František Nušl

# Rozbor Hughensova spisu: Traité de la lumiére

*Časopis pro pěstování mathematiky a fysiky*, Vol. 19 (1890), No. 6, 281--299

Persistent URL: `http://dml.cz/dmlcz/122021`

Částečná sázka vzhledem k jakékoli částečné hře má tudíž při spravedlivé hře obnášeti:

$$N = \frac{f(n)}{\varphi(n)} = \frac{n(n+3)}{4(n+1)} > \frac{n}{4},$$

kterážto veličina s rostoucím $n$ stále roste.

Petrohradský problem obmezuje se na první částečnou hru, ale klade patrně $n = \infty$; spravedlivá sázka pro tuto hru jest tudíž $N = \infty$.

Není snad zbytečno, srovnati nalezený výsledek s pokusem. Pro $n = 10$ jest:

$$f(n) = 16{\cdot}25, \quad \varphi(n) = 5{\cdot}5, \quad N = 2{\cdot}95.$$

Při 10 hrách nalezeny co *skutečné* výhry, *skutečné* počty částečných her a poměry obou čísel:

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f(n)$ : | 13, | 9, | 8, | 12, | 10, | 36, | 11, | 11, | 22, | 21 |
| $\varphi(n)$ : | 7, | 9, | 7, | 5, | 7, | 4, | 6, | 6, | 3, | 5 |
| N : | 1·9, | 1·0, | 1·1, | 2·4, | 1·4, | 9·0, | 1·8, | 1·8, | 7·3, | 4·2. |

Průměrné hodnoty těchto veličin jsou tudíž

$$f(n) = 15{\cdot}3, \quad \varphi(n) = 5{\cdot}9, \quad N = 3{\cdot}19,$$

což jest při tak malém počtu pokusů dostatečný souhlas.

---

# Rozbor Huyghensova spisu: Traité de la lumière.

Napsal

**Frant. Nušl** v Praze.

Bylo by nesnadno dnes určitě stanoviti dobu, kdy poprvé vyslovena byla domněnka, že světlo záleží v pohybu jisté látky. Nalezáme ji již v rukopisech *Leonharda da Vinci* a v listech *Galileiho*, avšak můžeme se domnívati, že jest ještě mnohem starší. Byl-li oheň v počátcích filosofie řecké považován brzo za látku, brzo za pohyb, nejsme tu již daleko od úsudku, jímž tyto výklady možno rozšířiti i na světlo, kteréž jest nejobyčejnějším průvodcem ohně. Z pozdějších filosofů vyslovil podobnou domněnku *Descartes*. Domnívá se totiž, že prostor absolutně vyplněn jest jakousi jemnou látkou. Molekuly svítícího tělesa jsou prý v rychlém pohybu, narážejí na tuto látku a způsobují tím tlak, jenž se šíří rychlostí nekonečnou a působí světlo; a jako slepý dovede rozeznati předměty nejbližšího svého okolí dotýkaje se jich hůlkou, tak prý i my poznáváme okem předměty, rozeznávajíce je podle toho, jaký jest ten tlak, jímž se světlo jejich šíří.

Vedle Descartesa mohli bychom celou řadu jiných badatelů uvésti, u nichž se již také vyskytují nejasné, snad mnohdy jen neuvědoměle pronesené začátky theorie undulační. Avšak pravým jejím zakladatelem může přece nazván býti ten, jemuž se podařilo, celou řadu dosud nevysvětlených zjevů světelných soustavně vyložiti na základě toho, co před ním bylo neurčitou, temnou hypothesou; a to dnes nikdo nebude upírati Huyghensovi.

Tento veliký astronom a geometr napsal již roku 1678 slavné pojednání své o světle, původně, jak sám praví, dosti nedbale jazykem francouzským, maje v úmyslu přeložiti je později do latiny. Než ku provedení tohoto předsevzetí nedostávalo se mu času, a proto odhodlal se konečně roku 1690 vydati pojednání své tak, jak původně před 12 lety napsáno bylo, a sice s názvem: „Traité de la lumière.“ Celé pojednání rozděleno jest v 6 kapitol, a bude asi nejlépe, přidržíme-li se rozdělení toho také v této krátké úvaze, jejímž účelem jest podati rozbor klassického tohoto díla, a posouditi, v čem záleží veliký jeho význam pro stkvělý pozdější rozvoj theorie undulační.

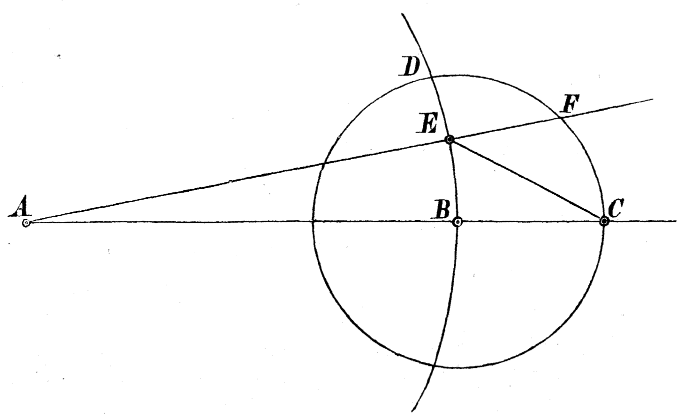
## Kapitola I.

### O paprscích přímo se šířících.

Výklady, kterých užíváme v optice, zakládají se na poznatcích, jež podává nám zkušenosť; to jest na př. zákon o přímočarém šíření se světla a zákon o odrazu a lomu paprsků světelných. Většina z těch, kdož první psali o rozličných částech optiky, spokojila se předpokládati základní tyto věty za pravé, a teprvé později pokusili se někteří vyložiti jich původ a příčinu. Avšak výklady ty, ač mnohdy velmi důvtipné, nevyhovovaly přece úplně tomu, co se jevilo ve skutečnosti. A proto praví Huyghens, že vydáním pojednání svého chce veřejnosti podati, co sám rozvažoval o podstatě světla, aby prý tím také aspoň poněkud přispěl ku objasnění této části věd přírodních, která ne bez důvodu za jednu z nejnesnadnějších se pokládá.

