

KARLOVA UNIVERZITA V PRAZE
PEDAGOGICKÁ FAKULTA
KATEDRA CHEMIE A DIDAKTIKY CHEMIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

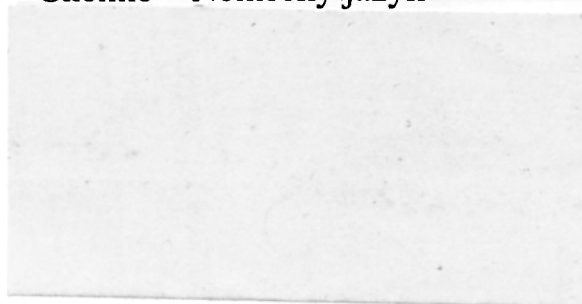
Chemické reakce a světelná energie



Vypracovala:
Vedoucí diplomové práce:
Studijní obor:

Jana Sečková
Doc. RNDr. Karel Holada, CSc.
Chemie – Německý jazyk

V Praze dne 30. června 2009



Tato diplomová práce byla vypracována na Katedře chemie a didaktiky chemie Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy v Praze v období listopad 2007 – červen 2009.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Doc. RNDr. Karla Holady, CSc. s vyznačením všech použitých pramenů a spoluautorství. Souhlasím se zveřejněním diplomové práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 30. června 2009

SHRNUTÍ

Práce je zaměřena na specifické činnosti učitele a jeho žáků.

Jsou zde shrnuty fyzikálně-chemické aspekty chemických reakcí a světelné energie a uvedeny návrhy pro zařazení tohoto tématu do výuky na základních školách, gymnáziích a středních odborných školách.

V praktické části pedagogické je vypracována didaktická transformace učiva, terminologický slovníček základních pojmů z popisované tematiky a školní projekt zaměřený na luminiscenci.

Praktická část chemická obsahuje 20 efektních pokusů učitele, žáků a žáků s učitelem. Pokusy jsou seřazeny v přehledné kartotéce, vybrané pokusy byly vyzkoušeny. V této části je návrh pořadu o luminiscenci.

Součástí obrazové části jsou vlastní fotografie zhotovené při práci v laboratoři.

SUMMARY

The thesis „Chemical reactions and light energy“ deals with specific approach of teachers to students.

Physical and chemical principles of chemical reactions and light energy are explained followed by suggestions of implementing these topics to lessons at basic schools, grammar schools and specialized chemistry high schools.

In practical pedagogical part educational implementation of subject matter, image subject dictionary and school project of luminiscence are drawn. Practical chemical part includes 20 effective experiments for teachers, students and students with teacher. Demo experiments are organized in well-arranged file index with illustrations added.

Selected experiments were tried out. There is suggestion of programme about luminiscence.

Picture part includes photographs taken during laboratory works.

„Děkuji mojímu doцентovi, Holušovi za jeho čas, trpělivost, odborné konzultace, připomínky a velké množství poskytnutý materiál, díky čemuž byla tato diplomová práce vypracována.“

PODĚKOVÁNÍ

1. ÚVOD	7
2. TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1 Teoretické – chemické aspekty CHEMICKÝCH REAKCÍ	8
2.1.1 Chemické reakce	8
2.1.2 Přeměny energie	8
2.2 SVĚTELNÁ ENERGIE	9
2.2.1 Luminiscence	10
2.2.2 Klasifikace luminiscenčních jevů a látek	10
2.2.3 Chemiluminiscence	15
2.2.4 Chemiluminiscenční indikatory	19
2.2.5 Význam a výskyt luminiscence	19
3. PRAKTIČKA ČÁST PEDAGOGICKÁ	20
3.1 Zařazení do vyučovacích předmětů na ZŠ	20
3.2 Zařazení do vyučovacích předmětů pro gymnázia	21
3.3 Zařazení do vyučovacích předmětů pro střední školy	21
3.3.1 Fyzika	21
3.3.2 Chemie	22
3.3.3 Biologie	22
3.4 Zařazení do vyučovacích předmětů pro střední odborná učiliště	22
3.4.1 Fyzika	22
3.4.2 Chemie	22
3.4.3 Biologie	23
3.5 Zpracování tématu pro žáky a studenty	23
3.5.1 Terminologický slovníček	24
3.5.2 Dualita pro výklad učence	32
3.5.3 Křemík, křemíková pryskyřka, Luciferin	39
4. PRAKTIČKA ČÁST CHEMICKÁ	42
4.1 Návrh pokusu	42
4.2 Návrh karboelektrického pokusu	45
4.3 Preparace křemíku	67
4.4 Návrh pořadí	68
5. VÝSLEDKY A DISKUSE	69
6. ZÁVĚR	71
LITERATURA	72
PŘÍLOHY	76
PŘÍLOHA C.1 – Vlastní fotografie z chemické laboratoře	76
PŘÍLOHA C.2 – Přehled literatury	80
PŘÍLOHA C.3 – Vlastní práce standardizované R- a S-věty	93

Děkuji panu docentu Holadovi za jeho čas, trpělivost, odborné konzultace, připomínky a veškerý poskytnutý materiál, díky nimž byla tato diplomová práce vypracována.

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1 Fyzikálně – chemické aspekty CHEMICKÝCH REAKCÍ.....	8
2.1.1 Chemické reakce	8
2.1.2. Přeměny energie	8
2.2 SVĚTELNÁ ENERGIE	9
2.2.1 Luminiscence.....	10
2.2.2 Klasifikace luminiscenčních jevů a látek	10
2.2.3 Chemiluminiscence	15
2.2.4 Chemiluminiscenční indikátory	19
2.2.5 Využití a výskyt luminiscence	19
3. PRAKTICKÁ ČÁST PEDAGOGICKÁ	20
3.1 Zařazení do vyučovacích předmětů na ZŠ	20
3.2 Zařazení do vyučovacích předmětů pro gymnázia.....	21
3.3 Zařazení do vyučovacích předmětů pro střední školy.....	21
3.3.1 Fyzika	21
3.3.2 Chemie.....	22
3.3.3 Biologie	22
3.4 Zařazení do vyučovacích předmětů pro střední odborná učiliště.....	22
3.4.1 Fyzika	22
3.4.2 Chemie.....	22
3.4.3 Biologie	23
3.5. Zpracování tématu pro žáky a studenty.....	23
3.5.1 Terminologický slovníček	24
3.5.2 Podklady pro výklad učitele	32
3.5.2 Návrh školního projektu LuciferIN.....	39
4. PRAKTICKÁ ČÁST CHEMICKÁ.....	42
4.1 Návrh pokusů	42
4.2 Návrh kartotéky pokusů	45
4.3 Preparace luminolu	67
4.4 Návrh pořadu	68
5. VÝSLEDKY A DISKUSE.....	69
6. ZÁVĚR.....	71
LITERATURA.....	72
PŘÍLOHY	76
PŘÍLOHA Č. 1: Vlastní fotografie z chemické laboratoře	76
PŘÍLOHA Č. 2: Přehled her.....	89
PŘÍLOHA Č. 3: Vybrané standardizované R- a S-věty	93

1. ÚVOD

Když jsem poprvé slyšela o studeném světle, nouzovém osvětlení a světluškách, musím přiznat, že jsem dostatečnou souvislost neviděla.

Z pohledu studenta učitelství chemie pro mě bylo těžké tuto látku uchopit. Vysvětlení tohoto jevu by bylo vhodné pro studenty matematicko-fyzikální fakulty či odborné chemie. Jak se s tím ale vypořádat?

Zjistit podstatu lucerniček Karafiátových Broučků bylo pro mě den ode dne lákavější. Přece to, že je luminiscence jevem pro studenty těžko pochopitelným, nemůže být překážkou v tom, aby byla zařazena do výuky.

Aby i studenti základních škol či gymnázií mohli nahlédnout do hloubi oněch světýlek, se stalo cílem mojí diplomové práce.

V první části se snažím o vysvětlení obecné, tedy o podstatu chemických reakcí a světelné energii. Tato část může učiteli posloužit jako zdroj informací.

Druhá část je pedagogickým experimentem. Navrhuji zde možné zařazení do výuky, tedy ke konkrétnímu učivu a ke konkrétním výstupům uvedeným v rámcově vzdělávacích programech. Pro učitele jsem připravila výklad k tomuto tématu ve zjednodušené formě. Výklad může učitel obohatit také použitím terminologického slovníčku. Aby se žáci mohli s luminiscencí setkat prakticky, uvádím zde návrh projektu pro třídu.

Třetí část je věnována experimentu chemickému. Zde uvádím pokusy učitele, žáků a žáků s učitelem, jimiž lze výuku této látky zefektivnit. Pro snažší přípravu pokusů jsem připravila kartotéku vybraných reakcí. V této části je také zařazen návrh pořadu o luminiscenci.

Závěr mojí práce tvoří návrhy a doporučení, které vznikly na základě praktické práce v laboratoři.

„A Brouček, tedy sameček světlušky větší, svítil a svítil, a jeho luciferin se vzdušným kyslíkem oxidoval v přítomnosti enzymu luciferinázy na oxyluciferin, na nic nedbal a ničeho si nevěšmal, a svítil a svítil a myslel na Berušku, samičku, která byla ukryta v trávě a svítila s ještě větší intenzitou než Brouček, sameček.“¹⁸

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Fyzikálně – chemické aspekty CHEMICKÝCH REAKCÍ

2.1.1 Chemické reakce

Chemické vazby mezi atomy a molekulami způsobují stálost látek. Jsou-li vnější podmínky změněny, dochází k chemické reakci, při níž jsou původní látky (reaktanty) změněny na nově vzniklé látky (produkty). Při chemické reakci zanikají staré vazby a nové vznikají.

Studiem chemických reakcí se zabývá chemická energetika, zvaná termodynamika, která zkoumá reakce z hlediska energie, a reakční kinetika, studující rychlosti chemických reakcí a faktory tuto rychlost ovlivňující.³⁶

2.1.2. Přeměny energie

Podle zákona zachování energie se může energie měnit z jedné formy na druhou, ale nemůže zanikat.³⁰

Z hlediska chemie se může chemická energie přeměňovat na energie tepelnou, elektrickou, světelnou a mechanickou a naopak.

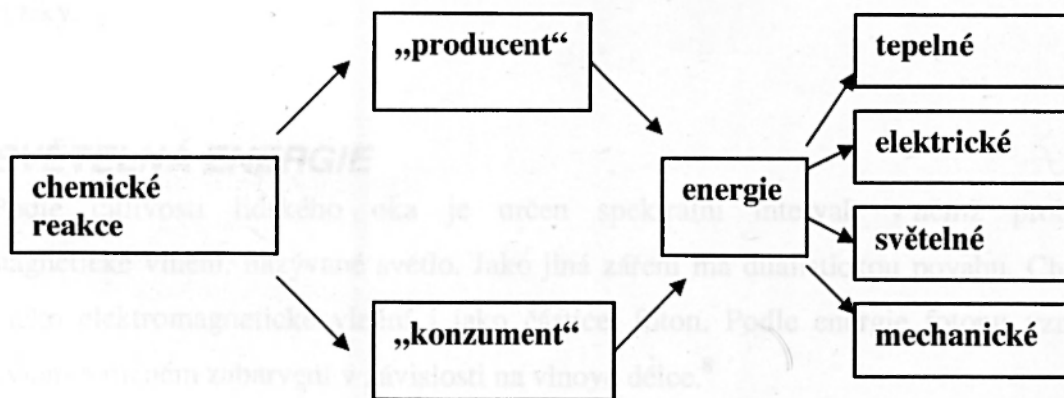


Schéma 1: Konzumenti a producenti energie

Při chemických reakcích je energie nejen produkována, ale i konzumována.¹

¹ z hlediska fyzikální chemie nepřesně

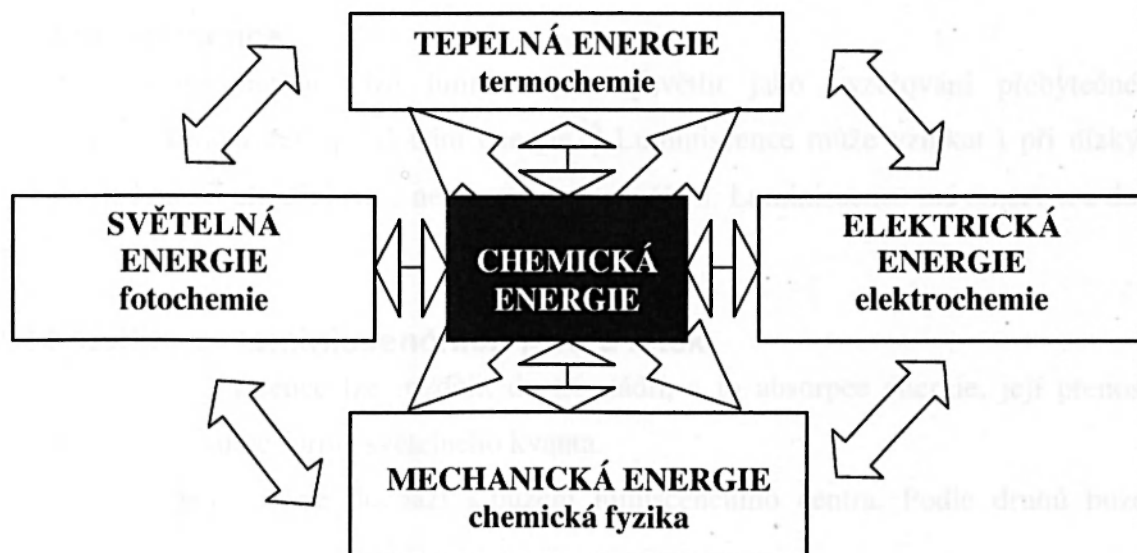


Schéma 2: Přeměny chemické energie

Schéma představuje jehlan při pohledu shora. Na vrcholu jehlanu je umístěna chemická energie, na základně pak energie světelná, mechanická, elektrická a tepelná. Chemická energie se tedy může přeměňovat na uvedené typy energie a naopak (vrchol ↔ základna) a tyto typy pak mohou přecházet mezi sebou navzájem (rohy základny mezi sebou).

Chemická energie se přeměňuje na energii tepelnou a naopak (termochemie), elektrickou a naopak (elektrochemie), světelnou a naopak (fotochemie) a energii mechanickou a naopak (chemická fyzika). Jednotlivými změnami se zabývají chemické disciplíny uvedené v závorkách.

Změny tepelné, elektrické, mechanické a světelné energie mezi sebou navzájem spadají do oblasti fyziky.

2.2 SVĚTELNÁ ENERGIE

Podle citlivosti lidského oka je určen spektrální interval, v němž probíhá elektromagnetické vlnění, nazývané světlo. Jako jiná záření má dualistickou povahu. Chová se tedy jako elektromagnetické vlnění i jako částice, foton. Podle energie fotonu vzniká zrakový vjem o různém zabarvení v závislosti na vlnové délce.⁸

Klasické zdroje světla (žárovky) jsou označovány jako zdroje teplého světla. To znamená, že jejich záření je provázeno značným množstvím tepelné energie. Většina takto vyzářené energie spadá do infračervené oblasti, což není energeticky výhodné. Energeticky výhodnější se proto stává studené světlo, luminiscence.³⁰

2.2.1 Luminiscence

Na základě definic² lze luminiscenci vysvětlit jako vyzařování přebytečného elektromagnetického záření po dodání energie.¹⁶ Luminiscence může vznikat i při nízkých teplotách, dodáme-li ultrafialové a nebo rentgenové záření. Luminiscence má omezenou dobu trvání.⁸

2.2.2 Klasifikace luminiscenčních jevů a látek

Průběh luminiscence lze rozdělit do tří stádií, a to absorpce energie, její přenos a nakonec její vyzáření ve formě světelného kvanta.

Při absorpci energie dochází k buzení lumiscenčního centra. Podle druhů buzení rozlišujeme:

A) FOTOLUMINISCENCI, děj který je iniciován ultrafialovým nebo viditelným zářením.



Obr. 1: Ověřovač pravosti bankovek^a

Na bankovkách, stravenkách, jízdenkách, osobních dokladech a kreditních kartách jsou umístěny UV luminiscenční prvky, které po dodání světelné energie (nasvícení ověřovačem) vyzáří světelné kvantum (jsou viditelné).

² „přebytek záření tělesa nad úroveň jeho teplotního záření v dané spektrální oblasti při dané teplotě, jestliže přitom toto záření má určitou dobu doznívání, tj. trvá i po skončení budícího účinku.“

(DVOŘÁK, Lubomír, KUPKA, Zdeněk. *Fyzikální podstata a využití luminiscence*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1980. 214 s. ISBN 14-359-80. s. 31)

„Přebytek záření tělesa nad jeho tepelným zářením; tento přebytek trvá po skončení budícího účinku déle než 10^{-10} s.“

(PÁTEK, Karel. *Luminiscence : Fyzikální poznatky a technické aplikace*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1962. 164 s. ISBN 04-017-62. s. 28)



Obr.2: Luminiscenční ručičky hodinek^b

Pro lepší viditelnost ve tmě bývají součástí hodinek luminiscenční ručičky. Součástí ručiček je ZnS, který je po dodání energie excitován a při návratu na původní energetickou hladinu vyzáří energii ve formě studeného světla.

B) ELEKTROLUMINISCENCI, která vzniká přiložením elektrického pole a průchodu elektrického proudu látkou.²⁹

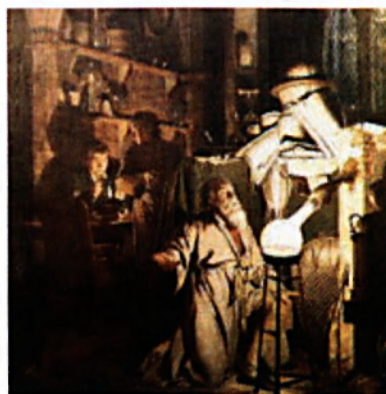


Obr. 3: CRT monitor^c

V barevné obrazovce jsou umístěny tři katody, z nichž jsou emitovány elektronové svazky pomocí mřížek až ke stínítku obrazovky. Na zadní straně stínítka jsou nanášeny luminofory v červené, modré a zelené barvě. Elektronové svazky jsou bezbarvé, barvu získávají až po dopadu na luminofor. Elektronové svazky pak opisují zleva doprava a shora dolů jednotlivé řádky obrazovky.⁵

C) CHEMILUMINISCENCI, vzniklou přenosem reakční chemické energie na luminiscenční centra.

Než se ale podíváme na tento jev podrobně, přeneseme se do 17. století, do období alchymie. Hennig Brand, německý alchymista při hledání kamene mudrců, objevil právě fosfor, prvek, který ve tmě světélkuje. Své jméno dostal právě od svého chování, tedy nosič světla, což v latině zní: lucifer (=světlonosný), Lucifer (=světlonosič, jitřenka, satan) a v řečtině fos (=světlo) a ferein (=nésti).



Obr. 4: Hennig Brand při objevu fosforu^d
 J.W. Derby ilustroval H. Brandův objev fosforu (1771)

Světélkování bílého fosforu bylo demonstrováno K. Amerlingem velmi svérázným způsobem. Bílý fosfor o velikosti čočky zalil horkou vodou a ústy přifukoval delší trubici vzduch. Největšího efektu dosahoval za tmy. Jako další variantu uvádí například mytí si rukou fosforem.¹³

K. Holada ve svých Fousatých pokusech¹³ uvádí reakci, která je známá pro generaci učitelů chemie z poválečného období, pod názvem létající plamínek (V-kartotéka, pokus č. 12). Bílý fosfor o velikosti čočky je v baňce s vodou pod zpětným chladičem přiváděn k varu. V trubici vzniká nazelenalý plamínek, který stoupá nahoru a uhasíná na konci trubice. Při reakci je fosfor oxidován vzdušným kyslíkem. Oxidaci lze rozdělit na dvě fáze. První probíhá za nedostatku kyslíku, fosfor se oxiduje na oxid fosforitý, který se ve druhé fázi oxiduje až na oxid fosforečný. Ve druhé fázi se uvolňuje světelná energie, jedná se o chemiluminiscenci.

Bílý fosfor je velmi nebezpečná látka, proto je třeba dbát zvýšené opatrnosti při práci s ní. Tato rizika by však neměla být bariérou pro učitele při demonstraci těchto pokusů. Chemiluminiscence bílého fosforu je velmi působivá a bylo by škoda studenty připravit o shlédnutí tohoto jevu na vlastní oči.

D) BIOLUMINISCENCI, kterou lze označit za chemiluminiscenci v živých organismech. Příkladem je luminiscence světlušek, založená na oxidaci luciferinu vzdušným kyslíkem. Reakce probíhá podle schématu:

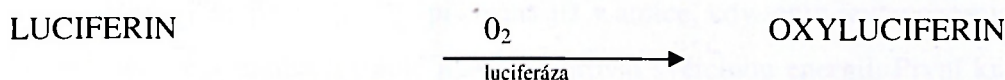


Schéma 3: Oxidace luciferinu

Luciferin je oxidován vzdušným kyslíkem v přítomnosti enzymu luciferázy na oxyluciferin.

Luciferin je oxidován vzdušným kyslíkem v přítomnosti enzymu luciferázy na oxyluciferin. Tento děj způsobuje v těle světlušky větší vznik světelné energie, je označován bioluminiscence.

„A tak se vracely a povídaly si, jaké má Brouček krásné světlo. Kmotříčka myslela, že je krásně žluté jako zlato; mamince se zdálo více do běla, hodně jasné; Beruška tvrdila, že je do růžova; Janinka pak měla za to, že je takové, jaké mívají broučci, když ponejprv letí, a že jen aby Brouček poslouchal, že ona má strach, že poslouchat nebude.“

(JAN , Karafiát. Broučci. Jiří Trnka. 7. vyd. Praha : Albatros, 2001. 88 s. ISBN 80-00-00942-0.)

Dětství bez Karafiátových Broučků si snad ani neumíme představit. Málokdo z nás ale tuší, že to bylo naše první setkání s luminiscencí. Ještě než jsme poprvé vyrazili na výlet do přírody v letních měsících a se zatajených dechem mohli pozorovat ona svítící stvoření, byly nám předcítány či pouštěny na VHS a DVD nezapomenutelné příběhy oněch broučků, kteří v noci berou své lucerničky, aby svítili lidem na cestu. A právě jejich lucernička v sobě skrývá úžasné tajemství, a sice luciferin.



Obr. 5: Světluška větší

Působením enzymu luciferázy dochází k oxidaci luciferinu na oxyluciferin. Při tomto ději se vyzáří světelná energie. Světélkování slouží k hledání partnerů.

Ku příkladu bludičky, ona záhadná světýlka potulující se po lese, jsou rovněž důkazem bioluminiscence. Už od raného dětství máme tedy zakořeněno povědomí o luminiscenci, aniž bychom si to uvědomovali.

Bioluminiscence byla popisována již v antice, kdy tento jev zpozoroval už Aristoteles, když viděl ryby, houby a shnilé maso vyzařovat světelnou energii. První kniha zabývající se bioluminiscencí vyšla v 17. století. Po objevu mikroskopu byly pozorovány světlušky a objeven princip oxidace luciferinu. Do popředí zájmu se poté dostali mořští živočichové, jejichž bioluminiscence je rovněž založena na oxidaci luciferinu.

Důvodů světélkování u živočichů je několik. U světlušek jde o přilákání partnera, některé druhy spolu takto komunikují, jiné si osvětlují kořist či odrazují nepřítele. Medúzy ku příkladu světélkují pro vyvolání poplachu.

Mezi organismy vydávající světelnou energii patří bezesporu houby. Nejznámější houbou tohoto druhu je václavka obecná, jejíž podhoubí na podzim světélkuje. Nejčastějším výskytem světélkujících hub jsou tropy. Tradičním indonéským rituálem je sbírat svítící houby a dělat si z nich náhrdelníky pro přilákání partnera.²⁶

Možná až překvapujícím faktem je světélkování žížaly podhorské. Žížala světélkuje při politím ethanolem a při zapojení do el. obvodu (3-4,5V).

E) TRIBOLUMINISCENCI, vznikající při tlaku, drcení nebo tření krystalů. Je známá u řady látek aktivovaných manganem.⁸



Obr. 6: Tření krystalů^f

Při tření krystalů dochází k uvolňování světelné energie.

F) FLUORESCENCI, jejímž zdrojem je nahodilé záření (světlo). Schéma vyjadřuje vznikající fluorescenční záření.

