

Informace o výstavě **Světélkování aneb Luminiscence čili Studené světlo** pro účely zapůjčování výstavy

Autoři: Jan Valenta a Ivan Pelant (jan.valenta@mff.cuni.cz , pelant@fzu.cz)

Základní informace, motivace

Výstava seznamuje přístupnou formou s jevem *luminiscence*, tedy světélkováním kondenzovaných látek po vybuzení do excitovaného stavu. Jsou zde představeny všechny důležité druhy luminiscence, které dělíme podle způsobu vybuzení na foto-, elektro-, katodo-, radio-, rentgeno-, termo-, chemi-, bio-luminiscenci (a další). Za použití bohatého obrazového materiálu jsou především ilustrovány široké možnosti využití luminiscence ve vědě, lékařství i každodenním životě. Bez nadsázky lze říci, že luminiscence je všude kolem nás; nyní zejména díky světelným zdrojům založeným na svítivých diodách (LED). Současná revoluce v osvětlovací technice byla umožněna vývojem vysoce účinných modrých (a potažmo bílých) LED, což bylo oceněno udělením letošní Nobelovy ceny za fyziku trojici japonských badatelů.

Výstava do značné míry vychází z populárně-naučné knihy (i když se zde objeví i nová zajímavá fakta a ilustrace) *Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři*, autorů *I. Pelanta a J. Valenty*, nakladatelstvím *Academia* roku 2014.

<http://www.academia.cz/luminiscence-doma-v-prirode-a-v-laboratori.html>

Téma výstavy – světélkování –zapadá do rámce **Mezinárodního roku světla 2015**. Proto bude tato výstava po skončení prvního uvedení na MFF UK v únoru 2015 nabídnuta k zapůjčení dalším institucím, aby přispěla k šíření znalostí o tomto oboru a případně motivovala studenty ke studiu přírodních věd.

Rozsah a adjustace výstavy

- Základní rozsah výstavy je 10 panelů 70 x 100 cm orientovaných na výšku (plánuje se rozšíření o 1 až 2 panely)
- Panely jsou lehké a relativně odolné provedené pigmentovým tiskem a zalaminované (matné) na plastové podložce (kapa 5 mm) v hliníkovém rámu (přirozené stříbrné barvy) Nielsen, k zavěšení jsou vzadu dva háčky.
- Plánuje se příprava svítících exponátů ve speciální skříňce z připojením na elektrickou síť.
- Pokud je k dispozici digitální projekce, mohou být promítány smyčky snímků s tematikou luminiscence.
- Je možné domluvit poskytnutí elektronických podkladů (tiskových pdf), aby výstava mohla být vytištěna a adjustována příjemcem bez nutnosti převozu existujících panelů.

Nabídka pro vernisáže

Je možné přednést úvodní přednášku s luminiscenčními pokusy v délce cca 40-60 min.

Podmínky zapůjčení výstavy

- Zapůjčení výstavy pro nekomerční subjekty je zdarma.
- O zapůjčení výstavy bude podepsána písemná smlouva obsahující termín půjčení a další detaily, zejména sankce za poškození panelů (výrobní cena jednoho panelu je ~3000 Kč).
- Doprava z MFF UK a zpět bude zajištěna příjemcem.
- Zabalení a podmínky přepravy musí splňovat pravidla popsaná zvláštním manuálem.


První uvedení výstavy: 5. 12. 2014 – 16. 2. 2015 na Matematicko-fyzikální fakultě.

Fotografie ukazují zavěšení panelů na závěsném systému Nielsen a osvětlovacím systémem domácího návrhu s některými komponentami od fy SLV.

Úvodní informace jsou upraveny pro panel polovičního rozměru 50 x 70 cm.



Na dalších stránkách jsou zmenšeniny všech dosud hotových panelů.



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

SVĚTĚLKOVÁNÍ Luminiscence

CO JE TO LUMINISCENCE ?

Luminiscence je studené světlo

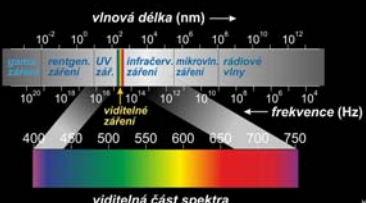
Přesnější definice:
Luminiscence je nerovnovážné záření vysílané tělesem (pevnou látkou nebo kapalinou) navíc nad rovnovážným (tepelným) zářením popsaným Planckovým zákonem.

Pojmem "studené světlo" chceme zdůraznit, že luminiscence není nutně spojená se zahříváním zářičko látkou, může probíhat i za velmi nízkých teplot a často dokonce a dokonce i poklesem teploty roste.

Záření plynu sem tedy nepočítáme!

Co je to světlo?

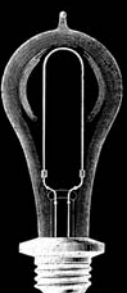
Světlo je část spektra elektromagnetického záření, která je viditelná lidským okem. Počítáme k němu i přilehlé oblasti spektra: ultrafialové (UV) a infračervené (IR) záření.



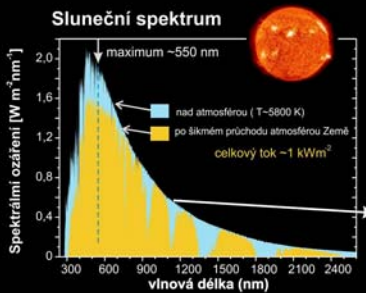
viditelná část spektra

Co je to tepelné záření?

