

Studiul descărcării luminescente. Obținerea curbei lui Paschen

Ştefan-Răzvan Anton
Anul 3, Grupa 1334,
Facultatea de Științe Aplicate

April 18, 2022

1 Scopul lucrării

1. Înțelegerea modului de funcționare a unui tub de descărcare și a parametrilor care îl caracterizează.
2. Aplicarea unei proceduri de măsurare pe un sistem controlat de la distanță.
3. Cooperarea în organizare astfel încât să se atingă obiectivele propuse.
4. Trasarea și interpretarea curbei Paschen obtinute.

2 Principiul Fizic

In figura 3 se poate vizualiza diagrama schematică a unui tub de descarcare electrică în aer la presiune scăzută. Un tub de descărcare electrică constă într-un tub de sticlă sigilat ("Discharge tube") astfel încât să nu existe schimb de gaz cu exteriorul, presiunea dinăuntru tubului poate fi între 1mTorr și 1kTorr[1] și este controlată de o pompă cu vid ("To vacuum pump"). În interiorul tubului se află doi electrozi metalici, între care se aplică o tensiune continuă ce poate fi variată ("High voltage generator"). Aceasta diferență de potențial între cele două electrozi produce apariția unui camp electric orientat de la anodul pozitiv ("Anode") la catodul negativ ("Perforated cathode"). Campul astfel creat accelerează electronii liberi către anod și ionii pozitivi către catod. Datorită ciocnirii inelatici cu particulele neutre din gaz, dacă electronii accelerati ajung la o energie cinetica suficient de mare acestia pot ioniza particulele neutre

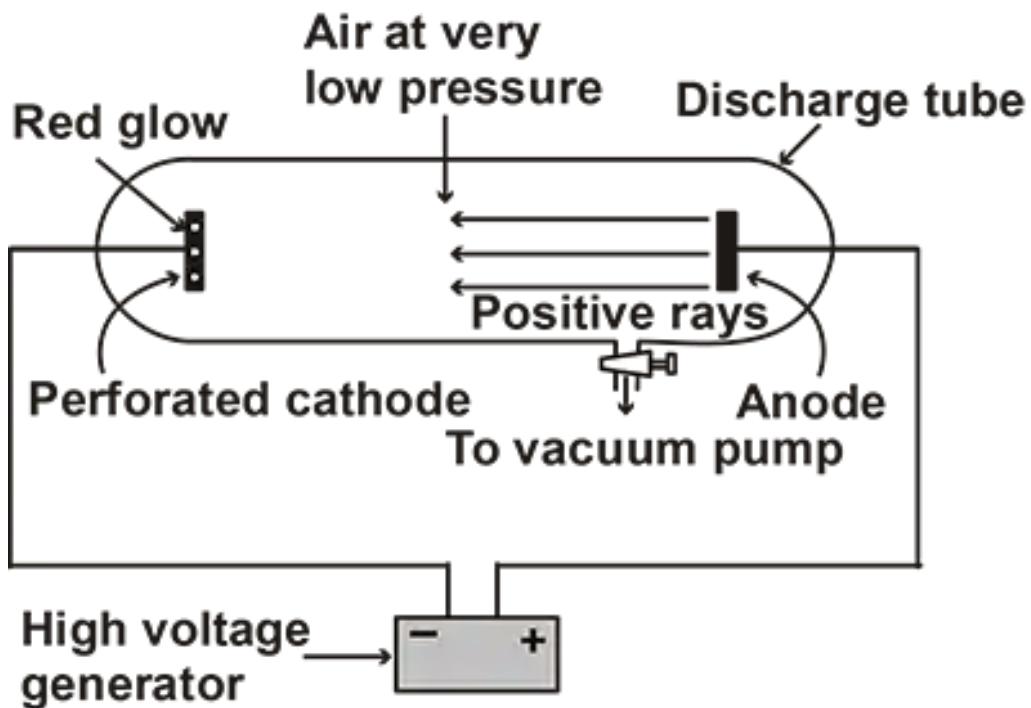


Figure 1: Diagrama schematică a unui tub de descarcare electrică în aer la presiune scăzută[2].