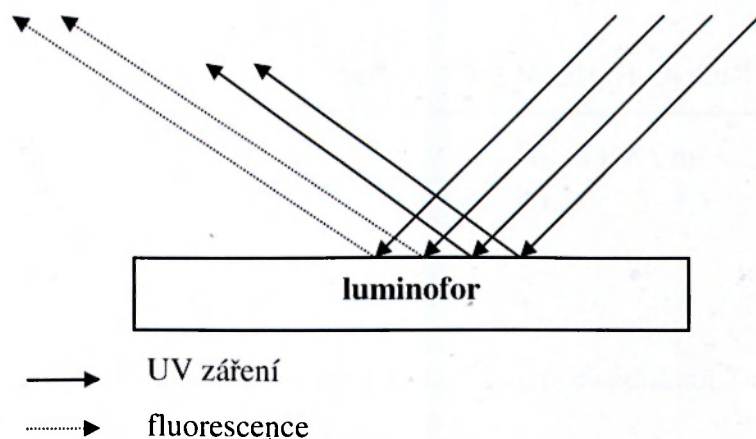


Schéma 4: Vznik fluorescenčního záření

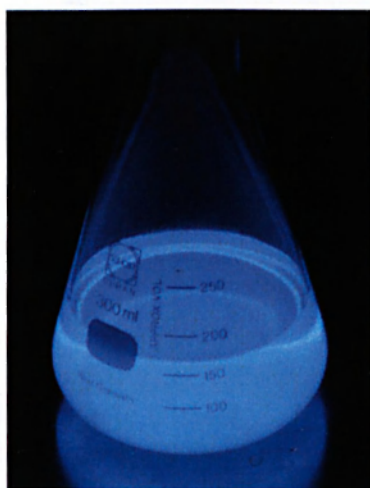
Po ozáření luminoforu ultrafialovým zářením dochází ke vzniku fluorescenčního záření.

2.2.3 Chemiluminescence

Je druhem luminiscence, při níž je světelná energie vyzářena při chemických reakcích. Tato energie je vyzářena excitovanou molekulou při přechodu do základního stavu prostřednictvím emise světla.

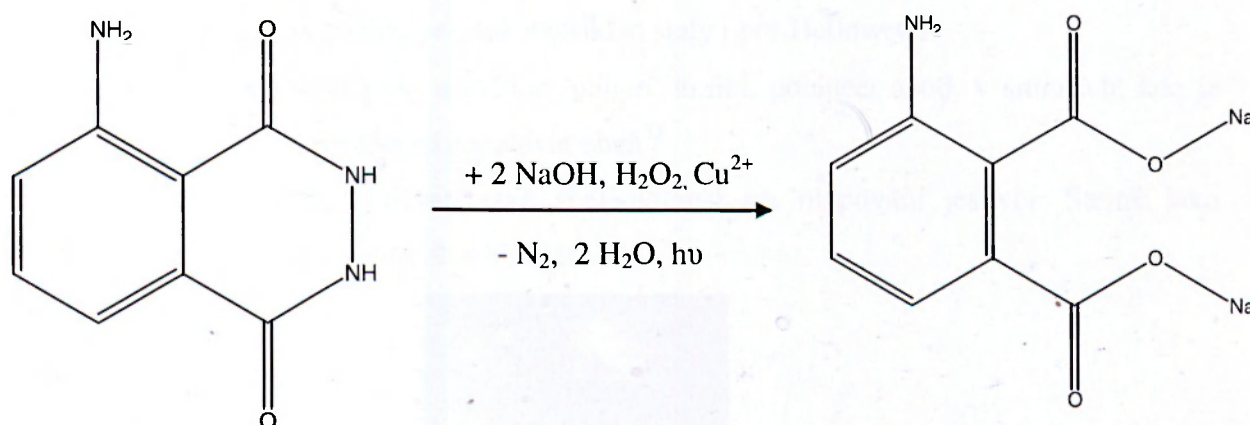
Reakce chemiluminiscenčního charakteru ovlivňuje většina faktorů známých z běžných chemických reakcí. Jsou to teplota, koncentrace, rozpouštědlo a katalyzátory.

Nejsilnější chemiluminiscenční reakcí je reakce luminolu (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové).



Obr. 7: Reakce luminolu⁶

Luminol je v zásaditém prostředí oxidován peroxidem vodíku za vzniku chemiluminiscenčního záření. Reakce je katalyzována Cu^{2+} ionty.



luminol (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové) disodná sůl 3-aminofthalové kyseliny

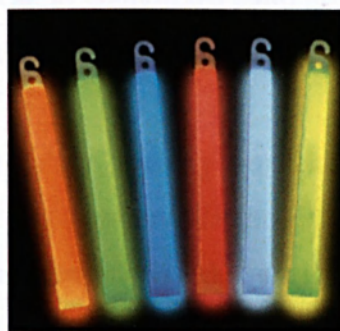
Schéma 5: Reakce luminolu

Luminol (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové) reaguje s peroxidem vodíku v zásaditém prostředí za katalýzy Cu^{2+} . Reakcí vzniká disodná sůl kyseliny 3-aminofthalové, dusík a voda. Přebytečná energie je vyzářena ve formě studeného světla.

Tuto reakci lze demonstrovat nejlépe v ploché kyvetě (V-kartotéka, pokus č. 14), do níž se nalije 0,01%ní roztok luminolu v 0,01M roztoku hydroxidu sodného. Přidá se kapka katalyzátoru (0,01M roztok CuSO_4) a promíchá se. Za tmy je pak stříčkou přidáván 3%ní roztok peroxidu vodíku. Luminol se oxiduje peroxidem vodíku na disodnou sůl kyseliny 3-aminofthalové. Uvolněná energie se projeví ve formě modrého záření.

Luminol lze připravit v laboratoři (viz. Preparace luminolu, str. 67).

Uvedeným pokusem lze demonstrovat také všeobecné využití luminiscence v praxi. Bezpečnostní svítící chemické trubičky vydrží svítit až 12 hodin, lze je zakoupit v různé délce a barvách.



Obr. 8: Bezpečnostní svítící chemické trubičky^h

Trubičky jsou aktivovány ohnutím a protřepáním. Slouží jako nouzové osvětlení či pro zábavu.

Trubičky nevydávají teplo, tudíž je lze využít i v nebezpečí požáru či výbuchu. Vzhledem k jejich vodotěsnosti jich lze využít i za deště a pod vodou. Jsou aktivovány pouhým ohnutím a protřepáním. Slouží jako:

- zdroj světla v nouzových situacích, na kempování, rybaření, potápění, populární se však například staly i pro Halloween
- využívány armádou, policií, hasiči, potápěči apod. v situacích, kde je nebezpečné zapalovat oheň³³

Luminiscenčního světla využívají také speleologové při mapování jeskyní. Stejně jako uvedené svítící trubičky funguje jejich osvětlení.



Obr. 9: Speleologⁱ

Speleologové využívají luminiscenční svítílny, jejichž zdrojem je studené světlo.

Chemiluminiscence lze využít také při stopové analýze jako příkladu kinetické kvantitativní analýzy, která je velmi citlivá.

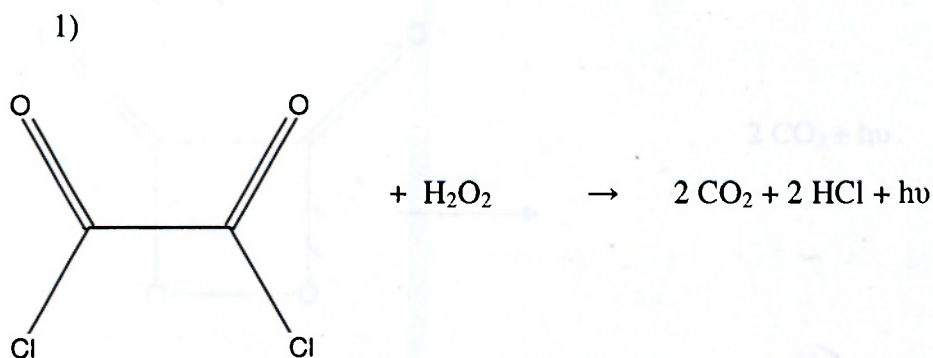
Při galvanoluminiscenci je oxidována sloučenina elektrolyticky. I zde může posloužit luminol. V praxi se galvanoluminiscence využívá při konstrukci elektroluminiscenčních panelů, kterou slouží k podsvícení reklam.

Intenzivní luminiscenci alkalických roztoků luminolu lze zesílit přímou reakcí s kyslíkem, peroxidem vodíku, ozónem, chlornany, kyanoželezitanem draselným či manganistanem draselným nebo elektrolyticky.

Působením oxidačních činidel ve směsi nebo v přítomnosti katalyzátoru, působením redukčních činidel (FeSO_4) s peroxidem vodíku, lze tento jev rovněž zvýšit.⁸

Poprvé se tento jev zapsal do historie v roce 1928, kdy byl objeven luminol a následně v roce 1935 při objevu lucigeninu⁸.

První pozorovanou reakcí byla tzv. „peroxy – oxalátová reakce“, při níž reaguje oxalyl chlorid s peroxidem vodíku, za vzniku oxidu uhličitého. Při reakci se uvolňuje energie, která způsobí excitaci antracenu. Při návratu na původní energetickou hladinu dojde k vyzáření energie, které je vnímáno jako světelné záření.



oxalyl chlorid (dichlorid kyseliny šťavelové)

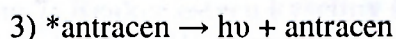


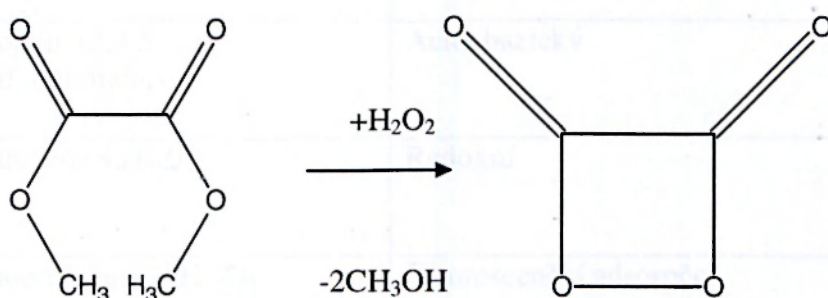
Schéma 6: Peroxy - oxalátová reakce

Oxalyl chlorid (dichlorid kyseliny šťavelové) reaguje s peroxidem vodíku za vzniku oxidu uhličitého a chlorovodíku. Uvolněná energie způsobí excitaci antracenu. Excitovaný antracén při návratu do základního stavu vyzáří světelnou energii.

Dalším příkladem chemiluminiscenční reakce je reakce esteru kyseliny šťavelové (oxalát) s peroxidem vodíku. Rozpadem meziprojektu vzniká energie, která excituje elektron fluoresceru. Ten pak při návratu na základní energetickou hladinu emituje energii ve formě elektromagnetického záření o příslušné vlnové délce, v závislosti na typu fluoresceru. Tato energie je vnímána jako barevné světlo. Reakce závisí na druhu oxalátu, fluoresceru a rozpouštědle.⁸

Při chemiluminiscenci je produkováno světlo bez emise tepla či plamene, tudíž ji lze využít i v explozivním prostředí.

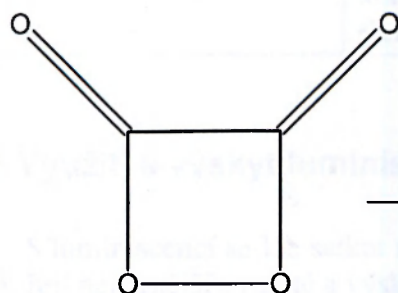
1)



dimethylester kyseliny šťavelové

2,3- dioxo-1,4-dioxacyklobutan

2)



$2 \text{CO}_2 + h\nu$

3) $h\nu + \text{fluorescer} \rightarrow \text{*fluorescer}$

4) $\text{*fluorescer} \rightarrow \text{fluorescer} + h\nu$

Schéma 7: Reakce esteru kyseliny šťavelové s peroxidem vodíku

Ester kyseliny šťavelové reaguje s peroxidem vodíku za vzniku intermediátu (2,3- dioxo-1,4-dioxacyklobutan), který reaguje s molekulou fluoresceru. Intermediát se dále rozkládá na dvě molekuly oxidu uhličitého. Vzniklá energie aktivuje fluorescer, který při přechodu na základní energetickou hladinu vyzáří světelnou energii.

2.2.4 Chemiluminiscenční indikátory

Tabulka I: Vybrané chemiluminiscenční indikátory¹

Indikátor	Druh indikátoru	Barva luminiscence
Lucigenin (dimethyldiakrilidium nitrát)	Acidobazický, redoxní	Zlutozelená/modrá
Luminol (hydrazid 3-aminofthalové kyseliny) ³	Acidobazický, redoxní	Modrá
Lophin (2,4,5-trifenyylimidazol)	Acidobazický	Zlutobílá
Siloxen (Si ₆ H ₆ O ₃) _n	Redoxní	Cervená
Fluorescein C ₂₀ H ₁₂ O ₅	Flourescenční adsorpční	Zlutozelená
Fluorexon C ₃₀ H ₂₆ N ₂ O ₁₃	Světélkující indikátor komplexotvorných reakcí, flourescenční adsorpční	Zlutozelená

2.2.5 Využití a výskyt luminiscence

S luminiscencí se lze setkat nejen v chemické laboratoři, ale i v přírodě či praktickém životě. Její nejčastější využití a výskyt shrnuje tabulka II.

Tabulka II: Využití a výskyt luminiscence

Fotoluminiscence	Ověřování pravosti bankovek Luminiscenční ručičky hodinek
Elektroluminiscence (galvanoluminiscence)	CRT monitory
Chemiluminiscence	Bezpečnostní svítící tyčinky (zdroj světla v nouzových situacích; pro zábavu ⁴) Svítilny speleologů
Bioluminiscence	Světlušky, houby václavky, mořští živočichové, žížala podhorská
Chemiluminiscenční indikátory	Detekce konečného bodu titrace při acidobazických a redoxních stanoveních

³ luminol: R 36/37/38, S 26-36/37 (Sigma katalog, 2005, Aldrich, Advancing Science)

⁴ Svítící trubičky lze běžně zakoupit na trhu, dodává např. firma Popron

3. PRAKTICKÁ ČÁST PEDAGOGICKÁ

Tato kapitola je zaměřena na konkrétní využití tématu v praxi, tedy ve výuce. Pro zařazení je využit rámcově vzdělávací program pro základní školy, gymnázia, střední odborné školy a střední odborná učiliště. Poté je navrženo konkrétní zpracování tématu. Uvedené výstupy a učiva jsou citovány z webových stránek pro rámcově vzdělávací programy.^{22, 25}

3.1 Zařazení do vyučovacích předmětů na ZŠ

Tabulka III: Zařazení do vyučovacích předmětů na ZŠ

Předmět	Učivo	Očekávaný výstup Žák:
F ⁵	Energie ⁶	„využívá poznatky o vzájemných přeměnách různých forem energie a jejich přenosu při řešení konkrétních problémů a úloh.“
Ch ⁷	Chemické reakce, klasifikace CHR ⁸	„rozliší výchozí látky a produkty chemických reakcí, uvede příklady prakticky důležitých chemických reakcí, provede jejich klasifikaci a zhodnotí jejich využívání.“
	Faktory ovlivňující rychlost CHR	„aplikuje poznatky o faktorech ovlivňujících průběh chemických reakcí v praxi a při předcházení jejich nebezpečnému průběhu.“
Př ⁹	Houby s plodnicemi	„rozpozná naše nejznámější jedlé a jedovaté houby s plodnicemi a porovná je podle charakteristických znaků.“
	Projevy chování živočichů	„odvodí na základě pozorování základní projevy chování živočichů v přírodě, na příkladech objasní jejich způsob života a přizpůsobení danému prostředí.“

⁵ F...fyzika

⁶ Průřezové téma: Environmentální výchova: Tok energie

⁷ Ch... chemie

⁸ CHR... chemické reakce

⁹ Př... přírodopis

3.2 Zařazení do vyučovacích předmětů pro gymnázia

Tabulka IV: Zařazení do vyučovacích předmětů pro gymnázia

Předmět	Učivo	Očekávaný výstup Žák:
F ¹⁰	Elektromagnetické vlnění, optické spektru. Mikrosvět	„porovná šíření různých druhů elektromagnetického vlnění v rozličných prostředích.“ „využívá poznatky o kvantování energie ¹¹ záření a mikročástic k řešení fyzikálních problémů.“
Ch ¹²	Soustavy látek a jejich složení	„využívá odbornou terminologii při popisu látek a vysvětlování chemických dějů.“
	Rychlost chemických reakcí a chemická rovnováha	„využívá znalosti o částicové struktuře látek a chemických vazbách k předvídání některých fyzikálněchemických vlastností látek a jejich chování v chemických reakcích.“
	d-pvky a jejich sloučeniny	„předvídá průběh typických reakcí anorganických sloučenin“
	Deriváty uhlovodíků, heterocykly	„aplikuje znalosti o průběhu organických reakcí na konkrétních příkladech“
	Enzymy	„objasní strukturu a funkci sloučenin nezbytných pro důležité chemické procesy probíhající v organismech“
Bi ¹³	Stavba a funkce hub	„pozná a pojmenuje (s možným využitím různých informačních zdrojů) významné zástupce hub a lišejníků.“
	Živočichové a prostředí	„posoudí význam živočichů v přírodě a v různých odvětvích lidské činnosti“

3.3 Zařazení do vyučovacích předmětů pro střední školy

3.3.1 Fyzika

Pro odborné vzdělání na středních školách, tedy pro obory zakončené maturitní zkouškou předepisuje rámcový vzdělávací program tři úrovně, A pro nejvyšší nároky, B pro střední a C pro nízké nároky na fyzikální vzdělání. Jako příklad uvádím očekávané výstupy pro jeden z více jak třiceti oborů v programu nabízených, a to pro obor fotograf.

Pro variantu A je očekávaným výstupem žáka:

¹⁰ F... fyzika

¹¹ Průřezové téma: Environmentální výchova: Tok energie

¹² Ch... chemie

¹³ Bi... biologie

- „popíše význam různých druhů elektromagnetického záření z hlediska působení na člověka a využití v praxi“

Pro variantu B:

- „popíše význam různých druhů elektromagnetického záření z hlediska působení na člověka a využití v praxi“

Pro variantu C:

- „popíše význam různých druhů elektromagnetického záření“

Uvedené výstupy spadají pod učivo optika pro úroveň A, optika a vlnění pro úroveň B a C.

3.3.2 Chemie

Stejně jako u fyziky jsou i u chemie rozděleny úrovně. Pro chemii to je úroveň A pro vysokou náročnost a úroveň B pro nižší úroveň. Pro ilustraci uvádím obor aplikovaná chemie.

Očekávaný výstup žáka pro úroveň A i B je:

- „vysvětlí podstatu chemických reakcí a zapíše jednoduchou chemickou reakci chemickou rovnicí“

Výstup spadá do učiva obecné chemie.

3.3.3 Biologie

Výuka biologie na středních odborných školách je velmi zúžená. Proto bych doporučila zařazení tématu pouze do výuky chemie a fyziky.

3.4 Zařazení do vyučovacích předmětů pro střední odborná učiliště

3.4.1 Fyzika

Pro nástin očekávaných výstupů pro střední odborná učiliště jsem vybrala obor pekař.

žák

- „popíše význam různých druhů elektromagnetického záření“

3.4.2 Chemie

Z hlediska chemie souvisí s popisovanou látkou očekávaný výstup k učivu obecná chemie.

žák

- „vysvětlí podstatu chemických reakcí a zapíše jednoduchou chemickou reakci chemickou rovnicí“

3.4.3 Biologie

Na středních odborných učilištích je výuka biologie v jednodušší verzi, proto bych rovněž doporučila zařazení tématu do hodin chemie a fyziky.

3.5. Zpracování tématu pro žáky a studenty

Fyzikálně–chemické aspekty chemických reakcí a světelné energie rozvedené v teoretické části jsem upravila pro žáky a studenty třemi způsoby.

Prvním z nich je **TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍČEK**, který shrnuje probíranou látku. Je doplněn o názorné obrázky a schémata. Tuto formu zpracování bych doporučila zejména pro žáky s rozvinutou logickou pamětí, kteří díky němu mohou snáz pochopit souvislosti v tomto tématu. Může však také posloužit pro dohledání pojmů při využití druhého způsobu zpracování. Z tohoto důvodu je slovníček řazen abecedně, nikoli tematicky.

Dalším zpracování jsou **PODKLADY PRO VÝKLAD UČITELE**. Téma přesahuje z chemie do fyziky, tudíž lze vybrané části použít také ve fyzice. Kapitulu bioluminiscence lze využít také mezipředmětově, a to s biologií.

Třetí možnou variantou je návrh školního projektu **LuciferIN**. Tento projekt lze zařadit do předmětu chemie a biologie, popř. fyziky; jeho realizace trvá jeden měsíc.

Luminiscenční pokusy jsou velmi efektní a věřím, že mohou obohatit zejména látku, která může na první pohled pro studenty vypadat nezajímavě či nudně. Vytvořit zajímavou výuku chemie by mělo být posláním každého učitele, a zejména učitele chemie.

3.5.1 Terminologický slovníček

CHEMICKÁ REAKCE

Je děj, při kterém se výchozí látky mění na produkty.

VÝCHOZÍ LÁTKY → **PRODUKTY**

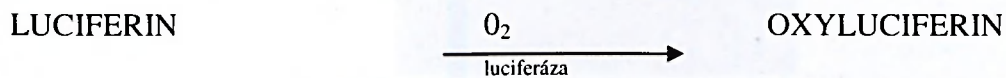
BIOLUMINISCENCE

Je příklad chemiluminiscenci v živých organismech.

Je založená na oxidaci luciferinu vzdušným kyslíkem.

Příkladem organismu s bioluminiscencí je světluška větší.

Bioluminiscence v těle světlušky probíhá podle schématu:



Obr. 11: Broučci^k

Karafiátovi Broučci s lucerničkami; oxidace luciferinu vzdušným kyslíkem v těle světlušky větší.

Bioluminiscenci popisovali už v době antiky na shnilém mase. Po objevu mikroskopu se začaly pozorovat světlušky a byl objeven princip oxidace luciferinu. Bioluminiscence pak byla pozorována také u mořských živočichů či žížaly podhorské.



Obr. 12: Žížala podhorská (svítivá) (Eisenia lucens)^l

Žížala podhorská po zavedení elektrického proudu také luminiskuje.

Proč vůbec živočochové bioluminiskují? Někteří lákají partnera, jiným slouží ke komunikaci, někteří takto odrazují nepřitele.

Bioluminiscence se vyskytuje také u rostlin. Např. podhoubí vávlavky obecné na podzim

světélkuje. V Indonésii si ženy sbírají svítící houby, suší je a poté si z nich vyrábějí náhrdelníky, aby přilákaly partnery²⁶



Obr. 13: Václavka obecná^m

Podhoubí václavky světélkuje, jedná se o bioluminiscenci

ELEKTROCHEMIE

Je chemická disciplína zabývající se procesy probíhajícími na rozhraní elektrod a elektrolytu.

Úzce souvisí s galvanoluminiscencí. (V¹⁴-kartotéka, pokus č. 20)

DUALISMUS FOTONU

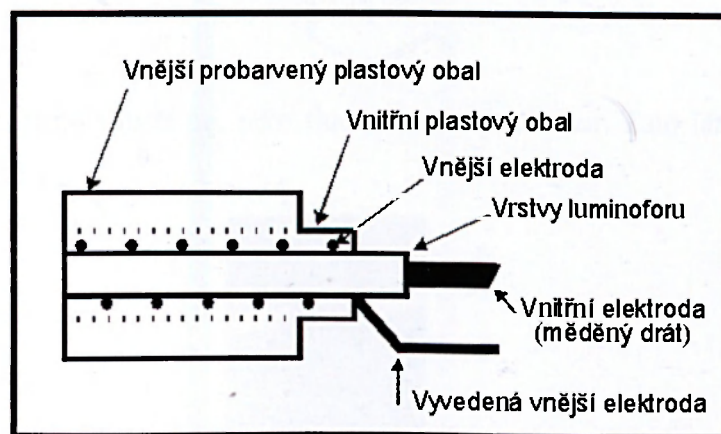
Je chování fotonu jako elektromagnetické vlnění i jako částice.

Chování částice lze přirovnat k pohybu kuličky a chování vlnění jako vlnu, např. vlnu na vodě.

ELEKTROLUMINISCENCE

Je druh luminiscence, která vzniká přiložením elektrod k luminoforu.

Využívá se v CRT monitorech či svítících panelech.



Obr. 14: Schéma elektroluminiscenceⁿ

Při elektroluminiscenci jsou k luminoforu přiloženy elektrody.

¹⁴ V... viz

ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY

Elektromagnetické vlny jsou vlny, které se využívají při rádiovysílání, v mobilních sítích, jako mikrovlny či jako rentgenové záření v závislosti na velikosti vlnové délky. Při vlnové délce 10^{-6} - 10^{-4} m tvoří tyto vlny infračervené záření, v rozsahu 10^{-7} - 10^{-6} m jsou světlem viditelným a v rozmezí 10^{-8} - 10^{-7} m pak ultrafialovým zářením.

