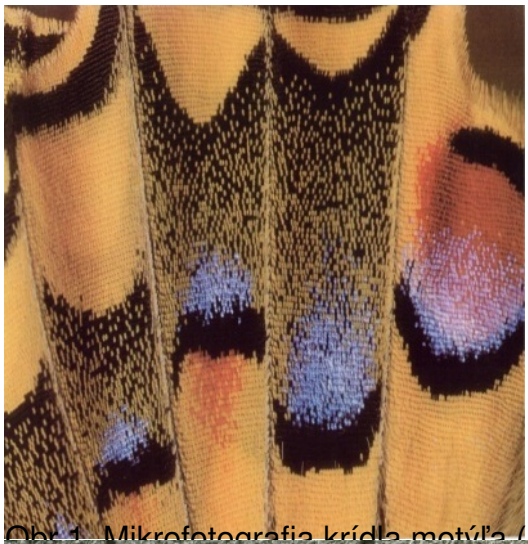
Autor: Drahoslav Vajda

Keď sa pozeráme na motýle, či v prírode alebo v múzeu, sme uchvátení nádherou ich krídiel čo do pestrosti farieb a vzorov. O čom svedčia krídla motýľov a ich nádherná farebnosť? – to je otázka, ktorej sa budeme v tomto článku venovať.

Úvod

Krídla motýľov boli analyzované z hľadiska pigmentácie (pigmentových farieb; vysvetlenie v ďalšom texte), ale u niektorých žiadne pigmentové farby neboli zistené (napríklad u severoamerického motýľa Morpho rhetenor; linky 1.-3. – linky na príslušné web stránky sa nachádzajú na konci textu článku)! V čom je teda tajomstvo tejto úžasnej farebnosti? Toto tajomstvo sa odhaľuje pri asi 20 000 násobnom zväčšení. Štruktúra povrchu krídel je celkom zvláštna. Vykazuje pravidelnú stupňovitú štruktúru (stavbu) – štruktúru precíznych platničiek (doštičiek) rozmerov 0,00022 mm = 0,22.10-6 m = 0,22 µm (mikrometrov) = 220.10-9 m = 220 nm (nanometrov). Štruktúra povrchu krídiel motýľov (Obr. 1) je podobná obrazu a štruktúre škridlovej strechy (Obr. 2)



Obr. 1. Mikrofotografia krídla motýľa (archív Prof. Andy McIntosha).

Obr. 2. Fotografia povrchu strechy domu (archív autora).

Čo je účelom tejto úžasnej štruktúry?

V dôsledku tejto jemnej pravidelnej štruktúry dochádza k prejavu a využitiu fyzikálneho javu, ktorý poznáme pod označením interferencia vlnenia. Je to práve jav interferencie svetla, ktorý sa na povrchoch krídiel motýľov prejavuje vďaka štruktúre ich povrchu. Je to práve jav interferencie svetla v dôsledku ktorého povrch krídel motýľov vidíme v nádherných farbách a v tvare úžasných farebných obrazcov (vysvetlenie v ďalšom texte).

Slnečné svetlo je svetlo zložené z rôznych vlnových dĺžok (rôznych farieb) – od asi 350 nm (fialové svetlo) až do asi 700 nm (červené svetlo). Ľudské oko vníma (vidí) iba tieto svetelné vlny (vlnové dĺžky). Každá vlnová dĺžka z tohto intervalu vlnových dĺžok (vĺn) po dopade na

sietnicu ľudského oka vyvolá v oku farebný vnem – príslušnú vlnu vnímame ako farbu. Keď sú vo svetelnom zväzku prítomné všetky vlnové dĺžky (farby), tak ľudské oko tento zväzok vníma ako biele svetlo. Slnečné svetlo je teda zložené z rôznych farieb, ale z hľadiska videnia (farebného videnia) mu hovoríme biele svetlo.

