

Teoria Promieniowania UV

1.1. Jednostki podstawowe

h - stała Plancka. 20.05.2019 roku weszły w życie nowe definicje jednostek podstawowych układu SI. Kilogram został tak zdefiniowany, aby wartość stałej Plancka była równa:

$$h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

\hbar - stała uniwersalna, równa stałej Plancka h podzielonej przez 2π

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054571817... \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 6,582119569... \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

Ładunek elektronu: $e = 1,602\ 176\ 634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (przyjęto 20 maja 2019r)

1C (kulomb) - to taki ładunek, który na równy sobie ładunek działa w próżni siłą $F=9 \cdot 10^9 \text{ N}$.

1C = $6,241509074460762607776 \cdot 10^{18} \cdot e$ (elementarnych ładunków elektrycznych).

eV - to energia, jaką uzyskuje bądź traci elektron, który przemieścił się w próżni w polu elektrycznym o różnicy potencjałów równej 1 woltowi. eV - wyrażony w dżulach, to 1V pomnożony przez 1e, czyli $eV = e \cdot 1V = 1,602\ 176\ 634 \cdot 10^{-19} \text{ J}$,

zatem:

$$\text{masa elektronu } m_e = 1eV / c^2 = 1,782\ 661\ 92 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

$$\text{masa protonu } m_p = 938 \text{ MeV}/c^2 = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{masa neutronu } m_n = 939,565 \text{ MeV}/c^2 \approx 1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

1u = 1 j.m.a. - jednostka masy atomowej „*atomic mass unit*”, będąca jednostką masy. Ze względów praktycznych zdefiniowana jako 1/12 masy atomu węgla ^{12}C , a w przybliżeniu równa masie atomu wodoru (jego najlżejszego izotopu).

$$1 \text{ u} = 1,660\ 538\ 921(73) \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,660\ 538\ 921(73) \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,494\ 028(23) \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

zatem:

$$\text{masa elektronu } m_e = 0,00054858 \text{ u}$$

$$\text{masa protonu } m_p = 1,0072765 \text{ u}$$

$$\text{masa neutronu } m_n = 1,008665 \text{ u}$$

1.2. Podstawy mechaniki kwantowej

Mechanika kwantowa jest teorią układów atomowych i jądrowych. Rozwinęła się na gruncie fizyki klasycznej, w szczególności zaś na podstawie dwóch głównych jej gałęzi:

1. Mechaniki Newtona
2. Teoria elektromagnetyczna Maxwella.

W tym krótkim rozdziale naszkicowano ogólne pojęcia teorii klasycznej [Matthews]. Następnie opisano, jak te pojęcia okazały się zupełnie nieodpowiednie do opisu układów atomowych oraz przedstawiono reguły nałożone przez Plancka, Bohra i de Broglie'a na teorię klasyczną, służące do zbudowania tego, co nazywane jest starszą teorią kwantów.

1.2.1. Fizyka klasyczna

W fizyce klasycznej uważa się, że materia składa się z cząstek punktowych, które poruszają się pod wpływem oddziałujących sił według praw Newtona.

1.2.1.1. Mechanika Newtona

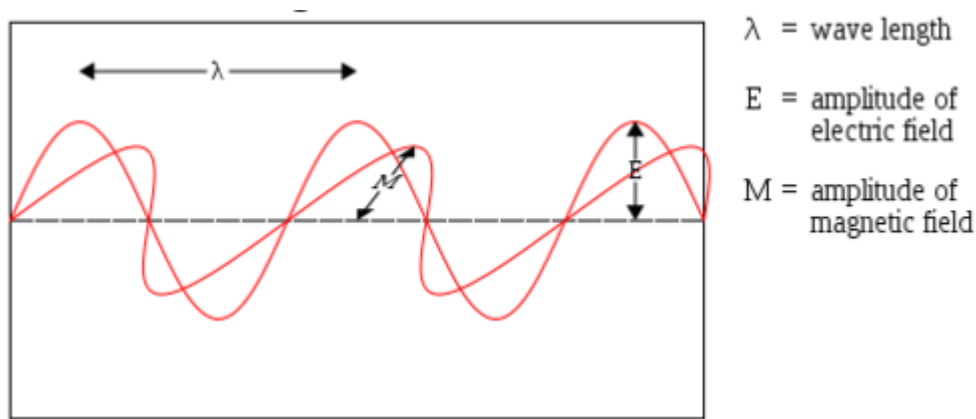
Najważniejszym z praw Newtona jest *prawo ruchu*: **siła = masa x przyspieszenie**. Teoria ta, w połączeniu z prawem ciężenia odniosła wielkie sukcesy w wyjaśnieniu ruchu planet oraz dostarczyła zadowalającego opisu ruchu układów makroskopowych elektrycznie obojętnych. Istotnym punktem tej teorii jest to, że materię traktuje się jako cząstki o określonej masie, a ruch cząstki swobodnej określony jest jej energią E oraz pędem \mathbf{p} .

1.2.1.2. Teoria elektromagnetyczna

Drugi ważny dział fizyki klasycznej dotyczy zjawisk elektrycznych i magnetycznych, które można najlepiej opisać za pomocą pola elektrycznego $\mathcal{E}(\mathbf{x})$ i magnetycznego $\mathcal{H}(\mathbf{x})$. Pola te związane są z gęstościami ładunku elektrycznego i prądu równaniami Maxwella. Duże znaczenia ma dla nas fakt, że równania Maxwella prowadzą do wniosku, iż w przestrzeni swobodnej, zarówno pole elektryczne, jak i magnetyczne spełniają równanie:

$$\left(\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \nabla^2 \right) \begin{cases} \mathcal{E}(\mathbf{x}) \\ \mathcal{H}(\mathbf{x}) \end{cases} = \mathbf{0} \quad (1.1)$$

Z tego równania wynika, że pola te rozchodzą się w przestrzeni, jako fale elektromagnetyczne ze stałą prędkością c . Fala elektromagnetyczna, zawierająca dwie typy fale, oscylują w prostopadłych do siebie kierunkach. Jedną z nich jest oscylujące pole magnetyczne, a drugą – pole elektryczne. Wygląda to jak na rysunku poniżej:



Maxwell pierwszy wysunął przypuszczenie, że fale te dla odpowiednich częstotliwości ν , należy utożsamić ze światłem widzialnym. Od tego czasu poznaliśmy inne rodzaje promieniowania: począwszy od niezmiernie niskich pasm częstotliwości stosowanych w radarach i radioastronomii, poprzez zakres widzialny, aż do wysokich częstotliwości charakteryzujących promieniowanie rentgenowskie i promieniowanie gamma pochodzące z pyłów radioaktywnych.

Jak wiadomo z optyki geometrycznej, promieniowanie cechuje się wieloma własnościami, dla których pojęcie fali nie jest istotne. Jednakże, dla zadowalającego wyjaśnienia zjawisk interferencyjnych, np. dyfrakcji, obraz falowy jest niezbędny. Najczęściej mamy do czynienia z falą określoną wzorem:

$$\exp[-i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{x})] \quad (1.2)$$

gdzie częstość kołowa ω oraz wektor propagacji \mathbf{k} , są podstawowymi wielkościami fizycznymi, charakteryzującymi falę. Są one związane z częstością ν oraz długością fali λ zależnościami: $\omega = 2\pi\nu$, $|\mathbf{k}| = 2\pi/\lambda$

Ponieważ prędkość fali elektromagnetycznej w próżni wynosi c , więc:

$$\omega = |\mathbf{k}| \cdot c \quad (1.3)$$

Dwa działy nauki: mechanikę i elektromagnetyzm wiąże ze sobą prawo Lorentza, które głosi, że cząstka o ładunku e , poruszająca się w polu elektromagnetycznym z prędkością \mathbf{v} , podlega działaniu siły \mathbf{F} , określonej wzorem:

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}) = e [\mathcal{E}(\mathbf{x}) + c^{-1} \cdot \mathbf{v} \times \mathcal{H}(\mathbf{x})] \quad (1.4)$$

Klasyczny obraz świata, w którym materia składa się z cząstek punktowych, a promieniowanie składa się z fal, mogłoby stanowić oparcie dla podstawowego opisu wszystkich zjawisk fizycznych. W tym obrazie, cząstkami punktowymi są protony o masie m_p oraz elektrony o masie m_e oraz posiadające jednostkowy ładunek elektryczny e .

Oddziaływanie między cząstkami odbywa się za pośrednictwem podstawowych sił elektromagnetycznych i grawitacyjnych. Jednakże, nawet przed odkryciem protonu, klasyczne pojęcia okazały się całkowicie niewystarczające do opisu ruchu elektronów oraz ich oddziaływania z promieniowaniem.

1.2.2. Upadek pojęć klasycznych - starsza teoria kwantów

Pierwsze oznaki upadku pojęć klasycznych wystąpiły w dość skomplikowanym zjawisku promieniowania ciała czarnego. Zjawisko to związane jest z procesem termodynamicznym wymiany energii pomiędzy promieniowaniem i materią. W teorii klasycznej przyjmuje się, że wymiana energii jest ciągła, tzn. iż światło o częstotliwości kołowej ω może w procesie absorpcji stracić dowolną ilość energii, przy czym w poszczególnych przypadkach tracona ilość energii zależy od energii wiązki świetlnej.

