

S. I. VAVILOV

O „teplém“
a „studeném“ světle

*Tepelné záření
a luminiscence*

P R A H A

Přírodovědecké vydavatelství

1951

Z ruského originálu О „теплом“ и „холодном“
свете (тепловое излучение и люминисценция),
který vydalo Izdatělstvo Akaděmii nauk SSSR
v Moskvě a Leningradě r. 1949, přeložil Karel Pá-
tek. Obálku navrhl a graficky upravil Miloš Hrbas.

Předmluva

Roku 1941, na začátku Velké vlastenecké války, jsem měl v hlavním městě Marijské ASSR Joškar-Ola veřejnou přednášku na thema „Chladné světlo“. V těchto dobách těžkých zkoušek naší vlasti bylo užitečné co nejvíce rozšířit poznatky o luminiscenci, zejména v jejích aplikacích na zatemnění. Přednáška byla doprovázena mnohými ukázkami. Roku 1942 byla vydána Akademií věd SSSR.

Do knížky »O „teplém“ a „studeném“ světle« byla zařazena část zmíněné přednášky. Jsou do ní dále vedle některých nových faktů zařazena určitá místa z některých mých článků.

Otázky racionálního osvětlení a osvětlovací techniky mají rok od roku stále větší význam pro naše národní hospodářství a kulturu. Úkolem této knížky je seznámit široké kruhy sovětských čtenářů s některými úspěchy osvětlovací techniky v theoretické i praktické oblasti a rovněž i s nerozřešenými otázkami, které teprve před ní stojí.

Na konci knihy je přiložen seznam doporučených knih o otázkách luminiscence, které mohou čtenáři pomoci prohloubit jeho znalosti.

Červenec 1949.

S. Vavilov.

„Teplé světlo“ a chladné záření

Je třeba se zamyslet nad neškodným světlem hnijících dřev a světélkujícího hmyzu. Je nutno říci, že světlo a teplo nejsou vždy spolu spojeny, a proto jsou různé podstaty.

M. V. Lomonosov.

„Je to podivuhodná věc — svíčka“.

M. Faraday, Dějiny svíčky.

Úloha umělého světla ve vývoji společnosti je veliká a mimořádná. Jeden z nejdůležitějších objevů člověka — ovládnutí ohně — je nutno hodnotit nejenom jako první etapu vědomé energetiky, nýbrž do značné míry i jako počátek dějin osvětlovací techniky.

Roku 1937 spotřeboval Sovětský svaz na osvětlení šestinu celé tehdy vyrobené elektrické energie, což představuje asi 6 miliard kilowatthodin. Ale i tento velmi podstatný podíl několika miliard kilowatthodin necharakterisuje ještě dostatečně význam umělého osvětlení.

Světlo je nutnou podmínkou práce oka, nejjemnějšího, nejuniversálnějšího a nejmocnějšího smyslového orgánu. Noc zbavuje člověka tohoto orgánu, proměňuje aktivní život v pasivní. Úkolem umělého světla je udržet činný, bdělý stav vědomí. Umělé světlo fakticky prodlužuje vědomou existenci člověka a v tom je především jeho veliký význam. Nemůžeme se proto divit, že v naší době se otázka množství světla stává velikým technicko-hospodářským problémem.

Zdroje světla, které lidstvo mělo ve svém vývoji a s kterými se každý z nás dodnes setkává ve svých prvních životních zkušenostech (louče, svíčky, elektrické, petrolejové a jiné lampy), jsou vždy žhavé: přímé sluneční paprsky hřejí a dokonce pálí, a proto již od nepamětných dob, daleko před jakýmikoli astronomickými teoriemi a výzkumy, vzniklo v člověku přesvědčení, že Slunce je velmi žhavé. Říká-li lid o zimním slunci, že „svítí, ale nehřeje“, pak tím míní, že je to paradox, vnitřní protiklad. Na půdě takového předvědeckého a zvykového spojování a splývání představy teplého tělesa a světla vyrostly starověké teorie světla, ztotožňující teplo se světlem. Podle názorů mnoha starověkých fyziků a filosofů je světlo jenom rozředěný oheň. Oheň je zase naopak zhuštěné světlo. Tento názor se udržel ve vědě velmi dlouho; tak uvažoval ještě v 17. století Newton, když kladl otázku: „neproměňují se větší tělesa ve světlo a naopak?“ Bylo zvykem psát obšírné disertace na thema „Světlo a oheň“. Poměrně pozdním příkladem takového spisu může být pojednání z konce 18. století „O ohni“, napsané slavným francouzským revolucionářem a vědcem J. Maratem. To je důvod, proč slova „chladné světlo“ vyvolávají dodnes nedorozumění, kdežto slova „teplé světlo“ zní daleko pochopitelněji a přirozeněji.

Pro moderní vědu jsou však oba názvy, „teplé“ a „studené světlo“, stejně podivnými a relativními. Pro vědu mají skoro takový význam jako „jasný zvuk“ nebo „hlasité teplo“. Pojmy „teplé“, „oheň“ a „světlo“ jsou již dávno na sobě zcela nezávislé. Teplo — to je energie neuspořádaného pohybu molekul a atomů, z nichž se těleso skládá; oheň je rozžhavený plyn; světlo jsou elektromagnetické vlny stejné podstaty jako vlny radiové, šířící se ohromnou rychlostí asi 300 000 km/sec. Oheň může být velmi žhavý, ale současně i nesvítit. Takový je třeba plamen hořícího vodíku a čistého lihu. Pojem tepla se týká látky, pohybu částic, atomů a molekul, z nichž se těleso skládá. Ve světelném proudu není atomů ani molekul, alespoň v normálním

chemickém slova smyslu, které bychom mohli zrychlovat nebo zpomalovat, a proto nemá smyslu mluvit o „chladu“ nebo „teplotě“ světla.

Tyto nesporné vývody stále ještě nedokázaly vykořenit z praxe názvy „teplé“ a „studené světlo“. Naopak, jak se šířily nové zdroje světla a jiná zařízení (o kterých si ještě povíme), počalo se o „studeném“ nebo „chladném“ světle mluvit a psát daleko častěji než dříve. Proto je nutno se s tímto s vědeckého hlediska nevhodným názvem smířit. Je nutno ho používat a do jisté míry dokonce i ospravedlnit.

Vnitřní rozpor a nedorozumění v pojmu teplého a chladného světla se značně otupí, budeme-li místo o „studeném“ a „teplém světle“ hovořit o světle, šířícím se z teplého a studeného zdroje. Ale ani při takovém omezení nezmizí všechny obtíže. Z dalšího vysvitne, že jakékoli studené těleso vyzařuje vždy jisté množství tepelného záření, a naopak, žhavé těleso může být v některých případech zdrojem „studeného“ světla.

Abychom se mohli v těchto dosti jemných otázkách vyznat je třeba přejít k prozkoumání skutečných zdrojů světla. Začneme obyčejným „teplým“ světlem.

Je dobře známo, že světelnému zdroji, který dnes stále ještě převládá — elektrické žárovce — předcházelo mnoho tisíc let vývoje a zdokonalování. S principiálního stanoviska se žárovky stále ještě velmi málo liší od obyčejné louče. Na obou koncích tisíciletého vývojového žebříčku nacházíme rozžhavené tuhé těleso jako zdroj záření. Z počátku to byly částičky uhlíku v plameni louče, na konci je to rozžhavený kov wolfram. Rozdíl spočívá v teplotě a v jiných důležitých a podstatných, ale nikoli zásadních podrobnostech.

Prozkoumáme nejprve obvyklé zdroje „teplého“ světla. Zapálíme sirku, jež dá na malou chvílku žlutavý plamen a světlo. Teplota plamene je značně vysoká, více než 1500°C. Budeme-li přitom sledovat zápalku podrobněji, zpozorujeme na začátku hoření (alespoň u některých druhů zápalek)

zvláštní jasně žluté světlo, jako když do bezbarvého plamene plynu zavedeme kuchyňskou sůl. Jakmile se plamen uklidní, má jeho část okolo dřívka zápalky slabé modravé zabarvení. Avšak největší část plamene svítí obvyklým žluto-oranžovým, „teplým“ světlem, vznikajícím rozžhavením drobounkých sazových prášků, které jsou v plameni. U stearinové svíčky se setkáváme s tímtéž obrazem — žluto-oranžovým plamenem a slabě svítící modrou částí u knotu; také zde vychází světlo hlavně z částiček uhlíku, soustředěných v plameni a rozžhavených nad 1500°C . Jen málo se od toho odlišuje petrolejová lampa a dokonce i žárovka. V prvních modelech žárovky, vyrobených Ladyginem a Edisonem, svítilo uhlíkové vlákno, rozžhavené proudem. V uhlíkové žárovce je teplota asi o $100\text{--}200^{\circ}$ vyšší než ve svíčkách a loučích. V moderních wolframových žárovkách dosahuje teplota asi 2700° . Kvalitou vydávaného světla jsou tyto žárovky stále ještě blíže louči než Slunci. Teplota Slunce je blízka 6000° ; dodnes se nepodařilo v prakticky uskutečnitelných podmínkách rozžhavit do takové teploty ani jedno těleso. Překážkou je tání a vypařování kovů. Wolfram je v tomto směru nejvýhodnější [jeho bod tání je 3660° (absolutních) a málo se vypařuje]. Pokusy o použití místo rozžhaveného tělesa uhlíkových sloučenin, karbidů různých kovů (na příklad tantalu), u nichž je bod tání ještě vyšší, nevedly dosud k dobrým výsledkům.

Dokonce i při povrchním pozorování jsou nám nápadné některé společné rysy nejrůznějších „teplých“ světelných zdrojů — zápalek, svíček, žárovek, Slunce i jiných zdrojů. Jedna z takových zvláštností spočívá v tom: Zdroj svítí za téže teploty tím jasněji, čím je svítící těleso temnější, černější. Na příklad za téže teploty průzračné křemíkové sklo nesvítí skoro vůbec, ale kousek černého uhlíku svítí zcela pěkně. Černost stejně jako bělost nemohou samozřejmě růst do nekonečna, existuje zde jistá hranice, kdy se všechno světlo, jakékoli barvy, které na těleso dopadne, beze zbytku pohltí. Těleso takových vlastností nazýváme „absolutně

černým tělesem“. Uskutečnit takové těleso s dobrým přiblížením k požadovaným podmínkám není příliš těžké. Všem je dobře známo, že pohlédneme-li za slunečního dne, kdy všechno kolem jen svítí a září, z dálky otevřeným oknem do zavřené místnosti, zdá se nám i vnitřek místnosti uhlově černý, třebaže jsou jeho stěny nabíleny nebo obarveny světlými barvami. To nastává tím, že paprsky světla, které dopadají do místnosti, jsou tam nevyhnutelně po mnoha odrazech a rozptylech pohlceny a nedostanou se již ven.

Z toho již snadno pochopíme, jak sestrojiti absolutně černé těleso a že je lze zhotoviti z libovolného materiálu — uhlíku, železa, bílého mramoru a pod., vytvoříme-li z něho nějaký uzavřený prostor s malinkým otvorem. Takový otvor se pak bude chovat jako absolutně černé těleso.

Absolutně černé těleso je možno nahřát na vysokou teplotu, třeba až do žhavého stavu, a udržovat jeho žár stálým. Stěny dutiny v tělese budou vyzařovat světlo, které bude opět stěnami pohlcováno. Naše těleso je absolutně černé, to znamená, že jeho pohlcování je maximální, t. j. úplné. Současně jsme však učinili opatření, aby teplota tělesa byla konstantní; proto maximální pohlcování je vyrovnáváno maximálním zářením (jinak by se totiž rovnováha porušila, teplota by klesla nebo stoupla).

Docházíme tedy k závěru, že *nejenom pohlcování, nýbrž i vyzařování absolutně černého tělesa musí být maximální*. Současně z této úvahy plyne, že *maximální vyzařování, stejně jako pohlcování, nemůže záviset na materiálu, z něhož je těleso vyrobeno*. Tento závěr má ohromný theoretický význam. V něm je obsažena základní příčina veliké shody nejrůznějších tepelných světelných zdrojů. Louč, zápalka, Slunce, žárovka se svými vlastnostmi, — všechny jsou dostatečně „černé“, jsou blízké absolutně černému tělesu. Rozdíl mezi nimi je ve značné míře vyvoláván tím, že teplota Slunce je rovna přibližně 6000° , kdežto u zápalky činí asi 1500° . Je-li teplota nízká, těleso nemůže zářit (na účet rozžhavení) žádným větším viditelným světlem, bude vyzařovat hlavně

neviditelné infračervené paprsky o dlouhé vlnové délce. Při zvýšení teploty začne těleso vysílat temně rudé světlo. Při dalším vzrůstu teploty se světlo stane oranžovým, žlutým a nakonec bílým. Po kvalitativní stránce to platí jak pro absolutně černé těleso, tak na příklad i pro žárovku.

Je však nutno učinit jednu důležitou poznámku. Duté těleso s nevelikým otvorem pohlcuje úplně všechny paprsky libovolné barvy, s libovolnými délkami vlny. Existují však tělesa (která ovšem nemají tvar dutiny), která pohlcují úplně jenom paprsky určité barvy, určité vlny. Taková tělesa je rovněž možno nazvat absolutně černými, ale jenom pokud jde o některé vlnové délky. Podívejme se na příklad na plamen lihu nebo na plynový plamen v kyslíku. Takové plameny jsou bezbarvé, třebaže jejich teplota je vysoká. Dopravme nyní do plamene trochu obyčejné kuchyňské soli. Plamen dostane ostré žluté zabarvení, takové, jaké má zápalka na samém počátku hoření. Zatím co plamen zůstává vcelku průzračný, začne silně pohlcovat světlo v úzkém oboru světelných vln, v žluté části spektra, kde se stává absolutně černým. Právě proto také svítí.

