



Ameriški Nike je dizajn za svoj novi par športnih copat Air Jordan 3 črpal prav iz sveta narave. Kopirali so način obarvanja površine telesa, ki ga najdemo pri kolibriju in številnih morskih živalih.

Barvna revolucija

**Razvili najsvetlejšje barvilo iz prozornih materialov po vzoru narave –
Lesketajoča se obarvanost metuljevih kril ni le delo osnovnih barvnih pigmentov,
temveč tudi izjemno drobnih strukturnih mrež na površju kril –
T. i. strukturno barvo so prvič opisali v 17. stoletju**

Tekst: **Brane Maselj**

Nekdo je rekel, da so barve kot nasmehi narave. Seveda teh ne bi bilo, če jih ne bi videli z očmi. V evoluciji narave je to čutilo povzročilo pravo revolucijo, po kateri se je živalski svet odel v tisoče raznobarnih odtenkov. Največji nasmeški razkošnih, lesketajočih se barv pa niso opazni zaradi pigmentov ali barvil, ampak zaradi površine s kristalnimi nanostrukturami, ki razpršijo svetlobo v tako imenovane strukturne barve. To izjemno znanje narave zdaj prehaja v človeško tehnologijo.

Ameriški Nike je dizajn za svoj novi par športnih copat Air Jordan 3 črpal prav iz sveta narave. V sodelovanju z britanskim podjetjem Lifescaped je izboljšal omenjeno obualo s posebno novo tehniko pigmentiranja, imenovano Pure Structural Colour. »Gre za majhne strukture na mikroskopski ravni, ki medsebojno delujejo s svetlobnimi žarki, da proizvedejo neverjetno svetlo barvo,« je **Andrew Parker**, ustanovitelj Lifescapa, povedal za *Wired* v članku o novih čevljih Air Jordan 3. Njegovo podjetje je kopiralo način obarvanja površine telesa, ki ga najdemo pri kolibriju in številnih morskih živalih –, da bi izdelalo material, ki ga je Nike uporabil v svojem novem premazu RTNA na copatu Air Jordan 3.

Še posebej veliko pozornosti so namenili vprašanju, zakaj so živali, kot so denimo metulji, videti tako živahne v svojih barvah. Njihova lesketajoča se obarvanost ni le delo osnovnih barvnih pigmentov,

temveč tudi izjemno drobnih strukturnih mrež na površju kril, ki vplivajo na to, kako se svetloba odbija od površine. Barva, ki jo pri takšnih bitjih zaznavajo oči, je v bistvu le učinek drobnih nanomaterialov, naplstenih tako, da razpršijo svetlobo v določeno valovno dolžino, so dognali pri Lifescapu. In ta barva je precej drugačne kakovosti kot tista, ki jo pridobimo iz naravnih pigmentov. Predvsem je veliko bolj sijoča in bleščeča in to je tudi razlog, da se je industrija začela ozirati v svet narave, in to vsaj pol milijarde let v preteklost, v čas, ko so živa bitja razvila oči in postala vidna drugim in se zaradi tega začela »oblačiti« v razkošne bodisi zapeljive ali bodisi varljivo grozeče ali prikrivajoče varovalne barve.

Zakaj rjavo perje zažari kovinsko sijoče

Tako imenovano strukturno barvo so prvič opisali v 17. stoletju, ko so opazovali prelivanje modrih barv v pavjem perju, a šele po izumu elektronskega mikroskopa v tridesetih letih prejšnjega stoletja so znanstveniki doumeli, kako pavi in številne druge živali obarvajo svoja »oblačila«. Ugotovili so, da je strukturna barva popolnoma drugačna od pigmentne. Ta ustvarja barvo tako, da njene molekule posrkajo vase večino svetlobe, razen tiste z določenimi valovnimi dolžinami, ki se razprši in jo oko zaznava kot določeno vidno barvo. Nasprotno pa zapletene nanometrijske strukture tako imenovane strukturne barve – nekatere so le malo večje od posameznega atoma – ne

