

Preprosta demonstracija fosforescence pri fluorescentni sijalki

dr. Aleš Mohorič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Institut Jožef Stefan

Izvleček

Pomembno je, da pri pouku fizike pokažemo, da se fizika tiče svetá okoli nas, in da dijaki z učenjem fizike spoznava-jo tudi sodobne naprave, najboljše ob poskusih. Izšel je članek, ki opisuje preprost testni poskus, s katerim izmerimo fosforescenco fluorescentne sijalke [1]. Prispevek temelji na članku [2], ki učitelju ponudi učni načrt, s katerim vodi dijaka po korakih skozi delovanje fluorescentne sijalke in razjasni razliko med fluorescenco in fosforescenco. Koraki vključujejo ključno znanje in kompetence raziskovalnega procesa, kot so načrtovanje poskusa, snovanje predpostavk in testiranje hipoteze. Tu bom povzel vsebino in opisal razmeroma preprost poskus z doma dosegljivo opremo, ki ga lahko vključimo v pouk nekje po obravnavi izmeničnih tokov in svetlobnih spektrov, npr. ko obravnavamo spektre različnih svetil. Tema je zanimiva tudi za obravnavo atomskih energijskih stanj. Pri poskusu dijaki spoznajo osnovo delovanja fluorescentne sijalke, ki se poleg sijalk LED uporablja za razsvetljevanje večjih prostorov.

Ključne besede: fluorescenca, fosforescenca, fluorescentna sijalka, vrtenje kamere

A Simple Demonstration of Phosphorescence on a Fluorescent Bulb

Abstract

Two of the important purposes of physics classes is to convey that physics is part of the world around us and to teach students about the modern devices, which is best accomplished through experiments. An article was published which describes a simple experiment of measuring the phosphorescence of a fluorescent bulb [1]. This paper is based on the article [2] that provides teachers with a lesson plan to guide students step-by-step in learning about the functioning of a fluorescent bulb and explaining the difference between fluorescence and phosphorescence. The steps include key knowledge and competences of the research process, such as experiment planning, formulation of suppositions and hypothesis testing. The paper summarizes this content and describes a relatively simple experiment using home equipment that can be included in class after students have learned about alternating current and light spectrum, e.g. when learning about the spectra of various light sources. This topic is also interesting when learning about energy levels of an atom. During the experiment, students learn the basics of fluorescent bulbs that are used, along with LED light bulbs, to illuminate larger spaces.

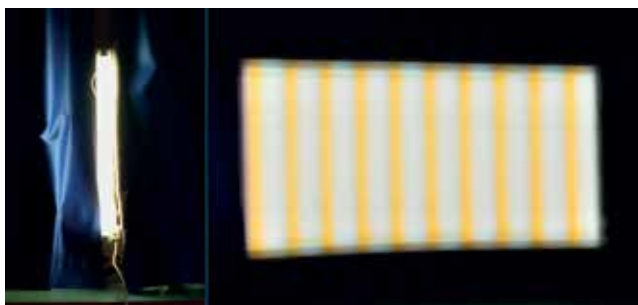
Keywords: fluorescence, phosphorescence, fluorescent bulb, camera rotation

Fluorescentna sijalka deluje tako, da pretvori ultravijolično svetlobo električno stimulirane živosrebrne pare v vidno svetlobo [3]. Para je pod nizkim tlakom v stekleni cevi, ki ima na notranji strani stene plast fluorescenčne snovi. Hitri elektroni s trki vzbujajo atome živega srebra. Fluorescenčna plast pretvori živosrebrni emisijski spekter, v katerem je najmočnejša ultravijolična spektralna črta, v širši spekter vidne svetlobe, primernejši za osvetljevanje in oči. Spekter je odvisen od vrste snovi, iz katere je narejena plast [4]. Fluorescentne sijalke v Evropi napaja izmenični tok s frekvenco 50 Hz. Električna

