



IZVORI SVJETLOSTI I SVJETLOSNO ZAGAĐENJE

Goran Pichler

Institut za fiziku, Bijenička c. 46, 10000 Zagreb

e-mail: pichler@ifs.hr

UVOD

Zna se da su neandertalci poznavali vatru, što je dakako ne samo promijenilo način prehrane i uopće pradavnog života, već je i kao prvi izvor svjetlosti osvijetlio pećinska skloništa i nastambe učinio ugodnijim i sigurnijim. Od obične vatre, koja se brižno čuvala, potekli su inovativnim nastojanjima kromanjonaca i drugi izvori svjetlosti na bazi životinjskih masti i ulja. Kada bi se pratio razvoj izvora svjetlosti od pojave civilizacije onda bi se moglo zaključiti da je uzor bilo Sunce. Postići da u mraku ostvari djelić dnevnog sjaja nevjerojatan je intelektualni uspjeh mezopotamske, helenističke i starorimske civilizacije.

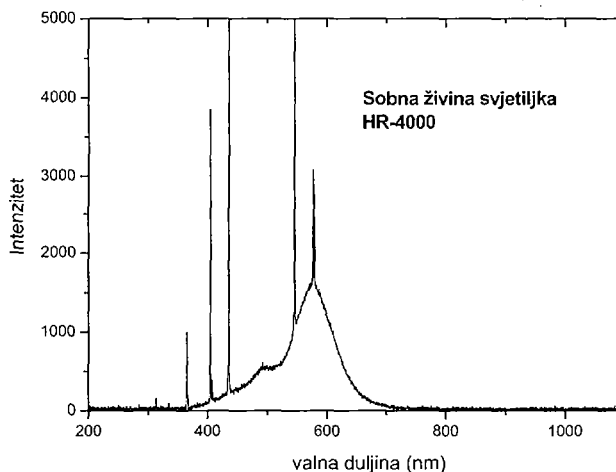
Svjetlost u mraku oduvijek je bila opsesija istraživača od renesanse pa sve do današnjih dana. Pojavile su se plinske svjetiljke, pa onda i izvori svjetlosti na osnovi električkih izboja. I upravo ovi posljednji bilježe nevjerojatne uspjehe u nastojanju oponašanja sjaja i spektra Sunca.

Nisko- i visoko-tlačne žarulje punjene živom, natrijem i plemenitim plinovima zavladaše cijelim planetom i Zemlja se po noći iz Svemira vidi sasvim lijepo obasjana prekrasnom žućkastom rasvjetom [1]. Naročito je to istaknuto na geografskim položajima, gdje je i civilizacija na najvišoj razini. Na žalost, uspjesi moderne svjetlotehlike uzrokovali su takozvano svjetlosno zagađenje, koje u noćni život životinja i biljaka unosi smetnju, koja će vremenom postati itekako značajna.

IZVORI SVJETLOSTI

Često se govori o neonskim reklamama, jer se nekada zaista radilo o izbojnim cijevima punjenim plemenitim plinom neonom. Prepoznatljivo je svjetlucaje neonskih reklama crvenkastom bojom. Budući da je neon prilično skup, često se upotrebljavao argon. Vremenom se razvila tehnika niskotlačnih električnih izboja punjenih živom. Odmah nakon paljenja izboja u argonu, živine pare dosegnu dovoljan pritisak da slobodni elektroni u sudaru sa živinim atomima pobuđuju mnogobrojne energijske razine. Iz tih pobuđenih razina spontanom prijelazima u niža stanja zrači se karakteristična svjetlost. Na Slici 1. vidimo spektar sobne živine svjetiljke. Pored poznate četiri spektralne linije u vidljivom dijelu spektra, vide se i ultraljubičaste spektralne linije. UV linije žive mogu imati loš utjecaj na vid kod dugog izlaganja. Vrlo jaka interkombinacijska linija žive na 253 nm se ne vidi u snimljenom spektru jer je na unutrašnjem oblogu staklene cijevi nanesen fluorescentni prah (najčešće dvo- ili tro-komponentni), koji

apsorbira ove "tvrde" fotone i reemitira neprekidnu vidljivu svjetlost. Ako i preostane fotona interkombinacijske linije oni će na putu kroz staklenu cijev biti u potpunosti apsorbirani.