Pro lepší vysvětlení této podstatné okolnosti se podíváme ještě na jeden zajímavý pokus. Chemické prvky, nazývané vzácnými zeminami, jako na příklad neodým, praseodým, samarium atd., dávají při svém zavedení do skla (nebo křemene) ve spektru velice úzké a silné absorpční (pohlcující) pásy. Je možno zhotovit tyčinku nebo vlákno ze skla nebo křemene s příměsí některých vzácných zemin. Rozžhavíme-li takovou tyčinku a podíváme se na ni spektroskopem, ukáže se, že svítí jenom několik ostrých čar, které právě odpovídají pohlcování vzácnými zeminami; ostatní části spektra jsou temné, protože sklo nebo křemen ve viditelné části spektra nejeví pohlcování, a proto při rozžhavení nesvítí. Popsaná tyčinka se stala černou jenom v některých úzkých spektrálních oblastech.

To co jsme si právě pověděli nám umožní vysvětlit některé již dříve zmíněné zvláštnosti hoření zápalky a svíčky.

Jasně žluté zazáření na začátku hoření zápalky (u některých druhů) se vysvětluje tím, že v hlavičce zápalky je nepatrné množství sodíku, které ovšem rychle shoří. Příčina slabého modrého záření u dřívka sirky nebo u knotu svíčky se vysvětluje tím, že se v těchto částech plamene ještě nevytvořily saze. Zde plyny, jevící slabé pohlcování v modré části spektra, svítí svým vlastním modrým tepelným zářením. Jakmile se začnou vylučovat saze, je tento slabý svit překryt tepelným zářením rozžhavených sazí.

Obvyklé oranžově-bílé „teplé zbarvení“ světla loučí a žárovek není tedy naprosto žádným důkazem toho, že máme před sebou tepelný zdroj světla. Tepelný zdroj může vydávat světlo, soustředěné v jednotlivých spektrálních čarách a pásech, jejichž zbarvení naprosto nemusí být „teplé“, ale třeba modré, a přesto zdroj zůstane tepelným zdrojem.

Pojem tepelného rovnoběžného záření byl zaveden výše při studiu absolutně černého tělesa. V okolním světě je však mnoho těles, jež určitě nejsou černá ani v úzkém oboru spektra. Všechna tělesa (pokud jim nedáme uměle tvar dutiny s malým otvorem) odrážejí, rozptylují a propouštějí v jisté míře část dopadajícího světla, a proto nemohou být absolutně černá. Taková tělesa je však vždy možno rozžhavit a udržovat jejich teplotu konstantní. Naše vlastní tělo je, jak známo, teplé a má za normálních podmínek dosti konstantní teplotu. Musí zde tedy existovat rovnováha mezi zářením a pohlcováním světla. Označme písmenem a tu část dopadajícího světla, která je zkoumaným tělesem pohlcena. Označme na druhé straně písmenem E zářivou energii absolutně černého tělesa při téže teplotě, jakou má studované těleso, a písmenem e zářivou energii našeho tělesa. Pak z podmínky rovnováhy mezi vyzařováním a pohlcováním musí nutně plynout:

$$e = a \cdot E,$$

protože pohlcená energie je rovna $a \cdot E$; v tomto důležitém zákonu je nutno pamatovat, že všechny v něm se vyskytu-

jící veličiny, a , e , E se týkají určité vlnové délky světla λ a určité teploty T . Jinými slovy, napsaný zákon je možno vyjádřit takto: poměr tepelné zářivosti libovolného tělesa k jeho schopnosti pohlcování (za daných λ a T) je roven zářivosti absolutně černého tělesa za těchže λ a T .

Vycházíme-li takto z nejobecnějších představ o tělesech, předpokládáme-li totiž, že mohou v nějaké míře pohlcovat světlo a zachovávat při tom stálou teplotu, docházíme k závěru, že libovolné těleso v přírodě, tuhé, kapalné i plynné, musí nutně vysílat tepelné záření, jakmile je jen v tepelné rovnováze (ovšem za teploty nad absolutní nulou). V závislosti na stupni rozžhavení bude toto světlo buď viditelné nebo neviditelné, ale vždy existuje.

Tak jsme si již ukázali, je snadno dokázat, že nemůže existovat těleso, jehož tepelné záření by bylo vyšší než záření absolutně černého tělesa za téže teploty. V tomto smyslu je absolutně černé těleso nejlepší, nejdokonalejší tepelný zdroj záření a Faraday byl proto oprávněn se podívat slovy, která jsme uvedli na začátku kapitoly, nad obyčejnou svíčkou, jejíž vlastnosti jsou dosti blízké absolutně černému tělesu, nemluvě již o praktických jejích přednostech.

Tato „dokonalost“ absolutně černého tělesa a jemu blízkých svíček a žárovek je však velmi relativní a podmíněná. Háček je v tom, že všechny „tepelné“ zdroje záření jsou v technickém smyslu velmi nevhodné, proměňují ve viditelné světlo jenom nepatrnou část spotřebované energie. Pro absolutně černé těleso, jehož teplota je 2000° , se jenom asi 0,3% energie promění ve viditelné světlo, při teplotě 3000° stoupne účinnost na 3%. Nejvýhodnější je pracovat při teplotě okolo 6000° , t. j. při teplotě Slunce. Příčina této na první pohled divné shody spočívá v tom, že se lidské oko v průběhu vývoje biologicky přizpůsobilo slunečnímu světlu, a proto je světlo tepelného zdroje sluneční teploty nejvhodnější. Avšak ani hospodárnost tohoto nejvýhodnějšího absolutně černého tělesa není příliš veliká, koeficient účin-

nosti je asi 13%, t. j. 87% veškeré spotřebované energie je pro oko zbytečné. Pro dnešní nejhospodárnější žárovky, které mají nejčastěji výkon 100 wattů, dosahuje koeficient účinnosti pouze 2—3%.

Přirozeně vznikají dvě otázky. Za prvé: Proč není možno proměnit všechnu energii, dodanou absolutně černému tělesu, nebo alespoň její podstatnou část ve viditelné světlo? Co se tomu staví v cestu?

Za druhé: Je možno tuto hranici nějak obejít a získat světelný zdroj, který by zářil více než absolutně černé těleso?

Zodpovíme nejprve otázku první. Nelze zamlčet, že odpověď na tuto otázku nebyla pro fysiky snadná, že byla nutná ve skutečnosti celá revoluce ve vědě, že bylo třeba zavrhnout mnoho všeobecně uznávaného a považovaného za nespornou pravdu.

Jestliže absolutně černé těleso zachovává konstantní teplotu a současně vyzařuje světlo, pak se zřejmě celá přiváděná energie proměňuje v záření. Jenom nepatrná část tohoto záření je viditelná, ostatní část záření je soustředěna hlavně v oblasti neviditelných infračervených paprsků s menším kmitočtem, tedy s větší vlnovou délkou než má viditelné světlo. Přiváděná energie, proměňující se ve světlo, se rozděluje na jednotlivé vlnové délky a vytváří spojitě spektrum tepelného záření. Proces probíhá podobně jako proměna uspořádaných forem energie, na příklad mechanické nebo elektrické, v teplo. Molekuly látky se přitom uvádějí do postupného, kmitavého a rotačního pohybu s nejrůznějšími rychlostmi, rozdělenými spojitě. Takové rozdělení se uskutečňuje prostřednictvím neuspořádaných vzájemných srážek molekul. Počet molekul v daném objemu je konečný a použijeme-li tedy obvyklých pravidel statistického počtu, můžeme stanovit nejpravděpodobnější střední energii molekul a zákon rozdělení energie na jednotlivé molekuly.

Do konce 19. století bylo obecně uznávanou věcí, že světlo je vlnivý pohyb prostředí, vyplňujícího prostor. Je-li však světlo skutečně takové, pak na rozdíl od částic látky, jejichž

počet v konečném objemu je konečný, musí za rovnováhy v tepelném záření existovat nekonečné množství možností rozdělení světelné energie na světelné vlny.

Ve skutečnosti, jelikož záření absolutně černého tělesa nemůže pro jakékoli vlny záviset na podstatě zářící látky, z níž je těleso zhotoveno, t. j. v jeho spektru nemohou být žádné charakteristické čáry nebo pásy, musí zde být zastoupeny všechny kmitočty, od nejmenších až k největším, ve spojitém pořadí. Při tom jsou se stanoviska staré klasické vlnové teorie světla všechny kmitočty rovnoprávné a nemájí navzájem žádných předností. To znamená, že na každý nekonečně malý obor kmitočtu ve spektru musí za podmínek rovnováhy v průměru připadnout vždy tentýž nekonečně malý podíl energie.

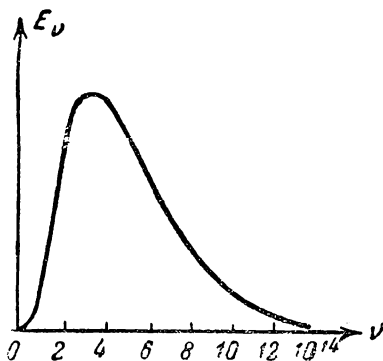
Jinak je jasné, že jak budeme přecházet od malých kmitočtů k stále větším, principiálně k nekonečně velikým kmitočtům, setkáme se se stále větším počtem nekonečně malých intervalů kmitočtů, z nichž na každý připadá stejný nekonečně malý podíl energie. Jinými slovy, se stanoviska klasické vlnové nauky o světle, musí za tepelné rovnováhy zářivá energie nutně neustále růst, jak se blížíme po spektru od červené k fialové části. Tento závěr se však naprosto rozchází s pokusem. Ve skutečnosti ve všech tepelných zdrojích, počínajíc absolutně černým tělesem, existuje jisté maximum záření, které je v případě teplot pod 4000° v infračervené oblasti spektra a teprve dalším zvyšováním teploty se postupně přesouvá do viditelné části (žluté, zelené atd.) spektra. Ve fialové části, v rozporu s theoretickým předpokladem, energie za normálních teplot nestoupá, nýbrž naopak prudce klesá. Takový rozpor pokusu a nejobecnějších představ o látce byl fyzicky jistě právem nazván svého času „ultrafialovou katastrofou“; znamenal skutečně nutnost naprosto se zřeknout mnohých zakořeněných názorů, vedl k naprostému převratu v přírodovědě.

Pokus ukázal, že se energie rozděluje na jednotlivé kmitočty přibližně asi tak, jako tepelná energie na jednotlivé

molekuly, t. j. je zde zřetelné maximum. Jediné možné vysvětlení této zkušenosti (do jisté míry již naznačované analogií s molekulami) spočívá v tomto: V rozporu se všemi dřívějšími názory, nehledě na nepochybně vlnový charakter šíření světla v prostoru, je nutno předpokládat, že energie světla je soustředěna v nějakých centrech, že světlo je pohlcováno a vyzařováno molekulami jenom ve formě celých „dávek“ energie, nazvaných *kvanty*. Velikost kvanta není stálá, je úměrná kmitočtu světelných vln, ale faktor úměrnosti h je vždy týž. Je to velmi malá, ale dnes již přesně známá veličina, rovná $6,62 \cdot 10^{-27}$ erg. sec.

Energie kvanta je zcela nepatrná pro radiové vlny, kde je proto nespojitý charakter záření prakticky nepozorovatelný, ale kvantum dostává stále významnější velikost při přechodu k viditelnému světlu a k Roentgenovým paprskům. Zde se „zrnitost“ světelné energie projevuje zcela jasně a ostře.

Téměř půl století po objevu kvant energie byly objeveny nescíslné jiné důkazy jejich existence. Dnes je to již pevně stanovená pravda. Představa světelných hmot plně vysvětlila vlastnosti tepelného záření a dala možnost vypočítat pro



Obr. 1.

absolutně černé těleso a libovolnou teplotu spektrum záření. Na obr. 1. je takovýmto způsobem vypočteno rozdělení energie ve spektru tepelného záření absolutně černého tělesa při sluneční teplotě 6000° (absolutních). Na ose úseček jsou naneseny kmitočty světelných kmitů ν . Při přechodu od kmitočtů k vlnovým délkám, vyjádřeným v centimetrech, je nutno rychlost světla $3 \cdot 10^{10}$ cm/sec dělit kmitočtem ν . Maximu nakreslené křivky odpovídá vlnová délka 0,483 mikronů, t. j. modrozelená oblast spektra. Na obr. 2. je v

úsporném logaritmickém tvaru vyjádřeno rozdělení energie ve spektru absolutně černého tělesa pro veliký interval teplot, od absolutní nuly až do $50\,000^\circ$ (abs.). Na ose úseček jsou naneseny logaritmy vlnových délek v centimetrech, na pořadnice jsou naneseny logaritmy veličiny úměrné intenzitě záření. Skutečné délky vlny jsou naneseny na spodní stupnici v mikronech. Při takovém vyjádření jsou maxima spekter na přímce, jak to vidíme na obrázku. Z tohoto obrázku je ihned patrné, že teplotě lidského těla odpovídá maximum záření absolutně černého tělesa okolo 10 mikronů, v daleké neviditelné infračervené části spektra. Maximum záření obvyklých zdrojů světla za teplot okolo 3000° (abs.), odpovídá přibližně asi jednomu mikronu, t. j. rovněž se ještě nalézá v neviditelné infračervené části spektra.

