

MOTIVAČNÉ ŠTUDENTSKE AKTIVITY – HORENIE ŽELEZA

Jozef Beňuška

Gymnázium Viliama Paulinyho-Tótha, Martin

Abstrakt: Didaktický prístup k riešeniu problematiky poznávacej motivácie žiakov je rozmanitý. Ak je výučba založená na aktívnej žiackej činnosti pri riešení problému, medzipredmetových poznatkoch, prekvapivosti, až tajomnosti prezentovaných skutočností, potom môže výrazne motivačne pôsobiť na žiakov a pozitívne ovplyvniť ich vzťah k predmetu. V článku je prezentovaný návrh študentskej aktivity, ktorý takéto atribúty má a študenti túto aktivitu prijali veľmi pozitívne.

Kľúčové slová: motivácia žiakov v prírodných vedách, porozumenie fyzikálnym poznatkom, fyzikálny experiment, medzipredmetové vzťahy.

Úvod

Vytváranie postoja žiakov k fyzikálnemu vzdelávaniu je ovplyvnené mnohými činiteľmi. Pri realizovaní výskumu motivácie žiakov v prírodných vedách (Trna, 2012) s cieľom zistiť, aké motivačné postupy sú na školách používané a ako sú hodnotené žiakmi, boli zistené nasledovné výsledky:

Za extrémne kladnú motiváciu boli vyhodnotené:

1. Vidieť neobvyklý fyzikálny pokus alebo „kúzl“ a s pomocou učiteľa zistiť jeho fyzikálnu podstatu.
2. Pracovať s počítačom pri riešení fyzikálnych úloh (príkladov), pokusoch alebo meraniach.
3. Besedovať s učiteľom o sci-fi literatúre.
4. Sledovať filmy o fyzikálnych javoch.
5. Exkurzie do výrobných prevádzok, výskumných pracovísk alebo miest, kde majú možnosť vidieť využitie fyzikálnych poznatkov v praxi.

V tomto príspevku sa budeme venovať neobvyklému experimentu, hľadaniu jeho fyzikálno-chemickej podstaty. Fyzikálne javy v tomto experimente sú pre žiakov menej viditeľné a práve preto sú zaujímavé.

Netradičný spôsob prezentovania fyzikálnych experimentov vyžaduje skutočné pedagogické majstrovstvo učiteľa. Na prvý pohľad jednoduché, ľahko splniteľné úlohy pre žiaka dokážeme gradovať až do situácie, keď úloha sa zdá žiakovi nespĺniteľná, ba až kúzelná.

Fyzikálne pokusy prezentované formou „kúziel, alebo zdanlivo neuskutočniteľných experimentov“ môžu významným spôsobom prispieť ku vzbudeniu záujmu žiaka o sledovaný fyzikálny jav.

Mnohé z experimentov nemusia byť pre žiaka nové, za nový však možno považovať popísaný spôsob ich prezentácie v podobe „kúziel“. Skúsenosť ukazuje, že tento prístup vzbudzuje pozornosť a záujem študentov a zároveň ich zapojenie do vyučovacieho procesu.

V nasledujúcom popíšeme jeden takýto neobvyklý experiment.

Horenie

Základom experimentu je jav horenie a tak úvodnú časť experimentu môžeme so žiakmi realizovať hľadaním odpovedí na otázky:

1. Aké sú podmienky horenia materiálu?
2. Prečo drobné triesky dreva ľahšie zapálime ako väčšie kusy?
3. Prečo niekedy horí materiál plameňom a niekedy iba tlie?
4. Keď horí drevo plameňom, čo to vlastne horí?
5. Prečo sa drobné triesky dreva zapália skôr ako hrubšie?
6. Aká je to exotermická reakcia?
7. Aké látky považujeme za horľavé látky?

Je vhodné pre žiakov pripraviť pracovný list, do ktorého si doplnia odpovede po ich vyhľadaní na internete. Uvádzame stručný súhrn informácií, ku ktorým sa žiaci dopracujú.