Slika 1. Spektar sobne živine svjetiljke snimljene spektrometrom OceanOptics HR-4000.

Živine niskotlačne žarulje imaju zadovoljavajuću bijelu boju i efikasnost od oko 50 lumena po vatu. Niskotlačne žarulje punjene natrijem i plemenitim plinom dosežu efikasnost od 200 lm/W, i još uvijek predstavljaju najefikasniji izvor vidljive svjetlosti. Na žalost, gotovo sva svjetlost izračena je u dvije bliske rezonantne spektralne linije na 589 i 589,6 nm. Reprodukcijska boja je naravno prilično loša u uvjetima takvog osvjetljavanja, ali u nekim važnim prometnim situacijama i lokacijama ove žarulje imaju važnu primjenu. Astronomi su se najviše radovali ovim svjetiljkama, jer im nisu smetale pri promatranju neba, jer su žutu boju mogli relativno lako ukloniti iz spektralnih promatranja upotrebom uskopojasnih filtera.

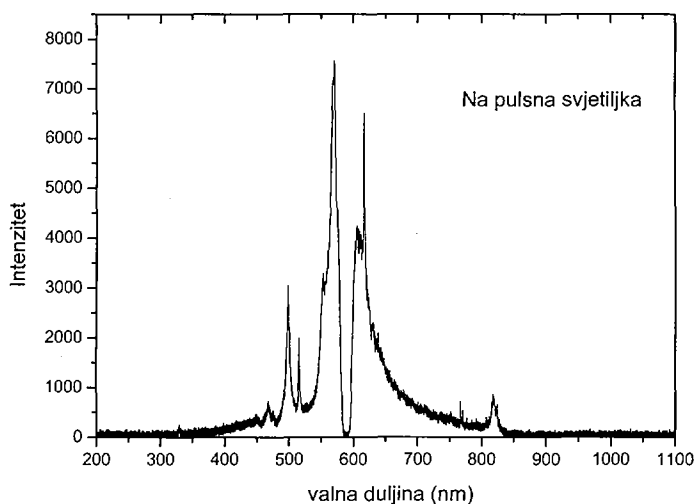
VLADAVINA VISOKOTLAČNIH IZVORA SVJETLOSTI

Napretkom kvarcne tehnologije omogućena je izrada žiška u kojem su živine pare mogle doseći prilično visoke temperature, a da se zidovi žiška ipak ne rastale ($T \sim 800$ K). Pritisak živinih para i koncentracija živinih atoma toliko je mogla narasti da su spektralne linije postigle znatna proširenja.

Uskoro su se pored žive u žižak ubacivali razni metali kao spojevi s jodom, koji su svojim karakterističnim i izrazito jakim rezonantnim spektralnim linijama

obogatili siromašan spektar žive i ostvarili dojam bijelog izvora svjetlosti, koji se mogao koristiti u televizijskim studijima, zbog izvrsne reprodukcije boja.

Bitan napredak učinjen je kada se umjesto kvarcnog žiška pojavio žižak od alumine ili polikristaliničnog safira. Translucentnost takvog tvrdog materijala postignuta je zbog 0,1% primjese magnezijevog oksida. Glavne karakteristike žiška od translucentne alumine je visoka radna temperatura od 1300°C, izvrsna termalna vodljivost uz istovremenu električnu izolaciju [2]. Takav žižak mogao je udomiti vruće i guste pare natrija čiji karakteristični spektar možete vidjeti na Slici 2.



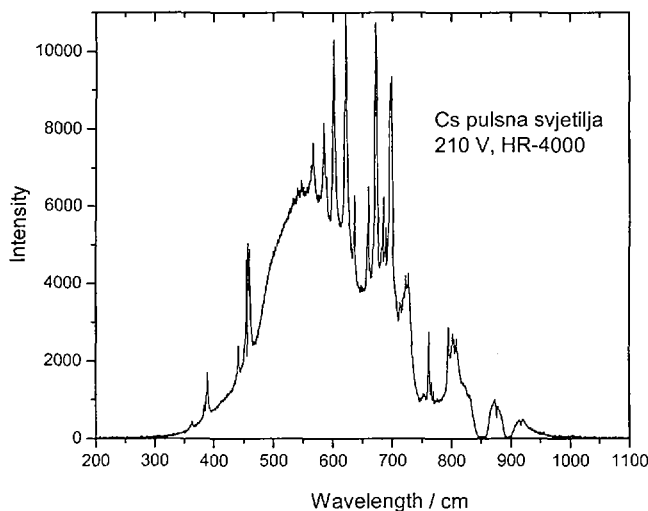
Slika 2. Spektar visokotemperaturne izbojne plazme čistog natrija u pulsnom izboju.