V ďalšom texte sa budeme zaoberať štruktúrou povrchu krídel motýľov a otázkou príčiny ich pestrej farebnosti.

Fotonické štruktúry

Fotonické štruktúry - vysvetlenie pojmu

V druhej polovici 20. storočia človek vstúpil vďaka takým zariadeniam, akým je elektrónový mikroskop, do submikrometrového priestoru (< 1 µm = 10-6 m). Je to priestor, kde sa rozmery merajú v stovkách až jednotkách nanometrov (1 nm = 10-9 m = 0,000 000 001 m). Tomu odpovedajú aj súčasné technológie, o ktorých dnes už bežne počujeme a hovoríme im nanotechnológie. Dnes bežne vieme vytvárať štruktúry, ktorých základným rozmerom je nanometer. *Submikrometrové, alebo nanometrové štruktúry určené spracovávať svetlo dostali prívlastok „fotonické“.*

Fotonické štruktúry nachádzame buď v biosfére (na povrchoch krídel motýľov, ale aj u iných živočíchov), v nerastných útvaroch - mineráloch (drahý opál), alebo sú umele vytvárané v

laboratóriu (napríklad aj v laboratóriu fyziky Žilinskej univerzity v Žiline).

Bežným príkladom najjednoduchšej jednorozmernej fotonickej štruktúry je tenká olejová škvrna na vode alebo mydlová bublina. Tieto štruktúry sa vyznačujú pestrou farebnosťou, ktorá závisí od uhla, pod ktorým sa na danú štruktúru pozeráme. Ako sme už povedali, biele slnečné svetlo sa skladá zo spektra farieb od fialovej až po červenú, pričom pri jeho dopade na tenkú vrstvu a následnom odraze sa zosilňujú iba určité farby v závislosti od hrúbky vrstvy a od uhla dopadu svetelných lúčov (resp. od uhla pozorovania). To je dôvod, prečo vidíme mydlovú bublinu alebo olejovú škvrnu farebne.

Aj keď sa s fotonickými štruktúrami v prírode stretávame pomerne často, dlho boli ľuďmi nepoznané. Dôvod bol práve ten, že rozmery objektov, z ktorých sa fotonické štruktúry skladajú, sú rádovo nanometre. To sú rozmery, ktoré klasický optický mikroskop už nedokáže rozlíšiť. Rozlíšiť objekty s rozmermi rádu nanometer umožnil až elektrónový mikroskop. Počiatky rozvoja elektrónovej mikroskópie spadajú zhruba do polovice 20. storočia. Až elektrónový mikroskop sprístupnil mikrosvet tvorený z objektov, ktorých rozmery sú zrovnateľné s vlnovou dĺžkou viditeľného svetla.

Pigmentové a štrukturálne zafarbenie (farby)

Biológovia pri štúdiu zafarbenia živočíchov už dávnejšie pozorovali, že existujú dva druhy zafarbenia. Prvé zafarbenie dostalo pomenovanie chemické alebo pigmentové. Tieto chemické, alebo pigmentové farby sú nestále, blednú. Pigmenty sú chemické látky rôzneho

zloženia. Tieto látky sú schopné odrážať svetlo o určitých vlnových dĺžkach (farbách). Podľa druhu odrážaného svetla rozlišujeme pigmenty rôznej farby, napríklad listy rastlín vidíme zelené, lebo obsahujú pigment chlorofyl (odráža zelenú farbu), mrkva je oranžová, lebo obsahuje karotínové pigmenty a ľudia majú rôzne farby pleti zapríčinené prítomnosťou rôzneho množstva pigmentu nazvaného melanín. Pigmenty ako chemické látky sa môžu časom rozkladať, preto sa farby spôsobené pigmentami časom menia, obyčajne blednú (ľudovo: vyšedivejú).