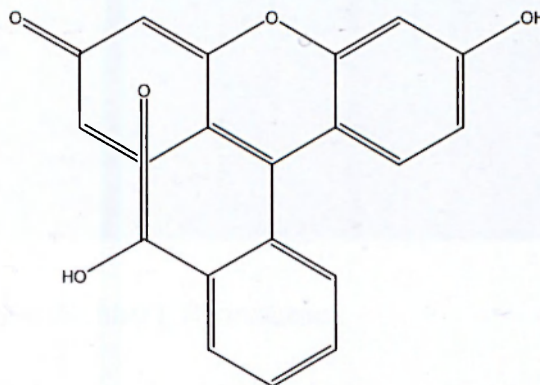
Jednotlivé paprsky způsobují změnu barvy. Při viditelném světle **zelená** barva se při UV-záření jeví **černá** až **fialově** při IR **žluto-oranžově**.

Tuto skutečnost lze vyzkoušet např. za použití tzv. horského sluníčka, které vyzařuje jak UV, tak IR. (V-kartotéka, pokus č. 10, 11)

Tabulka VI: Názvy paprsků dle vlnové délky

Vlnová délka	Název paprsků
Od 10^{-9} m	X (rentgenové)
10^{-8} - 10^{-7} m	UV (ultrafialové)
10^{-7} - 10^{-6} m	VIS (viditelné světlo)
10^{-6} - 10^{-4} m	IR (infračervené)

FLUORESCEIN $C_{20}H_{12}O_5$



Je chemická látka, která slouží mj. jako fluorescenční indikátor. Tato látka fluoreskuje žluto zeleně (V-příloha č. 1).



Obr. 15: Fluorescein⁰
Zelenožlutá fluorescence fluoresceinu.

Této skutečnosti se využívá např. při stopování podzemních vod. Fluoresceinem se označí nalezený pramen. Na místech, kde se pak fluorescein objeví, se vyskytují podzemní vody. Toto stopování se využívá např. při stavbě metra.¹¹

V chemické laboratoři se využívá ke stanovení chloridových iontů stříbrnými (V-kartotéka, pokus č. 11). Jedná se o argentometrii podle Fajanse (V-příloha č. 1).

FLUORESCENCE

Je druhem luminiscence, která je iniciována ultrafialovým či viditelným zářením. K fluorescenci dochází tehdy, ozáří-li se aktivní látka UV či VIS zářením. (V-kartotéka, pokus č. 10, 11; V-příloha č. 1). Ozařovaná vrstva fluoreskuje, tzn. vyzařuje světelnou energii.



Obr. 16: Fluorescence^P

Po ozáření UV/VIS zářením dochází k fluorescenci.

Fluorescence se využívá např. k ověřování pravosti bankovek. V bankovce jsou fluorescenční látky, které po ozáření v ověřovači svítí. Je to jeden ze způsobů ochrany proti padělání.

Fluorescence nachází stále větší uplatnění také v biochemickém a biofyzikálním výzkumu, při genetických analýzách a v průtokové cytometrii. Fluorescencí se testuje také např. životnost buněk. Fluorescence se stala součástí moderní medicíny.²⁷

FOSFORESCENCE

Je druhem luminiscence, která je iniciována UV nebo VIS zářením.

Citlivosti na viditelné světlo se využívá např. na ručičkách a cifernících hodinek, na něž je nanesen sulfid zinečnatý a zářič. Po ozáření svítí ve tmě.



Obr. 17: Svítící ciferník a ručičky⁴

Ciferník a ručičky obsahují sulfid zinečnatý se zářičem, které po nasvícení ve tmě svítí.

Ve tmě svítí také fosfor, chemická látka objevená německým alchymistou H. Brandem.

Fosforeskují také různé dekorace pro děti, např. hvězdičky, které v noci svítí, či svítící samolepky.



Obr. 18: Svítící hvězdičky⁷

Svítící hvězdičky, dekorace pro děti se také vyznačují fosforescencí

FOTOCHEMIE

Je chemická disciplína, zabývající se mj. přeměnou chemické energie na energii světelnou a naopak. Zabývá se také vlivem světla na průběh chemických reakcí.

Této skutečnosti se využívá při vyvolávání černobílých fotografií. Ve filmech je obsažen bromid stříbrný, látka citlivá na světlo. Po vyfotografování vzniká tzv. latentní obraz. Film s latentním obrazem je vložen do vývojky, což je hydrochinon. Ve vývojce se uvolňují z bromidu stříbrné kationty, díky nimž se utváří negativ. Pro odstaraření nečistot se negativ vloží do ustalovače (thiosíran sodný). Vzniká čistý negativ, z něhož se poté získá pozitiv, tedy fotografie.²⁰

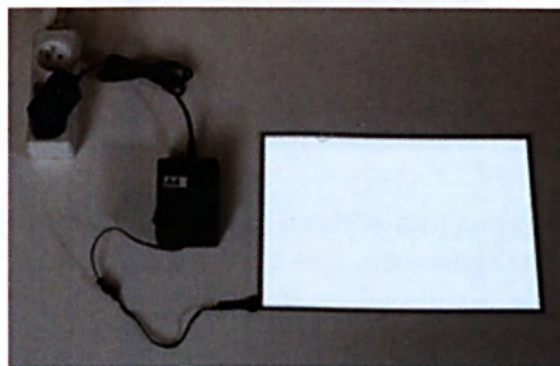


Obr. 19: Negativ a pozitiv černobílé fotografie^s

Po nasvícení negativu se tmavá místa negativu stávají světlými na pozitivu a naopak.

GALVANOLUMINISCENCE

Je druhem luminiscence, kdy látka luminiskuje např. při elektrolýze. (V-kartotéka, pokus č. 20) Galvanoluminiscence se využívá např. při konstrukci elektroluminiscenčních panelů, které slouží k podsvícení reklam.



Obr. 20: Elektroluminiscenční panel^t

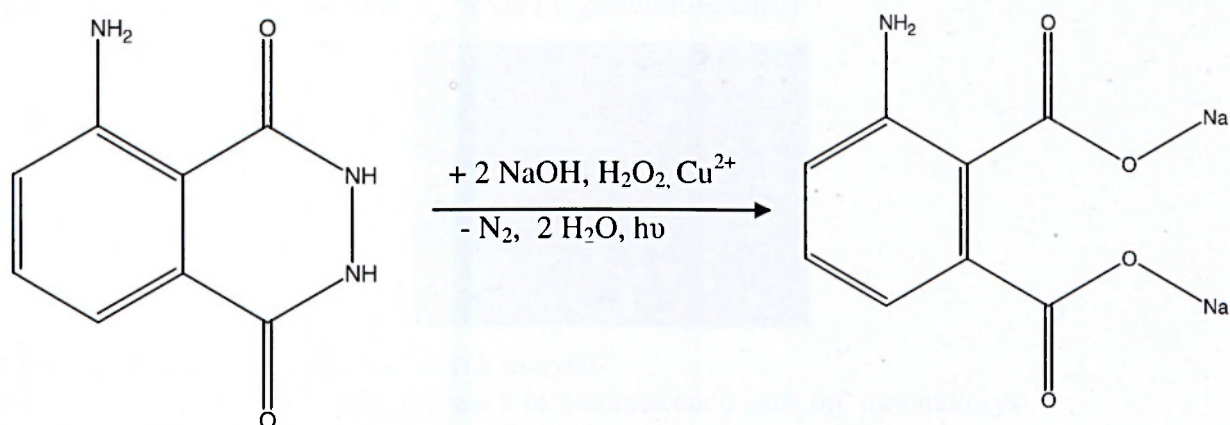
Pro podsvícení reklam jsou využívány elektroluminiscenční panely.

CHEMILUMINISCENCE

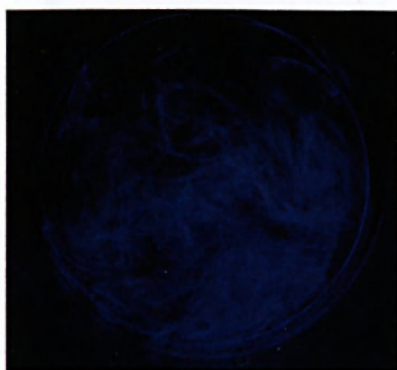
Je druhem luminiscence, při níž se při reakci uvolňuje energie ve formě světla.

Jednou z nejznámějších látek, u nichž k chemiluminiscenci dochází, je luminol (hydrazid kyseliny 3-aminoftalové). Luminol je v zásaditém prostředí za katalýzy Cu^{2+} iontů oxidován peroxidem vodíku na disodnou sůl. Při reakci se uvolňuje energie ve formě modrého světla. (V-kartotéka, pokus č. 14; V-příloha č.1)

Rovnice:



luminol (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové) disodná sůl 3-aminofthalové kyseliny



Obr.:21: Chemiluminiscence luminolu^u

Luminol je v zásaditém prostředí oxidován za katalýzy měďnatých iontů peroxoxidem vodíku na disodnou sůl kyseliny 3-aminofthalové. Při reakci se uvolňuje energie ve formě modrého světla.

KATALYZÁTOR

Je látka, která urychluje chemickou reakci, ale sama se reakcí nemění. Katalyzátor proto nelze považovat ani za výchozí látku, ani za produkt. ⁶

Příkladem katalyzované reakce je reakce luminolu (V-chemiluminiscence)

LUMINISCENCE

Je chemický jev, při kterém látka přechází do stavu s vyšší energií. Při návratu na původní energetickou hladinu vyzáří tato látka energii ve formě světla.

Luminiscenci lze rozdělit na fluorescenci, fosforescenci, triboluminiscenci a chemiluminiscenci. Chemiluminiscence se dále dělí na bioluminiscenci, chemiluminiscenci a galvanoluminiscenci.

Luminiscence má širokou škálu uplatnění. Tohoto jevu využívají např. speleologové při výkumu jeskyní, kdy si tímto studeným světlem svítí. Na luminiscenci lze narazit také v různých tanečních klubech, kde jsou pro osvětlení využity tzv. černé žárovky (V-příloha

č.1), které iniciují luminiscenci optických rozjasňovačů na bílém oblečení. V neposlední řadě se luminiscence vyskytuje také v přírodě (V-bioluminiscence)



Obr. 22: Bioluminiscence mořských korýšů

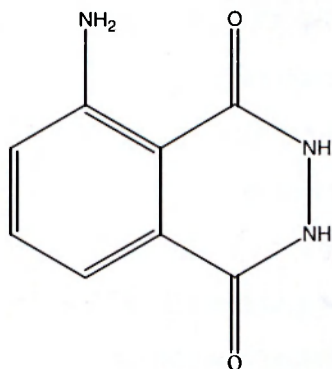
Mezi živočichy, v jejichž těle dochází k bioluminiscenci, patří mj. mořští korýši.

LUMINOL (hydrazid kyseliny 3-aminoftalové),

Je chemická látka, objevená roku 1928. Slouží jako acidobazický a redoxní indikátor pro různá stanovení (V- teoretická část – indikátory, str. 19).

Při chemiluminiscenci je oxidován v zásaditém prostředí za katalýzy měďnatých iontů peroxidem vodíku na disodnou sůl kyseliny 3-aminoftalové. Při reakci se uvolňuje energie ve formě modrého světla. (V-chemiluminiscence; V- kartotéka, pokus č. 14, 15, 16, 17, 18;

V-příloha č.1)



luminol (hydrazid kyseliny 3-aminoftalové)

REAKČNÍ KINETIKA

Je fyzikálně-chemická disciplína, která studuje rychlosti chemických reakcí a faktory, které rychlost ovlivňují.

Mezi tyto faktory patří: koncentrace výchozích látek, katalyzátory, teplota, tlak, mechanický zásah a reaktivita.¹⁹

TRIBOLUMINISCENCE

Je druhem, luminiscence, která vzniká při tlaku, drcení nebo tření krystalů.

Příkladem je tření cukru ve tmě, kdy lze pozorovat drobné jiskřičky. Tyto jiskry lze zesílit

(V-kartotéka, pokus č. 13)

3.5.2 Podklady pro výklad učitele

Chemická reakce

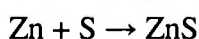
Je děj, při kterém se **výchozí látky** mění na **produkty**. V průběhu reakce dochází k zániku některých vazeb a ke vzniku vazeb nových.

VÝCHOZÍ LÁTKY → **PRODUKTY**

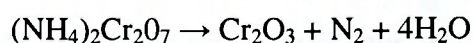
Klasifikace chemických reakcí¹⁹

a) podle vnějších změn

SYNTEZY (reakce skladné) jsou reakce, při nichž z jednodušších látek vznikají látky složitější.

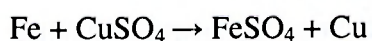


ROZKLADNÉ REAKCE jsou reakce, při nichž z jedné látky vzniká více látek jednodušších.



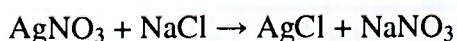
- Rozkladné a skladné reakce demonstujete pokusy uvedených reakcí (V-kartotéka, pokus č. 1, 3)

VYTESNOVACÍ REAKCE jsou reakce, při kterých je jeden nebo více atomů nahrazeno jiným atomem nebo skupinou atomů.



- Reakci lze demonstrovat na vložení hřebíku do roztoku modré skalice. Na hřebíku se vyloučí měď a železo přejde do roztoku.

KONVERZE (reakce podvojně záměny) jsou reakce, u nichž dochází k výměně atomů či skupin atomů mezi molekulami.



- Lze demonstrovat na argentometrii podle Fajanse (V-kartotéka, pokus č. 11).

b) podle skupenského stavu

s... pevná látka

l... kapalina

g... plyn

aq... vodný roztok

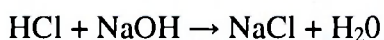
HOMOGENNÍ REAKCE jsou reakce, při nichž jsou všechny látky ve stejném skupenském stavu.

HETEROGENNÍ REAKCE jsou reakce, při nichž jsou látky v různém skupenském stavu.

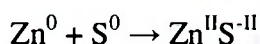
- Zadejte žákům úkol, aby na základě shlednutých reakcí rozdělili tyto reakce na homogenní a heterogenní.

c) podle přenášených částic

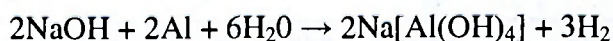
ACIDOBAZICKÉ REAKCE jsou reakce, při nichž dochází k výměně vodíkového kationtu mezi kyselinou a zásadou.



REDOXNÍ REAKCE jsou reakce, při nichž dochází k výměně elektronu mezi reagujícími látkami. Jedna látka elektron odevzdává, oxiduje se a její oxidační číslo se zvyšuje. Druhá látka elektron přijímá, redukuje se a její oxidační číslo se snižuje.



KOMPLEXOTVORNÉ REAKCE jsou reakce, při nichž dochází ke vzniku komplexní sloučeniny s koordinačně kovalentní vazbou.



d) podle jejich tepelného zbarvení

ENDOTERMICKÉ REAKCE jsou reakce, při nichž je tepelná energie spotřebovávána.

EXOTERMICKÉ REAKCE jsou reakce, při nichž se tepelná energie uvolňuje.³⁶

- Zadejte žákům úkol, určit, která z uvedených reakcí je endotermická.

Přeměny energie

Z pohledu chemie se chemická energie přeměňuje na energii tepelnou, elektrickou, světelnou a mechanickou a naopak. Jednotlivé druhy energie se mohou přeměňovat vzájemně mezi sebou.

- Demonstrujte na schématu přeměny energie (V-teoretická část, str. 8)
- K demonstraci použijte puzzle nebo hru energie (V-příloha č. 2)

⇒ Přeměna chemické energie na energii tepelnou a naopak

Přeměna chemické energie na energii tepelnou a naopak spadá do studia TERMOCHEMIE, vědní disciplíny zabývající se tepelným zbarvením chemických reakcí.

- Přeměnu chemické energie na energii tepelnou lze demonstrovat zapálením svíčky, popř. pokusem „Hořící gel“. 5 ml nasyceného roztoku octanu vápenatého smíchejte s 37,5 ml ethanolu. Zapalte.¹⁹
- K termochemii lze také pustit pořad České televize z cyklu Michaelovy experimenty, horký led.³⁸
- K demonstraci může posloužit také tělesný ohřívač.
- Přeměnu tepelné energie na energii chemickou demonstруйте na pokusu chladivé mléko: 1 g Ba(OH)₂ · 8 H₂O a 5 g NH₄SCN upráškovat každý zvlášť a poté smíchejte ve zkumavce a protřepejte. Pozorujte vznik bílé kapalné látky, která má výrazně nižší teplotu.¹⁹

⇒ Přeměna chemické energie na energii světelnou a naopak

Po přijetí světelné energie se látka excituje, což může vést k chemické reakci, stejně tak chemickou reakcí se může chemická energie měnit na energii světelnou. Těmito jevy se zabývá vědní disciplína, zv. fotochemie.⁸

- Přeměnu chemické energie na energii světelnou lze demonstrovat na chemiluminiscenčních pokusech (V-kartotéka, pokus č. 14-19).
- Přeměnu světelné energie na energii chemickou demonstруйте na fotografickém procesu (V-kartotéka, pokus č. 7)

⇒ Přeměna chemické energie na energii mechanickou a naopak

Chemická energie se může přeměňovat na energii mechanickou a mechanická energie na energii chemickou. Uvedené přeměny spadají do oblasti chemické fyziky.

- Přeměnu chemické energie na energii mechanickou lze demonstrovat na pokusu „skákaající plechovka“. Do otevírací plechovky udělejte malou díru. Do plechovky vložte kousek karbidu vápničku a přidejte kapku vody. Plechovku uzavřete a k dírce přiložte zapálenou třísku.
- Při pokusu „rtuťové srdce“ nalijte 2M roztok kyseliny sírové, přidejte pár kapek dichromanu draselného. Do připraveného roztoku kápněte kapku rtuti. Ke kapce rtuti

přiložte hřebík. Pozorujte tepající rtuťové srdce.

- Přeměnu mechanické energie na energii chemickou demonstujete na pokusu kapslíky: Rozetřete odděleně 1 g červeného fosforu a 3 g chlorečnanu draselného, poté smíchejte s vodou za vzniku husté kaše. Směs naneste na pruh papíru po tečkách ne větších než sezamové semínko a usušte. Poté kladívkem tlučte do jednotlivých teček.¹⁹

⇒ Přeměna chemické energie na energii elektrickou a naopak

Energie chemická se mění na energii elektrickou a elektrická energie na energii chemickou. Tyto přeměny jsou popisovány chemickou disciplínou, elektrochemií.

- Přeměnu elektrické energie na energii chemickou lze demonstrovat elektrolýzou vody. Do kyvety nalijte vodu okyselenou kyselinou sírovou, vložte elektrody, pozorujte vznikající kyslík a vodík. Pokus lze demonstrovat také v elektrolyzáru, kdy se vznikající plyny jímají do zkumavek. Důkaz vodíku je prováděn nad plamenem. Objevuje se typické štěkání. Důkaz kyslíku se provádí rozžhavenou třískou, která se vloží do ústí zkumavky. Tříska se zapálí.
- Přeměnu chemické energie na energii elektrickou demonstujete na pokusu Daniellův článek: do kádinky s 0,1 M roztokem CuSO_4 vložte měděný plech, do kádinky s 0,1 M roztokem ZnSO_4 vložte zinkový (pozinkovaný) plech. Oba plechy připojte elektrickými vodiči (banánek, krokosvorka) k voltmetru – ten ukáže výchylku až po spojení elektrolytů v kádinkách solným můstkem. Solný můstek zde mohou představovat ruka či řetězec lidí.¹⁹

Světelná energie

Světlo má jako jiná záření dualistickou povahu.

Chová se tedy jako elektromagnetické vlnění i jako částice, foton.

- Lze demonstrovat na příkladu kuličky a vlny. Povahu částice lze demonstrovat na Crookesově mlýnku¹⁵. Jako příklad chování světla coby vlnění lze demonstrovat na světelném kabelu¹⁶.

¹⁵ Crookesův mlýnek je skleněná nádoba, z níž je vysán vzduch. Uvnitř nádoby jsou čtyři lopatky spojené do vrtule. Jedna strany lopatek je bílá, druhá černá. Po ozáření světlem dochází k roztočení této vrtule.

¹⁶ Světelný kabel je na jednom konci ozářen světlem a na druhém konci drátku se toto světlo rozkládá na spektrum. Světelného kabelu se využívá coby dekorační lampy.

Světlo obsahuje několik složek. Jsou to barevné spektrum, viditelné lidským okem, infračervené a ultrafialové záření, které lidské oko nepozoruje.

- Lze demonstrovat na pokusu „Barvy slunečního světla“. Při slunečném dni naplňte skleněnou mísu vodou. Tuto umístěte na okraj stolu tak, aby jí procházely sluneční paprsky. Za mísu položte list papíru. Objeví se barevné spektrum.³⁰
- Na pokusu můžete vysvětlit také vznik duhy. Dešťové kapky působí jako hranoly, které rozkládají světlo.
- Účinky UV-paprsků lze demonstrovat na fluorescenčních pokusech (V-kartotéka, pokus č. 10), infračervené záření lze demonstrovat na laserovém ukazovátku. Účinky viditelného světla je možno předvést na pokusu fotografický proces (V-kartotéka, pokus č. 7).

Luminiscence

je jev, při kterém látka vyzaří přebytečné elektromagnetické záření po dodání energie.

⇒ FOTOLUMINISCENCE

Děj, který je iniciován fotony. Užívá se např. při ověřování pravosti bankovek či v hodinkách na luminiscenčních ručičkách.

- Možno využít fluorescenční pokusy (V-kartotéka, pokus č. 10, 11)

⇒ ELEKTROLUMINISCENCE

Je děj, při němž dochází k luminiscenci přiložením elektrod k luminoforu. Využívá se např. pro CRT monitory.

- Lze demonstrovat na galvanoluministických pokusech (V-kartotéka, pokus č. 20).

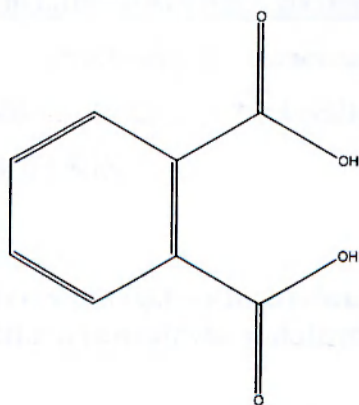
⇒ CHEMILUMINISCENCE

Je děj, při kterém je při chemických reakcích vyzařována energie ve formě světla.

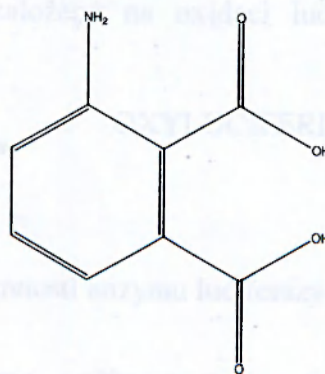
Nejsilnější chemiluminiscenční reakcí je reakce luminolu.

- Luminol, systematicky hydrazid kyseliny 3-aminofthalové, lze odvodit postupnou cestou, aby studenti dokázali jeho vzorec napsat. Nejprve nakreslete vzorec **kyseliny fthalové**, poté **kyseliny 3-aminofthalové**, poté **hydrazid kyseliny 3-aminofthalové**. Následně **disodnou sůl kyseliny 3-aminofthalové**.
- Poté napište rovnici reakce luminolu.