moč je sorazmerna kvadratu toka in zato je frekvenca, s katero niha moč, dvakrat večja, 100 Hz (spomnimo: $\sin^2 x \propto \sin 2x$). Električna moč je v kratkem delu amplitude, ko tok niha skozi nič, relativno majhna in slabše sijalke zato moteče utripajo. Obstajata dve rešitvi – lahko elektronsko povečamo frekvenco toka ali pa v pretvorni plasti uporabimo snov, ki oddaja svetlobo z zamikom – s fosforescenco [5, 6]. Utripanje sijalk lahko opazujemo na posnetkih hitrih kamer [2, 5]. Kamero lahko pri pouku uporabimo na različne načine, predvsem v mehaniki in optiki, na voljo pa so razni načini slikanja, od hitrih vide-

oposnetkov [2, 5, 6, 7] prek hitrih zaporednih osvetlitev, večkratnih osvetlitev do stroboskopskih posnetkov [8, 9, 10, 11, 12]. Kamero med poskusom redko premikamo. Nekaj primerov vseeno lahko naštejemo: preiskave načela ekvivalentnosti s prosto padajočo kamero [13] in fotografiranje z vrtečo kamero, s katerim razločimo gibanje [14]. Zanimiv primer je slikanje večkratnega udara strele [15]. Vrtenje kamere razkrije časovni potek strele, v katerem lahko prepoznamo več zaporednih udarov.

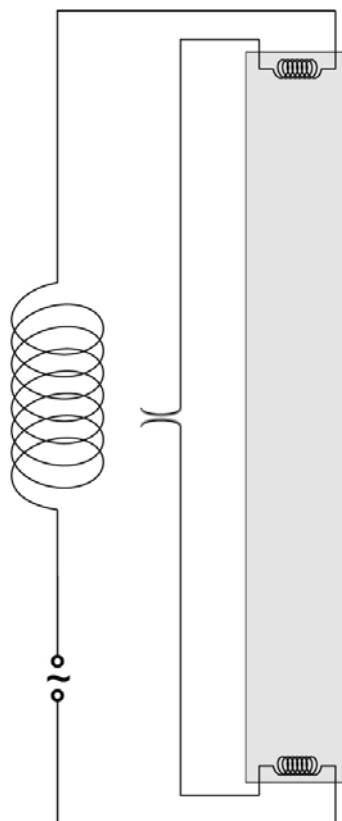
Tu je predstavljen poskus, s katerim raziskujem fosforescenco s fotografsko kamero, pri kateri imamo možnost nastaviti čas osvetlitve. Sam sem uporabil čas osvetlitve 0,1 s. Sijalko sem postavil navpično, kot kaže slika 1 levo, in kamero zavrtel v vodoravni ravnini (okoli navpične osi) ter naredil fotografijo s podaljšano osvetlitvijo. Boljši rezultati nastanejo, če je kamera postavljena na stabilni, prosto vrtiljivi podlagi. Sprožitev kamere ob pravem trenutku zahteva nekaj vaje, lahko pa naredite sprožilni mehanizem (elektronsko to ne bi smelo biti prezahtevno), da sproži kamero v trenutku, ko je sijalka v kadru. Nekoliko pomaga tudi, če se s kamero odmaknemo dlje stran od sijalke, saj je potem zorni kot okoli sijalke večji. S tem seveda zmanjšamo ločljivost posnetka. V nekaj poskusih mi je uspelo narediti fotografijo na sliki 1 (desno). Če je slika nad- ali podosvetljena, lahko prilagodite zaslonko in občutljivost slikovnega tipala. Fotografijo, ki nastane med vrtenjem kamere, enostavno opišemo z osnovno geometrijsko optiko. Lega sijalke v kadru se spreminja skoraj sorazmerno s časom, če kamero vrtimo enakomerno, in slikovni elementi na fotografiji si v vodoravni smeri sledijo v času od začetka osvetljevanja. Če je okolica dovolj temna v primerjavi s sijalko, bo na fotografiji vidna zgolj sled, ki jo na tipalu pusti sijalka. Z absciso fotografije torej lahko povežemo čas, v katerem je osvetlitev nastala. Seveda to pomeni, da mora biti razsežnost sijalke v smeri premikanja kadra majhna. Tako posneta fotografija jasno kaže utripanje sijalke. Vze-



