

## K HISTORII SLOŽENOSTI BÍLÉHO SVĚTLA

Contribution à l'histoire de la découverte de la composition de lumière blanche

JIRÍ MAREK

Objev složenosti bílého světla ze spektrálních složek byl jedním z nejvýznamnějších objevů fyzikální optiky. Otevřel cestu k metodám, kterými zkoumáme fyzikální a chemický stav látek, pomáhá získávat poznatky o látkách na Zemi i ve vesmíru a umožnil tak vznik nových vědních oborů. Byl prvním krokem k tomu, abychom poznali rozsáhlou stupnici elektromagnetického záření, v níž viditelné spektrum tvoří jen zlomek; umožňuje, abychom nejrůznějším způsobem zviditelňovali ostatní druhy záření a získávali z nich rozsáhlé poznatky.

Za objevitele složenosti bílého světla ze spektrálních složek je pokládán Izák Newton. Cesta za tímto objevem byla ovšem nastoupena již dávno, v době, kdy si lidé, obdivující se duhovým barvám na obloze i na předmětech kolem sebe, položili otázku jejich vzniku. Ta však čekala na své rozřešení staletí, možná tisíciletí.

Na popisech pokusů některých přírodovědců již před Newtonem je patrné, že experimentovali s mísením barevných paprsků, a překrýváním spektrálních barev, že dokonce pozorovali vznik bílého světla ze spojení spektrálních složek, ale nedopracovali se správného závěru. Ještě před Newtonem získal o vztahu spektrálních barev k bílému světlu významné poznatky Francesco Maria Grimaldí. Hovoří dokonce o tom, že všechny spektrální barvy jsou již dříve, než se stanou vnímatelnými pro oko, obsaženy v bílém světle, a že opětné spojení spektrálních barev dává původní bílé světlo. V článku uvedeme podrobněji Grimaldíovy výsledky i výsledky některých přírodovědců, kteří se před Newtonem zabývali studiem vztahu spektrálních barev a bílého světla, a posoudíme možnosti jejich vztahu k myšlenkám Newtonovy teorie.

Na rozhraní 13. a 14. století působil v německé provincii dominikánského řádu mistr Theodorich (kolem 1250 — po 1310), který napsal několik optických spisů: „De luce et eius origine“, „De coloribus“ a „De iride et radialibus impressionibus“.<sup>1)</sup>

V posledně jmenovaném spise o duze (jsou dosud známy tři zachované rukopisy)<sup>2)</sup> podal Theodorich na svou (a dlouhou další) dobu vynikající teorii vzniku duhy. Theodorich správně popisuje chod slunečních paprsků v dešťových kapkách<sup>3)</sup> a správně požaduje ke vzniku hlavní duhy dvojnásobný lom paprsků s jedním odrazem<sup>4)</sup> a pro vznik vedlejší duhy dvojnásobný lom s dvojnásobným odrazem<sup>5)</sup> a vysvětlil u ní obrácené pořadí barev proti pořadí v hlavní duze.<sup>6)</sup>

Je to jistě pozoruhodný výkon, když uvážíme, že teprve za více jak tři sta let uvedl tutéž myšlenku ve svém vysvětlení vzniku duhy Descartes. Přitom Theodorich je v tomto směru nezávislý na výsledcích Arabů a převyšuje je. Pro Theodoricha světlo a spektrální barvy byly pojmy, jejichž vztah byl stále ještě dán jen působením vlastností, připisovaných jistým prostředím, na dopadající světelné paprsky, které zde barvou ve světle vyvolávají novou kvalitu, nový stupeň dokonalosti daný latentně v prostředí osvětlovaného tělesa. Tak se zde u Theodoricha ozývá Aristotelův názor o vzniku spektrálních barev mísením světla a temnoty a Theodorich pokládá také za dokonalejší barvy temnější, modrou a zelenou, které při výstupu leží blíže středu kapek, než barvy červená a žlutá, protože blíže středu kapek je barva více přijímána.<sup>7)</sup>

Tuto teorii Theodorich vybudoval, aby vysvětlil své pokusy se vznikem barev na osvětlené průsvitné kouli, které konal pro objasnění vzniku duhy. Při těchto pokusech experimentoval také s průchodem světla šestibokým hranolem. Průchod světla tímto hranolem představoval jednu z drah světelných paprsků, které Theodorich uvedl jako případy, při kterých vznikají barevné jevy.<sup>8)</sup>

Tyto pokusy Theodorich uspořádal za tím účelem, aby ukázal pořadí

1) Krebs E., *Beiträge zur Geschichte der Philosophie des Mittelalters*, sv. V, seš. 5—6, Münster 1906.

2) Würschmidt J., *tamtéž*, sv. XII, seš. 5—6, Münster 1914, str. XII.

3) Theodoricus de Freiberg, *De iride et radialibus impressionibus*, kniha II, kap. 8, 29; kn. III, kap. 2, 3. *Tamtéž* str. 33 n. (dále jen *De iride*).

4) *Tamtéž*, kn. II, kap. 19, 38.

5) *Tamtéž*, kn. III, kap. 2, 6.

6) *Tamtéž*, kn. III, kap. 7.

7) Pro poměry na kouli a hranolu srv. *tamtéž*, kn. II, kap. 16.

8) *Tamtéž*, kn. I, kap. 8.

vznikajících spektrálních barev při průchodu světla hranolem<sup>9)</sup> a koulí.<sup>10)</sup> Šestiboký hranol Theodorich používal k pokusům s rozkladem světla proto, že průřezy tímto hranolem a koulí (šestiúhelník a kruh) jsou si (pro Theodorichovy účely) svou symetrií přibližně a Theodorich může ukázat při šikmém dopadu svazku slunečních paprsků na stěnu hranolu a na povrch koule stejný vliv obou tvarů prostředí na vznik spektrálních barev.<sup>11)</sup>

Při pokusu s šestibokým hranolem staví Theodorich hranol do takové polohy, aby jeho hrana byla přivrácena ke Slunci. Ze slunečných paprsků (které Theodorich nepokládá za rovnoběžné) vymezuje dva svazky, aby každý z nich dopadl na jednu stěnu hranolu. Po průchodu hranolem lámou se paprsky k ose symetrie a v určité vzdálenosti od hranolu se protínají. Při tom zjišťuje, že vznikající barvy jsou rozloženy tak, že červená barva za průsečíkem paprsků leží v obou svazcích blíže k ose symetrie, tj. že se podle našeho způsobu vyjadřování nejméně láme, a ostatní barvy se ve svém pořadí rozkládají směrem k vnějšímu okraji.

