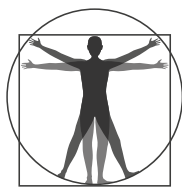


DZIECI ŚWIATŁA

O niezwykłych własnościach światła
słonecznego, dzięki którym istniejemy



SERIA WYJĄTKOWY GATUNEK

Czy ludzie są przypadkowymi wytworami ślepego i obojętnego Wszechświata? A może są beneficjentami uprzednio zaplanowanego kosmicznego porządku, dzięki któremu mogli powstać i się rozwijać? Michael Denton, światowej sławy australijski biochemik, przedstawia serię danych naukowych z takich dziedzin, jak fizyka, chemia czy biologia – szczególną uwagę zwracając na właściwości węgla, wody i tlenu – i dochodzi do nieoczywistego dla dzisiejszych badaczy wniosku, że nasz Wszechświat został tak zaprojektowany, by pojawiło się życie, a zwłaszcza inteligentne życie.

Denton w pewnym sensie wraca do idei uprzywilejowanej pozycji człowieka, która od czasów Darwina nie cieszyła się większym zainteresowaniem, ale ten powrót nie jest motywowany religijnie, lecz naukowo. Australijski uczony jest krytykiem kreacjonistycznego podejścia do świata przyrody, zgodnie z którym człowiek jest istotą odrębną od innych organizmów. Denton twierdzi, że istnieje nieprzerwana ciągłość świata organicznego, a wszystkie żywe istoty występujące na Ziemi są formami naturalnymi w najgłębszym sensie tego słowa – podobnie jak naturalne są kryształy soli, atomy, wodospady czy galaktyki. Człowiek także jest istotą naturalną, niemniej jego niepowtarzalne cechy sprawiają, że można uznać go za wyjątkowy gatunek.

Dzieci światła

O niezwykłych własnościach światła słonecznego, dzięki którym istniejemy

Michael Denton



Warszawa 2023

[Kup książkę](#)

Tytuł oryginału
Children of Light: The Astonishing Properties of Sunlight that Make Us Possible

Copyright © 2018 by Discovery Institute. All Rights Reserved

Copyright © for the Polish edition by Fundacja En Arche, Warszawa 2023

Przekład
Zbigniew Kościuk

Redaktor naukowy serii
prof. dr hab. Kazimierz Jodkowski

Redaktor prowadząca
Katarzyna Łopaciuk

Redakcja merytoryczna
dr hab. Krzysztof Kilian, prof. UZ

Redakcja językowa
Aneta Kanabrodzka

Korekta
Małgorzata Koniarska

Projekt okładki
Ewa Jabłońska

Projekt graficzny
Maria Rostoniec

Skład
Elżbieta Pich

Wydanie I

ISBN druk 978-83-67363-61-7

Fundacja En Arche
al. Niepodległości 124, lok. 26
02-577 Warszawa
biuro@enarche.pl
Księgarnia internetowa
enarche.pl/ksiegarnia/

Spis treści

WSTĘP	7
Rozdział 1. Cud światła słonecznego	13
Rozdział 2. Światło życia	23
Rozdział 3. Wpuszczanie światła	63
Rozdział 4. Dar liścia	97
Rozdział 5. Przystosowanie do widzenia	125
Rozdział 6. Teza antropocentryczna	159
Dodatek A: Obywanie się bez światła słonecznego	173
Dodatek B: Fermentacja i oddychanie komórkowe	185
Bibliografia	191
Indeks osobowy	205
Indeks rzeczowy	207

WSTĘP

W książce *Dzieci światła* analizuję wiele zadziwiających przystosowań Słońca i ziemskiej atmosfery do fotosyntezy – najważniejszej dla organizmów tlenowych o naszej konstrukcji biologicznej reakcji chemicznej zachodzącej na Ziemi. Opisałem w niej również niezwykle przystosowanie światła, które istotom naszych rozmiarów i z charakterystyczną dla nas budową umożliwia ostre widzenie. Niniejsza książka powstała jako uzupełnienie dwóch poprzednich (*Władcy ognia* i *Fenomen wody*) i dostarcza dodatkowych, przekonujących świadectw, że przyroda jest nie tylko biocentryczna, lecz także, i to w dosłownym sensie, **antropocentryczna**.

Książka ta stanowi odrębną całość, w wyczerpujący sposób opisuje niektóre zjawiska świadczące o wyjątkowym przystosowaniu przyrody do istot naszego gatunku, niezbędne w niej było jednak podjęcie zagadnień, które już wcześniej zostały omówione przeze mnie w książkach *Władcy ognia*, *Fenomen wody* oraz *Przeznaczenie natury*. Z tego powodu niektóre fragmenty tekstu zostały zaczerpnięte z poprzednich publikacji.

Przystosowanie przyrody do życia roślin lądowych, opisane szerzej w książce *Fenomen wody*, zostało tu ponownie przeanalizowane w rozdziale 4. Było to konieczne, gdyż organizmy oddychające powietrzem zdolne są do pozyskiwania odpowiedniej ilości tlenu, aby utrzymać wysokie tempo metabolizmu, a tlen w środowisku lądowym umożliwia rozpalanie ognia i inicjowanie procesu, który doprowadził do odkrycia metalurgii i w rezultacie do powstania naszej współczesnej cywilizacji technicznej. To drzewa i rośliny lądowe umożliwiają zarówno proces oddychania, ponieważ dostarczają zredukowanych węglowych substancji odżywczych do utleniania zachodzącego wewnątrz organizmów, jak

i proces spalania, jako że zapewniają drzewne paliwo niezbędne do rozpalania i podsycania ognia.

W rozdziale 5, *Przystosowanie do widzenia*, ponownie wracam do światła na rzecz przystosowania światła do ostrego widzenia, co zostało opisane w książce *Przeznaczenie natury* w rozdziale 3, wprowadziłem jednak dodatkowe spostrzeżenia i uaktualnienia. Rozdział 3 zawiera krótki fragment poświęcony wietrzeniu krzemianów, który zaczerpnąłem z rozdziału 3 w *Fenomenie wody*.

Chociaż w tej publikacji omawiam przystosowanie światła słonecznego do procesu fotosyntezy i **dostarczania** tlenu oraz zredukowanych paliw węglowych, które my, zaawansowane organizmy tlenowe, spalamy, żeby w ten sposób wytwarzać energię metaboliczną, to nie podejmuję tematu dostrojenia przyrody do **wykorzystania** tlenu przez organizmy o naszej konstrukcji biologicznej. Zależy ono od całego zestawu niezwykłych przystosowań. Ostatecznie wiele ważnych elementów dostrojenia do organizmów tlenowych występujących w przyrodzie **nie** zostało omówionych w tej książce, na przykład przystosowanie metali przejściowych, takich jak żelazo i miedź, do przechwytywania i przyswajania tlenu. Dla przykładu: żelazo odgrywa kluczową rolę w transporcie O_2 przez hemoglobinę, a metale przejściowe pomagają przewodzić elektrony w łańcuchach transportu elektronów, te zaś uczestniczą w wytwarzaniu gradientów protonów w syntezie ATP, głównym źródle energii chemicznej w komórce.

W przyrodzie istnieje też wiele innego rodzaju przystosowań pozwalających na asymilowanie tlenu w ilości wystarczającej do utrzymania naszego wysokiego tempa metabolizmu. Zagadnienie to mogłoby być tematem kolejnej książki.

Staralem się przestrzegać najwyższych standardów naukowych i mam nadzieję, że wszystkie z wielu faktów, o których wspominam, są trafnie dobrane i przytoczone we właściwym kontekście. Staralem się zadbać również o to, aby książka była przystępna dla czytelnika bez fachowego przygotowania, niekiedy jednak, na przykład w opisach

chemicznego procesu fotosyntezy, tekst może się wydawać dość trudny do przyswojenia, nic nie stoi jednak na przeszkodzie, aby pominąć te fragmenty, podążając za główną linią argumentacji. W tym właśnie celu niektóre zawiłe techniczne rozważania przenieśliśmy do dodatków lub obszernych przypisów, aby nie zakłócać głównego toku argumentacji.



Ilustracja 1.1. Wschód słońca nad Stonehenge (Wiltshire, Anglia) w dniu letniego przesilenia, 21 czerwca 2005 roku (źródło: A. Dunn, licencja CC BY-SA 2.0, Wikimedia Commons).



Rozdział 1

Cud światła słonecznego

Pomyślmy o cieple słońca, które czujemy na twarzy w bezchmurny letni dzień; pomyślmy, jak niebezpieczne jest wpatrywanie się w Słońce. Mimo odległości 150 milionów kilometrów doceniamy jego potęgę. Co byśmy odczuli po zbliżeniu się do kipiącej, jaskrawej powierzchni lub po zanurzeniu w samym sercu jądrowego ognia? Słońce ogrzewa nas i żywi; dzięki niemu możemy widzieć. Ono zapłodniło ziemię. Jest potężne ponad wszelkie ludzkie doświadczenie. Ptaki witają wschód słońca w głośnym uniesieniu. Nawet jednokomórkowe organizmy dążą do światła. Nasi przodkowie czcili słońce i mieli rację¹.