Horenie alebo spaľovanie (v širšom zmysle) je oxidačná exotermická reakcia (vznikajúca za istých podmienok), pri ktorej vzniká aj svetlo. Horenie môže byť:

- homogénne (plamenné horenie) – pôsobením teploty na látku sa z nej uvoľňujú horľavé plyny, ktoré horia nad jej povrchom, takéto látky horia plameňom,

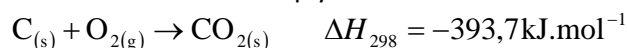
- heterogénne (tlenie) – reakcia horenia nastáva na povrchu horľavej látky, ktorá nie je schopná vylučovať plyny, látky nehoria plameňom, iba tlejú.

Horenie vzniká a prebieha za určitých podmienok. Na priebeh horenia je potrebná prítomnosť:

- horľaviny a oxidačného prostriedku v zápalnom pomere,
- zdroja iniciácie horenia.

Základné látky potrebné k horeniu sú kyslík a nejaký druh paliva, napríklad drevo. Drevo však nezačne horieť len preto, že je obklopené kyslíkom. Aby sa tak stalo, musíme najskôr dosiahnuť teplotu vznietenia predmetu, ktorý chceme spáliť. Preto keď zakladáme oheň, musíme začínať s trieskami, a nie hneď s hrubými polenami. V trieskach je menej dreva, ktoré treba zahriať na cca 260°C, aby začali horieť.

Z dreva po zhorení zostane popol. Ten však nie je jediný produkt horenia. Počas reakcie sa do ovzdušia uvoľňuje CO₂, škodlivý CO a veľké množstvo ďalších plynov.



Ďalší produkt spaľovania je aj voda, ktorá však unikne do ovzdušia ako vodná para. To, že horí drevo, nie je pre študentov prekvapujúca informácia. Prekvapujúce je, čo všetko môže horieť a ako sa dá látka ktorá môže horieť, zapáliť.

Horenie železa

Ak sú splnené podmienky vzniku horenia, potom zapáliť a horieť môže akýkoľvek materiál, napríklad aj železo. Môže horieť železo? Pokúste sa zapáliť kliniec. Zrejme sa vám to nepodarí. Viete vysvetliť prečo?



Obr. 1 Pokus o zapálenie železného klinca

Ak by sme zapáľovali železné “triesky” podobne ako pri dreve, nehoreli by? Môžeme zo železa urobiť drobné “triesky”?

Experimentálne sa presvedčíme, že železo môže horieť, ale musia byť splnené nasledovné podmienky:

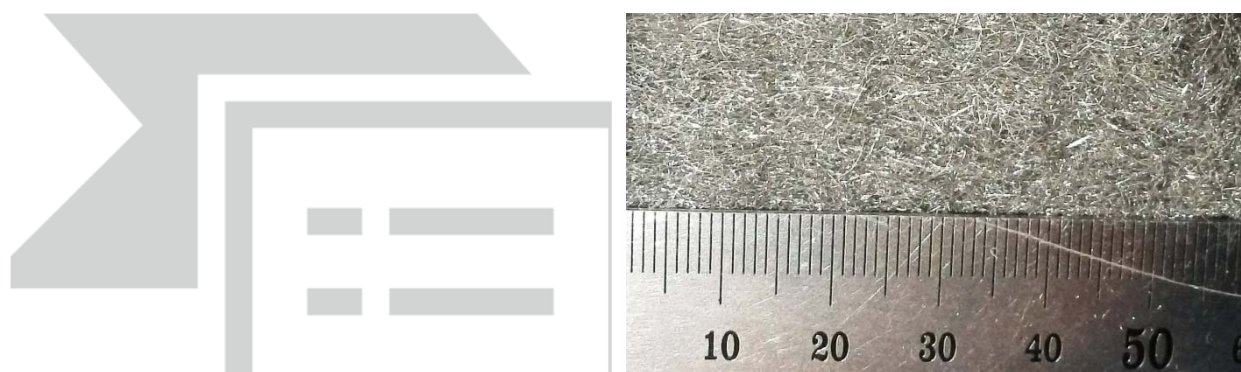
- a. má dostatočne veľkú povrchovú plochu,
- b. dosiahne teplotu vznietenia,
- c. je prítomný kyslík.