O tom prý asi nikdo již nebude pochybovati, že světlo záleží v pohybu jisté látky mezi okem a předmětem svítícím se nalézající; zvláště uváží-li prý ohromnou rychlost světla, a tu vlastnost, že i přichází-li z protivných stran přece se neruší. Jest patrno, že by úkazy ty byly zcela nepochopitelny, kdyby světlo povstávalo výronem nějaké látky z tělesa svítícího a vnikalo do oka našeho jako hozená koule nebo vystřelená šipka. I srovnává spisovatel šíření se světla se známým šířením se zvuku. Zvuk šíří se s určitou, konečnou rychlostí. Což nám brání předpokládati totéž o světle? Z pozorování konaných na zemi, nelze souditi, leč že rychlost světla jest velmi veliká. Totéž dokazuje prý i pozorování Descartovo, avšak nic více, na nesmírně velkou rychlost světla nemůžeme ani z něho souditi, jakož z následující úvahy patrno.

Je-li v $A$ slunce, $BD$ část dráhy zemské a $CFD$ dráha měsíce (obr. 1.), tu kdyby světlo potřebovalo ku proběhnutí vzdálenosti $BC$ na př. hodinu, spatřili bychom zatmění měsíce o dvě hodiny




Obr. 1.

později, než ve skutečnosti nastává. Za ty dvě hodiny by se však země dostala na př. do bodu $E$, a my bychom viděli zatmívající se měsíc ne naproti slunci v $F$, nýbrž o $33^0$ odchýlený v $C$.*) To se však nestává, a proto soudil Descartes, že rychlosť světla je nekonečně veliká. Huyghens však namítá, že kdyby světlo ku proběhnutí vzdálenosti $BC$ potřebovalo jen 1 *m*, obnášel by úhel $FEC$ jen 33′, a kdyby potřebovalo jen 10 *s*, obnášel by týž úhel již jen 5′, což prý konečně jest možno. Jest sice pravda, že se tím přisuzuje světlu rychlosť velmi veliká, přece však to není nepochopitelno, vždyť se jedná jen o přenášení pohybu, nikoli o přecházení nějaké látky. „Nepředpokládám tedy," praví spisovatel, „nic nemožného, říkaje, že světlo šíří se s konečnou, určitou rychlostí, zvláště když se pomocí této supposice všecky úkazy snadno vysvětliti dají, kdežto domněnka opačná vše nepochopitelným činí."

Toto mínění Huyghensovo, k němuž dospěl na základě pouhé úvahy, potvrdilo se i ve skutečnosti, když *Olaf Römer* uveřejnil svá pozorování družic Jupiterových a vypočítal na základě jich, že rychlosť světla je více než 600.000 kráte tak velká jako rychlosť zvuku.

Zajímavo je nyní, jak důmyslně vykládá Huyghens podle známých vlastností zvuku způsob, jakým povstává a jakým se šíří světlo.

Především praví, že vzduch, v němž se šíří zvuk, nemůže býti nosičem světla, a to proto, že světelné paprsky pronikají zcela bez závady také prostorem úplně vzduchoprázdným, na př. prázdnotou Torricelliho. Zavádí tedy za látku, pomocí kteréž se světlo šíří, hypothetický éther, nesmírně jemný a pružný, který všecka tělesa s největší snadností proniká a celý prostor vyplňuje. Jak tedy povstává světlo pomocí étheru?

Zvuk vzniká chvěním se nějakého tělesa celého, nebo aspoň patrně jeho části. Světlo povstává prý také chvěním, avšak chvěním každé jednotlivé nejmenší hmotné částečky svítícího tělesa zvlášť, nehledě na chvění ostatních částeček, a to prý proto, že každý jednotlivý bod na hmotách je viditelný. Toto chvění, kteréž jest příčinou světla, musí však býti mnohem rychlejší než chvění, které jest příčinou zvuku, poněvadž chvění

*) **Výsledek tento není opraven vzhledem k aberraci světla, která by v tomto případě byla dosti značná, a proto úhel $FEC$ menší a námitka Huyghensova ještě podstatnější.**

zvučícího tělesa nikdy nezpůsobuje světla právě tak, jako pohyb rukou ve vzduchu nezpůsobuje zvuku.

Avšak následkem toho, že chvějící se částečky hmotné narážejí na éther, který je obklopuje, vzniká v tomto kolem každé svítící hmotné částečky zvláštní vlna sferická, kteráž s podobnými vlnami sousedními splývá v jednu tak silnou a mocnou, že se docela dobře může šířiti do tak ohromných vzdáleností, jako na př. od slunce až k nám.

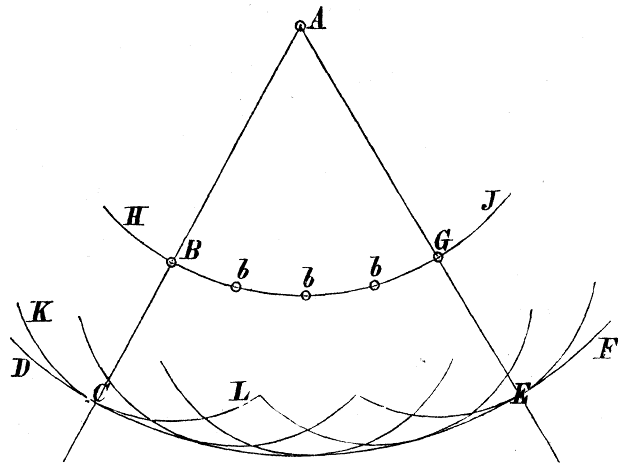
Než jakým způsobem si sdělují étherové částečky toto chvění dále? Zvuk šíří se stálým střídáním se zhuštění a zředění vzduchu. Ale tak se nemůže šířiti světlo, poněvadž tomu brání veliká jeho rychlosť. I pomáhá si tu Huyghens způsobem velmi důvtipným. Srovnává totiž šíření se nárazů světelných mezi molekulami étherovými s podobným úkazem, který povstává, narazí-li na řadu koulí pružných jiná pružná koule. Náraz šíří se s velikou rychlostí celou řadou, a účinek jeho objeví se téměř ihned na druhém konci řady tím, že jedna neb více koulí odskočí, podle toho, jaká byla hmota koule, která náraz způsobila.

