

F5170 Úvod do fyziky plazmatu

Lenka Zajíčková

Faculty of Science & CEITEC, Masaryk University, Brno
lenkaz@physics.muni.cz

Demonstration Experiments
fall semester 2014



Gas-discharge lamps: light sources

A most obvious outcome of the plasma is its light emission

⇒ **Light sources represent one of the applications of plasma.**

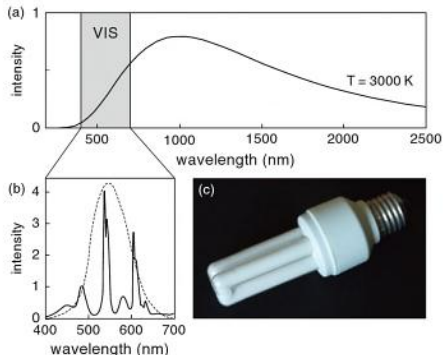
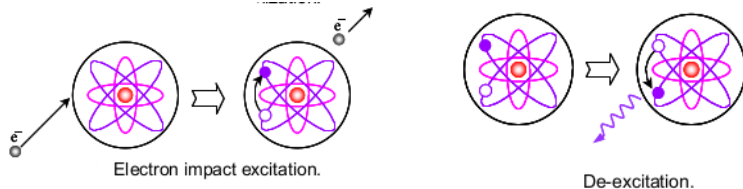


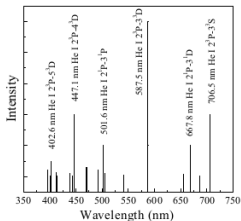
Fig. 1.10 (a) The spectrum of an incandescent lamp is represented by black-body radiation at $T = 3000\text{ K}$. The shaded rectangle marks the visible spectral range. (b) The spectrum of a fluorescent tube with a modern tri-phosphor coating (solid line) in comparison with the eye-sensitivity curve $V(\lambda)$ (dashed line). (c) Compact fluorescent lamp

How is the plasma generated for this application? - by **gas discharge** in which a high enough electric field is applied to accelerate electrons and consequently produce electron-ion pairs \Rightarrow **gas ionization**.

There are fast electrons in plasma that can excite atoms or molecules to higher energetic states. The life-time of most excited states is very short (10 – 1000 ns) and electrons de-excite by **spontaneous light emission**.



The collisional processes are relatively simple in **plasma of inert gases** (He, Ar, Ne ...) because these elements do not form molecules.



Ionizační potenciál vybraných atomů

	E_{i1}	E_{i2}	Zajímavost
H	13.6 eV	nemá	tvoří skoro 75% hmoty ve vesmíru
He	24.6 eV	54.4 eV	supratekuté pro magnety, tvoří skoro 25% hmoty ve vesmíru
N	14.5 eV	29.6 eV	tvoří hlavní složku zemské atmosféry
Ne	21.6 eV	40.9 eV	jméno vymyslel 10letý syn fyzika Williama Ramsaye
Ar	15.8 eV	27.6 eV	své jméno získal z řeckého "argos" - líný

Kde $1 \text{ eV} \approx 96,485 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Gas-discharge lamps: light sources

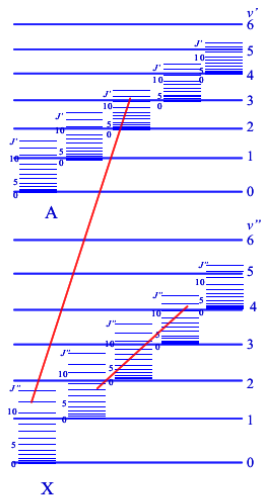


Fig. 4. Vibrational and rotational energy levels.

Processes in plasma are more complex if molecular gas is present:

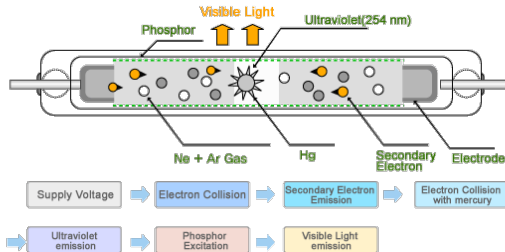
- ▶ electron impact dissociation \Rightarrow mixture of components, loss of electron energy, chemistry
- ▶ excitation of vibrational and rotational levels

Gas-discharge lamps: light sources

Typically, lamps use a noble gas (argon, neon, krypton and xenon) or a mixture of these gases. Most lamps are filled with additional materials, like mercury, sodium, and metal halides.