Na jiném místě své knihy o duze Theodorich hovoří také o poměrech vzniku barev po průchodu šestibokým hranolem, ale kreslí zde průchod paprsků jen jednou polovinou hranolu.<sup>12)</sup> Udává, že paprsky prošlé hranolem nejeví barvy hned v bezprostřední blízkosti hranolu, ale až ve vzdálenosti dvou prstů.

Pro vysvětlení vztahu spektrálních barev k bílému světlu však Theodorich neměl žádné výsledky pokusů a pominul i příležitosti, které se mu naskýaly. Tak nepřipadl např. na myšlenku, aby vyšetřoval, co se děje v průsečíku svazků barevných paprsků, které prošly šestibokým hranolem v takovém postavení, že se překrývala spektra vznikající na dvou trojbokových hranolech se vzájemně rovnoběžnými k sobě přivrácenými základnami. Odtud již mohla vést cesta k myšlence spojení celého spektra.

Tímto směrem se Theodorichovo myšlení neubíralo, i když znal výsledky překrývání barev. Theodorich píše také o tom, že paprsky dvou spektrálních barev mohou současně dopadat do oka a sbíhají se do jediného záření nebo paprsku.<sup>13)</sup> K tomuto zjištění žel neudává žádné podrobnosti, nezmiňuje se ani o druzích barev, s kterými experimentoval.

Popis tohoto pozorování, které se týkalo spektrálních barev, spojuje Theodorich v téže kapitole své knihy s popisem podobného barevného jevu, který nastává při průchodu bílého světla průsvitnými prostředními

<sup>9)</sup> *Tamtéž*, kn. II, kap. 23.

<sup>10)</sup> *Tamtéž*, kn. II, kap. 22.

<sup>11)</sup> *Tamtéž*, kn. II, kap. 8.

<sup>12)</sup> *Tamtéž*, kn. II, kap. 16, 17.

<sup>13)</sup> *Tamtéž*, kn. II, kap. 7.

různých barev. Položil-li na sebe dvě průhledná skla různých barev, skla se jevila v jedné barvě a v této barvě také viděl předměty, na které přes skla pohlížel.<sup>14)</sup> Tato barva jako výsledek složení se lišila od barev obou použitých skel. Rozdíl v obou těchto způsobech mísení barev vidí Theodorich v tom, že při mísení spektrálních barev získává zase jednu ze spektrálních barev, ale při kombinaci skel může získat nejrůznější barvy.

Skutečnost, že při průchodu světla vodou nebo sklem určitého tvaru vznikají spektrální barvy vždy v témž počtu a v témže pořadí, připisuje Theodorich tomu, že *působení jednotlivých paprsků se navzájem mísí*. Toto mísení snad naznačuje Theodorich na svých obrázcích, které kreslí ke znázornění průchodu paprsků hranolem a koulí. Svazky paprsků, které se po průchodu daným prostředím jeví barevnými, překrývá proplétajícími se vlnovkami či lomenými čarami. Toto mísení nastává jen při šikmém dopadu paprsků na stěnu hranolu nebo na povrch koule. Jestliže paprsky dopadají na stěnu hranolu kolmo nebo procházejí u koule jejím středem, pak daným prostředím procházejí bez mísení a nebarví se.<sup>15)</sup>

Rozdíl mezi barvami vznikajícími v obou případech (tj. při překrývání spektrálních barev a při postupném průchodu světla prostředím různých barev), vidí Theodorich podle svých omezených možností. Z mísení při průchodu světla prostředím hranolu či koule vychází podle Theodoricha každá spektrální barva jako jediná (jednoduchá) barva vzhledem k svému druhu, ale barva, vznikající při průchodu světla překrytými barevnými skly, je jedinou barvou jen podle různých vzájemných proměn.<sup>16)</sup> V tomto Theodorichově nejasném rozlišení by bylo možno spatřovat jeho tušení různě uplatňovaných společných vlastností barev, získávaných v různých případech.

Tak se jeví u mistra Theodoricha vztah mezi bílým světlem a spektrálními barvami. Představuje se nám spíše jako filosof než jako fyzik, i když jeho pokusy mají svoji cenu a mohly být využity ještě plodněji. Není však zatím jasné, ovlivnily-li Theodorichovy výsledky nějak vývoj názorů v pozdější době. Znalost jeho učení se sice udržovala asi po dvě století, podle jeho spisů se přednášelo na erfurtské universitě, dílo o duze znal Regiomontanus, který je chtěl vydat. Zdá se, že později Theodorichovo učení zapadlo; není však vyloučeno, že opisy jeho práce mohly nejrůznějšími cestami procházet knihovnamí učenců, aniž se znalost jeho díla projevila navenek.

<sup>14)</sup> Quod autem hic dictum est de concursu duarum formarum in una radiatione seu radio, aliquo modo, libet non perfecte, simile est eo modo, quo duo colores, prout duo vitra diversorum colorum, superponerentur ad invicem et per unum radium seu per unam lineam radialem res per eas vel etiam ipsa vitra viderentur; . . . . ., kn. II, kap. 7.

<sup>15)</sup> *Tamtéž*, kn. II, kap. 8.

<sup>16)</sup> *Tamtéž*, kn. II, kap. 7.

V 17. století učil na klementinské koleji v Praze v tehdejší době v Evropě známý učenec Baltasar Konrád (1599—1660). Zajímal se také o výzkum fyzikálních otázek a několik studentů u něho obhajovalo práce na fyzikální témata. Tak r. 1646 Baltasar Melchior Haněl (1627—1689) u něho obhajoval práci o duze, „De natura iridis“. Podle pojetí této disertace v době jejího vzniku výsledky Descartova studia duhy u nás ještě nebyly známy. Autoři disertace v ní studují vznik a vlastnosti duhy a řeší přitom v pokusech několik úloh o rozkladu světla ve spektrum. Podstata vyvolání barevných jevů jim však zůstala neznámá.