In continuare vom analiza distributia radiatiei luminoase emise in functie de pozitia din tub. Privind în figura 2 de la stânga la dreapta se observa:

Stralucirea catodica (cathodic glow), spatiul in care electronii au capatat destula energie pentru a excita atomii din gaz, care se de-exita cu emisie de lumina.

Spatiu intunecat catodic (Cathode dark space), spatiul in care electronii capata si mai multa energie, iar acestia nu mai excita atomii ci ii ionizeaza. Proces in urma caruia rezulta ioni si electroni, dar nu si radiatie luminoasa.

Stralucirea negativa (Negative glow) , spatiul in care electronii se recombină cu ionii pozitivi, proces in urma caruia rezulta radiatie luminoasa.

Spatiu negativ Faraday (Faraday dark space), spatiul dintre stralucirea negativă si strălucirea pozitivă in care nu se emite radiatie luminoasa.

Coloana pozitiva (Positive column), spatiul in care numarul ionilor pozitive scade, deci electronii vor avea o energie destul de mare pentru a incepe din nou sa excite atomii care la de-excitare produc radiatie luminoasa.

În cadrul coloanei pozitive se observa striatii cauzate de faptul ca atomii pot absorbi energie numai in cantitati discrete.

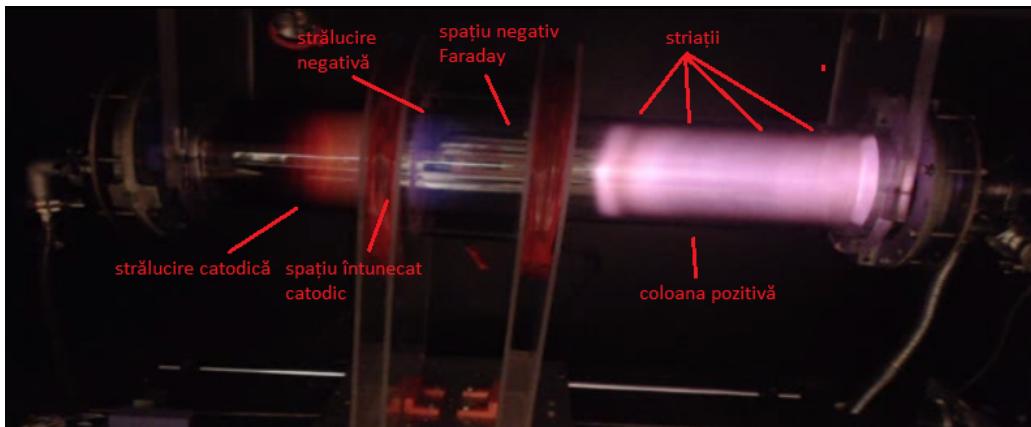


Figure 2: Distributia radiatiei luminoase in tubul de descarcare.

3 Montajul Experimental

Montajul experimental consta intr-un simulator ce permite ajustarea parametriilor tubului de descarcare dupa cum urmeaza:

Prin actionarea butonului din dreapta sus denumit "Lights" se poate porni/opri lumina in incinta.

Prin actionarea glisorului de sus denumit "Electrode Voltage" se poate modifica tensiunea dintre electrozi in intervalul $0 - 2000[V]$.

Prin actionarea glisorului din stanga jos denumit "Electromagnet" se poate modifica intensitatea campului magnetic creat de cei doi electromagneti in intervalul $0 - 200[G]$.

Prin actionarea glisorului din dreapta jos denumit "Pressure" se poate modifica presiunea din incinta in intervalul $20 - 1000[mTorr]$.