Způsobem tomuto zcela podobným podařilo se Huyghensovi vysvětliti velmi pěkně také ten zvláštní úkaz, že světlo přicházejíc z rozličných, ano i z protivných stran, přece se neruší. Tak na př. proč několik lidí týmž otvorem bez závady může prohlížeti, jak je možno, aby dvě osoby v témž okamžiku na vzájem si mohli hleděti do očí, nebo aby dvě vedle sebe postavená světla se osvětlovala. Tyto časté, obyčejné úkazy nebyly tehdá ještě žádnou hypothesou vysvětleny, ba naopak téměř všem domněnkám o světle před Huyghensem vysloveným se příčily a neplatnosť jich dokazovaly.

Nyní následuje nejdůležitější část nové hypothesy, totiž výklad tak zvaného principu Huyghensova, jímž se praví, že jakákoli vlna světelná může odvozena býti nejen přímo od tělesa svítícího, nýbrž také od kteréhokoli dřívějšího svého stavu. Huyghens vykládá princip svůj následovně:

Každá částečka látky, v níž se vlna šíří, musí sdělovati pohyb svůj nejenom nejbližší částečce, která leží ve směru přímky vedené od bodu svítícího, ale též všem ostatním částečkám, které ji obklopují, a staví se jejímu pohybu na odpor.

Tím způsobem utvoří se kolem každé étherové částečky malá vlna „elementární.“ Je-li na př. *DF* vlna, která vznikla v bodě *A* (obr. 2.), tu částečka *B* ležící někde uvnitř koule *DF*, způsobí chvěním svým vlnu elementarní, kteráž dospěje do bodu *C* v tomtéž




Obr. 2.

okamžiku, kdy vlna původní, vzniklá v bodě *A*, rozšíří se na *DF*. I jest patrno, že elementární vlna *KCL* jen bodem *C* splývá s vlnou základní, a že *C* leží na prodloužené přímce *AB*.

Takým způsobem utvoří i ostatní částečky *C* jakékoli dřívější vlny *HJ* zvláštní, podobné vlny elementární; ale každá z těchto nemůže býti leč nesmírně slabá u srovnání s výslednou vlnou *DF*, kteráž jest složená ze všech elementárních. Ku složení tomu přispívá každá tato vlna jen onou částí svého povrchu, která nejdále vzdálena je od bodu svítícího.

Jak patrno, uvažuje tedy Huyghens účinek vln elementárních jen podél plochy obalující, a přijímá za pravdu, že jen na tomto místě znatelný účinek míti mohou. O ostatní části vln elementárních, která ve přímý styk s vlnou hlavní nepřichází, poznamenává: „tout ceci ne doit pas sembler estre recherché avec trop de soin ni de subtilité“ čili jak bychom my řekli: „s tím nedělejme si zbytečných starostí.“ Teprve Frésnel později doplnil s této stránky princip Huyghensův a dokázal obecnou jeho platnosť, spojiv jej se svým principem interference vln elementárních.

Od principu svého přechází nyní Huyghens jednoduchou úvahou k přímočárému šíření se světla. Praví totiž, že každá část vlny může se šířiti jen tak, že rozechvějí se jen částečky obsažené mezi přímkami vedenými od bodu svítícího. Tak na př. část vlny *BG*, jejímž středem jest svítící bod *A*, rozšíří se na vlnu *CE*, omezenou přímkami *ABC* a *AGE*. Pravda sice, že elementární vlny způsobené částicemi nalézajícími se v prostoře *CAE* rozšíří se částečně také mimo tento prostor, avšak nesetkají se nikde tak, aby splynouti mohly v jednu vlnu silnější. Z toho soudí Huyghens zcela správně, že světlo šíří se jen přímočarně, a že tedy za neprůhlednou deskou vzniká stín.

Proti tomu však vystoupil Newton, a ve své Optice vytýká Huyghensovi, že prý by podle toho i zvuk musil tvořiti stín, poněvadž také povstává chvěním šířícím se ve vlnách sférických. Pokud ještě nebyly prozkoumány úkazy ohybu a diffuse, byla námitka tato velmi závažná, a Huyghens ve přídavku k svému spisu „Discours de la Cause de la Pesanteur" hledí ji všemi možnými způsoby vyvrátiti, háje se asi takto:

„Newton praví, že i přisvědčí-li mi v tom, že éther sestává z částeček vzájemně se dotýkajících, nemůže prý přece pochopiti, jak je možno, aby světlo šířilo se proto jen přimočarně a tvořilo tedy stín. To prý se neshoduje s jeho proposicí 42. knihy II., kteráž praví, že pohyb, který se šíří ve snadno pohyblivém ústředí, nepůsobí jediné přímo od svého počátku, ale že i prošed jakýmkoli otvorem, šíří se dále na všecky strany.

