ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/306892596

Blue Light Hazard, czyli czy i jak chronić się przed nadmiarem światła niebieskiego

Article · June 2016

CITATIONS
4

READS
831

2 authors:

Ryszard Naskrecki
Adam Mickiewicz University
93 PUBLICATIONS **1,129** CITATIONS

SEE PROFILE

M. Grzonka
Adam Mickiewicz University
2 PUBLICATIONS **4** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project Zmiany powierzchni oka u użytkowników miękkich soczewek kontaktowych View project

Project The role of the vision therapy in the sensory and motor functions View project

All content following this page was uploaded by M. Grzonka on 18 September 2017.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Blue Light Hazard, czyli czy i jak chronić się przed nadmiarem światła niebieskiego

Prof. dr hab. RYSZARD NASKRĘCKI, mgr MATEUSZ GRZONKA
Pracownia Fizyki Widzenia i Optometrii
Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Wprowadzenie

Oczywistością jest stwierdzenie, że światło jest niezbędne do procesu widzenia oraz (ujmując szerzej) do wykonywania wielu zadań poznawczych (ang. *cognitive tasks*). Współczesna nauka twierdzi, że światło „istotnie moduluje funkcje poznawcze mózgu", a wielkość tych zmian zależy od „siły ekspozycji światła" (natężenie światła, czas ekspozycji, rozkład spektralny) [1].

Warunki świetlne, w których pracuje nasz układ wzrokowy, tworzą środowisko wzrokowe, które ilościowo określa natężenie oświetlenia, jego rozkład przestrzenny i czasowy oraz rozkład spektralny światła (jego widmo). Interesują nas takie warunki w środowisku wzrokowym, przy których jakość widzenia i wydolność wzrokowa będą możliwie najwyższe (mówimy wówczas o komforcie wzrokowym).

Zazwyczaj wyróżnia się dwie grupy czynników decydujących o jakości widzenia: czynniki fizjologiczne (m.in. akomodacja, adaptacja) oraz czynniki fizyczne, które obecnie możemy w dużym stopniu kształtować: luminancja przedmiotu pracy wzrokowej i jego kontrast, rozkład luminancji, kątowy rozmiar szczegółów i czas przeznaczony na postrzeganie) [2].

Samo pojęcie 'światło' jest pojęciem dość ogólnym i zwykle przyjmuje się, że światło obejmuje szeroki zakres fal elektromagnetycznych, w którym wyróżniamy trzy podzakresy: zakres widzialny (VIS), ultrafiolet (UV) i podczerwień (IR). Przyjmuje się, że zakres widzialny światła obejmuje przedział spektralny o długościach fali od 380 do 760 nm (energia fotonów od 3.26 eV do 1.63 eV). Ultrafiolet to przedział długości fali od 10 nm do 380 nm, przy czym, co należy podkreślić, ultrafiolet o długościach fali poniżej 200 nm nie rozchodzi się w powietrzu atmosferycznym, w którym jest silnie pochłaniany. Podczerwień obejmuje zakres długości fal od 760 nm do 1 mm (1 000 000 nm). Należy podkreślić, że granice pomiędzy poszczególnymi zakresami są dość umowne i mogą być także, w przypadku światła widzialnego, osobniczo zmienne.

Przez wiele lat przedmiotem zainteresowania badaczy, w kontekście negatywnego wpływu na układ wzrokowy, był ultrafiolet. Określono takie pojęcia jak „ocular phototoxicity" czy „light damage", które jednoznacznie wskazywały na negatywny wpływ ultrafioletu na oko i układ wzrokowy. Warto w tym miejscu powiedzieć, że niemal całe światło UV dochodzące do ludzkiego oka jest absorbowane przez rogówkę i/lub soczewkę oka – w oku osoby dorosłej tylko 1–2% padającego światła UV dochodzi do siatkówki. Istotny jest także fakt, że absorpcja ultrafioletu przez ośrodki optyczne oka, szczególnie przez soczewkę oka, zwiększa się z wiekiem. Ponadto rogówka i soczewka absorbują również podczerwień powyżej 980 nm, a ciało szkliste podczerwień powyżej 1400 nm. Reasumując, można stwierdzić, że rogówka i soczewka oka tworzą bardzo dobry filtr optyczny dla promieniowania UV, należy jednak pamiętać, że w momencie absorpcji promieniowania dochodzi do przekazania energii fotonów tkance, co może skutkować (i skutkuje) jej poważnymi uszkodzeniami. Zgodnie bowiem z prawem Grotthusa-Drapera – tylko światło zaabsorbowane może wywoływać przemianę fotochemiczną.

