzyskuje się wtedy czarne cyfry).

Istnieje możliwość zastosowania polaryzatorów w motoryzacji (reflektory wyposażone w polaryzatory), w technice oświetlenia wnętrz (oprawy oświetleniowe z filtrem polaryzacyjnym [12]), w technice oświetlenia scenicznego i fotografii (filtry polaryzacyjne eliminujące refleksy świetlne).

3. ZASTOSOWANIE ŚWIATŁA SPOLARYZOWANEGO W MEDYCYNIE

Istotnym zastosowaniem światła spolaryzowanego jest jego wykorzystanie w medycynie. Udowodniono w licznych badaniach naukowych, iż światło spolaryzowane ma również – obok podczerwieni i nadfioletu – wysoką aktyw-

ność biologiczną, co wynika najprawdopodobniej z interakcji elektromagnetycznych występujących pod wpływem światła spolaryzowanego w komórkach organizmów żywych [2, 9].

Dokładne, rzeczywiste mechanizmy oddziaływania światła spolaryzowanego na poziomie molekularnym nie są ostatecznie poznane. Zakłada się, iż efekty biologiczne są następstwem zmian zachodzących pod wpływem spolaryzowanego światła w dwuwarstwowej warstwie lipidowej błony komórkowej – światło spolaryzowane porządkuje metastabilny stan błony lipidowej, a to wpływa na procesy wewnątrzkomórkowe tzn. porządkowane jest ułożenie polarnych główek fosfolipidów błonowych, a ponieważ białka i lipidy pozostają w ścisłym kontakcie, przekazywana jest między nimi energia, która nasila procesy zachodzące w komórce [2]. Następuje uaktywnienie mitochondriów i wzrost produkcji ATP, redukcja ATP do ADP i uwolnienie energii, potrzebnej dla wielu procesów. Między innymi pobudzeniu ulega obrona immunologiczna komórkowa (np. komórki pożerające, limfocyty) jak i obrona humoralna (proteiny immunologiczne) [9]. Wyzwolona kaskada odpowiedzi immunologicznej powoduje transport komórek odpornościowych do miejsca urazu [2].

Działanie światła spolaryzowanego ma charakter biostymulujący, z którego wynika działanie przeciwzapalne, analgetyczne (przeciwbólowe), harmonizujące procesy metaboliczne, stymulujące procesy regeneracji i samoleczenia organizmu. Efekt biostymulacyjny zależy w większym stopniu nie od natężenia wiązki świetlnej ale od jej polaryzacji [2].

Badania mechanizmów biologicznych zostały wyprzedzone przez obserwacje kliniczne, które potwierdzają skuteczność terapeutyczną światła spolaryzowanego. Terapia światłem spolaryzowanym ma zastosowanie w wielu dziedzinach medycyny np. w traumatologii (chirurgii urazowej), reumatologii, neurologii, dermatologii, medycynie sportowej, chirurgii plastycznej i kosmetologii [3].

Najczęściej używanym terminem określającym formę światła spolaryzowanego stosowanego do terapii jest nazwa V.I.P. czyli Visible Incoherent Polarized, chociaż spotyka się też określenia: światło Bioptron, światło Bionic lub PILER czyli Polichromatic Incoherent Low Energy Radiation [3].

W Polsce dostępne są urządzenia terapeutyczne, emitujące światło spolaryzowane. Zalicza się do nich szwajcarskie aparaty BIOPTRON. Wśród nich wyróżniamy: BIOPTRON COMPACT – ręczny, kompaktowy model domowy (urządzenie składa się ze specjalnego reflektora halogenowego z dmuchawą chłodzącą oraz z timera wydającego dźwięk w odstępach dwuminutowych), BIOPTRON 2 – model duży, dostosowany do potrzeb klinik, szpitali, ośrodków sportowych, gabinetów kosmetycznych (urządzenie zawiera reflektor halogenowy, elektroniczny timer, zintegrowany obwód typu soft-start/soft-stop, statyw) oraz BIOPTRON 3 – aparat pośredni pomiędzy dwoma poprzednimi modelami [3].