O vztahu mezi bílým světlem a spektrálními barvami autoři mnoho neuvádějí. K vysvětlení vlastností duhy odmítají studovat spektrální barvy vznikající při průchodu světla hranolem. Hranol podle jejich mínění dává „nečistě duhy“ a barvy v něm vznikají jen průchodem světla. K vysvětlení vzniku duhy na obloze je zapotřebí také předpokládaného odrazu světelných paprsků dopadajících do prostředí, ve kterém vznikají barvy.<sup>17)</sup>

Ale i přes tento odmítavý postoj k hranolu pro vysvětlení vzniku a vlastností duhy s ním autoři experimentují a na konci své disertace mezi jedenácti připojenými popisy pokusů uvádějí sedm pokusů s rozkladem bílého světla hranolem, a to hranolem přímým a „kruhovým“, který vznikne podle autorů stočením přímého hranolu. Tvar kruhového hranolu je zřejmě tvarem, příbuzným Markovu náramkovému hranolu.<sup>18)</sup>

Zdá se možné, že při svých pokusech s rozkladem bílého světla autoři také pozorovali vznik bílého světla při opětném spojení spektrálních barev. V desáté úloze disertace totiž předpokládají otázku, jak vyvolat světelný kotouč Slunce, i když se dopadající sluneční paprsky lámou a odrážejí. Získaný světelný kotouč má být zřejmě barvy slunečního světla, protože jinak podle zkušenosti autorů sluneční paprsky, které se lámou a odrážejí, mají vytvářet barevné spektrum.

K pokusu, při kterém se objevila světlá skvrna, autoři použili kruhového hranolu určitých (blíže ale neurčených) rozměrů a při pozorování umístili oko do osy hranolu. Mimo tyto okolnosti autoři žel nepřipojují další podrobnosti. Nepochybně ani vzdálenosti oka od hranolu při pozorování světlé skvrny a barevného jevu. Připojují však, že tímto způsobem je možno získat „duhu“, tj. rozložit bílé světlo do barevného spektra, a to tehdy, použije-li se „hustšího prostředí“, tedy snad hranolu s jiným indexem lomu.

17) Haněl B. M. - Conrad B., De natura iridis, Pragae 1646, předmluva. O autorství disertace srv. Marek J., Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky 8, Praha 1963, str. 30.

18) I. Marcus Marci, *Thaumantias* . . . , Pragae 1648, str. 250.

K pokusům s rozkladem světla se tehdy používalo také dutých hranolů, které se plnily různými kapalinami.<sup>19)</sup> Snad i v případě popisovaného pokusu se mohlo jednat o takovýto dutý hranol, ve kterém autoři vyměňovali tekutiny různé lámavosti. Autoři sami používali k pokusům s průchodem světla skleněnými koulemi nádob, naplněných vodou.<sup>20)</sup> Při svém popisu „kruhového“ hranolu autoři udávají také návod, jak hranol tohoto tvaru získat. Protože je pro ně obtížné, aby připravovali kruhový hranol ze skla ohýbáním, používají dvou dutých skleněných kuželů, které spojují přitisknutím na rovnou plochu tak, aby získali potřebné uspořádání k nahrazení kruhového hranolu, a kužele naplňují vodou.<sup>21)</sup> Autoři měli k dispozici kruhové hranoly (nebo spíše uspořádání kuželů, o kterém jsme právě hovořili) i větších rozměrů, protože konali pokusy s kruhovými hranoly, které zasunovali do sebe.<sup>22)</sup> Vedle kruhových používali také „mnohoúhelníkové“ hranoly, které získávali tak, že přímé trojboké hranoly pospojovali jejich základnami po obvodu zvoleného mnohoúhelníka.<sup>23)</sup>

Pozorování vzniku bílé skvrny po průchodu světla kruhovým hranolem nebylo pro autory příliš překvapujícím zjevem, protože to nebylo při jejich pokusech jediným pozorováním neočekávaného objevení se bílé barvy. Pro měření zdánlivého průměru Slunce používali totiž dlouhou dírkovou komoru, kterou se snažili záměrně učinit co nejlépe světlotěsnou. Při svých měřeních touto komorou pozorovali projevy ohybu světla na otvoru. Mimo barevných jevů spektrálních barev (kdy pozorovali také interferenci světla i vyšších řádů<sup>24)</sup>) popisují také zjev, při kterém pozorovali kolem slunečního disku bílou korunu oddělenou od obrazu Slunce temným mezikružím.<sup>25)</sup> Při popisu těchto pozorování se autoři nepokoušejí o vysvětlení, ale spokojují se jen s konstatováním pozorování těchto jevů.

Uvádíme zde popis zmíněného pozorování bílé skvrny po průchodu světla kruhovým hranolem s tím, že se zde jednalo o provedení podobného pokusu, jaký popsal později také Marci.<sup>26)</sup> Autoři dizertace na rozdíl od Marci použili pravděpodobně k pokusům hranoly s různým indexem lomu. Jejich výsledky možno vysvětlit tak, že při svých pokusech v jednom případě pozorovali prošlé světlo kruhovým hranolem v místě, kde se

<sup>19)</sup> Grimaldi F. M., *De lumine, coloribus et iride*, Bononiae 1665, str. 240.

<sup>20)</sup> *De natura iridis*, věta 5.

<sup>21)</sup> *Tamtéž*, úloha 4.

<sup>22)</sup> *Tamtéž*, úloha 7.

<sup>23)</sup> *Tamtéž*, úloha 8.

<sup>24)</sup> *Tamtéž*, úloha 11.

<sup>25)</sup> *Tamtéž*. Srv. také Marek J., Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky 8, 1963, str. 33 n.

barevné složky spektra spojovaly do pozorované skvrny bílého světla, kdežto v druhém případě pozorovali v místech, kde barevné složky procházely rozložené. Rozpaky autorů nad výsledkem tohoto pokusu jsou patrné na jeho popisu.<sup>27)</sup>

#### JAN MAREK MARCI Z KRONLANDU

Dalším přírodovědcem, jehož pokusy již snadno mohly vést k objevu složení bílého světla, byl Jan Marek Marci z Kronlandu (1595—1667). K zájmu o studium spektrálních barev [napsal o nich čtyři práce<sup>28)</sup>] vedla Marka snaha o vysvětlení vzniku a vlastností duhy, jak je patrné již z titulu jeho prací. Markova nejrozsáhlejší kniha z tohoto oboru, „*Thaumantias...*“, je věnována nejen studiu duhy, ale také výslovně otázkám spektrálních (zdánlivých) barev. Pojednání o samotné duze tu zaujímá malou část. Více místa věnuje Marek studiu spektrálních barev a otázek, které podle jeho názoru s nimi souvisely (ředění, zhušťování, trvalé barvy, plamen atp.).