Každé těleso vyzařuje tepelné záření odpovídající jeho teplotě. Zároveň také absorbuje tepelné záření z okolí. V tepelné rovnováze jsou pak vyzařována a pohlcena energie stejně. Tepelné záření velmi rychle roste s teplotou (se čtvrtou mocninou teploty) a maximum se posouvá z IR do viditelné oblasti.



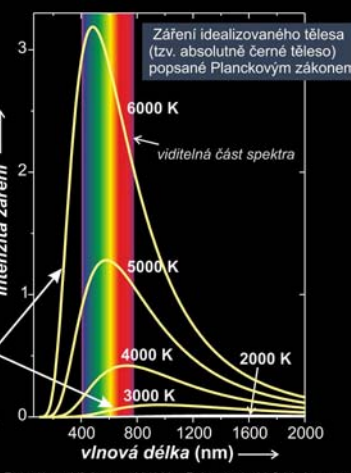
Sluneční spektrum



Teplota vlákna žárovky odpovídá 2000 až 3000 K, takže většina záření leží v infračervené oblasti.

Sluneční spektrum odpovídá záření tělesa o teplotě 5800 K (teplota sluneční fotosféry)

Záření idealizovaného tělesa (tzv. absolutně černé těleso) popsané Planckovým zákonem




Teploty jsou uváděné ve stupních Kelvina. Teplotu ve stupních Celsia dostaneme odečtením 273 stupňů (teplota absolutní nuly).

Druhy luminiscence rozlišujeme podle způsobu vybuzení (vyvedení z rovnovážného stavu)	Název	Způsob buzení
	FOTO luminiscence	pohlcení světelného záření
	ELEKTRO luminiscence	průchod elektrického proudu (nikoliv žhavení jako v žárovce)
	CHEMI luminiscence	energie uvolněná při (exotermní) chemické reakci
	BIO luminiscence	chemická reakce v živých organismech
	KATODO luminiscence	dopad urychlených elektronů
	RENTGENO (RADIO) luminiscence	dopad rentgenového (ionizujícího) záření
	TERMO luminiscence	tepelné kmity v materiálu (uvolňují "zamrzlé" vybuzené stavy)
	MECHANO luminiscence	mechanická deformace tělesa

Pojem luminiscence zavedl německý fyzik Eilhard Wiedemann (1852-1928) na základě latinského slova lumen = světlo. Starý český název byl světélkování.

matfyz.cz
Autobíli: J. Valenta a J. Peřin, Grafika: J. Valenta © 2014

Panel 1:





INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

SVĚTÉLKOVÁNÍ

Luminiscence

CHEMILUMINISCENCE

Světélkování vybuzené chemickou reakcí

Chemiluminiscence při oxidaci luminolu v temné místnosti. Postřik na skleněném nádobí

Autor pokusu a demonstrátor: Martin Konečný. Foto: J. Valenta.

Nc1ccc2c(c1)c(=O)[nH]c2=O

luminol

oxidace

$$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH} + \text{katalyzátor (Fe)} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_7\text{N}_3\text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{luminiscence}$$

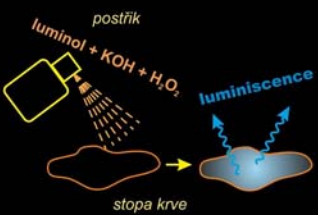
Využití v kriminalistice (forenzní vědy)

Zviditelnění krevních stop pomocí chemiluminiscence luminolu. **Železo**, které katalyzuje rozklad peroxidu a tím oxidaci luminolu je obsaženo v molekulách **hemu** - součásti krevního barviva **hemoglobinu**.

Cc1c(C)nc2c(c1)c(C)nc2C

hem

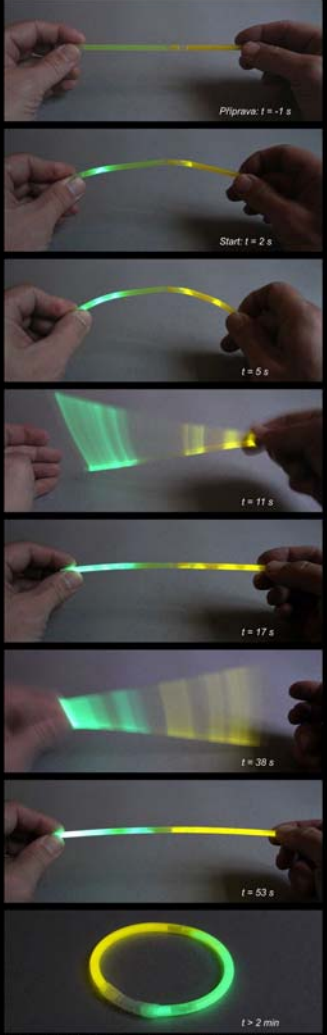
Reakci objevil německý chemik Herbert Otto Albrecht roku 1928.



Chemiluminiscenční tyčky (light sticks)

- Slouží nejen k zábavě, ale i jako nouzová světla a signalizace v nebezpečí.
- Fungují i pod vodou, takže se používají třeba jako indikace pohybu udivce při nočním rybolovu.
- Kombinací s fluorescenčními barvivy, která absorbují modrou chemiluminiscenci a fluoreskují na delší vlnové délce, se dá docílit různých výsledných barev.

Na sekvenční snímku je zachycena aktivace jedné takové tyčky.