Zakres fal emitowanych przez lampy BIOPTRON wynosi 480-3400 nm (światło polichromatyczne, widzialne i w części podczerwone, pozbawione nadfioletu), współczynnik polaryzacji światła lampy osiąga wartość ponad 95 %. Ponadto światło lampy BIOPTRON jest niekoherentne (niespójne) i niskoenergetyczne. Niekoherentność wiązki sprawia, że natężenia światła nie sumują się, a zatem światło dostarczane jest do tkanki ze stałą, niewielką intensywnością



Rys. 1. Lampa BIOPTRON 2

TABELA 1

Parametry pracy aparatu – Bioptron 2

Średnica filtra	15 cm
Zasilanie	100-230 V~, 50/60 Hz
Pobór mocy	56 VA
Moc żarówki halogenowej	90 W
Klasa ochrony	Klasa I, IP 20
Typ urządzenia	Typ B
Ciężar bez statywu	0,5 kg
Temperatury otoczenia:	
- eksploatacja	+10°C do +40° C
- magazynowanie	+5°C do + 45 ° C
Długość fali	480 – 3400 nm
Stopień polaryzacji	>95% (590 – 1550 nm)
Jednostkowa gęstość mocy	średnio 40 mW/cm ²
Energia światła na minutę	średnio 2.4 J/cm ²

Z kolei istota polaryzacji halogenowej wiązki świetlnej polega na odbiciu jej od wielowarstwowego kryształu (lustra Brewstera) spełniającego funkcję płytki polaryzacyjnej [3].

Podawane przez producenta wskazania terapeutyczne lampy BIOPTRON są następujące [3]:

- leczenie ran pourazowych, pooperacyjnych, oparzeń, odleżyn, owrzodzeń,
- leczenie schorzeń organów ruchu tj. reumatyzm, haluxy, kontuzje (uszkodzone ścięgna, więzadła, zwichnięcia, stłuczenia, złamania),
- leczenie trądziku, alergii, cellulitis, egzemy, łuszczycy, blizn, niwelowanie zmarszczek,
- leczenie przewlekłych zespołów bólowych (migreny, neuralgii),
- leczenie zapalenia zatok przynosowych, grypy, chrypki,
- leczenie depresji, zaburzeń snu.

Innym urządzeniem terapeutycznym, w którym zastosowano światło spolaryzowane jest urządzenie BioStimul. Biostimul to sterowana mikrokomputerem elektroniczna lampa emitująca światło spolaryzowane, niekoherentne i monochromatyczne o długości fali z zakresu 620-660 nm, przy czym źródłem promieniowania są czerwone diody LED [14]. Układ optyczny, mikrokomputer sterujący i elektronika lampy są wbudowane w jedną obudowę.



Rys. 2. Lampa BIOSTIMUL 2

TABELA 2

Parametry pracy aparatu BIOSTIMUL

Zasilanie:	230 V
Moc:	4 W
Waga:	150 g
Typ światła:	Światło spolaryzowane
Charakterystyka światła:	626 nm
Stopień polaryzacji:	96%
Natężenie światła:	50 mW
System pracy:	Stały i pulsowy (5 Hz + 10%)
Powierzchnia naświetlania:	30 x 50 mm
Wyłącznik czasowy:	co 5 minut
Parametry zasilacza:	230 V, 50 Hz/9 V, 320 mA

Biostimul zalecany jest do stosowania przy leczeniu [14]:

- chorób skórnych (blizn, oparzeń, grzybicy, egzemy, alergii skórnych, półpaścu),
- schorzeń układu ruchowego (zapalenie ścięgien, bóle kręgosłupa, stawów),
- schorzeń ginekologicznych (blizny po cesarskim cięciu, leczenie rozstępów),
- schorzeń stomatologicznych (odciski pod protezami, stany zapalne w jamie ustnej, afty),
- w chirurgii – ran, wrzodów, poparzeń, obrzęków, odleżyn, gangreny cukrzycowej,
- astmy, bezsenności, braku apetytu, depresji, łuszczycy, migreny, zaparc, itp.
- w kosmetyce - trądziku i blizn.

Wreszcie ostatnią grupą urządzeń terapeutycznych wykorzystujących światło spolaryzowane są niskoenergetyczne lasery biostymulacyjne (moc średnia około 50 mW [7]).

Badania efektów biologicznych oddziaływania spolaryzowanego liniowo światła laserowego małej mocy wykazały subtelne, wielokierunkowe efekty będące wynikiem ingerencji promieniowania elektromagnetycznego w procesy metaboliczne komórki [10]. Na poziomie komórki stwierdza się m.in. przyspieszenie wymiany elektrolitowej pomiędzy komórką a jej otoczeniem, wzrost aktywności mitotycznej, wzrost aktywności enzymów i zwiększenie syntezy ATP. Na poziomie tkanki obserwuje się m.in. poprawę mikrokrążenia, pobudzenie angiogenezy, działanie immunomodulacyjne [10].

Stosowane do biostymulacji lasery małej mocy emitują promieniowanie o długości fali przeważnie w zakresie 600-1000 nm.

Są to zazwyczaj lasery gazowe He-Ne ($\lambda=632$ nm) i lasery półprzewodnikowe, w których ośrodkiem czynnym jest dioda galowo-arsenkowa ($\lambda=900$ nm) [7].