1.2.2.1. Korpuskularne aspekty promieniowania i hipoteza Plancka

Jak wykazał Planck M., poprawny, z punktu widzenia termodynamiki wzór, możemy uzyskać tylko wtedy, gdy założymy, że wymiana energii zachodzi w sposób **nieciągły**.

W szczególności Planck wysunął postulat, że wymiana energii między materią, a promieniowaniem o częstotliwości kołowej ω , może odbywać się jedynie w ilościach będących wielokrotnościami $\hbar\omega$. Innymi słowy, hipoteza Plancka oznacza, że światło o częstotliwości kołowej ω , zachowuje się jak strumień cząstek (fotonów) o energii:

$$E = \hbar\omega, \quad (1.6)$$

które materia może wysyłać lub pochłaniać. Ponieważ fotony poruszają się z prędkością światła, więc według szczególnej teorii względności, ich masa spoczynkowa musi być równa zero. Z relatywistycznego związku, między energią i pędem,

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4 \quad (1.7)$$

wynika, że dla fotonów ($m = 0$)

$$E = pc \quad (1.8)$$

Eliminując z równań (1.3), (1.6) oraz (1.8) wielkość c ,

$$\omega = |\mathbf{k}| \cdot c \quad E = \hbar\omega \quad E = pc$$

otrzymujemy:

$$\boxed{\begin{matrix} E = \hbar\omega \\ \mathbf{p} = \hbar\mathbf{k} \end{matrix}} \quad (1.9)$$

Na podstawie tych relacji widać wyraźnie zależność między parametrami (E , \mathbf{p}) fotonu i parametrami (ω , \mathbf{k}) odpowiadającej mu fali.

Zjawisko fotoelektryczne jest znacznie prostszym przykładem, w którym ujawnia się korpuskularny aspekt promieniowania. Jeśli monochromatyczna wiązka światła o częstotliwości kołowej ω zostanie skierowana na powierzchnię metalu, to **może** nastąpić emisja elektronów. Jeżeli $\hbar\omega$ jest mniejsze niż pewna, zależna od rodzaju metalu, wartość granicznej energii W , to chociaż będziemy zmieniać w szerokim zakresie natężenie wiązki, nie zaobserwujemy w ogóle emisji elektronów. W przypadku, gdy $\hbar\omega > W$, to będą emitowane elektrony z energią kinetyczną T , przy czym:

$$\hbar\omega = W + T \quad (1.10)$$

Należy tutaj zaznaczyć, że energia T emitowanych elektronów **zależy tylko od częstotliwości**, a nie zależy od natężenia promieniowania. Z punktu widzenia teorii klasycznej ciągłej wymiany energii jest to zupełnie **niezrozumiale**. Natomiast **wszystko daje się wytłumaczyć**, jeśli przyjąć hipotezę Plancka.

Wielkość W jest wartością pracy (energii) potrzebnej do uwolnienia elektronu spod wpływu potencjału przyciągającego wytworzonego przez metal. Jeżeli energia $\hbar\omega$ niesiona przez fotony mniejsza niż W , wówczas elektrony nie będą emitowane.

Zjawisko fotoelektryczne stanowi bardzo specyficzne potwierdzenie hipotezy Plancka, warunkuje je bowiem wyłącznie wymiana energii pomiędzy promieniowaniem i elektronami. Inne efekty nie odgrywają tutaj żadnej roli. Zjawisko fotoelektryczne i promieniowanie ciała czarnego wykazują jedynie to, że wymiana energii odbywa się pomocą kwantów energii.

1.2.2.2. Falowe aspekty materii i hipoteza de Broglie'a

Zjawiska wyżej opisane ujawniły korpuskularne aspekty promieniowania. Uzupełniającymi, względem nich, były wyniki doświadczeń Davissona C. oraz Germera L., którzy stwierdzili, że wiązka elektronów odbita od powierzchni kryształu niklu tworzy obraz dyfrakcyjny, analogiczny do obrazu, jaki daje światło ugięte na siatce dyfrakcyjnej. Obraz utrzymuje się nawet wtedy, gdy intensywność wiązki elektronów jest tak mała, iż elektrony przechodzą pojedynczo przez przyrząd. Dyfrakcja ma charakter falowy i jeśli występuje w tych warunkach, to świadczy o tym, że z ruchem pojedynczego elektronu, opisywanego parametrami E oraz \mathbf{p} , odnoszącymi się do cząstek, należy w jakiś sposób związać falę o ogólnej postaci danej wzorem (1.2).

Jeszcze przed doświadczeniami Davissona oraz Germera, inny fizyk de Broglie wysunął sugestię, że wzór (1.9), łączący korpuskularne i falowe cechy promieniowania, powinien stosować się również do elektronów. Tak więc, elektronowi o danej energii E i pędzie \mathbf{p} , została w bliżej nieokreślony sposób przyporządkowana fala de Broglie'a:

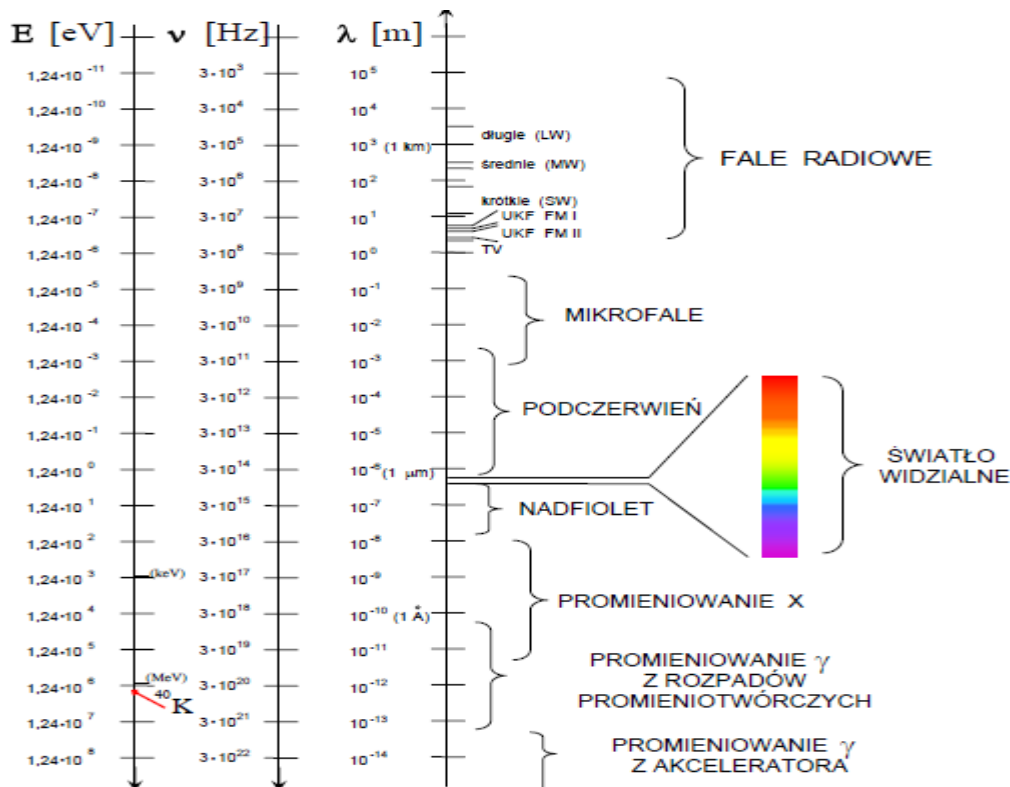
$$\exp[-i(E \cdot t - \mathbf{p} \cdot \mathbf{x})/\hbar] \quad (1.18)$$

Związek ten, między parametrami fali i cząstki o znanej wartości \hbar (ze zjawiska promieniowania), pozwala nam w sposób poprawny określić relację między odległością prążków dyfrakcyjnych a energią elektronów.

1.6. Promieniowanie elektromagnetyczne

Promieniowanie elektromagnetyczne wysyłane przez wzbudzone atomy pokrywa tylko część całego widma promieniowania elektromagnetycznego, z którym stykamy się w przyrodzie. W zasadzie dotyczy to promieniowania widzialnego, ultrafioletowego oraz rentgenowskiego o energii, od części elektronowolta, do ok. 120 keV.