Druhé zafarbenie dostalo pomenovanie fyzikálne alebo štrukturálne. Toto je spôsobené rôznymi optickými javmi ako je interferencia, difrakcia, rozptyl svetla na submikrometrových (nanometrových) štruktúrach v živých organizmoch. Vyznačuje sa žiarivými farbami s tzv. kovovým leskom a môžeme sa s ním stretnúť u živočíchov rôzneho druhu žijúcimi vo vode, na súši a vo vzduchu. Jeho veľmi význačnou charakteristikou je to, že toto zafarbenie je stále a zmeniť sa môže len zmenou nanometrovej štruktúry (napríklad štruktúry povrchu krídiel), presnejšie: jej rozmermi a tvarom.

Interferencia vlnenia - obecne

Aby sme porozumeli štrukturálnym farbám, ktoré sú spôsobené rôznymi fyzikálnymi optickými javmi na fotonických štruktúrach, stručne a jednoducho si vysvetlíme aspoň jeden z nich, a to interferenciu vlnenia. Interferenciou vlnenia označujeme jav, pri ktorom dochádza k zosilneniu alebo zoslabeniu akéhokoľvek druhu vlnenia.

Keď obecne hovoríme o vlnení, rozumieme tým skutočnosť, že príslušné prostredie sa nachádza v kmitavom stave, a toto kmitanie sa zo zdroja vlnenia šíri do celého prostredia. Vlnenie môže byť rôzneho druhu: mechanické, svetelné a iné. Najjednoduchšie si ho predstavme ako vlnenie povrchu vodnej hladiny. To poznáme, myslím si, všetci. Keď na hladinu vody hodíme kameň, z miesta dopadu kameňa sa šíria po hladine vlny v tvare kruhov. Častice hladiny vody vykonávajú kmitavý pohyb hore-dolu, kmitajú.

Svetlo zo zdroja (Slnko alebo umelý zdroj/lampa) dopadá na povrch krídiel motýľov. Od povrchu sa odráža a dopadá na sietnicu oka. Povrch krídiel nie je rovná plocha, ale tým, že je tvorený malými platničkami (podobne ako škridlová strecha domu; pozri obrázky: Obr. 1, Obr.2 a Obr. 4) svetelné lúče cestou zo zdroja svetla až po sietnicu oka prejdú rôznu dráhu. Tým, že svetelné lúče prešli rôznu dráhu, po dopade na sietnicu oka sa zosilňujú alebo zoslabujú, alebo sa môžu aj úplne vyrušiť. Oko už niektoré farby nevníma (neregistruje), lebo tieto sa navzájom zoslabili/vyrušili. V dôsledku zosilnenia alebo zoslabenia (až úplného zoslabenia/vyrušenia) svetelných lúčov na sietnici oka vidíme (vnímame) povrch krídiel ako farebné obrazce (teraz máme na mysli len štrukturálne farby, nie farby pigmentové). Toto zosilnenie alebo zoslabenie svetelných lúčov sa nazýva interferencia svetla.

Poznámka: V ďalšej časti článku podáme jednoduché matematicko-fyzikálne vysvetlenie javu interferencie obecne a jav interferencie svetla na stupňovitej štruktúre, akou sa vyznačuje povrch krídiel motýľov, špecificky. Menej náročný čitateľ môže túto časť článku vynechať a prejsť až na odsek „Fotonické štruktúry v prírode“, alebo až na odsek „Záver“.