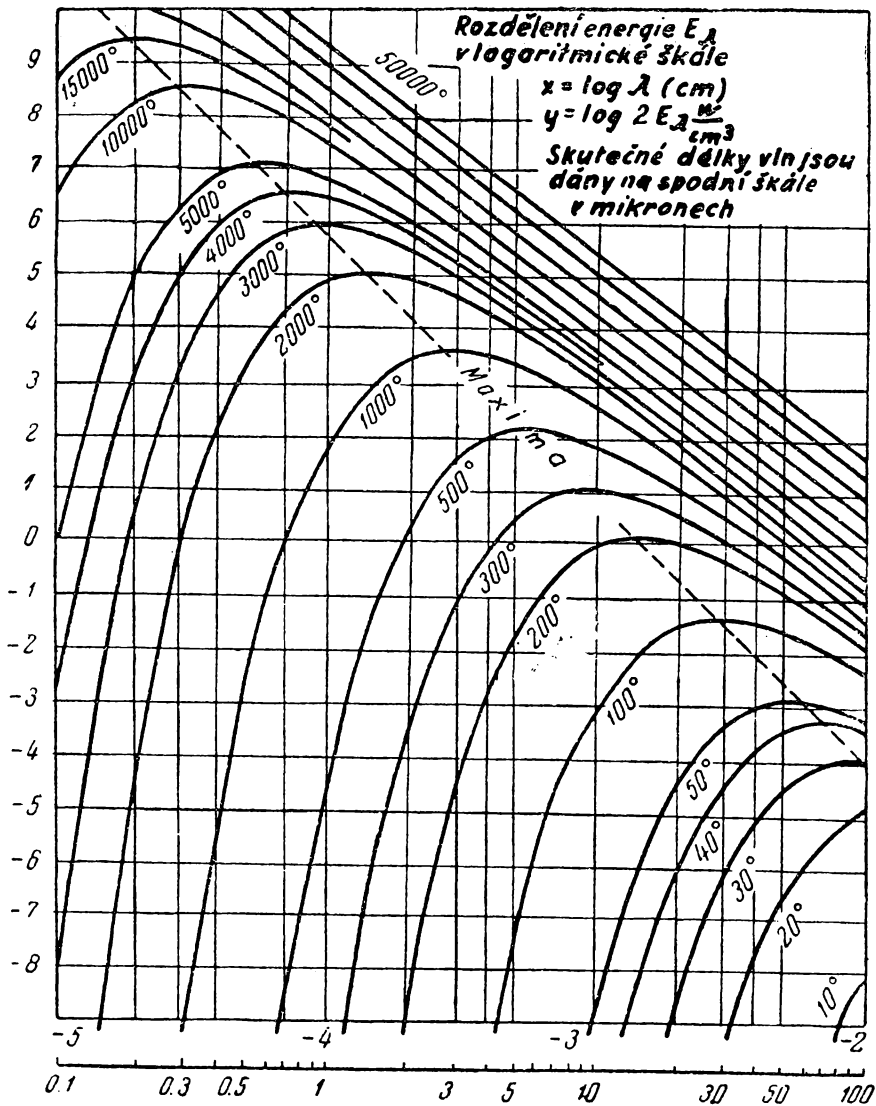
Na základě dříve vyloženého zákona (str. 14) lehko pochopíme, že pro jiné než černé zdroje záření, t. j. takové, které nepohlcují dopadající světlo úplně, spektrální křivky záření budou ležet níže. Křivky na obr. 2 označují horní možnou hranici, „strop“, pro tepelné zdroje záření.

Teprve když se podařilo zjistit kvantový charakter záření a pohlcování světla, bylo možno odpovědět na první otázku, kterou jsme si dali — proč je totiž světelná účinnost tepelných zdrojů tak malá. Před objevem kvant to zůstávalo svou podstatou neřešitelnou úlohou.

Nyní víme, že za tepelné rovnováhy absolutně černého tělesa musí střední tepelná energie jeho molekul, účastnících se tepelné výměny, být rovna střední energii světelných kvant, která jsou s molekulami v tepelné rovnováze; jinak by byla rovnováha porušena*. Přitom je nutno pamatovat, že se energie ve spektru rozděluje na obě strany od zmíněné střední hodnoty. Jak je patrné na obr. 1. a 2., dokonce i za nejvýhodnějších podmínek, za teploty blízké 6000° , kdy maximum tepelného záření souhlasí s maximem spektrální

* V jiných než černých tělesech bude jejich poměr jiný. Jenom část tepelné energie se zde může v důsledku neúplného pohlcování světla zúčastnit energetické výměny se světlem.

20000° 25000° 30000°



Obr. 2. Rozdělení energie E_λ v logaritmické stupnici. Úsečka — $\log \lambda$ (cm). Pořadnice — $\log 2E_\lambda \text{ Wcm}^2$. Skutečné délky vln jsou udány na dolní stupnici v mikronech.

citlivosti lidského oka, je hlavní část zářivé energie rozložena na obě strany od maxima, t. j. tam, kde je citlivost oka malá nebo žádná. V tom je příčina velmi malé hospodárnosti tepelných zdrojů záření. Při tepelné rovnováze mezi zářením a teplem není možno soustředit všechnu energii na světelná kvanta nejvýhodnější pro oko. Většina energie připadá na kvanta, která jsou pro vidění bez užitku.

Přejděme nyní k druhé otázce, jak jsme si ji položili. Je možno po uvedených úvahách vůbec doufat, že získáme zdroj, který by vyzařoval světlo hospodárněji než absolutně černé těleso? Uvidíme, že je to zcela možné. Je k tomu pouze třeba u části energie tělesa odstoupit od podmínky rovnováhy. Jak to bylo uskutečněno, si povíme v další kapitole.

„Chladné světlo“ a luminiscence

Oheň už světlejší se zdá,
 Hrbáček tryskem ubíhá,
 jasní se, jako když přibývá dne,
 něco tam svítí na polaně:
 podivný oheň — záři má,
 nehřeje ani nedýmá.
 Ivan se diví, Ivan se ptá:
 „Jaká to kouzla dábelská?
 Záře je, jako když hoří stoh,
 ne že by ses však ohrát moh’;
 jaký to divný ohníček!“

(*P. P. Jeršov: Koník Hrbáček.*

Ž překladu Marie Marčanové.)

Na rozdíl od „teplého světla“ zní slova „chladné světlo“ podivně a protikladně, dokonce i těm, kteří je již mnohokrát slyšeli. Údiv bývá obvykle ještě větší, když spatříme chladné světlo po prvé na vlastní oči. S plnou bezprostředností to vyjádřil hrdina „Koníka Hrbáčka“ v uvedených verších. Ostatně chladná záře peří Ptáka Ohniváka se i jeho autoru zdála podivným, bájným přízrakem.

Ve skutečnosti nejsou případy chladného světla nijak vzácné a nijak zázračné, byly lidem známy od nepamětných dob z denního života a někdy jich bylo i prakticky používáno. Spisovatel Jevgenij Petrov ve svém „Deníku z fronty“ popisuje jeden takový trik vojenského tábora roku 1941, kdy bylo nařízeno zatemnění a panovala neobyčejně chladná zima.

„Zpozoroval jsem pod svýma nohama množství malých i větších modravě svítících zrnek. Jako by zde někdo prošel

přede mnou s měšcem, z něhož se sypal čarovný neuhasi-
nající oheň. A nemohl jsem si ihned uvědomit, že to jsou
prostě kousičky ztrouchnivělého dřeva, které nasbírala
v lese pečlivá ruka intendanta a vysypala jimi cestičky
mezi stany. Zde nazývají takové cestičky „Mléčnou drahou“.
Přesto, že spisovatel v tomto případě znal tajemství „chlad-
ného světla“, přece jen se nezdržel a nazval je podobně jako
Ivan v našich verších „čarovným“, zdůrazňuje tak svůj podiv.

Postupně však nezvyklost studeného světla pro naše oči
mizí. Všeobecně známou věcí se staly číselníky hodiniek,
svítící v temnu; „zářivkami“, vydávajícími denní světlo,
se nyní často osvětlují nádraží, podzemní dráha, výklady
obchodů. Chladné světlo proniká stále šíře a častěji do našeho
života. Tak se to již mnohokrát stalo a jistě ještě v dějinách
vědy a techniky stane, zjevy, které byly dříve považovány
za vzácnost a zdály se neužitečnými rozmary, dostávají
postupně technický význam.

Všechna fakta o chladném světle nepochybně dokazují, že
absolutně černé těleso není naprosto hranicí pro reálné
zdroje světla. Existují tělesa, která svítí za téže teploty
a v téže oblasti spektra mnohem jasněji, než absolutně černé
těleso. Z toho však nikterak neplyne, že by naše úvahy, vylo-
žené v první kapitole, byly nesprávné. Vtip je v tom, že ve
všech případech chladného záření porušujeme tak nebo onak
podmínku tepelné rovnováhy, která je nevyhnutelná pro
ustálení tepelného rovnovážného záření.

Seznámíme se nejprve s různými druhy chladných svě-
telných zdrojů. Různotvárnost jevů je zde neporovnatelně
větší než u zdrojů tepelných.

Začneme zajímavým zjevem, kdy se „chladné“ světlo
objeví jako důsledek prostého mechanického nárazu. Člo-
věku je ovšem již od předhistorických dob známo, že se
silným třením nebo mechanickým nárazem těles uvolňuje
teplo, doprovázené světlem. Stačí si připomenout předhisto-
rický křemen (pazourek) nebo jiskry, vyletující od brusného
kotouče. Náš zjev se však od těchto známých faktů hluboce

liší. Vezmeme neveliké množství žlutých krystalků dusičnanu uranu a rozložíme je na kovadlině. Udeříme-li v temnu do krystalků kladívkem, zazáří při nárazu krásným zelenavým světlem. Kdybychom stejnou silou udeřili do hromádky kovových pilin, nepozorovali bychom žádné světlo. Dokonce i při silném úderu bychom dosáhli pouze červenavého rozžhavení kovových částic, které se však naprosto nepodobá zelenému záření uranových solí. Teplota uranu nemá v tomto případě význam. Kdybychom provedli stejný pokus na silném mrazu, krystaly by, jakkoli je to podivné, zazářily ještě jasněji. Je nepochybné, že máme před sebou nikoli teplé, nýbrž studené světlo.

Je nutno si všimnout ještě jedné podrobnosti popsaného pokusu s chladným zářením dusičnanu uranu při úderu kladívkem. Tento detail je velmi charakteristický a má pro studené světlo zásadní význam. Spočívá v tom, že úlomky krystalů, které se při úderu kladívkem rozletí v temnotě na všechny strany, svítí ještě za svého letu (po dobu několika setin vteřiny) podobně jako světelné střely. Chladné záření jeví tedy jisté trvání i po odstranění příčiny, která ono záření vyvolala (v daném případě po skončení účinku kladívka).

Přejdeme od mechanických příčin vyvolávání světla k chemickým vlivům. Vezmeme skleněnou nádobu s roztokem složité látky, tak zvaného triaminoftaleinhydrazidu, s louhem. Přidáme k roztoku peroxyd vodíku a červenou krevní sůl. Začíná překrásná podívaná na chemickou reakci, doprovázenou po dobu několika minut jasným modrým zářením. Nutno poznamenat, že za příslušných podmínek může slabě modré světlo vydržet po mnoho hodin a dokonce i dní. Teplota nádoby během reakce je nevysoká; je zcela jasné, že máme před sebou opět příklad „chladného“ světla.

Jiným zajímavým příkladem chemické luminiscence, t. j. „chladného“ světla, doprovázejícího chemické procesy, může být krásně zelené světlo roztoku složité látky, lucegeninu, v zásaditém roztoku za působení peroxydu vodíku, které rovněž vydrží (zeslabené) po několik hodin.

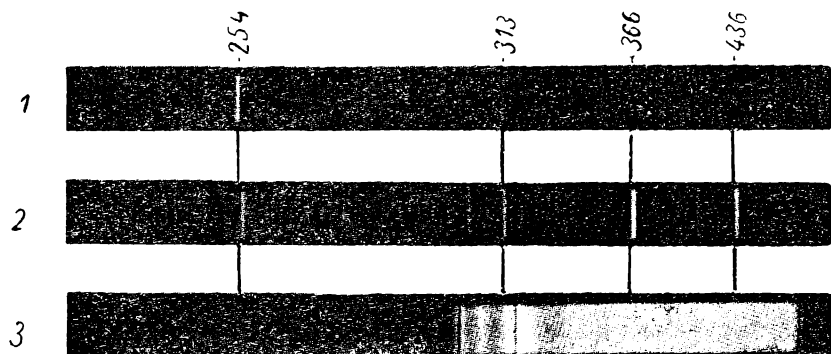
Přesto, že byly popsány zjevy zjištěny teprve poměrně nedávno, znalo lidstvo chemickou luminiscenci již z předhistorických dob. Světélkování hmyzu (na příklad světlušek), ztrouchnivělého dřeva, hnijícího masa atd. je člověku známo odedávna. Je to rovněž chemická luminiscence, t. j. světélkování při chemických reakcích, hlavně při okysličování.

Postupně jak poznáváme chemickou luminiscenci a jak o ni roste zájem, roste i naděje, že by se v budoucnosti chemické luminiscence mohla stát důležitým světelným zdrojem, výhodným a levným. Tento zdroj není spojen s žádnými elektrárnami a podobá se svíče, v níž se světlo získává rovněž chemickým působením, jenomže prostřednictvím velmi nehospodárného tepelného článku (rozřbavování částic uhlíku v plameni). Je třeba se snažit, abychom zvýšili světelný výtěžek chemické reakce; současně by bylo třeba, aby se okysličování provádělo pomocí kyslíku ze vzduchu a aby bylo možno reagující látky vrátit do původního stavu nějakým jednoduchým a levným způsobem. Zatím se ještě chemická luminiscence nedostala z chemických a fyzikálních laboratorí. Bylo by však užitečné soustředit na tento úsek pozornost a energii badatelů a vynálezců; předmět si toho plně zaslouhuje.

Neobyčejně často se k vyvolávání chladného světla používá samotného světla. Nejčastěji se k tomuto účelu používá různých křemenných rtuťových lamp, vyráběných průmyslově. V těchto lampách probíhá obvykle za nevyšokého napětí výboj ve rtuťových parách. Nejrozšířenější jsou tři typy těchto lamp: nízkotlaké, které jsou základem dnešních luminiscentních lamp, o nichž budeme mluvit v třetí kapitole; vysokotlaké lampy, používané převážně k pokusům s chladným světlem, a supervysokotlaké lampy, jejichž světlo je soustředěno na neveliký objem a vyznačuje se velikou jasností. Spektrum rtuťových lamp je v podstatě čárové. Na obr. 3. jsou uvedeny snímky spekter všech tří typů lamp. Značná část energie rtuťových lamp, zejména za nízkého tlaku, je soustředěna v ultrafialové části spektra,

a tím se tyto lampy zásadně liší od obyčejných tepelných zdrojů světla.

Světlo rtuťových lamp je samo o sobě důležitým příkladem chladného světla, získávaného na účet elektrické energie. Teplota rtuťových lamp, zejména nízkotlakých, je pouze o několik desítek stupňů vyšší než teplota místnosti, současně je však mocným zdrojem světla krátkých vlnových délek, t. j. velikých kvant.