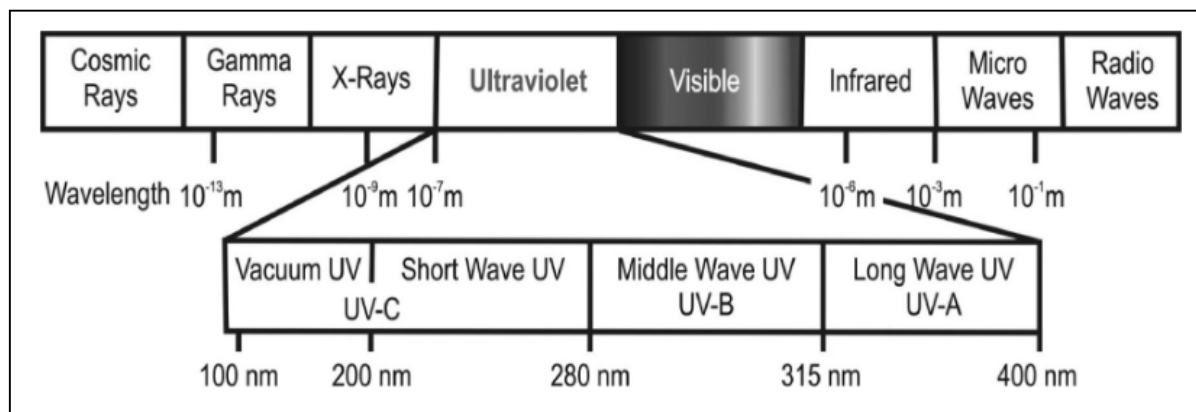
Na poniższym rysunku przedstawiono widmo promieniowania elektromagnetycznego, z zaznaczonymi zakresami i ich nazwami.



Rys. 5. Widmo promieniowania elektromagnetycznego z podziałem na charakterystyczne, najbardziej typowe zakresy

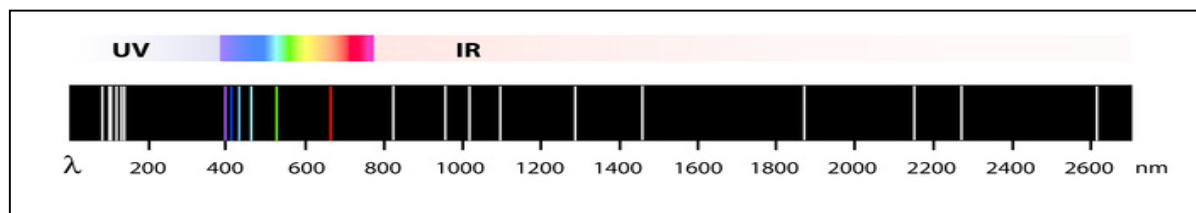
1.6.1. NADFIOLET

Promieniowanie ultrafioletowe, często określane skrótem UV, to promieniowanie elektromagnetyczne o długościach fal mniejszych od długości fali światła fioletowego – skrajnej barwy odbieranej przez człowieka. Promieniowanie ultrafioletowe jest niewidzialną częścią promieniowania słonecznego [ICNIRP], składającego się z światła widzialnego odbieranego jest przez człowieka jako światło białe, w zakresie fal od 380/400 do 720/800 nm oraz światła - podczerwonego (IR) – powyżej 720 nm.



Rys. 6. Widmo promieniowania słonecznego z fragmentem ultrafiolet UV.

Promieniowanie ultrafioletowe sąsiaduje bardzo blisko z widzialną częścią niebieskiego światła.



Rys. 7. Widmo promieniowania słonecznego; ultrafiolet UV, widzialne oraz podczerwone IR.

1.6.1.1. Ultrafiolet – definicja, źródła, charakterystyka

Definicja:

Promieniowanie ultrafioletowe (nadfiolet, UV, promieniowanie nadfioletowe) jest rodzajem niewidzialnej dla oka ludzkiego fali elektromagnetycznej, obejmujące zakres długości fal od 10 do 380 nanometrów. Zakres ten dodatkowo dzieli się na cztery zakresy, nie mające żadnych szczególnych własności różniących je od siebie i istniejących je jedynie dla wygody zajmujących się ultrafioletem techników i innych specjalistów. Zakresy te oznacza się kolejnymi literami alfabetu A, B, C, D ("tzw. nadfiolet próżniowy"), przy czym największa długość fali UV przypada dla zakresu A. Inny stosowany podział fal ultrafioletowych to podział na ultrafiolet bliski, średni i daleki. Ultrafioletową część spektrum elektromagnetycznego odkryto na początku XIX wieku (J. Ritter, W.H. Wollaston.)

Energia kwantów promieniowania UV to kilka elektronowoltów, dlatego jest ono wysokoenergetyczne [Błaszczak-Karolewska-Jenerowicz-Czarnecka]. Najkrótsza fala nadfioletu obejmuje długość 10 nm, co pokrywa się z promieniowaniem X. Więcej informacji na ten temat przeczytaj w pliku do pobrania "[Teoria i pomiary promieniowania gamma](#)", rozdział 2.3.1.5.2. Promieniowanie rentgenowskie, str. 50

Oprócz trzech stref ultrafioletu istnieje jeszcze UVD (ultrafiolet próżniowy), który zostaje w całości pochłaniany przez powietrze w wysokich warstwach atmosfery. Promieniowanie ultrafioletowe stanowi zaledwie 6% całego promieniowania świetlnego docierającego do powierzchni Ziemi. Warstwa ozonowa znajdująca się ok. 20–40 km nad Ziemią powoduje, że do jej powierzchni dociera nieznaczna ilość promieniowania słonecznego. Ubytek 1% ozonosfery wiąże się z 2-procentowym wzrostem intensywności UVB oddziałującego na organizmy żywe 10–100 razy silniej niż UVA.

Widmo ultrafioletu mieści się między promieniowaniem jonizującym a niejonizującym.

Tylko **UVC** i **UVD** są zaliczane do promieniowania **jonizującego**.

Ilość energii promieniowania jonizującego, która została pochłonięta przez 1 kg materii w układzie SI, to 1 grej: $Gy = 1J/kg$. Jednorazowe napromieniowanie ciała dawką 5 Gy powoduje śmierć w ciągu ok. 14 dni. Stosowaną obecnie jednostką określającą równoważnik dawki pochłoniętej jest siwert (Sv).

$$1Sv = QF \times 1Gy$$

gdzie: QF = współczynnik jakości promieniowania.

Dawka powyżej 2 Sv jest letalna, a o połowę mniejsza może wywołać chorobę popromienną. Średnią roczną dawką promieniowania pochodzącego z naturalnych źródeł w Polsce jest 2,58 mSv. Dopuszczalna dawka regulowana przepisami w Polsce to do 1 mSv/rok/osobę oraz 20 mSv/rok/osobę dla osób narażonych zawodowo na promieniowanie jonizujące.

Zgodnie z pierwszym prawem fotobiologii, pochłonięte przez daną substancję promieniowanie wywołuje w niej zmiany fizyczne lub chemiczne. Aby określić dawkę promieniowania pochłoniętego, można posłużyć się oceną wizualną stanu skóry po jego zadziałaniu, która opiera się na określeniu minimalnej dawki rumieniowej MED (*Minimum Erythemat Dose*), czyli najmniejszej dawki promieniowania, która po 24 godzinach od naświetlania wywoła wyraźny rumień skóry. MED zależy od typu skóry poddawanej naświetlaniu, więc nie umożliwia precyzyjnej oceny. W celu ujednoczenia wyników wprowadzono standardową dawkę erytemalną SED (*Standard Erythemat Dose*). 1 SED to napromienienie równe $100 J/m^2$, które jest rumieniowo skuteczne. Za wartości graniczne w Polsce przyjmuje się dawkę 2–6 SED.

ZAKRESY WIDMOWE UV-A, UV-B I UV-C

Promieniowanie UV jest podzielone na trzy zakresy spektralne. Do spektrum światła UV należą fale świetlne o długości od 400 do 100 nm, które dzielą się na promieniowanie:

- **UV-A** (400-315 nm) - w skali międzynarodowej zakres spektralny UVA wynosi często 320-400 nm.
- **UV-B** (315-280 nm)
- **UV-C** (280-200 nm) - ponieważ powietrze pochłania promieniowanie UVC poniżej około 200nm, jest ono często uważane za dolną graniczną długość fali.

Promieniowanie **UV-A** stanowi prawie 95% promieniowania ultrafioletowego i przedostaje się najgłębiej do naszej skóry. Jest rodzajem promieniowania, który dominuje podczas wszystkich pór roku.

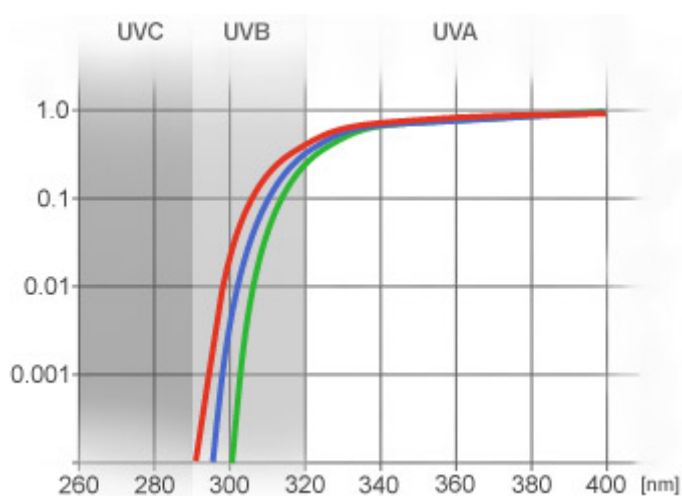
Promieniowanie **UV-B** stanowi zaledwie 5% promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi i ma bardzo silny wpływ na naszą skórę i zdrowie. To właśnie UV-B jest odpowiedzialne za powstawanie rumienia, oparzeń słonecznych, zaczerwienia czy nawet nowotworów skórnych.