Slika 1: Statična fotografija pokonci postavljene fluorescentne sijalke, uporabljene pri poskusu (levo). Desno je fotografija, ki nastane med vrtenjem kamere v desno. Na fotografiji nastane niz svetlejših in temnejših prog, ki ustrezajo maksimumu in minimumu električne moči. Čas osvetlitve je bil 0,1 s in na sliki lahko naštejemo deset temnejših, rumenkastih prog, kar ustreza frekvenci utripanja sijalke 100 Hz ter frekvenci električnega toka 50 Hz.

ti moramo seveda starejšo sijalko, ki utripa s frekvenco 100 Hz. Jasno se vidijo svetlejše, bele proge, ki ustrezajo polni moči delovanja sijalke, in temnejše, rumenkaste, ki ustrezajo šibki moči in so posledica fosforescence plasti. Plast sveti rumeno zato, ker je svetloba živosrebrne pare modrikasta, plast pa ji mora primešati rumenkasto, da nastane bela svetloba. Torej je tako narejeno nalašč. Enakomerno utripanje služi tudi umeritvi časovne skale – en utrip se zgodi v stotinki sekunde.

Ob obravnavi električnega napajanja sijalke je treba omeniti tudi električno vezje, v katero je sijalka priključena, in ga kaže slika 2 [16]. Od vira izmenične napetosti teče veja skozi tuljavo (v tej vlogi jo imenujemo tudi dušilka) in od nje se razcepita dve vzporedni veji. Ena, očitna, gre skozi element električnega vezja, ki ga žargonsko imenujemo »štarter« in je pravzaprav avtomatično stikalo z bimetalnim stikom, druga pa gre skozi sijalko. Ta veja na prvi pogled ni očitna in ustreza neskončnemu upor, ko je v cevi sijalke plin, in kratkemu stiku, ko je v cevi sijalke plazma. Veji se združita na drugem polu vira napetosti. Ko sijalko priključimo, plin v cevi ni ioniziran in upor sijalke je tako velik, da skozi njo ne teče električni tok. Tok teče skozi žarilne nitke v cevi, iz katerih izhajajo termični elektroni, ki kasneje nosijo tok skozi plazmo. Priključka stikala sta približno vzporedni upogibni bimetalni žički, ki sta v ugasnjem stanju ločeni. Ko stikalo priključimo na izmenično napetost, nastane v okolici žiček plazma. Tok skozi stikalo greje priključka, ki se zato približujeta. Ko se stakneta, plazma izgine in



Slika 2: Shema vezave fluorescentne sijalke: elementi so vir izmenične napetosti, tuljava (dušilka), žarilni nitki, stikalo, cev sijalke, v kateri se zadržuje plazma.