Obr. 3. Spektrum výboje ve rtuťových parách. 1 — nízký tlak; 2 — vysoký tlak; 3 — supervysoký tlak. Čísla nad spektrem udávají vlnové délky v milimikronech.

Pomocí skleněných filtrů ze zvláštního, skoro černého skla (obsahuje kobalt a nikl), zadržujícího viditelné světlo a propouštějícího ultrafialové paprsky, je možno ze rtuťové lampy oddělit jenom ultrafialové paprsky a nechat je dopadat na nejrůznější předměty.

Při pohlcení ultrafialových paprsků začínají mnohé látky samy svítit viditelným světlem. V některých případech je vyvoláno také neviditelné světlo infračervené a ultrafialové. Pohlédneme-li upřeně na rtuťovou lampu zmíněným černým filtrem, zdá se nám okolní prostor naplněn modravým tabákovým dýmem. Ve skutečnosti to není dým, ale světélkování čočky našeho vlastního oka vlivem ultrafialových paprsků. Stejně tak světélkují naše zuby, kůže i nehty.

Dáme-li ultrafialovým paprskům do cesty roztoky nej-různějších organických krystalů (rhodamin, fluorescein, esculin), zpozorujeme jasné světlo různých barev (oranžové, zelené, modré atd.). Světlo přitom není vyvoláváno jenom ultrafialovými paprsky. Osvětlíme-li na příklad roztok rhodaminu přes zelené sklo, bude roztok dávat oranžové světlo stejně jako působením ultrafialových paprsků. Vhodnost ultrafialových paprsků v takových pokusech spočívá v tom, že nejsou okem bezprostředně viditelné, a proto je viditelné světlo, jimi vyvolávané, dobře patrné.

Druhým příkladem chladného záření vlivem světla je luminiscence krystalů a skel. Krystaly dusičnanu uranu a množství jiných jeho sloučenin vydává vlivem světla jasné zelené světlo. Je pozoruhodné, že toto světlo je stejné jako při úderu kladívkem nebo při elektrickém působení. To znamená, že charakter světla v mnoho případech nezávisí na druhu buzení, nýbrž jenom na chemické podstatě svítící látky. Dobře a dávno je známo světlo uranových solí, kterých se často používá pro různá umělecká skleněná díla. Červená světlo dávají skla, obarvená solemi manganu, modré světlo soli ceria.

Největší technický význam si však získaly zvláštní anorganické soustavy, které se někdy nazývají krystalickými nebo minerálními fosfory. Jsou známy již skoro čtyři století, ale výrobě umělých soustav jsme se plně naučili teprve v posledním půl století. Jsou známy tisíce receptů soustav, svítících nejrůznějšími barvami a jevících rozdíly i v jiných vlastnostech. Svítí vlivem viditelných i ultrafialových paprsků i v elektrickém výboji a dávají v mnoha případech velice jasnou luminiscenci.

Nesmíme zapomenout poznamenat, že takové soustavy mají s fyzikálně-chemického stanoviska velmi zvláštní strukturu. Za posledních 30 let získali fyzikové nepochybné důkazy neobyčejné pravidelnosti ve stavbě krystalů. V každém krystalu, na příklad kuchyňské soli nebo cukru, jsou atomy a molekuly rozloženy do pravidelných řad a rovin

a tvoří tak pravidelnou krystalickou mřížku. Ukazuje se, že atomy cizích látek pronikají v mnoha případech poměrně snadno do nitra krystalu, na příklad v parách dané látky nebo při delším žihání prášku v kelímku za vysokých teplot. Přitom atom, vnikající do pravidelné krystalické mřížky cizího materiálu, poruší některé pravidelné buňky mřížky. Uvnitř krystalu se tvoří zvláštní stav, něco mezi chemickou sloučeninou a roztokem. V každém případě je krystalická základna nutnou podmínkou existence fosforů, o nichž nyní mluvíme.

Zvláště dobře jsou známy a prostudovány krystaly sirníku zinečnatého, do nichž se dlouhým žiháním s jinými látkami za přítomnosti tak zvaných tavicích přísad* zavádějí atomy mědi, stříbra nebo jiných prvků. Nakonec dostaneme krystalický fosfor (nebo jak se jinak nazývá, *luminofor*), jasně zářící při buzení světlem nebo elektrony a mající obyčejně značně dlouhou relaxaci (t. j. trvání světla po skončení vnější příčiny). Jestliže trvá doba relaxace u dusičnanu uranu několik setin vteřiny, jak jsme si již řekli, pak u sirníku zinečnatého s mědí za speciálních okolností je možno dosáhnout zřetelného světélkování v temnotě déle než 10 hodin po excitaci. Barva vyrobeného fosforu závisí na chemické podstatě vniklého přimíšeného atomu. Pro sirník zinečnatý se může měnit od červené do modré. Nutno říci, že někdy může působit jako cizorodý, do pravidelné mřížky vniklý atom, samotný volný atom téže látky, z něhož je sestrojena mřížka. Na příklad nejčistší sirník zinečnatý začíná při určitém žihání svítit modrou barvou. Čistota takového krystalu je vždy chemická, fyzikálně je svítící krystal vždy nečistý; existují v něm volné atomy zinku, které na některých místech porušily pravidelnou stavbu mřížky a vytvořily tak luminiscentní centra.

* Jako tavicí přísady slouží chloridy, sírany a jiné soli žíravých prvků a žíravých zemin. Tavicí přísada, roztavená v kelímku, ulehčuje vnikání aktivátoru do krystalu a ulehčuje krystalisaci base.

Uvedené příklady vysvětlují dostatečně jasně obsah pojmu chladného světla, třebaže daleko nevyčerpávají jeho neobyčejnou různotvárnost. Abychom pochopili fyzikální podstatu chladného světla a jeho vztah k tepelnému záření je třeba se seznámit s některými základními vlastnostmi chladného světla. Naši pozornost při tom soustředíme hlavně na ty případy, kdy je světlo buzeno opět světlem. V této oblasti jsou zákonitosti jasnější, mají obecný charakter a je snadné je přenést na případ buzení světla jakýmkoli jiným způsobem.

Je nesporné, že se „chladné“ světlo může objevit jenom na úkor pohlcené původní energie, jinak by byl porušen základní zákon přírody — zákon zachování energie. Není však pravda opak: ne každé pohlcené světlo dá luminiscenci. Na příklad obyčejné inkousty, černé nebo červené, pohlcují velmi silně světlo, ale nedávají druhotné, sekundární záření, kdežto roztoky barviv fluoresceinu, rhodaminu a j. překrásně svítí.

Jak jsme viděli, má tepelné záření zcela universální charakter, protože neexistuje těleso bez tepelného záření, jakmile jen je jeho teplota nad bodem absolutní nuly. Nahřátí nese s sebou nevyhnutelně tepelné záření. Na rozdíl od toho je „chladné světlo“ zjevem řídkým, výběrovým; snáze nalezneme neluminiscentní látku, než látku zářící chladným světlem. V tom je jeho nejdůležitější zvláštnost. Platí pro libovolné způsoby buzení. Věda však dosud není schopna vysvětlit chladné světlo v té nebo oné látce.

Druhá zvláštnost tohoto záření spočívá v jeho *trvání*. Jak jsme již měli příležitost se zmínit u krystalů uranových solí a krystalických fosforů, trvá chladné světlo nějakou dobu po skončení buzení. Délka trvání se mění podle podmínek a je pro různé látky velmi rozdílná, od miliardiny vteřiny v případě záření atomů a molekul (na příklad molekul barviv v roztocích) do mnoha hodin a dokonce dnů pro krystalické fosfory. Pro jiné látky a jiné podmínky byly nalezeny střední hodnoty. Trvání luminiscence je rozhodující

vlastnost, která ji odlišuje od jiných druhů záření těles, vznikajících na příklad při odrazu nebo rozptylu světla i při šíření elektronů v kapalinách a průzračných tuhých látkách rychlostmi, převyšujícími rychlost světla v těchto prostředích (Čerenkovovo záření). Všechny tyto jevy, navenek velmi podobné luminiscenci, jsou rovněž „chladné“, t. j. nezávisí na teplotě. Neprojevují však měřitelné trvání a přestávají prakticky okamžitě po ukončení excitace.

Abychom si správně objasnili význam tohoto rozdílu dvou „chladných“ druhů záření, je užitečné si představit „klasický“ model světelných kmitavých procesů v molekule: jednoduché kyvadlo, visící na niti. Jestliže toto kyvadlo rozkýváme „do taktu“, t. j. kmitočtem, rovným jeho vlastnímu kmitočtu, pak po skončení vnější příčiny kmitů bude kyvadlo kývat dál, dokud je tření nezastaví. Máme před sebou model luminiscence, trvajících delší nebo kratší dobu po skončení excitace (buzení). Začneme nyní rozkývávat kyvadlo kmitočtem jiným, než je jeho vlastní, který s ním není „v taktu“; donutíme tak kyvadlo k vynuceným kmitům, lišícím se značně od jeho vlastních kmitů. V takovém případě se kyvadlo po skončení vnější příčiny kmitů zastaví skoro okamžitě. To je model odrazu a rozptylu světla a rovněž záření, vznikajícího při nadsvětelných rychlostech elektronu v prostředí.

Opírajíce se o tento mechanický model, který v mnohém věrně vystihuje skutečný stav věcí, můžeme říci, že trvalé chladné záření — luminiscence — odpovídá *vlastním* kmitům molekul; a naopak, chladné záření bez měřitelného trvání, pozorované při odrazu, rozptylu světla a jiných procesech, musí být chápáno jako *vynucené* kmity.

To nutně plyne z toho nesporného faktu, že světlo je vždy v pohybu, že nemůže existovat stojící klidné světlo. Jestliže světlo vzniklo a mezi ním samým a příčinou, která je vyvolává, není žádného spojovacího článku a mechanismu, světlo nutně mizí, t. j. rozšíří se do prostoru okamžitě po skončení vyvolávající jej příčiny (s přesností řádu periody

světelného kmitu). Naopak, existuje-li nějaký spojovací článek mezi bezprostřední příčinou a zářením, světlo se bude nutně udržovat, bude možno pozorovat jeho pozvolné uhasínání.

Přejdeme nyní k třetí pozoruhodné vlastnosti luminescence, charakterisující vlastnosti její *barvy*.

Barva luminescence je vždy, ve srovnání s barvou světla budícího, posunuta do červené části spektra. K objasnění této důležité vlastnosti pokusem použijeme kyseliny sírové, která obsahuje skoro vždy neveliké organické příměsi ze vzduchu. Tyto příměsi jeví při buzení světlem luminescenci. Soustředíme světlo rtuťové lampy na skleničku s kyselinou sírovou. Ozařujeme-li ji skrze sklo, které propouští jenom ultrafialové paprsky, vzniká modré světlo. Změníme nyní barvu budícího světla tím, že nahradíme černé sklo modrým. Světélkování dostane zelenavý odstín. Nakonec místo modrého skla dáme sklo zelené. Luminescence bude velmi slabá a bude mít cihlově hnědý odstín. S přesunem barvy budícího světla k červené části spektra se v tuto stranu současně přesouvá i barva chladného záření. V tom spočívá zákon Stokesův.

Tento zákon, nebo pravidlo, v té kvalitativní formě, jak jsme jej vyslovili, je splněn ve všech dosud prozkoumaných případech. Opíráme-li se o základní zákony theorie, můžeme zobecnit Stokesův zákon na libovolné druhy buzení světla. Jak jsme již řekli, energie světla je soustředěna v kvantech $h\nu$ nebo hc/λ , kde c je rychlost světla. Pro získání takového kvanta je podle zákona zachování energie třeba, aby energie bezprostředního vlivu, vyvolávající zářivé kvantum hc/λ , na příklad energie elektronu nebo narážející molekuly, byla rovna alespoň hc/λ . Z toho plyne, že „střední vlnová délka“ luminescence, vyvolené působením energie E , bude určena takovouto nerovností:

$$\lambda \geq hc/E.$$

Světelné buzení a obyčejný Stokesův zákon jsou zvláštními případy tohoto obecnějšího výrazu, který platí i pro

jiné druhy buzení. Je-li luminiscence buzena světlem, což jsou kvanta energie

$$E = h \nu_0 = hc/\lambda_0,$$

pak dosadíme-li za E hodnotu hc/λ , dostaneme optický zákon Stokesův:

$$\lambda \geq \lambda_0$$

Tyto úvahy nám odhalují kvantový smysl Stokesova zákona a současně jej zobecňují. Stejně jako u tepelného záření, tak i u chladného záření jsme byli nuceni zavést k správnému vysvětlení jeho hlavních vlastností kvantové představy.

Dosud jsme používali běžného názvu „chladné světlo“ a vědeckého termínu „luminiscence“ zcela rovnoprávně. Nyní, když jsme si již probrali základní, pevně zjištěné vlastnosti tohoto druhu záření, můžeme také do našeho názvosloví zavést pořádek a přesnost. Problém není samozřejmě ve slovech, nýbrž v těch pojmech, které se za nimi skrývají.

Především není možno určit, chceme-li se vyjadřovat přesně, zda je před námi tepelný nebo chladný zdroj záření jenom podle teploty tělesa. Rozžhavené těleso, vydávající tepelné záření, může být současně zdrojem typického chladného světla. Vzpomeňme si na plynový plamen, do něhož jsme zavedli kuchyňskou sůl. Zjistit, co máme vlastně před sebou, pozorujeme-li světlo sodíku v tomto plameni, je možno jenom proměřením pohlcování plamene a srovnáním s černým tělesem téže spektrální oblasti za téže teploty. Na druhé straně fosfor, vyzařující typické chladné světlo, vydává současně nutně také tepelné záření, odpovídající jeho vlastní teplotě. Dále jsme si již povšimli, že světlo odražené od práškovitého sirníku zinečnatého a jeho vlastní světlo jsou obě chladným světlem, ale svou podstatou jsou současně hluboce odlišná.