absorbirajo svetlobe, temveč jo odbijajo v določene valovne dolžine. Rezultati so kot rečeno izjemno žive, zelo pogosto lesketajoče se barve. »V naravi je strukturnih barv vsaj toliko kot pigmentov, če ne še več,« pravi **Mathias Kolle**, strojni inženir na Massachusettskem inštitutu za tehnologijo (MIT). »Mavrico sijočih barv v pavjem perju povzročajo optične strukture, imenovane fotonski kristali. V resnici je to perje pravzaprav pigmentirano vsakdanje rjavo, a svoje osupljive odtenke dolguje prav nanostrukтури fotonskih kristalov. Tudi sijoče, kovinske barve številnih žuželk so iz več plasti prozornih materialov, organiziranih v zapletene odsevne vzorce. Celo modri in zeleni odtenki človeške šarenice so strukturni,« pravi Kolle in se sprašuje, koliko lahko človek poustvari te oblike, tako da proizvede materialne strukture, ki jih je narava ustvarila v milijonih letih evolucije. Podobno so se vprašali tudi pri ameriškem proizvajalcu športne opreme Nike in njihov odgovor je prišel pred poldrugim letom z omenjenim copatom, na katerega so bili tako ponosni, da so ga razstavili v Londonu na razstavi botanične umetnosti v galeriji Shirley Sherwood. Potem ko so v sodelovanju s Parkerjevim Lifescapedom spoznali, da barviti svet žuželk ne sloni na pigmentnih barvah, ampak na mikroskopskih strukturah, ki medsebojno vplivajo na svetlobne žarke, so se odločili s temi sijočimi barvami preseči že tako ugledno podobo svojih obuval.

Tisočinka lasu

Športni copat Air Jordan 3 so premazali z novim premazom RTNA, in sicer tako, da se ni vpil v material, nato so ga izrezali in ponovno prišli na vzorec. Celotna tehnologija izdelave bo še nekaj časa skrivnost, rezultati pa so bili tako dobri, da so čevlje razstavili skupaj z rastlinami in živalmi, ki znajo proizvesti najbolj sijoče

barve na Zemlji. Prostovoljnimi vodnikom po vrtovih je bilo ob tem naročeno, naj se čevljev ne dotikajo; tiskovni predstavnik družbe Nike je povedal, da zato, ker ne želijo, da se na njih že v tej zgodnji fazi pojavijo odtisi prstov. »Za takšne inovacije je predpisano dotikanje z belimi rokavicami, to je na enak način, kot bi ravnali z nekaterimi slovitimi Nikovimi artefakti iz preteklosti,« je dodal. Sam premazni sloj je tehnično izjemno zahtevna zadeva; debel, bolje rečeno tanek, je komaj za tisočinko lasu, a ga je tehnično že mogoče enakomerno nanesti na katerikoli material. Kot del prizadevanja za trajnost razvijalci zdaj že raziskujejo tudi načine, kako bi lahko premaz RTNA uporabili tudi za osvežitev že uporabljenih materialov v njihovih čevljih. Osnovno barvo obuvala je, kot kaže, mogoče uporabiti tudi kot komponento pri ustvarjanju novih strukturnih odtenkov.

Andrew Parker je o premazu Nike RTNA povedal še naslednje: »Nike uporablja Lifescapedovo tehniko Pure Structural Color. Na podlagi naravnega procesa, ki ga lahko najdemo povsod, tako pri travah kot pri morskih črvih, smo razvili neverjetno tanek, prozoren premaz silicijevega dioksida, sestavljen iz mikroskopskih struktur.« Parker, ki preučuje in poskuša poustvariti ta pojav že od leta 1990, te strukture primerja z drobnimi prizmi ali hologrami, ki jih je mogoče oblikovati tako, da selektivno odbijajo samo določene valovne dolžine svetlobe in tako brez pigmentov ali barvil ustvarijo posebne, sijoče barve.

Andrew Parker, sicer zoolog in umetnik z univerze v Oxfordu, že več kot dve desetletji razvija metodo za posnemanje teh nanostruktur v laboratoriju, da bi umetno proizvedli najsijajnejše naravne barve. »Najsvetlejšje barve nastanejo v bistvu iz popolnoma prozornih materialov,« pojasnjuje. Parkerju je z veliko odločnosti in vztrajnosti



Tako imenovano strukturno barvo so prvič opisali v 17. stoletju, ko so opazovali prelivanje modrih barv v pavjem perju, a šele po izumu elektronskega mikroskopa v tridesetih letih prejšnjega stoletja so znanstveniki doumeli, kako pavi – in številne druge živali – obarvajo svoja »oblačila«.