Při studiu vlastností spektrálních barev konal Marek také pokusy, které ho mohly již přivést na myšlenku složenosti bílého světla ze spektrálních složek. Sama myšlenka složenosti bílého světla nebyla Markovi tak docela cizí, ovšem složenosti v jiném smyslu než složenosti ze spektrálních složek. Marek se domníval, že bílé světlo je složeno z paprsků, které nesou schopnost barvu vyvolat (radii colorigeni), a z paprsků, které nesou obraz (radii simulachrum deferentes). Myšlenka složenosti bílého světla z barevných složek zůstala však Markovi cizí. Pro Marka bílé světlo zůstalo nejvíce spřízněné s čistým, neviditelným elementem světla, který vše proniká, a jiné barvy světla pak Marek pokládal za jeho pokažení, defekt.<sup>29)</sup> Různé barvy působí podle Markova názoru toto pokažení v různém stupni.

<sup>28)</sup> I. Marcus Marci, *Thaumantias*, liber de arcu coelesti deque colorum apparentium natura, ortu et causis, Praga 1648, str. 251 n.

<sup>27)</sup> Solem refractoreflexum in circulum lucidum vertere possum per trigonum circulare, certae quantitatis, et oculo in eiusdem axe posito. Hoc ideo excogitavi, ut in Iridem verterem solem; sed lux nimia solis non suscipit tincturam. Hinc tamen occasionem accipias, etiam solem, per tale vitrum, in Iridem transformandi, ut hic petitur, nempe si densius medium adhibeas. De natura iridis, úloha 10.

Bylo by možno namítnout, že při nevhodně uspořádaném pokusu intenzivní rozptýlené světlo („nimia lux solis“) nedovolilo pozorování barevných jevů. Autoři však, aniž by se zmínili o nějaké změně v uspořádání pokusu (mimo použití hustšího prostředí), uvádějí, že tímto způsobem je možno získat také spektrální barvy. Mimoto autoři vědí o vlivu osvětlení stínítka na zřetelnost promítaného jevu (věta 23).

<sup>28)</sup> Studníčka F. J., *Ioannes Marcus Marci a Cronland, sein Leben und gelehrtes Wirken*, Praha 1891, str. XV n.

<sup>29)</sup> Respondeo, cum ex luce fiant colores per refractionem. Quo magis lucem refringit contingit, eo magis recedere a sua puritate ac proinde in ratione coloris magis perfici.

Marek však také sám zkoumal, co nastává tehdy, když se vzájemně překrývají spektrální barvy (a zkoumá také i výsledky překrytí trvalých barev těles barvami spektrálními.<sup>30)</sup> Pokus provádí tak, že na dvou hranolech dává vznikat spektrům, která na stínítku přes sebe překrývá. Pokus popisuje tak, že červený okraj jednoho spektra postupně překrývá barvami spektra druhého: některé barvy při překrývání mizí, jiné se zase nemění. Při překrývání trvalých barev na předmětech barvami spektrálními Marek pozoruje, že při zmizení barev zůstávají jejich zřetelné obrysy.

Pro studium spektrálních barev při průchodu světla hranolem používal Marek dvou druhů hranolu: přímého trojbokého hranolu a hranolu, který nazývá „náramkovým“. Náramkový hranol vzniká podle Marka z přímého trojbokého hranolu jeho stočením tak, že základna tvoří kruhové mezikruží.<sup>31)</sup>

Při studiu vlastností spekter, která vznikají při průchodu světla náramkovým hranolem, uvádí Marek opět uspořádání pokusů, představující mísení spektrálních barev.

Ve větě 102 své knihy „Thaumantias“ Marek ukazuje, že spektrum, které v blízkosti náramkového hranolu má barvy v pořadí barev hlavní duhy, změní se v jisté vzdálenosti od náramkového hranolu ve spektrum s pořadím barev vedlejší duhy.<sup>32)</sup> Tuto změnu pořadí barev Marek odůvodňuje tím, že paprsky, které vytvářejí po výstupu z hranolu spektrum s pořadím barev hlavní duhy, se sbíhají, takže se v jisté vzdálenosti od hranolu protínají. Ve větší vzdálenosti od hranolu, než ve které leží zmíněný průsečík paprsků, jeví se barvy ve spektru v opačném pořadí než v oblasti mezi hranolem a průsečíkem. Ve změněném pořadí se jeví i barvy ve vedlejší duze na obloze. Z tohoto pozorování Marek uzavírá, že „hlavní duha se mění ve větší vzdálenosti od náramkového hranolu v duhu vedlejší“.<sup>33)</sup>

Itaque color albus luci proximus, talis enim videtur lux pura. Succedit roseus, inde flavus, viridis, coeruleus, demum purpureus. Hic igitur in ratione coloria magis quam reliqui perfectus. Thaumantias, str. 136.

<sup>30)</sup> Itaque colores iridis ex luce admissa et sensim aucta non simul disparent, sed prius luci sinceræ magis cognati, qualis puniceus, inde flavus, ac viridis, postremo coeruleus. Hanc coloris energiam et unius ab alio prærogativam facile deprehendet, qui duas irides simul committet a duplici trigino causatas. Lîmbum enim purpureum unius per alterius colores tractum alios sepelire, alios immutare, ipsum a nullo ex toto superari videbit.

Sed et cum veris coloribus fieri inaequalem mixturæ modum, signum evidens iris picturæ inducta: evanescentibus enim coloribus, lineamenta duntaxat supersunt. Tamtéž, str. 136.

<sup>31)</sup> Tamtéž, s. 250.

<sup>32)</sup> Tamtéž, s. 251 n.

<sup>33)</sup> Theorema CII. Iris primaria, si magis producatur a trigono armillari, mutatur in secundarium. Tamtéž, str. 251.