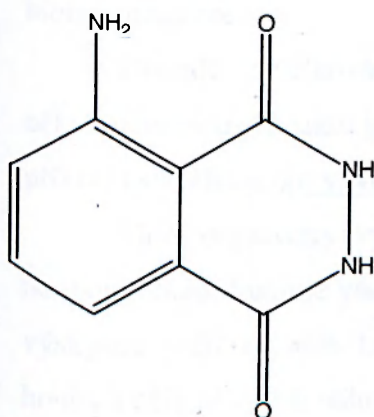
- Reakci demonstруйте v ploché kyvetě (V-kartotéka)



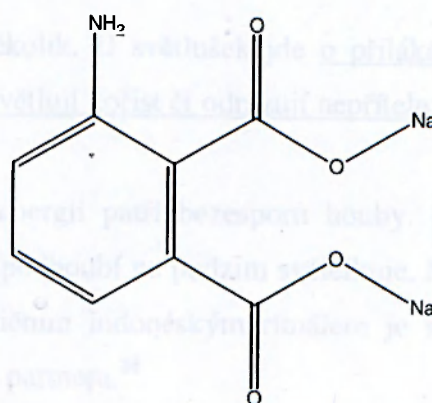
1) kyselina ftalová



2) kyselina 3-aminoftalová

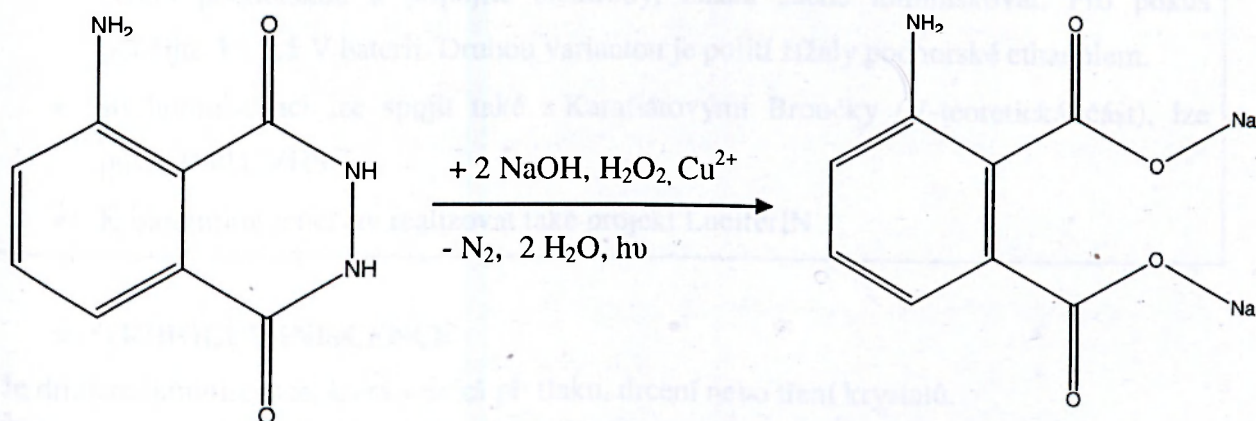


3) hydrazid kyseliny 3-aminoftalové



4) disodná sůl kyseliny 3-aminoftalové

Rovnice:



luminol (hydrazid kyseliny 3-aminoftalové) disodná sůl 3-aminoftalové kyseliny

⇒ BIOLUMINISCENCE

je chemiluminiscenci v živých organismech.

Příkladem je luminiscence světlušek, založená na oxidaci luciferinu vzdušným kyslíkem. Reakce probíhá podle schématu:

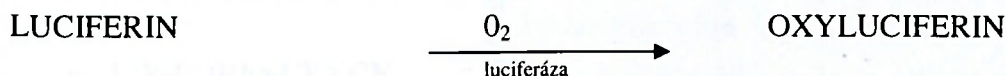


Schéma 4: Oxidace luciferinu

Luciferin je oxidován vzdušným kyslíkem v přítomnosti enzymu luciferázy na oxyluciferin.

Luciferin je oxidován vzdušným kyslíkem v přítomnosti enzymu luciferinázy na oxyluciferin. Tento děj způsobuje v těle světlušky větší vznik světelné energie, je označován bioluminiscence.

Důvodů světélkování u živočichů je několik. U světlušek jde o přilákání partnera, některé druhy spolu takto komunikují, jiné si osvětlují kořist či odrazují nepřítele. Medúzy ku příkladu světélkují pro vyvolání poplachu.

Mezi organismy vydávající světelnou energii patří bezesporu houby. Nejznámější houbou tohoto druhu je **václavka obecná**, jejíž podhoubí na podzim světélkuje. Nejčastějším výskytem světélkujících hub jsou tropy. Tradičním indonéským rituálem je sbírat svítící houby a dělat si z nich náhrdelníky pro přilákání partnera.²⁶

Možná až překvapujícím faktem je světélkování *žížaly podhorské*. Žížala po vložení do elektrického obvodu světélkuje.

- Vložíte-li na Petriho misku filtrační papír navlhčený v roztoku NaCl a na něj položíte žížalu podhorskou a připojíte elektrody, žížala začne luminiskovat. Pro pokus použijte 3 – 4,5 V baterii. Druhou variantou je políť žížaly podhorské ethanolem.
- Bioluminiscenci lze spojit také s Karafiátovými Broučky (V-teoretická část), lze pustit DVD, VHS.
- K bioluminiscenci lze realizovat také projekt LuciferIN

⇒ TRIBOLUMINISCENCE

Je druhem luminiscence, která vzniká při tlaku, drcení nebo tření krystalů.

- Demonstrujte pokus „svítící cukr“ (V-kartotéka, pokus č. 13)

⇒ FLUORESCENCE

Je druhem luminiscence, jejímž zdrojem je nahodilé záření (světlo)

- Vyberte fluorescenční pokus (V-kartotéka, pokus č. 10,11)
- Zařad'te hru „Speleolog“ (V-příloha č.2)

⇒ FOSFORESCENCE

Je druhem luminiscence, při níž dochází k buzení i po odebrání zdroje.

- Demonstrujte na pokusu létající plamínek (V-kartotéka, pokus č. 12)

3.5.2 Návrh školního projektu LuciferIN

„A tak se vracely a povídaly si, jaké má Brouček krásné světlo. Kmotřička myslela, že je krásně žluté jako zlato; mamince se zdálo více do běla, hodně jasné; Beruška tvrdila, že je do růžova; Janinka pak měla za to, že je takové, jaké mívají broučci, když ponejprv letí, a že jen aby Brouček poslouchal, že ona má strach, že poslouchat nebude.“

(JAN , Karafiát. Broučci. Jiří Trnka. 7. vyd. Praha : Albatros, 2001. 88 s. ISBN 80-00-00942-0.)

Projekt inspirovaný knihou Jana Karafiáta, Broučci. Projekt LuciferIN spojuje předměty biologie a chemie, popř. fyzika.

Odkrývá podstatu světla svatojánských broučků, světlušek. Zkoumá příčinu světelných signálů také u jiných organismů.

Z hlediska chemie zkoumá studené světlo, luminiscenci. Největší pozornost je věnována právě bioluminiscenci, která probíhá v těle světlušek.

V hodinách biologie pracují studenti ve skupinách, vyhledávají a zpracovávají informace k určenému tématu.

V hodinách chemie navazuje projekt na učivo chemických výpočtů a světelné energie.

Výstupem projektu v hodinách biologie je skupinová práce na zadané téma, v hodinách chemie argentometrie podle Fajanse.

Závěrečnou konferenci doporučuji konat ve večerních hodinách, kdy nejlépe vynikne efekt fluoresceinu při argentometrické titraci. Lze ji realizovat formou workshopů a následnou společnou konferencí. Workshopy probíhají v různých třídách po škole, v biologii probíhá prezentace biologických témat – živočichové a rostliny s bioluminiscencí, za chemii lze

prezentovat alchymickou část a objev fosforu, na jiném místě běžné využití luminiscence, a chemické laboratoři jsou demonstrovány luminiscenční pokusy. Všichni účastníci konferenci by měli mít bílé tričko, aby ve společenské místnosti, kde je umístěna černá žárovka, vynikla fluorescence. U vstupu lze vybírat vstupné, návštěvníci platí pouze papírovými penězi, které jsou patřičně ověřovány UV-lampou, čímž je opět demonstrována fluorescence. Návštěvníci dostanou jako vstupenku náramek v podobě luminiscenční trubičky. Tato začíná svítit po rozlomení. V místnosti pro občerstvení je drcen cukr, což představuje triboluminiscenci. Pořadatelé, tedy studenti, kteří byli do projektu zapojeni, mohou mít na hlavách osvětlení typická pro speleology. Další aktivity už závisí jen a jen na kreativitě každého učitele.

ROZDĚLENÍ DO SKUPIN A VÝSTUPY

- ⇒ **Světlušky a bioluminiscence (biologická esej)** Zařazení světlušky větší do systému. Anatomie jejího těla, podstata bioluminiscence, příčiny světélkování.
- ⇒ **Mořští živočichové a bioluminiscence (biologická esej)** Výčet mořských živočichů, u nichž se vyskytuje světélkování, pokus o vysvětlení příčiny, jejich zařazení do systému. Podstata bioluminiscence.
- ⇒ **Mohou svítit i houby? (biologická esej)** Svítící houby, zařazení do systému, podstata jejich světélkování, pověsti s nimi spojené.
- ⇒ **Karafiátovi Broučci okem chemika (chemické divadelní představení)** téma pro skupinu, v níž se vyskytuje vůdčí typ studenta se zájmem o divadlo. Představení Broučků po stránce chemické.
- ⇒ **Speleolog, monitor, žížala – cože? (chemická esej)** Výčet využití luminiscence v minulosti a dnes, klasifikace luminiscence.
- ⇒ **Alchymie a objev fosforu (chemická esej)** Srovnání alchymie se současnou chemií, život alchymisty Branda, jeho objev fosforu.

ČASOVÉ ROZVRŽENÍ

- ⇒ 1h: zadání projektu, rozdělení do skupin
- ⇒ cca 10h: zpracovávání skupinových prací
- ⇒ 2h: závěrečná konference

MOTIVACE

V úvodní hodině je studentům puštěn záznam Broučků (DVD, VHS). Poté ukázky různého využití luminiscence (monitory, zábavné trubičky, reklamní panely, ověřovače bankovek, hodinové ručičky, organismy s bioluminiscencí).

Následuje rozlosování do skupin. Poté mají jednotlivé skupiny vyřešit, co mají uvedené ukázky společného. Tento úkol nechte žáky vypracovat v PC učebně, aby mohli vyhledat příslušné informace.

Poté jednotlivé skupiny prezentují své výsledky. Společným shrnutím je vysvětlení principu luminiscence učitelem.

Skupiny si vyberou témata prací, která budou po dobu max. 1 měsíce vypracovávat ve skupině.

Projekt lze také začít v terénu v letních měsících, kdy lze pozorovat světlušky na vlastní oči. Tuto variantu bych doporučila zejména učitelům ve větších městech, kde se studenti se světluškami nesetkávají každý večer.

PŘÍNOS

- ⇒ Mezipředmětové vztahy Ch, Bi (F)
- ⇒ Návaznost na očekávané výstupy v RVP
- ⇒ Průřezová témata¹⁷
- ⇒ Skupinová práce
- ⇒ Praktická laboratorní úloha (V-kartotéka, pokus č. 11, varianta stanovení chloridů v půdě)
- ⇒ Propojení teorie s praktickým životem (Speleolog, monitor, žížala – cože?)

Projekt lze modifikovat také pro předmět fyzika, a to např. rozšířením témat práce skupinek o fyzikální témata.

K samotné realizaci projektu lze přidat mnoho dalších nápadů, které s luminiscencí souvisí. Vše závisí jen na fantazii učitelů chemie a biologie.

¹⁷ Osobnostní a sociální výchova: organizační dovednosti a efektivní řešení problémů (práce ve skupinkách)
Mediální výchova: práce v produkčním týmu (tvorba prezentace k tématu skupinky, tvorba představení)
Environmentální výchova: půda (stanovení chloridů v půdě), vztah organismů a prostředí (tok energie, chování živočichů dle prostředí)

4. PRAKTICKÁ ČÁST CHEMICKÁ

Tato část je věnována praktickým ukázkám k pedagogickému experimentu. Je zde navrhováno několik pokusů, které lze do výuky tématu zařadit.

Tyto pokusy lze rozdělit na tři základní skupiny:

- a) pokusy prováděné žáky
- b) pokusy prováděné učitelem
- c) pokusy prováděné žáky za pomoci učitele

Pokusy prováděné žáky musí splňovat několik základních kritérií, která nesmí být ve výuce zanedbána. Žáci mohou pracovat pouze s vybranými chemikáliemi za dodržování přísných podmínek užití.

Pokusy lze zařadit také do pořadu, který lze natočit podle připraveného scénáře.

4. 1 Návrh pokusů

Pokusy označené čísly jsou rozvedeny v návrhu kartotéky pokusů.

POKUSY SPOJENÉ SE SVĚTELNOU ENERGIÍ

- a. **Reakce zinku a síry (1)**
- b. **Reakce jodu a hliníku (jodohliníková sopka) (2)**
- c. **Rozklad dichromanu amonného (sopka na stole) (3)**
- d. **Reakce nasyceného roztoku chloridu sodného s koncentrovanou kyselinou chlorovodíkovou (4)**
- e. **Krystalizace $2 \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (5)**
- f. **Reakce koncentrované kyseliny sírové, ethanolu a manganistanu draselného (6)**
- g. **Fotografický proces (roztok bromidu stříbrného s hydrochinonem a thiosíranem sodným) (7)**

Druhou variantou uvedeného zkumavkového pokusu je využití fotografického papíru.

Postup a chemikálie jsou totožné.

Třetí variantou je fotochemie na pelargonii. Na lístek pelargonie připevníme za tmy vystříhlé písmeno či tvar. Poté přemístíme pelargonii na světlo. Lístek ustříhneme a vložíme do Lugolova roztoku.

- h. **Reakce hydrochinonu, formaldehydu, uhličitanu draselného a peroxidu vodíku.(8)**
- i. **Reakce rtuťnatých a železnatých iontů za světla a zpětná reakce za tmy (9)**

j. Izomerizace kyseliny maleinové na fumarovou působením UV-záření

Reakce se projeví vznikem sraženiny v původně čirém roztoku (fumarová kyselina je mnohonásobně nerozpustnější než maleinová kyselina).

LUMINISCENČNÍ POKUSY

I. fluorescence - excitace média zářením

a. **fluorescence roztoku po ozáření UV vně shora i zdola (10)**

b. **fluorescence roztoku po ozáření UV, zdroj ponořen v roztoku**

Varianta předchozího pokusu, zdroj vložíme do plastického pouzdra. Vyzářená energie dosahuje větší intenzity.

c. **fluorescence na papíru**

Varianta předchozích dvou pokusů. Kapky jednotlivých barviv nakapeme na papír a ozáříme.

d. **optické zjasňovače (košile na párty)** Prací prášky obsahují optické zjasňovače, které po ozáření UV-světlem či černou žárovkou fluoreskují.

e. **nápoj „Světluška“** Nápoj „Světluška“ býval běžně dostupným nápojem. Obsahoval rovněž fluoreskující látky (fluorescein).

f. **argentometrie podle Fajanse (11)**

II. fosforescence - excitace média zářením (po odebrání zdroje)

a. **svítící ciferník a ručičky (ZnS + zářič)** Sulfid zinečnatý se zářičem (smolinec) se vyznačuje fosforescencí. Prakticky se tohoto jevu využívá na budících a hodinkách.

b. **létající plamínek (oxidace bílého fosforu) (12)**

III. triboluminiscence – mechanická energie

a. **jiskřící cukr (13)**

IV. chemiluminiscence

- a. chemiluminiscence v ploché kyvetě (14)
- b. chemiluminiscence v U-trubici (15)
- c. kinetické pokusy: zesílení, zeslabení, zhasnutí, rozsvícení
Modifikace předchozích dvou pokusů; zesílení zvýšením koncentrace peroxidu vodíku, mechanická energie – promíchání
- d. reakce sodíku a vody v přítomnosti luminolu (16)
- e. chemiluminiscenční vodotrysk (17)
- f. stopová analýza Cu^{2+} (18)
- g. peroxyoxalátové reakce (19)
- h. chemiluminiscenční trubičky
Zábavné trubičky, které po rozlomení svítí.

V. bioluminiscence (bioluminiscence je druhem chemiluminiscenčních reakcí)

- a. světluška
V těle světlušky větší dochází v letních měsících k bioluminiscenci. (V-teoretická část)
- b. žížala
Žížala podhorská, žijící v hniјících pařezech, bioluminiskuje po přelití ethanolem a po vložení žížaly do elektrického obvodu (3-4,5 V).
- c. václavka

VI. galvanoluminiscence (galvanoluminiscence je druhem chemiluminiscenčních reakcí)

- a. elektrolýza chemiluminiscenčního roztoku (20)

4.2 Návrh kartotéky pokusů

<u>1. REAKCE ZINKU A SÍRY</u>	
Anotace	Zinek a síra reagují po zapálení za vzniku sulfidu zinečnatého a světelné energie.
Chemikálie	prášková síra (sublimovaná) a práškový zinek v hmotnostním poměru 1: 2
Pomůcky	nehořlavá podložka, kahan, zápalky
Nákres:	<p>1... směs Zn : S (2 : 1) a... nehořlavá podložka</p> <p>1... vznikající ZnS a... hořící třísky b... nehořlavá podložka</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Navažte 1g Zn a 0, 5 g S. 2) Oba prášky promíchejte tak, aby vznikla rovnoměrná směs. 3) Tuto směs přesypte na nehořlavou podložku. 4) Pro zapálení směsi je vhodnější využít plynový kahan. Lze zapálit i třískou. Reakce však není příliš efektní.
Didaktické zařazení	p, d – prvky (S, Zn); vznik směsi, světelná energie, reakce skladné
Závěr	Reakcí vzniká žlutobílý sulfid zinečnatý. Přebytečná síra reaguje se vzdušným kyslíkem za vzniku oxidu siřičitého. Pokus je vhodné demonstrovat v digestoři nebo po jeho provedení řádně vyvětrat.
Rovnice	$Zn + S \rightarrow ZnS$
Bezpečnostní upozornění	Reakce probíhá velmi bouřlivě, dbejte proto zvýšené opatrnosti (brýle, štít). Po provedení pokusu vyvětrejte, nebo pokus provádějte v digestoři. Pouze v rukou učitele.

2. JODOHLINÍKOVÁ SOPKA

Anotace	Jod reaguje s hliníkem po iniciaci vodou za vzniku jodidu hlinitého a světelné energie.
Chemikálie	Práškový hliník, práškový jod, kapka vody z pipety (injekční stříkačky)
Pomůcky	Nehořlavá podložka, třecí miska s tloučkem
Nákres:	<p>1... kapka vody 2... směs jodu a hliníku a... nehořlavá podložka</p> <p>1... jod 2... vznášející částice a... nehořlavá podložka</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Připravte si práškový hliník (asi 1g) a pevný jod (1g). 2) Oba prvky utřete suché samostatně ve třecí misce. 3) Vzniklou směs nasypete na nehořlavou podložku tak, aby uprostřed vznikl kráter. 4) Takto připravenou směs přesuňte do digestoře a ujistěte se, zda nemáte ve skupině alergiky na jod. Nemáte-li k dispozici digestoř, použijte velkou kádinku či transparentní kbelík. Po provedení pokusu důkladně vyvětrejte. 5) Poté kápněte kapku vody do vytvořeného kráteru a pozorujte.
Didaktické zařazení	p-prvky (I, Al), světelná energie, kinetika chemických reakcí
Závěr	Směs reaguje prudce za vzniku jodidu hlinitého. Přebytný jod sublimuje. Během reakce směs vzplane a unikají fialové páry jodu.
Rovnice	$2Al + 3 I_2 \rightarrow 2AlI_3$
Bezpečnostní upozornění	<p>Nevhodné pro alergiky na jod (před provedením pokusu je třeba se informovat, zda mezi žáky není alergik na jod), pouze v rukou učitele</p> <p>Al: R10: Hořlavý R15: Při styku s vodou uvolňuje extrémně hořlavé plyny S (2-)7/8-43 I: R 20/21: Zdraví škodlivý při vdechování a při styku s kůží S 25: Zamezte styku s očima S 23: Nevdechujte plyny/dýmy/páry/aerosoly</p>

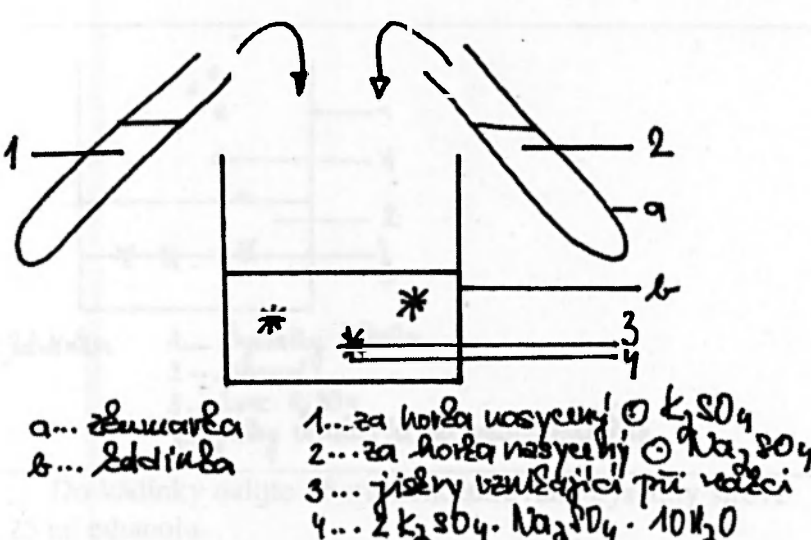
3. ROZKLAD DICHROMANU DRASELNÉHO

Anotace	Zahřátím dichromanu amonného vzniká dusík, oxid chromitý, voda a světelná energie
Chemikálie	$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Pomůcky	nehořlavá podložka / kovová miska, kahan, trojnožka
Nákres:	<p> <i>a... kovová miska</i> <i>b... trojnožka</i> <i>c... kahan</i> <i>1... $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$</i> <i>2... vznikající jiskry</i> </p> <p> <i>a... železná miska</i> <i>b... trojnožka</i> <i>c... podložka (kvalnice)</i> <i>1... vzniklý Cr_2O_3</i> </p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Navažte 2 g dichromanu amonného 2) Nasypete je na kovovou misku nebo nehořlavou podložku. 3) Připravte si trojnožku do digestoře, popř. připravte poklop pro demonstraci pokusu. 4) Zahřívajte, dokud se neobjeví první jiskry, poté kahan odstavte. 5) Pozorujte vznikající oxid chromitý. 6) Demonstrujete-li pokus mimo digestoř, důkladně vyvětrejte.
Didaktické zařazení	p-prvky (N), d-prvky (Cr), klasifikace chemických reakcí (reakce rozkladné), světelná energie
Závěr	Zahřátím je iniciována reakce, při níž z oranžového dichromanu amonného vzniká zelený oxid chromitý, dusík a voda.
Rovnice	$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
Bezpečnostní upozornění	$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: R 49-46-1-8-21-25-26-37/38-41-43-50/53, S 53-45-60-61 R21: Zdraví škodlivý při styku s kůží R25: Toxický při požití R26: Vysoce toxický při vdechování Pouze v rukou učitele

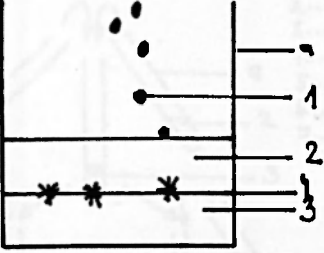
**4. REAKCE NASYCENÉHO ROZTOKU CHLORIDU SODNÉHO S KONCENTROVANOU
KYSELINOU CHLOROVODÍKOVOU**

Anotace:	Chlorid sodný krystalizuje v roztoku po přidání HCl za vzniku drobných jisker.
Chemikálie:	Nasyčený roztok NaCl, konc. HCl
Pomůcky	Pipeta, kádinky
Nákres:	<p>a... pipeta b... kádilka</p> <p>1... koncentrovaná HCl 2... vznikající jiskry 3... nasycený roztok NaCl</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) V kádince rozpouštějte NaCl do vzniku nasyceného roztoku. 2) Vzniklý čirý roztok přelijte do druhé kádinky. 3) Přikapávejte po kapkách pipetou koncentrovanou HCl. 4) Pozorujte vznikající jiskry. Aby byly jiskry patrné, použijte zastínění nebo pokus demostrujte ve tmě.
Didaktické zařazení	<p>Krystalizace, p-pvky (halogeny), produkt rozpustnosti. Na pokusu je možno demonstrovat i chemické rovnováhy dle schématu: $\text{NaCl} \leftrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $K = \frac{[\text{Na}^+][\text{Cl}^-]}{[\text{NaCl}]}$ Pro zvýšení koncentrace Na^+ iontů použijte NaOH, pro Cl^- HCl. Zvýšením koncentrace jedné z výchozích látek se zvýší koncentrace produktu, což se projeví vyloučením pevného NaCl.</p>
Závěr	Chlorid sodný krystalizuje za vzniku malých jisker.
Bezpečnostní upozornění	<p>NaCl: R 31-34, S (1/2-)28-45-50 R31: Uvolňuje toxický plyn při styku s kyselinami R34: Způsobuje poleptání HCl: R 34-37, S (1/2-)26-45 R37: Dráždí dýchací orgány Žáci připraví nasycený roztok NaCl, učitel přidává konc. HCl.</p>

5. KRYSALIZACE SÍRANU SODNO-DRASELNÉHO

Anotace	Síran draselný a síran sodný spolu reagují za vzniku podvojně soli $2 \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$. Reakce je provázána světélkováním.
Chemikálie	K_2SO_4 , Na_2SO_4 , voda
Pomůcky	kádinka, zkumavky
Nákres	 <p>a... zkumavka b... lednice 1... za horka nasycený K_2SO_4 2... za horka nasycený Na_2SO_4 3... jiskry vznikající při vaření 4... $2 \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Z obou solí připravte za horka nasycené roztoky. 2) Roztoky slijte do kádinky 3) Až se rozpustí všechny krystaly, nechte roztok vychladnout asi na 60°C. 4) Pozorujte vznikající jiskry v tmavé místnosti či černé krabici. 5) Při pokusu je třeba trpělivosti, protože jiskření se někdy dostaví až po hodině.
Didaktické zařazení	vznik podvojně soli, soli, krystalizace
Závěr	Reakcí síranu sodného a draselného s vodou vznikl $2 \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$.
Rovnice	$2 \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 10 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
Bezpečnostní upozornění	Učitel připraví za horka nasycené roztoky, žáci tyto roztoky slévají.