Če bi s strukturnimi premazi pobarvali letalo jumbo jet, bi tehtalo približno tono manj kot zdaj, ko uporabljajo »običajne« pigmentne barve.



Prevleka Nikovih copat Air Jordan 3 je sestavljena iz mikronske plasti silicijevega dioksida, nanasene z uporabo strojev za tanko plast, ki so jih posebej za ta namen priredili pri Lifescapedu. Silicijev dioksid tvori arhitekturo, ki odbija svetlobo.

uspelo ta pojav ponoviti. Pri tem ga je vodilo zavedanje, da so številni industrijski pigmenti strupeni ali pa jih pridobivajo iz zemlje. Poleg tega ustvarjanje novih izdelkov, ki temeljijo na naravnih načelih, ljudem pomaga izvedeti nekaj več o naravi, še dodaja Parker.

Draguljem podobni odtenki

Čeprav so skeptiki dvomili, da bi se lahko njegova barvna tehnika prav tako dobro kot na sončni svetlobi obnesla tudi pod umetnimi lučmi in v notranji osvetlitvi prostorov, so bili Lifescapedovi izdelki, zlasti velike stenske plošče Pure Structural Color, na omenjeni razstavi v živo in od blizu presenetljivo bleščeče. Na ogled so poleg obuvala postavili še vrsto osnovnih materialov, vključno s silikon-skotno gumo, platnom, akrilom in steklom, ki so bili delno ali v celoti obarvani s tem premazom prozornih mikrostruktur brez pigmentov. Lifescaped sam svoj izdelek oglašuje kot »najsvetlejšo barvo na svetu«, industrijski oblikovalec Marc Newson, njen veliki oboževalec, pa opisuje Pure Structural Color kot »najbolj živo barvo,

kar sem jih videl« in rezultate primerja z »draguljem podobnimi odtenki«.

»Nikoli ne bo zbledela in mogoče jo je narediti v kateremkoli odtenku,« pravi Parker. »Večinoma bi se metulji vrste morfo potegovali za najsvetlejšo barvo v naravi zaradi svojih intenzivno modrih, zelenih in vijoličnih kril. Toda tisto, kar vidite na njihovih krilih, ni pigment: to je strukturna barva, ki nastane, ker lahko popolnoma prozorne vzorčaste strukture na krilih ločijo, kanalizirajo in odbijajo določene valovne dolžine svetlobe. Ko vidimo modro barvo, značilno za morfo metulje, potem zaradi natančne zasnove in nekaj stotin nanometrov širokih mrežnih struktur vidimo le modre valovne dolžine, ki se odbijajo nazaj. Različne živalske vrste so razvile to svetlobno manipulacijo za parjenje, prikrivanje ali za komunikacijo; učinek proizvajajo z različnimi mehanizmi, z razdaljami denimo 490 nanometrov za cian ali 585 nanometrov za rumeno barvo.«

V zgodnjih devetdesetih letih je bil Parker študent umetnosti na Univerzi v Sydneyju, svoj prosti čas pa je preživel s potapljaško masko in občudoval bleščeče morsko življenje. V mraku je lahko opazoval, kako živali, obarvane s pigmenti, pobledijo, medtem ko se denimo pri jastogu zableščijo vidne mavrične dlake. Spraševal se je, kako jim to uspeva, pod vodo se je prvič tudi resno vprašal o pomenu vida v naravi.



Učinek barve, ki jo zaznavamo, ustvarjajo drobni nanomateriali, naplasteni tako, da razpršijo svetlobo v določeno valovno dolžino. In ta barva je precej drugačne kakovosti kot tista, ki jo pridobimo iz naravnih pigmentov, saj je veliko bolj sijoča in bleščeča.