V prvním korolariu k této větě Marek udává poměr vzdálenosti, ve které leží průsečík paprsků barevného spektra od hranolu, k velikosti poloměru lámajícího náramkového hranolu, ale o pozorování jevu v samotném průsečíku paprsků na tomto místě nehovoří. S velkou pravděpodobností však můžeme říci, že Marek vznik bílého světla při opětném spojení barev spektra pozoroval. Svědčí o tom druhé korolarium, kde uvádí, že barvy spektra v pořadí barev hlavní duhy můžeme pozorovat v blízkosti náramkového hranolu jen tehdy, je-li poloměr hranolu dostatečně velký. Marek pro tento případ uvádí velikost poloměru tři až čtyř stop (tj. kolem jednoho metru). Tehdy průsečík paprsků barev spektra vystupujících z náramkového hranolu padne dostatečně daleko od hranolu a je možno barvy spektra v pořadí barev hlavní duhy zachytit na stínítku umístěném mezi hranolem a zmíněným průsečíkem barev.

Je-li však poloměr menší, nemůžeme v blízkosti hranolu pozorovat barvy spektra v pořadí barev hlavní duhy. V důvodu, který zde Marek uvádí, aby vysvětlil nemožnost tohoto pozorování, je formálně téměř vystižen vznik bílého světla ze spojení barev spektra. Podle Marka „barvy spektra v blízkosti hranolu mizí, protože se zde světlo sbíhá“.<sup>34)</sup>

Marek z výsledku tohoto pozorování nedělá žádné závěry pro vztah mezi bílým světlem a spektrálními barvami nepřivedlo jej ani na stopu myšlenky složenosti bílého světla ze spektrálních složek. Marek nepřipadl na myšlenku, aby cílevědomě zkoumal, co se děje se spektrem získaným po průchodu světla hranolem, jestliže všechny jeho složky opět spojí dohromady. Je vidět, že pouhé příležitostné pozorování jevu (ovšem podle Markova popisu a při jeho možnostech zřejmě nedokonalého), kdy při překrývání spekter jejich barvy mizí, rozplývají se, nebylo Markovi dostatečným podnětem k tomu, aby v něm začalo působit ke zviklání dosavadní představy o světle dopadajícím na hranol a jeho vztahu k barvám získávaným po průchodu, nebo alespoň vzbudilo podezření o pozorování jakési neznámé, netušené dosud vlastnosti, která se zde právě projevuje a zasloužila by pečlivějšího zkoumání.

Tak zde Markovi, tak jako ostatním badatelům před Grimaldím a Newtonem, unikla příležitost objevu složenosti bílého světla ze spektrálních složek. Vztah mezi dopadajícím světlem na hranol a vznikajícími spektrálními barvami po průchodu světla hranolem zůstal Markovi nadále tajemstvím.

Objev složenosti bílého světla zůstal tak vyhrazen podle dosavadního tradování historie tohoto objevu Newtonovi, jehož cesta byla již o to

<sup>34)</sup> *Atque inde fit, quod iridem primariam a trigono armillari productam non conspiciamus. A luce enim coincidente in vicinia trigoni huius colores diluuntur. Tamtéž, str. 252.*

snazší, že měl k dispozici výsledky Grimaldiovy, Descartesovy<sup>35)</sup> a zdá se, že také Markovy,<sup>36)</sup> takže myšlenka dokončení pokusů naznačených u jeho předchůdců mohla mu snadněji vyvstat. Jak však uvidíme v dalším, o složenosti bílého světla ze spektrálních složek věděl již jasně Grimaldi, který konal uvědoměle pokusy se spojením celého spektra.

#### FRANCESCO MARIA GRIMALDI

K řešení otázky o vztahu bílého světla a spektrálních barev přispěl v 17. století značným podílem Francesco Maria Grimaldi (1618—1663) v posmrtně vydaném díle o světle, barvách a duze.<sup>37)</sup> Tato kniha je v historii fyzikální optiky známa tím, že v ní Grimaldi popsal pozorování ohybu světla, označil tento jev jako čtvrtý způsob šíření světla (za dosavadní pokládal přímočaré šíření, odraz a lom) a nazval termínem „difrakce“, který se ve fyzikální optice zachoval dodnes.

Grimaldiova kniha je pro studium vývoje poznávání vztahu mezi bílým světlem a spektrálními barvami tím významnější, že Grimaldi je jedním z nemnoha autorů, jejichž jména vzpomíná Newton ve svých optických pracích. Při pojednávání o otázce složenosti světla (jejíž řešení uveřejnil r. 1672 v dopise Královské společnosti v Londýně) sice Newton nepřipomíná Grimaldiovy výsledky, ale jeho představy mohly pro Newtona znamenat významný podnět k formulování jeho teorie světla a barev.

Na otázku o podstatě světla odpovídá Grimaldi dvěma představami, a to představou světla jako spojitě a nespojitě látky. Obě představy neměly u Grimaldiho stejnou váhu. Na jedné straně je světlo jakási velmi jemná fluidová substance, která je schopná vlnění.<sup>38)</sup> Na druhé straně Grimaldi také předpokládá, že světlo se skládá z částic, ale jsou to částice tak spojené, snad tak malých rozměrů, že spojitost světelné látky převažuje.<sup>39)</sup> Proto také odmítá Descartesovy představy o složenosti světla z částic, protože sám připisuje světlu možnost kondenzace, jíž nejsou Descartesovy

<sup>35)</sup> Descartes uveřejnil ve svých *Meteorech* teorii vzniku duhy, ale teorii barev se hlouběji nezabýval. Viz kupř. ruský překlad jeho knihy *Rassužděníje o metodě s příloženijami dioptrika, meteory, geometria*, M.-L. 1953 a zde článek G. G. Sljusareva, *Dekart i optika XVII veka*, str. 458 n.

<sup>36)</sup> Znalost Markových knih v okruhu Královské společnosti v Londýně v druhé polovině 17. století plyne z jednání sekretáře Společnosti Oldenburga s Edwardem Brownem za Brownovy cesty do východní Evropy v letech 1668—69 o navázání styku s Markem Marci. Srv. Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky 9, Praha 1964, str. 81.