Natrijeve žarulje najčešće dolaze u izvedbi sa živom. Tehnološki je lakše puniti žiške s natrijevim amalganom. Spektar u tom slučaju dobiva dodatne značajke koje dolaze od NaHg ekscimerskih spektralnih prijelaza i poprimaju zanimljive oscilatorne strukture. Same rezonantne linije natrija u potpunosti su stopljene i zapravo samoapsorbirane u centralnom dijelu. Ove žarulje imaju efikasnost od oko 100 lm/W i najviše su se rasprostranile po cijelom civiliziranom svijetu. Reprodukcija boje im nije baš zadovoljavajuća, a same žarulje izgledaju žute. Kod većih punjenja s čistim natrijem apsorbirani dio se znatno povećava, ali se i sama spektralna linija proširuje po cijelom vidljivom spektru i dobiva se dojam bijele svjetlosti.

Visokotlačne žarulje razvijaju se i danas, a naglasak je na metal-halogenim spojevima koji se umeću u žiške od alumine u vrlo složenom tehnološkom procesu. Punjenje s natrijevim, talijevim i indijevim jodidima je standardno, ali isto tako i sa

skandijem i natrijem. U oba slučaja postiže se vrlo ugodna i topla bijela boja ovih novih izvora svjetlosti.

Od novijih pokušaja daljnjeg razvoja može se spomenuti visokotlačna pulsna cezijeva žarulja s plemenitim plinom ksenonom, čiji je spektar prikazan na Slici 3.

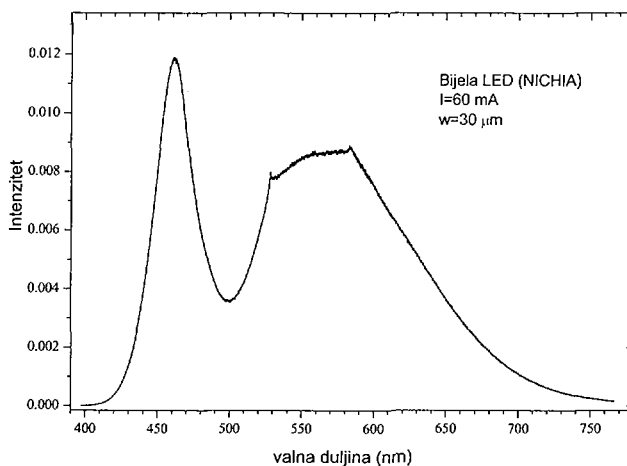


Slika 3. Spektar visokotlačne pulsne cezijeve žarulje.

Izraziti kontinuirani spektar ove žarulje može se djelomice pripasati na Planckovu krivulju zračenja crnog tijela na oko 3900 Kelvina. Na žalost, i pored zanimljivih spektralnih karakteristika i izvrsne reprodukcije boje, nije se krenulo u proizvodnju ovih žarulja, jer im efikasnost nije prelazila 50 lm/W [4].

KRAJ VLADAVINE VISOKOTLAČNIH IZVORA SVJETLOSTI: SVJETLEĆE DIODE

Svjetleće diode (LEDs, Light Emitting Diodes) su se pojavile dosta davno, ali tek nedavno su počele vrlo ozbiljno konkurirati ostalim izvorima svjetlosti u redovitoj upotrebi. Uzrok tome je u novom poluvodičkom materijalu GaN, koji se uz bitne tehnološke inovacije mogao proizvesti u p i n tipu poluvodiča, što je uz veliku zabranjenu zonu omogućilo zračenje, uslijed rekombinacije elektrona i šupljina, u plavom dijelu spektra. Ta plava svjetlost se zgodnom kombinacijom "fosfora" može djelomice konvertirati u veće valne duljine, pa se dobije dodatni kontinuirani spektar s maksimumom blizu 550 nm [4]. To već odgovara maksimumu zračenja Sunca. Zaista, neke od najnovijih bijelih svjetlećih dioda imaju ugodnu bijelu svjetlost, koja odgovara zračenju crnog tijela na oko 5500 K. Spektar jedne od prvih bijelih "LEDica", prikazan je na Slici 4.