Wskazaniami do stosowania biostymulacji laserowej są m.in.: owrzodzenia, trudno gojące się rany, przewlekłe stany zapalne, choroba zwyrodnieniowa stawów, nerwobóle, neuropatia cukrzycowa, trądzik pospolity [7].

Według [4], badania kliniczne z zastosowaniem laserów dowiodły, że długość emitowanej przez laser fali świetlnej nie ma istotnego znaczenia – stymulujący wpływ światła laserowego na proces np. gojenia się ran jest niezależny od długości fali w przedziale widma widzialnego (649 nm, 628 nm, 514 nm, 488 nm), co sugeruje, że najważniejszą cechą decydującą o stymulującym działaniu światła laserowego jest polaryzacja wiązki świetlnej.

Przykład: LASER BIOSTYMULACYJNY TERAPUS

cechy: możliwość pomiaru mocy pracującej sondy, bank procedur terapeutycznych, funkcja akupunktury, wymiary: 440x240x70 mm, inteligentny interfejs użytkownika, możliwość podłączenia dwóch sond laserowych, możliwość współpracy ze skanerem.

Sonda światła czerwonego (R): długość fali: 635 nm, moc: 10 mW, praca w trybie ciągłym. Sonda światła podczerwonego (IR): długość fali: 830 nm, moc: 140 mW, praca w trybie ciągłym i impulsowym 1÷10000 Hz.



Rys. 3. Laser biostymulacyjny TERAPUS

Chociaż nie potwierdzono skutków ubocznych terapii światłem spolaryzowanym, przyjmuje się jako środek ostrożności następujące przeciwwskazania: choroby przebiegające z wysoką gorączką, przełom cukrzy-

cowy, przełom tarczycowy, padaczka, choroby nowotworowe, gruźlica, wczesne etapy ciąży. Nie stwierdzono żadnych zagrożeń tej formy terapii dla pacjentów z nadciśnieniem tętniczym, wprost przeciwnie zabieg światłem V.I.P. ma działanie hipotensyjne [3].

LITERATURA

1. Informacja obrazowa., Koordynator M. Ostrowski, WNT, Warszawa, 1992.
2. Kuźdżał A., Walaszek R.: Zastosowanie widzialnego polichromatycznego światła spolaryzowanego (VIP Light) w rehabilitacji. Część II.: Mechanizm biologicznego oddziaływania polichromatycznego światła spolaryzowanego liniowo VIP., Fizjoterapia, 2002, 10, 3-4, 65-71.
3. Kuźdżał A., Walaszek R.: Zastosowanie widzialnego polichromatycznego światła spolaryzowanego (VIP Light) w rehabilitacji. Część I. : Charakterystyka właściwości fizycznych światła VIP oraz mechanizm oddziaływania biofizycznego., Fizjoterapia, 2001, 9, 4, 48-53.
4. Kuźdżał A., Walaszek R.: Zastosowanie widzialnego, polichromatycznego światła spolaryzowanego (VIP Light) w rehabilitacji. Część IV: Przydatność światła VIP w leczeniu trudno gojących się ran., Fizjoterapia, 2004, 12, 2, 55-63.
5. Materiały do ćwiczeń z biofizyki i fizyki., pod red. B. Kędzi, PZWL, Warszawa, 1982.
6. Meyer-Arendt I. R.: Wstęp do optyki., PWN, Warszawa, 1979.
7. Mika T.: Fizykoterapia., PZWL, Warszawa, 1993.
8. Piekara A. M. : Elektryczność, materia i promieniowanie., PWN, Warszawa, 1986.
9. Promocja zdrowia., pod red. J. Karskiego, COiEOZ, Warszawa, 1999.
10. Sieroń A., Cieślak G., Adamek M.: Magnetoterapia i laseroterapia., ŚIAM, Katowice, 1994.
11. Słownik fizyczny., Wiedza Powszechna, Warszawa, 1992.
12. Sukiennik K. : Polaryzacja światła w oprawach oświetleniowych., Technika Świetlna 97. Oświetlenie wnętrz., VI Krajowa Konferencja Oświetleniowa, Warszawa, 1997.
13. Szczeniowski Sz.: Fizyka doświadczalna., PWN, Warszawa, 1967.
14. www.bioter.pl/biostimul

POLARIZED LIGHT
AND ITS MEDICAL APPLICATIONS

E. JANOSIK

ABSTRACT: *In this article the concept of light polarisation and the main ways of linear polarization obtain were reminded. The popular applications of polarised light in science and technique were listed (polarimetry, polarisation microscope, polarising filters). Then, the main ways of polarised light using in medicine were discussed, taking into account BIOPTRON lamp, BIOSTIMUL lamp and soft lasers.*