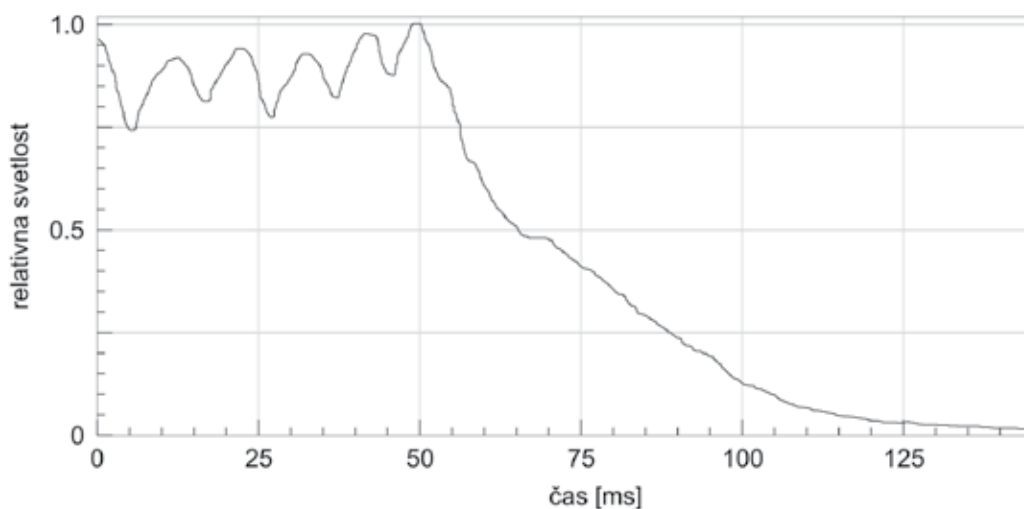
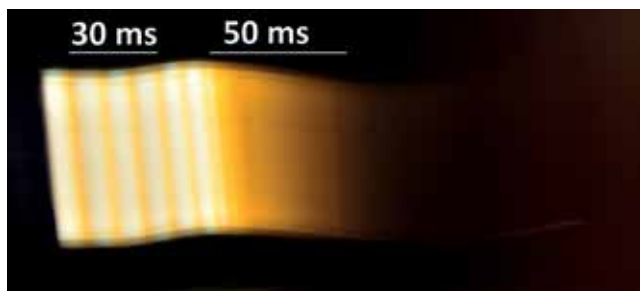
žički se začneta ohlajati, bimetal pa se vrača v prvotno obliko. Ko se tokokrog razklene, se na priključkih tuljave inducira dovolj visoka napetost, da v cevi sijalke ustvari plazmo – pospeši elektrone z žarilne nitke tako, da s trki lahko ionizirajo plin v cevi. Med priključkoma sijalke takrat skoraj nastane kratki stik in tuljava s svojim indukcijskim uporom omeji tok, ki teče iz vira. Tok niha s frekvenco 50 Hz, kar je dovolj hitro, da vzdržuje plazmo v cevi. Napetost na stikalu je zanemarljivo majhna in v njem med delovanjem sijalke ni plazme.

Fosforescenco sicer opazimo že na fotografiji na sliki 1 desno, lahko pa tudi analiziramo relaksacijski čas – torej koliko časa po vzbujanju snov še oddaja svetlobo. To lahko naredimo tako, da med posnetkom sijalko ugasnemo. To je nekoliko zapletenejše in terja nekaj poskusov ter spretnosti. Uskladiti moramo vrtenje kamere, sprožitev posnetka in izklop sijalke. Sam sem potreboval okoli 20 poskusov, da mi je uspel posnetek, ki ga kaže slika 3. Sijalka ugasne nekje na polovici intervala osvetlitve. Po zavitem robu posnetka je očitno, da je os kamere med vrtenjem opletala. Na sliki jasno razločimo na začetku (levi del slike) šest utripov in v njimi si lahko pomagamo

pri določitvi časovne skale. Ko sijalka ugasne, se svetlost lise na fotografiji proti desni (kasnejši časi) eksponentno manjša zaradi fosforescence. S primernim programom za obdelavo slik (sam sem uporabil ImageJ [17]) lahko odčitamo svetlost posameznih slikovnih elementov in privzamemo, da kar ustrezajo svetlobnemu toku. Ordinati izmerkov ustreza svetlost slikovnega elementa, abscisi pa lega od levega roba slike, kar interpretiramo kot čas, ob katerem smo določili svetlost sijalke. Izmerkom svetlosti kot funkcije časa lahko prilagodimo eksponentno krivuljo in določimo karakteristični čas, ki je v našem primeru 50 ms. Tega lahko s srednješolci določimo tudi tako, da z grafa odčitamo, kdaj se vrednost zmanjša na tretjino ($\sim 1/e$) začetne. Izmerjeni rezultat se dobro ujema s podatki iz literature [5].

Predlagani poskus v enem zamahu demonstrira utripanje električne moči, barve svetlobe in fosforescenco. Poskus ima pomanjkljivost, saj ne loči med fosforescenco in relaksacijo plazme, ter se lahko uporabi kot testni poskus opazovalnega poskusa, ki ga je zasnoval Planinšič [2].