Promieniowanie **UV-C** nie dociera do powierzchni Ziemi, ponieważ praktycznie całkowicie pochłaniane jest przez warstwę ozonową. Coraz częściej pojawiają się informacje, że powiększająca się dziura ozonowa może mieć wpływ na jego przenikanie. Promieniowanie UV-C wykazuje silne działanie promieniotwórcze, a także może uszkodzić rogówkę oka. Ze względu na niszczące działanie w przypadku mikroorganizmów promieniowanie UV-C wykorzystuje się do sterylizacji powietrza, poprzez lampy rtęciowe produkowane w sposób sztuczny. Z jednej strony światło słoneczne umożliwia proces widzenia, więc oczy są w pewnym sensie uzależnione od Słońca, a z drugiej strony, jako najbardziej ekspozowane – narażone są na niebezpieczne działanie UV.

Poszczególne rodzaje ultrafioletu różnią się między sobą właściwościami fizycznymi oraz efektami działania biologicznego. Promieniowanie UVC i UVB nie przenika przez szyby okienne, UVB przenika przez szkło kwarcowe i wodę, natomiast UVA przenika zarówno przez szyby okienne, szkło kwarcowe, jak i wodę. Głębokość penetracji ultrafioletu do skóry jest proporcjonalna do długości fali. Fale dłuższe (UVA) poprzez naskórek, docierają (niemal w całości) do skóry właściwej (do warstwy siateczkowej i brodawkowatej skóry właściwej).

Fale UVB (i UVC) pochłaniane są niemal w całości przez naskórek (warstwa rogowa naskórka), jedynie ok. 10% dociera do skóry właściwej.

Gdy promieniowanie słoneczne przechodzi przez atmosferę całe promieniowanie UVC i ok. 90% promieniowania UVB jest absorbowane przez ozon, parę wodną, tlen i CO₂. Dlatego też promieniowanie UV docierające do powierzchni Ziemi składa się głównie z UVA i niewielkiej ilości UVB. Skład widmowy tego promieniowania zależy od grubości warstwy ozonowej znajdującej się w górnej warstwie atmosfery.



Natężenie promieniowania UV pochodzącego ze słońca, na powierzchni Ziemi, w funkcji grubości warstwy ozonowej: 2.0, 2.6, 4.0 (jednostki skali Dobsona). Składowa UVC jest równa zero niezależnie od wahań grubości warstwy. UVA jest b. duża i słabo zależy od grubości warstwy.

Rys. 8. Skład widmowy tego promieniowania zależy od grubości warstwy ozonowej znajdującej się w górnej warstwie atmosfery.

Źródła:

Ultrafiolet występuje w przyrodzie w postaci promieniowania wysyłanego przez Słońce, gwiazdy i inne gorące obiekty astronomiczne. Aby ciało było spontanicznym emitentem promieni UV, musi posiadać odpowiednio dużą temperaturę. Im większa temperatura ciała, tym silniejsze jest natężenie wysyłanego ultrafioletu.

Słońce emituje ultrafiolet z zakresu A i B, ale jego dużą część zatrzymuje atmosfera Ziemi i w efekcie do powierzchni dociera niemal sam ultrafiolet A, o najmniejszej częstotliwości, nie zagrażający życiu na Ziemi.

Pewne minerały w dzień pochłaniają promieniowanie światła, a w ciemności wyświecają je poprzez zjawisko fluorescencji jako ultrafiolet. Istnieją także źródła sztuczne - wytwory naszej cywilizacji takie jak lampy rtęciowe - jarzeniówki.

Charakterystyka:

Natężenie promieniowania UV zależy od wysokości nad poziomem morza – im wyżej, tym mniejsze pochłanianie promieniowania i większa **ekspozycja** na jego szkodliwe działanie. Około 80% całkowitego promieniowania dociera do powierzchni ziemi, pomiędzy godziną od 10:00 do 14:00. Latem natężenie tego promieniowania jest szczególnie wysokie.

Zdecydowanie większe znaczenie kliniczne ma ekspozycja na promienie rozproszone i odbite od jakiejś płaskiej powierzchni (śnieg, woda, budynki), niż ekspozycja bezpośrednia promieniowania. Ilość promieniowania rozproszona lub odbita zależy od rodzaju powierzchni, np. **śnieg** odbija bardzo duży procent promieniowania UV-B (80-94%), natomiast **woda** jedynie 5-8% promieniowania. Ten typ pośredniego promieniowania jest odpowiedzialny za około 50% całkowitej ekspozycji, choć większość osób nie jest tego świadoma.

Podobnie sprawa wygląda w pochmurne dni. Chmury nie chronią przed promieniami UV, a więc brak ochrony w pochmurne dni może być szczególnie niebezpieczny. Według badań Naukowców z Japonii, ekspozycja oczu na promienie UV jest najwyższa wcześniej rano oraz późnym popołudniem podczas wszystkich pór roku oprócz zimy. Od strony fal dłuższych granica zakresu ultrafioletu jest zdeterminowana fizjologią ludzkiego oka. Natomiast dolna granica jest umowna. Zakres nadfioletu częściowo pokrywa się z zakresem promieniowania rentgenowskiego. Długości fal od 10 do 100 nm różne źródła przypisują do ultrafioletu lub do promieni rentgenowskich.

Jak wszystkie fale elektromagnetyczne, promieniowanie ultrafioletowe rozchodzi się w próżni z prędkością światła. Falę elektromagnetyczną charakteryzuje:

- **częstotliwość** ν , czyli liczba pełnych zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ciągu jednej sekundy, wyrażona w hercach (Hz),
- **długość fali** λ , czyli odległość między sąsiednimi punktami, w których pole elektryczne i magnetyczne mają taką samą fazę.

Wielkości te są ze sobą związane: im większa jest częstotliwość, tym mniejsza długość fali:

$$\nu = c / \lambda$$

Jak wszystkie fale elektromagnetyczne, promieniowanie ultrafioletowe rozchodzi się w próżni z prędkością światła $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

Falę elektromagnetyczną charakteryzuje:

- **częstotliwość** , czyli liczba pełnych zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ciągu jednej sekundy, wyrażona w hercach (Hz),
- **długość fali** , czyli odległość między sąsiednimi punktami, w których pole elektryczne i magnetyczne mają taką samą fazę.

Wielkości te są ze sobą związane: im większa jest częstotliwość, tym mniejsza długość fali:

Promieniowanie elektromagnetyczne ma podwójną naturę: falową i korpuskularną.

Oznacza to, że można je opisać również jako zbiór cząstek - fotonów - poruszających się z prędkością światła. Energia fotonu jest wprost proporcjonalna do częstotliwości fali i wynosi: $E = hv = hc/\lambda$

Korpuskularna natura promieniowania elektromagnetycznego przejawia się tym wyraźniej, im mniejsza jest długość fali promieniowania, a większa częstotliwość. Częstotliwość, a więc i energia promieniowania ultrafioletowego, jest tak duża, że nie można pominąć jego korpuskularnej natury. Przejawia się ona między innymi w zjawisku jonizacji, w którym foton wybija elektron z atomu lub cząsteczki. Właśnie w zakresie ultrafioletu przebiega granica między promieniowaniem jonizującym i niejonizującym.

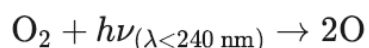
Promieniowanie ultrafioletowe o długości fali poniżej 300 nm wywołuje jonizację

Promieniowanie jonizujące jest szkodliwe dla organizmów żywych. Może doprowadzić do uszkodzenia łańcuchów DNA, w wyniku czego dochodzi do mutacji i rozwoju nowotworów. Promieniowanie ultrafioletowe ma silne działanie fotochemiczne, czyli może inicjować reakcje chemiczne, takie jak synteza, utlenianie, redukcja lub rozpad. Najważniejszym źródłem promieniowania ultrafioletowego na Ziemi jest Słońce. Jednak do powierzchni Ziemi nie dociera całe promieniowanie emitowane ze Słońca. Znaczna jego część jest pochłaniana przez atmosferę, w szczególności przez warstwę ozonową. Do Ziemi dociera najmniej energetyczna część promieniowania ultrafioletowego.

Warstwa ozonowa to część stratosfery, w której występuje zwiększona koncentracja ozonu O_3 . Zwiększona to nie znaczy duża – jest to zaledwie kilka cząsteczek O_3 na milion cząsteczek powietrza. Ozon ten jest jednak niezwykle ważny dla życia na Ziemi, bo absorbuje najbardziej szkodliwe promieniowanie ultrafioletowe ze Słońca. Jak to się dzieje?