Podmienky horenia železa

- a. Dostatočná veľkosť povrchovej plochy

Prečo je to tak? Ak vezmeme materiál a rozdelíme ho na veľa jednotlivých častíc, celkový objem materiálu sa nezmení, ale celková povrchová plocha je oveľa väčšia. Na veľkej povrchovej ploche sa nachádza obrovský počet atómov pripravených reagovať – výrazne sa zväčší reaktivita materiálu. Všeobecne platí, že čím väčší povrch reaktantov, tým je reakčná rýchlosť väčšia. Reaktivita materiálu je vlastnosť nanomateriálov. Vo forme nanočastíc nastáva u bežných materiálov zmena ich vlastností. Je to spôsobené tým, že nanočastice majú väčšiu povrchovú plochu v prepočte na svoju hmotnosť. Napr. nanočastice železa môžu byť využité pri odstraňovaní chemikálií z podzemnej vody – reagujú s týmito chemikáliami účinnejšie ako bežné častice železa. Podmienku veľkej povrchovej plochy materiálu spĺňa tzv. **ocelová vlna**, ktorá sa vyrába zo špeciálnej a obzvlášť kvalitnej ocele. Používa sa na opracovanie (brúsenie, leštenie a čistenie) rôznych povrchov z dreva, kovov, umelej hmoty, kameňa a skla. Je dostupná v mnohých druhoch, je vysoko pevná a veľmi elastická. Niekoľko stupňov hrúbosti zaručuje perfektné pracovné výsledky pri opracovaní.

Hrúbosti sú od 0000 (extra jemná) do 5 (extra hrubá).



Obr. 2 Nerezová vlna Rakso extra fine (0000).

Oceľová vlna je z celkom mäkkého materiálu. Jej brúsne a leštiace schopnosti vychádzajú predovšetkým z ťažného pôsobenia ostrých hrán tenkých kovových vlákien.



Obr. 3 Nerezová vlna detail

Podľa Mohsovej stupnice tvrdosti materiálov, ktorá vyjadruje schopnosť materiálu urobiť vryp do iného, oceľovú vlnu zaraďujeme do 4. stupňa tvrdosti (pozri obrázok).

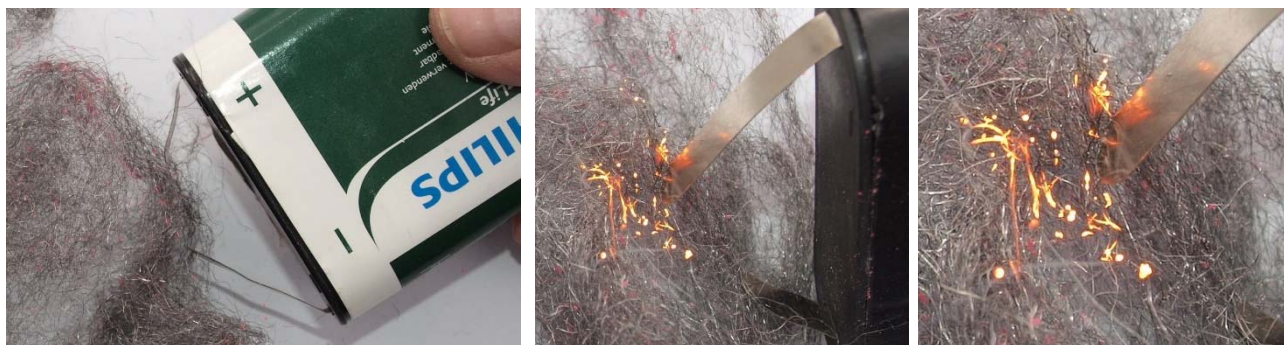
Tab. 1 Zaradenie oceľovej vlny do stupnice tvrdosti (Mohsovej)

Stupeň tvrdosti	Materiál	Povrch	
10	Diamant		
9	Brúsny papier	kamenina, glazúrovaná keramika	
8			
7		porcelán	
6	Sklený papier	okenné sklo smalt	
5		tvrdé kovy, tvrdé umelé hmoty	
4	Oceľová vlna		
3		mäkké kovy, drevo, akrylové laky	
2		bežné lakované povrchy	
1		sadrové dosky	

b. Dosiahnutie teploty vznietenia

Klasické zapálenie produktu horenia je prostredníctvom plameňa zápalky alebo zapaľovača. Plameňom je potrebné zahriať produkt horenia na zápalnú teplotu. Toto je možné aj pri oceľovej vlně.

