

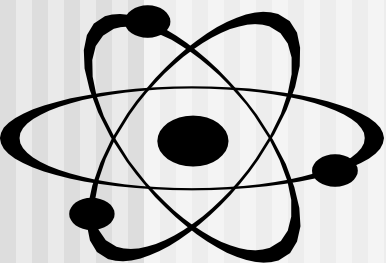
Tesla i plazma u vakuumskoj cijevi



Hrvoje Skenderović, Institut za fiziku, Zagreb

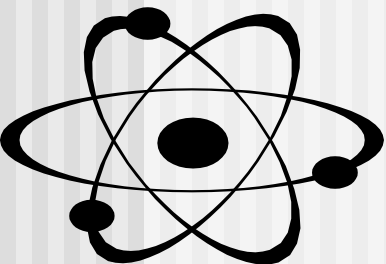
22. Ljetna škola mladih fizičara, Labin, lipanj 2006.

- **Atomi, molekule, elektroni**
- **Izboj u vakuumskim cijevima - Teslini eksperimenti**
- **Demonstracija s Teslinim transformatorom**
- **Fizika tinjavog izboja**



**Tesla se cijelog života bavio elektrotehnikom.
Za sebe je govorio da je izumitelj i znanstvenik.**

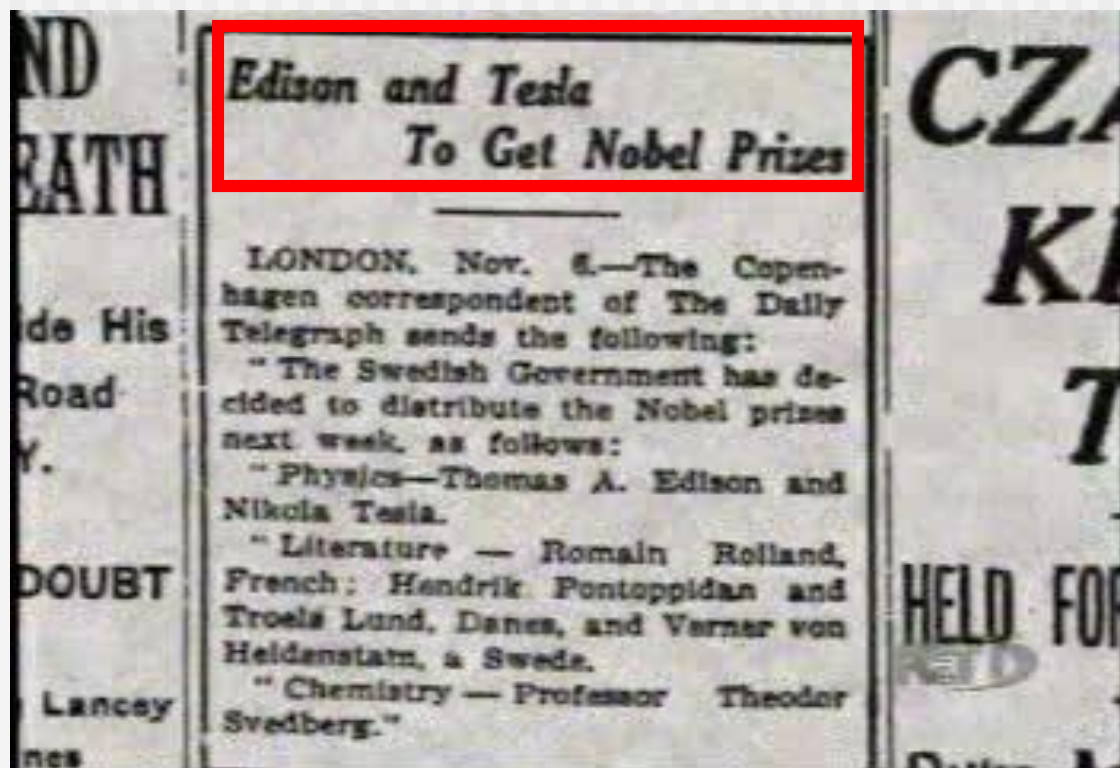
**Međutim, često su ga svrstavali i među fizičare.
Bio je više puta kandidat za Nobelovu nagradu
upravo iz fizike.**



Edison i Tesla dobili Nobelovu nagradu za fiziku ?



New York Times,
6. studenoga 1915.



Što je zajedničko ovim ljudima?

**Isaac Newton,
Blaise Pascal,
James Joule,
James Watt,
Heinrich Hertz,
Charles Coulomb,**

**Alessandro Volta,
Georg Ohm,
Werner Siemens,
Joseph Henry
Michael Faraday
Wilhelm Weber,
Nikola Tesla.**

SI sustav ima 11 fizikalnih jedinica nazvanih prema istaknutim znanstvenicima

Isaac Newton	(N),	Alessandro Volta	(V),
Blaise Pascal	(Pa),	Georg Ohm	(Ω),
James Joule	(J),	Werner Siemens	(S),
James Watt	(W),	Joseph Henry	(H),
Heinrich Hertz	(Hz),	Michael Faraday	(F),
Charles Coulomb	(C),	Wilhelm Weber	(W),
		Nikola Tesla	(T).

Grci, Dalton
Atomska teorija

Faraday,
struktura
elektriciteta

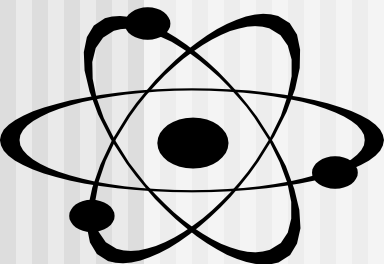
Geissler – Crookesove
Vakuumske cijevi



Tesla mit einer Vakuumröhre, die ohne Drahtanschlöß leuchtet

Začetci atomistike





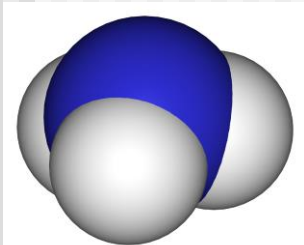
**Atom - ατμειυ što znači nedjeljiv,
neslomiv.**

**Demokrit, Empedokle,
Epikur...**

**Imali shvaćanja o
atomima začuđujuće
bliska modernom**

...najsitniji dijelovi materije...