**6. REAKCE KONCENTROVANÉ KYSELINY SÍROVÉ, ETHANOLU A MANGANISTANU
DRASELNÉHO**

Anotace	Koncentrovaná kyselina sírová rozkládá manganistan draselný. Vzniká oxid manganistý, který se dále rozkládá na oxid manganičitý a kyslík. Při reakci se uvolňuje světelná energie.
Chemikálie	Krystalky pevného manganistanu draselného, 25 ml koncentrované kyseliny sírové, 25 ml ethanolu
Pomůcky	Kádinka, popř. zkumavka
Nákres	 <p>a... kádinka 1... krystalky $KMnO_4$ 2... ethanol 3... konc. H_2SO_4 4... jiskry vznikající na rozhraní lep.</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Do kádinky nalijte 25 ml koncentrované kyseliny sírové a 25 ml ethanolu. 2) Kyselina sírová se nemísí s ethanolem, tudíž lze pozorovat rozhraní mezi těmito kapalinami. 3) Do kádinky poté přidávejte postupně několik malých krystalků manganistanu draselného. 4) Na rozhraní kapalin pozorujte vznikající jiskry.
Didaktické zařazení	d-pvky (Mn), organické sloučeniny, redoxní reakce
Závěr	Proběhla oxidace pevným manganistanem draselným. Ethanol se oxidoval na ethanal, který lze zaznamenat charakteristickou vůní. Ethanal se dále oxida až na kyselinu octovou. Manganistan draselný se redukuje na oxid manganičitý. Redukci lze pozorovat změnou barvy z fialové na hnědou.
Rovnice	$CH_3CH_2OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_3CHO + H_2O$ $CH_3CHO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_3COOH$ $MnO_4^- \rightarrow Mn_2O_7 \rightarrow MnO_2 + O_2$
Bezpečnostní upozornění	Nutné použití ochranných pomůcek (rukavice, brýle, štít) $KMnO_4$: R-8-22, S (2) H_2SO_4 : R 35, S (1/2-)26-30-45 R35: Způsobuje těžké poleptání Ethanol: R 11, S (2-)7-16 Pouze v rukou učitele.

7. FOTOGRAFICKÝ PROCES (ROZTOK BROMIDU STŘÍBRNÉHO S HYDROCHINONEM A THIOSÍRANEM SODNÝM)

Anotace	Základní reakcí fotografického procesu je redukce Ag^+ iontů na elementární stříbro. Redukce je po osvětlení filmu a vzniku latentního obrazu dokončena ve vývojce. Nezareagovaný bromid stříbrný je odstraněn v ustalovači. Vývojka obsahuje hydrochinon, ustalovač thiosíran.
Chemikálie	0,001M AgNO_3 , 0,001M KBr , 0,1M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, 0,1M roztok hydrochinonu
Pomůcky	zkumavky, zátky
Nákres	
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Připravte 0,1M roztok hydrochinonu, 0,1M roztok thiosíranu sodného, 0,001M roztok bromidu draselného a dusičnanu stříbrného 2) Do první zkumavky nalijte 5 ml připraveného roztoku bromidu draselného. Přikapávejte roztok dusičnanu stříbrného, dokud nevznikne žlutobílá sraženina. 3) Sraženinu rozdělte do dvou zkumavek.¹⁸ 4) Do první přidejte hydrochinon. Pozorujte vyloučené stříbro. 5) Do druhé přidejte thiosíran sodný. Pozorujte rozpuštění sraženiny.
Didaktické zařazení	p-prvky (halogeny), d-prvky (Ag), světelná energie pohlcená
Závěr	Bromid stříbrný reaguje s hydrochinonem za vzniku elementárního stříbra, chlorovodíku a p-benzochinonu. Bromid stříbrný s thiosíranem sodným tvoří bis(thiosulfato)stříbrnan sodný.
Rovnice	$1) \text{KBr} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{AgBr}$ $2) 2 \text{AgBr} + \text{hydrochinon}^{19} \rightarrow 2\text{Ag} + 2 \text{HBr} + \text{p-benzochinon}$ $3) \text{AgBr} + 2 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{NaBr} + \text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ bis(thiosulfato)stříbrnan sodný
Bezpečnostní upozornění	AgNO_3 : R 34, S (1/2)-26-45 hydrochinon: R 20/22, S (2-)24/25-39 Žáci připraví roztok KBr , učitel přikapne AgNO_3 , následný sled reakcí provádějí žáci.

¹⁸ Jednu zkumavku vložte do tmy, druhou na světlo. Srovnajte vliv světla na reakci. Poté pokračujte dle návodu.

¹⁹ Vzorec hydrochinonu a jeho oxidace na p-benzochinon je uvedena u pokusu č. 8

8. REAKCE HYDROCHINONU, FORMALDEHYDU, UHLIČITANU DRASELNÉHO A PEROXIDU VODÍKU.

Anotace	Při oxidaci hydrochinonu v zásaditém prostředí se uvolňuje chemická energie, která je zcela přeměňována na energii světelnou.
Chemikálie	1g hydrochinonu, 5 g K ₂ CO ₃ , 40 ml lékařského formaldehydu (37%), 15 ml konc. H ₂ O ₂ (30%) ²⁰
Pomůcky	Erlenmeyerova baňka (1000 ml), zkumavka (nebo bralénka)
Nákres	<p>a... zkumavka b... Erlenmeyerova baňka 1... peroxid vodíku 2... uhlíkatý draselný (formaldehyd, hydrochinon, potaše) 3... reakční směs</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) 1g hydrochinonu a 5 g uhličitanu draselného (potaše) rozpustíte ve 40 ml konc. formaldehydu 2) Reakční směs přelijte do baňky o objemu 1000 ml 3) Připravte 15 ml 30% roztoku peroxidu vodíku. 4) Nádobu s reakční směsí postavte do tmavé místnosti a přilijte peroxid. Směs začne ihned pění a objeví se patrné oranžové světélkování.
Didaktické zařazení	redoxní reakce, oxidace hydrochinonu, světelná energie
Rovnice	<p>hydrochinon → p-benzochinon + 2H⁺</p> <p>HCOH → HCOOH formaldehyd (methanal) kyselina mravenčí (methanová)</p>
Závěr	Formaldehyd byl peroxidem vodíku oxidován na kyselinu mravenčí. Hydrochinon byl oxidován na p-benzochinon. Při reakci se uvolnila světelná energie.
Bezpečnostní upozornění	Formaldehyd zapáchá a je jedovatý, proto se nad nádobu zbytečně nenaklánějte. formaldehyd: R 23/24/25-34-40-43, S (1/2-)26-36/37/39-45-51 R23/24: Toxický při vdechování a při styku s kůží a při požití H ₂ O ₂ : R 8-34, S (1/2-)3-28-36/39-45 hydrochinon: R 20/22, S (2-)24/25-39 Při demonstraci použijte brýle, pouze v rukou učitele.

²⁰ Lze použít peroxid vodíku v bralence pro snazší aplikaci.

9. REAKCE RTUŇNATÝCH A ŽELEZNATÝCH IONTŮ ZA SVĚTLA A ZPĚTNÁ REAKCE ZA TMY

Anotace	Hg ²⁺ ionty reagují s Fe ²⁺ ionty za světla za vzniku Hg ⁺ a Fe ³⁺ iontů. Za tmy běží reakce opačným směrem.
Chemikálie	Hg ²⁺ ²¹ , Fe ²⁺ ²² , KSCN (1%ní roztoky)
Pomůcky	zkumavky, kapkovací destička, kapátko, černá krabice
Nákres	<p>a... zkumavka b... kapkovací destička 1... Fe²⁺ 2... Hg²⁺ 3... Fe²⁺ 4... KSCN</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Připravte 1%ní roztoky uvedených solí. 2) V první zkumavce smíchejte za světla železnatou a rtuťnatou sůl. 3) Ze zkumavky odeberte po 10 – 15 minutách kapátkem produkt a kápněte na kapkovací destičku. 4) K produktu na kapkovací destičce přidejte kapku thiokyanatanu draselného. Červená sraženina je důkazem vzniklých železitých iontů. 5) V tmavé místnosti nebo černé krabici nechte produkt stát. Reakce poběží pomalu opačným směrem. 6) Opět proveďte důkazovou reakci s thiokyanatanem draselným. Tentokrát bude negativní.
Didaktické zařazení	d-prvky (Fe), oxidace, redukce, světelná energie Tento děj lze uspořádat jako elektrochemický článěk, který se světlem (zejména UV) nabíjí a za tmy vybíjí – poskytuje elektrickou energii
Závěr	Železnaté ionty reagují za světla s rtuťnatými za vzniku železité soli. Tato reakce je reversibilní.
Rovnice	$\text{Hg}^{2+} + \text{Fe}^{2+} \xrightleftharpoons[\text{tma}]{\text{světlo}} \text{Hg}^{+} + \text{Fe}^{3+}$
Bezpečnostní upozornění	Pouze v rukou učitele.

²¹ Použijte roztok chloridu nebo dusičnanu.

²² Použijte roztok chloridu nebo dusičnanu.

10. FLUORESCENCE ROZTOKU PO OZÁŘENÍ UV	
Anotace	UV zářič coby zdroj excitace způsobí světlování jednotlivých roztoků. Postupně podle schématu jsou ozařovány: <i>Rhodamin B (červená) → eosin (oranžová) → fluorescein (zelenožlutá) → 9,10-bis (fenyl-ethynyl) antracen (zelená) → naftol (modrá) → chinin-hydrogensulfid (modrá) → chlorofyl izolovaný ze špenátu, zesílen Cu^{2+} (fialová)</i>
Chemikálie	V-tabulka barviv a jejich rozpouštědel k pokusu č. 10
Pomůcky	kádinky s různými barvami, lampa, UV výbojka (Eurolite Omnilux 160W) nebo černá žárovka (V-příloha č.1), tmavá místnost, popř. černá krabice
Nákres	<p> <i>a... UV lampa</i> 1... \odot Rhodaminu v EtOH 4... 9,10-bis(fenyl-ethynyl) antracen <i>b... láčidlo</i> 2... \odot Eosinu v H_2O 5... 4/6 naftol ve vodě <i>c... černá krabice (tmavá místnost)</i> 3... \odot Fluoresceinu v H_2O 6... \odot hydrogensulfidu chininu v H_2O </p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Připravte barviva dle schématu. V tabulce najdete pro každé barvivo příslušné rozpouštědlo a jeho koncentraci. 2) Připravené roztoky ozařujte UV- lampou. 3) Horní ozařovaná vrstva fluoreskuje.
Didaktické zařazení	Fluorescence, Excitace UV-zářením
Závěr	Jednotlivá barviva byla excitována UV-zářením. Při návratu na původní energetickou hladinu vyzářila tato barviva světelnou energii.
Bezpečnostní upozornění	1- Naftol: R 21/22-37/38-41, S (2-)22-26-37/39 Ethanol: R 11, S (2-)7-16 Učitel připraví roztoky barviv, žáci pozorují fluorescenci.

Tabulka VII: Tabulka barviv a jejich rozpouštědel k pokusu č. 10²¹

Barvivo	Rozpouštědlo	Barva emitovaného záření
Rhodamin B	EtOH (70%)	červená
Eosin (sodná sůl)	voda	oranžová
Fluorescein (sodná sůl)	voda	zelenožlutá
9,10-bis(fenyl-ethynyl)antracen	EtOH (70%)	zelená
Naftol (α, β)	voda s přídavkem MeOH	modrá
Hydrogensulfát chininu	voda	světle modrá
Chlorofyl izolovaný ze špenátu zesílen Cu^{2+}	voda + EtOH, EtOH (70%)	fialová

11. TITRACE NA FLUORESCEIN (ARGENTOMETRIE PODLE FAJANSE)

Anotace	Při titraci halogenidů ²³ dusičnanem stříbrným lze využít fluorescenční indikátor, fluorescein. Fluorescein se adsorbuje na sraženinu, která vzniká v okamžiku, kdy z roztoku vymizí stanovované ionty. Titrace se provádí v neutrálním prostředí.
Chemikálie	0,2% Fluorescein ²⁴ , 0,01M NaCl, 0,01M AgNO ₃ ,
Pomůcky	Byreta, titrační baňky, nálevka, stojan, držáky, pipeta, analytické váhy
Nákres	<p>a... stojan b... byreta c... držáky d... titrační baňka e... UV zářivka v uzavřené místnosti</p> <p>1... odměrný roztok AgNO₃ 2... titrační roztok NaCl a fluoresceinem</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Připravte 0,01M roztok chloridu sodného. 2) Do 4 titračních baňek odpipetujte po 10 ml 0,01M roztoku NaCl a přidejte 3 kapky fluoresceinu. 3) Titrujte odměrným 0,01M roztokem dusičnanu stříbrného do konečného bodu titrace, který se projeví růžovým zbarvením a koncem fluorescence (zhasnutím). 4) Ze spotřeby odměrného činidla vypočítejte obsah NaCl.
Didaktické zařazení	Flourescence, chemické výpočty, srážecí reakce, d-prvky (Ag), p-prvky (Cl), indikátory
Závěr	Argentometrií podle Fajanse byl stanoven obsah NaCl. Fosforeskující titrovaný roztok NaCl s fluoresceinem změnil v konečném bodu titrace své zbarvení na růžové a přestal fluoreskovat.
Rovnice	$\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{AgCl}$
Bezpečnostní upozornění	<p>AgNO₃: R 34, S (1/2)-26-45 NaCl: R 31-34, S (1/2)-28-45-50 R31: Uvolňuje toxický plyn při styku s kyselinami R34: Způsobuje poleptání Učitel + žáci</p>

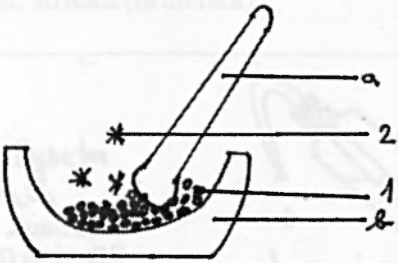
²³ Roztok chloridu lze připravit také z výluhu půdy po zimním solení. Žáci pak stanovují obsah chloridů v půdě. Lze také zakoupit tabletu KCl v lékárně a stanovit obsah chloridů v této tabletě a porovnat stanovené údaje s údaji na etiketě tablety.

²⁴ Fluorescein se rozpouští v EtOH, jeho sodná sůl ve vodě.

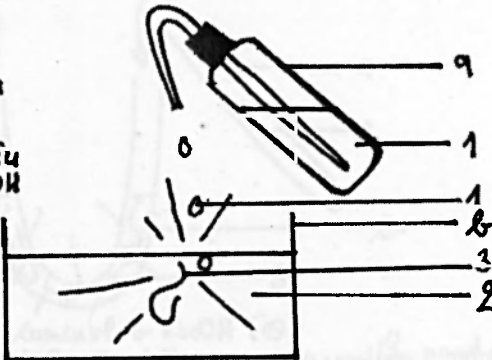
12. LÉTAJÍCÍ PLAMÍNEK (OXIDACE BÍLÉHO FOSFORU)

Anotace	Vodní pára s parami fosforu stoupá nahoru, voda ve vzdušném chladiči kondenzuje, ale páry fosforu postupují nahoru a fosfor se při tom oxiduje vzdušným kyslíkem. Oxidace probíhá ve dvou stupních. V prvním vzniká oxid fosforitý, který je ve fázi druhé oxidován až na oxid fosforečný. V druhé fázi probíhá fosforescence.
Chemikálie	bílý fosfor velikosti čočky, voda
Pomůcky	baňka, vzdušný chladič, málo svítivý zdroj tepla (topné hnízdo, elektrická ploténka)
Nákres	<p>a... vzdušný chladič b... varná baňka c... topné hnízdo</p> <p>1... bílý fosfor o velikosti čočky v kádře s vodou 2... létající plamínek</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Sestavte aparaturu podle nákresu. 2) Do baňky vložte kousek bílého fosforu o velikosti čočky a přidejte vodu. 3) Pod vzdušným chladičem zahřívejte k varu. 4) Pozorujte za tmy fosforescenci.
Didaktické zařazení	p-prvky (fosfor), fosforescence
Závěr	Bílý fosfor byl oxidován až na oxid fosforečný. V průběhu reakce byl excitován a při návratu na původní energetickou hladinu vyzářil světelnou energii.
Rovnice	$4\text{P} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{P}_2\text{O}_3$ $\text{P}_2\text{O}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5 + h\nu$
Bezpečnostní upozornění	bílý fosfor: R 17-26/28-35 R17: Samovznětlivý na vzduchu R35: Způsobuje těžké poleptání R26/28: Vysoce toxický při vdechování a při požití S (1/2-)5-26-28-4 Dbejte zvýšené opatrnosti při likvidaci zbytku bílého fosforu. Fosfor přelijte na třecí misku a odsajte pomocí jednorázové pipety vodu. Poté žiňte. Likvidaci provádějte v digestoři. Pouze v ruce učitele.

13. JISKŘÍCÍ CUKR

Anotace	Sacharoza je excitována mechanickou energií. Při návratu na původní energetickou hladinu vyzáří energii ve formě světla.
Chemikálie	roztok methylosalicylátu, krystalový cukr, ethanol
Pomůcky	Třecí miska s tloučkem
Nákres	 <p>a... tlouček b... třecí miska 1... cukr nasycený methylosalicylátem 2... triboluminiscenční vzdušný zářivý jev</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Smíchejte 10 g cukru s 4 mg methylosalicylátu v EtOH a nechte odpařit EtOH. 2) Produkt třepte v třecí misce za tmy. 3) Pozorujte triboluminiscenci.
Didaktické zařazení	Triboluminiscence, mechanická energie, cukry
Závěr	Mechanickou energií dochází k excitaci sacharozy. Ta při návratu na původní energetickou hladinu vyzáří světelnou energii.
Bezpečnostní upozornění	Ethanol: R 11, S (2-)7-16 S Methylosalicylátem pouze v rukou učitele, bez methylosalicylátu pokus pro žáky

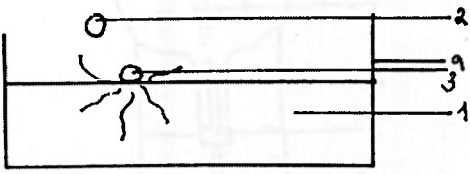
14. CHEMILUMINISCENCE LUMINOLU

Anotace	Luminol je oxidován za katalytického působení stop mědi, peroxidem vodíku na disodnou sůl 3-aminofthalové kyseliny. Uvolněná energie se jeví jako modré záření
Chemikálie	0,1% roztok luminolu (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové) 0,1M roztok NaOH, kapka katalyzátoru: 0,01M roztok CuSO ₄ , 3% roztok H ₂ O ₂
Pomůcky	plochá kyveta, stříčka (bralenka)
Nákres	<p>a... stříčka b... plochá kyveta 1... 3% H₂O₂ 2... 0,1% luminolu v 0,1M NaOH 0,01M CuSO₄ 3... modré světlo označeno příchycení luminolu</p> 
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Připravte 0,1% roztok luminolu, 0,1M roztok NaOH, 0,01M roztok síranu měďnatého. 2) Připravený roztok luminolu a NaOH smíchejte 3) Přidejte pár kapek síranu měďnatého 4) Za tmy přikapávejte peroxid vodíku. 5) Pozorujte modré světlo.
Didaktické zařazení	Reakční kinetika (katalyzátory), redoxní reakce, chemiluminiscence
Závěr	Luminol (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové) byl v zásaditém prostředí oxidován peroxidem vodíku. Reakce je katalyzována měďnatými ionty. Reakcí se uvolňuje dusík a voda, z luminolu vzniká disodná sůl kyseliny 3-aminofthalové a světelná energie.
Rovnice	V-teoretická část
Bezpečnostní upozornění	<p>luminol: R 36/37/38, S 26-36/37 (Pouze v rukou učitele) R36/37/38: Dráždí oči, dýchací orgány a kůži S26: Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc S36/37: Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné rukavice NaOH: R 35, S (1/2)26-37/39-45 H₂O₂: R 8-34, S (1/2-)3-28-36/39-45 CuSO₄: R 22-36/38, S (2-)22</p>

15. CHEMILUMINISCENCE V U-TRUBICI

Anotace	Luminol je oxidován, za katalytického působení červené krevní soli, peroxidem vodíku na disodnou sůl 3-aminofthalové kyseliny. Uvolněná energie se jeví jako modré záření. Reakci lze demonstrovat faktory ovlivňující chemické reakce.
Chemikálie	0,1% roztok luminolu (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové) 0,1 M roztok NaOH, 3% roztok H ₂ O ₂ 0,25 g červené krevní soli K ₃ [Fe (CN) ₆]
Pomůcky	U-trubice, nálevka, zkumavky
Nákres	<p>a... zkumavka b... U-trubice 1... luminol v NaOH (O) 2... K₃[Fe(CN)₆] v peroxidu vodíku s vodou 3... chemiluminiscenční roztok</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Připravte 0,1% roztok luminolu, 0,1M roztok NaOH 2) Připravené roztoky smíchejte 3) Přidejte červenou krevní sůl 4) Ve tmě přikapávejte peroxid vodíku. 5) Začne-li roztok pohasínat, zatřeptejte s U-trubicí 6) Poté přidejte další červené krevní barvivo. 7) Poté přidejte peroxid vodíku. 8) Porovnejte vliv faktorů na proběhlou reakci
Didaktické zařazení	d-prvky (Fe), chemiluminiscence, faktory ovlivňující chemické reakce
Závěr	Luminol se v zásaditém prostředí za katalýzy červené krevní soli oxidoval peroxidem vodíku na disodnou sůl kyseliny 3-aminofthalové. Při reakci se uvolnila světelná energie. Chemická reakce bylo ovlivněna mechanicky (zamícháním), zvýšením koncentrace (přidání peroxidu vodíku) a katalyzátorem (přidáním červené krevní soli).
Rovnice	(V-teoretická část) katalýza červenou krevní solí
Bezpečnostní upozornění	<p>luminol: R 36/37/38, S 26-36/37 (pouze v rukou učitele) R 36/37/38: Dráždí oči, dýchací orgány a kůži S 26: Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc S36/37: Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné rukavice</p> <p>NaOH: R 35, S (1/2)26-37/39-45 H₂O₂: R 8-34, S (1/2)-3-28-36/39-45</p>

16. REAKCE SODÍKU A VODY V PŘÍTOMNOSTI LUMINOLU

Anotace	Luminol je oxidován, za katalytického působení stop mědi, peroxidem vodíku na disodnou sůl 3-aminofthalové kyseliny. Uvolněná energie se jeví jako modré záření. Po vhození sodíku do vody vzniká hydroxid sodný, který iniciuje oxidaci luminolu. Ta se jeví jako rejdící světlo.
Chemikálie	0,1% roztok luminolu (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové), kapka katalyzátoru: 0,01M roztok CuSO ₄ , 3% roztok H ₂ O ₂ , Na, voda
Pomůcky	Kyveta, pinzeta, nůž, filtrační papír
Nákres	 <p> a... žilota 1... luminolu v H₂O, katalyzovaný Cu²⁺ ionty s H₂O₂ 2... Sodík 3... vznikající NaOH iniciuje oxidaci luminolu </p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Do kyvety připravte roztok luminolu ve vodě s pár kapkami peroxidu vodíku a síranu měďnatého. 2) Do roztoku přidejte kapku saponátu, aby se sodík nezachytil na stěně nádoby.²⁵ 3) Na filtračním papíru uřízněte kousek sodíku. Tento kousek osušte filtračním papírem 4) Připravený sodík poté přidejte do roztoku v krystalizační misce 5) Zhasněte 6) Pozorujte chemiluminiscenci luminolu
Didaktické zařazení	p-prvky (Na), chemiluminiscence
Závěr	Reakcí sodíku s vodou byl vytvořen hydroxid sodný. Luminol se může oxidovat pouze v zásaditém prostředí, tudíž při vzniku NaOH se zároveň oxiduje luminol tak, že lze pozorovat modrou svítící stopou sodíku na vodě.
Rovnice	$\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{H}_2$ oxidace luminolu (V-teoretická část)
Bezpečnostní upozornění	luminol: R 36/37/38, S 26-36/37 (pouze v rukou učitele) NaOH: R 35, S (1/2)26-37/39-45 H ₂ O ₂ : R 8-34, S (1/2)-3-28-36/39-45 CuSO ₄ : R 22-36/38, S (2-)22 Na: R 14/15-34, S (1/2-)5-8-43-45

²⁵ Kyvetu lze nahradit krystalizační miskou, kolem jejíž stěn se upevní kovová mřížka zabraňující zachycení sodíku na stěnách nádoby.