Avšak prekvapivé, efektné, ba až kúzelné spustenie procesu horenia železnej vlny je s pomocou 4,5 V alebo 9 V batérie jednoduchým priložením kontaktov batérie k načechranej vlně. Prečo sa to stane?



Obr. 4 Dosiahnutie teploty vznietenia železa Joulovým teplom

Odpor veľmi tenkých oceľových drôtikov, ktoré tvoria oceľovú vlnu je malý, napriek tomu, že elektrický odpor so zmenšujúcim prierezom stúpa a prierez oceľových drôtikov vlny je naozaj veľmi malý. Číselnú hodnotu prierezu alebo priemeru drôtikov vlny sme nenašli na údajoch o vlne na obale ani na oficiálnych stránkach výrobcu.

A tak sme pre jej zistenie použili mikrometrické meradlo.

Ako dôkaz môžeme urobiť orientačný výpočet: hrúbka drôtu je $d = 0,06$ mm, dĺžka drôtu pripojeného k zdroju je odhadom $l = 3$ cm, hmotnostný elektrický odpor železa pri teplote 20°C je $\rho = 13 \cdot 10^{-8}$ $\Omega \cdot \text{m}$. Zmenu elektrického odporu vplyvom rastúcej teploty sme zanedbali.

Prierez drôtikov oceľovej vlny nie je kruhový. Úlohou oceľovej vlny je „škriabať“ hranami povrch predmetu a tak sme tvar prierezu zvolili štvorcový. Potom pre odpor vlákna za uvedených parametrov platí

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{d^2} = 13 \cdot 10^{-8} \frac{3 \cdot 10^{-2}}{(0,06 \cdot 10^{-3})^2} = 13 \cdot 10^{-8} \frac{3 \cdot 10^{-2}}{36 \cdot 10^{-10}} = 1,08 \Omega \div 1,0 \Omega.$$

Pri dotyku kontaktom batérie s oceľovou vlnou dochádza k súčasnému „zapáleniu“ niekoľkých drôtikov (pozri obrázok 6). Kontakty sa súčasne dotknú viacerých. Odhadli sme ich počet na 10.



Obr. 5 Okamih zapálenia Joulovým teplom

Ak je pripojených drôtikov k batérii približne 10, potom celkový odpor vonkajšej časti obvodu je

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots = 10 \Omega \Rightarrow R_v = 0,1 \Omega$$

Elektrický prúd prechádzajúci obvodom v začiatočnom okamihu je

$$I = \frac{U_e}{R_i + R_v} = \frac{4,5\text{V}}{1,1\Omega} = 4,09\text{A}$$

a teda jedným drôtikom prechádza z celkového prúdu $1/10$, tj. $I_1 = 0,409$ A.

Joulovo teplo vzniknuté počas 1 sekundy

$$Q_J = RI^2t = 1,0,0,409 \cdot 1 = 0,167 \text{ J}$$

Nárast teploty v jednom drôťiku vzniknutý Joulovým teplom určíme zo vzťahu

$$Q_J = mc(t_2 - t_1)$$

kde m je hmotnosť železného drôťika, ktorým prechádza prúd I .

$$m = \rho V = \rho Sl = 7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot (0,06 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 0,8424 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

$$\Delta t = \frac{Q_J}{mc} = \frac{0,167}{0,8424 \cdot 10^{-6} \cdot 450} = 438,7^\circ \text{C}$$

Ako sa nárast teploty bude meniť s počtom pripojených drôťikov ku kontaktom batérie? V nasledujúcej tabuľke uvádzame číselné hodnoty elektrického odporu, celkového prúdu, prúdu prechádzajúceho jedným drôťikom, teplo a nárast teploty pre rôzne počty pripojených drôťikov ku kontaktom 4,5 V batérie.