Konsekwencją tych intensywnych badań jest obecna wiedza o wpływie światła UV na układ wzrokowy i organizm człowieka, co istotnie wpłynęło na świadomość konieczności ochrony przed światłem UV oraz na rozwój i rozpowszechnienie metod chroniących przed nadmierną ekspozycją na światło ultrafioletowe.

W ostatnich latach istotnie wzrosło zainteresowanie „problemem światła niebieskiego" (nazywanym także wysoko-energetycznym światłem widzialnym, HEV – ang. *High Energy Visible*), za które przyjmuje się zakres spektralny od 380 do 480 nm (energia fotonów od 3,26 eV do 2.58 eV). Podejmowane są nowe badania, publikowane są kolejne prace naukowe, które koncentrują się przede wszystkim na tzw. pozawzrokowym efekcie światła. Wykazano, że światło niebieskie może skutecznie oddziaływać na niektóre barwniki znajdujące się w komórkach, np. na melanopsynę obecną w siatkówce oka.

Problem światła niebieskiego

Przystępując do badań dotyczących „problemu światła niebieskiego" należało postawić szereg pytań, na które odpowiedzi pozwolą sformułować kilka hipotez badawczych:

1. Czy problem światła niebieskiego jest problemem rzeczywistym, który może i powinien być rozwiązany z użyciem metodologii naukowej?
2. Dlaczego i jak nadmiar światła z niebieskiego obszaru widma światła widzialnego wpływa negatywnie na układ wzrokowy oraz funkcjonowanie organizmu człowieka?
3. Skąd bierze się nadmiar światła widzialnego i jakie specy-

ficzne właściwości posiadają ekrany urządzeń cyfrowych, będące źródłem światła niebieskiego?

4. Jak można ograniczyć nadmiar światła niebieskiego docierającego do naszych oczu?

Chronobiologia i melanopsyna

Obserwacje chronobiologiczne świata roślin i zwierząt prowadzone są od starożytności. Większość procesów zachodzących w organizmach żywych podlega cyklicznej zmienności (oscylacji) z okresami od ułamka sekundy do roku (rytmy biologiczne) [3]. Obecnie wiadomo, że najważniejszym modulatorem aktywności zegara biologicznego u ssaków jest przede wszystkim światło (słoneczne lub sztuczne) oraz tzw. bodźce nieświetlne, m.in. pory posiłków, aktywność fizyczna, temperatura. W ostatnich latach dobrze został poznany sposób przekazywania informacji chronobiologicznej (poznanie rodziny genów zegarowych), w tym szlak przekazywania informacji o oświetleniu środowiska z siatkówki do szyszynki człowieka (także u innych gatunków ssaków).