– Carl Sagan

Mimo prawie całonocnego oczekiwania w Stonehenge z ciepłym kocem narzuconym na ramiona i mimo tłumu czcicieli druidów oraz ekstatycznych wyznawców New Age, trudno nie ulec niepowtarzalnej atmosferze, kiedy w poranek letniego przesilenia na lewo od głazu Heel Stone słońce powoli wynurza się zza horyzontu. Richard Cohen wspomina, że nawet w dni, kiedy to miejsce jest opuszczone o wschodzie lub zachodzie słońca, „[w]ywiera ono magiczny wpływ, dając pożywkę wyobraźni. Kamienie w bocznym świetle wyglądają pięknie i majestatycznie”². Nikt, kto odwiedził to niezwykle miejsce, najsłynniejszą na świecie budowlę związaną z kultem słońca, wzniesioną w trzecim tysiącleciu p.n.e. na terenie Wiltshire w południowej Anglii, nie może się oprzeć jej czarowi.

¹ C. Sagan, *Kosmos*, tłum. M. Duch, B. Rudak, Wydawnictwo Zysk i S-ka, Poznań 2016, s. 303.

² R. Cohen, *Chasing the Sun: The Epic Story of the Star That Gives Us Life*, Simon and Schuster, New York 2010, rozdz. 3.

Stonehenge nie jest jedyną budowlą związaną z kultem słońca. Na całym świecie wzniesiono tysiące budowli, kierując się położeniem słońca podczas przesilenia letniego czy zimowego lub jego pozycji na horyzoncie w dniu wiosennej i jesiennej równonocy. Wystarczy wymienić Sfinksa w Gizie³, płaskorzeźby w największym z kompleksów świątynnych na świecie – w Angkor Wat w Kambodży⁴, kamienne kręgi solarne Indian w Ameryce Północnej⁵ i całe miasta z prekolumbijskiej Mezoameryki, takie jak Teotihuacán⁶, a także wzniesione tam poszczególne piramidy i budowle⁷. Zgodnie z animistycznymi wyobrażeniami słońce było uważane za żywe bóstwo w wielu starożytnych kulturach całego świata, szczególnie na obszarach Ameryki Środkowej, a także przez ludy indoeuropejskie i mieszkańców starożytnego Egiptu⁸, gdzie

³ Por. także. Sfinks, wzniesiony za panowania faraona Chefrena około 2500 roku p.n.e. na płaskowyżu Giza, jest zwrócony w kierunku słońca wschodzącego rankiem, w porze wiosennego zrównania dnia z nocą. Marcowa równonoc wyznacza moment, kiedy przecina ono równik niebieski – wyobrażoną linię na niebie, ponad ziemskim równikiem – podążając z południa na północ (i z północy na południe we wrześniu). Jest to pierwszy dzień wiosny.

⁴ Por. także.

⁵ Por. także. W paśmie Big Horn, w stanie Wyoming, na wierzchołku Medicine Mountain znajduje się kamienny krąg o średnicy 25 metrów. Jeden z kamiennych promieni tego okręgu z dokładnością do jednej trzeciej stopnia wskazuje pozycję Słońca w dniu letniego przesilenia. Zobacz: J.A. Eddy, *Astronomical Alignment of the Big Horn Medicine Wheel*, „Science” 1974, June 7, Vol. 184, No. 4141, s. 1035–1043 [DOI: 184.4141.1035]

⁶ Por. I. Šprajc, *Astronomical Alignments at Teotihuacan, Mexico*, „Latin American Antiquity” 2000, Vol. 11, No. 4, s. 403–415; więcej informacji: *Teotihuacan*, Wikipedia, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Teotihuac%C3%A1n> [dostęp: 13 II 2023].

⁷ Por. I. Šprajc, *Astronomical Alignments at Teotihuacan, Mexico*; por. też R. Cohen, *Chasing the Sun*, s. 48 – autor opisuje, jak podczas wschodu i zachodu Słońca, w porze wiosennej i jesiennej równonocy, cienie narożników piramidy El Castillo w mieście Majów, Chichen Itza, rzucają cień przypominający zarys Pierzastego Węża pełzającego w dół piramidy. Zobacz: A.F. Aveni, S.L. Gibbs, H. Hartung, *The Caracol Tower at Chichen Itza: An Ancient Astronomical Observatory?*, „Science” 1975, June 6, Vol. 188, No. 4192, s. 977–985, <https://doi.org/10.1126/science.188.4192.977> [dostęp: 13 II 2023].

⁸ Por. *Encyclopedia Britannica*, hasło: *Sun worship*, <https://www.britannica.com/topic/sun-worship> [dostęp: 13 II 2023].

bogiem słońca był Re (Ra), stwórca wszelkiego życia i żywiciel ziemi⁹. Wiele kultur solarnych łączyło ruch boga Słońce po niebie z lotem sokoła lub innego ptaka¹⁰. Indoeuropejczycy przedstawiali go w rydwanie ciągniętym przez cztery ogniste wierzchowce¹¹.

Dzisiaj ani nie czcimy słońca, ani nie budujemy mu świątyni. Z drugiej strony nadal pozostajemy pod jego urokiem, na przykład obserwując piękne zachody słońca, gdy czerwona tarcza znika powoli za horyzontem. Czy jest ktoś, na kim nie robi wrażenia poświata w wysokich rejonach alpejskich, blade czerwone światło na śnieżnych polach, które pojawia się, zanim zapadną całkowite ciemności? Kto nie jest zaintrygowany niepokojącym zmierzchem podczas całkowitego zaćmienia? Podobnie jak nasi przodkowie, odczuwamy radiacyjną moc słońca w środku dnia nie tylko w rejonach tropikalnych, lecz także w strefie umiarkowanych temperatur. Tak samo jak zwierzęta chronimy się przed jego intensywnym blaskiem, bo zbyt długie wystawianie się na działanie promieni słonecznych powoduje oparzenia. Nadal też celebруем powrót wiosny z ponownie zieleniącymi się polami. Z rzadka, na przykład podczas przesilenia letniego w Stonehenge, pogrążamy się na chwilę w zadumie, odzyskując na nowo poczucie zadziwienia doświadczane przez naszych przodków na widok powrotu słońca z królestwa ciemności do królestwa światła.

W sumie rzadko jednak myślimy o życiodajnych promieniach słońca. Bob Berman zauważył, że „zażyłość jest wrogiem zadziwienia, zatem ludzie najczęściej spacerują ulicami, nie spoglądając w górę” ani nie myśląc o słońcu¹². A jednak jeśli w świecie przyrody istnieje

⁹ Por. także; por. też R. Cohen, *Chasing the Sun*, rozdz. 1.

¹⁰ Por. R. Cohen, *Chasing the Sun*, rozdz. 10.

¹¹ *Encyclopedia Britannica*, hasło: *Sun worship*, <https://www.britannica.com/topic/sun-worship> [dostęp: 13 II 2023]; *Helios*, Wikipedia, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Helios_\(mitologia\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Helios_(mitologia)) [dostęp: 13 II 2023].

¹² B. Berman, *The Sun's Heartbeat: And Other Stories from the Life of the Star That Powers Our Planet*, Back Bay Books, New York 2012, s. 7.

coś godnego podziwu – a nawet czci – to z całą pewnością tym czymś jest Słońce! Odnosi się to szczególnie do nas i innych stworzeń, które William Broad nazywa „konsumentami światła”¹³, a więc istot zamieszkujących powierzchnię Ziemi, których byt jest całkowicie uzależniony od radiacyjnego oddziaływania naszej gwiazdy.

Bez słonecznego ciepła woda na powierzchni Ziemi zostałaby uwięziona w wiecznym lodowym grobowcu, bez wody w stanie płynnym nie byłoby oceanów ani cyklu dostarczającego wodę ekosystemom lądowym. Nie byłoby również maszynierii klimatycznej łagodzącej ziemski klimat ani tektoniki płyt odświeżającej składniki hydrosfery, ponadto nie istniałoby takie życie, jak nasze, oparte na wodnej macierzy. Woda jest doskonale przystosowana do wypełniania różnych ważnych funkcji na Ziemi (omówilem je w książce *Fenomen wody*), ale dopiero ciepło Słońca ogrzewającego Ziemię od miliardów lat uwolniło jej życiodajne zdolności.

Bez Słońca powierzchnia Ziemi w krótkim czasie zamieniłaby się w pozabawioną życia lodową pustynię o temperaturze kilku stopni powyżej zera absolutnego – znacznie zimniejszą od centralnych rejonów Antarktyki, a nawet lodowatych piasków Marsa. Każdy atom i każda cząsteczka na powierzchni naszej planety zostałyby unieruchomione, ustalyby wszelkie procesy chemiczne. Nawet częściowe zablokowanie promieni Słońca na kilka lat pod koniec kredy, po uderzeniu meteorytu w Chicxulub, spowodowało masowe wyginiecie zwierząt i koniec ery dinozaurów¹⁴.

¹³ W.J. Broad, *The Universe Below: Discovering the Secrets of the Deep Sea*, Simon & Schuster, New York 1997, s. 109: „Zdolność niektórych drobnoustrojów do korzystania wyłącznie z substancji chemicznych i obywania się bez światła była dobrze znana jeszcze przed odkryciem w głębinach kominów hydrotermalnych. Ważnym odkryciem było przede wszystkim to, że niezwykle złożone ekosystemy są zasilane dzięki tej zasadzie [chemosyntezie], co znaczy, że my i wszyscy inni konsumenci światła na Ziemi dzielimy naszą planetę z obcą hordą, która świetnie sobie radzi w całkowitych ciemnościach”.