Tab. 2 Nárast teploty Joulovým teplom po pripojení rôzneho počtu drôťikov ku kontaktom batérie

Počet pripojených drôťikov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_V/Ω	1	0,5	0,33	0,25	0,2	0,167	0,14	0,125	0,11	0,1
I/A	2,25	3	3,38	3,6	3,75	3,85	3,94	4,0	4,05	4,09
I_1/A	2,25	1,5	1,12	0,9	0,75	0,64	0,56	0,5	0,45	0,409
Q_J/J	5,06	2,25	1,25	0,81	0,56	0,41	0,31	0,25	0,20	0,16
$\Delta t/^\circ\text{C}$	13289	5909	3282	2127	1470	1076	814	656	525	438

Z tabuľky vyplýva, že pripájaním väčšieho počtu drôťikov sa znižuje teplota, na ktorú sa za uvedených podmienok zohrejú drôťiky.

Upozorníme študentov, že uvedený výpočet nezohľadňuje dosiahnutie teploty topenia ocele a následnú skupenskú premenu. Teplota topenia ocele je 1350-1400 °C a teda výpočty nárastu teploty pre počet drôťikov 5 a menej sú zavádzajúce. K takémuto zvýšeniu teploty samozrejme nedôjde, chceli sme iba uviesť čitateľa a študentov do obrazu, že nárast teploty je dostatočne veľký.

Ako sa dozvieme v nasledujúcom, z tabuľky vyplývajú dôležité závery:

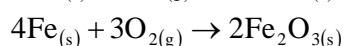
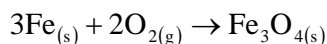
- Ak chceme proces horenia železa batériou spustiť, nesmieme kontakty batérie zasunúť hlboko do oceľovej vlny. Prečo? Je pravdepodobnosť pripojenia viac drôťikov ku kontaktom a tým ich zohriatie na nižšiu teplotu a nedosiahnutie potrebnej teploty.

- Pri pripojení 7 a menej drôťikov je ich nárast teploty vyšší ak 700 °C, čo sa ukazuje ako rozhodujúce.

Po vhodnom dotyku batérie elektrický prúd Joulovým teplom ohrieva drôťiky z oceľovej vlny na viac ako 700 °C. A teda čo sa deje ďalej?

c. Prítomnosť kyslíka

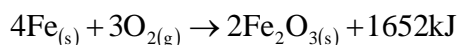
Železo pri teplote vyššej ako 700 °C veľmi rýchlo reaguje s kyslíkom zo vzduchu za vzniku oxidov železa.



Každá chemická reakcia je sprevádzaná uvoľňovaním alebo pohlcovaním tepla. Množstvo uvoľneného či pohlteneho tepla závisí od množstva reagujúcich látok, od ich skupenstva a spôsobu, akým reakcia prebieha. Reakcia železa s kyslíkom je exotermická reakcia, teda sústava vyvíja teplo a odovzdáva ho okoliu.

Reakčné teplo Q je množstvo uvoľnenej energie pri vzniku väzieb zmenšené o množstvo spotrebovanej energie na rozštiepenie väzieb v reaktantoch. Mólové reakčné teplo je množstvo tepla, ktoré sa uvoľní alebo spotrebuje, ak zreagujú také látkové množstvá reaktantov, ako udávajú stechiometrické koeficienty v chemickej rovnici.

Hodnoty reakčného tepla a skupenstvo reaktantov a produktov udávajú termochemické rovnice. Termochemická rovnica horenia železa za vzniku oxidu železitého je



Uvoľnené reakčné teplo $Q=1652$ kJ je dostatočné veľké množstvo tepla, ktoré spôsobuje ohriatie ďalšieho kúska železa, ktoré potom môže reagovať. V podstate železo horí rovnakým spôsobom ako uhlík v dreve.



Obr. 6 Heterogénne horenie železa

Jediný skutočný rozdiel je, že uhlie horí za vzniku oxidu uhličitého, čo je plyn, takže uniká do okolia, a oxid železa je vo forme pevnej látky, takže ostáva na povrchu horiaceho železného materiálu ako hrdza. Zhorí oceľová vlna celá? Aký popol zostane zo zhorenej oceľovej vlny?