<sup>37)</sup> Grimaldi F. M., *Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride alisque annexis*, Bononiae 1665 (dále jen *De lumine*).

<sup>38)</sup> *Tamtéž*, str. 12, 165, 195, 242, 321.

<sup>39)</sup> *Tamtéž*, str. 364, str. 12.

částice schopné. Rozdělení světla na částičky pokládá Grimaldi přímo za zbytečné.<sup>40)</sup> Sám však při použití představy, že světlo se skládá z částíček, blíže o jejich vlastnostech nemluví.

Tak u Grimaldiho převládá představa o světle jako tekutině schopné vlnění. Odůvodňuje ji analogií mezi šířením světla a šířením rozruchu na vodní hladině a šířením zvuku z chvějící se struny.<sup>41)</sup>

Žádné světlo není podle Grimaldiho naprosto čisté, každé má nějakou barvu, protože s vlněním světelné substance je spojen vjem barvy.<sup>42)</sup> Barvy jsou pro Grimaldiho samo světlo a Grimaldi je definuje ze široka jako něco, co je schopné působit na smysl zraku.<sup>43)</sup> Různým barvám připisuje rozdílnost ve vlnění světelné substance, již blíže necharakterizuje.<sup>44)</sup> Zjišťuje jen, že jednotlivým barvám není schopen přiřadit jednotlivá vlnění (fluitationes). Závěr podporuje opět odkazem na analogii mezi světlem a zvukem, podle které ve znění chvějícího se tělesa nelze také určit jednotlivé zvuky.

Zajímavá je Grimaldiho představa, že spektrální barvy jsou obsaženy již v bílém světle. Na místě, kde říká, že ve světle není schopen přiřadit jednotlivým barvám jednotlivá vlnění, současně píše, že barvy ve světle od sebe nemůže odlišit.<sup>45)</sup> Myšlenka, že bílé světlo obsahuje již v sobě spektrální barvy, jež se opakuje u Grimaldiho na více místech,<sup>46)</sup> jej vede k tomu, že při popisu svých pokusů a pozorování raději hovoří o vnímání spektrálních barev než o jejich vyvolávání při příležitostech jejich vzniku. Činí tak vědomě, že o barvení světla či jeho přechodu ve spektrální barvy hovoří vzhledem ke zraku, protože je přesvědčen o tom, že vznikající pozorovaná barva už předem v dopadajícím bílém světle byla, aniž byla vnímána.<sup>47)</sup> Při tom však Grimaldi výslovně odmítá domněnku, že by barvy

40) *Tamtéž*, str. 363 n.

41) *Tamtéž*, str. 365, str. 12 n.

42) *Tamtéž*, str. 406.

43) *Tamtéž*, str. 396.

44) *Tamtéž*, str. 369.

45) Verum quia de illius (tj. světla) summa fluiditate non dubitamus, iuxta probata ad Propos. 2, consequenter aliquas plures in eo admittimus fluitationes diversitates, sufficientes ad omnes colorum varietates, non curantes interim eas distincte discernere et singulis colorum speciebus peculiariter aliquam attribuere, cum neque id nobis possibile sit, neque ullo ex fine absolute expetendum. Et sicut in fluitatione aëris vel tremore corporis sonantis non possumus assignare certam aliquam speciem ac mensuram pro quolibet determinato sono, ita nec pro singulis colorum speciebus volumus esse solliciti in afferenda peculiari luminis fluitatione, visibilitati ipsorum inserviente. *Tamtéž*, str. 369.

46) *Tamtéž*, str. 399, 416, 523.

47) ... lumen ipsum habet in se omnem rationem coloris et quando dicitur colorari seu transire in aliquem colorem, intelligendum est id fieri in ordine ad visionem nostram, quatenus per talem aliquam ipsius fluitationem illud redditur proxime sensibile

vznikaly z bílého světla snad až v oku pozorovatele.<sup>48)</sup> Tak podle Grimaldiho spektrální barvy vznikají tak, že se z bílého světla vzájemně od-  
dělují podle různé schopnosti k rozptýlení (řekli bychom podle různého  
stupně lomu), která je jejich vtištěnou vlastností.<sup>49)</sup> Za příčinu toho jevu  
Grimaldi udává jistou vlastnost světla, kterou nazývá zavinutost (convo-  
lutio).

Další zajímavostí v Grimaldiově knize je popis jeho pozorování vzniku  
bílého světla ze spojení spektrálních barev. Grimaldi říká, že tak, jako jis-  
tým pochodem z bílého světla vznikají spektrální barvy, tak že také opač-  
ným pochodem opět spektrální barvy zanikají a dále se pak šíří původní  
bílé světlo. Z pozorování tohoto jevu vyvrací Grimaldi domněnku, že by  
snad spektrální barvy mohly vznikat tím, že by se k procházejícímu bí-  
lému světlu v daném prostředí něco přidalo, či se vytvořilo v bílém světle  
něco nového.<sup>50)</sup>

V odstavci, ve kterém ukazuje, že spektrální barvy nejsou nic jiného  
než světlo, protože mají vlastnosti světla, že se totiž lámou, odrážejí se,  
osvěcují temné předměty a činí je viditelnými, píše dále o tom, že barvy  
spojené čočkou do jednoho bodu vyvolávají v něm větší teplo, a vnik-  
nou-li do oka, je patrné, že nejsou nic jiného než světlo.

Není zcela jisté, popisuje-li Grimaldi v tomto odstavci pozorování bílé-  
ho světla ze spojených spektrálních barev. Na tomto místě Grimaldi ne-  
připojuje ke slovu „lumen“ žádný přívlastek. Bylo by možno namítnout,  
že zde nepozoroval spojení spektrálních barev do bílého světla, ale jen  
jednotlivé barevné složky spektra. Ovšem Grimaldi právě zde chce doká-  
zat, že barevné složky spektra jsou světlem, a mezi jinými vlastnostmi  
uvádí, že je jako „světlo“ vidí.