Z praktycznego punktu widzenia coraz częściej zwraca się także uwagę na znaczenie rytmów okołodobowych (cirkadialnych) w patologii człowieka, wskazując, że ich zaburzenia mogą prowadzić do wzrostu zachorowań na choroby somatyczne i psychiczne. Badane są czynniki wywołujące zaburzenia rytmu okołodobowego, poszukuje się także powiązań pomiędzy tzw. chorobami cywilizacyjnymi a zegarem biologicznym i jego zaburzeniami [4]. Wykazano, że rytmy okołodobowe (ich cykl trwa około 24 godzin) są silnie zsynchronizowane z warunkami środowiska, szczególnie z warunkami świetlnymi (ang. *photoentrainment*). Zidentyfikowanie melanopsyny w komórkach zwojowych siatkówki i pokazanie, że to właśnie ten barwnik jest odpowiedzialny za przekazywanie informacji o świetle do komórek zegara biologicznego i w konsekwencji, że to właśnie te komórki odgrywają kluczową rolę w regulacji niewzrokowej odpowiedzi na światło, było znaczącym odkryciem [5]. Wykazano, że melanopsyna absorbuje światło z przedziału spektralnego od około 400 do 550 nm z maksimum absorpcji przy 467 nm (światło niebieskie) oraz współczynnikiem absorpcji ($\varepsilon max = 33000 \pm 1000\ M^{-1}\ cm^{-1}$) [6].

W efekcie można więc mówić o dwóch różnych i funkcjonalnie odmiennych szlakach odbioru światła: szlaku wzrokowym, opartym o fotodetekcję pręcików i czopków (nazywanym także „image-forming photoreceptor system") oraz drugim – szlaku niewzrokowym, opartym o absorpcję fotonów przez melanopsynę (nazywanym także „non-image-forming photoreceptor system"). Przypuszcza się, że w pełni wykształconej siatkówce systemy widzenia wzrokowego i niewzrokowego całkowicie ze sobą współpracują. Badania nad mechanizmami świetlnej regulacji rytmów okołodobowych pokazały, że utrata pręcików i czopków nie zmienia chronobiologicznych odpowiedzi zwierząt na światło, a u niektórych osób niewidomych zachowana jest zdolność do regulacji, przez światło syntezy melatoniny, rytmu sen-czuwanie oraz dobowych oscylacji poziomów kortyzolu w osoczu [7].

Nowe źródła światła niebieskiego

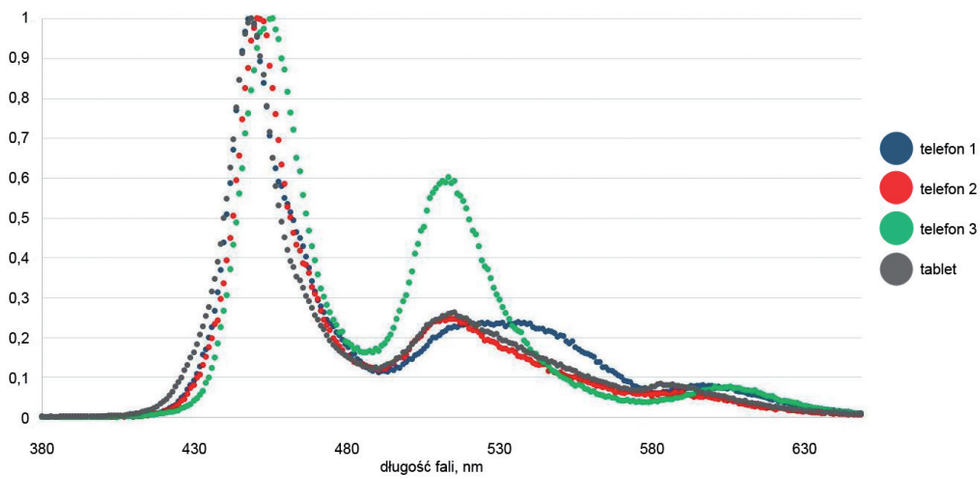
Rewolucja cyfrowa sprawiła, że podstawowym elementem kontaktu z wirtualnym światem Internetu, ale także z innymi ludźmi stały się wyposażone w ekrany urządzenia cyfrowe. Technologia produkcji takich ekranów stymulowana rosnącymi wymaganiami w zakresie jakości odwzorowania obrazu (rozdzielczość i paleta barw) bazuje na wykorzystaniu źródeł światła typu LED o bardzo wysokich temperaturach barwowych (luminofory takich ekranów wymagają do naświetlania intensywnego światła z niebieskiego zakresu widma). Skutkuje to tym, że w widmie luminescencji takich ekranów istotny udział ma światło niebieskie. Coraz częściej mówi się więc o nadmiarze światła niebieskiego, emitowanego przez takie ekrany.