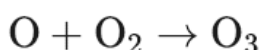
Tworzenie cząsteczek ozonu w stratosferze

Cząsteczki ozonu powstają w stratosferze dzięki temu, że fotony promieniowania ultrafioletowego o długości fali mniejszej niż 240 nm w akcie **fotolizy** rozbijają dwuatomowe cząsteczki tlenu O_2 :



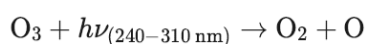
Foton, który spowodował fotolizę, oddał całą swoją energię, a więc został zaabsorbowany.

Pojedyncze atomy tlenu szybko łączą się z cząsteczkami O_2 , tworząc cząsteczki ozonu O_3 :

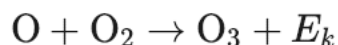


Cykl ozonowo – tlenowy

Cząsteczki ozonu również są rozbijane przez fotony promieniowania ultrafioletowego, ale do tej reakcji wystarcza nieco mniejsza energia fotonu, odpowiadająca długościom fal 240–310 nm:



Atom tlenu natychmiast tworzy cząsteczkę ozonu z inną molekułą tlenu:

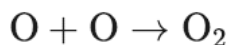
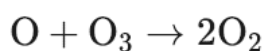


gdzie: E_k to energia wydzielająca się podczas reakcji jako energia kinetyczna cząsteczki ozonu, co powoduje wzrost temperatury otoczenia.

Cykl składający się z aktu rozbijania cząsteczki ozonu przez foton UV i ponownej krecacji molekuly O_3 powtarza się, zapewniając niemal stały udział ozonu w tej warstwie stratosfery. Energia promieniowania ultrafioletowego zamienia się na energię cieplną powietrza w stratosferze.

Zanikanie ozonu

Zdarza się, że wolny atom tlenu napotka cząsteczkę ozonu lub inny atom tlenu. Wtedy w wyniku reakcji powstają cząsteczki dwuatomowego tlenu:



Jednak te reakcje są rzadkie z powodu małej koncentracji ozonu w powietrzu. Przed erą przemysłową ilość ozonu w stratosferze prawie nie zmieniała się. Rozwój cywilizacji spowodował, że do atmosfery dostały się związki uwalniające atomy chloru Cl, które są katalizatorami reakcji prowadzących do zaniku molekuł ozonu. Każdy atom chloru katalizuje dziesiątki tysięcy takich reakcji, zanim opuści stratosferę. Z tego powodu nad Antarktydą powstała dziura ozonowa, przez którą na Ziemię zaczęło przedostawać się szkodliwe promieniowanie ultrafioletowe.

1.6.1.1. Charakterystyka źródeł promieniowania nadfioletowego (UV)

Promieniowanie optyczne [Pościk-Wolska-Owczarek] jest częścią widma promieniowania elektromagnetycznego o długościach fal z przedziału 100 nm ÷ 1 mm. W skład promieniowania optycznego wchodzi: promieniowanie nadfioletowe (UV), widzialne, – czyli światło (VIS) i podczerwone (IR). Zwykle obszar promieniowania nadfioletowego dzieli się na pasma A (bliskie), B(średnie) i C (dalekie).

Zgodnie z normą PN-90/E-01005 [1], pasma te obejmują następujące długości fal:

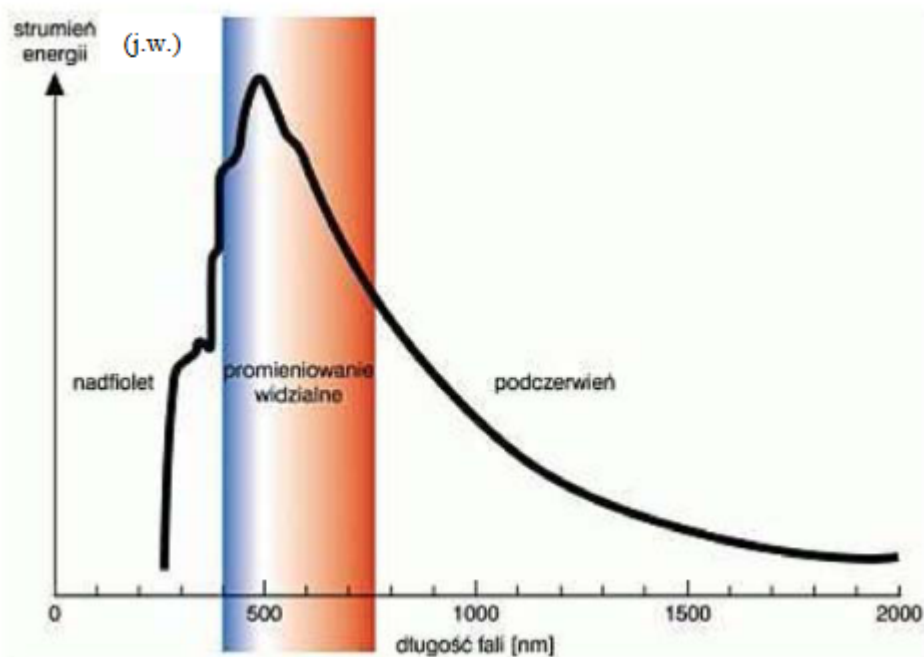
- UVA 315 ÷ 400 nm,
- UVB 280 ÷ 315 nm,
- UVC 100 ÷ 280 nm.

Źródła promieniowania nadfioletowego dzieli się na:

- Naturalne (Słońce, nieboskłon, księżyc);
- Elektryczne (promienniki UV, świetlówki, lampy rtęciowe, żarówki halogenowe, lampy wodorowe, ksenonowe, lampy Wooda);
- Procesy (źródła) technologiczne (spawanie łukowe i gazowe, cięcie łukiem plazmowym, cięcie tlenowe).

1.6.1.2. Charakterystyka naturalnych źródeł promieniowania nadfioletowego

Naturalnymi źródłami promieniowania nadfioletowego są Słońce, nieboskłon, Księżyc oraz gwiazdy. Najważniejszym źródłem naturalnego promieniowania docierającego do Ziemi jest Słońce. Widmo emitowane przez tę gwiazdę jest zbliżone do widma ciała doskonale czarnego, którego temperatura powierzchni wynosi około 6000 K. Widmo emisyjne promieniowania słonecznego przedstawiono na Rys. 9.



Rys. 9. Widmo emisyjne promieniowania słonecznego

Przy bezchmurnym niebie promieniowanie UV stanowi około 7% całkowitej energii emitowanej w widmie promieniowania słonecznego docierającego do Ziemi.

Słoneczne promieniowanie UV przechodzące przez atmosferę jest pochłaniane przez cząsteczki ozonu i tlenu. Na skutek tego procesu widmo promieniowania ulega znacznym zmianom.

Atmosfera Ziemska pochłania 100% promieniowania UVC i 90% promieniowania UVB. W związku z powyższym w widmie promieniowania słonecznego nie występuje promieniowanie UVC (Rys 9).

Do powierzchni Ziemi dociera głównie promieniowanie z zakresu od 290 nm do 400 nm (UVA i częściowo UVB). Intensywność promieniowania UV przy powierzchni Ziemi zależy od:

- czynników astronomicznych,
- wysokości nad poziomem morza,
- rozpraszania atmosferycznego,
- stopnia zachmurzenia i zamglenia,
- odbicia od powierzchni ziemi,
- zawartości ozonu w atmosferze ziemskiej.

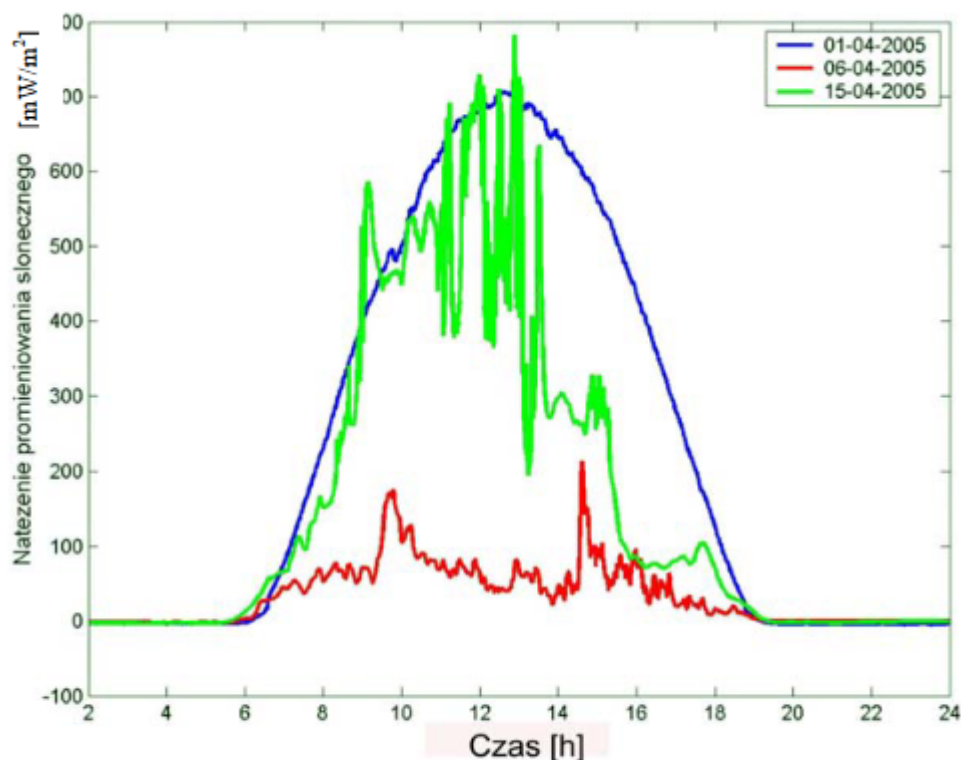
Poniżej omówiono wpływ poszczególnych czynników na intensywność promieniowania UV.