The type of the gas-discharge lamp depends on the type of the discharge:

- ▶ low-pressure discharges in fluorescent tubes for office and domestic lighting



- ▶ electric arcs in high-pressure lamps for street lights or data projectors

Gas-discharge lamps: light sources

The enormous energy saving of plasma-based lighting stems from the efficient use of radiation within the range of spectral sensitivity of human eye:

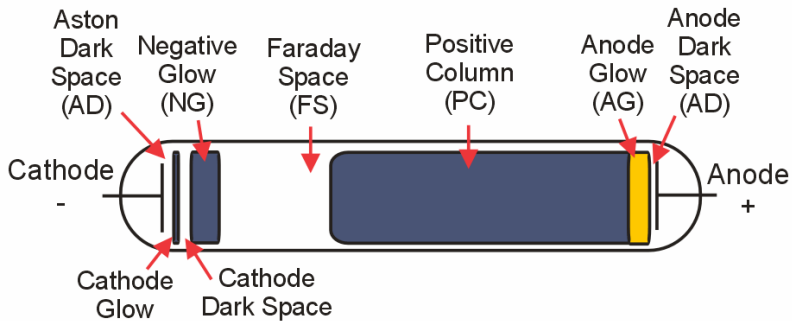
Table 1.4 Comparison of the efficacy and colour rendering index (CRI) of various light sources

Lamp type	lm/W	CRI	Source
General-purpose incandescent lamp	9–15	100	a
Low-voltage halogen	12–19	100	a
Halogen with internal reflective coating	17–24	100	a
Compact fluorescent lamp (stick)	46–61	82	a
Compact fluorescent lamp (spiral)	60–67	82	a
Light emitting diodes (warm tone)	66	90	b
Light emitting diodes (cool)	105	70	b
T8 tube with electronic ballast	80–100	80–89	c
High-pressure mercury lamp	65–85	25–50	d
High-pressure sodium lamp	90–135	15–25	d
Ceramic metal halide lamp	65–115	70	b

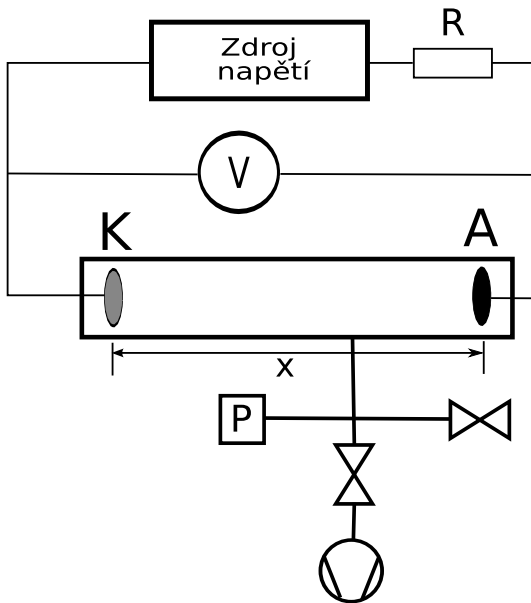
^aJacob [27], ^bPhilips data sheet, ^cOsram data sheet, ^dReport [28]

A. Piel, Plasma Physics: An Introduction to Laboratory, Space, and Fusion Plasmas, Springer 2010

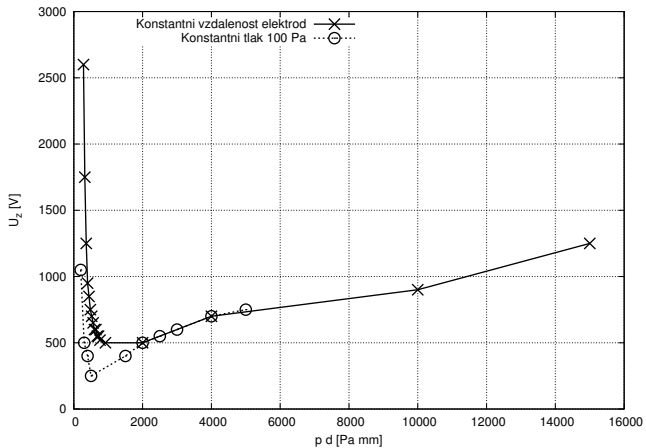
Doutnavý výboj (glow discharge)



Doutnavý výboj (glow discharge)



Paschenův zákon



Jiskrový výboj

- ▶ Od obloukového se liší krátkou dobou trvání.
- ▶ Intenzita elektrického pole mezi elektrodami dosáhne hodnoty potřebné pro lavinovitou ionizaci, ale zdroj tohoto pole není schopen trvale dodávat elektrický proud.
- ▶ Přeskok jiskry je doprovázen vznikem zvukové vlny.
- ▶ Dielektrická pevnost vzduchu je 30 kV cm^{-1} .