**...atomi ne mogu biti podijeljeni na manje dijelove
ali posjeduju unutarnju strukturu...**



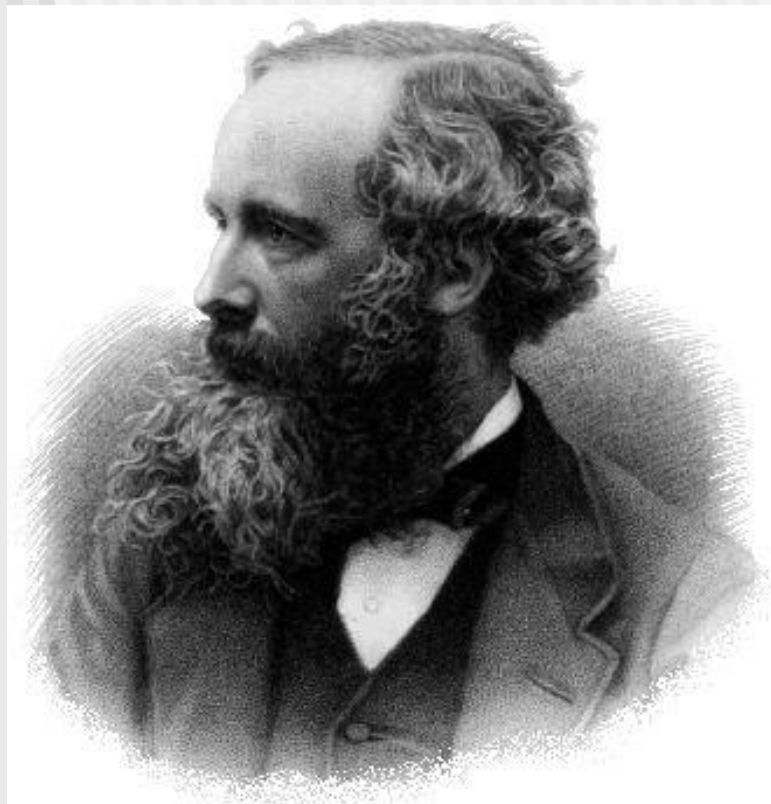
John Dalton, **New System of Chemical Philosophy,** **1808.**



Jedan od braće Dalton

- **Elementi su sačinjeni od malih čestica – atoma**
- **Svi atomi danog elementa su isti**
- **Atomi jednog elementa su različiti od atoma nekog drugog elementa**
- **Atomi jednog elementa se mogu spajati s atomima drugog elementa i činiti kemijske spojeve. Jedan spoj uvijek ima isti relativni broj danih vrsta atoma**
- **Atomi se ne mogu stvoriti, dijeliti ili uništiti kemijskom reakcijom. Kemijska reakcija samo mijenja način kako su atomi grupirani.**

Sve do kraja XIX stoljeća znanstvenici su vjerovali da se atomi ne mogu dalje dijeliti



James Clerk Maxwell.

" Iako su se tijekom vremena događale katastrofe i još se događaju u svemiru, iako se drevni sustavi mogu raspasti, a novi stvoriti iz ruševina starih, molekule (tj. atomi) od kojih su građeni ti sustavi – temeljni građevni blokovi materijalnog svijeta – ostaju nesalomljivi i netaknuti. Oni nastavljaju postojati kako kada su bili stvoreni – savršeni u broju u mjeri i težini."

Atomarnost elektriciteta

Faradayevi eksperimenti dvadesetih i tridesetih godina XIX. Stoljeća dovode do otkrića zakona elektrolize koji kaže da je količina elektriciteta nanesena na elektrodi srazmjerna Avogadrovom broju (dakle broju molekula po molu) i univerzalnoj jedinici naboja **e**

"Ako prihvatimo hipotezu da su elementarne tvari sačinjene od atoma, ne možemo izbjeći zaključak da je i elektricitet, kako pozitivni tako i negativni, podijeljen na elementarne količine koje se ponašaju poput **atoma elektriciteta**."

1891. upravo ta osnovna jedinica naboja nazvana **elektronom**, a ne čestica za koju se onda još nije znalo.

Električni izboj u razrijeđenom plinu – prve neonke

Njemački staklopuhač Geissler usavršio je postupak evakuiranja staklenih cijevi do vrlo niskih tlakova. Geisslerove cijevi su bile opremljene elektrodama sa svake strane. Kada bi se na elektrode doveo visoki napon potekla bi struja, a cijev bi zasvijetlila.





Eksperimenti Sir Williama Crookesa su nadahnuli Teslu da započne svoj rad s vakuumskim cijevima

A kad će Tesla???



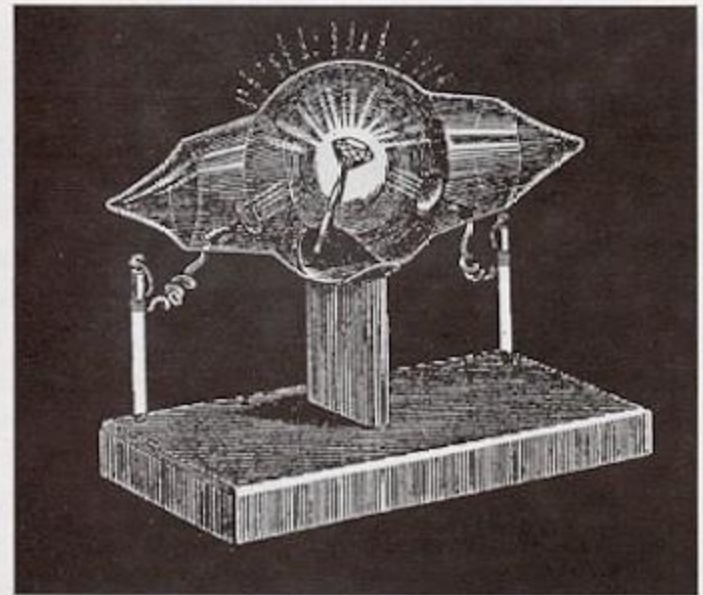
**Few are the books, let me say,
which can make such an
impression upon the mind of a
student....**

**...must regret that Professor Crookes,
whose admirable work has been the
delight of every investigator, should
not have availed himself in his
experiments of a properly
constructed alternate current
machine - namely, one capable of
giving, say 10,000 to 20,000
alternations per second**

RADIANT MATTER

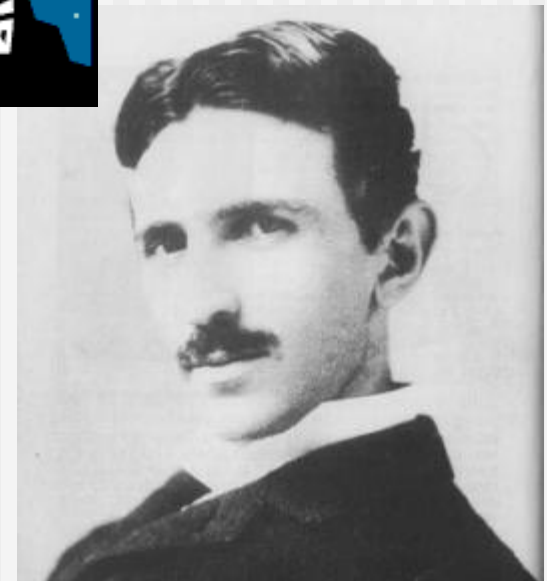
A Resume of the Principal Lectures and Papers
on the Fourth State of Matter

by **Professor Willliam Crookes**



published by
Electric Spacecraft, Inc.