Czynniki astronomiczne

Czynniki atmosferyczne odnoszą się głównie do pozycji Słońca względem określonego miejsca na Ziemi. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na intensywność promieniowania UV jest elewacja Słońca, czyli odległość kątowa Słońca od horyzontu.

Przy wysokich elewacjach Słońca promieniowanie UV docierające do Ziemi charakteryzuje się większą intensywnością, ponieważ droga promieni przez atmosferę jest krótsza. Intensywność promieniowania UV zmienia się w zależności od szerokości geograficznej, pory roku, pory dnia, osiągając największe wartości w strefie równikowej. Przykład dobowego cyklu zmian natężenia promieniowania słonecznego w Polsce, w kwietniu przedstawiono na Rys. 10.

Należy podkreślić, że jedynie około 7% całkowitej energii w widmie promieniowania emitowanego przez Słońce docierającego do Ziemi stanowi promieniowanie UVA i UVB. Natężenie promieniowania słonecznego, w tym promieniowania nadfioletowego zmienia się w ciągu roku.



Rys. 10. Przykład dobowego cyklu natężenia napromienienia promieniowania słonecznego mierzonego przy powierzchni Ziemi

Wysokość nad poziomem morza

Natężenie promieniowania UV zmienia się wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Pomiary wykazują, że natężenie UV wzrasta o średnio około 6-8% na każde 1000 m wysokości.

Rozpraszanie atmosferyczne

Promieniowanie nadfioletowe rozpraszane jest na cząsteczkach powietrza, aerozoluach i kroplach wody. Intensywność składowej rozproszonej promieniowania UV docierającej do powierzchni Ziemi uzależniona jest od czwartej potęgi odwrotności długości fali. Promieniowanie UV charakteryzujące się krótszą długością fali (UVC) jest bardziej rozpraszane niż promieniowanie o większej długości fali (UVB i UVA).

Stopień zachmurzenia

Duży wpływ na natężenie promieniowania UV ma stopień zachmurzenia i zamglenia.

Promieniowanie UV jest silnie tłumione podczas przechodzenia przez chmury. Cienkie lub rozproszone chmury jedynie w niewielkim stopniu osłabiają natężenie promieniowania UV. Natomiast w przypadku występowania zamglenia obserwuje się pochłanianie i rozpraszanie promieniowania UV, powodujące znaczne osłabienie jego intensywności.

Odbicie od powierzchni Ziemi

Stosunek promieniowania pochłoniętego do odbitego jest uzależniony od rodzaju powierzchni. Większość naturalnych powierzchni, takich jak trawa, gleba i woda odbija mniej niż 10% promieniowania UV. Natomiast odbicie promieniowania od powierzchni wody wynosi około 20%, a od powierzchni śniegu i lodu nawet do 85%. Należy również zwrócić uwagę, że promieniowania nadfioletowe przenika do wody w 95%, w warstwie przy powierzchni, a 50% UV przenika do głębokości 3 m.

Zawartość ozonu w atmosferze Ziemskiej

Reakcja rozkładu i syntezy ozonu jest głównym zjawiskiem odpowiedzialnym za pochłanianie promieniowania o długości fali mniejszej niż 290 nm. Obecnie obserwuje się okresowe zmiany ilości ozonu w atmosferze ziemskiej. Na obydwu półkulach odnotowuje się większe ilości ozonu latem i jesienią niż zimą. Skutkiem zmniejszenia stężenia ozonu w stratosferze jest zwiększone narażenie na promieniowanie nadfioletowe. Problem ten dotyczy w większym stopniu obszarów niezurbanizowanych. Na terenach zurbanizowanych, na skutek zanieczyszczeń tlenkami azotu obserwuje się podwyższone stężenie ozonu, a tym samym mniejsze natężenie promieniowania nadfioletowego.

1.6.1.3. Charakterystyka sztucznych źródeł promieniowania nadfioletowego

Powszechnie stosowane sztuczne źródła światła, oprócz promieniowania widzialnego emitują w różnym stopniu promieniowanie podczerwone, a niektóre z nich mogą również emitować pewną ilość promieniowania nadfioletowego.

Większość sztucznych źródeł światła, stosowanych do ogólnych celów oświetleniowych, nie stanowi zagrożenia dla zdrowia człowieka. Jedynie w przypadku specjalistycznych źródeł światła, np. takich jak lampy ksenonowe, czy metalohalogenkowe, przeznaczonych do stosowania w różnych procesach technologicznych lub urządzeniach, emitowane przez nie

promieniowanie nadfioletowe może stanowić zagrożenie dla zdrowia. Przykłady zastosowań elektrycznych źródeł promieniowania nadfioletowego przedstawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Przykłady zastosowania elektrycznych źródeł promieniowania nadfioletowego w przemyśle.

Gałąź przemysłu / usługi / proces / urządzenie	Zastosowanie	Rodzaj lampy	Zakres UV
Poligrafia	polimeryzacja tuszu	rtęciowa wysokoprężna metalohalogenkowa	UVA, UVB, UVC UVA
	grawerunek	wysokoprężna ksenonowa	UVA
Powielanie dokumentów (system diazo)	naświetlanie	Świetlówka rtęciowa wysokoprężna metalohalogenkowa	UVA UVA UVA
Malarnie	polimeryzacja farb	rtęciowa wysokoprężna	UVA, UVB, UVC
Półprzewodniki	naświetlanie	rtęciowa wysokoprężna	UVA
Obwody drukowane	naświetlanie	rtęciowa wysokoprężna świetlówka	UVA UVA
Reaktory fotochemiczne	reakcje fotochemiczne	rtęciowa wysokoprężna	UVA
Kosmetyka (solaria)	opalanie	świetlówka	UVA
Pułapki na owady	higiena żywności	świetlówka	UVA
Medycyna - fototerapia	choroby skóry	świetlówka	UVA, UVB
	łuszczyca	rtęciowa wysokoprężna	UVA, UVB
	bielactwo	metalohalogenkowa	UVA, UVB
Dezynfekcja	Wody (np. baseny, oczyszczalnie ścieków), powierzchni (np. narzędzia medyczne) i powietrza (np. sale operacyjne)	rtęciowa niskoprężna rtęciowa wysokoprężna metalohalogenkowa	UVC UVC UVB, UVC

Do specjalistycznych elektrycznych źródeł promieniowania nadfioletowego zalicza się m.in.:

- świetlówki aktywnicne i superaktywnicne;
- świetlówki bakteriobójcze
- lampy Wooda (promienniki z bańką pokrytą czarnym luminoforem),
- lampy rtęciowe UV średnioprężne i wysokoprężne,
- metalohalogenkowe promienniki UV,
- lampy deuterowe
- lampy ksenonowe .

Zestawienie zagrożeń związanych z narażeniem na promieniowanie nadfioletowe emitowane przez typowe źródła stosowane na stanowiskach pracy przedstawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Źródła promieniowania UV stosowane na stanowiskach pracy

Źródło	Ekspozycja	Opis zagrożeń
Spawanie łukowe	Bardzo wysoka	Łuki elektryczne emitują bardzo intensywne promieniowanie nadfioletowe z zakresu UVA, UVB oraz UVC, przekraczające znacznie wartości NDN.
Lampy do opalania	Wysoka	Emitują głównie promieniowanie UVA.
Lampy bakteriobójcze	Wysoka	Lampy emitujące promieniowanie UVB i USC, stosowane do sterylizacji w szpitalach laboratoriach
Lasery UV	Wysoka	Źródło intensywnego, monochromatycznego promieniowania UV (nie emitują światła)
Lampy Wooda	Średnia do niskiego	Lampy o małej mocy emitujące promieniowanie UVA, stosowane do badań nieniszczących, odstraszania owadów oraz w rozrywce.
Lampy oświetleniowe	Niska	Część lamp stosowanych do oświetlenia nie emituje promieniowania nadfioletowego (żarówki, lampy sodowe) lub emisja UV jest bardzo mała