¹⁴ P.R. Renne, A.L. Deino, F.J. Hilgen et al., *Time Scales of Critical Events Around the Cretaceous-Paleogene Boundary*, „Science” 2013, Vol. 339, No. 6120, s. 684–687, https://eps.harvard.edu/files/eps/files/renne.kt_science.2013.pdf [dostęp: 13 II 2023].

Większość z nas zdaje sobie sprawę, że światło Słońca poprzez udział w fotosyntezie obdarza życiem nas i wszystkie zaawansowane organizmy istniejące na Ziemi, jako że dostarcza podstawowego pokarmu, od którego zależy nasze istnienie – drogiego tlenu, potrzebnego do utleniania substancji odżywczych w naszym organizmie, a także energii, od której uzależniony jest zaawansowany metabolizm i aktywny styl życia. Mniej jednak wiadomo o istnieniu niezwykle gęstego splotu okoliczności w naturze, który sprawia, że powierzchnia Ziemi jest idealnym habitatem dla zaawansowanych organizmów żywych opartych na węglu – splotu okoliczności, który ze wszech miar należy uznać za absurdalnie wręcz nieprawdopodobny.

Zacznijmy od tego, że promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez Słońce (i większość innych gwiazd) jest niemal w całości złożone ze światła i ciepła (lub podczerwieni), które mają dokładnie takie własności, jakie są potrzebne do istnienia życia na Ziemi, a szczególnie zaawansowanego życia, jakie się na niej rozwinęło. **Światło** jest potrzebne do fotosyntezy, a **ciepło** do podniesienia temperatury Ziemi ponad punkt zamarzania, co pozwala utrzymywać wodę w stanie płynnym.

Jedynie dzięki ściśle określonym własnościom absorpcyjnym gazów atmosferycznych Ziemi większość promieniowania świetlnego emitowanego przez Słońce dociera do jej powierzchni, gdzie steruje chemicznym procesem fotosyntezy, od którego ostatecznie zależymy jako „konsumenci światła”. Te same gazy atmosferyczne, które przepuszczają światło potrzebne do fotosyntezy, pochłaniają część promieniowania podczerwonego (IR), które ogrzewa Ziemię i utrzymuje wodę w stanie płynnym. Ten cud wzmacnia dodatkowo fakt, że zarówno gazy w atmosferze, jak i czynnik niezbędny dla życia opartego na związkach węgla, czyli woda w stanie płynnym, nie tylko przepuszczają odpowiednie światło, lecz także w znacznym stopniu pochłaniają wszystkie niebezpieczne rodzaje promieniowania po obu stronach widma spektroskopowego – pasma widzialnego i podczerwonego – co już

samo w sobie jest bardzo ważną własnością, bez której zaawansowane formy życia nie pojawiłyby się na powierzchni Ziemi.

Światło słoneczne, oprócz tego, że jest doskonale przystosowane do potrzeb fotosyntezy, a zatem i do naszej wymagającej tlenu zaawansowanej formy istnienia, jest też najbardziej odpowiednie dla wyraźnego widzenia, co zależy od całego zestawu jego cech. Sprawdza się w przypadku **dowolnego** rodzaju precyzyjnych urządzeń optycznych i ludzkiego oka, bo długość jego fali jest wyjątkowo odpowiednia dla istot humanoidalnych, a więc o naszej wielkości i wyprostowanej postawie.

W dostrojeniu słonecznego światła do fotosyntezy i ostrości widzenia szczególnie istotne jest to, że chodzi o elementy przystosowania przyrody **wyłącznie do życia naszego rodzaju – istot obdarzonych widzeniem, oddychających tlenem i zamieszkujących lądy takiej planety jak Ziemia**. Niezwykle dopasowanie promieniowania Słońca i wielu innych elementów w przyrodzie do fotosyntezy, a więc i do potrzeb zaawansowanych organizmów tlenowych, takich jak człowiek, nie ma znaczenia dla „obcych hord”¹⁵ Williama Broada zamieszkujących całkowite ciemności w pobliżu kominów hydrotermalnych w przepastnej głębi oceanów, karwiących się minerałami wypłukiwanymi ze skał, ogrzewających się geotermalnym ciepłem i wytwarzających energię w wyniku beztlenowych reakcji chemicznych.

Dokumentując doskonale przystosowanie słonecznego światła do życia na Ziemi, a szczególnie do życia **naszego** gatunku, książka ta w pewnym sensie potwierdza, że starożytni czciciele słońca, gromadzący się 21 czerwca w Stonehenge przed tysiącami lat, mimo że nie dysponowali żadną wiedzą o przystosowaniach Słońca czy atmosfery, „mieli [jednak] rację”, jak pisze Sagan. Opowieść o przydatności światła słonecznego i nieprawdopodobnych zbiegach okoliczności, które umożliwiły nasze zaistnienie – o przystosowaniu do wytwarzania

¹⁵ W.J. Broad, *The Universe Below*, s. 109.

drogocennego, niezbędnego dla nas tlenu, który napędza nasz metabolizm, a także do wspaniałego daru widzenia – jest znacznie bardziej niezwykła od mitów tworzonych przez starożytnych czcicieli słońca czy od ezoterycznych wizji dawnych guru i proroków, a już z pewnością bardziej zadziwiająca od tego, co roją sobie pogrążeni w ekstazie hippisi, którzy rankiem na wzgórzach Wiltshire wyczekują letniego przesilenia.



Ilustracja 2.1. Życiodajne słońce (źródło: Pink Sherbet Photography from USA, licencja CC BY 2.0, Wikimedia Commons).



Rozdział 2

Światło życia

Ciekawym ćwiczeniem intelektualnym jest wyobrażenie sobie, jak mogłoby dojść do powstania życia, a później do jego utrzymania, na mrocznej planecie. Jednak bardzo wątpię, żeby tak się stało lub by w ogóle było to możliwe¹.

– George Wald

Wszyscy wiemy, że światło, które jest niezbędne do procesu fotosyntezy i dostarcza nam, „konsumentom światła”², tlenu, którym oddychamy, i pokarmu, który spożywamy, pochodzi ze Słońca. Tylko dzięki ciepłu pochodzącemu z naszej gwiazdy Ziemia nadaje się do zamieszkania, podnosi ono bowiem temperaturę atmosfery znacznie powyżej punktu zamarzania, do przeciętnej w skali globu wynoszącej przyjemne 15°C³.

Spektrum promieniowania emitowanego przez każde ciało fizyczne (także przez gwiazdę taką jak Słońce; zobacz: ilustracja 2.2.) jest w dużym stopniu zależne od jego temperatury powierzchniowej⁴. Przy

¹ G. Wald, *Life and Light*, „Scientific American” 1959, Vol. 201, No. 4, s. 108.

² W.J. Broad, *The Universe Below*, s. 109.

³ G.K. Vallis, *Climate and the Oceans, Princeton Primers in Climate*, Princeton University Press, Princeton 2012, Glossary, s. 218: „Bez tego efektu [cieplarnianego] temperatura powierzchni Ziemi wynosiłaby około 255 K (-18°C) i byłaby mniej więcej o 33°C niższa od obecnej (15°C)”.

⁴ J.F.B. Mitchell, *The ‘Greenhouse’ Effect and Climate Change*, „Reviews of Geophysics” 1989, Vol. 27, No. 1, s. 115–139; zobacz: ilustracja 2.1. Jeśli chodzi o ciała czarne, Mitchell zaznacza: „Rozkład energii emitowanej przez falę o określonej długości jest funkcją temperatury emitera: im cieplejszy jest emitery, tym krótsza jest szczytowa długość fali emisji. Ponieważ Słońce ma temperaturę powierzchniową rzędu 6000°C, większość jego

temperaturze bliskiej 6000°C , czyli panującej na powierzchni Słońca⁵, większość emisji radiacyjnej ma formę światła widzialnego i ciepła⁶. W temperaturach niższych niż temperatura Słońca większa część emitowanego promieniowania to podczerwień lub ciepło, a mniejsza to zakres promieniowania widzialnego. W temperaturach wyższych niż panująca na Słońcu większa część promieniowania przypada na zakres UV, który jest szkodliwy dla życia. Gwiazdy, które emitują głównie niebezpieczne promieniowanie ultrafioletowe lub podczerwone, stanowią jednak tylko niewielki ułamek wszystkich gwiazd występujących w kosmosie⁷. Większość gwiazd ma temperaturę powierzchniową zbliżoną do 6000°C lub nieco niższą i emituje niemal całe promieniowanie, podobnie jak Słońce, w postaci światła i ciepła⁸. Wychodzi zatem na to, że Słońce pod względem promieniowania nie jest wyjątkowe. Jak powiada Carl Sagan, „jest zwyczajną, a nawet przeciętną, gwiazdą”⁹. Zwyczajne czy nie, dostarcza jednak dokładnie takiego światła, jakie jest korzystne dla życia.

promieniowania mieści się w przedziale od 0,2 do 4 mikronów (w tym promieniowanie ultrafioletowe, widzialne i bliska podczerwień), Ziemia natomiast, mająca temperaturę powierzchniową 255 K, emituje promieniowanie głównie w zakresie od 4 do 100 mikronów”; zobacz *Encyclopedia Britannica*, hasło *Continuous spectra of electromagnetic radiation*, <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation/Continuous-spectra-of-electromagnetic-radiation> [dostęp: 13 II 2023]