Pro odstranění takového zmatku a neurčitosti byl ve vědě zaveden termín *luminiscence*. *Luminiscenci nazýváme přebytek záření tělesa vzhledem k tepelnému záření téhož tělesa*

v dané spektrální oblasti a za dané teploty, má-li současně tento přebytek světla konečné trvání, t. j. nezmizí-li okamžitě po odstranění příčiny, která jej vyvolala.

Taková definice je zcela jasná a podle znaků, které jsou přístupny měření, odlišuje luminiscenci od tepelného záření a od rozptylu světla a podobných procesů. Proto napříště upustíme od názorného, ale krajně neurčitého a dokonce nesprávného názvu „chladné světlo“ a budeme používat hlavně názvu „luminiscence“, jehož definici jsme si právě podali. Doufejme, že postupným a stále hlubším pronikáním luminiscentních zdrojů světla do praxe, přejde toto nové slovo do našeho života tak, jak se již zakořenila slova „radio“ a „elektřina“ a jiné speciální odborné výrazy.

Jak máme vysvětlit vlastnosti luminiscence? Veliké úspěchy, kterých dosáhla věda v chápání podstaty světla a stavby hmoty, umožnily pochopit v základních rysech také luminiscenci.

Hovořili jsme již o kvantové podstatě světla a o tom, jak theorie kvant umožnila plně pochopit podstatu tepelného záření a smysl Stokesova zákona — základního zákona luminiscence.

Kvantové zákony lze však aplikovat nejenom na světlo, nýbrž ony určují také stavbu hmoty. Vnitřní energie, které může nabýt atom nebo molekula, má stupňovitý, přetržitý charakter. Molekule není možno dodat libovolnou energii, nýbrž jenom jednu z hodnot, tvořících nespojitou řadu. S touto vlastností je spojen nespojitý charakter atomových a molekulárních spekter, jejichž příklad můžeme vidět na spektru rtuti na obrázku 3.

Je-li pohlceno světelné kvantum, pak atom nebo molekula, jak se říká, přešly z normálního stavu do stavu vzbuzeného, excitovaného. V tomto stavu zůstane molekula po jistou dobu, která se pro různé případy může měnit ve velmi širokých mezích, od miliardiny vteřiny až k prakticky úplné stálosti. Tuto dobu právě měříme v našich pokusech s luminiscencí.

V nejjednodušších případech je zcela lhostejné, čím je molekula vzbuzena (excitována), zda světlem, nárazem jiných částic nebo nějakým jiným způsobem. Přejde-li atom vlivem takového účinku do vzbuzeného, excitovaného stavu, vysílá pak kvantum světla zcela nezávisle na charakteru excitace. V souvislosti s tím si vzpomeňte na pokus s krystaly uranových solí, které dávaly totéž světlo jak při excitaci kladívkem, tak i ultrafialovými paprsky nebo elektrony.

Tyto závěry mají zcela obecný charakter a platí naprosto stejně jak pro tepelné záření, tak i pro luminiscenci.

Mluvíme-li o elementárních jevech, které nastávají v tepelných zdrojích záření, je nepochybné, že jsou zcela stejné jako při luminiscenci: zde i tam jsou molekuly při pohlcení světla nebo při vzájemných nárazech excitovány. V tepelných zdrojích záření vzniká excitace na účet neuspořádaného tepelného pohybu částic látky a neméně neuspořádané je i jejich záření. Při luminiscenci procházejí naopak proměny jiných forem energie ve světlo, uspořádaným, pravidelným způsobem, bez vedlejších zbytečných ztrát na formy energie pro nás neužitečné nebo nepotřebné. Excitaci pomocí tepla a pomocí ultrafialových paprsků je možno plným právem srovnat s působením neorganismovaného, neuspořádaného hloučku lidí, chaoticky pobíhajícího a navzájem se srážejících, a s působením těchže lidí, jdoucích cílevědomě, ve vojenském útvaru. Počet lidí je jeden a tentýž, energie je v obou případech stejná, ale v jednom případě panuje nepořádek a chaos, v druhém organizovanost, pravidelnost a cílevědomost. Zvýšená teplota běžných zdrojů světla není naprosto nevyhnutelným znakem každého světelného zdroje, nýbrž je naopak pouze výrazem jeho veliké nedokonalosti.

Teplota světelného zdroje — to je zbytečná, neracionálně a neekonomicky rozhozovaná energie. Naopak, jestliže nepozorujeme v luminiscentních zdrojích nijakého zahřátí, je to první příznak jejich značné přednosti, pokud jde o ekonomičnost.

Uvedená definice luminiscence jako přebytku záření (nad zářením tepelným), mající konečné trvání, jasně ukazuje, v čem spočívá hluboký zásadní rozdíl mezi luminiscencí a tepelným zářením. *V luminiscentním prostředí část energie molekul nepodléhá obecnému zákonu rozdělení energie.* Přitom tato část může být velmi podstatná. Tato energie pak je jakoby nějakou bariérou chráněna od styku s ostatním prostředím.

Isolace excitační energie v luminiscentních tělesech od tepelného rozdělení je jenom zvláštním případem takové izolace v hmotě. Stačí na příklad připomenout ohromnou energii, ukrytou v jádrech atomů, bezpečně izolovanou od vzájemné proměny s prostředím a uvolňující se jenom s nepatrnou pravděpodobností za ohromné časové úseky, měřitelné stovkami let. Excitovaná molekula, schopná luminiscence, může v sobě na dlouhou dobu uchovávat energii, převyšující desetkrát a stokrát střední tepelnou energii částic.

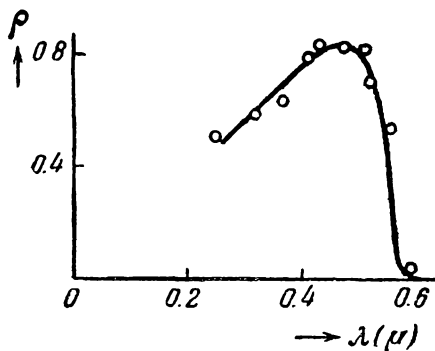
Schopnost takové izolace energie závisí na stavbě látky. Tím se také vysvětluje poměrná vzácnost a výběrovost luminiscence, o níž jsme již hovořili. Je na příklad známo, že oblasti, „odpovědné“ za záření atomů vzácných zemin, jsou velmi dobře chráněny vnějším elektronovým obalem od vnějších vlivů, čímž se i vysvětluje schopnost vzácných zemin jevit luminiscenci. Ve většině případů není však dosud stanoveno, na jakých zvláštnostech stavby hmoty závisí schopnost luminiscence těch nebo jiných molekul nebo krystalických fosforů. Je to velmi obtížná a důležitá úloha theorie luminiscence.

Isolací excitační energie od tepelné energie v luminiscentním tělese je celá energie tělesa rozdělena do dvou zdánlivě spolu nesouvisících poschodí. V dolním, tepelném poschodí se energie vyměňuje a rozděluje, a proto nastává rovnováha. Ve vrchním poschodí má výměna energie, pokud vůbec nastává, charakter rezonanční, jenž nevede k vyrovnání, ale pouze k cestování celkové excitační energie od jedné

molekuly k druhé. V každém luminiscentním tělese se tedy setkáváme (se stanoviska obvyklých představ o teple) s podivným stavem. Existuje zde vedle sebe rovnovážný a nerovnovážný stav s odpovídajícím rovnovážným a nerovnovážným zářením. Takové rozdělení na dvě nesouvisící poschodí se však neuskuteční ihned. Veliká přebytečná energie, která se dostává molekulám bombardováním elektrony nebo pohlcováním světla, vyvolává z počátku samozřejmě normální rozruch. Část excitační energie je přitom předána prostředí a vchází do bilance rovnovážného záření. Tato ztráta excitační energie odpovídá stokesovskému posunutí luminiscentního spektrasměrem k červené části spektra. Jsou možny i opačné procesy, t. j. přechod části tepelné rovnovážné energie v jednotlivých molekulách na energii excitační. V souhrnu se však tepelná kapacita tělesa na účet takových procesů nemůže měnit, jinak řečeno, těleso se nemůže při luminiscenci ochlazovat, protože v nižším „poschodí“ luminiscentního tělesa platí v plné míře zákony

thermodynamiky a tepelná energie se nemůže proměňovat v „uspořádanou“ energii bez vynaložení odpovídající práce. Podle zákonů thermodynamiky se musí procesy přechodu tepelné energie v excitační vyrovnávat jednotlivými obrácenými přechody excitační energie v teplo. Skutečně, v té oblasti spektra, kde vlnová délka budícího (excitačního) světla je větší než střední délka vlny luminiscence

(t. j. byl by porušen Stokesův zákon), výtěžek luminiscence (t. j. poměr vyzářené a pohlcené energie) začíná klesat tím více, čím více se prodlužuje vlnová délka budícího světla. Na obr. 4. je znázorněn výtěžek luminiscence roztoku barviva



Obr. 4.

fluoresceinu v závislosti na délce vlny budícího (excitačního) světla. Náhlý pokles křivky v dlouhovlnné oblasti odpovídá přechodu v oblast, odporující Stokesovu zákonu. Tato zákonitost byla pozorována u všech dosud studovaných luminiscentních látek a můžeme ji považovat za zpřesnění a zobecnění Stokesova zákona.

Hlavní závěr z našeho zkoumání luminiscence může být vyjádřen takto: Kdyby byla všechna energie, pohlcená tělesem, zcela rozdělena na všechny částice tělesa a stala se tak konec konců složkou tepelného obsahu tělesa — tepelné bilance tělesa, pak by jedinými zdroji světla mohly být pouze zdroje tepelné. Absolutně černé těleso by bylo pak hranicí dokonalosti v oboru světelných zdrojů. Na štěstí tomu tak není. Částice některých látek mají takovou stavbu, že značná část pohlcované energie odpovídající kvality (rychlé elektrony, ultrafialové paprsky a pod.) nepodléhá statistickému tepelnému rozdělení, nýbrž je vyzářena přímo, ve formě světla, bez pomoci tepla, které je velmi neekonomickým spojovacím článkem. Tato okolnost odhaluje pro techniku mnohé nové, veliké možnosti, jak uvidíme v další kapitole.

Zvládnutí „chladného světla“

„Nesmíme od přírody čekat milosti;
naším úkolem je vzít si je“.

I. V. Mičurin.

„Závisí-li člověk na přírodě, závisí i ona
na něm. Příroda vytvořila člověka,
on ji přetváří“.

A. France.

Člověk se vyvíjel na zemi pod tepelnými paprsky Slunce. Slunečnímu spektru se přizpůsobilo v důsledku dlouhého vývoje a boje za existenci i lidské oko, které je nejdůležitějším a nejjemnějším lidským orgánem. Vyrobit umělé slunce jako zdroj světla, které by dokázalo v noci nahradit kvalitou i množstvím světlo sluneční, to však lidé až do nedávné doby neuměli. Příroda bez většího odporu vydala člověku oheň a palivo — dřevo, uhlí, naftu. Proto jsou dějiny světelných zdrojů, jak jsme viděli v první kapitole, dějinami tepelných zdrojů světla. Byla to linie „nejmenšího odporu“. Teplota těchto zdrojů byla však daleko od sluneční, a proto dávají červenější a slabší světlo.

Spektrum rozžhavených těles je ovšem možno snadno kvalitativně „opravit“ — přiblížit jeho složení slunečnímu, vezmeme-li si na př. brýle s příslušným modrým sklem. Podle tohoto receptu se už dávno z modrého skla vyráběly t. zv. „žárovky s denním světlem“. Zlepšení kvality světla bylo však vykoupeno nepřipustně velkou cenou. Světelná účinnost žárovek, která byla tak jako tak velmi nepatrná,

byla zde snížena z 2—3% na 1%. Takové žárovky byly příkladem ne hospodárného plýtvání energií.

Elektrická žárovka byla nesporně rozhodným krokem vpřed v technice osvětlování. Její progresivnost nebyla však způsobena tím, že se v ní elektrická energie proměňovala v teplo a jeho prostřednictvím ve světlo. Úspěch elektrické žárovky byl způsoben tím, že umožnila vytvoření světelných centrál, totiž elektráren. Avšak tento úspěch byl opět vykopen drahou cenou. V elektrárně byla cenná chemická energie (uhlí a nafty) proměňována hořením v teplo. V užitečnou elektrickou energii se promění pouze asi 20% energie, která je pak vedena vodiči k žárovce. Vzpomeneme-li si opět, že v žárovkách činí světelná účinnost pouze 2—3%, uvidíme, že energie uhlí a nafty se při spalování promění v užitečné světlo *jenom v několika setinách procenta!* Více než 99% nejcennějšího paliva se neužitečně ztrácí.

V předcházející kapitole jsme se mohli přesvědčit, že tento velmi marnotratný způsob získávání světla není naprosto nutný. Je možno a nutno překonat nejpřístupnější způsob proměny energie ve světlo (prostřednictvím tepla), překonat t. zv. „přirozenou“ cestu; je třeba se rozloučit s cestou nejmenšího odporu. Jeden z velmi důležitých úkolů techniky v různých oblastech spočívá v tom, vytvořit vzájemné přechody různých druhů energie, aniž musíme postupovat prostřednictvím tepla. V oblasti osvětlovací techniky byl tento způsob nalezen v použití luminiscence, odhalující „přímé“ cesty proměny libovolné formy energie — mechanické, elektrické, chemické a světelné — ve viditelné světlo.

Luminiscence naprosto není novým objevem. Vědecký zájem o ni začal již v 17. století. Jedním z prvních badatelů v luminiscenci byl Galilei. Jaké příčiny způsobily pozdní použití luminiscence v osvětlovací technice? Abychom vyrobili okem viditelné luminiscentní záření, je vždy, jak víme, nutno uskutečnit dvě podmínky: 1) je nutno mít látku, schopnou luminiscence; víme, že zdaleka ne všechna

tělesa a ne ve všech stavech mají tuto vlastnost; 2) je nutno dodat molekule excitační (budící) energii buď ve formě světelného kvanta s kmitočtem větším, než je kmitočet luminiscence, nebo ve formě částice (na př. elektronu) s ekvivalentní energií.