1.6.1.4. Wybrane typy źródeł promieniowania nadfioletowego stosowane na stanowiskach pracy.

Spawalnicze łukowe

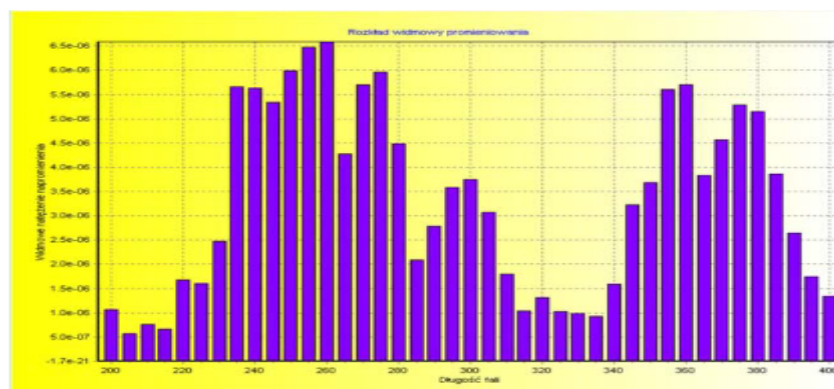
Spawanie jest jednym z najbardziej popularnych procesów przemysłowych, stosowanych powszechnie w przemyśle stoczniowym, samochodowym oraz metalowym. Wśród podstawowych technologii spawalniczych można wyróżnić spawanie gazowe i lutowanie oraz spawanie łukowe. W przypadku spawania gazowego i elektrycznego istnieje zagrożenie promieniowaniem nadfioletowym, przy czym podczas spawania łukowego występuje dużo większe zagrożenie tym promieniowaniem. Spawanie łukowe polega na stapianiu metali w miejscu ich łączenia za pomocą łuku elektrycznego, który powstaje między spawanym przedmiotem a elektrodą. Ponieważ temperatura łuku elektrycznego jest bardzo wysoka (od 2400 do 6000° C) metal stapia się szybko i na wąskiej przestrzeni. Intensywność promieniowania nadfioletowego emitowanego podczas spawania łukowego zależy od zastosowanej techniki, grubości i rodzaju elektrody, natężenia prądu stosowanego podczas spawania oraz długości łuku elektrycznego.

Najczęściej stosowane metody spawania to:

- spawanie elektrodami otulonymi (MMA),
- spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazów obojętnych (MIG) lub aktywnych (MAG). (jako gazy ochronne najczęściej stosuje się argon, hel oraz mieszaniny tych gazów, natomiast jako gazy aktywne - dwutlenek węgla lub jego mieszaninę z argonem),
- spawanie nietopliwą elektrodą wolframową w osłonie gazów obojętnych takich jak argon, hel lub mieszanki argonu i helu (TIG),
- żłobienie elektropowietrzne. (jest to metoda cięcia blach z zastosowaniem elektrody węglowej i strumienia sprężonego powietrza).

Promieniowanie nadfioletowe emitowane podczas spawania łukowego stanowi zagrożenie dla oczu i skóry spawaczy, pomocników spawaczy oraz osób postronnych znajdujących się w pobliżu stanowiska spawania. Natężenie napromienienia promieniowaniem UV, w typowych odległościach oczu i twarzy od łuku elektrycznego (od 0,5 m do 1 m) od łuku elektrycznego wynosi od kilku do kilkunastu W/m^2 , w zależności od rodzaju elektrody i warunków spawania. Natomiast w przypadku rąk, które są w mniejszej odległości od łuku niż twarz, wartości te dochodzą nawet do kilkudziesięciu W/m^2

Przykładowe widmo promieniowania emitowanego podczas spawania półautomatycznego drutem o grubości 1,2 mm, prądem o natężeniu 170 A (długość łuku 3 mm) na Rys. 11.

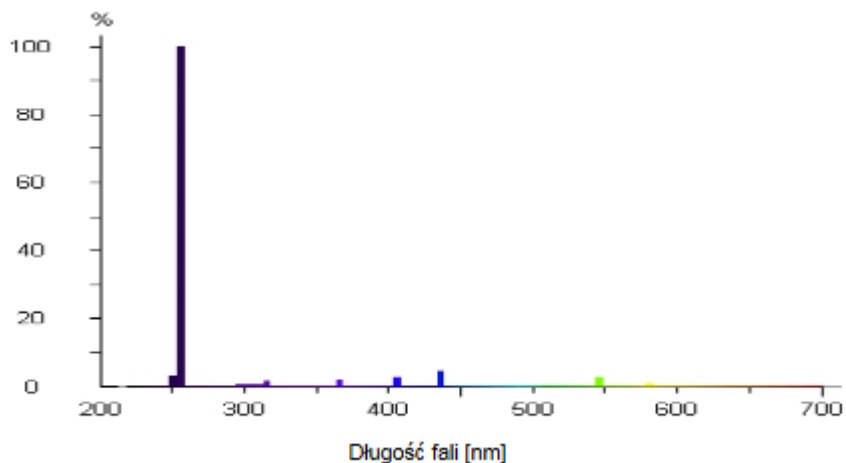


Rys. 11. Widmo promieniowania emitowanego podczas spawania półautomatycznego drutem o grubości 1,2 mm, prądem o natężeniu 170 A (długość łuku 3 mm)

Lampy bakteriobójcze

Zastosowanie świetlówek bakteriobójczych jest jedną z najbardziej efektywnych metod dezynfekcji. Emitowane przez nie promieniowanie ultrafioletowe o długości fali 250-265 nm posiada najbardziej efektywne działanie bakteriobójcze - skutecznie niszczy wszelkiego typu bakterie, wirusy, pleśnie i grzyby i eliminuje konieczność stosowania środków chemicznych,

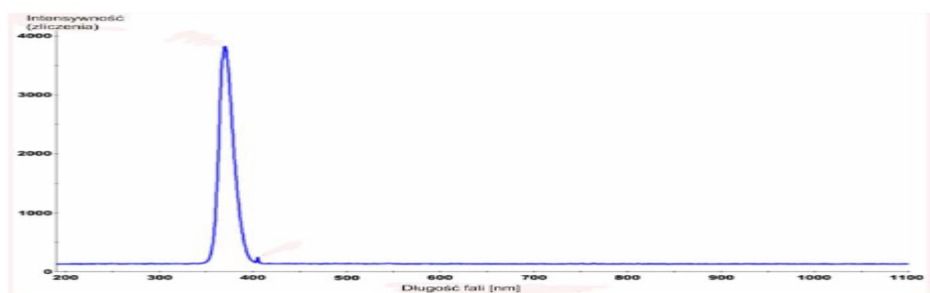
np. zastosowane w lampach Philips promienniki typ TUV 30 W - 95% swojej energii emitują przy długości fali 253,7 nm (patrz Rys. 12). W pasmach UVB, UVA oraz widzialnym lampy te emitują kilka prążków o minimalnej intensywności.



Rys. 12. Przykładowe widmo promieniowania świetlówki bakteriobójczej

Lampy Woda

Lampy Woda emitują promieniowanie UVA. W lampach tych stosowany jest fosfor, z domieszką związków europu lub strontu, który emituje promieniowanie nadfioletowe z zakresu 368 nm – 370 nm. W lampach zawierających fosfor z domieszką krzemianu baru maksimum emisji występuje dla długości fali od 350 nm do 353 nm (patrz Rys. 13).

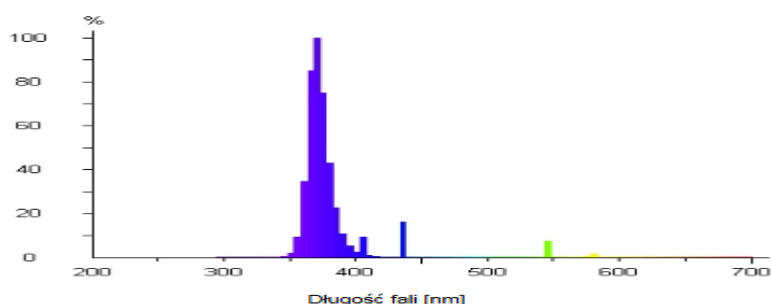


Rys. 13. Przykładowe spektrum promieniowania lampy Woda

Lampy Woda stosowane są w procesach analizy materiałów w przemysłach: tekstylnym, chemicznym, spożywczym, metalurgicznym - stanowiska kontroli jakości, a także w archeologii, mineralogii, kryminalistyce, medycynie, bankowości – do analizy banknotów, znaczków pocztowych oraz w znakach i reklamach świetlnych do efektów fluorescencyjnych i specjalnych (np. dyskoteki, kluby, teatry).