Slabá chemiluminiscence je znatelná i po 12 hodinách od iniciace.

matfyz.cz

Autori obrázků: J. Valenta a I. Přelinc, Grafika: J. Valenta © 2014

Panel 2.




INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015


SVĚTĚLKOVÁNÍ Luminiscence

BIOLUMINESCENCE


Světélkování živočichů, rostlin a mikroorganismů
houby, prvoci, světlušky, medúzy, hlubinné ryby, hvězdice, krabi, krevety, hlavonožci atd.



♀




Philosoph. Transact. Number 47. 3
Kreaba R. Wallera 1685



♂
Fotografie: J. Valenta, 2006-2013

Světlušky


Základem bioluminiscence jsou luciferiny - sloučeniny, které ovládají za přítomnosti enzymu luciferázy na oxy luciferin. Přitom se uvolňuje světlo s velkou účinností.



♂


Oc1nc2c(nc1s2)nc3c(s3)nc4c(O)ccc4

Strukturální vzorec luciferinu světlušek.




♂

Ryby




Vzhled za běžného osvětlení




Hlubinná ryba Photostomias guernei je asi 15 cm velká. Žijí v hloubkách 1 - 3 km.
(ze wikipedia.org/wiki/Photostomias)

Odhaduje se, že existuje 30 až 40 různých bioluminiscenčních mechanismů. Z toho je pochopeno pouze asi pět. Pokrok v tomto výzkumu může přinést nové metody pro biologii a medicínu.



Vzhled za tmy

Houba Neonothopanus gardneri objevená v Brazílii G. Gardnerem roku 1840 a znovu objevená až roku 2009 (foto: C. V. Stevani, IQ-USP Brazil).



Vzhled za běžného osvětlení


Vzhled za tmy

Troughnívější dřevo lumineskuje pravidelně oblé dýky bakterií. Průměr větve je asi 6 cm. Nakazeno ve Želazských vřelotů roku 1999. Foto J. Valenta (na klasický barevný negativ).

matfyz.cz

Autori ilustrací: J. Valenta a I. Pelech, Grafika: J. Valenta © 2014

Panel 3.




INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT 2015

SVĚTĚLKOVÁNÍ Luminiscence

RENTGENOLUMINISCENCE

Světélkování vybuzeané rentgenovými paprsky (vysokoenergetickými fotony)



Luminiscenční stínítka a fotografické desky byly hlavními prostředky při objevování a detekci neviditelného záření.

luminiscenční stínítka


Kryptoskop (Fluoroskop)

rentgenka

Škaletr des Skiametrs.

Skiametr se používal k měření intenzity prošlého rnt. záření materiálem přímým pohledem na luminiscenční stínítko.

Oblázky pomoci paprsků Rentgenových.




Kostra rybi 1896

24	23	22	21	20	19
13	14	15	16	17	18
12	11	10	9	8	7
1	2	3	4	5	6

Schattenbild im Skiameter.

RADIO LUMINISCENCE

Světélkování vybuzeané vysokoenergetickými částicemi, radioaktivním zářením




Radioluminiscenční stínítka sehrála významnou roli při zkoumání radioaktivní i při objevování struktury atomů.

Například spinthariskop sestavený W. Crooksem sloužil k pozorování jednotlivých zářičů na luminiscenčním stínítku (na bázi ZnS), které byly vyvolány radioaktivním zářením.

Později se radioluminiscence uplatnila v běžné praxi v podobě směsi rádia a luminoforu. Tato "samozářivá" látka se pak používala po několik desetiletí k označování ciferníků hodin a dalších přístrojů.

Přístroj k studiu rozptylu paprsků α .

Zábrj a fólie jsou pevné, ostatní části se točí i v valosm B a skákladou A v záhranu C, kolem evlád oty.



The Power of Radium at Your Disposal
UNDAK
Radium Luminiscence (Glowing)
Shines in the Dark

Nepřve se používala na ozářky hodin, budku nebo literkých přístrojů směs luminoforu, dolyvá ZnS, Ce, a radium. Například toto: "Na emise α -záření (jádra He) a γ -záření (vysokoenergetické fotony) - poločas rozpadu je 1600 let, kdežto luminofor degraduje během několika let v důsledku α -záření.

Později bylo radium nahrazeno β -zářičem promethiem ^{210}Pm (polob. rozpadu 2,82 roku) použíto radu v rakotném modulu Apollo a veskoz Lunar Rover.

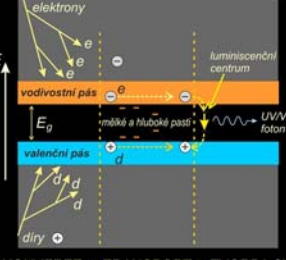
Dnes se používá tritium (tenito izotop vodíku je jediným povoleným radioaktivním prvkem) - zatavená trubice je naplněna plynem T a na stěně je nanesen luminofor buzený elektrony vzniklými při rozpadu T (polob. rozpadu je 12,3 roku za tuto dobu ztratí trubice polovinu intenzity). Rozpad vyvolává β -záření, emise elektronů, či jde vlastně o katodoluminiscenci.

Současné hodinky používají účinnou směs žvařící fluorescenční, resp. persistentní lumy.

Scintilátory

Materiály, které dokážou získat mnoho nízkoenergetických fotonů z dopadu jedné vysokoenergetické (VE) částice. Většinou se jedná o krystaly jednoduchých nebo komplexních halogenidů či oxidů s příměsími, např. CsI:Ti, NaI:TI, YAlO₃:Ce, Lu₂SiO₅:Ce atd.