Na Teslu je utjecao i Crookesov spiritualizam...



Visoka frekvencija

Nakon što je **1889.** postavio svoj sistem polifazne struje za Westinghousea na 60 Hz Tesla je želio, potaknut eksperimentima Lodgea i Hertza, generirati struje puno više frekvencije.

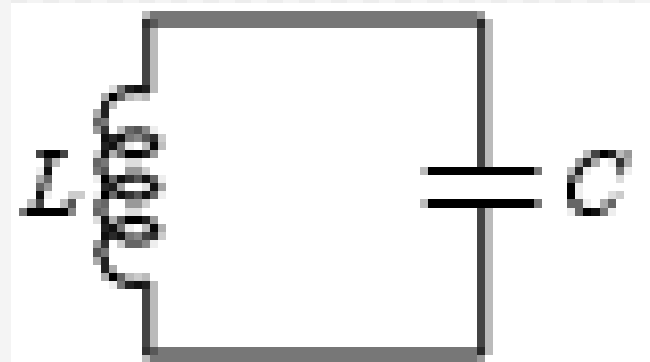
Konstruirao je nakon povratka iz **Pittsburga** u **New York** jedan stroj na izmjeničnu struju s **384** pola. (!)

Međutim, uviđa nepraktičnost takvog pristupa i okreće se usavršavanju **LC titrajnog kruga.**

LC titrajni krug



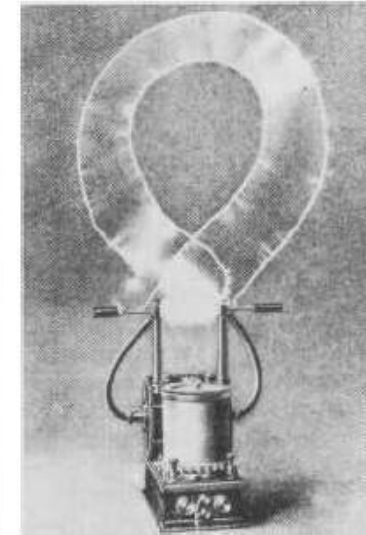
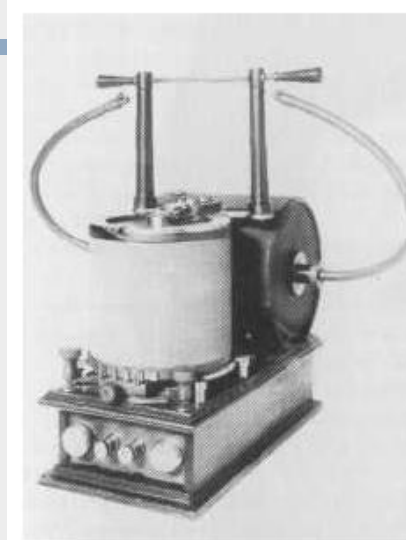
Lord Kelvin



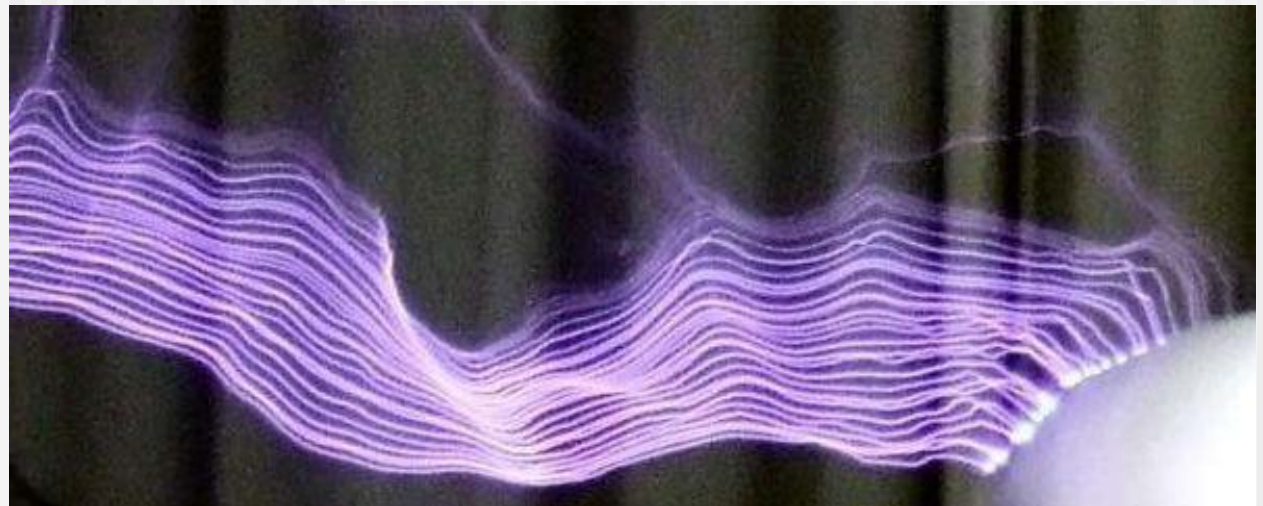
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

LC titrajni krug

**Različiti generatori
visokih frekvencija**



Korona izboj



Leydenska boca - prvi kondenzatori



Teslin transformator vodi prema...

Polifazne izmjenične struje



Visokofrekventne visokonaponske struje



**Izboj u vakuumskoj cijevi,
rasvjeta**

1890. – 1893.

Otkriće elektrona?



Bežični prijenos energije

Teslin transformator

U patentnoj prijavi iz 1891. Tesla navodi da postiže frekvencije od nekoliko **stotina tisuća titraja u sekundi** i napone do **4 milijuna Volti**.