Tymczasem badania pokazują, że ponad 90% osób dorosłych używa urządzeń cyfrowych dłużej niż dwie godziny dziennie, w tym ponad 60% osób dorosłych używa urządzeń cyfrowych przez ponad pięć godzin dziennie, a niemal 30% osób dorosłych spędza przed ekranami tych urządzeń ponad dziewięć godzin dziennie! Te same badania pokazują, że 25% dzieci używa urządzeń cyfrowych dłużej niż trzy godziny dziennie! Długotrwałość kontaktu układu wzrokowego ze światłem emitowanym przez takie ekrany jest więc ewidentnym faktem. Warto jednak zwrócić uwagę, że dzieci narażone są na niebieskie światło ekranów urządzeń cyfrowych w znacznie większym stopniu niż osoby dorosłe ze względu na brak naturalnej protekcji przez ośrodki optyczne oka. Badania transmisyjności (przepuszczalności dla światła) ośrodków optycznych oka pokazują bowiem, że w zakresie spektralnym od 400 do 500 nm transmisyjność ta jest największa u dzieci (w maksimum ponad 70%) i zmniejsza się wraz z wiekiem – do maksimum 50% w wieku 60 lat i do około 30% w wieku 90 lat. Ponadto krótsze ramiona oraz dobra akomodacja u dzieci determinują krótsze odległości pracy (obserwacji), co efektywnie zwiększa ilość światła docierającego do oczu [8].

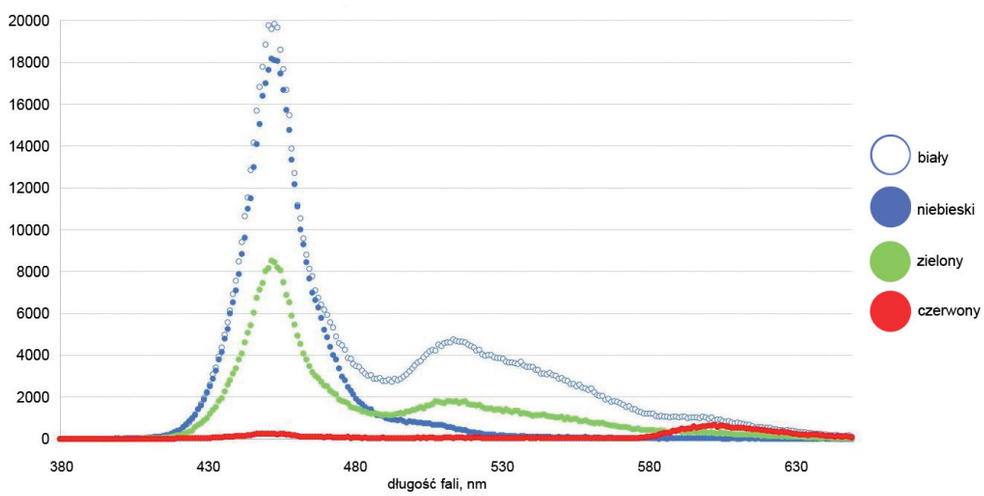
Badania własne

W ramach przeprowadzonych badań zmierzono rozkłady spektralne luminescencji ekranów wybranych urządzeń cyfrowych: tabletu oraz czterech telefonów typu smartfon przodujących na rynku producentów. Wszystkie wybrane urządzenia posiadały obecnie bardzo rozpowszechnione matryce typu IPS (ang. *In-Plane Switching*), które cechują się bardzo szerokimi kątami widzenia w poziomie i pionie, mają równomierne podświetlenie oraz dużą wierność odwzorowywanych kolorów. Pomiary wykonano z użyciem spektrofluorymetru FluoTime 300 (PicoQuant) pracującego w trybie stacjonarnym z detekcją TCSPC. Wszystkie zmierzone widma skorygowano krzywą czułości detektora, a pomiary wykonano w zakresie spektralnym 350–800 nm z rozdzielczością 1 nm, wykorzystując standardowe wzorce tła białego, niebieskiego, czerwonego i zielonego. Aby uzyskać równomierność rozkładu przestrzennego luminancji poszczególnych ekranów, oświetlano umieszczone w torze detekcji naczynie z roztworem koloidalnej