Schéma scintilačního mechanismu v pevné látce



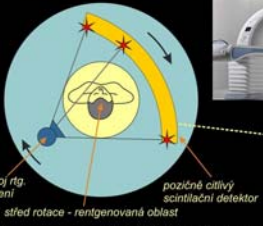
KONVERZE → TRANSPORT → TVORBA SVĚTLA

scintilační materiál

1 VE foton (keV - GeV) → n-krát UV/VIS foton (1 - 6 eV)

Scintilátory se používají v mnoha vědeckých a lékařských přístrojích, např. CT (computed tomography) nebo PET (pozitronová emisní tomografie).

Schéma lékařské zobrazovací metody CT



Několik "řezů" lidskou hlavou získaných pomocí CT.

Odkrytovaný CT přístroj Aquilion ONE od firmy Toshiba

matfyz.cz

Podle: M. Nal, Pokroky MFA 48 (2003) 294-307

Autori obrázků: J. Věleka a J. Poláček, Grafika: J. Věleka © 2014

Panel 4.

INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT 2015

SVĚTELKOVÁNÍ

Luminiscence

KATODO LUMINISCENCE

Světélkování vybuzené paprskem elektronů
je opakem fotoelektrického jevu - uvolnění elektronu z materiálu po dopadu fotonu.

Osciloskop
CRT - cathode ray tube

stínítko
zesílené měřené napětí
horizontální vychylovací destičky
vertikální vychylovací destičky
elektronové dělo
žhavená katoda
zdroj pílových kmitů

Osciloskop se stal zásadním nástrojem pro pokrok vědy a techniky

skleněný obal obrazovky
filtr
žlutozelená fotoluminiscence
elektronový svazek
vakuum

Řez jednobarevnou CRT obrazovkou

Televizní obrazovka

První Čes. televizor sestavený J. Šulcivským ve Fyzikálním ústavu Univerzity Karlovy v Praze (30. léta 20. stol.)

Na "světlu" černobílého televizního obrazu jsme už zcela zapomněli. Snímek černobílého vysílání Československé televize v roce 1960 (Foto: J. Valenta)

Barevná CRT obrazovka obsahuje na stínítku tři lumofory pro základní barvy (červenou, zelenou, modrou - RGB) - viz makrofotografie vpravo (Foto: J. Valenta)

Klasické lumofory pro CRT

Intenzita lumíniscence
vlnová délka (nm)

Radar

Radar je zkratkou slova RAdio Detection And Ranging. Systém vysílá mikrovlnné pulsy a detekuje jejich odraz od předmětů (letadla, lodí atd.). Vzdálenost je vypočítána ze zpoždění odraženého signálu. Anténa obvykle rotuje a posílá "skenuje" prostor kolem. Důležitým prvkem pro vyhodnocení signálu bylo zobrazení na speciálním osciloskopu.

Rotující panoramatický radar

obrazovka radaru

Radar zásadně ovlivnil vývoj 2. světové války i následný rozvoj vědy a techniky (např. vynález MASERu a později LASERu).

Radar německé Luftwaffe typ FuMG-65 Würzburg-Riese zachovaný na observatoři v Ondřejově u Prahy (foto: J. Valenta)


Wireless War

Wireless War
Břeský plátek z roku 1943

matyz.cz

Autofot. obrázky: J. Valenta a I. Polent. Grafika: J. Valenta © 2014

Panel 5.



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

SVĚTĚLKOVÁNÍ Luminiscence

FOTOLUMINISCENCE

Světélkování vybuzené světlem

FLUORESCENCE, FOSFORESCENCE, FOTOLUMINISCENCE - jaký je v tom rozdíl?

organické látky

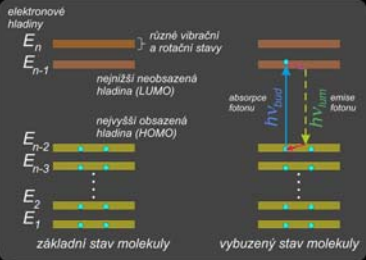
rychlé vyhasínání
(podstatně kratší než mikrosekundy)

pomalé vyhasínání
(delší než mikrosekundy)

anorganické látky

Chybné utvořené pojmy, které přetrvávají

Termín fluorescence byl vytvořen na základě pozorování luminiscence fluoritu (nebo kalcitace, CaF₂). Tehdy pozorovaná luminiscence byla ovšem fosforescencí. Termín fosforescence vzniknul podle svícení bílého fosforu, což je ovšem jen zpočáteční oxidací a patří tedy mezi chemiluminiscenci. Fosfor poprvé extrahoval H. Brandt roku 1669 z moči a změno získal tento prvek z řeckých slov *phos* = světlo a *phoros* = nesoucí.



elektronové hladiny

E_n různé vibrační a rotační stavy

E_{n-1} nejvyšší nabozená hladina (LUMO)

E_{n-2} nejvyšší obsazená hladina (HOMO)