Pro Grimaldiho „lumen“ znamená většinou bílé světlo a mělo by tomu  
tak být zvláště na tomto místě, kde se mu jedná o důkaz toho, že spektrál-  
ní barvy mají vlastnosti právě bílého světla. Popis pozorování, že barvy  
jsou světlem, je také bezprostředně spojen s předcházejícím zjištěním,  
že spojené spektrální barvy, a to do jednoho místa, vyvolávají pocit vět-  
šího tepla, jak je patrné z Grimaldiová textu.<sup>51)</sup>

secundum aliquam determinatam visibilitatem seu rationem coloris, quae in illo tamen  
iam praeerat, sed non poterat sentiri nisi per talem fluitationem applicantem lumen  
et determinantem potentiam visivam ad talem perceptionem coloris in lumine. Tamtéž,  
str. 399.

<sup>48)</sup> Tamtéž, str. 524.

<sup>49)</sup> ... lumen apparenter, ut vocant, colorari tunc solum, quando eius diffusio sic tur-  
batur, ut radii cogantur ab invicem separari aut discindi, cum dissipatione inaequaliter  
illis impressa. Tamtéž, str. 524.

<sup>50)</sup> Tamtéž, str. 244.

<sup>51)</sup> Constat vero haec luminis perseverentia, vel ex eo, quod dum fiunt colores appa-  
rentes, exempli gratia lumine trajecto per vitreum prisma trigonale, radiationes sic

Přesto však nelze beze zbytku, jak se zdá, vyvrátit námitku, že na tomto místě Grimaldi konstatuje, že vnímání jednotlivých barevných složek spektra je tímtež působením světla na oko pozorovatele, jakým je vnímání bílého světla.

Na dalším místě v témže odstavci své knihy však Grimaldi roztpyluje i tyto případné pochybnosti o tom, zda vznik bílého světla ze spojení spektrálních složek pozoroval, a říká výslovně, že světlo (na tomto místě ve významu spektrálních složek), které se odbarvuje, se jeví jako samo „čisté světlo“, tj. původní bílé světlo. Že si byl Grimaldi vědom závažnosti tohoto svého zjištění, dotvrzuje jeho věta, že o této vlastnosti světla dosud nikdo nereferoval.<sup>52)</sup>

Je tedy patrné, že Grimaldi záměrně experimentoval se spojením spektrálních barev a při svých pokusech zjistil, že toto spojení dává opět bílé světlo. A toto bílé světlo je pro Grimaldiho světlem, které se před tím při vhodné příležitosti do barevných složek rozkládalo. Podle Grimaldiových představ světlo, když se odbarvuje, získává nový druh kmitání (fluitationem), který je protichůdný tomu, který světlo získalo při svém zbarvení. A toto nově při spojení spektrálních složek získávané kmitání je podobné tomu, které světlo mělo při svém předchozím šíření, dříve než se zbarvilo. Toto mínění Grimaldi pokládá za bezpečně zjištěnou pravdu. Při tom mu však zůstává nejasným, jakou funkci má tato změna kmitání ve světle při vytváření barvy.<sup>53)</sup>

Nejistota této poslední věty neznamená Grimaldiho váhání nad myšlen-

coloratae refringuntur ac reflectuntur modo proprio luminis, illustrant caetera obiecta alloquin obscura redduntque illa visibilia.

Itemque per vitream lentem coactae in unum locum valent excitare maiorem calorem, ac denique in oculum incurrentes produnt se nihil aliud esse, quam lumen. Uno verbo, colores apparentes habent omnes proprietates luminis, ergo non sunt aliud a lumine. *Tamtéž*, str. 404.

<sup>52)</sup> Ad haec quando lumen per fluitationem suam denuo recuperatam decoloratur modo iam dicto et apparet purum lumen, vel haec producit ipsum lumen purum et hoc nemo dixerit. *Tamtéž*, str. 405.

<sup>53)</sup> ...modus ipse, quo lumen transit in colorem, immo est modus, quo idem de iam colorato redditur non coloratum, evidenter ostendit nihil de novo produci in lumine, sed illud per solam aliquam novam agitationem diffundi cum nova aliqua undulata fluitatione, iuxta alibi explicata ...

Quodsi dicatur nobiscum, lumen dum modo dicto decoloratur acquirere novam fluitationem, contrariam illi, quam in coloratione acquisiverat, et similem ei, quam habebat antequam coloraretur. Id quidem verissimum est, sed non video, quid faciat illa mutatio fluitationis in lumine ad producendam aliquam entitatem novam, quae dicatur color, ... *Tamtéž*, str. 405.

O protichůdném působení při barvení světla a jeho odbarvování viz také 18. odstavec ve 43. kapitole citované knihy.

kou složenosti bílého světla, kterou vyjadřuje přesvědčivěji jinde.<sup>54)</sup> Je to spíše nejistota v důsledném použití jeho představ vlnové teorie světla ve spojení různé vlnové délky s různými barvami spektrálních složek a pro Grimaldiho i samotného bílého světla.

O těchto potížích, které pocituje v tušení nedostatečného propracování vlnové teorie světla, které odstranit sám zatím není schopen, hovoří Grimaldi také jinde.<sup>55)</sup> Je pro něho obtížné, aby vysvětlil, které a jaké vlnění je schopno představovat tu či onu barvu. I při konstatování těchto obtíží odvolává se Grimaldi na podobné potíže při analýze zvuků z chvějící se struny.

Poznamenejme na tomto místě, že Grimaldi na základě analogie s vnímáním akordů posuzuje s opatrností vnímání barev. Přiřazuje jednotlivým barvám vlastnost, kterou nazývá „undulatio“ a kterou bychom snad mohli ztotožnit s pojmem vlnové délky. Pro Grimaldiho je to vlastnost, která barvu charakterizuje.<sup>56)</sup> Při tom však Grimaldi upozorňuje, že vjem jedné barvy nemusí být zprostředkován působením paprsků s jistou jednou „undulatione“, řekněme tedy s jistou vlnovou délkou. Grimaldi říká, že se totiž může stát, že tentýž vjem, který vyvolávají tyto paprsky s jednou vlnovou délkou, mohou právě tak způsobit paprsky s rozdílnými vhodnými vlnovými délkami spojením svých účinků. Při tomto uvedení principu superpozice se Grimaldi opět odvolává na analogii s vnímáním harmonie tónu.<sup>57)</sup>

54) Siquidem non admittimus, colorem esse aliquid lumini superadditum et ab eo acquisitum, dum coloratur, sed dicimus esse rationem aliquam in eo semper existentem, et colorari lumen nihil aliud esse, quam perfici aliquo modo in ordine ad apparendum sub tali ratione peculiaris sensibilitatis, ut explicabitur praecipue ad Propos. 45. *Tamtéž*, str. 340. Viz také str. 369, 399, 416 a další.