17. CHEMILUMINISCENČNÍ VODOTRYSK

Anotace	Po nasátí vodného roztoku s luminolem, peroxidem vodíku a katalyzátoru do baňky s amoniakem dochází k chemiluminiscenci.
Chemikálie	0,1% roztok luminolu (hydrazid kyseliny 3-aminoftalové), kapka katalyzátoru: 0,01M roztok CuSO ₄ , 3% roztok H ₂ O ₂ , pevný NaOH, amoniak (25%)
Pomůcky	Vzdušný chladič (zábrusový), kulatá baňka (11), velká kádinka, gumová zátka, gumová zátka s trubičkou, 100 ml zábrusová Erlenmeyerova baňka, digestoř, univerzální indikátorový papírek
Nákres	<p>a... kulatá baňka b... zábrusová kádinka c... vzdušný chladič s trubičkou 1... luminol v H₂O a Cu²⁺ 2... NH₃ (g) 3... chemiluminiscenční lum.</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Do Erlenmeyrovky vsypte v digestoři laboratorní lžíci pevného NaOH 2) Přidejte 5 ml 25% amoniaku. Připevněte do zábrusu vzdušný chladič, na jehož konci přidržte 11 kulatou baňku. 3) Navlhčete univerzální indikátorový papírek. Zmodrá-li, je v baňce dostatek amoniaku. Poté baňku uzavřete gumovou zátkou.²⁶ 4) Do velké kádinky nalijte vodu, přidejte luminol, několik kapek peroxidu vodíku a síranu měďnatého. 5) V roztoku namočte gumovou zátku s trubičkou. 6) Gumovou zátku z amoniaku nahraďte zátkou s trubičkou. 7) Baňku s amoniakem umístěte do kádinky. Zhasněte. 8) Pozorujte modré luminiscenční světlo vodotrysku.
Didaktické zařazení	Acidobazické reakce, chemiluminiscence
Závěr	Luminol se v zásaditém prostředí amoniaku oxiduje až na diamonnou sůl kyseliny 3-aminoftalové
Rovnice	$\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \text{ (za tepla)}$ Oxidace luminolu (V-praktická část pedagogická)
Bezpečnostní upozornění	luminol: R 36/37/38, S 26-36/37 (pouze v rukou učitele) NaOH: R 35, S (1/2)26-37/39-45 H ₂ O ₂ : R 8-34, S (1/2-)3-28-36/39-45 CuSO ₄ : R 22-36/38, S (2-)22 NH ₃ : R 10-23-34-50, S (1/2-)26-36/37/39-45-61

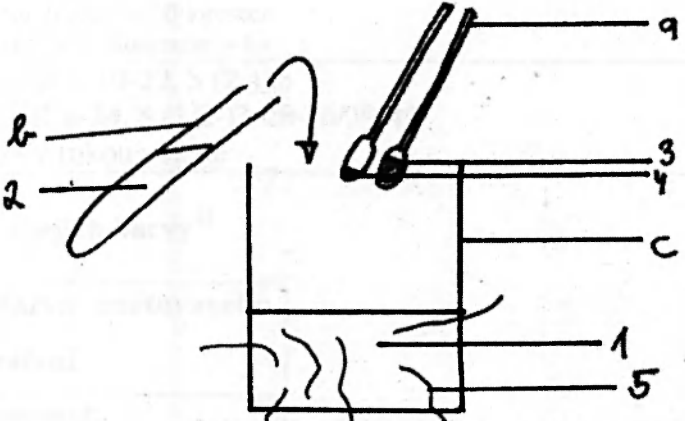
²⁶ Amoniak lze najímat do baňky také tepelným rozkladem čpavkové vody.

18. STOPOVÁ ANALÝZA

Anotace	Analytická metoda využívaná např. v medicíně pro důkazy a stanovení látek řádově $0,1 \cdot 10^{-18}$, tj. 0,1 atto. ²⁷
Chemikálie	1% roztok luminolu, roztoky CuSO_4 o molární koncentraci, viz náčrt, 3-5 % H_2O_2 , 0,1 M roztok NaOH
Pomůcky	Kádinky, stříčka
Náčrt	<p> 9... stříčka 8... kádinky 1... 0,1 M CuSO_4 2... 0,01 M CuSO_4 3... 0,001 M CuSO_4 4... 0,000001 M CuSO_4 5... 10^{-9} M CuSO_4 6... luminol v NaOH 7... 3% H_2O_2 </p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> z 0,1 M roztoku CuSO_4 připravte škála roztoků odstupňovaných koncentrací a barevných odstínů (0,1 až 0,000001 M). Cu^{2+} kationty dokazujte alkalickým roztokem luminolu s 3-5 % H_2O_2, který po přilítí vzorku se stopami Cu^{2+} modře září.
Didaktické zařazení	Chemiluminiscence, změna molární koncentrace, stopová analýza
Závěr	Při stopové analýze byly dokázány Cu^{2+} ionty v koncentracích 0,1M až 10^{-9} M.
Rovnice	V-teoretická část
Bezpečnostní upozornění	<p>luminol: R 36/37/38, S 26-36/37</p> <p>R36/37/38: Dráždí oči, dýchací orgány a kůži</p> <p>S26: Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc</p> <p>S36/37: Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné rukavice</p> <p>NaOH: R 35, S (1/2)26-37/39-45</p> <p>H_2O_2: R 8-34, S (1/2-)3-28-36/39-45</p> <p>CuSO_4: R 22-36/38, S (2-)22</p> <p>Učitel + žáci</p>

²⁷ Princip reakce stejný jako u pokusu č. 14.

19. PEROXYOXALÁTOVÉ REAKCE

Anotace	Estery kyseliny šťavelové se substituovanými fenoly se peroxidem vodíku oxidují na kyselinu šťavelovou a příslušný fenol. Při reakci se uvolňuje světelná energie, která způsobí excitaci senzibilizátoru. Excitovaný senzibilizátor při návratu na původní energetickou hladinu vyzáří světelnou energii.
Chemikálie	Pro jednotlivá barviva: 30 mg bis-(2,4-dinitrofenyl)oxalát (DNPO), popř. bis-(2,4,6-trichlorfenyl)oxalát (TCPO), 5 mg barviva (senzibilizátoru), 1 ml konc. peroxidu vodíku, 6 ml ethylacetátu, 2 ml butanolu
Pomůcky	Kádinky, zkumavky, ocelové špachtle
Nákres	 <p>a... ocelová špachtle b... zkumavka c... kádinka 1... vložek (butanolu a ethylacetátu) 2... H_2O_2 3... TCPO / DNPO 4... barvivo (senzibilizátor) 5... přetékající vložek</p>
Metodický postup	<ol style="list-style-type: none"> 1) Do zkumavky nalijeme butanol a ethylacetát. 2) Přidáme barvivo, 1 ml koncentrovaného peroxidu vodíku a vyznačené množství TCPO. 3) Každou z uvedených látek přidáváme postupně v daném pořadí a vždy zamícháme a čekáme, až se rozpustí. Reakce probíhá pomalu a je doprovázena slabší emisí světla.
Didaktické	Chemiluminiscence, světelná energie, kinetika chemických reakcí ²⁸

²⁸ Sledem reakcí lze demonstrovat ovlivňování chemických reakcí

Přítomnost katalyzátoru

Jako katalyzátor použijeme homogenní salicylan nebo heterogenní aluminy. Pozorujeme značné zrychlení reakce.

Změna teploty

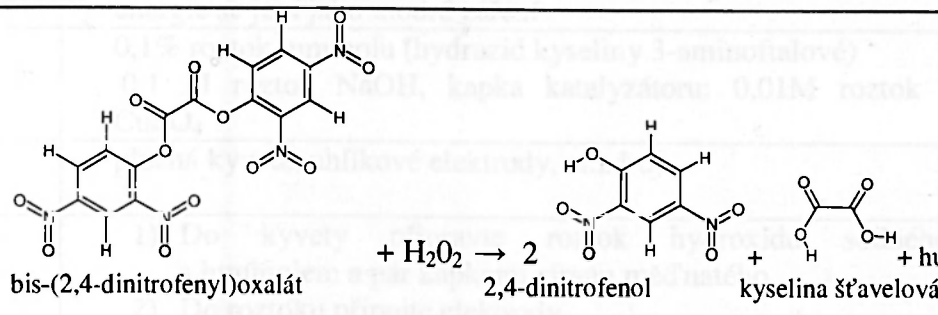
Zkumavku ponoříme do horké vody pro zrychlení reakce. Chceme-li reakci zpomalit, ponoříme zkumavku do ledové lázně.

Koncentrace výchozích látek

Zpomalení reakce docílíme také snížením koncentrace peroxidu vodíku.

Promíchání (mechanické zasazení do reakce)

Pokud do reakční směsi nepřidáme butanol, nebude se ethylacetátová fáze mísit s vodnou fází peroxidu vodíku. Světelného efektu dosáhneme v tomto případě pouze promícháním.

zařazení	
Závěr	Peroxyoxalátovými reakcemi došlo k excitaci uvedených barviv, která při návratu na původní energetickou hladinu vyzářila energii ve formě světla.
Rovnice	 <p>bis-(2,4-dinitrofenyl)oxalát + H₂O₂ → 2 2,4-dinitrofenol + kyselina šťavelová + hv</p> <p>hv + fluorescer → *fluorescer *fluorescer → fluorescer + hv</p>
Bezpečnostní upozornění	Butanol: R 10-20, S (2-)16 H ₂ O ₂ : R 8-34, S (1/2-)3-28-36/39-45 Pouze v rukou učitele

00F02FDF9A8

Tabulka VIII: Barviva a jejich barvy²¹

Sensibilátor (barvivo)	Barva emitovaného záření
Rhodamin B	červená
Chlorofyl izolovaný ze špenátu	červená
Rhodamin 6G	oranžověčervená
Eosin	žlutooranžová
Rubren	žlutá
Akridinová oranž	žlutozelená
9,10-bis(fenylethynyl)antracen	zelená
Perylen	světle modrá
Antracen	modrá
9,10-difenyланtracen	modrofialová

velikost mezifázového povrchu

Do reakční směsi přidáme saponát, který znásobí mezifázový povrch. Tento zásah vede opět ke zrychlení reakce.

20. ELEKTROLÝZA CHEMILUMINISCENČNÍHO ROZTOKU

Anotace	Luminol je oxidován za katalytického působení stop mědi na anodě na disodnou sůl 3-aminofthalové kyseliny. Uvolněná energie se jeví jako modré záření
Chemikálie	0,1% roztok luminolu (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové) 0,1 M roztok NaOH, kapka katalyzátoru: 0,01M roztok CuSO ₄
Pomůcky	plochá kyveta, uhlíkové elektrody, el.zdroj
Metodický postup	1) Do kyvety připravte roztok hydroxidu sodného s luminolem a pár kapkami síranu měďnatého. 2) Do roztoku připojte elektrody. 3) Pozorujte oxidaci probíhající na anodě.
Nákres²⁹	<p>a ... elektrody b ... plochá kyveta</p> <p>1... ⊙ luminolu v NaOH, katalyzátor Cu²⁺ ionty 2... sítka oxidovaný luminol</p>
Didaktické zařazení	Elektrolýza, chemiluminiscence
Závěr	Luminol (hydrazid kyseliny 3-aminofthalové) je v zásaditém prostředí oxidován na anodě. Reakce je katalyzována měďnatými ionty. Reakcí se uvolňuje dusík a voda, z luminolu vzniká disodná sůl kyseliny 3-aminofthalové, tato látka je excitována a při návratu na původní energetickou hladinu vyzáří světelnou energii.
Rovnice	(V-chemiluminiscence)
Bezpečnostní upozornění	luminol: R 36/37/38, S 26-36/37 (pouze v rukou učitele) R36/37/38: Dráždí oči, dýchací orgány a kůži S26: Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc S36/37: Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné rukavice NaOH: R 35, S (1/2)26-37/39-45 CuSO ₄ : R 22-36/38, S (2-)22

²⁹ spirály mezi + a - znázorňují vedení elektrického proudu.

4.3 Preparace luminolu

Preparace luminolu³⁴

Chemikálie:

anhydrid kyseliny ftalové, konc. HNO_3 , konc. H_2SO_4 , glycerol, síran hydrazinia, NaOH , dithioničitan sodný, kyseliny octové

1) Preparace kyseliny 3-nitroftalové

1,75 g anhydridu kyseliny ftalové smíchejte s 1,75 ml konc. HNO_3 a se 1,75 ml konc. H_2SO_4 v Erlenmeyerově baňce o objemu 10 ml. Směs zahříváte 3 hodiny ve vodní lázni. Poté směs nalijte do 30 ml studené vody. Získaná směs obsahuje dva izomery kyseliny nitroftalové, přičemž 3-nitro-izomer je ve vodě nerozpustný. Požadovaný 3-nitro-izomer se získá filtrací a následnou rekrystalizací ze studené ledové kyseliny octové. Touto cestou lze připravit přibližně 0,7 g kyseliny 3-nitroftalové

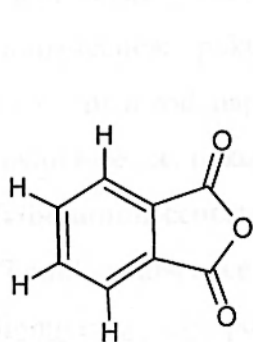
2) Preparace kyseliny 3-aminoftalové (preparace uvedena pro 1g výtěžku, množství jednotlivých látek přepočítejte dle svého výtěžku kyseliny 3-nitroftalové)

1g kyseliny 3-nitroftalové, 3 ml glycerolu, 15 ml vody, vodný roztok hydrazinia a vodný roztok NaOH se smíchá v padesátimililitrové kádince. Směs se zahřívá na 120°C po dobu 8 – 10 minut (odpařte přebytečnou vodu), poté se ochladí na 100°C , přidá se 15 ml horké vody. Vznikne sraženina, kterou je třeba odfiltrovat.

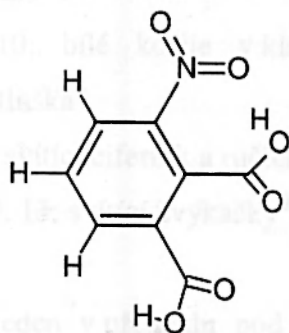
3) Preparace hydrazidu kyseliny 3-aminoftalové

Ke vzniklé sraženině (0,7 g) se přidá 5 ml 10% roztoku NaOH a 3 dithioničitanu sodného. Vzniklý hnědočervený roztok se povaří asi 5 minut. Přidá se 2 ml kyseliny octové. Vznikne světležlutý roztok, který je třeba odsát na fritě. Preparací lze získat 0,2 – 0,3 g luminolu.

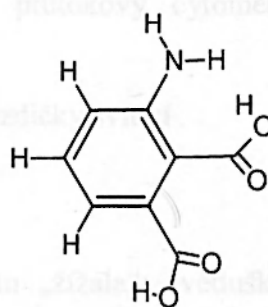
Strukturní vzorce vybraných použitých chemikálií:



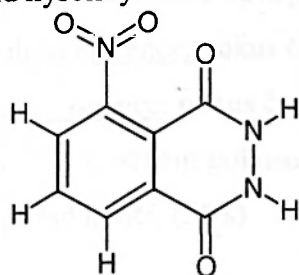
anhydrid kyseliny ftalové



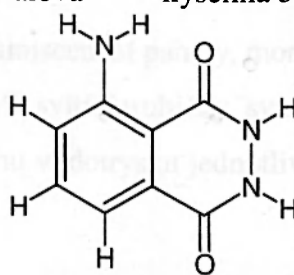
kyselina 3- nitroftalová



kyselina 3-aminoftalová



hydrazid kyseliny 3-nitroftalové



hydrazid kyseliny 3-aminoftalové (luminol)

4.4 Návrh pořadu DISKUSE

Vybrané z uvedených pokusů lze zařadit také do pořadu k luminiscenci. Pořad je podkreslen skladbou polského autora Krzysztofa Pendereckiho, Flourescence. Skladba je z alba Symphony 3 Threnody a trvá necelých 15 minut. Jedná se o netypický komorní orchestr složený ze smyčců, bicích, sirény či psacího stroje.

1) Do středu obrazovky naskočí slovo **luminiscence**, poté jsou z rohů a stran přidávány obrázky využití a výskytu luminiscence (elektroluminiscenční panely, svítící trubičky, svítilny speleologů, bílá trička v klubech, monitory, ověřovače pravosti bankovek, svítící ciferník a ručičky, svítící hvězdičky, značkování podzemních vod, průtokový cytometr, světluška větší, žížala podhorská, podhoubí václavky, světélkující mořští živočichové,...). Poté se objeví definice luminiscence: „*vyzařování přebytečného elektromagnetického záření po dodání energie*“ (1min:30s)

2) Poté na obrazovku naskočí pavouk rozdělení luminiscenčních jevů (30 s)

Flourescence

Fosforescence

Triboluminiscence

Chemiluminiscence: Bioluminiscence, Galvanoluminiscence, Chemiluminiscence

3) Demonstrace jednotlivých jevů probíhá podle schématu: definice + užití + pokus

Definice jsou zpracovány v praktické části pedagogické, proto uvádím pouze vybrané pokusy a užití daného jevu. (6 x 2 min)

Flourescence: pokus č. 10; bílé košile v klubech, průtokový cytometr, značkování podzemních vod, nápoj „světluška“

Fosforescence: pokus č. 12; svítící ciferník a ručičky, hvězdičky svítící

Triboluminiscence: pokus č. 13; svítící žvýkačky³⁰

Chemiluminiscence

Bioluminiscence: pokus uveden v přehledu pod názvem „žížala“; světluška větší, žížala podhorská, podhoubí václavky, mořští korýši

Galvanoluminiscence: pokus č. 20; elektroluminiscenční panely, monitory

Chemiluminiscence: pokus č. 14, 15, 16, 18, 19; svítící trubičky, svítilny speleologů

4) Pokus č. 17, během pokusu nabíhají v rytmu vodotrysku jednotlivé uvedené pojmy. Touto scénou pořad končí. (55 s)

³⁰ Svítící žvýkačky lifesavers Wint-o-green jsou běžně dostupné v zahraničí, při žvýkání dochází k triboluminiscenci³²

5. VÝSLEDKY A DISKUSE

Z pokusů spojených se světelnou energií jsem vyzkoušela následující:

Reakce zinku a síry

Reakce jodu a hliníku (jodohliníková sopka)

Rozklad dichromanu amonného (sopka na stole)

Reakce nasyceného roztoku chloridu sodného s koncentrovanou kyselinou chlorovodíkovou

Reakce koncentrované kyseliny sírové, ethanolu a manganistanu draselného

Fotografický proces (roztok bromidu stříbrného s hydrochinonem a thiosíranem sodným)³¹

Reakce běžely dle návodu. Jsou jednoduché na přípravu a pro výuku velmi efektní, proto bych je doporučila demonstrovat.

Z luminiscenčních reakcí jsem pro vyzkoušení vybrala:

fluorescence - excitace média zářením

Fluorescence roztoku po ozáření UV

Reakce běžela dle návodu, byla vybrána dostupná tři barviva: fluorescein, eosin a rhodamin. Nejdříve byly připravené roztoky ozařovány černým světlem. Fluorescence byla málo zřetelná. Při použití horského sluníčka (Solux) bylo docíleno také spíše slabší fluorescence. Největší intenzita byla zřetelná při použití UV-zářiče.

Pro demonstraci ve výuce bych doporučila nižší intenzitu fluorescence za použití černé žárovky, která je běžně dostupná na trhu. V případě použití UV-zářiče je třeba využít speciální svářečské brýle a použít krém s UV faktorem na nechráněná místa (obličej, ruce).

Zajímavou modifikací tohoto pokusu je fluorescence na papír, kdy demonstrátor napíše barvivem na filtrační papír slovo, které fluoreskuje za iniciace UV záření. V tomto případě lze využít ověřovač pravosti bankovek.

Titrace na fluorescein

Reakce běžela dle návodu. Tuto reakci doporučuji jak demonstračně, tak také jako laboratorní práci pro žáky. Zde je opět třeba dbát zvýšené opatrnosti při práci s dusičnanem stříbrným (V- kartotéka pokusů – bezpečnostní upozornění).

³¹ Druhou variantou uvedeného zkumavkového pokusu je využití fotografického papíru. Postup a chemikálie jsou totožné.

Třetí variantou je fotochemie na pelargonii. Na lístek pelargonie připevníme za tmy vystříhlé písmeno či tvar. Poté přemístíme pelargonii na světlo. Lístek ustříhneme a pozorujeme bílé místo vzniklé spotřebou škrobu.

VII. fosforescence

Létající plamínek (oxidace bílého fosforu)

Reakce běžela dle návodu, zde je třeba dbát zvýšené opatrnosti při práci s bílým fosforem. Pokus provádí pouze učitel.

VIII. chemiluminiscence

Chemiluminiscence luminolu

Chemiluminiscence v U-trubici

Chemiluminiscenční pokusy považují za nejefektivnější z celé řady luminiscencí. Jsou nenáročné na přípravu. Pro jejich demonstraci je třeba tmavé místnosti nebo černé krabice. Pevný luminol lze rozpustit v 0,1M roztoku NaOH a připravit ho tak pro celou sérii pokusů. Pro lepší aplikaci doporučuji zakoupit v lékárně 3% roztok peroxidu vodíku s kapátkem.

Reakce sodíku a vody v přítomnosti luminolu

Na základě předchozích reakcí byla stanovena hypotéza, zda se bude luminol oxidovat v roztoku peroxidu vodíku ve vodě za katalýzy Cu^{2+} iontů po přidání sodíku. Reakcí sodíku s vodou vzniká hydroxid sodný a vodík. Vznikající hydroxid sodný byl dostačující pro oxidaci luminolu v daném roztoku. Luminol stopoval pohyb sodíku po vodě. Pokus je velmi efektivní a doporučila bych ho pro zařazení do výuky, zejména k tématům acidobazické reakce, indikátory, sodík.

Chemiluminiscenční vodotrysk

K řadě acidobazických reakcí patří bezesporu vodotrysky. Zde bylo vyzkoušeno, zda $\text{NH}_3(\text{g})$ postačí k oxidaci luminolu v roztoku peroxidu vodíku ve vodě za katalýzy Cu^{2+} iontů. Připravený roztok byl nasáván do baňky za vzniku modrého světla. Tento velmi efektivní pokus by u tématu acidobazických reakcí rozhodně neměl chybět.

Navrhované pokusy proplétají celou škálu témat chemie, fyziky a biologie. Jejich zařazení může vést ke zvýšení efektivity výuky.

Jako učitelé chemie bychom neměli být „odpůrci experimentování, a tím též popíratelé faktu, že přírodní vědy jsou obory experimentální“ (HOLADA, Karel.BCZ, 1/2009, str. 30), neměli bychom v sobě chovat „chemofobii“ (HOLADA, Karel.BCZ, 1/2009, str. 30), ale zprostředkovat žákům „chemizaci jako rozumné pronikání chemických prostředků, metod, vědomostí a dovedností do všech oborů lidských činností i do soukromého života lidí.“ (HOLADA, Karel.BCZ, 1/2009, str. 30).

„Nezbývá tedy než se snažit nalézt cestičky, které nám svazující zákony pro výuku ponechávají.“ (DUŠEK, Bohuslav. BCZ, 2/2009, str. 88)

6. ZÁVĚR

Ve své práci jsem se zaměřila na začlenění tématu chemické reakce a světelná energie do výuky chemie.

Z hlediska pedagogiky jsem zpracovala tematický terminologický slovníček, podklady pro výklad učitele chemie a návrh projektu zaměřeného na luminiscenci.

V rámci chemie jsem připravila návrh přehledné kartotéky pokusů spojených se světelnou energií a návrh pořadu o luminiscenci.

Práce je doplněna o hry s chemickou tematikou, které tvoří nedílnou součást tohoto oboru.

Práce přináší rozmanité návrhy pro přiblížení tohoto mezipředmětového tématu žákům základních škol, gymnázií a středních odborných škol.