Blesk



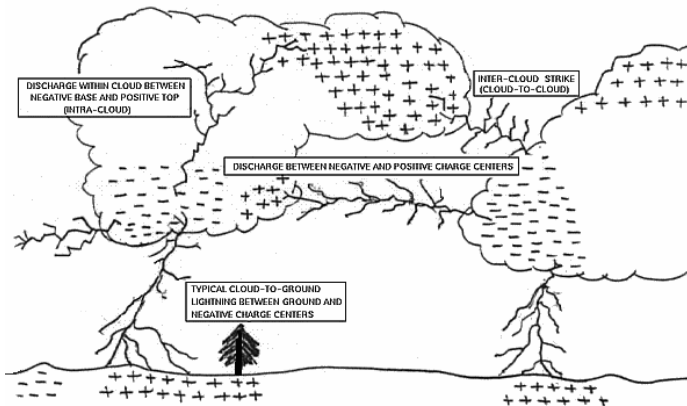
Blesk



Blesk

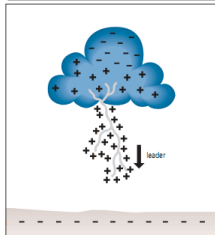
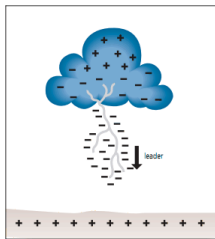


Blesk



http://fusedweb.pppl.gov/CPEP/Chart_Pages/5.Plasmas/Lightning.html

Blesk



Kladný a záporný blesk

- ▶ zatím nebylo s jistotou zjištěno, jak se kladný/záporný náboj v mracích indukuje
- ▶ v přírodě je 95% všech blesků záporných (oblak má záporný potenciál, země kladný)
- ▶ kladné blesky se většinou šíří mnoho kilometrů po obloze, často pak uhoří jako blesk z čistého nebe
- ▶ kladné blesky se častěji vyskytují v zimě
- ▶ kladné blesky jsou nebezpečnější než záporné blesky (např. současná letadla odolávají zápornému blesku, ale nikoliv kladnému)

Manuální spuštění blesků

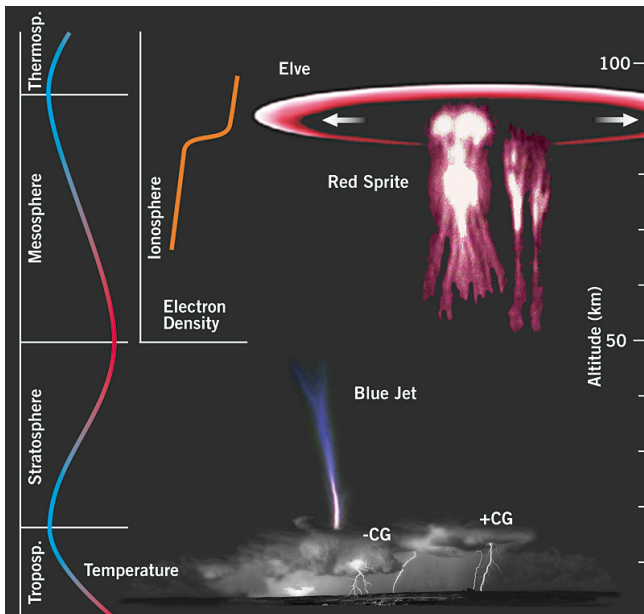
- ▶ z bezpečnostních důvodů někdy vhodné blesku pomoci, aby uhořel kam chceme nebo kam chceme
- ▶ lze pomocí malé rakety nebo laseru, v přírodě může blesk vybudit silná vulkanická erupce (Pompeje, 79 n.l.)
- ▶ velmi výkonným laserem se podařilo vyvolat malé blesky i z nenabitého mraku

Blesk

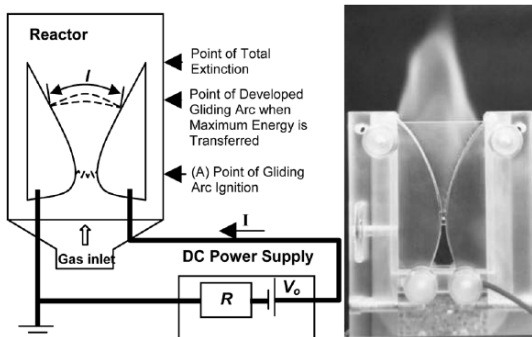


Blesk spuštěný výbuchem sopky Mt. Rinjani v roce 1994 (autor Oliver Spalt)

Blesky ve vyšších vrstvách atmosféry



Klouzavý elektrický obloukový výboj



Gliding arc discharges as a source of intermediate pl. for methane partial oxidation.
 Kalra, C.S., Gutsol, A.F. and Fridman, A.A., Plasma Science, 2005