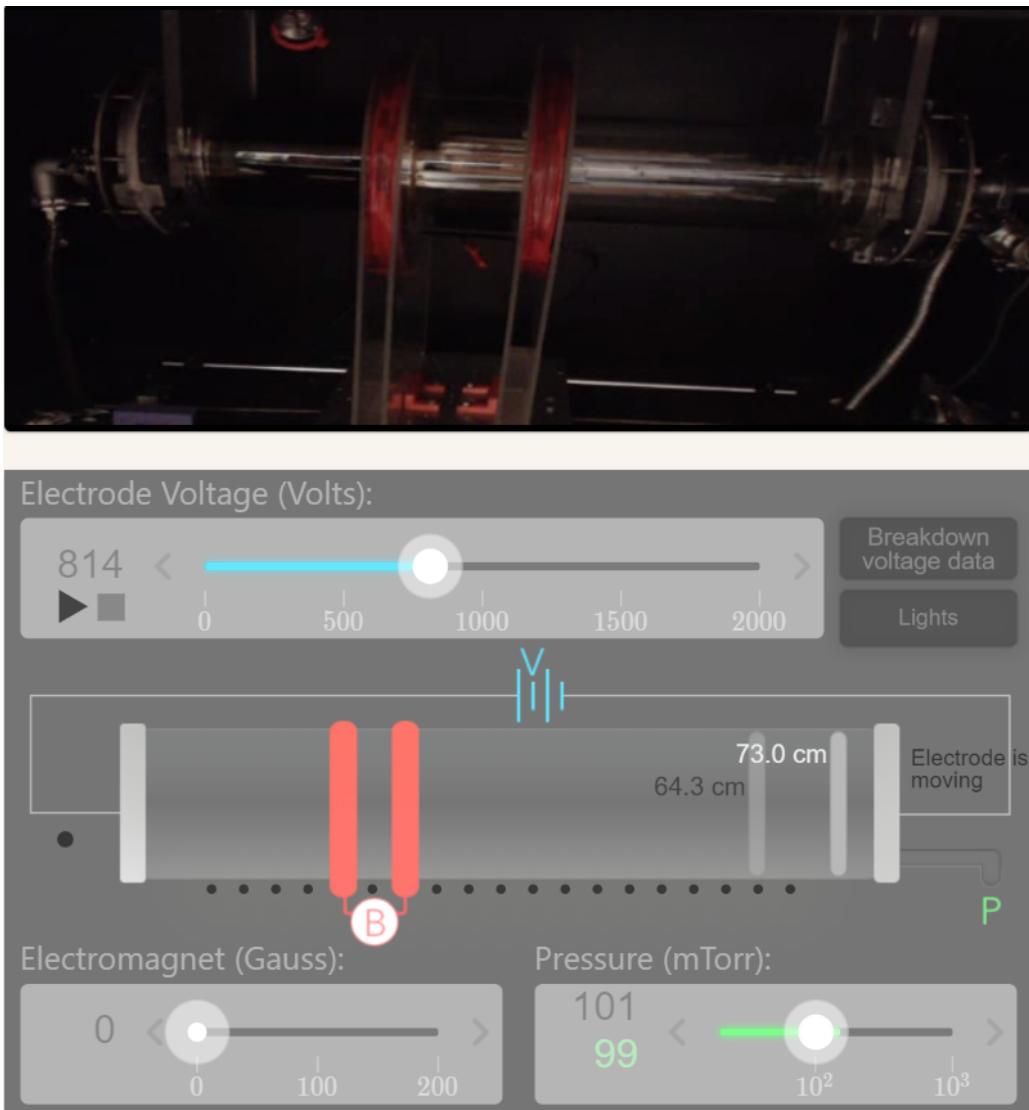


Figure 3: Fereastra de control a simulatorului.

4 Modul de lucru

Se lucreaza la urmatoarele distante intre electrozi: 0.2m (grupa 1), 0.35m (grupa 2), 0.5m (grupa 3) si 0.728cm (grupa 4).