K tomu odpovídám již předem, že to, čeho jsem užil k vysvětlení přímého postupu paprsků světelných, nepozbývá platnosti a neodporuje zmíněné proposici. Vždyť netvrdím, že svítí-li slunce oknem do světnice, že vůbec žádný pohyb nešíří se mimo prostor osvětlený, pravím jen, že tyto odchylené vlny jsou slabé a nezpůsobují pocitu světelného. A ač Newton se domnívá, že šíření se zvuku dokazuje, že odchylující se vlny jsou zcela patrny, já přece myslím, že právě ono spíše opak toho dokazuje. Zvuk prochází-li nějakým otvorem, šíří se sice na všecky strany, ale nijak toho nešetří při odrazu. Postavíme-li se totiž proti nějaké stěně tak, že již není možno k ní od nás vésti kolmici, neuslyšíme žádné ozvěny, i kdybychom sebe více křičeli. Nepochybuji také, že pokus, jejž Newton uvádí, že totiž zcela dobře slyšeti jest zvuk i nalezá-li se mezi námi a tělesem zvučícím nějaké stavení, podal by zcela jiný výsledek, kdyby na úplně hladké rovině, na př. na hladině vodní proveden byl, tak aby nic nebylo kolem, co by nějakou část zvuku odrážeti mohlo.

Ve světnici zdá se nám sice, že zvuk přichází přímo od otevřeného okna; ale jest patrno, jak snadno se tu můžeme klamati, když zvukové vlny oknem dovnitř vnikající, na všech stranách se odrážejí a téměř v jediném okamžiku k uchu našemu přicházejí.

Přisvědčuji sice, že vlny vodní procházejíce nějakým otvorem, šíří se po té na všecky strany; ale jsou přece tím slabší, čím více odchylují se od původního směru. Co se však vln zvukových a světelných týče, tvrdím, že ty, které od původního směru se odchylují, jsou při zvuku sluchem téměř nepostižitelny, a při světle že vůbec nijak na nás neúčinkují."

Z toho je patrno, že si dal Huyghens všecku možnou práci, aby námitku Newtonovu vyvrátil; uvedl vše, co tehda na obranu své hypothesy uvésti mohl, seslabil poněkud důvody Newtonovy, ale úplně je přece nevyvrátil. Euler pokusil se později vysvětliti zdánlivou neshodu tuto tím, že přisuzoval vlnám zvukovým možnost všecka tělesa pronikati. Avšak zkušenost ukazuje, že ani tento výklad není dostatečný. Pravá příčina vězí v tom, že vlny zvukové nepoměrně jsou delší než vlny světelné, takže ohyb, který při světle povstával teprvé při otvoru velice zmenšeném, nastává při zvuku ještě při otvorech velmi velikých.*)

Než vraťme se zase k původní své úloze, a seznavše, jakým způsobem Huyghens vysvětluje přímočaré šíření se světla, sledujme jej dále, jak důmyslně užívá hypothesy své k nejrozmanitějším výkladům dalším.

---

*) O pěkných pokusech, jaké v tom oboru vykonal lord Rayleigh podává zajímavé zprávy p. dr. Theurer v „Drobných zprávách" r. XVIII. str. 181 a násled.

## Kapitola II.

### O odrazu světla.

V následujících dvou kapitolách jedná se o tom, jak změní se postup vlny, narazí-li na rozhraní dvou nestejných ústředí. Jak známo, rozdělí se obecně ve dvě jiné vlny, z nichž jedna se odráží do ústředí původního, druhá se láme do ústředí druhého. O vlně odražené jedná kapitola II. I vysvětluje se zde způsobem dosud obvyklým zákon odrazu. Jest to známý výklad rovnosti úhlu dopadu a úhlu odrazu pomocí principu Huyghensova.

Zajímavá jest poznámka, kterouž Huyghens k výkladu připojuje. Praví totiž, že není nutno, aby povrch, na němž se světlo odráží, byl absolutně hladký, jakož dříve vždy bývalo předpokládáno. Vždyť prý takový absolutně hladký povrch ani představiti si nedovedeme, uznáváme-li molekulárné složení hmot. Povrch každého i sebe lesklejšího tělesa, sestává z molekul vedlé sebe položených, a proto jsou prý všecka vysvětlení zákona odrazu nedostatečna, která zakládají se na analogii s úkazem, jaký nastává, narazí-li pružná koule na pružnou stěnu. Nedostatečnosť podobných výkladů jest zvláště patrna, představujeme-li si molekuly étheru mnohem menší než molekuly hmotné. Před Huyghensem však lepšího výkladu nebylo.

## Kapitola III.

### O lomu světla.

V této kapitole, která jedná o změně vlny světelné, přejde-li z jednoho ústředí do jiného, uvažuje Huyghens nejprve, jak je možno, že některá tělesa propouštějí paprsky světelné čili jsou průhledná, jiná nikoli. Výsledek úvahy jeho jest asi tento:

Éther, v němž se světelné vlny šíří, proniká všemi hmotami i průhlednými i neprůhlednými s největší snadností. Každá hmota skládá se z molekul hmotných, a prostor mezi těmito vyplněn je étherem. I možno si představiti, že vlna světelná šířic se i v prostorách mezihvězdných s určitou rychlostí, bude se šířiti mnohem pomaleji v nějaké hmotě průhledné, kde se postupu jejímu v cestu staví molekuly hmotné. Než rovným právem můžeme prý se také domnívati, že světlo nešíří se jenom v molekulách étherových, nýbrž také v molekulách hmoty, a to tím způsobem, že pohyb přechází z jedněch na druhé. Jestli pak molekuly hmotné jsou méně pružny než molekuly étherové, musí prý postup vln světelných ve hmotě býti zase pomalejší než v samém étheru. Aby dále rozlišil tělesa průhledná od neprůhledných, zavádí zvláštní rozdělení molekul hmotných ve tvrdé či pružné, a měkké či nepružné. Tělesa sestávající ze samých pružných molekul jsou prý průhledna, a tělesa, v nichž smíšen obojí druh — neprůhledna, avšak světlo přece odrážející. Nepružné molekuly slouží k tomu, aby světlo nemohlo vnikati dovnitř hmoty, pružné pak, aby na povrchu mohl nastati odraz.