»Vzemimo določeno vrsto morskega zmaja, to je riba, podobna morskemu konjičku, ki s telesom valovi kot morske alge. Celotna žival, njena oblika in podoba, je namenjena temu, da se jo vidi,« pravi Parker. »Njena morfologija in vedenje sta namenjena kamuflaži in preobleki, ustvarjanju podobe o sebi v očesnih lečah drugih živali. Začel sem se zavedati, da je tako pri vse več živalih, ki sem jih opazoval.«

Kambrijska eksplozija

Parker je začel ugotavljati, da je vid v samem središču življenja kot »najbolj dominanten čut na Zemlji.« Opustil je svoje umetniško delovanje, da bi se osredotočil na znanost o vidu. Po doktoratu iz zoologije je delal v muzejih, med drugim v Smithsonianovem muzeju zgodovine narave sredi 90. let prejšnjega stoletja, kjer je preučeval fosile iz tako imenovane kambrijske eksplozije – dogodka, ko so se živali prvič razvile iz enoceličnih organizmov v raznolike in kompleksne življenjske oblike. V paleobioloških zbirkah muzeja je našel na fosil vivaksije (*Wiwaxia corrugata*), nenavadnega bodičastega prednika mehkužca, ki se je pred 520 milijoni let z eno samo nogo vlekel po oceanskem dnu.

Z elektronskim mikroskopom je Parker lahko videl, da je vivaksijino telo prepleteno z elastično rešetkasto strukturo, sestavljeno iz niza vzporednih mikro utorov, ki valovne dolžine svetlobe delijo na barvne žarke, kot je to videti na CD-ploščku. Parker je ugotovil, da se je vivaksija lesketala, ko se je plazila po motnem dnu.

A zakaj se je ta enonožec razvil tako, da je lahko odseval strukturalno barvo? »Odgovor,« meni Parker, »je enak, kot bi bil dandanes. Viva-kzijino lesketajoče se prelivanje barv je bilo verjetno opozorilo plenilcem: Ne približujte se!« To odkritje je Parkerja napotilo v iskanje prvega očesa v fosilnem svetu in našel ga je v trilobitu, ki je živel pred približno 520 milijoni let. Tako je leta 1998 Parker objavil svojo hipotezo »stikala za luč«.

Trdi, da je razvoj oči in vida sprožil v živalskem svetu pravo »kambrijsko eksplozijo« – veliki pok evolucije. Po njegovem mnenju je oko povzročilo živalsko oboroževalno tekmo, ki je spodbudila razvoj trdih delov telesa, kot so školjčne lupine in kosti. Kot rezultat te njegove hipoteze je ameriško obrambno ministrstvo sprožilo izdelovanje programske opreme, tako imenovani Kambrijski program za biomimetično napovedovanje, ki posnema dogodke v naravi.

Vendar je Parkerja najbolj očarala barva. Začel je gojiti živopisane metulje in hrošče ter jih pregledovati pod elektronskimi mikroskopi. Parker in njegova ekipa so med drugim odkrili opalno strukturo – kompleksno, kristalno arhitekturo – v avstralskem hrošču mokarju. Zdelo se je, da vsak hrošč na svojem telesu proizvaja dragulju podoban material, in pomislili so, da bi to odkritje lahko pripeljalo do novega načina sintetiziranja opalov.

Znanstveniki po vsem svetu so začeli eksperimentirati z umetnim poustvarjanjem te tehnike, vključno s Toyotinimi raziskovalnimi laboratoriji v Tokiu in Harvardskim laboratorijem fakultete za inženirstvo in uporabno fiziko. Andrew Parker je sedem let vodil skupino za biomimetiko na Univerzi v Oxfordu (kjer je zdaj gostujoči višji raziskovalec), ki je preučevala strukturalno barvo ne le pri metuljih, ampak tudi pri kovinskih hroščih, fosilih amonita in opalu. Navdihnjen z obiskom princa Charlesa leta 2006 – ki je Parkerju predlagal, naj si prizadeva spremeniti svoja odkritja v izdelke – je Parker leta 2014 ustanovil svoje podjetje Lifescaped.

Začel je izumljati nove tehnologije, posnemajoče naravne mehanizme, ki so ga tako fascinirali. V svojem biomimetičnem laboratoriju v



Umetniško delo Andrewa Parkerja *Kalejdoskop sončne svetlobe*.

Foto: Lifescaped



■ **Strukturni so celo zeleni in modri odtenki človeške šarenice.**

Oxfordu je zasnoval denimo način za 10-odstotno učinkovitejše sončne celice s posnemanjem reflektorja 45 milijonov let stare muhe, ohranjene v jantarju.