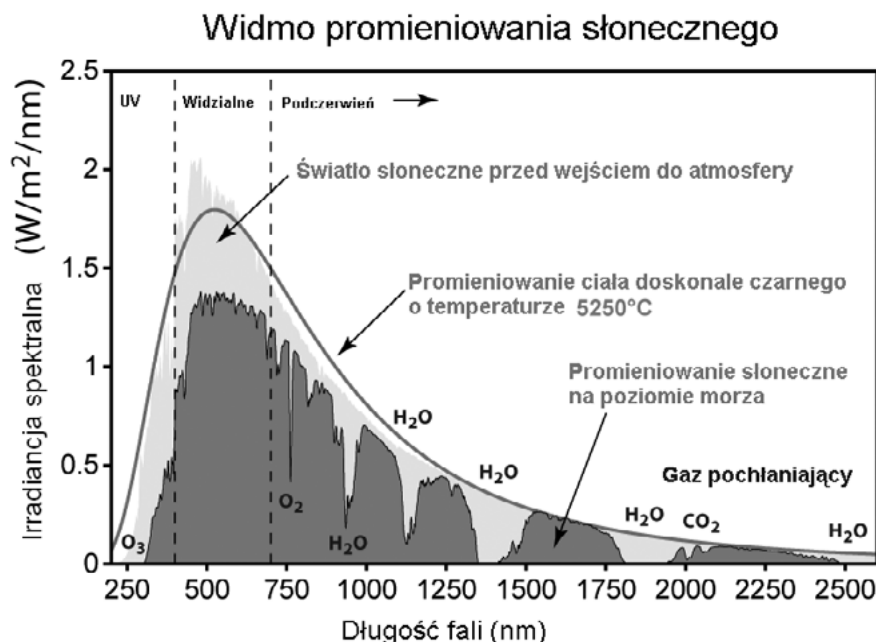
⁵ J.F.B. Mitchell, *The ‘Greenhouse’ Effect and Climate Change*.

⁶ Tamże.

⁷ *Ultraviolet Astronomy*, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet_astronomy [dostęp: 20 II 2023]; Fragment artykułu: „Wszechświat ultrafioletowy wygląda zupełnie inaczej od znanych nam gwiazd i gwiazdozbiorów widocznych w świetle widzialnym. **Gwiazdy to przeważnie stosunkowo chłodne obiekty emitujące większość swojego promieniowania elektromagnetycznego w zakresie światła widzialnego lub bliskiej podczerwieni** [wyróżnienie autora]. Promieniowanie ultrafioletowe jest sygnaturą cieplejszych obiektów znajdujących się zwykle we wczesnym lub późnym stadium swojej ewolucji”.

⁸ *Stellar Classification*, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification [dostęp: 13 II 2023].

⁹ C. Sagan, *Kosmos*, s. 243; *Stellar Classification*, Wikipedia.



Ilustracja 2.2. Widmo słoneczne sięga nieco głębiej w obszar podczerwieni, niż jest to uwidocznione na tej ilustracji. Rozciąga się do około 5000 nanometrów lub pięciu mikronów (źródło: Nick84, licencja CC BY-SA 3, Wikimedia Commons. Z artykułu J.F.B. Mitchella, *The 'Greenhouse' Effect and Climate Change*, „Reviews of Geophysics” 27, No. 1 /1989/, s. 115–139).

Światło słoneczne także w inny sposób jest przystosowane do potrzeb rozwiniętego życia istniejącego na powierzchni naszej planety. Okres życia gwiazd takich jak Słońce mierzy się w miliardach lat¹⁰. Będzie ono emitować promieniowanie w paśmie widzialnym oraz IR (światło odpowiednie dla życia) przez cztery kolejne miliardy lat. Oznacza to, że życie na powierzchni Ziemi (i każdej innej skalistej planety w otaczającej typową gwiazdę strefie zamieszkałej) ma zapewnione idealne źródło energii przez ogromny czas, przekraczający

¹⁰ C.A. Bertulani, *Nuclei in the Cosmos*, World Scientific, Hackensack 2013, rozdz. 1, tabela s. 10.

ludzkie doświadczenie. Jest to konieczne, jeśli życie ma się rozwijać i kwitnąć przez miliony lat. Kolejnym ważnym elementem przystosowania są niewielkie zmiany dziennej i rocznej wydajności Słońca, bez których środowisko ziemskie byłoby niestabilne i nie doszłoby w nim do rozwoju złożonych, zaawansowanych form życia.

Jeszcze jednym intrygującym elementem przystosowania jest fakt, że gwiazdy o tej samej masie co Słońce charakteryzują się **zarówno** okresem istnienia wynoszącym wiele miliardów lat (w przypadku Słońca jest to dziesięć miliardów lat), **jak i** temperaturą wynoszącą około 6000°C , potrzebną do emitowania „odpowiedniego” promieniowania w pasmie widzialnym oraz podczerwonym¹¹. Dla porównania dodam, że gwiazdy o masie trzykrotnie przekraczającej masę Słońca mają znacznie krótszy okres życia, trwa on około 370 milionów lat¹² i jest znacznie krótszy od czasu, w jakim istnieje życie lądowe na Ziemi. Z drugiej strony okres istnienia gwiazd o masie mniejszej od naszego Słońca jest dłuższy¹³, ale jako gwiazdy chłodniejsze¹⁴ emitują one mniej światła widzialnego w stosunku do całego swojego promieniowania¹⁵.

Chociaż doskonale rozumiemy, że przystosowanie promieniowania Słońca do życia na Ziemi wynika z tego, że jego temperatura powierzchniowa jest bliska 6000°C , to nie doceniamy faktu, że zależy ono także od kilku wręcz nieprawdopodobnych zbiegów okoliczności w przyrodzie. Można to zrozumieć jedynie po przeanalizowaniu widma elektromagnetycznego oraz interakcji pomiędzy promieniowaniem elektromagnetycznym i materią.

¹¹ Tamże, rozdz. 1.

¹² Tamże.

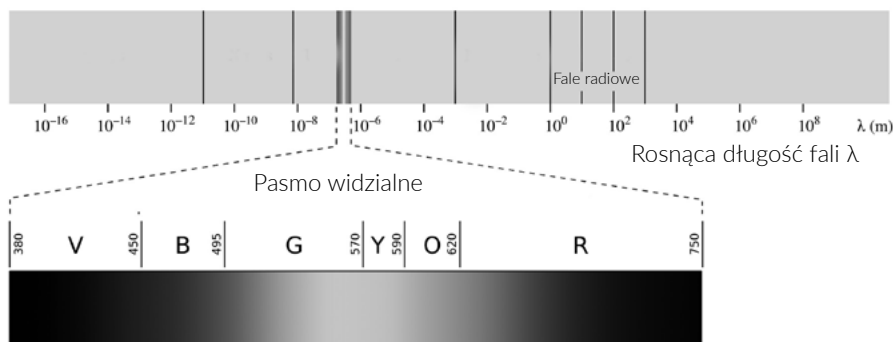
¹³ Tamże.

¹⁴ *Stellar Classification*, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification [dostęp: 13 II 2023].

¹⁵ *Colors, Temperatures, and Spectral Types of Stars*, John A. Dutton e-Education Institute, PennState 2017, https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/14_p2.html [dostęp: 20 II 2023].

Widmo elektromagnetyczne

Widmo elektromagnetyczne składa się z wielu rodzajów promieniowania (zobacz: ilustracja 2.3.). Dwa najbardziej znane to światło i ciepło, najważniejsze spośród emitowanych przez nasze Słońce (ciepło to promieniowanie podczerwone IR, które właśnie jako ciepło odczuwamy, gdy promienie słońca padają na naszą skórę). Istnieje wiele innych rodzajów promieniowania, jak fale radiowe, mikrofae, promieniowanie ultrafioletowe, promieniowanie rentgenowskie i promieniowanie gamma. Wszystkie rodzaje promieniowania elektromagnetycznego, w tym światło i ciepło (lub promieniowanie podczerwone), poruszają się w przestrzeni w formie fal energii, jak zmarszczki na powierzchni stawu, i jak one mogą mieć różne długości – małe mierzą kilka milimetrów od wierzchołka jednej do wierzchołka drugiej, a duże nawet kilka centymetrów. Podobnie jest z długością fal różnego rodzaju promieniowania elektromagnetycznego, tyle że różnice obserwuje się w znacznie większej skali.



Ilustracja 2.3. Widmo elektromagnetyczne; λ (lambda) jest równa długości fali (źródło: NASA i P. Ronan, Gringer, licencja CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons).