Interferencia – matematicko-fyzikálne vysvetlenie

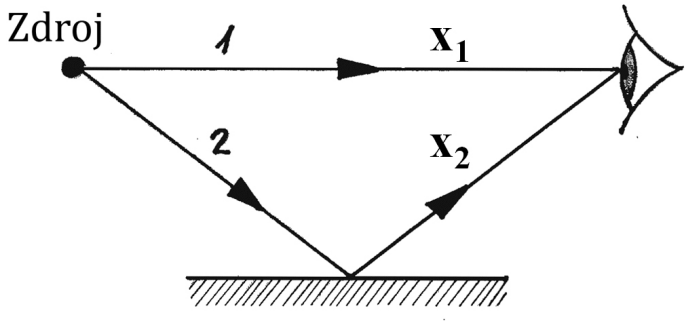
Matematicky okamžitú výchylku y kmitajúcich častíc popisujeme rovnicou:

$$y = y_0 \sin [\omega t-(2\pi/\lambda)x],$$

kde y_0 je maximálna výchylka častíc, ω je frekvencia vlnenia, λ je vlnová dĺžka vlny a x je vzdialenosť miesta, do ktorého vlnenie dorazilo od zdroja. Výraz v hranatej zátvorke $[\omega t-(2\pi/\lambda)x]$ nazývame fáza vlnenia, v ďalšom ho označíme písmenom $\Phi(x)$ teda $\Phi(x)= \omega t-(2\pi/\lambda)x$ a vidíme, že pre danú vlnovú dĺžku λ (a frekvenciu ω) fáza $\Phi(x)$ závisí od prejdenej vzdialenosti x. To je dôležité si zapamätať. Teda:

$$y = y_0 \sin \Phi(x, \lambda)$$

Nech sa prostredím šíria dve vlny (1 a 2) tej istej vlnovej dĺžky λ a nech sa v nejakom mieste stretnú, pričom každá z nich prešla do bodu stretnutia rôznu vzdialenosť (Obr. 3).



Obr. 3

Jedna x_1 a druhá x_2. V mieste stretnutia majú rôzne fázy $\Phi_1(x_1)$ a $\Phi_2(x_2)$, lebo prešli rozdielne vzdialenosti. Rozdiel prejdených dráh označme $\Delta = x_2 - x_1$. V bode stretnutia oboch vĺn (na obrázku: na sietnici oka) výchylka prvého vlnenia nech je $y_1 = y_0 \sin \Phi(x_1, \lambda)$ a výchylka druhého vlnenia nech je $y_2 = y_0$

sin Φ(x
2
, λ).

Výslednú výchylku vlnenia v bode stretnutia označme y a bude daná súčtom výchyliek od oboch vĺn, teda:

$y = y_1 + y_2$,

teda: $y = y_0 \sin\Phi_1(x_1, \lambda) + y_0 \sin\Phi_2(x_2, \lambda) = y_0 \sin [\Phi_1(x_1, \lambda) + \Phi_2(x_2, \lambda)]$.

Výsledná výchylka v bode stretnutia, ako vidíme, závisí od fáz $\Phi_1(x_1)$ a $\Phi_2(x_2)$ a fáza, ako sme už povedali, závisí od prejdenej vzdialenosti. Vlny v mieste stretnutia sa môžu zosilniť alebo zoslabiť a to podľa toho, či do miesta stretnutia prídu vo fáze alebo v protifáze. Vlny sú vo fáze vtedy, keď výchylky od nich smerujú na tú istú stranu. Vlny sú v protifáze, keď výchylky od nich smerujú na opačné strany.

Maximálne zosilnenie ($y = y_0 + y_0$; čiže $y = 2y_0$) nastáva vtedy, keď sa vlny stretnú vo fáze, a to nastáva vtedy, keď rozdiel prejdených dráh Δ je rovný párnemu násobku pol vlnovej dĺžky:

Δ = párny násobok $\lambda/2$.

Maximálne zoslabenie ($y = y_0 - y_0$; čiže $y = 0$) nastáva vtedy, keď sa vlny stretnú v protifáze a to nastáva vtedy, keď dráhový rozdiel Δ je rovný nepárnemu násobku pol vlnovej dĺžky, teda:

Δ = nepárny násobok $\lambda/2$.