Při luminiscenci hnijícího rybího masa, kterou popsal již Aristoteles, byly luminiscentními látkami složité organické molekuly a nutná energie vznikala na účet oxydační chemické reakce. Lomonosov studovat zelené světélkování rtuťových par při rychlém napuštění vyčerpané skleněné trubky, obsahující jisté množství kapalné rtuti. V Lomonosovových pokusech byly luminiscentní látkou (stejně jako v nynějších luminiscentních lampách, jak si o tom ještě řekneme) rtuťové páry. Jejich excitace se dosahovalo pohybem nabitých částic, vznikajících elektrisací při rychlém tření rtuťových par o stěny trubice. Ani Aristoteles, ani Lomonosov nemohli však uskutečnit prakticky vyhovující luminiscentní zdroj světla, protože oba, stejně jako celé lidstvo až do poloviny minulého století, neměli možnost vhodné proměny tepelné, mechanické a chemické energie v elektrickou. Elektrické stroje 17 a 18. století měly mizivou účinnost, parní stroj se teprve rodil, chemické zdroje elektřiny byly na počátku svého vývoje. Teprve dnešní elektrotechnika se svými dynamy a transformátory položila otázku, jak získat hodnotné a vhodné formy energie, nutné pro vznik luminiscence (rychlých elektronů, ultrafialových paprsků) na pevnou, ekonomicky výhodnou základnu.

Z toho je jasné, že luminiscentní lampa nemohla být doopravdy uskutečněna před koncem 19. století a její dnešní forma je výsledkem velmi dlouhého zkoušení a pokusů, které nakonec donutily přírodu podrobit se člověku i v otázce racionálního zdroje světla.

Už půl století se dějí pokusy o vytvoření a praktické zavedení luminiscentních lamp. Na ulicích Moskvy, Leningradu a jiných velkých našich měst se často setkáváme s reklamními lampami, tvořícími jasné nápisy nejrůznějších barev,

převážně červené, zelené a modré. Jsou to elektrické výbojové lampy s vysokým napětím, v nichž svítí hlavně plyn neon a rtuťové páry.

Tyto lampy existují již několik desetiletí a jsou hospodářsky výhodné v tom smyslu, že se v nich velká část elektrické energie proměňuje ve světlo. Současně však mají řadu praktických nedostatků (vysoké napětí, nevhodný tvar, nevhodné spektrální složení světla).

Větší význam ve vývoji lamp „studeného světla“ měla sodíková lampa, v níž vzniká světlo elektrickým výbojem za nízkého napětí. Tyto lampy dávají stejnorodé žluté světlo (stejně jaké pozorujeme v lihovém plameni, zavedeme-li do něho kuchyňskou sůl) a v některých případech se podařilo dosáhnout účinnosti přesahující 50% (ve srovnání s 2—3% u žárovek).

Sodíkové lampy se přesto v praxi nerozšířily, což bylo způsobeno nevhodným spektrálním složením jejich záření. V jasném světle sodíkových par ztrácejí předměty svou barvu, jeví se jednobarevné a pro oko málo příjemné. Proto bylo použití sodíkových lamp v praxi omezeno na speciální problémy.

Jiným, rovněž nedokonalým řešením byly rtuťové lampy. Jejich účinnost je mnohem menší než u lamp sodíkových — nepřesahuje 10%. Jejich bělavě zelená barva je velmi nepříjemná. Pokus osvětlit těmito lampami před 15 lety ulici Gorkého v Moskvě vyvolal protesty Moskvanů.

Mnohokrát byly navrhovány plynové luminiscentní lampy s jinými svítícími plyny a parami. Žádný z těchto návrhů však problém světelné techniky nerozřešil.

Řešení byla nalezeno v metodě spojení rtuťových lamp a oněch krystalických, světélkujících soustav, o nichž jsme mluvili dříve.

Viděli jsme, že takové soustavy proměňují jeden druh světla v jiný (na př. ultrafialové paprsky v zelené, zelené v oranžové atd.), t. j. působí, stejně jako všechny luminiscentní látky, jako *světelné transformátory*. Je jasné, že takové

transformátory mohou pro světelnou techniku znamenat velikou pomoc. Můžeme jimi proměnit neviditelné ultrafialové, t. j. pro osvětlení neúčinné a dokonce i škodlivé paprsky v široké spektrální pásy nejrůznějších barev, zejména takových, které se podobají složením spektra dennímu světlu. Transformační účinnost je přitom často značně velká.

Myšlenka světelného transformátoru na základě luminescence se vnučuje sama. Již v minulém století sklářští mistři, kteří zhotovovali skleněné trubice pro demonstrační účely, vyráběli je někdy z luminescentního uranového skla. Díky tomu byl výboj světla v plynech daleko jasnější a efektnější.

Před 20 lety začaly v SSSR a za hranicemi pokusy využít neviditelné ultrafialové části spektra různých světelných zdrojů (rtuťových, argonových a jiných lamp) pomocí luminescentních vrstev, skel a krystalických fosforů. Dnes je tato otázka rozřešena nejenom theoreticky, nýbrž i prakticky.

Základní částí nových luminescentních lamp jsou rtuťové nízkotlaké lampy s příměsí argonu. Mají tvar válcových trubec, průměru 15—50 mm, délky 15—80 cm. Trubice, v níž je několik miligramů rtuti, naplní se při tlaku několika milimetrů argonem. Při provozu nepřevyšuje teplota takové lampy 50°, tlak rtuťových par je přitom zcela nepatrný, asi setina milimetru rtuťového sloupce. Příměs argonu je nutná k lepšímu využití elektrické energie ve výboji a světlo výboje je převážně určováno rtutí. Elektrody, umístěné na koncích trubice, se skládají ze spirál wolframového drátu, aktivovaného kyslíčkem barya a stroncia. Při zapnutí se elektricky rozžhaví, pak je proud automaticky vypjat zvláštním zařízením (relais), skládajícím se z malinké výbojové trubice, naplněné neonem. Jedna z elektrod relais je vyrobena z bimetalické destičky, jejíž poloha je velmi citlivá na teplotu. Po automatickém zapojení proudu pro zapálení lampy se žár elektrod udržuje obloukovým výbojem.

Pro omezení proudu a jeho stabilisaci se do proudového okruhu zapojuje odpor, skládající se z vinutí izolovaného drátu, navinutého na jádře z železných drátů. Elektrické charakteristiky lampy výkonu 20 wattů jsou tyto: proud 0,35 ampér, napětí na lampě 62 voltů při napětí 110 voltů v síti.

Kdyby výboj nastával v čistém skle, svítila by takováto trubka slabým modrým světlem a její hlavní luminiscentní záření by bylo soustředěno v neviditelné ultrafialové části spektra, převážně ve dvou mohutných liniích vlnových délek 0,2537 a 0,1849 mikronu. Abychom proměnili toto neviditelné záření ve viditelné světlo, nanese se na vnitřní stěny trubky tenká vrstva „světelného transformátoru“, krystalických fosforů, svítících vlivem zmíněných spektrálních čar viditelným světlem. Použijeme-li různých prášků krystalických fosforů, je možno dosáhnout světla libovolné barvy — zelené, žluté, modré atd. Největšímu zájmu těší se však látky, které vydávají „denní“ světlo. Je třeba mít na paměti, že pojem „denní světlo“ není příliš určitý. Osvětlení za přírodních podmínek se značně mění v závislosti na denní době, ročním období a počasí. Existují soustavy, napodobující průměrné denní světlo za oblačného počasí; říká se jim soustavy „denního světla“. Druhá rozšířená soustava se nazývá „bílá“ a je, jak se říká, poněkud „teplejší“, t. j. svým odstínem poněkud bližší obvyklým žárovkám. Změny spektra záření se dosahuje použitím různých soustav a jejich směsí. V poslední době byly v SSSR získány soustavy, které vydávají světlo blízké dennímu světlu samy o sobě, bez míšení s jinými.

Obrátíme se nyní k ekonomickým charakteristikám nových luminiscentních zdrojů světla. Aby byla lampa ve smyslu světelné účinnosti nejvýhodnější, je třeba, aby se elektrická energie, dodávaná lampě, proměnila zcela ve viditelné světlo a aby toto viditelné světlo bylo zeleným světlem vlnové délky 0,55 mikronů, protože této vlnové délce odpovídá za denních podmínek největší citlivost lidského oka. Je však

jasné, že takový „ideální“ zdroj světla (ideální se stanoviska hospodárnosti), jak tomu bylo v případě zmíněné sodíkové lampy, je velmi nepříjemný. Byl by jednobarevný a proměnil by oku navyklé střídání barev v jednotvárnou změnu světla a stínu v zelenavých tónech. Jinak uskutečnění takového „ideálního“ zdroje světla odporují kvantové zákony světla. V naší „ideální lampě“ by bylo třeba soustředit záření v zelené spektrální čáře délky $\lambda = 0,55$ mikronu. Protože však z jednoho ultrafialového kvanta může vzniknout (alespoň za normálních okolností) pouze jedno zelené kvantum, využil by se pro viditelné záření vlivem excitace první spektrální ultrafialovou čarou pouze podíl $0,25 : 0,55 = 0,45$ a z druhé čáry $0,18 : 0,55 = 0,33$.

Z těchto důvodů v luminiscentních lampách, určených pro normální osvětlovací účely, t. j. v lampách s „denním“ nebo „bílým“ světlem, není možno dosáhnout maximální hospodárnosti v elektrické energii. Vezmeme-li střední rozdělení energie ve slunečním spektru a křivku denní spektrální citlivosti oka, můžeme vypočítat maximální účinnost pro lampu s denním světlem. Tato účinnost nepřesahuje 40% energie.

Kromě toho je nutno ještě vzít v úvahu ztráty, vznikající vlivem velkého rozdílu vlnové délky excitačního záření, a střední délky vlny denního světla; tyto ztráty dosahují 50%.

Celkem tedy může moderní lampa popsané konstrukce v nejlepším případě proměnit ve viditelné světlo nanejvýše asi 20% elektrické energie. Ve skutečných lampách, vyráběných průmyslově,* kde jsou i jiné zdroje ztrát, které snižují účinnost, na 10%. Srovnáme-li toto číslo s 2—3% účinnosti v běžných žárovkách, vidíme, že dnešní zářivky jsou už dnes 3—4krát hospodárnější než žárovky.

Nové lampy mají ještě řadu nedostatků. Je třeba zvýšit

* Česky byly tyto lampy nazvány „zářivkami“. V dalším budeme používat tohoto názvu pro všechny luminiscentní lampy běžné konstrukce. Pozn. překl.

ještě podstatně jejich účinnost, zlepšit jejich fosfory a snad také nahradit rtuť jinou látkou. Zářivky mají tvar dlouhých trubic, což je nevhodné. Je však docela dobře možno vyrábět zářivky ve tvaru prstence; v takovém tvaru jsou vhodnější pro osvětlení stolu a také pro osvětlení bytů. Podstatný nedostatek zářivek spočívá v tom, že za nízkých teplot je nelze zapálit, protože poklesá napětí rtuťových par. Je však nepochybné, že tento nedostatek bude odstraněn. Trvání světla dnešních fosforů, používaných v zářivkách, je velmi malé; proto je v lampách, napájených střídavým proudem možno pozorovat přerušování světla s periodou jedné setiny vteřiny. Proto se při pozorování rychle se pohybujících předmětů objevuje charakteristická pruhovitost. Proti tomu se používá hlavně zvláštního zapojení soustavy lamp, v němž maxima světla jedné lampy připadají na minima druhé lampy. Jsou však předpoklady k tomu, že budou zhotoveny luminiscentní soustavy s dostatečným trváním luminiscence, takže tato závada bude odstraněna.

Přes tyto nedostatky je možno o dnešních zářivkách bez přehánění říci, že otevřely novou etapu v dějinách osvětlovací techniky. Člověk začíná doopravdy ovládat světelné zdroje a podrobuje je ve všech směrech — v jakosti i kvantitě — své vůli.

Lepší hospodárnost luminiscentních zdrojů není jedinou praktickou výhodou luminiscence. Všechny charakteristické znaky luminiscence, které ji odlišují od tepelného záření, jsou základem nejrůznějších užitečných a praktických aplikací. Když jsme zkoumali zářivky, přesvědčili jsme se, že na jejich uskutečnění měla rozhodující vliv světelná transformace, proměna ultrafialových paprsků ve viditelné prostřednictvím luminiscentních látek. Luminofory jako světelné transformátory dosáhly širokého použití. Skvělý objev Roentgenových paprsků roku 1885 se podařil jenom proto, že se tyto dříve neznámé paprsky s velmi krátkou vlnovou délkou při dopadu na nějakou luminiscentní látku proměňují částečně ve viditelné světlo. Dnešní technika

lékařského vyšetřování nemocných Roentgenovými paprsky je zcela založena na světelné transformaci.

Za poslední půlstoletí vyrostl zvláštní nový rozsáhlý obor — chemická a jiná analýsa, nazvaná luminiscentní analýsou, která je založena rovněž na světelné transformaci. Tento druh analýsy je založen na tom, že ultrafialové paprsky, jež dopadají na různá tělesa, vyvolávají často záření, závislé na chemickém složení tělesa. Používáme-li rtuťové křemenné lampy s černým sklem, propouštějícím ultrafialové paprsky, je možno za prakticky úplné temnoty vyvolat viditelné záření předmětů. Za takových okolností se plně využije ohromné citlivosti lidského oka, přizpůsobeného tmě, a podaří se zpozorovat nepatrné podrobnosti a příměsi. Luminiscentní analýsa je velmi rozšířena v chemii, lékařství, potravinářském průmyslu, kovodělném průmyslu, mineralogii, soudním lékařství, kriminalistice atd.

Podle Stokesova zákona nezpůsobuje proměna světelných paprsků krátkých vlnových délek v záření větší vlnové délky principiálně žádné potíže. Je však možno dokázat něco i v opačném směru, t. j. transformovat dlouhovlnné paprsky, na příklad neviditelné infračervené, v krátkovlnné, viditelné?