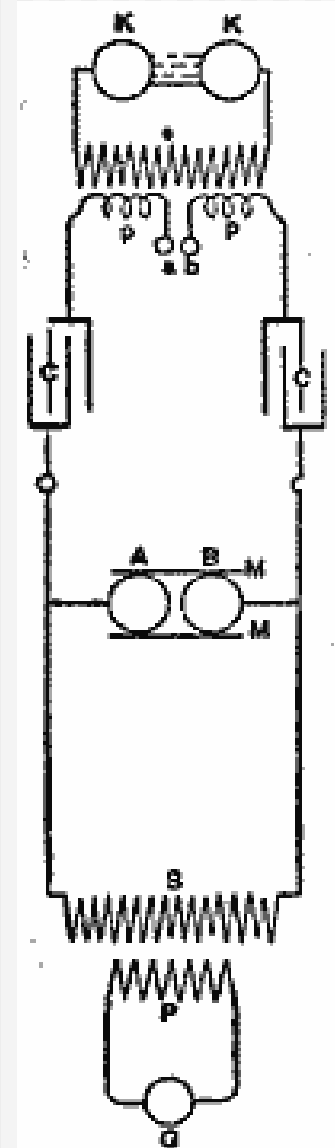
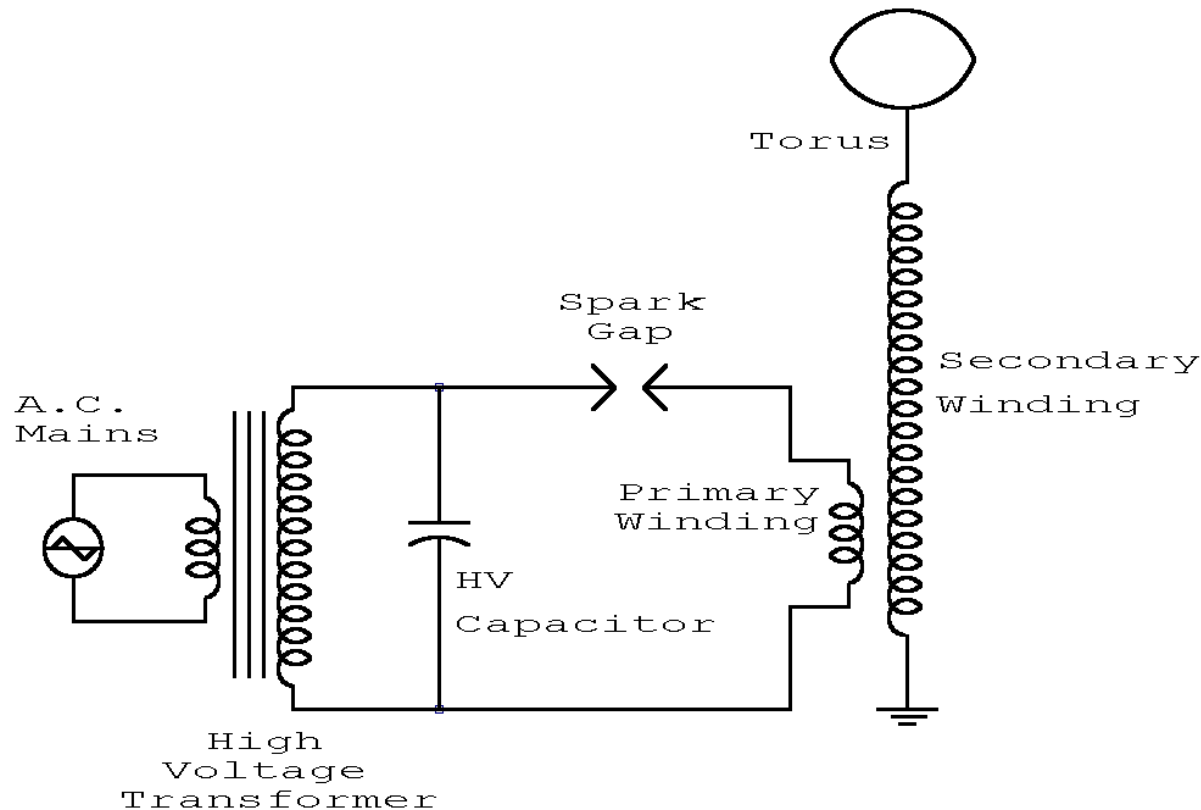


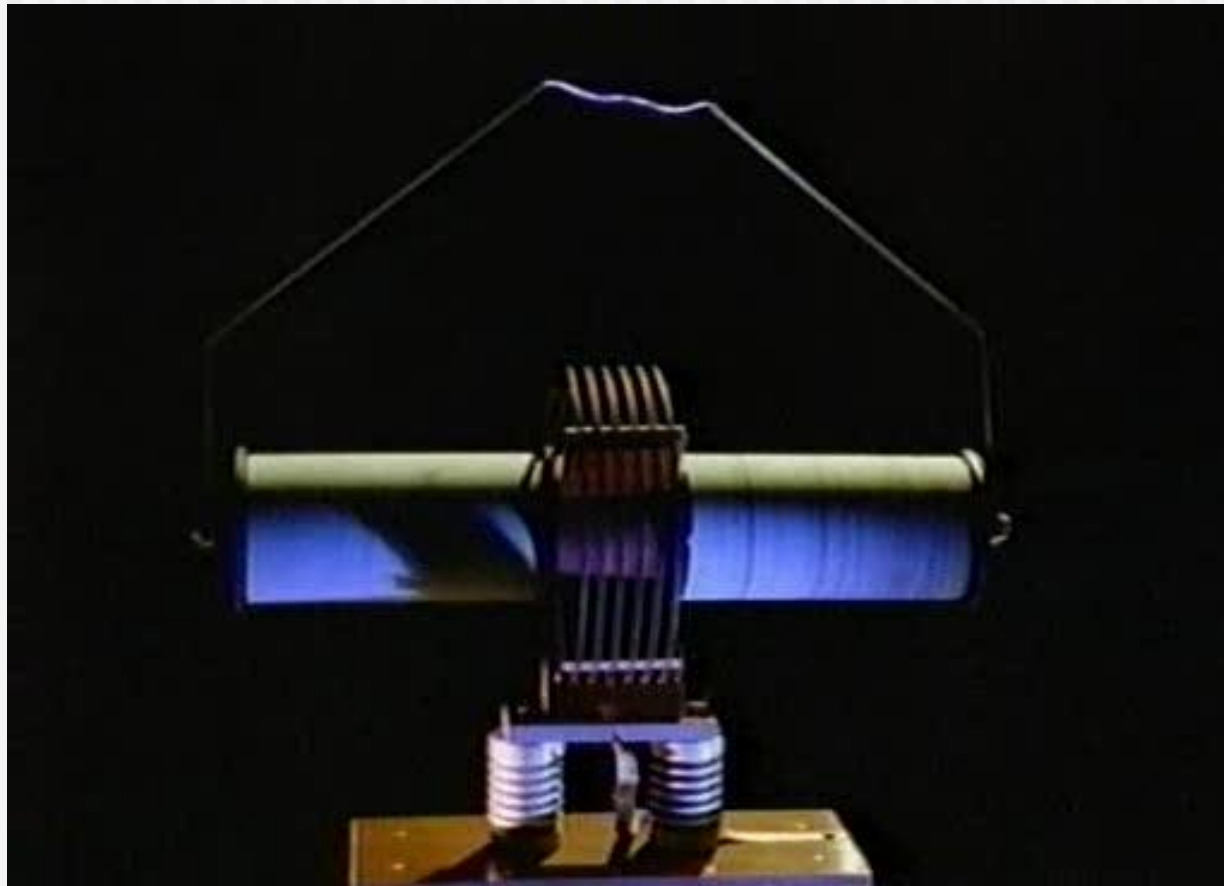
Fig. 2.