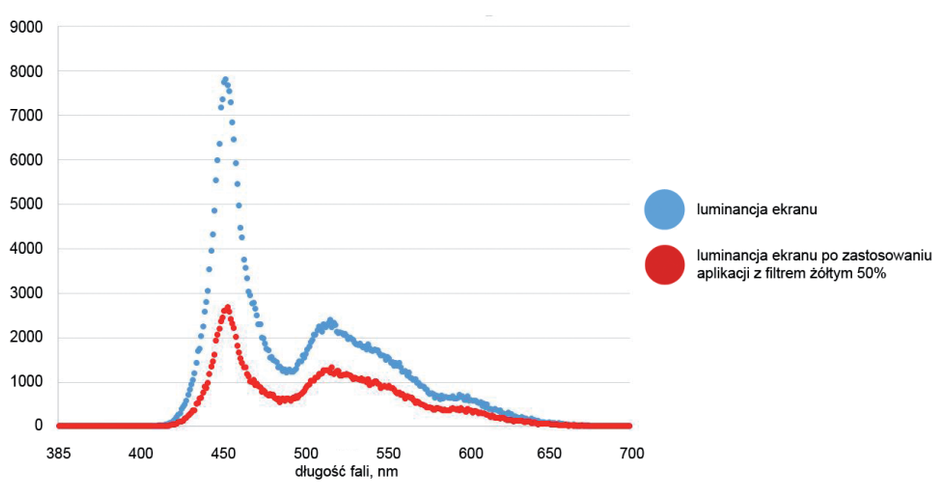
krzemionki (ludox). Za pomocą luksomierza L-100 z przystawką do pomiaru luminancji zmierzono luminancję poszczególnych ekranów, która wynosiła od 325 do 500 cd/m². Z danych udostępnionych przez producentów ustalono, że temperatury barwowe badanych ekranów wynosiły od 6500K do 7290K. Unormowane widma luminescencji poszczególnych ekranów przedstawiono na wykresie 1.



Wykres 1. Unormowane widma luminescencji ekranów wybranych urządzeń cyfrowych



Wykres 2. Widma luminescencji ekranu przy różnych kolorach wyświetlanego tła



Wykres 3. Skuteczność działania aplikacji do redukcji światła niebieskiego z filtrem żółtym 50%

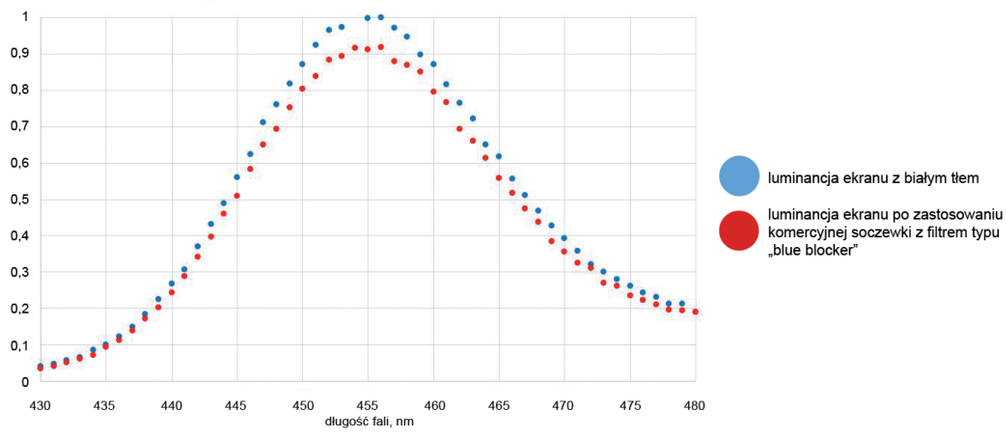
Charakterystyczną cechą tych widm jest intensywne pasmo luminescencji w zakresie spektralnym od około 420 nm do 480 nm. Oszacowano, że pasmo niebieskie stanowi ponad 30% całkowitej luminescencji.