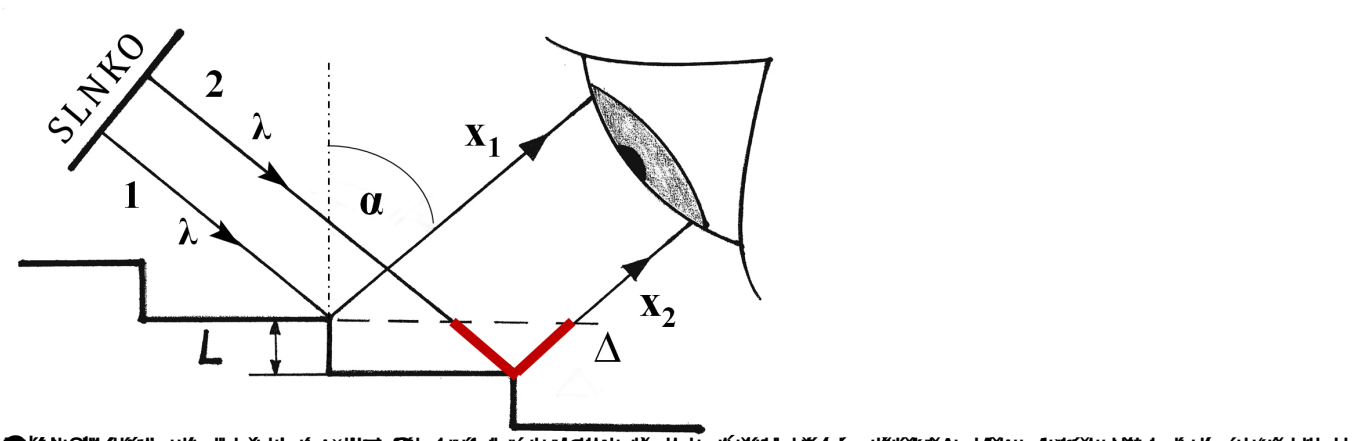
To bolo obecne o interferencii vlnenia a teraz prejdime konkrétne k interferencii svetla na stupňovitej štruktúre.

Interferenciou svetla, ako sme uviedli v predchádzajúcom texte, označujeme jav, pri ktorom

dochádza k zosilneniu alebo zoslabeniu svetla. Nech zväzok svetla tej istej vlnovej dĺžky (farby) λ dopadá priamo na stupňovitý povrch, ako je to v prípade krídel motýľov, pod λ si pre konkrétnosť môžeme predstavovať nejakú konkrétnu farbu, napríklad modrú.

Zo zväzku si vyberieme dva lúče (1 a 2). Pre názornosť a jednoduchosť sme si ich vybrali tak, ako je to nakreslené na Obr. 4. Oba lúče dopadnú na stupňovitý povrch v rôznych miestach, odrazia sa a dopadnú na sietnicu oka.

Nech vlny na počiatku (v bode $x_1 = x_2 = 0$) mali tú istú fázu $\Phi_1(0)= \Phi_2(0) = 0$, ale tým, že prešli rôznu dráhu, po dopade na sietnicu oka budú mať rozdielnu fázu a to v závislosti, ako sme si už ukázali a povedali, od rozdielu prejdených dráh Δ. Tieto dve vlny sa po dopade na sietnicu oka zosilnia alebo zoslabia. Zosilnia sa vtedy, keď na sietnicu oka dopadnú vo fáze a zoslabia sa vtedy, keď na sietnicu oka dopadnú v protifáze - môže nastať aj to, že sa v tomto prípade až úplne vyrušia a nevidíme nič, vnímame tmu.



Fotonické štruktúry v prírode

Bežným príkladom najjednoduchšej jednorozmernej fotonickej štruktúry, ako sme spomenuli v predchádzajúcom texte, je tenká olejová škvrna na vode alebo mydlová bublina.