Slika 4. Spektar bijele svjetleće diode.

Nema sumnje da će bijele svjetleće diode sve više osvajati tržište unutrašnje, a polako i vanjske rasvjete. Svjetlost je zadovoljavajuće kvalitete, može se vrlo lako elektroničkim putem upravljati, a radi se o zaista dugovječnim napravama. Njihova efikasnost od oko rekordnih 36 lm/W, neprestano raste i danas već dostiže skoro 100 lm/W, ali u kratkotrajnim eksperimentima. Kod velikih efikasnosti problem zagrijavanja i odvođenja topline postaje sve ozbiljniji, ali i tome se može naći lijeka.

BUDUĆNOST IZVORA SVJETLOSTI

Teško je danas predvidjeti kuda će nas odvesti napredak znanosti i tehnologije u području novih izvora svjetlosti [5]. Zasiurno će se miješati područja fizike lasera (*random laser action*), fizike novih materijala, a posve vjerojatno utjecaj nano-tehnologije neće biti zaboravljen. Nove tehnologije rasvjete s pulsnim režimom rada, pametna arhitektura vanjske i unutrašnje rasvjete uz nužno očuvanje prirode biti će samo neki od najvažnijih parametara u tom razvoju. No težnja prema što efikasnijoj rasvjeti, tj. uštedi energije, biti će pri tome jako istaknuta.

SVJETLOSNO ZAGAĐENJE

Difuzija vidljivog svjetla u prostore izvan naselja danas predstavlja sve veću opasnost po biljni i životinjski svijet. O tome već postoje brojni zakoni u zemljama širom svijeta. Nas će zanimati nekoliko eksperimenata na razini molekularnih staničnih procesa, koji definitivno mogu promijeniti ponašanje biljaka i životinja u inače mirnom noćnom životu.

LITERATURA

- [1] Waymouth JF. Electric Discharge Lamps. Cambridge:MIT Press, 1971.
- [2] De Groot JJ, Van Vliet JAJM. The High-Pressure Sodium Lamps. Philips Technical Library, Scholium Intl., 1986.
- [3] Pichler G, Živčec V, Beuc R, Mrzljak Ž, Ban T, Skenderović H, Günther K, Liu J. UV, Visible and IR Spectrum of the Cs High Pressure Lamp. Physica Scripta 2003; T105: 98-100.
- [4] Born M, Jüstel T. Umweltfreundliche Lichtquellen. Physik Journal 2003; 2: 43.
- [5] Žukauskas A, Shur M S, Caska R. Introduction to Solid-State Lighting. Wiley, New York, 2002.

LIGHT SOURCES AND LIGHT POLLUTION

Goran Pichler

Institute of Physics, Bijenička c. 46, HR-10000 Zagreb, Croatia

e-mail: pichler@ifs.hr

From the dawn of mankind fire and light sources in general played an essential role in everyday life and protection over night. The development of new light sources went through many stages and is now an immense technological achievement, but also a threat for the wildlife at night, mainly because of the so-called light pollution. This paper discusses several very successful light sources connected with low pressure mercury and sodium vapour electric discharges. The luminous efficacy, colour rendering index and other lighting features cannot be always satisfactory, but at least some of the features can be much better than those met by the standard tungsten filament bulbs. High-pressure metal-vapour discharge lamps definitely have a good colour rendering index and a relatively high luminosity. Different light sources with burners at high pressure are discussed, paying special attention to their spectrum. The paper investigates new trends in development through a number of examples with non-toxic elements and pulsed electric discharge, which may be good news in terms of clean environment and energy savings. Light emitting diodes have recently appeared as worthy competitors to conventional light sources. White LEDs have approached 100 lumen/Watt efficacy in laboratories. This suggests that in some not very distant future they could completely replace high-pressure lamps, at least in indoor lighting. The article speculates on new developments which combine trends in nanotechnology and material science. The paper concludes with light pollution in view of several recent observations of plant and animal life at night in the vicinity of strong light sources. Photo-induced changes at the cell level may completely alter the normal life of plants and animals.

PREDAVANJE UZ OKRUGLI STOL
ROUND TABLE OPENING LECTURE