Teslin trafo predstavljaju dva ugođena titrajna kruga. Primarni krug je opremljen iskrištem i napajan iz induktora. Zavojnica primara se sastoji od tek nekoliko namotaja, a sekundar od puno više namotaja. Zračna jezgra.



**Rezonancija
primara i
sekundara**

$$\frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \approx \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$





**Nikola Tesla, Electric Discharge in Vacuum Tubes,
The Electrical Engineer, July, 1891.**

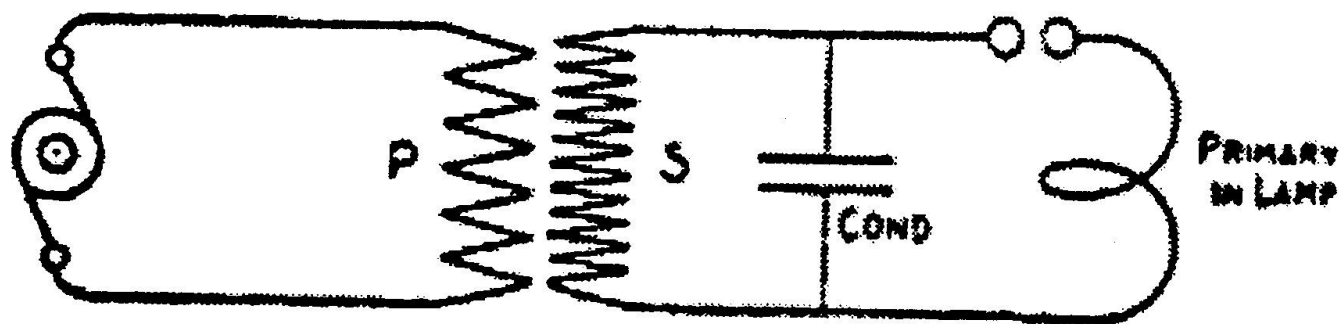
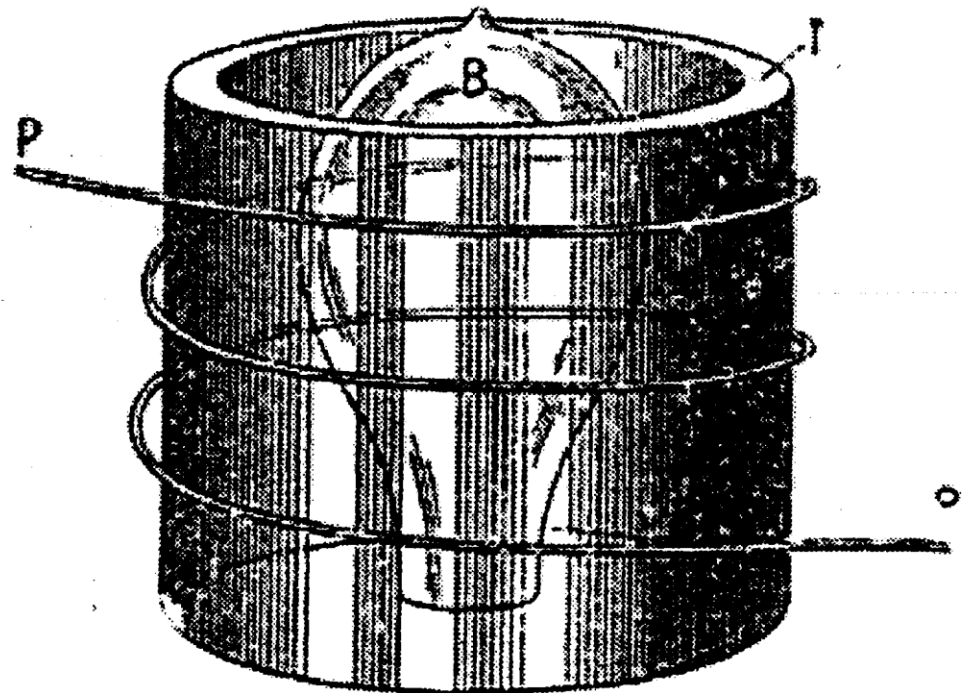
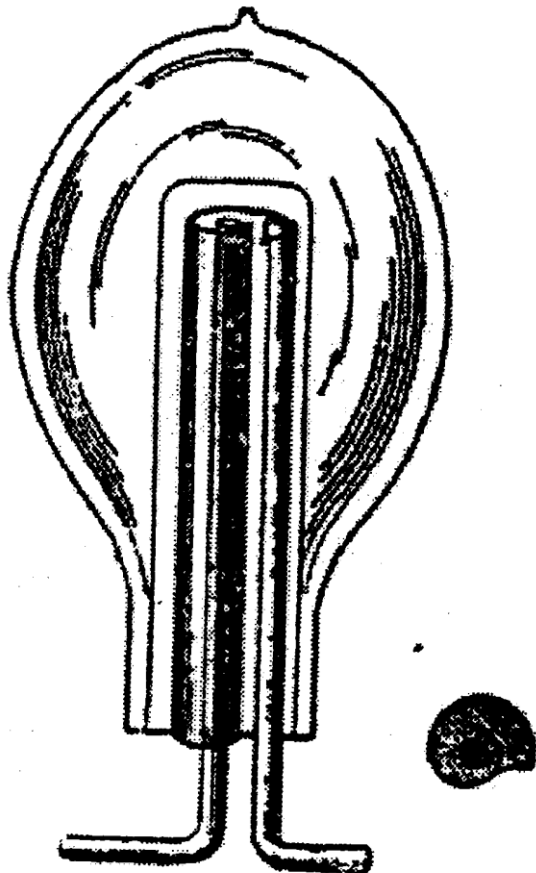
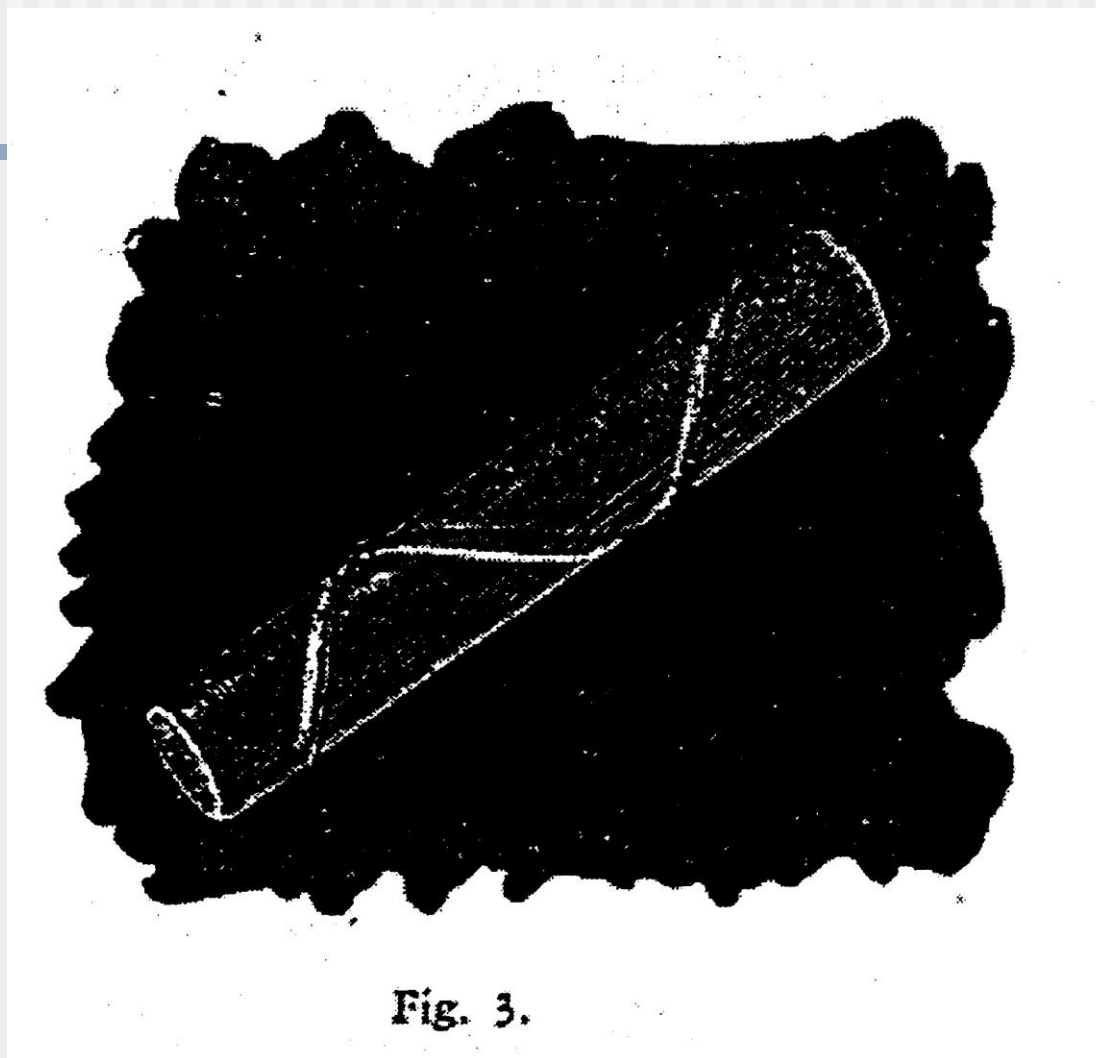