Ciekawe wyniki uzyskano, badając luminescencję ekranów przy różnych kolorach tła. Zmierzone widma dla jednego z wybranych ekranów przedstawiono na wykresie 2. Udział pasma niebieskiego w widmie emisji ekranu jest bardzo wysoki dla tła białego i niebieskiego, znacznie mniejszy dla tła zielonego i praktycznie zanika dla tła czerwonego.

Ochrona przed światłem niebieskim

Obecnie istnieje kilka różnych sposobów ochrony przed nadmiarem światła niebieskiego, emitowanego przez ekrany urządzeń cyfrowych:

- Zmniejszenie intensywności świecenia ekranu, które skutkuje zmianą poziomu luminancji oraz zmianą jej rozkładu spektralnego (maleje temperatura barwowa), a w konsekwencji zmniejszeniem udziału pasma niebieskiego w integralnym świeceniu ekranu.
- Zmiana koloru tła – obecnie istnieją różne aplikacje, które umożliwiają modyfikację koloru tła ekranu, np. Bluelight Filter (Android) i F.lux (iPhone). Na wykresie 3 przedstawiono zmianę luminancji ekranu po zastosowaniu aplikacji do redukcji światła niebieskiego (stopień redukcji 50%).
- Filtry absorpcyjne lub absorpcyjno-odbiciowe typu „blue-blocker lens", które pochłaniają światło niebieskie, np. filtry żółte lub pomarańczowe (ang. *amber/yellow filters*) lub filtry z powłoką antyrefleksyjną, dla której współczynnik odbicia w zakresie pasma niebieskiego jest większy niż w pozostałym zakresie widma, co skutkuje zmniejszeniem udziału światła niebieskiego (ang. *blue attenuating anti-reflective lenses*). Na wykresie 4 przedstawiono zmianę luminancji w zakresie światła niebieskiego po zastosowaniu komercyjnej soczewki okularowej z filtrem blue-blocker.



Wykres 4. Zmiana luminescencji ekranu w „pasmie niebieskim" po zastosowaniu komercyjnej soczewki z filtrem typu „blue blocker"

Wnioski

1. Należy pamiętać, że ewolucyjnie człowiek jest przystosowany do percepcji światła niebieskiego, które pełni istotną rolę w procesie widzenia barwnego (trichromatyczność), ale także jest ważne w procesie akomodacji, odruchu źrenicznym oraz w kontroli rytmu dobowej aktywności [9].
2. Nadmiar światła niebieskiego w widmie luminescencji wybranych ekranów urządzeń cyfrowych jest ewidentny i przy długich czasach ekspozycji może wpływać na procesy wzrokowe i pozawzrokowe.
3. Skuteczne odfiltrowanie „piku" światła niebieskiego wymaga użycia filtrów selektywnych (pasmowych) lub filtrów krawędziowych (tzw. *long pass*) o długości fali odcięcia powyżej 520 nm (żółte zabarwienie).
4. Wykorzystanie filtrów żółtych najbardziej skutecznie eliminuje ilość światła niebieskiego docierającego do oczu (w praktyce może je całkowicie usunąć), jednak istotnie wpływa na percepcję barw (indukuje efekt tritanopii) oraz wpływa także na estetykę (żółte okulary).
5. Zgodnie z normą PN-EN ISO 12312-1 widmowy współczynnik przepuszczalności (transmisji) światła takiego filtru τ_V w zakresie spektralnym 380–780 nm wynosił będzie od 30 do 60%, co determinuje kategorię filtru 1 lub 2.
6. Obecne możliwości technologiczne produkcji soczewek okularowych umożliwiają dużą indywidualizację właściwości filtrujących, co powinno być skutecznie wykorzystane przez przemysł optyczny.
7. Potrzebne są dalsze, rzetelne badania naukowe, które pozwolą określić wpływ nadmiaru światła niebieskiego na środowisko wzrokowe człowieka szczególnie w kontekście roli pozawzrokowego efektu światła.