E_{n-3}

E_1

E_0

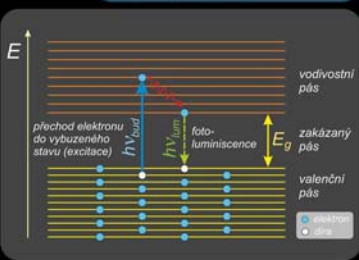
základní stav molekuly

vybuzený stav molekuly

absorpce fotonu $h\nu_{bud}$

emise fotonu $h\nu_{lum}$

Zjednodušené schéma energetických stavů molekuly tvořené n-atomy (hladina je obsazena nejvýše dvěma elektrony - Pauliho vylučovací princip)



vodivostní pás

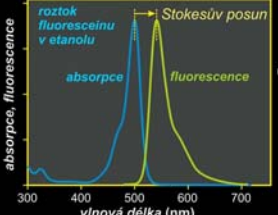
zakázaný pás E_g

valenční pás

přechod elektronu do vybuzeného stavu (excitace) $h\nu_{bud}$

fotoluminiscence $h\nu_{lum}$

Zjednodušené schéma energetických stavů krystalu polovodiče



roztok fluoresceinu v etanolu

absorpce


fluorescence

Stokesův posun


vlnová délka (nm)

O=C1OC(=O)C2=CC=CC=C2O1

Jedním z nejznámějších fluorescenčních barviv je fluorescein. Nahole vidíme rozdíl mezi jeho absorpčním (modrá čára) a emisním - fluorescenčním spektrem (zelená čára). Mezi maximem absorpce a emise je posun na delší vln. délky, tedy nižší energie fotonu. Typickým rysem pro většinu podobných látek je, že obě spektra se sobě podobají jako zrcadlové obrazy.



Rozpuštění fluoresceinu ve vodě při osvětlení ultrafialovou lampou.




světelné paprsky

sklo propouštějící pouze UV záření

Použití luminiscence při fotoluminiscenční analýze

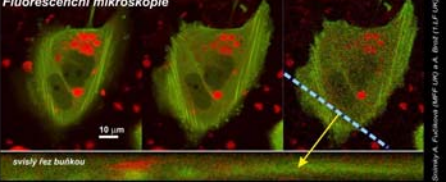
Fluorescenční tisk jako ochranný prvek cenin

Bankovky, listovky, stravenky a jiné cenové listovky bývají opatřeny různými ochrannými prvky, jedním z nejspolehlivějších je také fluorescenční barvení. Pro UV lampou tak lze rychle zkontrolovat, zda se jedná o falšifikát. Věnujte si, že také papír jeví zvláštní fluorescenční vlastnosti - oproti běžnému bílému papíru, který má malou luminiscenci (v důsledku přítomnosti bílicích látek), tak bankovkový papír má slabou emisi, avšak obsahuje v sobě rozptýlená fluorescenční vlákna.



Fluorescence a fotoluminiscence ve výzkumu a lékařství


Fluorescenční mikroskopie



světlý řez buňkou

10 μ m

Snímky z konfokálního fluorescenčního mikroskopu ukazují nahole tři vodovodné "řezy" žvou buňkou lidského kožního nádoru a dole světlý řez podle čáry vyznačené modře. Buňka v sobě obsahuje luminiscenční nanokrystaly Si (fornéne objepy). Zelené je zobrazuje fluorescence aktivovaných vitamín, které jsou složky buňky.




Pro označení různých objektů pozorovaných fluorescenční mikroskopie se používají zjednodušené různé fluorofory, kterým mohou být nejen organické molekuly, ale v poslední době i speciální anorganické nanokrystaly. Zde vlevo vidíme sérii luminiscenčních nanokrystalů z polovodičů CdS a CdSe, v nichž lze slovně naladit barvu změnou rozdílu nanokrystalů.

maltyz.cz

Panel 6.

Luminiscence

SVĚTÉLKOVÁNÍ

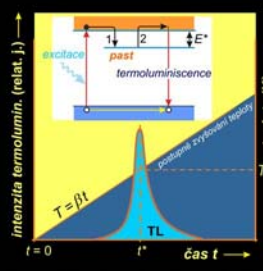


TERMOLUMINISCENCE

Teplou energii aktivovaná luminiscence dřívě vybuzených látek

Termoluminiscence (TL) může nastat pokud provedeme tyto úkony:

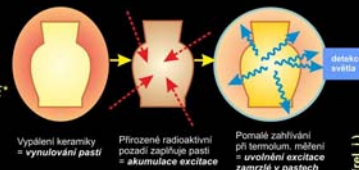
- 1 - Ochlazení zkoumané látky na dostatečně nízkou teplotu
- 2 - Intenzivní excitace pomocí světla, rentgenového záření, e-paprsku, γ -záření a pod.
- 3 - Po odeznění veškeré běžné luminiscence látku pomalu zahříváme a detekujeme emisi světla.



Termoluminiscenční datování
hlavní aplikace termoluminiscence v archeologii a geologii


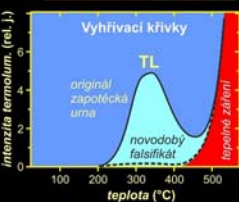
Rozsah použitelnosti metody je asi 1 rok až milion let s přesností 10 %. Je nutné pečlivě kalibrování pro příslušný materiál a lokalitu.

Schéma principu termoluminiscenčního datování keramiky



Vypálení keramiky = vynulování pastí
Přirozené radioaktivní pozadí zaplňuje pasti = akumulace excitace
Pomalé zahřívání při termolum. měření = svložitelná excitace zamrzlé v pastech

Příkladem použití metody TL datování může být odhalení novodobých falfikátů hliněných uren započátké kultury (Mexiko), viz snímek vpravo. TL křivka originální urny má plochu asi 30x větší než falfikát. To odpovídá jejímu stáří asi 1800 let oproti 60 letům od výroby falfikátu.