Obr. 7 Zhorená oceľová vlna

Na povrchu takto „zhoreného“ železa je pozorovateľná hrdza. Môže byť oranžová, čo je forma oxidu železa Fe_2O_3 , alebo modrastá čo je pravdepodobne oxid železa Fe_3O_4 , ale bude to skôr zmes rôznych oxidov v závislosti na tom, koľko kyslíka môže dostať do železa.

Hrdza je oxid železitý, teda "popol" zo železa. Preto nemôže ďalej horieť. Toto je aj dôvod, prečo oceľová vlna nezhorí celá. Povrch vlákien pokryje hrdza a ďalej je oceľová vlna nehorľavá. Oceľová vlna prestane reagovať, keď oxidy železa na jej povrchu zabránia prístupu kyslíka k železu.

Ak je pravda, že „popol“ zo železa ostane na jeho povrchu a navyše je obohatený atómami kyslíka, potom „zhorené“ železo bude mať väčšiu hmotnosť ako to, ktoré zapálime. Môžeme sa o tom presvedčiť tak, že celý experiment urobíme na digitálnych váhach. Ak majú dostatočnú presnosť, potom tento efekt „nárastu

hmotnosti“ odhalia. V našom prípade sme použili váhy s presnosťou na 0,01 g a prírastok hmotnosti po zhorení ocelevej vlny s hmotnosťou 0,1 g bol 0,02 g.



Obr. 8 Váženie horiacej ocelevej vlny

Ak môžeme zapáliť ocelovú vlnu, prečo teda nemôžeme zapáliť klinec? Je to otázka plochy povrchu a objemu telesa. Horiaci proces je rýchla oxidácia kovu, musí priniesť do okolia dostatočné množstvo tepla, aby zohrialo ďalší malý kúsok železa na jeho zápalnú teplotu a tak bola udržiavaná reakcia.

Hrubé kusy železa príliš rýchlo odvádzajú teplo do väčšieho objemu a nezohrejú sa na zápalnú teplotu.

Detailný pohľad na ocelovú vlnu (makrofotografia) odhalí ďalší fyzikálny jav, ku ktorému v tomto experimente dochádza.

V zhorenej ocelevej vlně sa objavili malé guľôčky. Vedeli by ste vysvetliť, ako a kedy vznikli a čo existencia týchto guľôčok dokazuje?

Teplota pri horení ocelevej vlny dosiahla teplotu topenia ocele približne 1350-1400 °C. Pri tuhnutí roztavená (kvapalná) oceľ nadobudla tvar gule, tvar s minimálnou hodnotou energie a v takomto tvare stuhla. Guľôčky sú dôkazom dosiahnutia teploty topenia ocele pri jej horení.



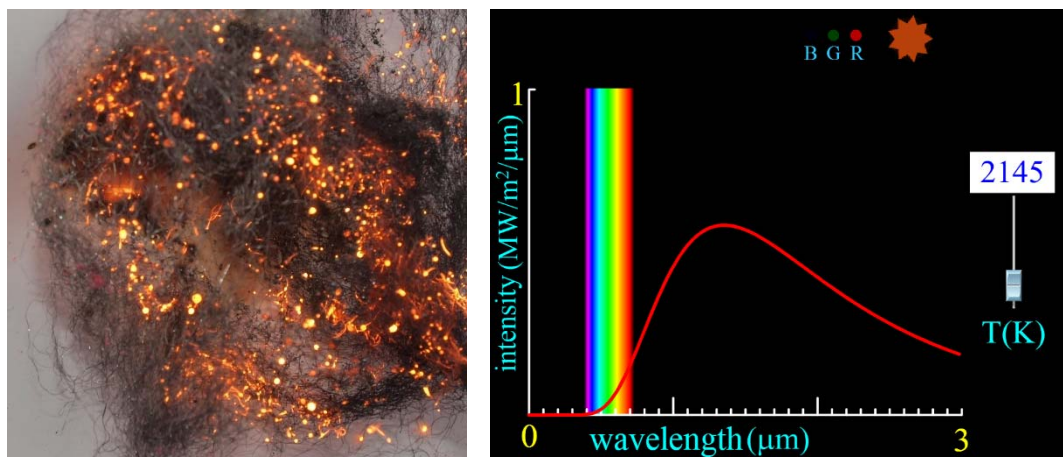
Obr. 9 Makrofotografia ocelevej vlny pred a po zhorení