Kéž tedy poslouží učitelům nejen chemie jako podklad či inspirace pro kreativní výuku a kéž jsou i pro ně motivací slova Doc. RNDr. Karla Holady, CSc. z přednášek didaktiky chemie: „*Každý efektní pokus je efektivní: vzbuzuje a udržuje zájem o obor.*“

LITERATURA

1. BÁNYAIOVÁ, Eva. Chemické indikátory. Ivan Varga. 1. vyd. Bratislava : Slovenské vydavateľstvo technickej literatury, 1968. 364 s.:
2. BÁRTA, Milan. Jak (ne)vyhodit školu do povětří. 1. vyd. Brno : DIDAKTIS, 2004. 96 s. ISBN 80-86285-99-5.
3. BENEŠ, Pavel, PUMPR, Václav, BANÝR, Jiří. Základy praktické chemie : pro 8. ročník základní školy. 2. vyd. Praha : Fortuna, 2006. 80 s. ISBN 80-7168-879-7.
4. BENEŠ, Pavel, PUMPR, Václav, BANÝR, Jiří. Základy praktické chemie : pro 9. ročník základní školy. 2. vyd. Praha : Fortuna, 2006. 70 s. ISBN 80-7168-880-0.
5. CRT monitor [online]. 2008 [cit. 2009-05-19]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Monitor_\(obrazovka\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Monitor_(obrazovka))>.
6. ČSN 01 8003 [online]. 2008 [cit. 2009-04-06]. Dostupný z WWW: <http://chemikalie.upol.cz/skripta/bzp/bzpw_4.pdf>.
7. ČTRNÁCTOVÁ, Hana, HALBYCH, Josef. Chemické pokusy pro školu a zájmovou činnost. 1. vyd. Praha: PROSPEKTRUM, 2000. 295 s. ISBN 80-7175-071-9
8. DVOŘÁK, Lubomír, KUPKA, Zdeněk. *Fyzikální podstata a využití luminiscence*. 1. edicín Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1980. 214 s. ISBN 14-359-80.
9. Elektrochemie [online]. 2008 [cit. 2009-04-01]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrochemie>>.
10. Fotochemie [online]. 2008 [cit. 2009-04-01]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotochemie>>.
11. HALLY, Jan. Osobní sdělení
12. HOLADA , Karel. Specifické činnosti učitele chemie a jeho žáků . 1. vyd. Praha : [s.n.], 2000.
13. HOLADA, Karel.: Fousaté pokusy seriál článků v BCZ
14. HOLADA, Karel. Specifické činnosti učitele chemie a jeho žáků na téma : Udržitelný rozvoj v Praze: Metodická příručka pro gymnázia [online]. 2007 [cit. 2009-05-30]. Dostupný z WWW: <http://skoly.prahamesto.cz/files/=53320/Chemie_G_k+tisku.pdf>.
15. Horký led [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.ceskatelevize.cz/program/port/michaelovy-experimenty/250-horky-led/>>.

16. Chemická luminiscence [online]. 2007 [cit. 2009-04-01]. Dostupný z WWW: <[http://www.becario.cz/wh/share/GY_Litomerice_Luminiscence.ppt#257,1,Chemická_luminiscence_\(úvod_do_problematiky_včetně_popisu_prováděného_experimentu\)](http://www.becario.cz/wh/share/GY_Litomerice_Luminiscence.ppt#257,1,Chemická_luminiscence_(úvod_do_problematiky_včetně_popisu_prováděného_experimentu))>.
17. Journal of Chemical Education. 3rd edition. Easton : Library of Congress Catalogue Card No, 1969. 200 s.
18. KARAFIÁT, Jan. Broučci. Jiří Trnka. 7. vyd. Praha : Albatros, 2001. 88 s. ISBN 80-00-00942-0.
19. MAREČEK, Aleš, HONZA, Jaroslav. Chemie pro čtyřletá gymnázia : 1. díl. 3. vyd. Olomouc : Nakladatelství Olomouc, 2002. 240 s. ISBN 80-7182-055-5.
20. MAREČEK, Aleš, HONZA, Jaroslav. Chemie pro čtyřletá gymnázia : 2.díl. 3. vyd. Olomouc : Nakladatelství Olomouc, 2005. 226 s. ISBN 80-7182-141-1.
21. MATOUŠEK, Václav. Esej na téma „Luminiscence“
22. Metodický portál RVP [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.rvp.cz>>.
23. MOKREJŠOVÁ, Olga. Praktická a laboratorní výuka chemie. 1. vyd. Praha : Triton, 2005. 137 s. ISBN 80-7254-726-7.
24. Molekulární inženýrství [online]. 2008 [cit. 2009-04-01]. Dostupný z WWW: <http://www.vscht.cz/anl/mag_moli/Moli-termíny-web.pdf>.
25. Národní ústav odborného vzdělávání [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.nuov.cz/ramcove-vzdelavaci-programy>>.
26. Nejzáhadnější světlo se skrývá pod hladinou [online]. 2008 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.21století.cz/rservice.php?akce=tisk&cisloclanku=2007051903>>.
27. NOVOTNÝ, Petr. RAMBOUSEK, Lukáš. Fluorescenční barviva a jejich využití. Seminární práce k metodám chemického výzkumu vypracovaná na KCHDCH v roce 2004
28. PÁTEK, Karel. *Luminiscence : Fyzikální poznatky a technické aplikace*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1962. 164 s. ISBN 04-017-62.
29. PELANT, Ivan, VALENTA, Jan. *Luminiscenční spektroskopie : Objemové krystalické polovodiče*. 1. vyd. Praha : Academia, 2006. 327 s. ISBN 80-200-1447-0.
30. POPLÉ, Stephen, WHITEHEAD, Peter. *Přehled učiva : Fyzika*. Dalibor Tomáš. 1st edition. Praha : Václav Svojtka, 1999. 256 s. ISBN 80-7237-176-2.

31. R-věty, S-věty [online]. 2008 [cit. 2009-04-04]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/S-v%C4%9Bty>>.
32. SODOMKA, Lubomír. *Mechanoluminiscence : a její použití*. 1. vyd. Praha : Academia, 1985. 232 s.
33. Svítící tyčinky [online]. 2008 [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.czechpilot.cz/obr/14948GE.jpg>>.
34. ŠIMŮNEK, Ondřej. Chemiluminiscence [online]. 2007 [cit. 2009-04-04]. Dostupný z WWW: <http://chemiluminiscence.xf.cz/chemiluminiscence_II_final.pdf>.
35. Titrace fluoresceinu [online]. 2008 [cit. 2009-05-27]. Dostupný z WWW: <<http://tomcat.bf.jcu.cz/sima/texty/praktika-navody-08.doc>>.
36. VACÍK, Jiří, et al. *Přehled středoškolské chemie*. 2. vyd. Praha : SPN-pedagogické nakladatelství, 1999. 365 s. ISBN 80-7235-108-7.
37. VULTERIN, Jaroslav. *Chemická analýza*. 1. vyd. Praha : Karolinum, 1994. 68 s.
38. ZÁHORSKÁ, Denisa. *Pokusy (se rtuť), které dělat nebudete*. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Pedagogická fakulta. Katedra chemie a didaktiky chemie. Praha, 2007.

Použité obrázky:

- a) Ověřovač pravosti bankovek [online]. 2007 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.kspokladnisystemy.cz/images/produkty/detektor-counterfeit.gif>>.
- b) Luminiscenční ručičky [online]. 2007 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <http://kosmetika-a-lifestyle.hledej ceny.cz/data/images/44/img_44625.jpg>.
- c) CRT monitor [online]. 2008 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <http://klasicke-crt-monitory.heureka.cz/#utm_source=adwords&utm_medium=cpc&utm_campaign=sekc e-elektronika>.
- d) Hennig Brand [online]. 2008 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hennig_Brand>.
- e) Světluška větší [online]. 2007 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2b/Lampyris_noctiluca.jpg/258px-Lampyris_noctiluca.jpg>.
- f) Tření krystalů [online]. 2008 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.gymfry.cz/zmp0506/jediny/kamen.jpg>>.

- g) Reakce luminolu [online]. 2008 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <http://www.becario.cz/wh/share/GY_Litomerice_Luminiscence.ppt#264,8,Luminiscence Luminolu seznam potřebných pomůcek a chemikálií, popis experimentu>.
- h) Svítící trubičky [online]. 2008 [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.czechpilot.cz/obr/14948GE.jpg>>.
- i) Speleolog [online]. 2008 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.fotoklub.svitavy.cz/wp/wp-content/gallery/sotona-cyklus-speleolog/em023f.jpg>>.
- j) Fluorexon [online]. 2008 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/indikato/odjinud/vzorce/fluorex.gif>>.
- k) Broučci [online]. 2008 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <http://i.idnes.cz/09/014/gal/JAZ28ca43_K_broucci.jpg>.
- l) Žížala [online]. 2008 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.ezoo.cz/files/zvire/200.jpg>>.
- m) Václavka [online]. 2008 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://yoohoo.euweb.cz/cantor2004/aktual/aktual6-06/6hkbimg/vaclavka.jpg>>.
- n) Elektroluminiscence [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.volny.cz/michal.cerny/nocni/clanky/e07/lytecl.gif>>.
- o) Florescein [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://nikasculinaria.com/wp-content/uploads/2007/09/385px-fluorescein.jpg>>.
- p) Fluorescence [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.calvin.edu/academic/chemistry/faculty/muyskensmark/bottles.jpg>>.
- q) Svítící ciferník a ručičky [online]. 2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.wrist-watch.info/pgtips/rlt4lume.jpg>>.
- r) Svítící hvězdičky [online]. 2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://shop.kreativnisvet.cz/images/sklady/135-002.jpg>>.
- s) Negativ a pozitiv [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.turnovskovakci.cz/storage/200706021324_por_31_07_negativ.jpg>.
- t) Elektroluminiscenční panel [online]. 2009 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.el-lumio.cz/gfx/ico-sheet.png>>.
- u) Chemiluminiscence luminolu. Vlastní fotografie
- v) Bioluminiscence [online]. 2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Bioluminescencekils.jpg>>.

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA Č. 1: Vlastní fotografie z chemické laboratoře



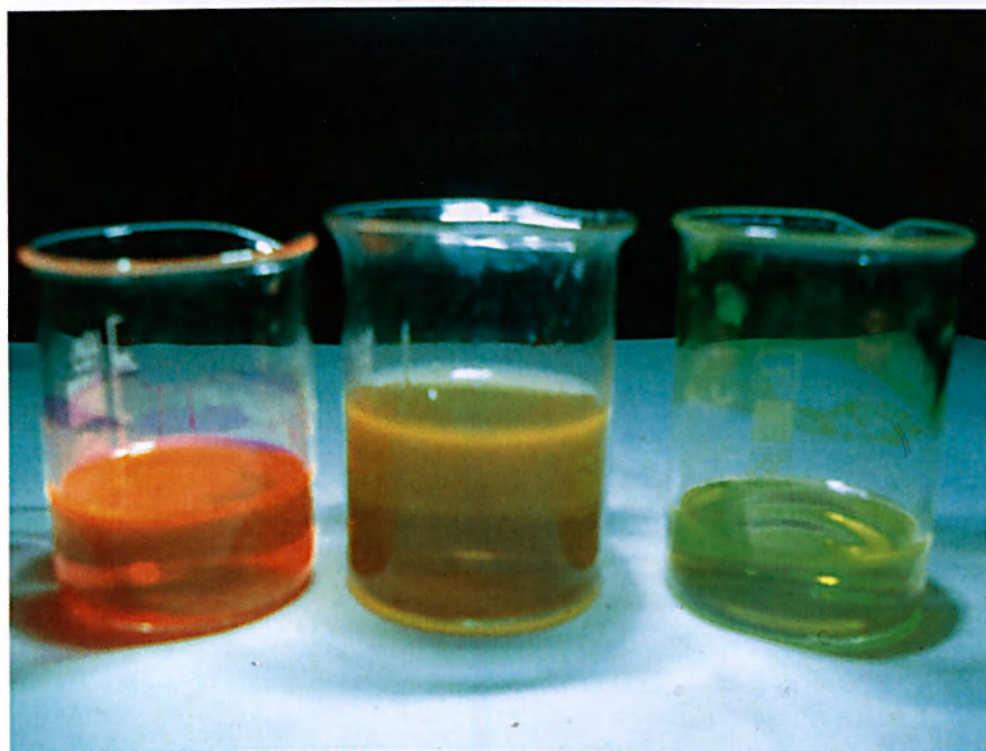
Černá žárovka



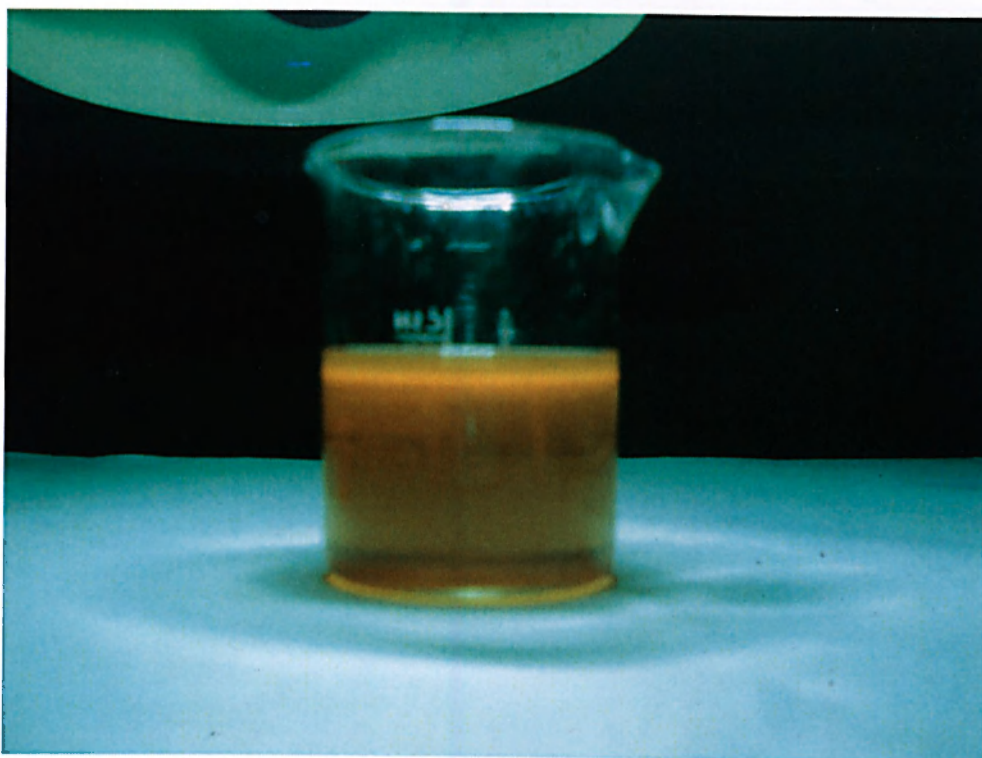
UV- zářič



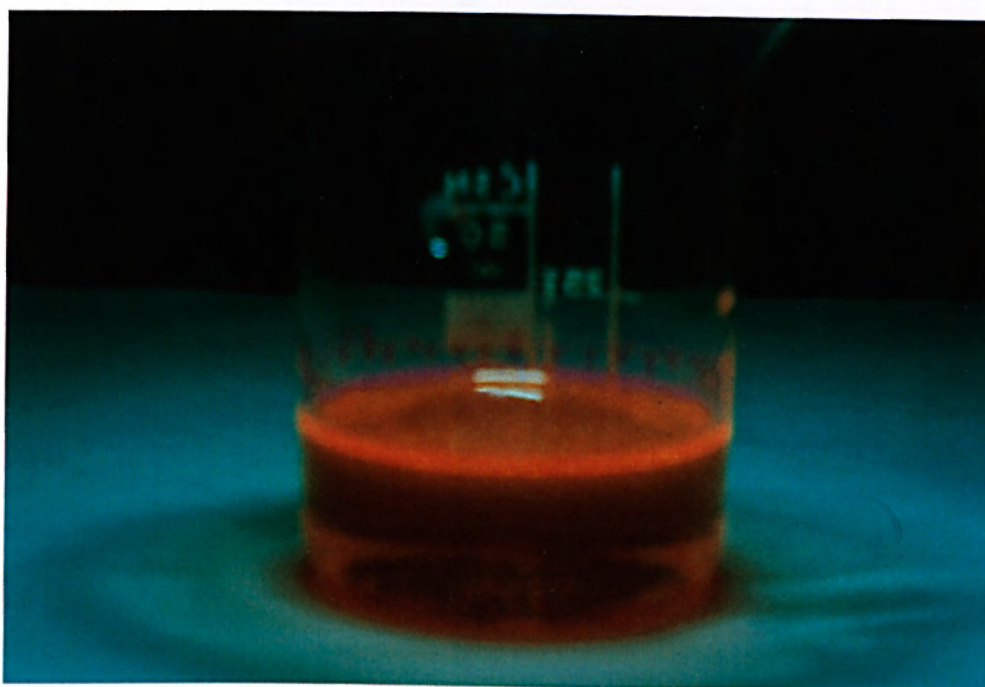
Zleva: fluorescein, eosin, rhodamin iniciovány černým světlem



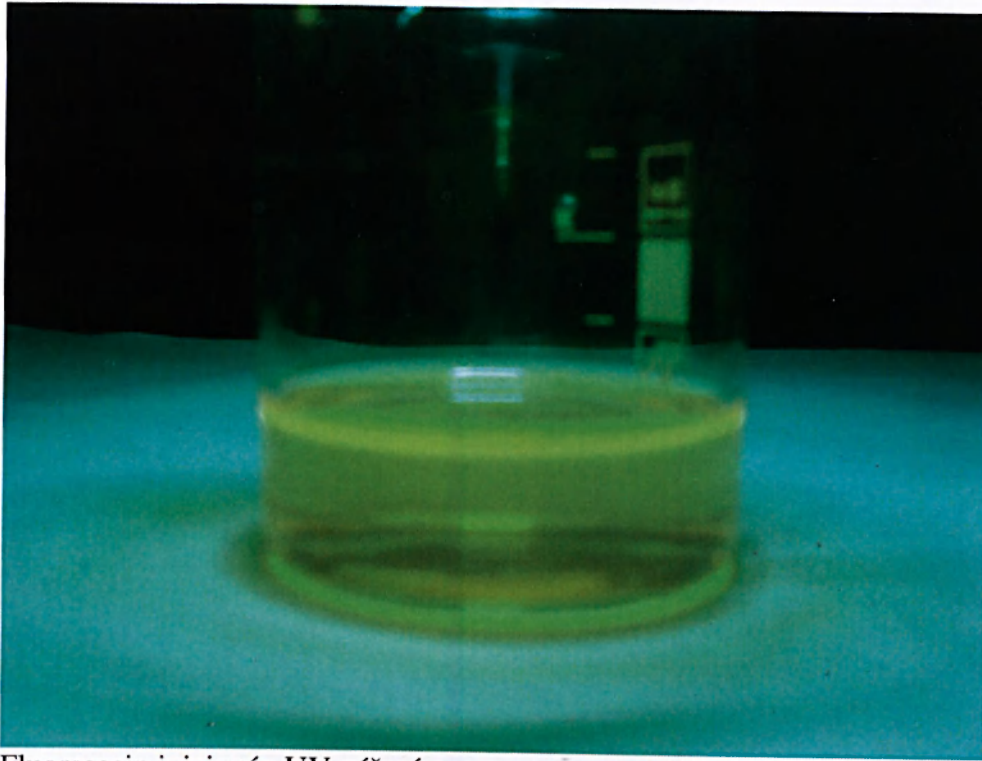
Zleva: rhodamin, eosin, fluorescein iniciovány UV-zářením