Fig. 2.

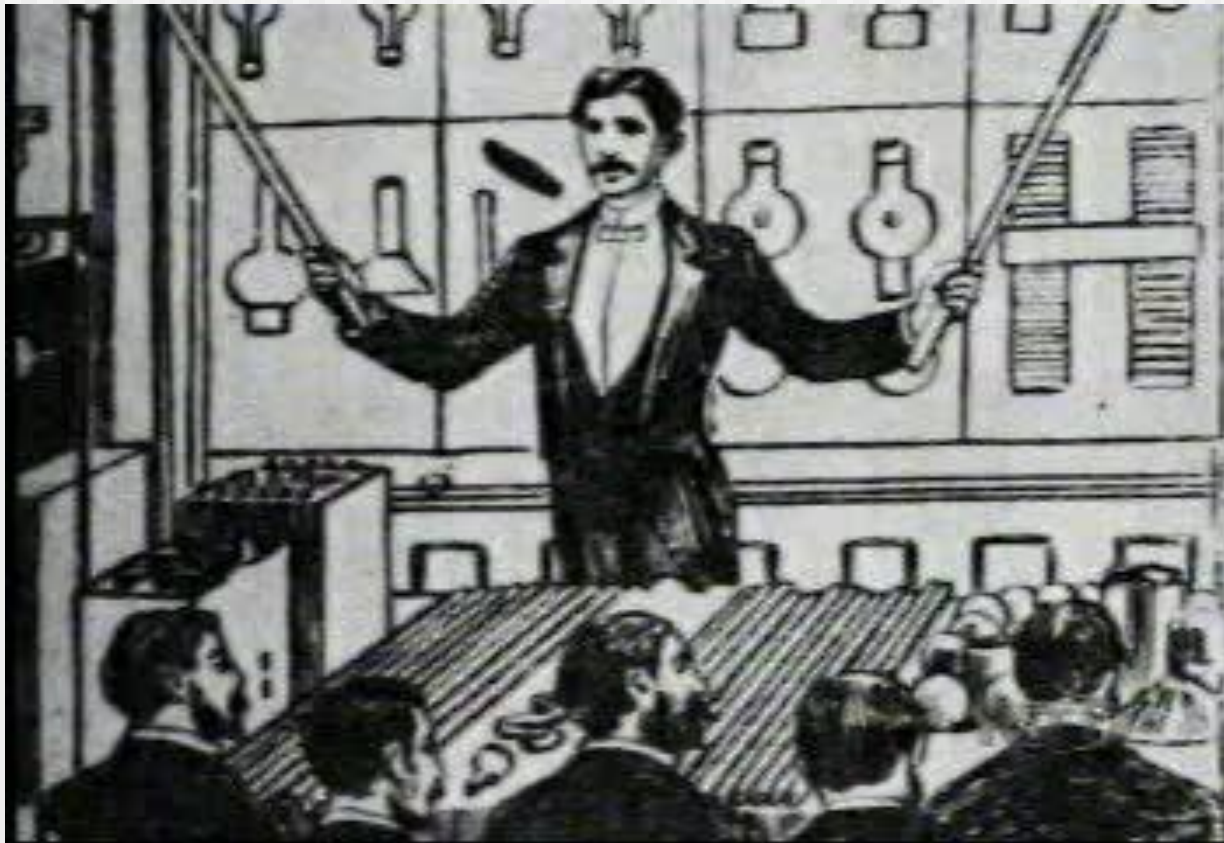
Plazma unutar vakuumske cijevi služi kao sekundar...