Vyhřívací křivky


TL

originální započátká urna
novodobý falfikát

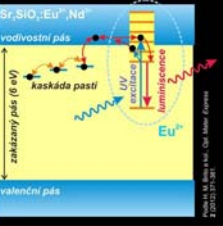
tepelné záření

SETRVALÁ LUMINISCENCE

Velmi pomalu vyhasínající luminiscence anorganických látek často nesprávně zvaná fosforescenci



Demonstrační vzorky persistentních luminofořů ("baflořů") za 30 let 20. století (MFJ UK) stále fungují i po 80 letech. (Foto: J. Valenta)



Excitační spektra (d = maximum excitace "baflorescence", m = maximum excitace fluorescenci) a emise spektra (brázolované oblasti) luminofořů z práce Philippa Lenarda z r. 1909.

Setrvalá (persistenční) luminiscence = termoluminiscence bez zahřívání


Persistentní luminiscence anorganických látek se podstatně liší od fosforescence organických molekul, kde pomale vyhasínání (mikro či mili sekundy) je důsledkem malé pravděpodobnosti rekombinace mezi určitými stavy molekuly.

Podstatou persistentní luminiscence jsou opět elektronové pasti v materiálu, které se pomalu vyprazdňují díky tepelné excitaci. Jde tedy o termoluminiscenci nastávající za běžných teplot - bez ohřevu.


Persistentní luminiscence poutala velkou pozornost badatelů již od objevu "baflořského kamene" (což byl sírník bafloř - BaS) italem Vincenzoem Cascardem na konci 16. století.

Systematické zkoumání a zpracování této věci přinesl až Philipp Lenard (laureát Nobelovy ceny za fyziku 1906) se spolupracovníky na počátku 20. století.

Pomale vyhasínající luminofoři se používají k označování mnoha předmětů, například hodin. Ty sice navydrží svítit tak dlouho jako radoluminiscenční značky, ale zato jsou zcela bezpečné.



Současné hodinky značené materiálem zvaným LumiNova, což je výrobek japonské firmy Nemoto.





Bezpečnostní tabulky a směročky jsou často opatřeny persistentním luminofořem, který zajišťuje viditelnost pro případ výpadku elektrického proudu. Současné materiály vyrábí vstříelně lumineskovat po desítky hodin.

matfyz.cz

Autori ilustrací: J. Valenta a J. Peřin, Grafika: J. Valenta © 2014

Panel 7.



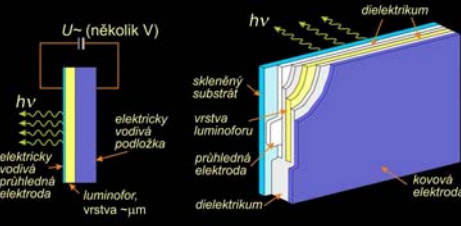


ELEKTROLUMINISCENCE

Světélkování vybuzené elektrickým proudem

ELEKTROLUMINISCENCE VE VYSOKÝCH POLÍCH

tzv. Destriaúův jev (v současnosti prakticky nevyužívaný)

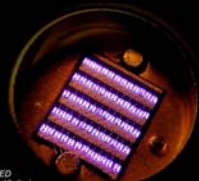


U₋ (několik V)
hv
dielektrikum
skleněný substrát
vrstva luminoforu
průhledná elektroda
dielektrikum
kovová elektroda

elektricky průhledná elektroda
luminofor, vrstva ~µm
elektricky vodivá podložka

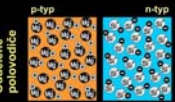
Pole na tenké vrstvě luminoforu - nejčastěji ZnS s příměsí Cu a Mn - dosahuje ~ 10 kV/cm, ovšem vodivost je zanedbatelná. Podstatou je uvolňování nosičů náboje, zachycených v pastech, působením vysokého el. pole a jejich rekombinace na příměsových centrech, které určují barvu luminiscence.

Takovéto elektroluminiscenční panely se vyráběly hlavně v 60. letech 20. století (i v Československu). Byly sice relativně účinné, ale neposkytovaly vysoký jas (vrstva aktivní látky musí být tenká) a vykazovaly krátkou dobou života - degradovaly za méně než 1000 hodin (tedy dříve než žárovky).

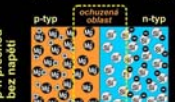


INJEKČNÍ ELEKTROLUMINISCENCE - svítivé diody LED

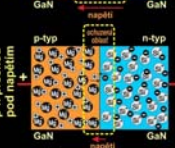
Oddělené polovodiče



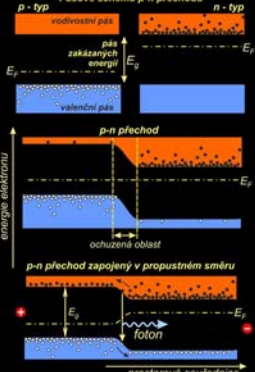
p-n přechod bez napětí



p-n přechod pod napětím



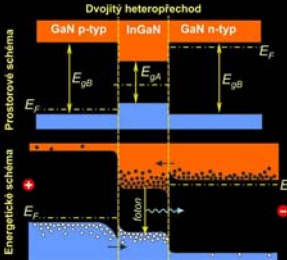
Pásové schéma p-n přechodu



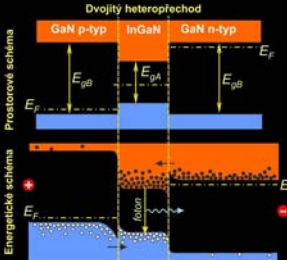
Heterostruktury
Dnešní účinné LED jsou založeny na kombinaci (vrstvení) různých polovodičů - ty nazýváme heterostruktury.