Všem těmto domněnkám však nemusíme přikládati příliš velké váhy. Huyghensovi se také nejednalo o nic jiného, než jen aby se nám postup vln v rozličném ústředí nezdál nemožným. Hypothesy tyto mají tedy spíše uspokojiti naši obraznosť, než činiti nároky na vědeckou přesnosť, o níž ostatně při podobných hypothesách ani mluviti nelze. Huyghens chce jen, abychom mu přisvědčili, že to, co k vysvětlení dalších zjevů světelných předpokládá, totiž že světlo v opticky hustším ústředí pohybuje se s rychlostí menší, není nic neobyčejného, nic dosavadním zkušenostem našim odporujícího, a že to tedy za správné můžeme pokládati, zvláště když tím všecky úkazy snáze a jednodušeji se vysvětliti dají, než kdybychom přisvědčili domněnce opačné. A skutečně výklad, jaký na tomto základě Huyghens o lomu světla podává, jest nejlepší ze všech, které vůbec kdy podány byly.

Zakládá se zase na užití známého nám již principu vln elementárních, pomocí kteréhož se dá vykresliti vlna lomená, známe-li vlnu dopadající a poměr rychlostí v obou ústředích. Z výkresu pak seznáme, že poměr sinusů úhlu dopadu a úhlu lomu jest týž, jako poměr rychlostí světla v obou ústředích. Avšak rychlosti jsou stálé, pokud se ústředí nemění, příslušný jich poměr tedy také stálý a pro daná dvě ústředí charakteristický, tak zvaný index lomu. Vchází-li světlo z ústředí řidšího v hustší, jest tento poměr větší než jednička, čili sinus úhlu dopadu větší než sinus úhlu lomu. K většímu sinusu patří však i větší úhel (aspoň v mezích od $0^\circ$—$90^\circ$) a proto jest v tomto případě úhel dopadu větší než úhel lomu, a nastává tedy vždy lom, a sice, jak se zkrátka vyjadřujeme, lom „ke kolmici“. Při přechodu z ústředí hustšího v řidší, musí býti úhel lomu větší než úhel dopadu, jak nás podobná úvaha snadno poučí. Tu nastává tedy „lom od kolmice“, avšak již ne vždycky. Neboť úhel lomu může se zvětšiti jen až na úhel pravý. Uhel dopadu jest v tomto případě menší než úhel pravý, může se tedy ještě zvětšiti. Tu však světlo již nevniká do řidšího ústředí, avšak nastává tak zvaný odraz úplný či totalní.

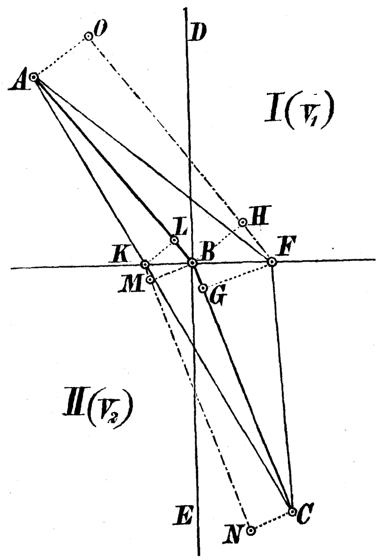
Avšak jak se to srovnává s principem Huyghensovým? Proč by nemohlo světlo vnikati do nového ústředí, když přece dopadá na rozhraní? Jednotlivé částice tohoto rozhraní stanou se pramenem nového chvění, a vlnám elementárním nemůže nic překážeti, aby nevnikaly do druhého ústředí.

Pravda, odpovídá Huyghens, elementární vlny vnikají do ústředí nového, avšak neskládají se v silnější vlnu světelnou a proto nemohou způsobiti pocitu světelného, sama jediná vlnka elementární k tomu nestačí, jest příliš nepatrna a slába.

Proč tedy povstává ten úplný odraz a v čem vlastně záleží? Nakreslíme-li si pro tento případ, když úhel lomu obnáší $90^0$, vlnu lomenou, shledáme, že se tu obalující plocha promění ve přímku, ve výkrese se jevící ovšem jako bod ležící v rozhraní obou ústředí. V této přímce stýkají se a následkem toho i sesilují se vlny elementární vnikající do druhého ústředí. V rozhraní povstane živější pohyb částeček, a vlny elementární skládající se ve vlnu odraženou se tím velmi sesílí; i nastává intensivnější odraz světla, jejž zoveme odrazem úplným či totálním.

Na konci této kapitoly podává Huyghens ještě zajímavé odůvodnění principu Fermatova, ovšem že v původním jednoduchém jeho významu, totiž, že světelný paprsek přecházeje od určitého bodu jednoho ústředí k jinému bodu druhého ústředí, volí vždy cestu co do času nejkratší. Fermat první vyslovil a dokázal zajímavou tuto vlastnosť světla, předpokládaje proti domněnce Descartesově, že světlo mnohem pomaleji prochází na př. vodou a sklem než vzduchem. Avšak důkaz jeho je prý příliš dlouhý a proto podává Huyghens následující, v pravdě velmi jednoduchý a pozoruhodný.