Podziękowania
Autorzy dziękują Panu dr. Tomaszowi Pędzińskiemu z Zakładu Fizyki Chemicznej Wydziału Chemii UAM za umożliwienie i pomoc w wykonaniu pomiarów luminescencji.

Piśmiennictwo

1. Gilles Vandewalle, Pierre Maquet i Derk-Jan Dijk. Light as a modulator of cognitive brain function. *Trends in Cognitive Sciences* vol. 13, No. 10
2. A. Pawlak. Oświetlenie elektryczne. Centralny Instytut Ochrony Pracy
3. I. Andrys-Wawrzyniak, A. Jabłecka. Chronobiologia, chronofarmacja i ich miejsce w medycynie (cz. I). *Farmacja Współczesna* 2008, 1: 94–108
4. K. Skwarno-Sońta. Melatonina: hormon snu czy hormon ciemności? *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych* 2014, 63(2), 223–231
5. P. Orłowska-Feuer. *Melanopsin modulation of slow oscillatory activity in the subcortical visual system – in vivo electrophysiological study on rats and mice*. Rozprawa doktorska, 2014
6. T. Matsuyama, T. Yamashita, Y. Imamoto i Y. Shichida. Photochemical Properties of Mammalian Melanopsin. *Biochemistry* 2012, 51, 5454–5462
7. J. B. Zawilska, K. Czarnecka. Melanopsyna – nowo odkryty chronobiologiczny receptor światła. *Postępy Biologii Komórki* 2006, 33(2), 229–246
8. Anne-Marie Lahr. *Blue Light and Digital Eye Strain. Educating Patients and Providing Solutions*. 2015 Digital Eye Strain Report
9. M. Kowalczyk-Hernández. *Czy światło niebieskie jest nam potrzebne?* Referat na II Optycznym Forum Naukowym „Ochrona wzroku w dobie powszechnej cyfryzacji", Sosnówka 4–5 marca 2016

Dział „Optyka – nauka": zapraszamy do współpracy!

Redakcja „Optyki", realizując postulaty środowisk akademickich oraz organizacji reprezentujących środowiska optyków i optometrystów (KRIO, PTOO, ŚKAOOiO), prowadzi dział „Optyka – nauka". Przedsięwzięcie to ma na celu umożliwienie publikacji oryginalnych wyników badań naukowych przede wszystkim studentom, doktorantom oraz młodym pracownikom nauki. „Optyka" znalazła się na liście punktowanych czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Za publikacje w naszym czasopiśmie przyznawane są 2 punkty naukowe! Nad merytorycznym poziomem nadsyłanych do druku prac czuwa Rada Naukowa dodatku „Optyka – nauka" w składzie:

Prof. dr hab. RYSZARD NASKRĘCKI (Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu)
Dr hab. inż. D. ROBERT ISKANDER (Politechnika Wrocławska)
Prof. dr hab. HENRYK KASPRZAK (Politechnika Wrocławska)
Prof. dr hab. ANDRZEJ KOWALCZYK (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu)
Dr hab. MAREK KOWALCZYK-HERNÁNDEZ (Uniwersytet Warszawski)
Prof. dr hab. BOGDAN MIŚKOWIAK (Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu)

Rada korzystać będzie także z pomocy zewnętrznych recenzentów.
Wszelkie informacje na temat wymogów przygotowywania manuskryptów znajdują się na naszej stronie internetowej: www.gazeta-optyka.pl.

View publication stats