Vlastní oblast rekombinace mezi p- a n-typovým polovodičem je tvořena materiálem s menším zakázaným pásem. Pokud je tato vrstva velmi tenká, mluvíme o kvantové jámě. Zde se elektrony a díry velmi účinně setkávají a emitují fotony, které s malými ztrátami vychází ven.

Dvojitý heteropřechod




Prostorové schéma







První světelnou (červenou) svítivou diodu i laser na bázi GaAsP vyrobil roku 1962 Nick Holonyak ve firmě GE.




Nepřevě stoužby diody jako indikační světélka a numerické displeje např. u kalkulátorů - zde ukazujeme typ TI-33, výrobek firmy Texas Instruments ze 70. let 20. století.




Koncové světla automobilu Tesla model S (foto: J. Valenta, 2013).



Semafor s LED (foto: 2013)




Světlicí dopravní policisty jen tak nepřehlédnete (foto: 2013)



Koncové světla automobilu Tesla model S (foto: J. Valenta, 2013)

matfyz.cz

Panel 8.




INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT 2015

SVĚTÉLKOVÁNÍ Luminiscence

LUMINISCENCE A LASERY

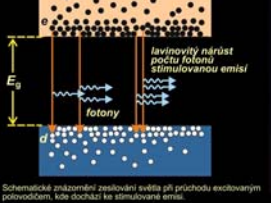
Mnoho luminiscenčních materiálů může sloužit jako aktivní prostředí laseru - především polovodiče (diodové lasery) a organická barviva (barvivové lasery)

LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
zesilování světla stimulovanou emisí záření

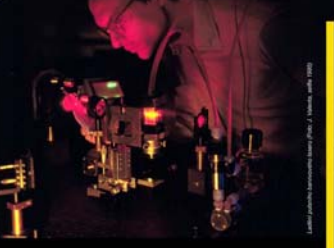


Základní části laseru

Výhodou aktivního prostředí z kondenzované látky je vyšší hustota stavů oproti plynům. To znamená, že k zesílení světla může dojít na mnohem kratší dráze (oblaste, ze které prostředí má větší optický zisk).
Křepkové (barvivové) lasery mají aktivní prostředí o dráze několika cm a polovodičovými lasery jsou zonyk menší.



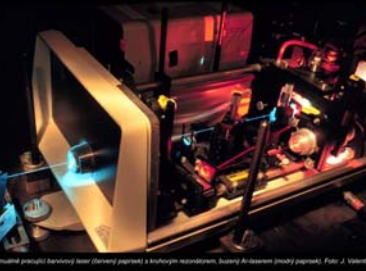
Schematické znázornění zesilování světla při průchodu excitovaným polovodičem, kde dochází ke stimulované emisi.



BARVIVOVÉ LASERY - fluorescenční lasery

Barvivové lasery mají aktivní prostředí tvořené roztokem fluorescenčního organického barviva, které je čerpáno opticky, tedy jiným laserem nebo výbojkou. Barvivo je obsaženo v krytce sklené míčky om a rezonátor laser je na ni fokusován do tenkého proužku (viz obr. vpravo). Rezonátor může mít místo jednoho ze zrcadel optickou mřížku nebo drcičen se laser výbojkou výbojka.

Možnost ladění "barvy" laseru byla Navinim důvodem pro používání těchto laserů. Barvivo je ovšem nestabilní, degraduje a musí být často nahrazeno. Proto jsou barvivové lasery nahrazovány pevnolátkovými lasery.



Klasická provedení barvivového laseru (barvivový papír) a krystalový rezonátor, laserový laserový papír. Foto: J. Váňa, 1995.


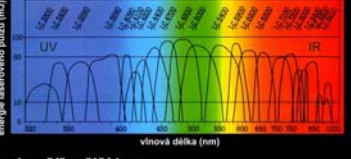



Schéma jednoduchého barvivového laseru. Měry je snadné sestavit z jednotlivých součástek na optické stůle (viz snímek nahoru).




Spektra laditelnosti barvivového laseru Lambda Physik FL3001 při excitaci excimerovým laserem na 308 nm.
Jednotlivá barviva umožňují laditelnost pouze v rozsahu několika desítek nm.
Při použití zesilovače (druhá čerpána kyvetka s tímto barvivem ve rezonátoru) lze dosáhnout velké energie pulsu téměř 0,1 J (při dráze zářivé trubky několik nanosekund to znamená špičkový výkon desítek MW).

DIODOVÉ (INJEKČNÍ) LASERY - v současnosti nejúčinnější a nejrozšířenější lasery

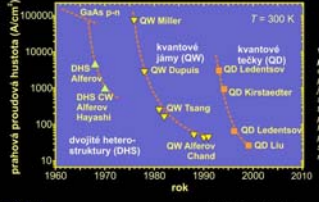


Tvůrce prvního diodového laseru (GaAs) R. N. Hall se svým laserem avnět dlevedného krystalu rozptýleného kapalným dusíkem (GE, 1962).