55) Postremo videtur hic explicandum, quae et qualis fluitatio luminis apta sit praesentare hunc, vel illum colorem, loquendo saltem de praecipuis ac maxime notis. Sed hoc non minus est difficile, quam assignare quoniam et qualis sit tremor in chorda tenta, qui facit hunc, vel illum sonum determinate. *Tamtéž*, str. 361.

56) ... lumen ipsum super guttulas illas fractum atque inde reflexum cum speciali aliqua undulatione ad fractionem illam consequente... *Tamtéž*, str. 340.  
... idcirco probabilius etiam dicendum esset, colorum diversitates reddi specialiter sensibiles per certas aliquas undulationes luminis, ortas ex multiplici agitatione particularum luminis, quamvis illae concenderentur reipsa globosae et secundum atomam, aut valde minutam divisionem discretas. *Tamtéž*, str. 365.

57) ... attamen haec ipsa duo lumina minutissime permixta et in quaminimis oculis particularis recepta, valent eam ipsam in oculo motionem facere, quam facit lumen cum una speciali aliqua undulatione, reflexum a corpore aliquo, quod putatur viride.

Quia licet aliquid luminis ab indico reflexi et in certam aliquam retinae particulam incidens, facit in ea suam impressionem ex uno latere. Ex alio tamen latere eiusdem particulae aliquid luminis ab auripigmento reflexi, facit ipsum suam specialem impressionem et ex concursu utriusque impressionis particula illa visceris organi necessario debet affici modo aliquo diverso ab eo, quo afficeretur a singulis seorsim luminibus.  
... Sicut harmonia ex sola vocum mixtura in aure. De lumine, str. 359.

Můžeme tedy shrnout pro nás nejdůležitější Grimaldiový výsledky takto:

Všechny spektrální barvy jsou obsaženy v bílém světle a liší se v něm vlastnostmi, které od sebe rozlišují různé druhy vln a které Grimaldi nazývá „fluitatio“ či „undulatio“.

Při různých příležitostech vnímáme spektrální barvy, jejichž vznik Grimaldi vysvětluje tak, že paprsky těchto barev se oddělují z bílého světla.

Tak jako spektrální paprsky vznikají rozkladem bílého světla, tak je na druhé straně možno zpětně spojit spektrální složky, aby dopadaly do jednoho místa, přičemž vznikne bílé světlo těch vlastností, které mělo dopadající světlo před rozkladem.

Uvedené poznatky jsou však také významnými body Newtonovy nové teorie světla a barev. Měl zde tedy Newton v Grimaldioví svého předchůdce. Že Grimaldiový výsledky nezbudily značnější ohlas, plyne snad z toho, že jsou nenápadně roztroušeny v objemné knize, kde o nich Grimaldi pojednává více méně se stejnou důležitostí, jako o ostatních, již dříve známých vlastnostech světla. Newton však své výsledky předložil ve svém sdělení ve stručnější formě a lépe ukázal závažnost objevu těchto vlastností světla. Newtonova formulace byla také jasnější než formulace Grimaldiová.

#### Z Á V Ě R

V článku je popsáno několik pokusů různých autorů, které případně mohly již před Newtonem vést k odkrytí složenosti bílého světla ze spektrálních barev. Teprve však cílevědomý pokus Grimaldiho se složením všech spektrálních složek rozřešil otázku o vztahu spektrálních složek k bílému světlu tak, že bílé světlo se skládá ze spektrálních složek, které se při vzniku spektra z bílého světla oddělují.

Pro nás je zajímavá skutečnost, že při studiích o spektrálních barvách v tomto období se objevují jména profesorů pražské university, Balthasara Konráda a Jana Marka Marci z Kronlandu. Práce, které uveřejnili, obsahují popisy pozorování některých základních jevů fyzikální optiky a (jak je patrné z některých okolností) mohly mít vliv i na rozvoj fyzikální optiky v zahraničí.<sup>58)</sup> V otázce složenosti bílého světla však tyto autoři zůstali na úrovni překrývání jednotlivých spektrálních barev a příležitostného pozorování křížení spekter při pokusech s hranoly ve tvaru náramku.

<sup>58)</sup> Marek J. Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky 9, Praha 1964, str. 81.

JIRÍ MAREK

Résumé

L'auteur de l'article décrit quelques essais de différents auteurs, que pouvaient conduire éventuellement à une découverte de la composition de la lumière blanche, déjà avant Newton: Theodoricus de Friberg (1250—1310), Balthasar Melchior Haněl (1627—1689), Balthasar Conrad (1599—1660), Ioanes Marcus Marci de Cronland (1595—1667), Francesco Maria Grimaldi (1618—1663).

C'était Grimaldi, qui a réalisé l'essai, ayant pour but de confirmer la composition de la lumière blanche, composée des couleurs de spectre, qui se détachent de la lumière blanche au moment de la naissance du spectre. Ce découvert de la composition de la lumière blanche est attribué à Newton.

Néanmoins, Newton ne mentionne pas dans son rapport les auteurs, de travaux desquels il pouvait peut-être puiser. Mais, dans un autre travail, Newton fait mention de Grimaldi et par conséquence il devait connaître son livre. Même il pouvait avoir connaissance du livre de Grimaldi bien avant l'apparition de son rapport, car le compte-rendu du livre de Grimaldi fut publiée par les Philosophical Transactions encore avant la publication du rapport de Newton, donc, que le livre de Grimaldi était à ce temps connu parmi les membres de Royal Society.

Il est vraisemblable, que Newton connaissait aussi les travaux de Marci, qui étaient aussi bien connus dans la Royal Society, car H. Oldenbourg, le secrétaire de la Royal Society, a essayé de prendre contact avec Marci dans les années 1668—69.

À ce moment, on ne sait pas, si à ce temps critique, le travail de Theodoricus était encore connu, et en quant était aussi connu la dissertation de Haněl, qui celui-ci a défendu chez le professeur Conrad.

Adresse de l'auteur:  
*Fyzikální ústav ČSAV,*  
Praha 9.