Promieniowanie elektromagnetyczne, począwszy od najdłuższych fal aż po najkrótsze, przenika całą przyrodę. W poświęconym mu artykule w *Encyclopedia Britannica* mówi się, że:

Blisko 0,01 procent masy/energii Wszechświata występuje w postaci promieniowania elektromagnetycznego. W promieniowaniu tym zatopione jest całe ludzkie życie. Od różnych jego form zależą przede wszystkim współczesne technologie łączności i usługi medyczne. [...] Jedzenie jest podgrzewane w kuchenkach mikrofalowych, samolotami kierują fale radaru, telewizory odbierają fale elektromagnetyczne nadawane przez stacje telewizyjne, a fale podczerwone z grzejników dostarczają ciepła. Fale podczerwone są również emitowane i odbierane przez aparaty fotograficzne z automatycznie regulowaną ostrością, które w sposób elektroniczny mierzą i określają właściwą odległość od fotografowanego obiektu. Kiedy zachodzi słońce, włączamy oświetlenie żarowe lub fluorescencyjne, aby zapewnić sobie sztuczne światło i miasta mienią się barwnymi fluorescencyjnymi światłami i neonami. [...] Mniej znane są fale gamma, które pochodzą z reakcji jądrowych oraz rozpadu promieniotwórczego i są częścią szkodliwego wysokoenergetycznego promieniowania emitowanego przez materiały radioaktywne i broń jądrową¹⁶.

Powodem, dla którego skutki i zastosowania promieniowania z poszczególnych zakresów widma elektromagnetycznego są tak odmienne, jest to, że fale o różnej długości – mikrofae, podczerwień (ciepło), widzialne, ultrafioletowe i rentgenowskie – wchodzi w różne interakcje z materią¹⁷.

Całkowity zakres długości fal widma elektromagnetycznego jest niesamowicie obszerny. Niektóre z fal radiowych o skrajnie niskiej

¹⁶ H. Fritzsche, M. Phillips, *Encyclopedia Britannica*, 15th edition, hasło *Electromagnetic radiation*, <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation> [dostęp: 13 II 2023].

¹⁷ Tamże; C.R. Nave, *The Interaction of Radiation with Matter*, „HyperPhysics” 2016, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod3.html> [dostęp: 13 II 2023].

częstotliwości mogą osiągać setki tysięcy kilometrów od wierzchołka do wierzchołka, podczas gdy wysokoenergetyczne fale gamma mogą mieć długość zaledwie 10^{-17} metra (ułamek średnicy jądra atomu). Nawet w wybranym paśmie całego spektrum długości fal różnią się od siebie o niewyobrażalnie wielki czynnik 10^{25} , czyli 10 000 000 000 000 000 000 000 000.

Można sobie wyobrazić, o jakie wielkości chodzi, za pomocą porównania, którego użyłem w mojej książce *Przeznaczenie natury*:

Pewne wyobrażenie o tym, jak gigantyczna to wartość, uzyskujemy po uwzględnieniu faktu, że liczba sekund, które upłynęły od uformowania się Ziemi cztery miliardy lat temu, wynosi **zaledwie** około 10^{17} . Aby policzyć do 10^{25} sekund, musielibyśmy liczyć bez przerwy dniem i nocą przez okres **równy wiekowi Ziemi pomnożonemu przez 100 milionów!**¹⁸

Inaczej mówiąc, gdybyśmy ułożyli 10^{25} kart do gry jedna na drugiej, otrzymalibyśmy stos sięgający od Ziemi poza granice gwiazdozbioru Andromedy¹⁹.

Odpowiednie światło

Jak już wcześniej wspomniałem, promieniowanie elektromagnetyczne wchodzi w wiele różnych interakcji z materią²⁰, a skutkiem tego jest „mnóstwo zjawisk w wyniku wzajemnego oddziaływania z [...]”

¹⁸ M. Denton, *Przeznaczenie natury. Co prawa biologii mówią o naszym miejscu we Wszechświecie*, tłum. A. Gomola, seria „Inteligentny Projekt”, Wydawnictwo Fundacja En Arche, Warszawa 2022, s. 96.

¹⁹ Przy założeniu, że karta do gry ma 0,5 milimetra grubości, daje to odległość 5 milionów lat świetlnych. Jeden rok świetlny odpowiada około 10^{12} kilometra; gwiazdozbiór Andromedy dzieli od Ziemi 2,5 miliona lat świetlnych – *The Galaxy Next Door*, „Galex” 2012, May 15, NASA (aktualizacja: August 7, 2017), https://www.nasa.gov/mission_pages/galex/pia15416.html [dostęp: 13 II 2023].

²⁰ *Encyclopedia Britannica*, hasło *Electromagnetic radiation*, <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation> [dostęp: 13 II 2023].

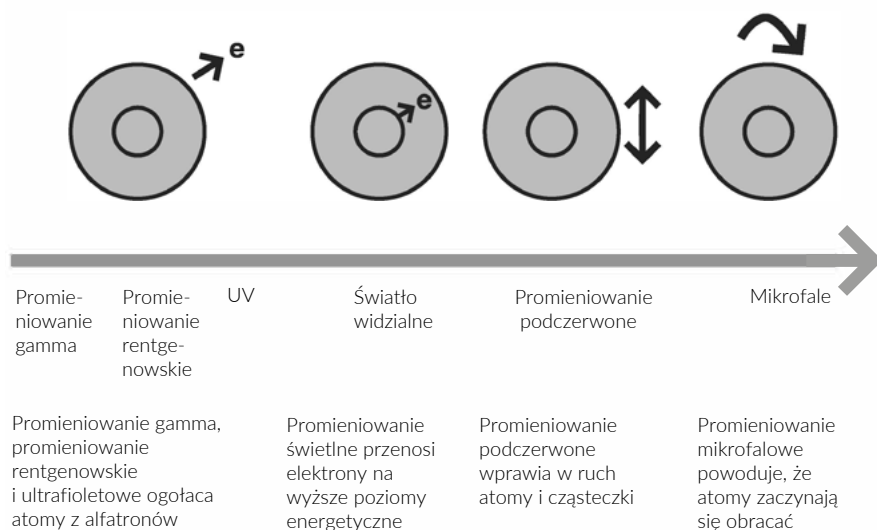
atomami, cząsteczkami i większymi skupiskami materii”²¹. Jednak tylko jeden rodzaj promieniowania (lub rodzaj fotonów) w całym spektrum elektromagnetycznym – **ten w zakresie widzialnym**²² – umożliwia procesy fotochemiczne, w tym fotorecepcję i fotosyntezę, gdyż dysponuje odpowiednią energią, by przenieść elektrony na wyższy poziom energetyczny (zobacz: ilustracja 2.4.) i pobudzić związki chemiczne do reakcji chemicznych (zobacz: ilustracja 2.4.). Laureat Nagrody Nobla George Wald, który prowadził wieloletnie badania w dziedzinie biochemii widzenia, zauważa:

[n]iemal wszystkie zwykłe [...] reakcje [chemiczne] wymagają energii aktywacji w przedziale od 15 do 65 kilokalorii na mol. Stanowi to ekwiwalent energetyczny promieniowania o fali długości od 1900 do 440 milimikronów. Energie wymagane do zerwania pojedynczego wiązania kowalencyjnego – procesu, który [...] może być potężnym środkiem aktywacji chemicznej – niemal wszystkie mieszczą się w przedziale od 40 do 90 kilokalorii na mol, co odpowiada promieniowaniu o długości fali od 710 do 320 milimikronów. Na końcu tego procesu dochodzi do wzbudzenia elektronów walencyjnych do wyższych poziomów orbitalnych, co uruchamia reakcje [takie jak te, które zachodzą, gdy fotony są pochłaniane przez chlorofil] zaliczane do zakresu fotochemii. Są to zwykle energie od 20 do 100 kilokalorii na mol, co odpowiada absorpcji światła o długości fali od 1430 do 2800 milimikronów. Przechodząc od zagadnienia pobudzenia molekuł do reakcji chemicznych, wkraczamy jednak w obszar długości fal, który jest w przybliżeniu zbieżny ze sferą fotobiologiczną²³.

²¹ Tamże.

²² G. Wald, *Life and Light*, „Scientific American” 1959, Vol. 201, No. 4, s. 92–108; I.M. Campbell, *Energy and the Atmosphere*, Wiley, London 1977, s. 1–2; C.R. Nave, *The Interaction of Radiation with Matter*, „HyperPhysics” 2016, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod3.html> [dostęp: 13 II 2023].

²³ G. Wald, *Life and Light*.



Ilustracja 2.4. Interakcje promieniowania elektromagnetycznego z materią. Mniej energetyczne promieniowanie fal o długości większej niż ultrafiolet ma charakter niejonizujący; bardziej energetyczne promieniowanie fal krótszych od pasma widzialnego (to jest promieniowania ultrafioletowego i rentgenowskiego) jest jonizujące i może pozbawiać atomy i cząsteczki elektronów, a tym samym powodować uszkodzenia chemiczne (źródło: B. Gage i M. Denton).

Energia promieniowania poza zakresem widzialnym nie jest odpowiednia dla procesów fotochemicznych²⁴. W obszarze IR oraz mikrofal widmo elektromagnetyczne fotonów (fale o długości większej niż 0,8 mikrona) jest zbyt słabe – powoduje vibracje molekul i wprawia je w ruch obrotowy, nie może jednak dostarczać atomom i cząsteczkom wystarczającej energii, aby pobudzić molekuly do reakcji chemicznej. (Należy pamiętać, że w temperaturach wyższych od tych, w których zachodzą życiowe procesy chemiczne, ciepło może powodować kolizję cząstek o sile wystarczającej do pobudzenia atomów i związków do reakcji chemicznej). Fotony w dalekim ultrafiolecie, paśmie rentgenowskim lub gamma (o długości fali mniejszej od 0,3 mikrona),

²⁴ C.R. Nave, *The Interaction of Radiation with Matter*.

określanym jako jonizujące, są zbyt energetyczne, to jest przekazują tyle energii, że mogą spowodować poważne destrukcyjne zmiany: pozbawić elektrony atomów i cząstek, zjonizować je, przerwać wiązania chemiczne i doprowadzić na przykład do mutacji w DNA. Niszczący efekt promieniowania w zakresie ultrafioletu i poza nim jest powodem, dla którego promieniowanie w tych pasmach nie jest przyjazne dla życia.