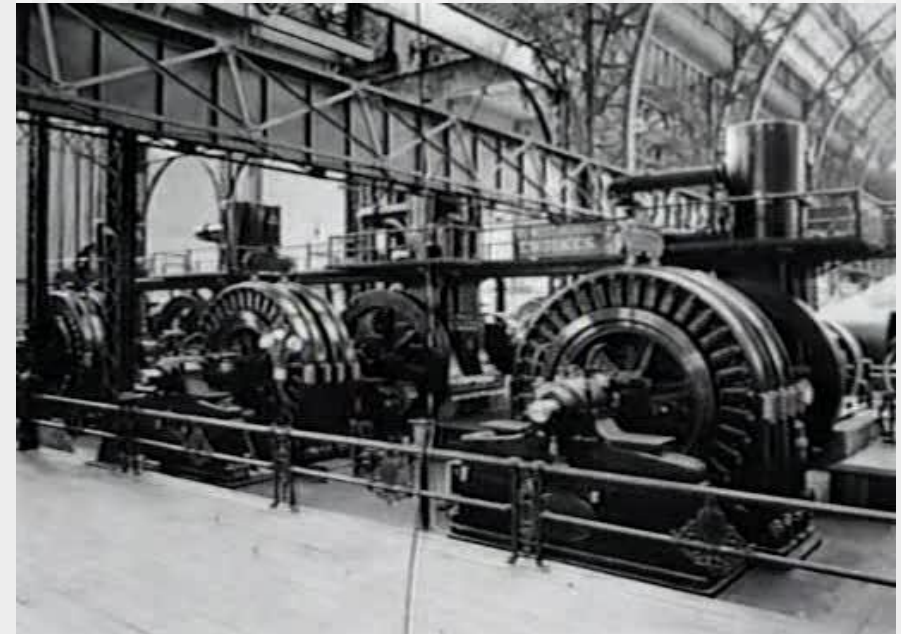


Tesla drži niz predavanja i demonstracija u Americi i Europi





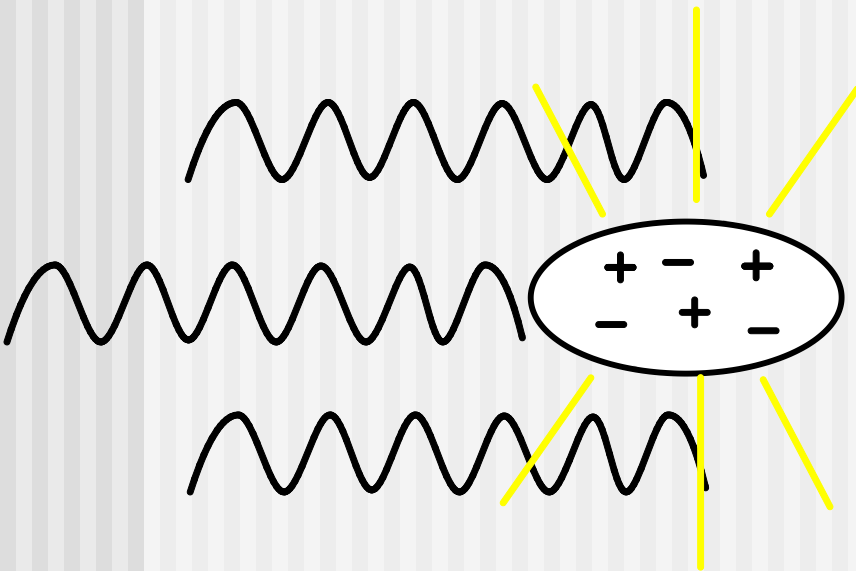
Na osnovu toga Westinghouse i Tesla dobivaju posao elektrifikacije Svjetske izložbe



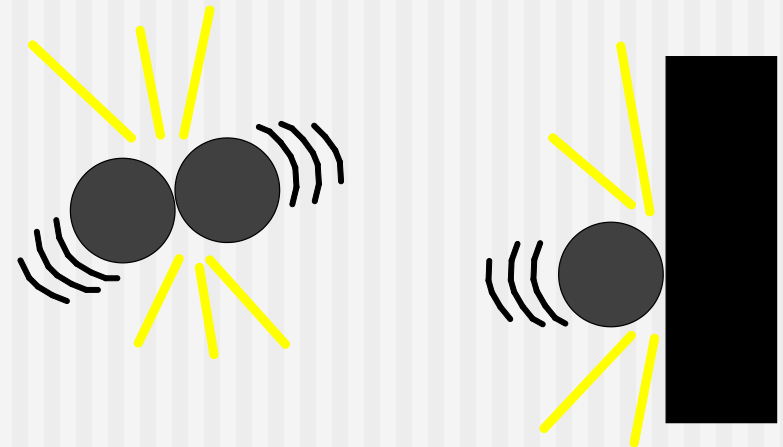




Polemika Tesle i J.J. Thomsona oko mehanizma nastajanja svjetlosti u električnom izboju



“elektromagnetski”



“elektrostatski”

Tesla – otac današnjih neonki

Tesla je puštao svoje visokofrekventne struje kroz cijevi pod različitim tlakovima, punjene različitim plinovima i dobivao svjetlost visokog intenziteta i različitih boja. Kada je vidio da se u izboju pojavljuju različite boje, pretpostavio je da se ne izrači sva energija u obliku vidljive svjetlosti već dijelom i kao "tamna" svjetlost. Tamnom svjetlošću se nazivala ultraljubičasta svjetlost koja ljudskom oku nije vidljiva. Slijedeći svoju hipotezu, Tesla je obložio stijenke izbojnih cijevi fosforescentnim materijalom i pobudio ih na luminiscenciju.