V živočíšnej ríši pozoruhodné štrukturálne farby vytvárajú niektoré druhy motýľov. Krídla motýľov sú pokryté množstvom plochých šupín rôzneho tvaru a zoskupenia, ktoré vytvárajú fotonickú štruktúru. Na nich sa uplatňujú spomínané fyzikálne efekty (interferncia, difrakcia, rozptyl). Na týchto štruktúrach dochádza k odrazu a následne k interferencii svetla. Medzi najpreskúmanejšie fotonické štruktúry patria štruktúry povrchu krídel motýľov čeľade Morpho a Urania (pozri Obr. Na 3. strane obálky a navštív web stránky, ktorých linky sú uvedené za textom článku). U motýľa Morpho rhetenor odrazené svetlo interferuje a vytvára žiarivé farby v odtieňoch modrej. U motýľov z čeľade Urania dochádza v dôsledku selektívnemu zosilneniu zelenomodrých, prípadne cyklámenovooranžových farieb.

Okrem motýľov sa s fotonickými štruktúrami stretávame aj u iných živočíchov. V roku 2000 bola objavená fotonická štruktúra v ostňoch morského živočícha nazývaného „morská myš“

(Aphrodita – linka číslo 4). Osteň tohto živočícha je vyplnený trubicami o priemere 200 nanometrov, ktoré sú vyplnené morskou vodou a ktoré sa tiahnu rovnobežne s osou ostňa. Vzdialenosť medzi stredmi trubíc je 500 nanometrov.

Známym príkladom trojrozmernej štruktúry z neživej prírody je drahý opál. Tento minerál hrá rôznymi farbami. Jeho farebnosť je dôsledkom interferencie a difrakcie svetla na jeho štruktúre. Vďaka snímkam z elektrónového mikroskopu poznáme jeho štruktúru. Táto submimkrometrová štruktúra je zložená z guličiek oxidu kremičitého, ktoré sú pravidelne usporiadané v priestore. Priestor medzi guličkami môže vyplňovať voda alebo vzduch. Veľkosť guličiek závisí od druhu opálu a pohybuje sa od 150 do 300 nanometrov.

Fotonické štruktúry zložené z viacerých vrstiev

Zložitejšia jednorozmerná fotonická štruktúra vzniká z viacerých planparalelných tenkých vrstiev s rozdielnym indexom lomu (z tenkých vrstiev z rôzneho materiálu). Práve takéto viacvrstvové fotonické štruktúry nachádzame u živých organizmov Viacvrstvové štruktúry bývajú rôznym spôsobom usporiadané, uspôsobené, čo umožňuje uplatnenie rôznych optických efektov. Takáto viacvrstvová štruktúra dokáže vytvárať zlaté alebo strieborné zafarbenie. Živé organizmy vytvárajú aj viacrozmerné štruktúry – dvoj- a trojrozmerné (linka číslo 6).

Záver

Objavenie fotonických štruktúr, predovšetkým u živých organizmov, je dôkazom toho, že príroda je pre nás dielom, je knihou, v ktorej musíme vedieť čítať (potrebujeme vedieť naučiť sa v nej čítať). Musíme vnímať a vidieť účel a zámer, ktorý môžeme v prírode objaviť, vnímať a porozumieť, že je dielom múdreho Stvoriteľa. Aj fotonické štruktúry a štrukturálne farby sú svedectvom toho, že aj pri nich ide o zámer, cieľ, plán.

Aby existovala nádherná farebnosť krídel motýľov (ale aj iných živočíchov), bolo potrebné

poznať:

Vlastnosti ľudského oka a predovšetkým to, aké vlnové dĺžky slnečného svetla je ľudské oko schopné vnímať. A tiež to, že v ľudskom oku pri stretnutí sa rôznych vĺn z viditeľného spektra dochádza k zmiešavaniu farieb, teda k farebnému videniu. Ľudské oko má schopnosť farebného videnia.

Ďalej bolo potrebné poznať vlastnosti svetla a poznanie fyzikálnych optických javov, ako interferencia, difrakcia, atď.