Promieniowanie poniżej 300 milimikronów [...] nie współgra z uporządkowanym istnieniem dużych, wysoko zorganizowanych cząstek, jak białka i kwasy nukleinowe. Oba rodzaje składają się z długich łańcuchów połączonych podstawową walencyjnością [zwykłymi wiązaniami chemicznymi]. Jednakże obydwa rodzaje występują w delikatnych specyficznych konfiguracjach, od których zależą pełnione przez nie funkcje w komórce, na przykład za sprawą relatywnie słabych sił wiązania wodorowego i przyciągania van der Waalsa. Siły te, choć pojedynczo słabe, kumulują się. Zapewniają spójność cząsteczek dzięki specyficznemu uporządkowaniu, jak w zamku blyskawicznym. Promieniowanie o fali krótszej od 300 milimikronów [0,3 mikrona] otwiera te zamki, powoduje przerwanie długich sekwencji wiązań i doprowadza do tego, że staranne uporządkowanie przeradza się w przypadkowe i chaotyczne. Dlatego takie rodzaje promieniowania denaturują białka i depolimeryzują kwasy nukleinowe, co ma dla komórki katastrofalne skutki. Z tego powodu mniej więcej 300 milimikronów to dolna granica promieniowania umożliwiającego fotoreakcje, a jednocześnie odpowiedniego dla życia²⁵.

Inaczej mówiąc, światło w widzialnym paśmie spektrum elektromagnetycznego jest odpowiednie dla zachodzenia reakcji fotochemicznych. W tym umownym „obszarze Złotowłosej”²⁶ nie jest ono na tyle

²⁵ G. Wald, *Life and Light*.

²⁶ Obszar Złotowłosej (okologiczna strefa zamieszkiwalna) to taka sfera wokół gwiazdy, w obrębie której na wszystkich znajdujących się w jej zasięgu planetach mogą panować fizyczne i chemiczne warunki umożliwiające powstanie i rozwój organizmów żywych. Za najważniejszy warunek uznaje się istnienie wody w stanie ciekłym. Sama nazwa

silne, by doprowadzać do uszkodzenia materii organicznej, a jednocześnie jest dostatecznie energetyczne, by delikatnie pobudzać cząstki organiczne do reakcji chemicznych. Innymi słowy „jest w sam raz”. Żadne inne promieniowanie elektromagnetyczne nie zdołałoby go zastąpić! Wald zauważa, że to nie życie przystosowało się do odpowiedniego światła, lecz **odpowiednie światło jest jedynym, które dostarcza właściwego poziomu energii dla reakcji fotochemicznych:**

Nie ma planety, na której fotosynteza lub widzenie występowałyby w dalekim obszarze podczerwieni lub dalekim ultrafiolecie, bo te rodzaje promieniowania nie nadają się do występowania wspomnianych procesów. To nie procesy fotobiologiczne determinują zakres dostępnego promieniowania, lecz dostępność odpowiedniego zakresu fal decyduje o tym, czy mogą się rozwinąć organizmy żywe i czy światło może na nie korzystnie oddziaływać²⁷.

Kluczowe pasmo widzialne, cechujące się odpowiednim poziomem energetycznym dla procesów fotochemicznych, zajmuje znikomą część spektrum elektromagnetycznego. W przytoczonym artykule Wald wskazuje, jak wąski jest obszar Złotowłosej w widmie elektromagnetycznym:

Światło [...] zajmuje znikomą część spektrum energii promieniotwórczej, która przenika Wszechświat, od promieni gamma, które mogą osiągać zaledwie jedną miliardową część centymetra [...] po fale radiowe osiągające do jednej mili długości. Część tego spektrum, widoczna dla człowieka, zawiera się zasadniczo w przedziale długości fal od 380 do 760 milimikronów²⁸.

„strefa Złotowłosej” wywodzi się z bajki angielskiego poety Roberta Southeya *Goldilocks and the Three Bears* [Złotowłosa i trzy niedźwiadki]. Dziewczynka z bajki próbuje kaszy z trzech misek i stwierdza, że woli kaszę „w sam raz”, czyli taką, która nie jest ani za gorącą, ani za zimną. Mówi się też o zasadzie Złotowłosej, w myśl której należy poszukiwać takich wielkości lub ilości, które są „w sam raz” dla zaistnienia jakiegoś stanu rzeczy (przyjp. red.).

²⁷ G. Wald, *Life and Light*.

²⁸ Tamże.

Ten stosunkowo bezbarwny opis, chociaż prawdziwy, nie oddaje tego, jak niewielką część spektrum elektromagnetycznego zajmuje pasmo widzialne. Jak wąski jest „obszar Złotowłosej” w przypadku światła „odpowiedniego” dla życia?

Większość opisów spektrum elektromagnetycznego pokazuje długości fal na skali logarytmicznej, co wywołuje wrażenie, że pasmo widzialne obejmuje znaczną część widma (zobacz: ilustracja 2.3.), a to jest mylące. Znacznie bliższe rzeczywistości jest przedstawienie obszaru widzialnego jako cienkiej pionowej linii pomiędzy obszarami zajmowanymi przez spektrum ultrafioletu i podczerwień (zobacz: ilustracja 2.5.). Niestety, nawet najcieńsza kreska zaznaczona na rysunku nie zdoła oddać tego, jak mały jest ten obszar. Gdyby użyć wcześniejszej analogii, „odpowiednie światło” byłoby zaledwie kilkoma sekundami w przedziale czasu sto milionów razy dłuższym od wieku Ziemi lub kilkoma kartami ze stosu sięgającego poza gwiazdozbiór Andromedy – ułamkiem tak znikomym, że aż trudno go sobie wyobrazić.



Ilustracja 2.5. Pasma widzialne (źródło: B. Gage i M. Denton).

Odpowiednie ciepło

Oprócz światła Słońce dostarcza także ciepła, które zapobiega zamarznięciu wód powierzchniowych, co jest istotnym elementem przystosowania do istnienia organizmów żywych opartych na węglu i funkcjonujących w wodnej macierzy. Nawet przy stosunkowo wysokiej temperaturze -20°C dochodzi do zeszklenia komórki wody, co unieruchamia jej molekularne składowe i przerywa wszelką aktywność metaboliczną.

Bez Słońca ogrzewającego atmosferę i hydrosferę ziemską powierzchnia naszej planety byłaby lodowym pustkowiem, znacznie zimniejszym od centralnej Antarktyki, bliskim temperaturze zera absolutnego. Zamarzłaby nie tylko wszelka woda, ale także gazy atmosferyczne, które przybrałyby postać zamrożonego ciała stałego, jak na księżycu Neptuna, Trytonie, w świecie schłodzonym do temperatury -236°C i pokrytym cienką warstwą azotowego lodu²⁹. Jedynym źródłem ciepła na skalistych planetach takich jak Ziemia jest wewnętrzne ciepło geotermalne, które umożliwia funkcjonowanie osobliwym i wspaniałym biochemicznym mieszkańcom żyjącym w całkowitej ciemności oceanicznych głębin, wokół pasm środkowoceanicznych (zobacz: Dodatek A). Ilość geotermalnego ciepła docierającego do powierzchni Ziemi jest jednak zaledwie małym ułamkiem tego, które jest dostarczane przez pochodzące ze Słońca promieniowanie podczerwone.

Ciepło ma istotne znaczenie także z innego powodu. Ważne jest nie tylko utrzymywanie przeciętnej temperatury powyżej punktu zamarzania wody. Do tego, aby mogły zachodzić reakcje chemiczne, atomy i molekuly muszą być aktywowane lub wzbudzone do przejścia na wyższe poziomy energetyczne, ponadto muszą się zderzać, aby mogły powstawać nowe wiązania chemiczne. Ciepło, które pobudza ruch

²⁹ *Triton (moon)*, Wikipedia, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Tryton_\(księżyc_Neptuna\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Tryton_(księżyc_Neptuna)) [dostęp: 14 II 2023].

cząstek, **jest istotnym czynnikiem** umożliwiającym zajście każdej reakcji chemicznej.

Ciepła nie może być jednak zbyt dużo! W miarę wzrostu temperatury prędkość i siła zderzeń cząsteczek wzrastają, rośnie także prawdopodobieństwo, że zderzenia te mogą dostarczać wystarczającej energii do pokonania barier energetycznych oraz do pobudzenia atomów i cząsteczek do reakcji chemicznych. Właśnie dlatego w temperaturach znacznie wykraczających poza przedział temperatur zastanych kontrolowana biochemia staje się coraz mniej możliwa. Dominują niekontrolowane reakcje chemiczne wywołane przez indukowane ciepłem zderzenia cząsteczek. W zakresie temperatur zastanych cząsteczki rzadko zderzają się z energią wystarczającą do pobudzenia ich do reakcji chemicznych. Właśnie dlatego materialne formy ożywione (organizmy żywe) i nieożywione (skały, budynki, samochody itd.) są względnie stabilne w tych temperaturach. Organizmy żywe, w których przemiany chemiczne dokonują się w zakresie istniejących temperatur, wykorzystują wysokoenergetyczne cząsteczki, jak adenozy-5'-trifosforan (ATP), do pobudzenia biomolekuł oraz enzymów do pokonania barier energetycznych i uruchomienia reakcji istotnych dla życia.