Farba horiacej ocelevej vlny je oranžová. Ako je možné z farby horiaceho železa určiť jeho teplotu?

Každé teleso s teplotou vyššou ako je absolútna nula, vyžaruje do okolitého priestoru elektromagnetické žiarenie. Vlnová dĺžka, na ktorej toto teleso najviac vyžaruje, závisí od jeho teploty. Čím väčšia je teplota telesa, tým kratšiu vlnovú dĺžku má žiarenie, ktoré vysiela do priestoru.

Pri pohľade na horiacu ocelovú vlnu cez spektroskop môžeme pozorovať spojité spektrum s výraznou prevahou v oranžovej časti spektra. Ak využijeme dostupné applety na internete napr. <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/blackbody-spectrum>, ktoré modelujú rozloženie spektrálnej hustoty intenzity vyžarovania pri rôznych teplotách čierneho telesa, zistíme, že maximum vyžiarenej energie odpovedajúce oranžovej farbe je pri teplote približne 2100 K (pozri obrázok 11). Táto teplota zodpovedá prekročeniu teploty topenia železa a dokazuje dôvod prítomnosti "guľôčok" v zhorenom

železe. Roztavené kvapalné železo pri tuhnutí nadobudne tvar s minimálnou hodnotou povrchovej energie, tj. s najmenším povrchom, čomu odpovedá guľovitý tvar.



Obr. 10 Farba horiacej ocelevej vlny a jej teplota

Upozornenie z hľadiska bezpečnosti práce: opísané spaľovanie železa prebieha pri vysokej teplote, preto:

- experiment vykonávajte na nehorľavej podložke,
- ocelevej vlny sa nedotýkajte, čakajte, pokiaľ nevychladne.

Aké sú ďalšie možnosti experimentálneho skúmania opísaného javu:

- vzhľadom na dostupnosť ocelevej vlny pozostávajúcej z vlákien rôznych hrúbok je vhodné preskúmať ich reakcie za inak rovnakých podmienok,
- preskúmať, ako bude vplývať na proces horenia fúkanie,
- odmerať teplotu horiacej ocelevej vlny pomocou infračerveného teplomera,
- skúmať, aký je rozdiel v horení viac či menej načechranej ocelevej vlny,
- vypočítať, aké percento ocelevej vlny pri horení zreagovalo s kyslíkom,
- aké percento zreagovanej vlny ovplyvňuje druh podložky, na ktorej železo horí?

Záver

Opísanú aktivitu sme realizovali so študentmi 3. ročníka gymnázia v predmete seminár z fyziky. Študenti mali najskôr predstavu o jave horenia ako o výlučne chemickom procese a tak sme sa pokúsili poukázať aj na fyzikálny pohľad na tento jav. Experiment sa ukázal ako veľmi vhodný pre prepojenie fyzikálno-chemického pohľadu na opísaný proces horenia.

Aplikácia javu zohrievanie vodiča Joulovým teplom a zapálenie oceleových pilín 4,5 V batériou boli pre študentov mimoriadne prekvapivé a to bol prvý krok k zvýšenému záujmu o opis sledovaného javu. Experiment považujeme za vhodné realizovať v tematickej časti Elektrina.

Literatúra

TRNA, J. 2012. *Jak motivovat žáky ve fyzice se zaměřením na nadané*. 1.vyd. Brno: Paido, 2012, 109 str. ISBN 978-80-7315-238-3

Adresa autora

PaedDr. Jozef Beňuška, PhD.
Gymnázium Viliama Paulinyho-Tótha v Martine
Malá hora 3, 036 01 Martin
jbenuska@nextra.sk