Świetlówki superkatyniczne

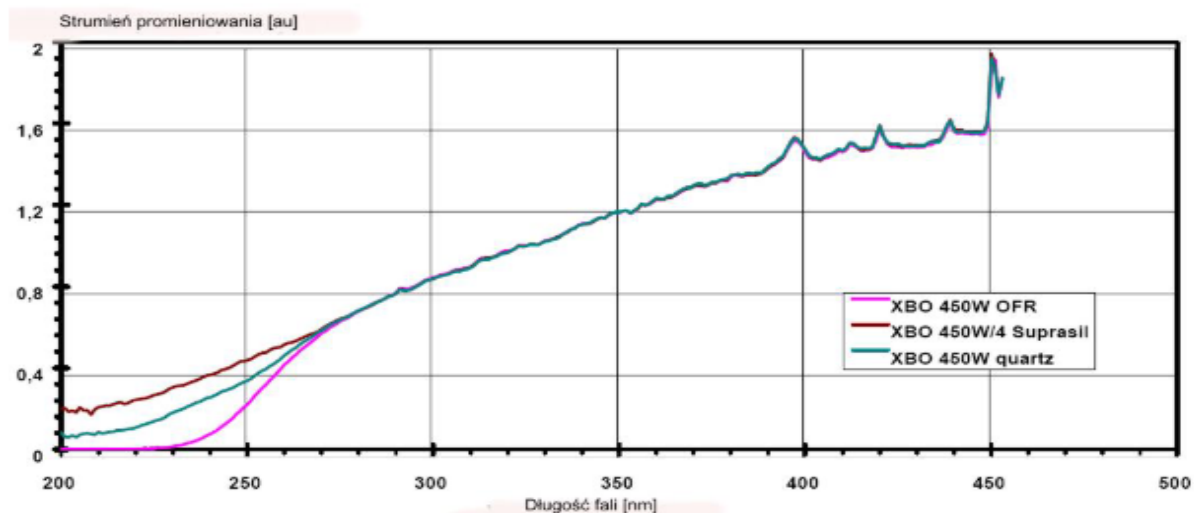
Świetlówki superaktyniczne to niskoprężne lampy rtęciowe. Lampy pokryte są wewnątrz białym luminoforem, które emitują promieniowanie pomiędzy 380 nm a 480 nm z maksimum w 420 nm (patrz Rys. 14). Stosuje się je w przemysłowych procesach fotochemicznych, takich jak suszenie klejów i lakierów, naświetlanie płyt z obwodami drukowanymi, fotopolimeryzacja, maszyny kopiujące oraz w tzw. lampy owadobójcze.



Rys. 14. Widmo promieniowania świetlówki superaktynicznej

Lampy rtęciowe UV średnioprężne i wysokoprężne

Do rozpowszechnionych promienników nadfioletu należą także średnio- i wysokociśnieniowe lampy rtęciowe UV. Stosuje się w przemyśle poligraficznym, meblowym oraz procesach fotochemicznych i fotobiologicznych. Przykładem takiej lampy wysokoprężnej jest lampa ksenonowa, stosowana np. w spektrofotometrach, w urządzeniach poligraficznych i projekcyjnych. Przykładowe widma lamp ksenonowych typ XBO, firmy OSRAM przedstawiono na Rys. 15.

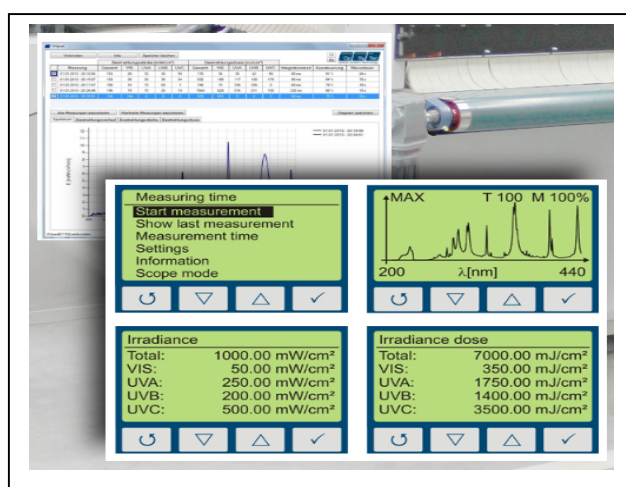


Rys. 15. Przykładowe widma lamp ksenonowych typ XBO firmy OSRAM

1.6.1.4. Pomiary promieniowania nadfioletowego

Radiometry szerokopasmowe i spektralne są wykorzystywane w technologii pomiaru UV do monitorowania wydajności lamp. Jednak radiometry szerokopasmowe są kalibrowane tylko dla jednego typu lampy i różnią się czułością względem siebie. Uniemożliwia to porównanie pomiarów różnych producentów i systemów z różnymi lampami (np. Hg, Ga, Fe) lub diodami LED UV. Natomiast za pomocą radiometrów spektralnych można mierzyć wszystkie lampy UV.

Jako przykład radiometru spektralnego może posłużyć radiometr UVpad, który jest najcieńszym na świecie spektralnym i autonomicznym radiometrem UV. (<https://www.test-therm.pl/katalog-produktow/45-swiatlo-uv/1015-mobilny-cienki-radiometr-uv-uvpad>)



Rys. 16. Dane pomiarowe są natychmiast wyświetlane na radietrze UVpad

Łączy w sobie naukową technologię pomiarową z kompaktowym i przyjaznym dla użytkownika urządzeniem. Dzięki innowacyjnej zasadzie pomiaru nie wykorzystuje filtrów optycznych. Światło UV jest spektralnie wykrywane i analizowane w UVpad. Dzięki temu pomiary są zgodne z normami krajowymi. Ponieważ urządzenie działa bez filtra, jest szczególnie odpowiednie do pomiaru i porównywania różnych typów lamp. Wszystkie dane pomiarowe są natychmiast wyświetlane na urządzeniu; 50 pomiarów jest przechowywanych w UVpad i można je odczytać przez USB. Dostarczone oprogramowanie PC ocenia profile natężenia napromienienia mierzone oddzielnie dla UVA, UVB, UVC i VIS. Widmo i dane pomiarowe mogą być eksportowane i zapisywane. Opcjonalnie, systemy UV mogą być zoptymalizowane dzięki zapisanym funkcjom operacyjnym, takim jak na przykład widma absorpcji fotoinicjatorów. W ten sposób można obniżyć koszty operacyjne i zapewnić jakość produktu.

NAJWAŻNIEJSZE CECHY SPEKTRALNEGO RADIOMETRU UV

- Spektralne pomiary radiometryczne bez komputera
- 200 - 440 nm (całkowity zakres spektralny UV)
- 512 fotodiod
- Zasilanie bateryjne
- Wysokość tylko 14,4 mm
- USB do eksportu danych
- Pamięć wewnętrzna na 50 pomiarów

WYŚWIETLANE WYNIKI POMIARÓW ZA POMOCĄ RADIOMETRU UV UVPAD

- Widma przy maksymalnym natężeniu promieniowania
- Natężenie napromienienia (UVA, UVB, UVC, VIS)
- Profil natężenia napromienienia (UVA, UVB, UVC, VIS)
- Dawka (UVA, UVB, UVC, VIS)

Dane techniczne UV RADIOMETER UVPAD

Zakres spektralny	200 - 440 nm ± 5 nm
Przepustowość widmowa	2nm
Zakres pomiaru natężenia napromienienia	2 - 5000 mW/cm ²
	25 - 35000 mW/cm ² (Opcja)
Zakres pomiaru dawki	1 mJ/cm ² - 600 J/cm ²
	25 mJ/cm ² - 4200 J/cm ²
Kalibracja	zgodne z PTB / NIST
Korekcja cosinusowa	tak
Interwał zapisu do pamięci	100 Hz to 1 Hz, programowane

Czas pomiaru	5s do 8min, w zależności od interwału
Czas próbkowania	10 ms - 1000 ms
Czas zapisu do pamięci	100 Hz do 1 Hz, ustawiane
Wyświetlacz	graficzny, 128 x 64 px
Wymiary	160 x 100 x 14,4 mm ³
Masa	~ 375 g
Temperatura pracy	10 ...70 °C
Akumulator	wewnętrzny akumulator Li
Pamięć	50 cykli pomiarów
Interface	USB
Wymagania systemowe	Windows 10 lub Windows 11, 300 MB HDD, 1 GB RAM

6. Literatura

[Błaszczak-Karolewska-Jenerowicz-Czarnecka] Błaszczak A., Karolewska J., Jenerowicz D., Czarnecka M.: " Działanie promieniowania ultrafioletowego – aktualna wiedza w aspekcie dermatologicznym i alergologicznym.", *Alergologia Polska - Polish Journal of Allergology*, Volume 2, Issue 1, January–March 2015, Pages 21-27, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2353385415000034>.

[ICNIRP] "ICNIRP STATEMENT ON PROTECTION OF WORKERS AGAINST ULTRAVIOLET RADIATION", International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, *HEALTH PHYSICS* 99(1):66-87, 2010, <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPUVWorkersHP.pdf>.

[Matthews] Matthews P.T.: *Wstęp do mechaniki kwantowej*. PWN, Warszawa 1977.

[Pościk-Wolska-Owczarek] Pościk A., Wolska A., Owczarek G.: " Ocena narażenia na promieniowanie nadfioletowe z zastosowaniem indywidualnych fotochromowych dozymetrów", Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2009, https://www.zus.pl/documents/10182/167730/Dozymetry_UV.pdf/a6bb5f56-d6ab-47d3-849c-23fa8703065e.