Znalosti a vynalézavost člověka nejednou naleznou okliku, jak „obejít“ zákazy druhu Stokesova zářena, aniž se tyto zákony poruší. Pro vzbuzení viditelného světla infračervenými paprsky byly nalezeny dvě cesty. Elektronický přístroj pro vidění ve tmě (noctivisor) je zařízen takto: Neviditelný infračervený obrázek dopadá na fotočlánek, citlivý na infračervené paprsky. Z fotočlátku jsou uvolňovány elektrony, jejichž energii je možno zvětšit přídavným elektrickým polem. Blízko fotočlátku je luminiscentní stínítko, na něž elektrony dopadají a vyvolávají viditelné záření. Zákon Stokesův jsme zde obešli tím, že k energii infračerveného kvanta, která se proměnila v energii elektronu, se připojuje nová dávka elektrické energie, takže celková energie elementárního procesu stačí ke vzbuzení viditelného světla.

Druhý způsob, jak „obejít“ Stokesův zákon, je čistě světelný. Mezi krystalickými fosfory existují látky, jejichž záření klesá velmi pomalu, t. j. takové, které svítí po excitaci velmi slabě, skoro temně. Dávno bylo známo, že některé z takových látek začínají zářit (ztrácet svou excitační energii) daleko rychleji, jestliže je po ozáření ultrafialovými nebo obyčejnými paprsky nahřejeme nebo ozáříme infračerveným zářením. Tím je tedy dána možnost získat viditelné záření vlivem infračervených paprsků, na první pohled v rozporu se Stokesovým zákonem. Ve skutečnosti, jak lehko pochopíme, zde tento zákon porušen není. Infračervené světlo zde neprovádí excitaci, vzbuzení, nýbrž jenom spouští větší nálož, která byla předtím získána od ultrafialových paprsků. V posledních letech byly vyrobeny světélkující soustavy na základě sloučenin žíravých zemin s aktivátory ze dvou vzácných zemin — ceria a samaria nebo europa a samaria. Tyto soustavy svými vlatnostmi překonaly daleko všechny luminiscentní látky, jichž bylo dříve používáno pro získání záření vlivem infračervených paprsků (po předchozí excitaci). Tyto látky mohou udržet nashromážděnou excitační energii po týdny, neboť jí za normální teploty vydávají velmi málo. Při osvětlení infračervenými paprsky vlnové délky okolo 2 mikronů vydávají jasné červené nebo zelené záření, které po skončení ozařování infračervenými paprsky prakticky skoro okamžitě zmizí. Luminiscence dala tak možnost transformovat část neviditelného infračerveného světla ve viditelné. V poslední době se podařilo sovětským fyzikům a astronomům zjistit tímto způsobem na nebi nové hvězdy a mlhoviny, které jsou neviditelné jak okem, tak i fotograficky. Luminiscence neobyčejně rozšířila faktické hranice spektrální citlivosti oka; z úzkého pruhu mezi 0,4 až 0,7 mikronů je rozšířila do nejširší oblasti od dvou mikronů do jakkoli krátkých paprsků.

Vedle čistě světelné transformace získala vážný praktický význam proměna energie elektrických paprsků, zejména proudu elektronů, ve viditelné světlo. Všechny moderní

televizní soustavy se opírají o ten fakt, že proud elektronů, pohybující se rychle po luminiscentním stínítku, zanechává za sebou kratší nebo trvalejší stopu. Prostřednictvím luminiscence se energie elektrických signálů proměňuje ve viditelný obraz. Ve všech radarových zařízeních, která mají nesmírný význam v moderní válečné technice, dostaneme konečný výsledek ve formě světelných skvrn a čar na luminiscentním stínítku. Luminiscence položila v nejrůznějších praktických oblastech pevný most mezi světlo a elektřinu.

Luminiscence je možná jen proto (jak jsme viděli v předcházející kapitole), že excitační energie se nerozptyluje v prostředí a nevstupuje do celkové tepelné bilance tělesa. Tato okolnost určuje nejdůležitější praktickou vlastnost luminiscentních tuhých těles: *excitace je v tělesech ostře lokalizována*, nešíří se na jiná místa. V plynech a kapalinách je taková lokalizace samozřejmě nemožná vzhledem k malé vazkosti těchto prostředí a vzhledem k rychlému pohybu částic látky. Lokalizace luminiscence v tuhých tělesech je její velikou praktickou výhodou. Právě proto je možno pomocí fotografického obektivu získat na luminiscentním stínítku obraz předmětu, a proto se luminiscence používá v televizi a radiu. Pro tuto vlastnost bylo také luminiscence široce použito ve vojenské technice, zejména v otázkách zatemňování.

Válka často překonala očividné pravdy. Nesporná výhoda dobrého umělého osvětlení v městech, na železnicích atd. se proměňuje za dnešní války, při nočních leteckých náletech ve zřejmou nevýhodu. Avšak naprosté vyloučení umělého světla v noci je velmi primitivní, drahý a neracionální způsob, jak se ukrýt před očima vzdušného dravce. Takový způsob zastavuje skoro úplně pohyb lidí a dopravy ve městě, neobyčejně brzdí železniční styk, zejména na velkých a složitých seřadovacích železničních uzlech, zpomaluje práci továren, zejména na otevřených prostranstvích. Správnější je proto vytvořit takové osvětlení, které by dovolilo orientovat

se více či méně volně v okolních předmětech a současně by bylo neviditelné pro nočního nepřítele, nacházejícího se ve veliké výšce.

Úloha je částečně řešitelná v mnoha případech. Při tom zde prokazuje velikou pomoc, stejně jako v otázce dobrého osvětlení, luminiscence. Nevýhoda používání obyčejných tepelných zdrojů světla při zatemnění je ve dvou okolnostech: 1. samotné zdroje, na příklad žárovky, jsou velmi jasné a snadno pozorovatelné s veliké výšky, nejsou-li chráněny vhodnými kryty; 2. takové lampy svítí na všechny strany a osvětlují vše, ať je to třeba osvětlit či ne. Na příklad mějme veliké tovární strojní oddělení, v němž obyčejně lampy osvětlují strop, podlahu i stěny; oknem se dere jasné světlo, které je při zatemnění naprosto nepřípustné. Zatím však pro práci strojního oddělení stačí, aby obsluha viděla měřicí přístroje a hlavní řídicí páky. Obyčejně se v takových případech nepřišlo na nic lepšího, než těsně zakrýt okna. Takové řešení činí ovšem existenci oken v oddělení prostě zbytečnou.

Obrátíme-li se k luminiscenci, k „chladnému světlu“, najdeme snadno východ ze slepé uličky. Nahradíme na příklad v oddělení žárovku rtuťovou lampou s černým krytem, propouštějícím ultrafialové paprsky a zadržujícím viditelné světlo. Pokryjeme pak nutné části v místnosti, na příklad číselníky měřicích strojů, páky, vypínače atd., luminiscentními látkami. Pak bude v místnosti vidět jenom to, co je třeba, a okny, nenatřenými barvou bude navenek pronikat jenom zcela nepatrné světlo, pro letadlo nepozorovatelné.

Svítícími barvami, jejichž podstatnou částí je obyčejně sirník zinečnatý, aktivovaný mědí, se natrou nadpisy, ukazatelé, orámují se hrany cest na městských náměstích, ve vlacích, přístavech, na vojenských lodích, na letadlech atd. Všude se přitom používá vlastnosti lokalisace luminiscence.

Ze stejného důvodu pronikla luminiscence již dávno do divadelní techniky a postupně proniká do malířství. Mnohé úlohy divadelní techniky, řešitelné jenom velmi složitým způsobem, se staly zcela jednoduchými, jakmile jsme se

naučili používat neviditelného ultrafialového světla a různých svítících soustav. Tak zvané „zázraky“ v operních, baletních a dětských divadlech se uskuteční pomocí „chladného světla“ obyčejně velmi jednoduše. Je na příklad snadné předvést tanečníka, provádějícího složitý a obtížný tanec na jedné noze. Stačí, aby jedna noha tanečníka byla pokryta neluminiscentní barvou. Pak budou v ultrafialovém světle zářit všechny části těla tanečníka kromě jedné nohy. Luminescence umožňuje neobyčejně krásně a fantasticky uskutečnit takové obtížné scény, jako vodní říše v opeře „Sadko“ nebo „Koník-Hrbáček“. Scéna s perem ptáka Ohniváka se přitom provede nejjednoduššími prostředky.

Svítící barvy otevírají nové perspektivy před malíři. Obyčejná malba různých druhů, existující od starověku, je založena na rozptylu (vnějšího denního nebo umělého) světla tepelného zdroje na obrazu vytvořeném barvami. Tato okolnost vážně omezuje možnosti malířství. Především všechny dosud známé barvy dávají při rozptylu světla široké spektrální pásy; dosáhnout na obrazu sytých, čistých tónů není téměř možno. Pouze v tom případě, že jsou barvy nanесeny na skle a obraz se pozoruje na průhled, je možno dosáhnout dostatečně sytých tónů. Za druhé obyčejná malba má velmi omezený rozsah jasnosti. Ve skutečnosti totiž i nejjistší známé běloby odrážejí pouze 95—97% dopadajícího světla, 3—5% pohlcují; současně však nejčernější barva nepohlcuje ve skutečnosti více než 95% dopadajícího světla a rozptyluje ostatních 5%. Největší změny jasnosti na obraze mohou tedy kolísat v mezích 5—95%, t. j. mohou se měnit pouze 20-krát. Zatím se však v obklopující nás přírodě, kterou chce malíř často zobrazit, liší lidským okem vnímané jasnosti často v poměru několika set. Stačí si představit les, proniknutý přímými slunečními paprsky, kde se střídají jasné sluneční skvrny s temným stínem pod stromy; nebo nebe se zapadajícím sluncem nebo vycházejícím měsícem. Takové krajinky jsou obyčejně malbě zcela nedostupné.

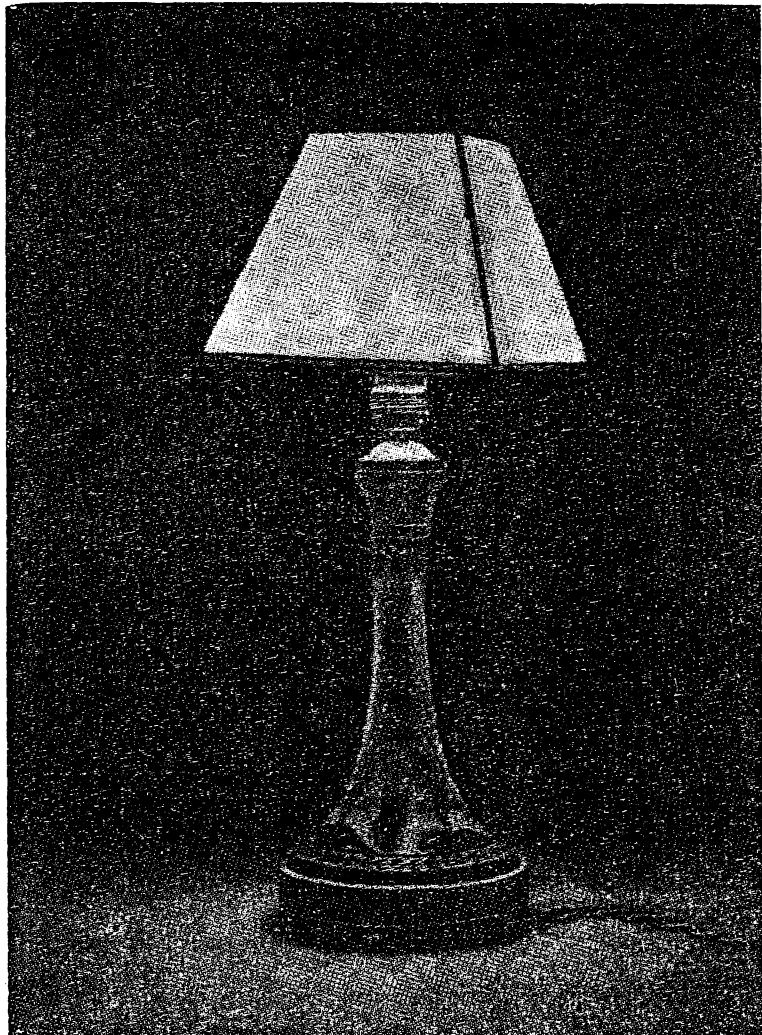
Docela jiné možnosti má malíř, používající luminiscentní

barvy, zářící vlivem ultrafialových paprsků vlastním světlem. Zde můžeme snadno dosáhnout čistých, nasycených tónů, zde je možno snadno dosáhnout mnohosetnásobných rozdílů jasnosti. Proto jsou v luminiscentní malbě krajiny se sluncem a měsícem na nebi (a jiné podobné situace, které nejsou v obyčejné malbě možné) zcela přirozené. První velmi úspěšné kroky byly v tomto směru sovětskými umělci již učiněny.

Excitační energie, jak jsme již řekli, nezúčastní se obecné výměny energie v tělese, výměny, vedoucí k tepelné rovnováze. Tím se vysvětluje, jak jsme již poznamenali, lokalizace excitace v tuhých luminiscentních tělesech. S touto izolací je spojeno také nutné *konečné trvání* procesů luminiscence po skončení excitace.

Trvání luminiscence se široce a různotvárně využívá v technice. Již na začátku minulého století, před objevem fotografie v její nynější formě, se navrhovalo získat obrazy předmětů jejich promítnutím pomocí čoček na luminiscentní vrstvu, která by měla značné trvání luminiscence. Takové obrazy by mohly existovat prakticky několik hodin, postupně blednouce a mizíce. Za touto dobu by bylo možno překreslit obraz nebo obrys na průsvitný papír a takto jej „ustálit“.

Podstatný význam mělo trvání luminiscence za války. Velkých ploch, pokrytých svítícími soustavami, bylo použito v krytech a všude, kde bylo třeba obávat se náhlého zhasnutí elektrického osvětlení při leteckém bombardování nebo z jiných příčin. Excitujeme-li jasným aktivním světlem, na příklad hořící magnesiovou páskou, nevelikou plošku velikosti dopisu, je možno získat vhodný slabý zdroj světla na dobu několika hodin. Takovou svítící plošku je možno (jakmile již světlo nepotřebujeme) schovat do kapsy protože světlo luminiscence je „chladné“ a šaty se nespálí. Je možno přišpendlit takovou plošku na kabát, abychom se v noci v době zatemnění nesrazili na ulicích města s chodci.