Na základe týchto predchádzajúcich znalostí (vedomostí, poznania) bolo potrebné navrhnúť a vytvoriť odpovedajúcu štruktúru podľa zámeru dosiahnutia výsledného efektu (farebnosti živočícha) – teda pre každého živočícha zvlášť, a to podľa zámeru dosiahnuť výsledný dojem (efekt). Pritom nám nesmie uniknúť fakt, že človek podľa biblickej správy bol stvorený až po stvorení rastlinnej a živočíšnej ríše. Rovnako je tomu tak aj v evolučnej predstave – človek, podľa evolučnej predstavy, bol až po rastlinách a živočíchoch. Inými slovami: Motýle a povrch ich krídiel už boli predtým, ako sa objavil človek. Bolo preto nutné vopred vedieť, aká má byť štruktúra povrchu krídiel, aby ju ľudské oko bolo schopné vnímať (pestrosť farieb a vzorov). Náhoda nijako nemohla vopred „vedieť“, aké vlastnosti a schopnosti bude mať ľudské oko, aby mohla dopredu (pred existenciou človeka – ľudského oka) vytvoriť fotonickú štruktúru na krídlach motýľov. Vo fotonických štruktúrach nachádzame zámer, účelovosť.

Následne do DNA príslušného živočícha vložiť (zapísať) informáciu o tvare, vlastnostiach a

rozmeroch príslušnej fotonickej štruktúry, a síce pre každého živočícha zvlášť. Fotonická štruktúra jednotlivých druhov živočíchov je jedinečná, zvláštna, neopakovateľná.

Treba teda podčiarknuť, že v prípade fotonických štruktúr a štrukturálnych farieb ide o poznanie jednotlivých faktov a efektov a ich zosúladenie (koreláciu). Všetky tieto spomínané fakty sa tu stretávajú do nádhernej farebnosti, ktorú ľudské oko môže vnímať, kochať sa a radovať sa. Ani táto schopnosť vnímať krásu a mať z nej radosť a potešenie nie je v prípade prírodných fotonických štruktúr zanedbateľným faktom.

Vnímame a rozumieme, že náhoda to nemohla zabezpečiť (vytvoriť), pretože na to, aby vznikli tieto fotonické nanometrové štruktúry, je potrebná znalosť všetkých spomínaných faktov a ich korelácia odrazu a ďalej, tento návrh (vzor, dizajn) musí byť ako cielená špecifická informácia vložená do DNA. Vieme, že informácia nevzniká sama od seba v hmote (teda náhodou). K vzniku informácie je potrebné to, čo nazývame inteligencia. Kde nachádzame informáciu, tam rozpoznávame inteligenciu, a kde je inteligencia, tam je rozumná bytosť.

Preto aj fotonické štruktúry a štrukturálne farby, ktoré svojimi očami vnímame, svedčia o tejto Bytosti, o múdrom Dizajnérovi, o Stvoriteľovi, o Bohu Abraháma, Izáka a Jákoba, o Bohu Biblie, ktorému sláva a česť na veky vekov.

Lebo on povedal, a stalo sa; on rozkázal, a postavilo sa

Žalm 33:9

Ach, Pane, Hospodine, hľa, ty si učinil nebesia i zem

svojou veľkou mocou a svojím vystretým ramenom,

tebe nie je nemožnou niktorá vec

Jeremiáš 32:17

Linky:

1. http://en.wikipedia.org/wiki/File: Blue_morpho_butterfly.jpg

2. http://en.wikipedia.org/wiki/Morpho

3. http://www.butterflyutopia.com/morpho_rhetenor.html

4. http://www.physics.usyd.edu.au/theory/seamouse/aphrodita.html

5. http://metafysica.nl/crystals_rev.html.

6. http://newton.ex.ac.uk/research/emag/butterflies/classification_page.htm

Vytvorené: 28. mája 2010.

Upravené: 22.2.2013.