Budiž $KF$ rozhraní dvou ústředí (obr. 3.). Bod $A$ v ústředí řidším a $C$ v ústředí hustším. Paprsek vycházející z bodu $A$ přechází do druhého ústředí, lámaje se v bodě $B$; i máme dokázati, že cesta, kterou vykonal, totiž $ABC$ jest nejkratší ze všech, kterými




Obr. 3.

vůbec se může z $A$ do $C$ dostati. Což kdyby na př. paprsek přešel cestou $AFC$, tak že by $AF > AB$? Veďme $FO \parallel BA$, $BH$ a $AO \perp FO$ a $FG \perp BC$. Poněvadž úhel $HBF$ jest roveň úhlu dopadu a $BFG$ úhlu lomu, platí podle dříve vyloženého zákona, že poměr $HF$ k $BG$ jest týž jako poměr rychlostí $v_1$ ku $v_2$ čili

$$\frac{HF}{v_1} = \frac{BG}{v_2}.$$

To znamená, že čas, jaký potřebuje světlo, aby proběhlo v prvním ústředí dráhu $HF$, rovná se času, jehož potřebuje ku proběhnutí dráhy $BG$ v ústředí druhém. Ponžvadž $AB = OH$, dostane se světlo za stejný čas z $O$ do $F$ a z $A$ přes $B$ do $G$. Avšak $AF$ jest delší než $OF$ a také $FC$ delší než $GC$, trvá tedy celkem cesta z $A$ do $C$ přes $F$ déle než přes $B$.

Snad by tedy přímé spojení z $A$ do $C$ bylo příhodnější? Veďme $AKC$, $KN \parallel BC$, $BM$ a $CN \perp KN$ a $KL \perp AB$. Z týchž příčin jako ve předešlém, jest

$$\frac{LB}{v_1} = \frac{KM}{v_1}$$

a probíhá tedy světlo dráhy $LBC$ a $KN$ v témž čase. Avšak $KC$ jest delší než $KN$, k také $AK$ delší než $AL$ v tomtéž ústředí; potřebuje tedy světlo také v tomto případě delší doby ku proběhnutí vzdálenosti $AC$ přes $K$ než přes $B$.

Tím jest platnosť principu Fermatova dokázána; světlo při přechodu z jednoho ústředí ve druhé volí skutečně cestu nejpříhodnější, co do času nejkratší.

## Kapitola IV.

### O lomu světla ve vzduchu.

Jest známo, že vzduch v nižších vrstvách jest mnohem hustší než ve vyšších, a paprsky vnikající ze prostoru světového do ovzduší, přicházejí tedy do vrstev hustších, a proto nastává stále lom ke kolmici. Následkem toho zdají se nám hvězdy býti mnohem výše, než skutečně jsou, a slunce i měsíc vidíme vždy o něco dříve vycházeti, ale později zapadati. Překvapující úkaz, že někdy nastává zatmění měsíce, ač slunce jest ještě nad obzorem, dá se také jenom tímto klamavým účinkem refrakce vysvětliti.

## Kapitola V.

### O zvláštním lomu v krystalu vápence islandského.

Základní úkazy dvojlomu světla objevil již před Huyghensem *Erasmus Bartholinus* na pěkně průzračných krystalech vápence islandského. Nechal totiž dopadati paprsky sluneční na přirozenou plochu takového krystalu a pozoroval, že se tyto v krystalu rozdělují ve dva paprsky nové, od původního směru rozličně se odchylující. Dopadá-li původní paprsek kolmo ke krystalové ploše, prochází jeden z nových paprsků nelomen v původním směru dále, a druhý odchyluje se asi o $6^1/_2{}^0$. První řídí se zákony obyčejného lomu, a to nejen v tomto jednoduchém případě, nýbrž i dopadá-li světlo pod jakýmkoli jiným úhlem, neboť sinusový poměr jest tu vždy týž (asi $^5/_3$). Druhý paprsek neřídí se obyčejnými zákony lomu, poměr sinusů není stálý, neboť závisí na úhlu dopadu. Paprsek první nazýváme paprskem řádným, druhý mimořádným.

Důmyslný Huyghens soudí nyní zcela správně, že dvěma rozličným lomům musí odpovídati také dvojí šíření se světla. A sice vyslovuje domněnku, že v látce étherové mezi molekulami hmotnými šíří se světlo ve vlnách sférických a způsobuje lom pravidelný. Avšak přechází-li pohyb z molekul étherových také na molekuly hmotné, může prý se následkem toho utvořiti ještě jiná vlna, postupující v různých směrech s rozličnou rychlostí podle toho, jaké jest uspořádání částeček hmotných. A tak prý povstává lom nepravidelný, zvláštní. Tomu zdá se nasvědčovati také pravidelný tvar krystalu, o němž se Huyghens domnívá, že povstal následkem sploštění molekul jej skládajících, které prý snad také je příčinou různé rychlosti světla v rozličných směrech. Podle toho všeho stanoví Huyghens dále za tvar elementárních vln paprsku mimořádného ellipsoid rotační. a zkouší v následujícím, dají-li se pomocí této supposice vysvětliti pozorované úkazy dvojlomu, a možno-li naopak z pozorování souditi na tvar a postavení vlny elliptické.

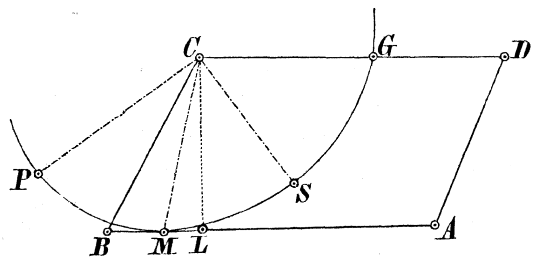
Nejprvé uvažuje, co se stane s vlnou rovnoběžnou s rozhraním, jestliže přejde v ústředí dvojlomné. I přichází zase na základě svého principu k výsledku, že v novém ústředí budou se šířiti dvě rovnoběžné vlny, obalující jednak elementární vlny sferické, jednak elementární vlny elliptické.

Abychom mohli dále přejíti od vln k paprskům, uvažme, že paprsek jest přímka, spojující kterýkolí bod s oním místem, v němž se elementární vlna, v onom bodě vzniklá, dotýká vlny výsledné. A podle toho snadno určíme, že paprsek vlny první jest zároveň její normálou, poněvadž poloměr koule stojí na tečné ploše kolmo, a dále že paprsek vlny druhé odchyluje se od normály, poněvadž přímka spojující střed rotačního ellipsoidu s bodem dotčeným, nestojí obecně na rovině tečné kolmo.