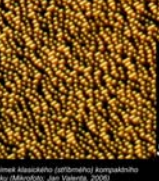
První polovodičové injekční lasery byly realizovány zároveň s LED v roce 1962. Nezávisle ve 4 různých laboratořích v USA (IBM, MIT, dvakrát GE), jednalo se o vhodné dopované krystaly GaAs s rezonátorem vytvořeným vyšetřenými hranami krystalu. První viditelný laser tehdy vzniknul použitím směrného polovodiče GaAsP (N. Holonyak, GE). Tyto první lasery ovšem pracovaly jen při velmi nízkých teplotách a doba fungování součástky byla velmi krátká. První diodové lasery pracující při pokojové teplotě mohly vzniknout kolem r. 1970 díky vývoji heterostruktur (Bobolova oona za týždu 2000 pro H. Kroemer a Z. Alfrovva). Další zásadní pokrok nastal použitím tenkých multivrstev - kvantových jam.



Zvětšený detail prvního GaAs laseru. Aktivní krystalek o velikosti asi 1 mm je připečen na podložce zespodu.
Tato je základní struktura prvního GaAs laseru.
Schéma uspořádání prvních GaAs laserů.



Vývoj prahové hustoty proudu různé k laserování diodového lasery při pokojové teplotě. Názorně je vidět výrazný kvantový skok u kvantových jam a teček - pro zjednodušení průběhu proudu. Nízká hodnota proudu přispívá k prodloužení životnosti součástky, nižšímu nároku na napájení a chlazení atd.




Jednou z prvních aplikací polovodičových laserů byly přehrávače kompaktních disků.
Srovnání klasického (střemáhné) kompaktního disku (Murodolo: Jan Váňa, 2006)

Světový trh s lasery (miliardy USD)

Rok	6,86	7,94	8,66	8,61	9,33
Podíl (%)	48%	48%	51%	51%	52%
2010	52%	52%	49%	49%	48%
2011					
2012					
2013					
2014					

Diodové lasery představují polovinu současného laserového trhu
Zdroj: Strateges Unlimited

Aplikace laserů



Diodové lasery se uplatňují hlavně v komunikacích,isku, senzorech a jako čerpači zdroje dalších typů laserů.

Panel 9.

Světélkování
 Luminiscence

LUMIDKY
 REVOLUCE OSVĚTLOVACÍ TECHNIKY

Nové zdroje světla založené na elektro- a foto-luminiscenci

Jak lidské oko vnímá barvy a jak můžeme barvy popsat?

Sítnice oka obsahuje **tyčinky** pro nebarevné vidění (např. v noci za nízké intenzity světla) a **tři druhy čípků** pro tři základní barvy: červenou, zelenou a modrou (red, green, blue - RGB). V roce 1931 byl definován tzv. **normální pozorovatel** (standardní citlivost lidského oka). Pomocí těchto křivek můžeme každou barvu charakterizovat třemi souřadnicemi x, y, z odpovídajících intenzitě podřázení červených, zelených a modrých čípků. Tyto **trichromatické souřadnice** lze vynesť do jednoho grafu (vpravo), pokud zavedeme normování na $x + y + z = 1$ (pak $z = 1 - x - y$). Dokonale bílý vjem odpovídá situaci, kdy $x = y = 1/3$. To je tzv. **achromatický bod**. Kombinací tří R, G, B zdrojů (např. LED) lze reprodukovat barvy, které leží v trojúhelníku vymezeném souřadnicemi těchto tří zdrojů - tuto oblast nazýváme **Maxwellův trojúhelník**.

Jak vytvoříme pomocí LED "bílé" světlo vhodné pro osvětlování? Jsou dva základní způsoby:

1 - Kombinace červené, zelené a modré LED (RGB)

Výhodou tohoto řešení je možnost **vyladit libovolné barvy výsledného světla** (v rámci příslušného Maxwellova trojúhelníku). Nevýhodou je **poměrně vyšší cena** plynoucí z technologické náročnosti výroby RGB diod.

2 - Kombinace modré LED a luminoforu (podobné zářivce)

Princip je podobný jako v zářivce, kde část záření výboje v Hg parách je absorbována luminoforem a vyzářena na delších vlnových délkách. Jedná se o **jednoduché a tedy levné řešení**. Luminofor je možné "nasypat" přímo na LED chip nebo umístit pod obalem součástky (remote phosphor). Nevýhodou tohoto řešení je **nemožnost ladit barvu emitovaného světla**.

VÝVOJ OSVĚTLOVACÍ TECHNIKY

Anatomie lumidky

Toto je pouze jedna z mnoha variant lumidky, která svítí různou intenzitou světla.

Probíhá revoluce osvětlovací techniky

Osvětlovací zdroje založené na LED jsou **první běžně dostupné světelné zdroje založené zcela na luminiscenci** (elektro a foto) tedy "studeném světle". Proto je nelze spojovat se slovem žárovka. Jako korektní krátký název se nabízí termín **LUMIDKA**.

Haltzův zákon

Hlavní výhody lumidek:

- vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světlo
- dlouhá životnost (uvádí se více než 10 tisíc hodin)
- odolnost proti vnějším vlivům
- možnost ladit barvu (RGB lumidky)
- velká variabilita tvaru svítidel
- možnost napájení z baterií či solárních článků = nezávislost na elektrické síti.

Nevýhody:

- primární čipy jsou velmi malé, tedy musí být často kombinovány do větších celků = zvýšení ceny
- pracují s nízkým stejnosměrným napětím = nutnost upravit síťové napájení.

LED žárovky

matfyz.cz

Panel 10.