Obr. 5. Stínítko noční lampy, vyrobené ze světélkující plastické hmoty.
Fotografický snímek byl získán mnohahodinovou expozicí.

Stejná ploška může posloužit za podložku při psaní v noci, položíme-li na ni dostatečně průhledný papír.

Stínítko lampy, vyrobené z plastické hmoty s příměsí sirníku zinečnatého, aktivovaného mědí, zakrývající žárov-

ku (obr. 5.) se promění po vypnutí lampy v příjemnou, třeba i slabou noční lampu. Taková lampa, použijeme-li svítící soustavy vhodného složení, svítí až do rána. Místo plastické hmoty je možno použít libovolné, pro světlo průsvitné tkaniny, pokryté pomocí pulverisátoru emulzí ze svítící soustavy, vyrobené na základně vhodného laku.

Velmi důležitá technická úloha spočívá v nalezení takových svítících látek, které by měly dostatečně dlouhou dobu svícení a současně dosti velikou jasnost. Toho je třeba proto, aby světélkování na účet excitace během dne mohlo vydržet přes celou noc až do rána. Jakmile budou takové látky nalezeny, objeví se zajímavé perspektivy pro železniční a automobilové spoje, které nemají elektrického osvětlení a vůbec pro osvětlení míst, vzdálených od obydlených oblastí.

Natřeme-li luminiscentní barvou železniční pražce nebo silniční patníky a sloupy, pravděpodobně se nám v budoucnosti podaří zajistit na velikých prostranstvích jednoduchým a hospodárným způsobem na celou noc orientační osvětlení. Dosud se však ještě nepodařilo vyrobit svítící látky požadovaných vlastností, třebaže se nepochybně řešení úkolu každým dnem přibližujeme. V posledních letech byly v SSSR získány soustavy, které svítí 8 hodin po skončení osvětlení skoro 10krát jasněji, než dosavadní nejdokonalší přípravky. Tento úspěch nestačí ještě k rozřešení úkolu, jak „překonat noc“, ale je k němu již blízko. Zde máme před sebou jednu z nejzajímavějších technických aplikací luminescence.

Trvání světla má důležitost i v technických zařízeních, používajících proměny energie elektronu v světlo. V televizi proběhne proud elektronů rychle luminiscentní stínítko a zanechá na něm stopu tvaru předmětu. Jestliže se však předmět pohybuje, je nutno, aby luminiscentní skvrny, vyvolané elektronem, co možno rychle zmizely a uvolnily tak místo pro další, změněný signál. Jisté trvání obrazu je zaručeno setrvačností zrakového vjemu. Proto se v televizi

používá pro stínítka látek, jejichž záření po excitaci velmi rychle uhasíná. Je třeba poznamenat, že obyčejné krystalické fosfory hasnou po excitaci velmi rychle. Naopak u radaru a některých speciálních zařízení je třeba, aby zápis elektronového proudu na stínítku trval určitou dobu. K tomuto účelu jsou zkoumány jednak zvláštní látky s dlouhým trváním luminiscence při elektronové excitaci, nebo se používá „dvojvrstvých“ stínítek. Spodní vrstva takového stínítka, buzená elektrony, dává rychle mizející fialové nebo i ultrafialové záření. Vznikající paprsky vnikají přitom do druhé vrstvy stínítka a vyvolávají v něm zelené záření. V tomto případě je luminiscence vlastně vyvolávána světlem a má proto delší trvání. Popsané dvojvrstvé stínítko tedy umožňuje získat déletrvající světelnou stopu elektronového proudu.

Skoro každého člověka, který někdy spatřil trvalé světlo krystalických fosforů, napadne, zda by nebylo možno získat nějak fosfor, který by svítil nepřetržitě. Je ovšem jasné, že obyčejné soustavy nemohou ničeho podobného dosáhnout vzhledem k zákonu o zachování energie. Fosfor v nejlepším případě vydá to, co dostal; k dovršení potíží nemůže fosfor nabrat do sebe neomezené množství energie. Počet center, která jsou v něm schopna luminiscence, je omezen, a jakmile jsou všechna centra excitována, je další osvětlování zbytečné — dopadající světlo prochází bez pohlcování.

Existuje zatím jediný způsob, jak získat tak zvané stálé fosfory, t. j. fosfory, které svítí stálým slabým světlem, ne-li trvale, tedy alespoň po léta. Tento způsob spočívá v přimíšení nepatrného množství radia nebo nějaké jiné radioaktivní látky do svítících soustav. Radium je skvělý příklad samovolně se rozpadajících atomů. Za 1700 let se dané množství radia pouze z jedné poloviny rozpadne a promění v jiné látky. Při rozpadu se uvolňuje energie ve formě tak zvaných paprsků alfa, beta a gama. Paprsky alfa jsou heliová jádra, paprsky beta jsou elektrony a paprsky

gama jsou světelné (elektromagnetické) paprsky neobyčejně malé vlnové délky, kratší než paprsky Roentgenovy. Paprsky gama jsou látkou pohlcovány velmi málo, a proto je jejich světelné působení nepatrné. Největší luminiscence je vyvolávána paprsky alfa. Částice alfa, které dopadly na molekulu sirníku zinečnatého, pohlcují se na velmi nepatrné dráze. Uvolňují současně ohromnou energii, jejíž část, aspoň několik procent, se promění ve viditelné světlo. Jedno jádro helia způsobí samo celé zazáření; výsledek je možno pozorovat jako jednotlivý dosti jasný záblesk (tak zvaná scintilace).

Kdyby se sirník zinečnatý vlivem záření radia sám rozkládal, musila by luminiscence krystalického fosforu s radium vydržet bez většího zeslabení po století a dokonce tisíciletí. Ve skutečnosti se sirník zinečnatý postupně rozkládá a tak je již za rok nebo za dva luminiscence značně oslabena.

Světlo „stálého fosforu“ roste s množstvím přidaného radia. Příliš daleko se však po této cestě nedostaneme z důvodů především čistě hospodářských. Radium je velmi drahý a vzácný prvek, cena 1 gramu radia přesahuje deset milionů korun. Abychom dosáhli prakticky dostačujícího, ovšem velmi slabého svícení fosforu, je třeba k jednoému kilogramu „stálého fosforu“ přidat asi 10 miligramů radia. Proto stojí kilogram „stálého fosforu“ více než 100 000 korun, zatím co samotný fosfor stojí 2 000—3 000 korun.

Na druhé straně, čím větší množství radia přidáme, tím rychleji bude jeho světlo klesat. Přesto se světélkujících látek se stálým světlem používá již několik desetiletí pro výrobu světélkujících stupnic, zejména ve vojenství. Je možno obecně říci, že většina radia, získávaného na zemi, se spotřebuje na stálé fosfory, na světélkující barvy. Sem patří fosfory používané na vojenské přístroje, pracující v noci, na číselníky hodinek atd.

Nebylo by možno nahradit radium jinou dostupnější a lacinější látkou? Lze doufat, že rozvoj fyziky atomového jádra v nedaleké budoucnosti dospěje k výrobě umělých

radioaktivních látek, které by mohly nahradit radium „stálých fosforů“. Je to úkol budoucnosti. Zbývá ještě podotknout, že světélkující soustavy se stálým světlem mohly být známy již před stoletím, alespoň principiálně, kdyby byli badatelé, fyzikové a chemikové, dobře prohlédli v temnotě krystaly uranových sloučenin, na příklad dusičnanu uranu, zejména komplexní soli uranyldraselné. Uviděli by již před sto lety, že v temnotě tyto krystaly svítí. Příčina světla je v pomalém rozpadu atomů uranu. Samozřejmě je od takových velmi slabých světelných zdrojů a dokonce i od dnešních nejsilnějších soustav se stálým světlem ještě velmi daleko k požadavkům praktické osvětlovací techniky. Vstupujeme však do epochy reálného ovládnutí energie atomových jader a je možno doufat, že dříve či později bude atomové energie použito i pro osvětlovací účely, a to nejenom prostřednictvím elektráren, pracujících s „atomovým palivem“, nýbrž i bezprostředně v soustavách, podobných dnešním „stálým fosforům“.

Úloha vědy a techniky v naší zemi je veliká. Sovětský člověk ví, co znamenal vynález železniční dopravy, letectví, automobilů, telefonu, rozhlasu, method boje s mikrobi, fotografie a filmu ve vývoji lidské společnosti. To, co předpovídala lidová báje a písnička a co připisovala bohům a skřítkům — hovory na vzdálenosti tisíců kilometrů, bleskové přelety na létajícím koberci, zachování vzhledu, pohybu a hlasu dávno zemřelých lidí — vše to se stalo již obyčejnou věcí jako vůz a samovar. Ba dokonce na mnoha místech Sovětské země se nyní stává samovar a vůz s potahem větší vzácností než letadlo nebo elektrický čajník.

Není nutno mít zvláštní dar předvídavosti, abychom předpověděli tu nedalekou dobu, kdy se „chladné světlo“ stane pro každého z nás takovým nutným a nevyhnutelným předmětem, jakým jsou dnes žárovky.

„Chladné světlo“ je jediným racionálním řešením problému světelné techniky, je to osvobození od cesty tepelných zdrojů

světla, na kterou nás zavedla příroda, je to ovládnutí přírody, její přetvoření. „Chladné světlo“ je neoddělitelnou součástí kulturního života budoucí komunistické společnosti. Naší povinností je uskutečnit a co nejvíce urychlit všestranné rozšíření „chladného světla“.

Seznam doporučené literatury.

1. *V. L. Levšin*, Cholodnyj svět, Izdatělstvo AN SSSR, 1938. (Krátký, všeobecně dostupný výklad otázky.)
2. *V. L. Levšin*, Svěťaščijesja sostavy, Izdatělstvo AN SSSR, 1936 (134 str.). (Speciálnější výklad než předcházející brožura. Obsah v dnešní době částečně zastaral.)
3. *N. Ril*, Luminiscencija. Fizičeskije svojstva i těčničeskije priměněnija, Gostěchizdat, 1946 (184 str.). (Podrobný výklad vlastností krystalických fosforů a jejich použití v technice. Kniha je určena čtenáři s otázkou seznámenému.)
4. *P. Pringsheim — M. Forell*, Luminiscencija židkostěj i tvěrdych těl i jejo praktičeskoje priměněnije, Gos. izd. in. lit., 1948 (262 str.). (Kniha je určena čtenářům, zajímajícím se o luminiscenci hlavně s technické stránky. Obsahuje mnoho dobře ověřených dat.)
5. *M. A. Konstantinova — Šlezinger*, Luminiscentnyj analiz, Izd-vo AN SSSR, 1948 (288 str.). (Systematický výklad aplikace luminiscence pro analytické účely v nejrůznějších oblastech. Kniha je určena širokému okruhu specialistů, používajících luminiscentní analýsy.)
6. *N. F. Žirov*, Luminofory, Gos. izd-vo oboronnoj lit., 1940 (478 str.). (Podrobná příručka pro výrobu i studium krystalických fosforů. Obsahuje podrobnou recepturu.)
7. *F. A. Nilender*, Luminiscentnyje lampy a jich priměněnija. Goseněrgoizdat, 1948 (40 str.). (Hutný výklad vlastností luminiscentních lamp, jejich konstrukce a technologie.)
8. *A. V. Moskvín*, Katodoluminiscencija. Čast I., Obščije svojstva javlenija. Gostěchizdat 1948 (348 str.). (Podrobný výklad fyzikálních vlastností katodové luminiscence na základě údajů z literatury i vlastních pokusů autora.)
9. *A. V. Moskvín*, Katodoluminiscencija, Čast II., Katodoluminofory i ekrany. Gostěchizdat 1949 (700 str.). (Podrobný výklad aplikace katodové luminiscence v technice; technika výroby luminoforů a stínítek.)

10. Matérialy sověščanija po voprosam luminiscenciji, 5. — 10. X. 1944, sozvanogo Fiziko-matematičeskim otdělenijem Akademii nauk SSSR. Izd-vo AN SSSR, serija fizič., t. IX. No 4—5, str. 277—576, 1945.
(32 přednášek o hlavních problémech theorie a techniky luminiscence za hranicemi i v SSSR, podle stavu v roce 1944).
11. Matérialy vtorogo sověščanija po luminiscenciji i priměnenija světosostavov, sozvanogo Fiziko-matematičeskim otdělenijem AN SSSR 17.—22. maja 1948. Izd-vo AN SSSR, serija fizič., t. XIII., No 1 a 2, 1949, (328 str.). (40 přednášek o základních otázkách luminiscence v SSSR i za hranicemi podle stavu roku 1948).
12. Naučnaja literatura po voprosam luminiscenciji. Bibliografija 1935—1946 gg. Izd-vo AN SSSR, 1948 (344 str.). (Podrobný bibliografický seznam vědeckých článků a knih o otázkách theorie a techniky luminiscence, uveřejněné v zmíněné době za hranicemi i v SSSR).

Obsah:

Předmluva	5
KAPITOLA PRVNÍ: „Teplé světlo“ a chladné záření	7
KAPITOLA DRUHÁ: „Chladné světlo“ a luminiscence .	21
KAPITOLA TŘETÍ: Zvládnutí „chladného světla“ .	37
Seznam doporučené literatury	57

CESTA K VĚDĚNÍ

63

S. I. VAVILOV

O „teplém“ a „studeném“ světle

Vydalo Přírodovědecké vydavatelství, Praha 1951. Šéfredaktor Dr Miroslav Střída, odborný redaktor Miroslav Fuka, výtvarný redaktor Miloš Hrbas, jazyková redaktorka Věra Pašková. Z nové sazby písmem Modern Extended vytiskla Státní tiskárna n. p., závod 05 (Prometheus), Praha VIII. — 1. vydání, náklad 5000 výtisků (1—5000) — 30103-133 — 53274/51/10/III/1 — 95 — 1% — Sazba 4. 8. 51 — Tisk 13. 10. 51 — 1,88 plánovacích archů, 2,83 autorských archů, 3,04 vydavatelských archů — 60 stran, 5 obrazců. Papír 221-07, formát 70×100 cm, 80 g. Cena brož. Kčs 15,—

DT 621.32