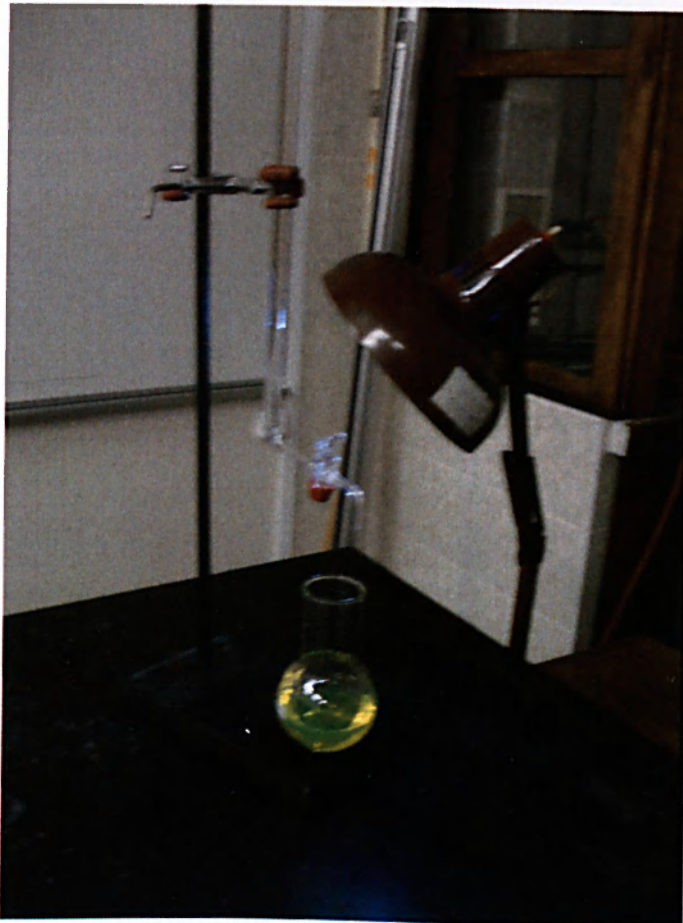
Eosin iniciovaný UV-zářením



Rhodamin iniciovaný UV-zářením



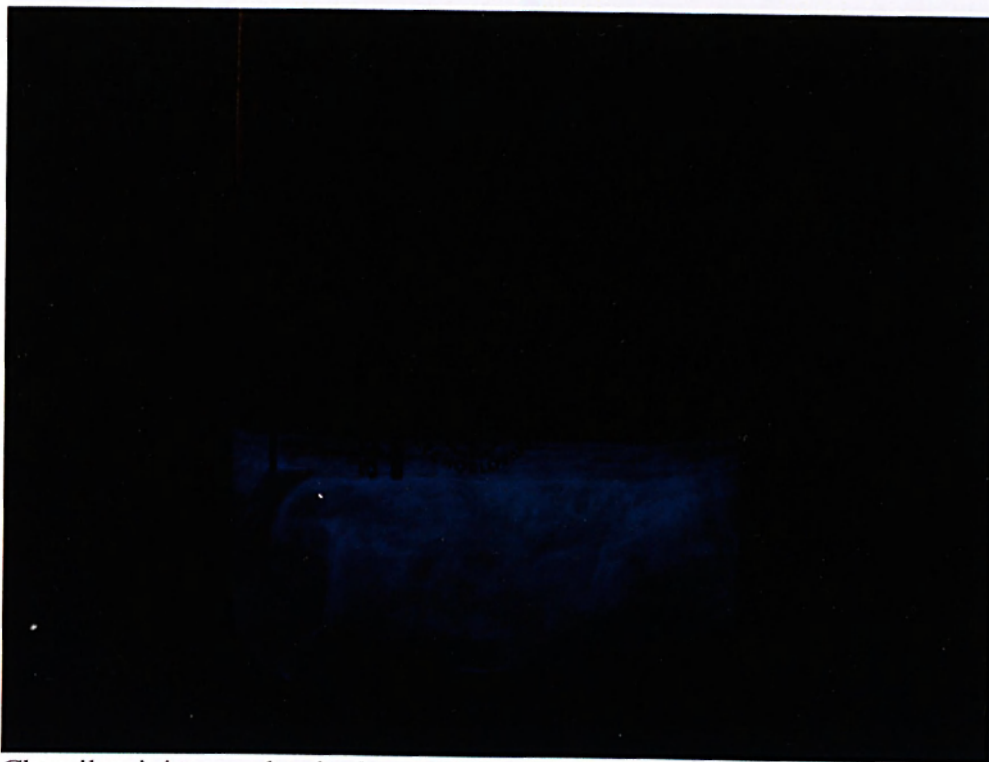
Fluorescein iniciován UV-zářením



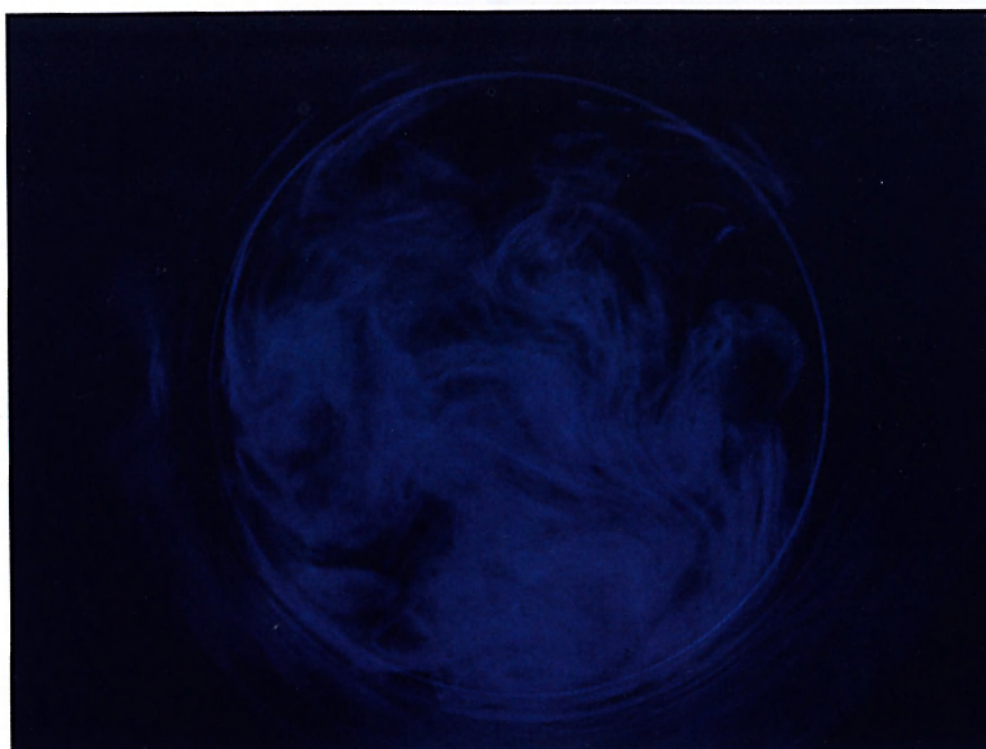
Argentometrie podle Fajanse



Argentometrie podle Fajanse při černém světle



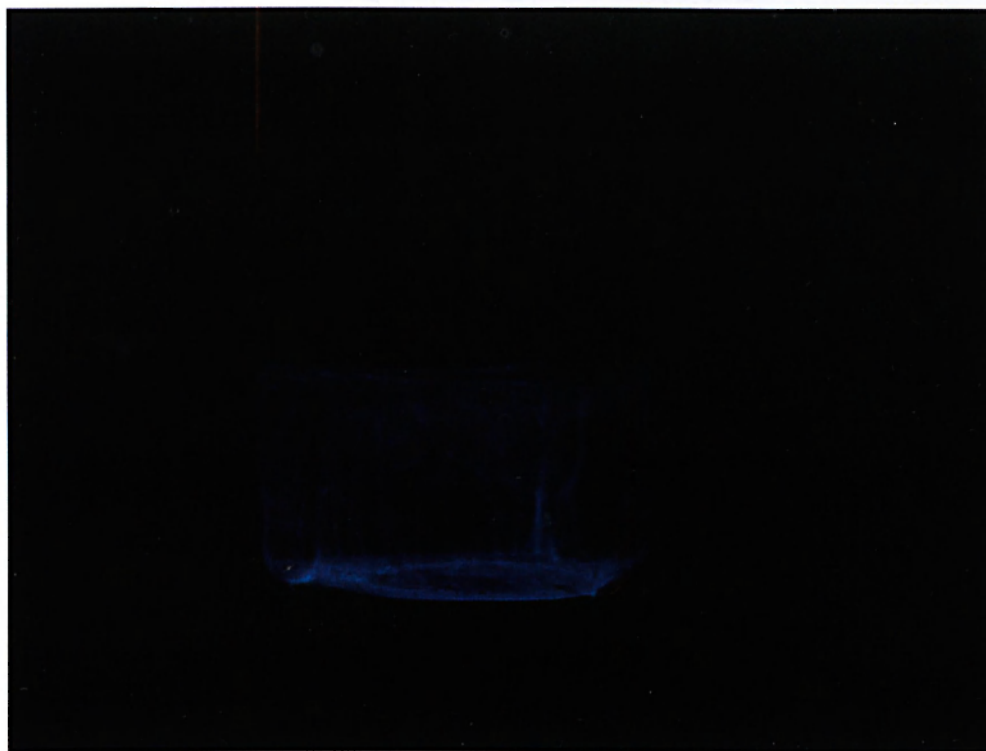
Chemiluminiscence luminolu v kádince



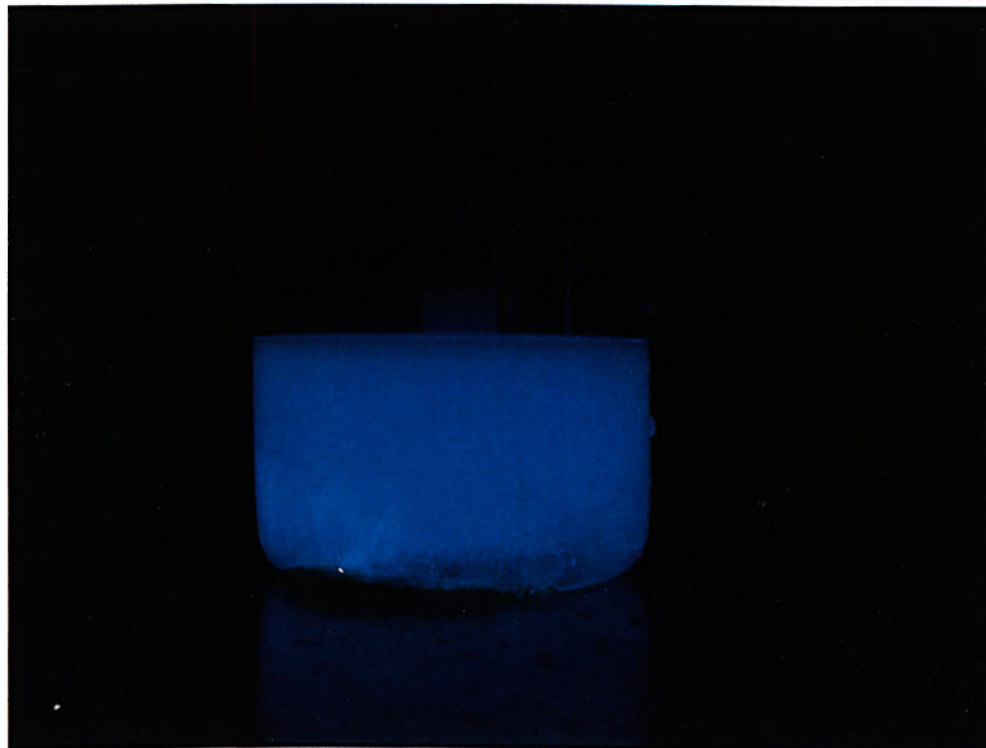
Chemiluminiscence v krystalizační misce



Chemiluminiscence v U-trubici



Zesílení chemiluminiscence zvýšením koncentrace peroxidu vodíku



Zesílení chemiluminiscence zamícháním



Chemiluminiscence po přidání sodíku do roztoku vody a peroxidu vodíku za katalýzy Cu^{2+} iontů



Pohyb sodíku po vodě při chemiluminiscenci



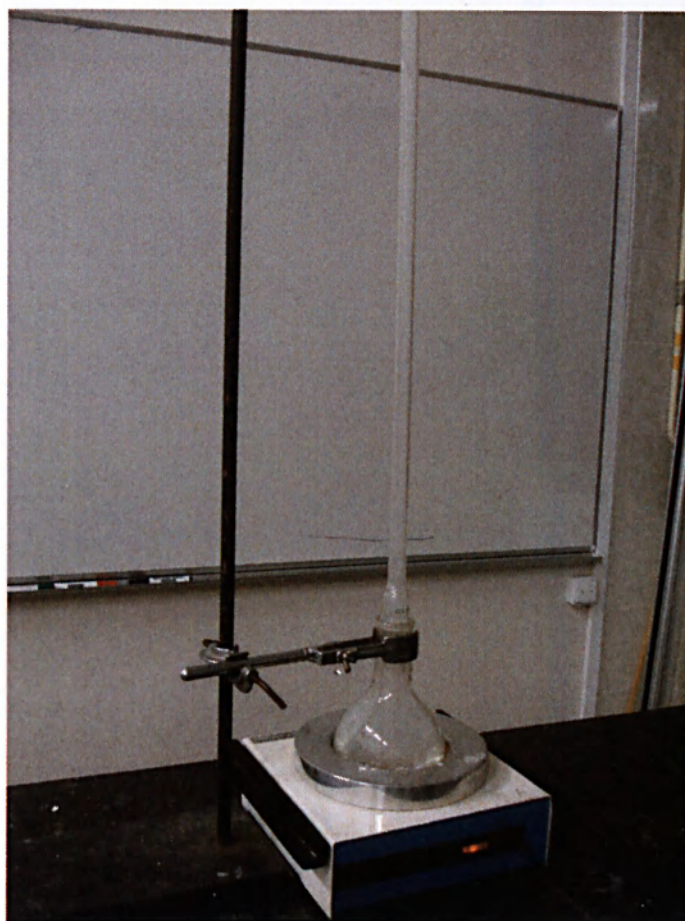
Příprava chemiluminiscenčního vodotrysku



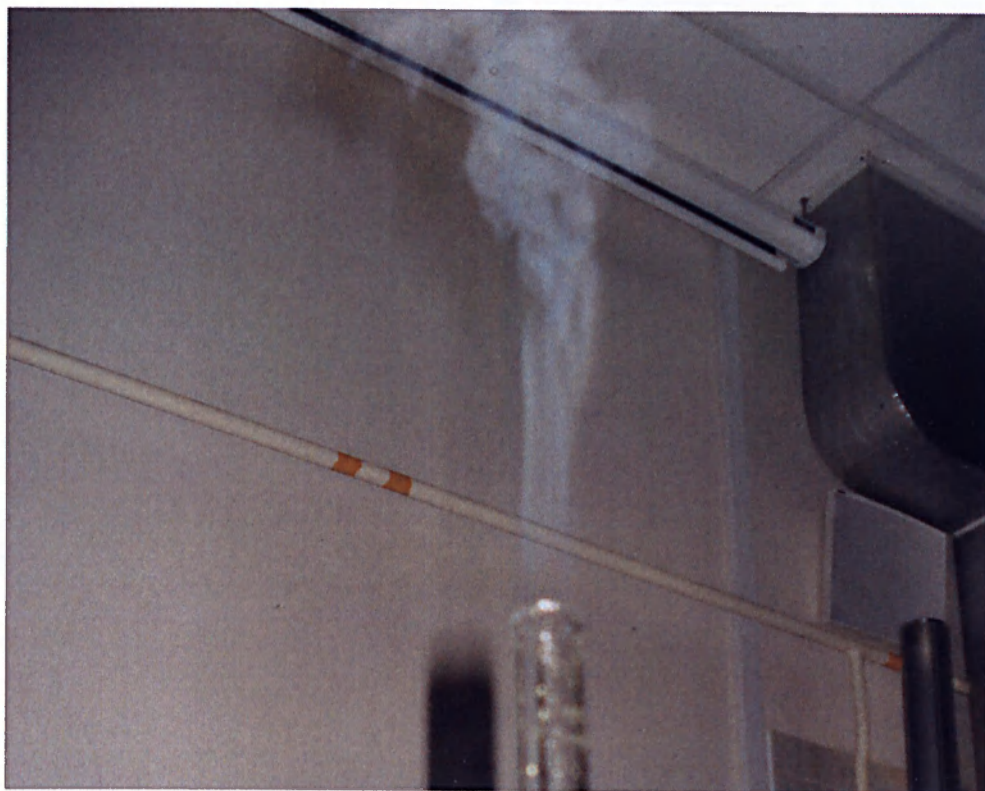
Upevnění baňky s amoniakem do baňky s roztokem vody s peroxidem a katalyzátorem



Chemiluminiscenční vodotrysk



Aparatura pro oxidaci bílého fosforu



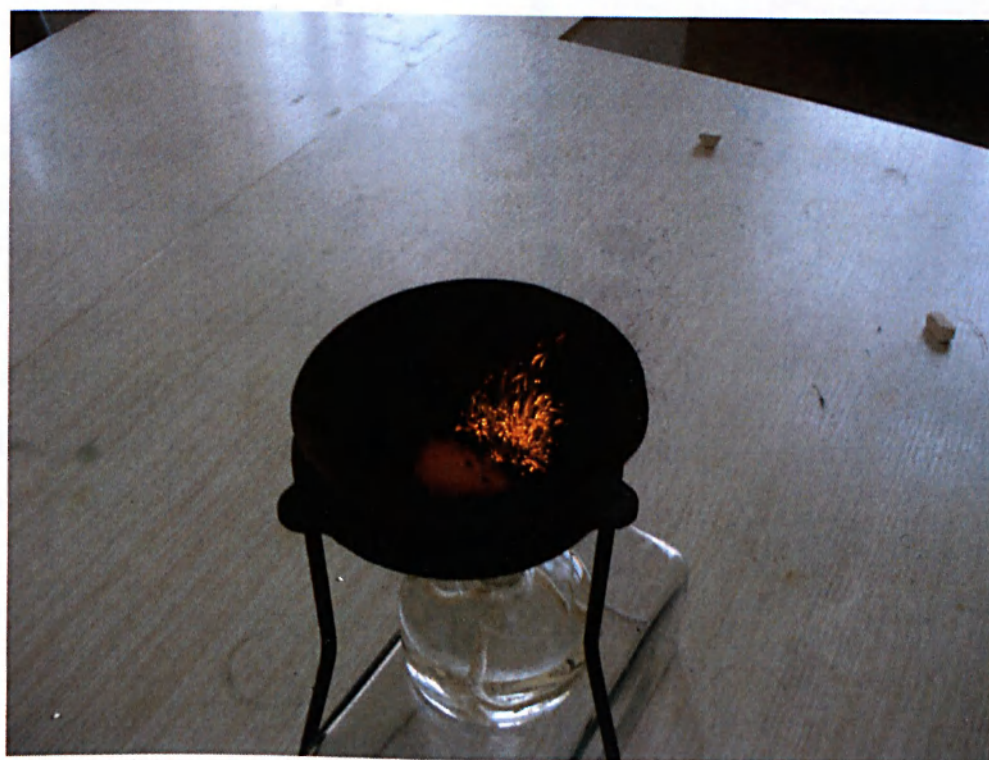
Detail oxidace bílého fosforu při denním světle



Létající plamínek při oxidaci bílého fosforu ve tmě



Fotografická chemie (ustalovač a vývojka)



Rozklad dichromanu amonného

PŘÍLOHA Č. 2: Přehled her

1) „Speleolog“ Učitel připraví kartičky dle počtu žáků s nápisem fluorescence, fosforescence, chemiluminiscence, bioluminiscence, galvanoluminiscence. Žáci si vylosují po kartičce a posadí se na židlích do kruhu. Poté učitel čte hesla, týkající se využití a výskytu jednotlivých jevů. Každý žák, jehož jev byl jmenován, se posune o jedno místo vpravo. Vyhrává ten, kdo se nejdříve dostane na své místo. Posunout se může jen tehdy, nesedí-li na něm další žák. Např. Antonín si vytáhne bioluminiscenci. Učitel řekne: „Světluška.“ Protože principem svícení světlušky je bioluminiscence, posune se Antonín o jedno místo vpravo.

2) „Katalyzátor“ Mezi žáky je určen jeden katalyzátor, všichni ostatní jsou reaktanty. Žáci se pohybují se zavázanýma očima po místnosti. Setkají-li se, vysloví každý svůj status. Když se setkají dva reaktanty, nic se neděje. Setká-li se ale reaktant s katalyzátorem, vytvoří meziprodukt, tzn. chytí se za ruce. Takto se pohybují po místnosti, dokud nevznikne jeden velký meziprodukt.

3) **Energie** je skupinová hra, při níž jednotlivé skupiny postupují po plánu hry (Obr. 24) podle otázek na zvolené téma. Soutěžící sbírají body. Vítězí skupina s nejvíce body nebo ta, která první došla do cíle.

4) **Černý Petr** (veličiny/ jednotky) (Obr. 23)

5) **Pexeso** lze připravit pexeso s producenty energie (zdroje: žárovka, kamna,...) a konzumenty (spotřebiče: žehlička, lampa,...)

6) **Puzzle** je možno připravit ze schématu přeměn energie.

Obr. 23: Černý Petr (Veličiny a jednotky)³²

Hra Černý Petr modifikována pro rpo výuku chemie při práci s veličinami a jednotkami.

Černý Petr: Veličiny a jednotky - 1

kg kg kilogram	K K kelvin	s S sekunda	A A ampér
mol mol mol	m ³ m³ krychlový metr	kg.m ³ kg.m³ kilogram na krychlový metr	Pa Pa pascal
J J joule	W W watt	C C coulomb	Hz Hz hertz
S S siemens	V V volt	m m metr	Ω Ω ohm

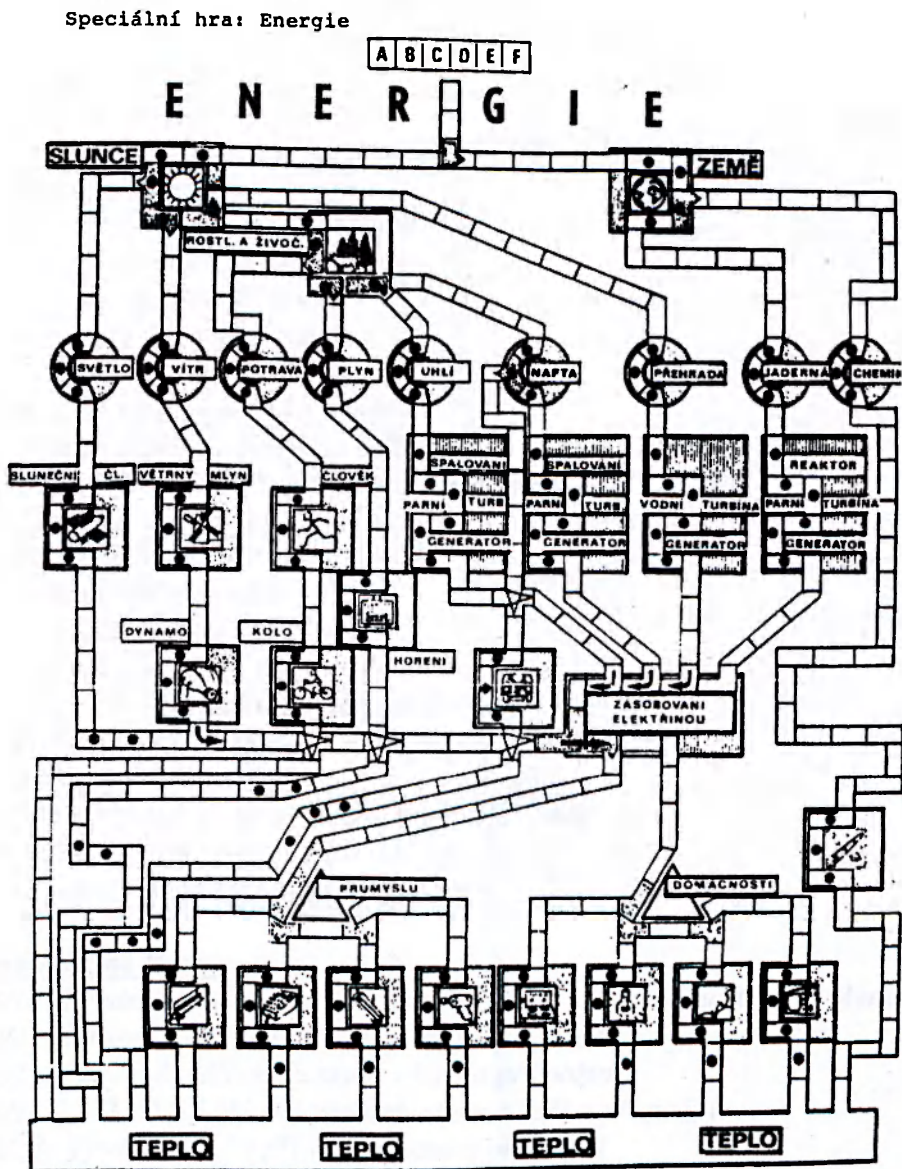
1. ³² HOLADA, Karel. Specifické činnosti učitele chemie a jeho žáků. 1. vyd. Praha : [s.n.], 2000.

Černý Petr: Veličiny a jednotky - 2

m m hmotnost	T T absolutní teplota	t t čas	I I proud
n n látkové množství	V V objem	ρ ρ hustota	p p tlak
E E energie	P P výkon	Q Q náboj	f f frekvence
G G vodivost	U U napětí	l l délka	R R odpor

Obr. 24: Hra ENERGIE³³

Herní plán hry ENERGIE znázorňuje možné cesty k cíli během této skupinové hry. Hra ukazuje bohatství přeměn energie. Hra je určena pro žáky ve skupinách.



2. ³³ HOLADA, Karel. Specifické činnosti učitele chemie a jeho žáků . 1. vyd. Praha : [s.n.], 2000.

PŘÍLOHA Č. 3: Vybrané standardizované R- a S-věť³⁴

STANDARDNÍ VĚTY OZNAČUJÍCÍ SPECIFICKOU RIZIKOVOST NEBEZPEČNÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK A CHEMICKÝCH PŘÍPRAVKŮ

Jednoduché R-věty

„R1: Výbušný v suchém stavu

R8: Dotek s hořlavým materiálem může způsobit požár

R10: Hořlavý

R11: Vysoce hořlavý

R15: Při styku s vodou uvolňuje extrémně hořlavé plyny

R17: Samovznětlivý na vzduchu

R20: Zdraví škodlivý při vdechování

R21: Zdraví škodlivý při styku s kůží

R22: Zdraví škodlivý při požití

R23: Toxický při vdechování

R25: Toxický při požití

R26: Vysoce toxický při vdechování

R27: Vysoce toxický při styku s kůží

R31: Uvolňuje toxický plyn při styku s kyselinami

R32: Uvolňuje vysoce toxický plyn při styku s kyselinami

R33: Nebezpečí kumulativních účinků

R34: Způsobuje poleptání

R35: Způsobuje těžké poleptání

R37: Dráždí dýchací orgány

R40: Podezření na karcinogenní účinky

R41: Nebezpečí vážného poškození očí

R43: Může vyvolat senzibilizaci při styku s kůží

R46: Může vyvolat poškození dědičných vlastností

R49: Může vyvolat rakovinu při vdechování

R50: Vysoce toxický pro vodní organismy

Kombinované R-věty

R14/15: Prudce reaguje s vodou za uvolňování extrémně hořlavých plynů

R20/22: Zdraví škodlivý při vdechování a při požití

R21/22: Zdraví škodlivý při styku s kůží a při požití

R23/24/25: Toxický při vdechování, styku s kůží a při požití

R26/28: Vysoce toxický při vdechování a při požití

R36/38: Dráždí oči a kůži

R36/37/38: Dráždí oči, dýchací orgány a kůži

R37/38: Dráždí dýchací orgány a kůži

R50/53: Vysoce toxický pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí

škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při požití

³⁴ (R-věty, S-věty [online]. 2008 [cit. 2009-04-04]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/S-v%C4%9Bty>>.)

STANDARDNÍ POKYNY PRO BEZPEČNÉ NAKLÁDÁNÍ S NEBEZPEČNÝMI CHEMICKÝMI LÁTKAMI A CHEMICKÝMI PŘÍPRAVKY

Jednoduché S-věty

Jednoduché S-věty

- S2: Uchovávejte mimo dosah dětí*
- S3: Uchovávejte na chladném místě*
- S4: Uchovávejte mimo obytné objekty*
- S5: Uchovávejte pod (příslušnou kapalinu specifikuje výrobce)*
- S7: Uchovávejte obal těsně uzavřený*
- S8: Uchovávejte obal suchý*
- S16: Uchovávejte mimo dosah zdrojů zapálení - Zákaz kouření*
- S22: Nevdechujte prach*
- S26: Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc*
- S28: Při styku s kůží okamžitě omyjte velkým množstvím (vhodnou kapalinu specifikuje výrobce)*
- S30: K tomuto výrobku nikdy nepřidávejte vodu*
- S39: Používejte osobní ochranné prostředky pro oči a obličej*
- S40: Podlahy a předměty znečištěné tímto materiálem čistěte (specifikuje výrobce)*
- S43: V případě požáru použijte (uveďte zde konkrétní typ hasicího zařízení. Pokud zvyšuje riziko voda, připojte „Nikdy nepoužívat vodu“)*
- S45: V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení)*
- S50: Nesměšujte s (specifikuje výrobce)*
- S51: Používejte pouze v dobře větraných prostorách*
- S53: Zamezte expozici - před použitím si obstarejte speciální instrukce*
- S60: Tento materiál a jeho obal musí být zneškodněny jako nebezpečný odpad*
- S61: Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz speciální pokyny nebo bezpečnostní listy*

Kombinované S-věty

- S1/2: Uchovávejte uzamčené a mimo dosah dětí*
- S24/25: Zamezte styku s kůží a očima*
- S36/37: Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné rukavice*
- S36/37/39: Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít*
- S36/39: Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné brýle nebo obličejový štít*
- S37/39: Používejte vhodné ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít^{12,13}*