Oba paprsky se tedy rozbíhají, a je-li rozhraním přirozená plocha krystalu a dopadá-li paprsek zase k ní kolmo, položeny jsou vždy v určité rovině, kterou nazýváme hlavním řezem krystalu. Hlavní řez pro kterýkoli bod na povrchu krystalu jest určen normálou plochy v tomto bodě, a přímkou, která tímto bodem prochází a s krystalografickou osou je rovnoběžna.

Abychom určili polohu rotačních ellipsoidů elementárních, uvažme, že každá přirozená plocha krystalu způsobuje tytéž úkazy lomu; i jest patrno, že rotační ellipsoid musí býti ke všem šesti plochám krystalu symmetricky položen, čili jeho osa musí býti rovnoběžná s osou krystalografickou.

Tím určena poloha rotačních ellipsoidů a jedná se tedy ještě o tvar jich, vlastně o poměr poloos $CS$ a $CP$. Ten se však dá počtem snadno nalézti. Budiž $GSMP$ průsek hlavního řezu s rotačním ellipsoidem (obr. 4.). Bod $M$, v němž se přímka $AB$ dotýká ellipsy, musí býti tak položen, aby přímka $CM$ s kolmicí $CL$




Obr. 4.

činila úchylku paprsku mimořádného od řádného, pozorovanou ovšem v tom případě, kdy paprsek původní dopadá na rovinu $CD$ kolmo (dle Huyghense asi $6^{0}40'$). A tu učiníme-li $CM = 100000$, jest, jak výpočet nás poučí, velká poloosa $CP = 105032$ a malá poloosa $CS = 93410$. $CP$ má se tedy k $CS$ přibližně asi tak, jako 9 k 8.

Znajíce nyní polohu i tvar základního ellipsoidu, můžeme pomocí známého principu hledati vlnu lomenou, dopadá-li paprsek šikmo na povrch krystalu. Huyghens pozoruje zase všecky jednotlivé zvláštní případy; výsledky, k jakým dochází, můžeme zkrátka vyjádřiti asi takto: Paprsek dopadající dělí se ve dva nové, z nichž paprsek řádný zůstává vždy v rovině dopadu a řídí se obyčejnými zákony lomu, kdežto paprsek mimořádný zůstává v rovině dopadu jen tehdy, je-li ona zároveň hlavním řezem krystalu; jindy vystupuje z roviny dopadu. V prvním případě možno tedy sestrojiti mimořádný paprsek lomený zcela dle týchž pravidel, jako při lomu obyčejném, jen že místo kruhů, kreslíme příslušné ellipsy, průseky to ellipsoidů s řezem hlavním. Ve druhém případě, poněvadž paprsek mimořádný vystupuje z roviny dopadu, nutno provésti sestrojení v prostoru anebo spokojiti se výpočtem.

Tak seznali jsme, jakým způsobem lze vysvětliti zvláštní lom paprsků rozdělených. Avšak od dob Fresnelových víme o nich ještě více, víme, že oba jsou přímočarně polarisovány, a to v rovinách k sobě kolmých. Pojem paprsku polarisovaného byl však Huyghensovi úplně cizím, a proto můžeme si představiti, jak se asi podivil, když náhodou kdys paprsky jedním krystalem rozložené nechal procházeti krystalem druhým, stejně ku prvnímu položeným a spatřil, že se dále nerozkládají, nýbrž řádný že prochází dále podle zákonů lomu obyčejného a mimořádný podle zákonů lomu zvláštního. To ovšem byl pro Huyghense úkaz velmi překvapující, nesrovnával se s jeho hypothesou, zdál se jí přímo odporovati. Avšak poctivý Huyghens zaznamenává přece toto odkrytí s jeho domněnkou se nesrovnávající mezi množství úkazů ji podporujících, jen aby prý aspoň jiným dána byla příležitosť zkoumati a pátrati dále, aby novými objevy neúplná ještě hypothesa brzo opravena a doplněna býti mohla.

Proč nepovstanou paprsky čtyři, jak by se přece dle předešlého očekávati dalo? rozumuje Huyghens nad zvláštním úkazem, snad že paprsky prošedše vrchním krystalem ztratily moc uváděti v pohyb zároveň obojí látku, i tu, která způsobuje lom pravidelný, i tu, která způsobuje nepravidelný. Avšak tomu prý nemůže býti tak, neboť otočíme-li dolejším krystalem o nějaký úhel menší než 90°, rozdělí se každý paprsek náhle zase ve dva, a z krystalu vycházejí paprsky čtyři. Otáčíme-li spodním krystalem dále, slábnou dva z paprsků těchto, a když úhel otočení obnáší 90°, procházejí spodním krystalem zase jen paprsky dva, avšak řádný láme se dle zákona mimořádného, a mimo řádný dle zákona řádného. Zvětšíme-li otočení, objeví se paprsky čtyři a z těch při dalším točení dva slábnou, a když otočení obnáší 180°, procházejí druhým krystalem zase jen dva paprsky, jako na počátku.

I zdá se, praví Huyghens, že musíme předpokládati, že paprsek prošed krystalem prvním, má zvláštní tvar, nebo postavení, následkem kteréhož přicházeje k ústředí druhému, jednou může v pohyb uvésti obojí látku způsobující dvojí lom, jindy jen jednu z těchto látek. Jak se to však děje, o tom prý ještě neví nic, co by ho uspokojilo: „Mais pour dire comment cela se fait, je n'ay rien trouvé jusqu'icy, qui me satisfasse."

Jak víme, podařilo se velkému geniu Fresnelovu také s této stránky doplniti theorii Huyghensovu, tou zdánlivě tak jednoduchou záměnou vibrací podélných ve příčné!