Kiedy temperatura spada, ruchy cząsteczek stają się coraz wolniejsze, co wydłuża czas reakcji chemicznych. W temperaturze zera absolutnego (-273°C) ruch cząsteczek zamiera i reakcje chemiczne nie zachodzą. Wysokość temperatury istotnie wpływa na tempo zachodzenia reakcji. Z każdym jej spadkiem o 10°C tempo reakcji ulega dwukrotnemu spowolnieniu³⁰. Z tej relacji wynika, że obniżenie temperatury o 100°C spowoduje spowolnienie reakcji o prawie 1000 razy! Obniżenie temperatury nawet znacznie mniej niż o 100°C prowadzi do dużego zmniejszenia tego tempa. Reakcje zachodzące w ludzkim ciele w temperaturze 38°C przebiegałyby 16 razy wolniej w temperaturze

³⁰ H. Eyring, R.P. Boyce, J.D. Spikes, *Thermodynamics of Living Systems*, w: *Comparative Biochemistry*, Vol. 1, ed. M. Florkin, H.S. Mason, Academic Press, New York 1960, s. 60–62.

0°C i 64 razy wolniej, gdyby spadła ona do -20°C³¹. Robert E.D. Clark poczynił następujące spostrzeżenie:

[B]adania wykazały, że praktycznie wszystkie reakcje chemiczne stają się niesłychanie powolne, gdy temperatura spada o -50°C czy -100°C. W temperaturze płynnego powietrza [-200°C], nadal bardzo wysokiej w porównaniu z temperaturą większości materii we Wszechświecie, zachodzi zaledwie kilka reakcji, które wymagają niezwykle aktywnego pierwiastka fluoru w stanie wolnym³².

Nawiasem mówiąc, mamy szczęście, że istnieje zakres temperatur, w którym może się odbywać kontrolowana chemia życia – gdzie wystarcza ciepła, aby cząsteczki delikatnie się dotykały i możliwe było tworzenie się wiązań, ale nie wystarcza, by pokonały bariery energetyczne, co doprowadziłoby do niekontrolowanych reakcji. Taki właśnie jest zakres temperatur, w którym istnieje życie na Ziemi, mniej więcej pomiędzy -20°C³³ i 120°C³⁴, co jest górną granicą określoną przez stabilność słabych i silnych wiązań chemicznych wykorzystywanych przez systemy biologiczne (zobacz: *Fenomen wody*, rozdział 7, gdzie szerzej omówilem to zagadnienie).

W książce *Fenomen wody* napisałem: „Chociaż z naszej perspektywy ten [...] przedział [...] może wydać się duży, to stanowi niewyobrażalnie mały ułamek całkowitego zakresu temperatur w kosmosie”³⁵.

³¹ Tamże.

³² R.E.D. Clarke, *The Universe: Plan or Accident?*, Paternoster Press, London 1961, s. 59.

³³ L.J. Rothschild, R.L. Mancinelli, *Life in Extreme Environments*, „Nature” 2001, February 22, Vol. 409, No. 6823, s. 1092–1101; <https://doi.org/10.1038/35059215> [dostęp: 14 II 2023].

³⁴ K. Takai et al., *Cell Proliferation at 122 Degrees C and Isotopically Heavy CH₄ Production by a Hyperthermophilic Methanogen under High-Pressure Cultivation*, w: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2008, August 5, Vol. 105, No. 31, s. 10949–10954 [DOI: 10.1073/pnas.0712334105].

³⁵ M. Denton, *Fenomen wody*, tłum. Z. Kościuk, seria „Wyjątkowy Gatunek”, Fundacja En Arche, Warszawa 2023, s. 228.

Temperatury te obejmują zakres od 10^{32} stopni Celsjusza³⁶ (dziesięć i trzydzieści jeden zer), czyli temperatury Wszechświata krótko po Wielkim Wybuchu, aż do bardzo bliskich zera absolutnego (-273°C). Temperatura panująca we wnętrzu niektórych z najgorętszych gwiazd wynosi kilka miliardów stopni³⁷. Nawet wewnątrz naszego Słońca, które nie jest szczególnie gorącą gwiazdą, panuje temperatura rzędu 15 milionów stopni Celsjusza³⁸. Tak więc zakres temperatur odpowiedni dla procesów biochemicznych jest niewyobrażalnie małym ułamkiem całkowitego ich przedziału w kosmosie.

Ten dokładnie dopasowany zakres temperatur pozwala nie tylko na istnienie kontrolowanej chemii życia. Jest to również niemal dokładnie ten sam przedział, w którym woda, idealna i być może jedyna ciekła macierz dostępna dla form życia opartych na węglu, istnieje w stanie ciekłym w temperaturach zastanych na powierzchni Ziemi. W *Fenomenie wody* nazwałem to „pierwotnym zbiegiem okoliczności”³⁹, od którego w decydującym stopniu zależy istnienie życia opartego na węglu we Wszechświecie.

Niezbędne ciepło, które zapobiega zamarznięciu ziemskiej hydrosfery i ożywia materię, pobudzając ją do reakcji chemicznych, jest dostarczane przez energię elektromagnetyczną z innego zakresu widma spektroskopowego – podczerwieni, a bardziej dokładnie: bliskiej podczerwieni. Obszar ten przylega do pasma widzialnego, graniczy z nim oraz z dalekim promieniowaniem podczerwonym i mikrofalowym (od

³⁶ L. Mastin, *Timeline of the Big Bang, The Physics of the Universe*, 2009, http://www.physicsoftheuniverse.com/topics_bigbang_timeline.html [dostęp: 14 II 2023]; temperatura Plancka wynosi 1032 K.

³⁷ E.M. Burbidge et al., *Synthesis of the Elements in Stars*, „Reviews of Modern Physics” 1957, 29, s. 547–650.

³⁸ S. Mitter, *Cambridge Encyclopedia of Astronomy*, Jonathan Cape, London 1977, s. 128; D. Forbes, *Temperature at the Center of the Sun*, „The Physics Factbook” 1997, <http://hypertextbook.com/facts/1997/DedraForbes.shtml> [dostęp: 14 II 2023].

³⁹ M. Denton, *Fenomen wody*, s. 227

0,8 do 14 mikronów)⁴⁰. Jest to jedyne pasmo widma spektroskopowego, które może dostarczać Ziemi bezpiecznego ciepła, by zapobiec jej zamarznięciu, a także wystarczającej energii kinetycznej do poruszenia cząsteczek i pobudzenia ich do reakcji chemicznych, a jednocześnie niewystarczającej do wystąpienia niekontrolowanych reakcji chemicznych.

Innym rodzajem promieniowania elektromagnetycznego, które mogłoby dostarczyć ciepła Ziemi, jest promieniowanie z pasma dalekiej podczerwieni i pasma mikrofalowego. Prawdopodobnie jednak ogrzewanie Ziemi promieniami mikrofalowymi, a nie podczerwienią, byłoby szkodliwe biologicznie⁴¹.

⁴⁰ Por. J.F.B. Mitchell, *The 'Greenhouse' Effect and Climate Change*.