Poskus nudi še nekaj dodatnih izzivov, ki jih v prispevku ne obravnavam, kot sta določanje hitrosti vrtenja kamere in določanje časovne ločljivosti eksperimenta z znano ločljivostjo kamere in razsežnostjo sijalke. Analizirali bi lahko tudi vklop sijalke in primerjali različne sijalke.



Slika 3: Fotografija fluorescentne sijalke, narejena s podaljšano osvetlitvijo z vrtečo kamero v času izklopa sijalke (zgoraj). Po začetnem utripajočem delu na levi strani fotografije se jasno vidi pojemajoča svetloba fosforescence. Prečno čez sliko s primernim programom odčitamo svetlost svetlobnih elementov in jih naneseemo kot funkcijo lege, ki ponazarja čas. Časovno skalo določimo iz razdalje med dvema minimumoma pri utripanju, ki ustrežata stotinki sekunde. Graf spodaj kaže v prvem delu utripanje svetlobne moči in kasnejše eksponentno pojemanje svetlobnega toka zaradi fosforescence.

Literatura

- [1] Aleš Mohorič (2018). Simple demonstration of phosphorescence in a fluorescent lamp by camera panning, *Phys. Teach.* 56, 260–261 (April 2018).
- [2] Gorazd Planinšič (2016). Fluorescence and phosphorescence: Easier to investigate than to spell, *Phys. Teach.* 54, 442–443 (October 2016).
- [3] Nicholas R. Guilbert (1996). Shedding some light on fluorescent bulbs, *Phys. Teach.* 34, 20–22 (January 1996).
- [4] Yaakov Kraftmakher (2010). Experiments with Fluorescent Lamps, *Phys. Teach.* 48, 461–464 (October 2010).
- [5] Michael Vollmer in Klaus-Peter Möllmann (2015). Flickering lamps, *Eur. J. Phys.* 36, 035027+20 (May 2015).
- [6] Pasquale Onorato, Luigi Gratton, Massimiliano Malgieri in Stefano Oss (2010). The photoluminescence of a fluorescent lamp: didactic experiments on the exponential decay, *Phys. Educ.* 52, 015011+8 (January 2017).
- [7] André Heck in Peter Uylings (2010). In a Hurry to Work with High-Speed Video at School?, *Phys. Teach.* 48, 176–181 (March 2010).
- [8] Robert J. Beichner (1996). The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills, *Am. J. Phys.* 64, 1272–1277 (October 1996).
- [9] Juraj Slabeycius, Daniel Polčín (2014). SCHOOL PHYSICAL EXPERIMENT Promoted by Digital Photographic Camera and Computer, *Eur. Int. J. Sci. Techn.* 3, 115–125 (October 2014).
- [10] Thomas B. Greenslade Jr. (1990). Photography in the classroom, *Phys. Teach.* 28, 148–154 (March 1990).
- [11] G. W. Dorling (1966). Stroboscopic photography, *Phys. Educ.* 1(4), 236–240 (November 1966).
- [12] Douglas Brown in Anne J. Cox (2009). Innovative Uses of Video Analysis, *Phys. Teach.* 47, 145–150 (March 2009).
- [13] Valery Mayer in Ekaterina Varaksina (2016). A simple demonstration when studying the equivalence principle, *Am. J. Phys.* 84, 382–383 (June 2016).
- [14] N. E. Heath (1971). Camera panning in stroboscope photography, *Phys. Educ.* 6(4), 225–226 (July 1971).
- [15] John G. Albright (1937). A Lightning Flash and Its Component Strokes, *J. App. Phys.* 8, 313–318 (May 1937).
- [16] Predavanja pri predmetu „Kako stvari delujejo?“, Gorazd Planinšič, in osebna korespondenca.
- [17] ImageJ je prosto dostopen na <https://imagej.nih.gov/ij/>.