Odkril je tudi mehanizem, ki ga hrošči v namibijski puščavi uporabljajo za pridobivanje kapljic vode iz megle. Te kapljice nastanejo zaradi neravne hrbtne površine žuželk, ki je sestavljena iz izmenjujočih se hidrofobnih območij, prevlečenih z voskom, in hidrofilnih nepovoskanih območij. Zasnovu te strukture za zbiranje vodnih kapljic je mogoče poceni reproducirati v komercialnem obsegu in jo je mogoče uporabiti za lovljenje vode pri šotorih in gradbenih oblogah ali v vodnih kondenzatorjih in motorjih. Parker je to tehnologijo uporabil za odstranjevanje kondenza v klimatskih sistemih. Na podlagi teh izjemnih rezultatov je britanska Kraljeva ustanova Andrewa Parkerja izbrala za enega od osmih najpomembnejših znanstvenikov tega stoletja.

Od gumba do letala

Prevleka Nikovih copat Air Jordan 3 je kot rečeno sestavljena iz mikronske plasti silicijevega dioksida, nanesene z uporabo strojev za

tanko plast, ki so jih posebej za ta namen priredili pri Lifescapedu. Silicijev dioksid tvori arhitekturo, ki odbija svetlobo; njene natančne zasnove Lifescaped ne želi razkriti: njegovi komercialni partnerji – vključno z Nike – želijo postopek, razumljivo, ohraniti kot skrivnost. Zdaj ne poskuša več zvesto kopirati le ene rastlinske ali živalske vrste, kot je metulj morfo, kot so to delali do leta 2016 in za to potrebovali drage, nadzorovane in čiste prostore. Takrat jim je uspelo izdelati barvne materiale le v velikosti gumba, velike od dva do štiri centimetre. V primerjavi s polmetrskimi ploščami Pure Structural Color, ki jih Lifescaped razstavlja zdaj kot umetniške instalacije, so bili to res skromni začetki. Njihove ambicije pa so seveda še veliko večje.

»Ko vam uspe skopirati načelo, ki stoji za vsemi temi primeri v naravi, ne poskušate več kopirati strukture,« pravi Parker. »Načelo je mogoče reproducirati na precej cenejši način. Čeprav je strukturna barva še vedno dražja od pigmentne in je zato verjetneje, da bo pritegnila bolj v luksuz usmerjene industrije, jo že lahko uporabljamo za množično proizvodnjo. Postopek že omogoča 100-odstotno refleksijo barv pod vsemi koti; barva je videti nespremenjena, ko predmet opazujete z vseh zornih kotov. Povsod odseva v istih ali zelo podobnih valovnih dolžinah. Celo narava ni tako konsistentna; kolibrijeva mavrična peresa spreminjajo odtenke glede na perspektivo opazovanja.« Glede na doslej videne prototipe izdelkov – vključno z elegantnimi sončnimi očali in kristali v nakitu, ki jih je oblikovala Alexandra Tosto – in partnerstvo z Nike RTNA je Lifescaped očitno že pripravljen na proizvodnjo strukturnih barv. Pandemija je sicer zavrla proizvodnjo barve za uporabo v avtomobilski industriji: »Avtomobili bodo potrebovali malo več časa. Da bi naš koncept spremenili v avtomobilsko barvo, je potreben še korak ali dva, vendar smo na dobri poti.« Parker je prepričan, da se splača potruditi tudi zaradi drugih razlogov. Nekateri odtenki pigmentnih barv, zlasti rumene, so še vedno težko dosegljivi in pridobivanje surovine za njihovo izdelavo je še vedno neetično. Tu bi se Pure Structural Color lahko izkazala za bolj etično in trajnostno alternativo. So pa še druge prednosti, poudarja: »Če bi z našimi premazi pobarvali letalo jumbo jet, bi tehtalo približno tono manj kot zdaj, ko uporabljajo pigmentno barvo.« ■

Tisto, kar vidimo na krilih metuljev vrste morfo, ni pigment, temveč strukturna barva, ki nastane, ker lahko popolnoma prozorne vzorčaste strukture na krilih ločijo, kanalizirajo in odbijajo določene valovne dolžine svetlobe.