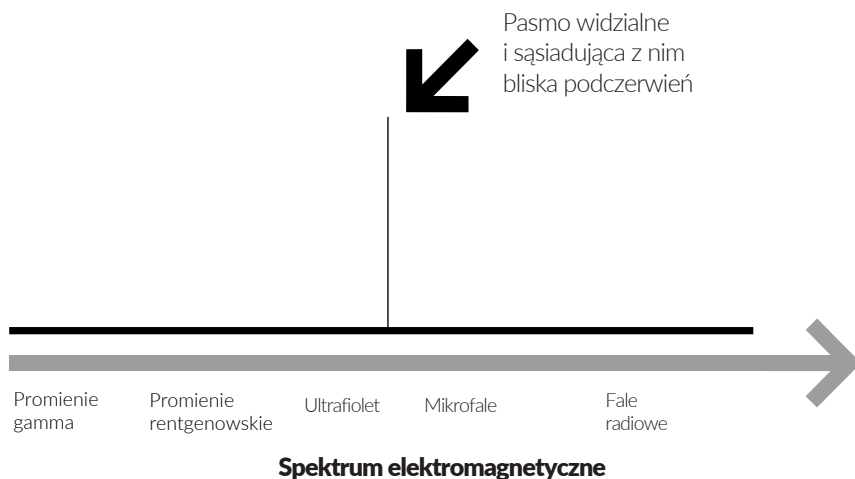
⁴¹ Por. D.J. Panagopoulos, O. Johansson, G.L. Carlo, *Evaluation of Specific Absorption Rate as a Dosimetric Quantity for Electromagnetic Fields Bioeffects*, ed. Nils Cordes, „PLoS ONE” 2013, June 4, Vol. 8, No. 6, e62663, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062663> [dostęp: 14 II 2023] – autorzy podkreślają, że: „Już obecnie istnieje duża, stale wzrastająca liczba badań potwierdzających, że wywołane przez człowieka środowiskowe siły elektromagnetyczne mogą bez ogrzewania tkanki biologicznej wywoływać w niej poważne zmiany, jak uszkodzenie DNA [...]. Może do nich dochodzić za sprawą mechanizmów nietermicznych, obejmujących bezpośrednie zmiany wewnątrzkomórkowych skupisk jonów lub zmiany aktywności enzymów. [...] Uszkodzenie DNA może prowadzić do chorób nowotworowych, chorób zwyrodnieniowych układu nerwowego, spadku rozrodczości, a nawet mutacji dziedzicznych. Guzy mózgu, zmniejszenie zdolności rozrodczej lub objawy określane mianem «syndromu mikrofalowego» (ból głowy, osłabienie pamięci, zmęczenie itd.) obserwuje się w ostatnich latach u ludzi wystawionych na promieniowanie urządzeń telefonii mobilnej. [...] Niedawno International Agency for Research on Cancer [IARC, Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem] zaklasyfikowała promieniowanie częstotliwości radiowej oraz promieniowanie mikrofalowe jako «potencjalnie kancerogenne». Poziom promieniowania emitowany przez te urządzenia jest jednak niewielki i nie wystarcza do spowodowania wzrostu temperatury „w warunkach normalnej ekspozycji, takich jak na przykład podczas «normalnej» rozmowy. Przeciętna gęstość mocy nawet przy bezpośrednim kontakcie z anteną rzadko przekracza wtedy 0,2–0,3 mW/cm² i **nie indukuje wzrostu temperatury rzędu 0,05°C** [wyróżnienie autora]”. Inaczej mówiąc, **szkodliwe skutki nie są spowodowane przez podgrzanie ciała wewnątrz, lecz przez bezpośredni wpływ promieniowania na materię organiczną.**

Na podobne zagrożenia wskazują też autorzy tych publikacji: C. Rougier et al., *Thermal and Nonthermal Effects of Discontinuous Microwave Exposure (2.45 Gigahertz) on the*

Chociaż pasmo bliskiej podczerwieni jest nieco szersze od pasma widzialnego, to nadal stanowi niewyobrażalnie mały ułamek widma elektromagnetycznego – gdyby użyć przywoływanego już porównania, byłoby to jedynie kilka kart ze stosu sięgającego poza gwiazdozbiór Andromedy. Oznacza to, że życie na Ziemi, a konkretnie nasz rodzaj istnienia, zależy nie od **jednego** niewyobrażalnie wąskiego pasma w widmie elektromagnetycznym, lecz od **dwóch** – widzialnego, dostarczającego odpowiedniej energii do aktywowania reakcji fotochemicznych, w tym fotosyntezy, a także bliskiej podczerwieni, dostarczającej odpowiedniej energii cieplnej, zapobiegającej zamarznięciu wody na Ziemi i pobudzającej atomy i cząsteczki do delikatnego kontaktu ze sobą dla potrzeb kontrolowanych reakcji chemicznych. Te dwa ważne pasma sąsiadujące ze sobą w widmie elektromagnetycznym, nawet razem wzięte, stanowią niewyobrażalnie mały ułamek widma elektromagnetycznego. Możemy je zobrazować jako cieniuteńką linię przecinającą olbrzymie pasmo fal elektromagnetycznych (zobacz: ilustracja 2.6.).

Cell Membrane of Escherichia Coli, „ASM Journals” 2014, August 15, Vol. 80, No. 16 [DOI: 10.1128/AEM.00789-14]; O.V. Furtado-Filho, Ultra-High-Frequency Electromagnetic Radiation and Reactive Species in Mammals, w: *Microwave Effects on DNA and Proteins*, ed. Ch.D. Geddes, Springer International Publishing, Cham, Switzerland 2017, s. 249–274; R.N. Kostoff, C.G.Y. Lau, Modified Health Effects of Non-ionizing Electromagnetic Radiation Combined with Other Agents Reported in the Biomedical Literature, w: *Microwave Effects on DNA and Proteins*, s. 97–158; J. Behari, T. Jindal, Microwave Effects on DNA, w: *Microwave Effects on DNA and Proteins*, s. 67–98.

Podsumowując, należy powiedzieć, że aby ogrzać Ziemię, zastępując promieniowanie podczerwone promieniowaniem mikrofalowym, należałoby uzyskać strumień promieniowania wystarczający co najmniej do podniesienia temperatury wody i tkanek ciała (w 70 procentach składających się z wody), większy od sztucznie wytworzonego przez takie urządzenia jak telefony komórkowe (emitujące około $0,3 \text{ mW/cm}^2$), które nie powodują ogrzania, ale wydają się mieć szkodliwe skutki. Aby uzyskać taki sam strumień energii jak przy obecnym poziomie podczerwieni i ogrzać Ziemię w takim samym stopniu, trzeba by poddać planetę ciągłemu działaniu strumienia promieniowania mikrofalowego wystarczającego do podgrzania wody o kilka stopni Celsjusza.



Ilustracja 2.6. Pasma widzialne i sąsiadująca z nim bliska podczerwień (źródło: B. Gage i M. Denton).

Życiodajny cud

W tym punkcie naszych rozważań o przystosowaniu światła słonecznego do życia na Ziemi i fotosyntezy wkraczamy w obszar czegoś, co można by nazwać strefą cudu.

Zawężenie dwóch użytecznych rodzajów promieniowania – światła i ciepła – do dwóch niewyobrażalnie małych zakresów spektrum już samo w sobie jest niezwykle. Jeszcze bardziej niebywale jest jednak to, że (zobacz: ilustracja 2.2.) niemal całe promieniowanie elektromagnetyczne emitowane z powierzchni Słońca jest skupione w tych samych niewyobrażalnie wąskich pasmach promieniowania, rozciągających się od bliskiego ultrafioletu przez pasmo widzialne do bliskiej podczerwieni⁴². Fakt, że Słońce emituje promieniowanie jedynie w przydatnym

⁴² J.F.B. Mitchell, *The 'Greenhouse' Effect and Climate Change*, K.L. Coulson, *Solar and Terrestrial Radiation*, Academic Press, New York 1975; por. rozdz. 3, ilustracja 3.1.

dla życia nieskończenie małym zakresie elektromagnetycznym, jest naprawdę niezwykłym zbiegiem okoliczności!

A ponieważ niemal cały wkład energetyczny pochodzący ze Słońca lokuje się w paśmie widzialnym i bliskiej podczerwieni – w obszarze Żółtowołosej – to znaczy, że Słońce emituje bardzo mało szkodliwego promieniowania jonizującego w dalekim paśmie ultrafioletowym, rentgenowskim i gamma oraz bardzo mało promieniowania w pasmach dalekiej podczerwieni i mikrofalowym. Wydajność promieniowania Słońca jest **dokładnie taka, jaka jest potrzebna do istnienia życia na Ziemi: wszystko w odpowiednim, użytecznym zakresie widma elektromagnetycznego – światła i ciepła – i dosłownie nic w szkodliwych zakresach po obu stronach bliskiej podczerwieni i bliskiego ultrafioletu.**

Zobrazowana na ilustracji 2.2. wydajność promieniowania Słońca w zakresie wizualnym i podczerwieni nie oddaje zbyt dobrze tego, jak niewielki ułamek widma elektromagnetycznego reprezentuje promieniowanie emitowane przez Słońce.

Oczywiście dotyczy to nie tylko Słońca. Jak dowiedzieliśmy się wcześniej, większość gwiazd we Wszechświecie emituje światło w tym samym niewielkim zakresie. Ponieważ gwiazdy emitują tak dużą część swojego promieniowania w postaci światła, astronomia optyczna pozostaje najważniejszą dziedziną całej astronomii, bo nocne niebo jest roziskrzone (zobacz: ilustracja 2.7.). Słońce i większość gwiazd emitują potrzebne do fotosyntezy fotony w niewyobrażalnie małym zakresie widma elektromagnetycznego. Oznacza to, że znakomita większość planet krążących wokół słońc w obszarze zdolnym do zamieszkania będzie, podobnie jak Ziemia, skąpana w odpowiednim „świecie Żółtowołosej”.

Kosmos, jeśli można tak powiedzieć, jest zalany życiodajnym światłem! W ten sposób przyroda sygnalizuje **swoją** wyjątkową przydatność dla organizmów „światłożernych”, takich jak my.



Ilustracja 2.7. Droga mleczna na nocnym niebie nad pustynią Black Rock Desert w stanie Nevada (Steve Jurvetson, Flickr, licencja CC BY 2.0, Wikimedia Commons).

Warto również zauważyć, że długi okres życia gwiazd i ich zdolność do ciągłej i niezawodnej, trwającej miliardy lat emisji promieniowania – zarówno światła, jak i podczerwieni, co jest ważnym elementem przystosowania do życia na planetach takich jak Ziemia – są w istotnym stopniu zależne od mechanizmu fuzji jądrowej, który utrzymuje je przy życiu, dostarczając obfitych ilości energii. Mechanizm ten – fuzja jądrowa – zależy od istnienia jąder o odpowiednim poziomie energii, pozwalających na zajście zasadniczych etapów w syntezie pierwiastków