## Kapitola VI.

## O tvarech těles průhledných a lesklých, které způsobují lom a odraz.

V kapitole poslední zmiňuje se Huyghens ještě o způsobu, jakým podle nové hypothesy dají se snadno stanoviti takové tvary těles průhledných, aby paprsky buď na povrch jejich se odrážející, nebo jimi procházející sbíhaly se v bodě jediném. Nejprve udává všeobecný návod k vyhledání takových tvarů a po té probírá jednotlivé zajímavější příklady.

Vlna světelná vycházející z bodu svítícího, má s počátku podobu koule a paprsky stojí na ní kolmo; jsouť to její poloměry. Rozšíří-li se až k určitému rozhraní dvou homogenních ústředí, nastává v nejpříznivějším případě odraz i lom, a dle principu Huyghensova obdržíme odraženou nebo lomenou vlnu, sestrojíme-li kolem každého bodu rozhraní příslušné vlny elementární. Paprsky jsou, jak víme, poloměry vln elementárních vedené k bodům styku s vlnou výslednou. Avšak v ústředí homogenním jsou vlny elementární vždy koule, a mají tedy paprsky lomené nebo odražené k vlně vždy směr normální, a mají-li se v jediném bodě sejíti, musí vlna odražená nebo lomená míti podobu koule, jejímž středem jest bod, k němuž paprsky směřují. Z toho následuje bezprostředně, že paprsky z jednoho bodu vycházející a v jiném se sbíhající, probíhají cesty mezi oběma body v čase stejném.

Podle této věty řeší Huyghens množství zajímavých úloh, hledaje vždy tvar, jaký musí míti povrch lesklého nebo průhledného tělesa, aby odražené nebo lomené paprsky vyhovovaly určitým podmínkám. Úlohy podobné zahrnuje v sobě tak zvaný problém ploch kaustických.

## Závěrečná úvaha.

Ku konci přehlédněme ještě zkrátka, v čem záleží veliký význam spisu „Traité de la lumière."

Co do stránky věcné spočívá důležitost a veliký význam Huyghensova spisu v tom, že v něm poprvé bedlivému rozboru podrobeny i ty nejjednodušší úkazy, týkající se na př. přímočarého se šíření světla, a že, po uvážení všech vlastností světla, zvláště poměru jich ku podobným vlastnostem zvuku podána i jednoduchá hypothesa světelná, a na jejím základě i snadné vysvětlení všech zjevů tehdáž známých. Nejdůležitější částí vlastní hypothesy jest bez odporu genialní výklad o šíření se jakékoli vlny světelné v ústředí isotropickém, a mistrné přizpůsobení výkladu tohoto i na nestejnorodé ústředí dvojlomných krystalů jednoosých, šťastnou volbou rotačního ellipsoidu za tvar vlny paprsku mimořádného.

Abychom však nesmrtelné zásluhy Huyghensovy také z dějepisné stránky dostatečně oceniti dovedli, uvažme, na jak nepatrné výši nalézaly se vědomosti naše o světle před Huyghensem, jak dlouhá minula doba, řekněme jen od Aristotela až do vydání spisu Huyghensova, a jak málo za ta dvě tisíciletí pokročila věda v optice. Roku 1690 vydáno „Traité de la lumière", a podáno v něm tak úplné vysvětlení nejrůznějších zjevů světelných, že se zdá, že hypothesa Huyghensova musila s úžasem a nadšením přijata býti od celého učeného světa, avšak ve skutečnosti nastal pravý toho opak. Roku 1698. vydal totiž veliký Huyghensův vrstevník J. Newton svou Optiku, a v ní uveřejnil zcela novou hypothesu světelnou, kteráž založena byla na mylné domněnce, že světlo povstává výronem částic světelných z tělesa svítícího. Autorita velikého původce způsobila však, že hypothesa tato téměř po celých sto let zatlačovala jednoduchou hypothesu Huyghensovu; teprvé na počátku našeho století, když Wollaston nalezl, že úkazy dvojlomu úplně odpírají emanační theorii Newtonově, kdežto s výkladem Huyghensovým zcela se shodují, nalezla theorie undulační četných zástanců, a zapomenuté Popelce kynula po dlouhé době zase spása. Úsilovnější badání a přemýšlení vedlo učence k novým a novým, dosud netušeným objevům, a původně jen zhruba načrtaná hypothesa změnila se záhy v ladný, jednotný a do nejmenších podrobností propracovaný celek.

V tom již těžko poznáš tahy původní; zmizely zdánlivě pod množstvím jednotlivostí, avšak v pravdě činí základní a nejdůležitější část, na níž vše ostatní spočívá.

Huyghens zahájil klassickým spisem svým novou stkvělou periodu v dějinách optiky, a hypothesa jeho, zvláště pracemi Youngovými, Malusovými a Fresnelovými zdokonalená a doplněná, náleží dnes mezi hypothesy pravdě nejpodobnější.

---

# Poznámka o jisté úloze astronomické.

Podává

**dr. V. Láska,**

assistent astronom. ústavu české university.

Úloha, o níž chceme se zmíniti, použita Gaussem v jeho veledíle „Theoria motus corporum coelestium" (str. 86.), kde též naznačeno její analytické řešení, které provedl později obšírně Grunert*). Méně zdlouhavé a obtížné jest řešení ryze geometrické.

Úloha sama zní: Budiž sestrojena kuželosečka, dáno-li tré průvodičů

$$\varrho_1 = OA, \quad \varrho_2 = OB \quad \text{a} \quad \varrho_3 = OC$$

jak velikostí, tak směrem.

Sestrojme v konečných bodech průvodičů A, B, C tři spolu rovnoběžné přímky kteréhokoliv směru a nanesme na ně délky AA′, BB′, CC′, daným průvodičům úměrné, tak že

$$\frac{OA}{AA'} = \frac{OB}{BB'} = \frac{OC}{CC'} .$$

---

*) Beiträge zur reinen und angewandten Mathematik, 1840, sv. II.