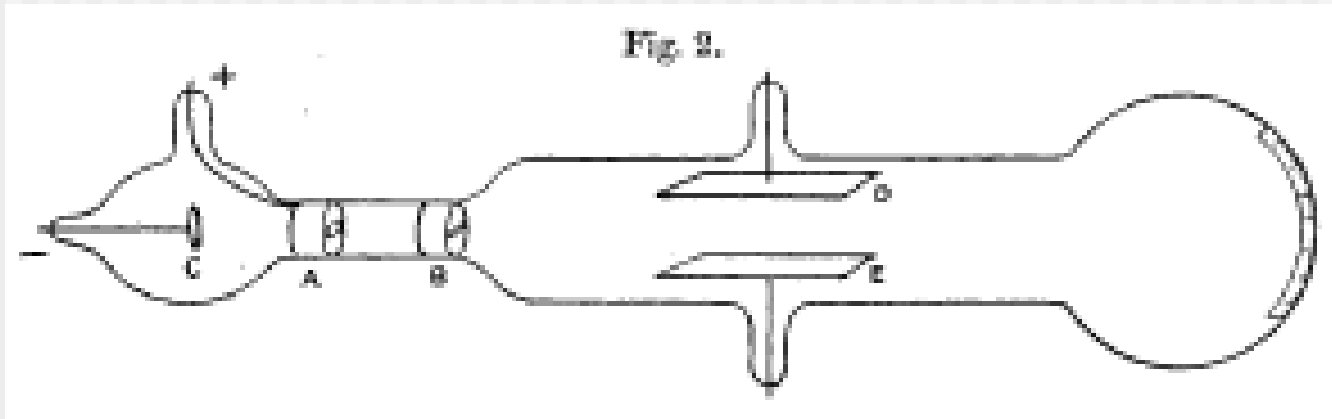


Cijela Zemlja kao lampa.

Aurora borealis



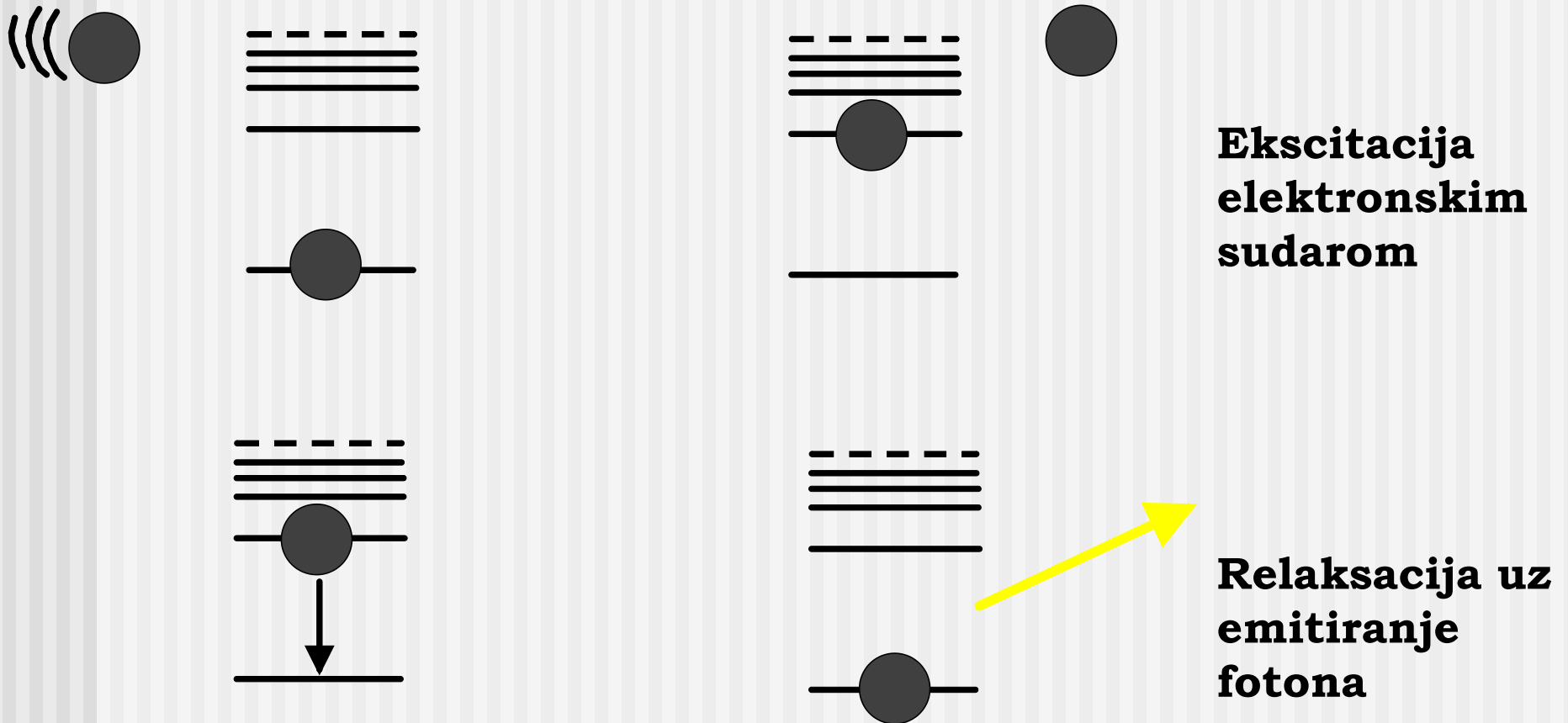
Vratimo se malo J.J. Thomsonu...



m/e veoma mali - 1000 puta manji od m/e za vodikov ion. ????

1897. Otkriće elektrona

Mehanizam nastajanje svjetlosti u plazmi



Izboj u plinu na niskim tlakovima, niz svijetlih i tamnih pruga