Pasul 1: Se calculeaza valorile presiunii ce va fi fixata in simulator dupa formula

$$p = \frac{4 + n + 10(k * n - 1)}{d} \quad [\text{mTorr}] \quad (1)$$

unde n este numarul grupei de lucru ($n = \overline{1,4}$), k este numarul masuratorii ($k = \overline{1,5}$) si d este distanta dintre electrozi aferenta grupei de lucru (0.2, 0.35, 0.5, 0.728)[m].

Pasul 2: Se alege prima grupa ($n = 1$) si prima masuratoare ($k = 1$) si se introduc valorile aferente in formula 1. Valoarea presiunii obtinute se introduce in simulator (se poate alege o valoare de $\pm 20\%$ fata de valoare calculata), simulatorul va modifica automat distanta dintre electrozi.

Pasul 3: Se maresteste tensiunea dintre electrozi pana cand se detecteaza plasma (se ajunge la tensiunea de aprindere, U_b). Se noteaza, intr-un tabel, distanta dintre electrozi, presiunea in tub si tensiunea dintre electorzi la momentul detectiei.

Pasul 4: Se micsoreaza tensiunea dintre electrozi pana cand plasma nu mai este vizibila in tub (se ajunge la tensiunea de stingere, U_d). Se noteaza, intr-o alta coloana a tabelului de la pasul 3, tensiunea dintre electrozi la momentul stingerii plasmei.

Se repeta pasii anteriori pentru restul de patru masuratori si restul de trei grupe. Pentru fiecare grupa se va realiza un tabel separat.

Pasul 5: Se reprezinta grafic dependenta tensiuniilor U_b si U_d in functie de produsul presiunii si distantei dintre electrozi. Pentru fiecare grupa se va realiza un grafic separat.

5 Rezultate

In urma parcuregerii pasiilor descrisi in sectiunea anterioara au rezultat tabele 1, 2, 3, 4 si figurile 4.

Rezultatele obtinute sunt nesatisfacatoare, în cazul grupelor 1 si 3, $U_b(p * d)$ descrie o curba Paschen, dar in cazul grupelor 2 si 4 valorile obtinute dupa minim cresc mult prea brusc pentru a descrie o curba Paschen, lucru evident daca ne uitam la curba de interpolare, mai ales in cazul grupei 4. Valoriile experimentale pentru $U_d(p * d)$ sunt mult mai satisfacatoare acestea aflandu-se mereu in intervalul (500-600)[V]. Curbele de interpolare ale acestora sunt aproape drepte , fapt ce este in concordanta cu cele asteptate.

$d[m]$	$p[mTorr]$	$p * d[m * mTorr]$	$U_b[V]$	$U_d[V]$
0.77	25	19.18	1193	590
0.69	73	50.44	854	534
0.57	125	71.25	965	516
0.48	175	83.83	1007	501
0.39	227	88.76	1043	502

Table 1: Rezultatul măsuratoriilor pentru grupa 1 (20cm).

$d[m]$	$p[mTorr]$	$p * d[m * mTorr]$	$U_b[V]$	$U_d[V]$
0.73	45	32.85	1259	487
0.63	99	62.37	735	521
0.51	160	81.60	803	505
0.39	216	84.24	969	498
0.30	285	85.50	1037	530

Table 2: Rezultatul măsuratoriilor pentru grupa 2 (35cm).

$d[m]$	$p[mTorr]$	$p * d[m * mTorr]$	$U_b[V]$	$U_d[V]$
0.72	53	38.16	1369	471
0.57	115	65.55	750	512
0.46	175	85.50	966	505
0.36	232	83.52	995	502
0.29	298	86.42	1064	525

Table 3: Rezultatul măsuratoriilor pentru grupa 3 (50cm).

$d[m]$	$p[mTorr]$	$p * d[m * mTorr]$	$U_b[V]$	$U_d[V]$
0.72	52	37.44	1157	517
0.63	105	66.15	696	509
0.51	161	82.11	765	506
0.40	215	86.00	995	485
0.31	279	86.49	1091	495

Table 4: Rezultatul măsuratoriilor pentru grupa 4 (72.8cm).

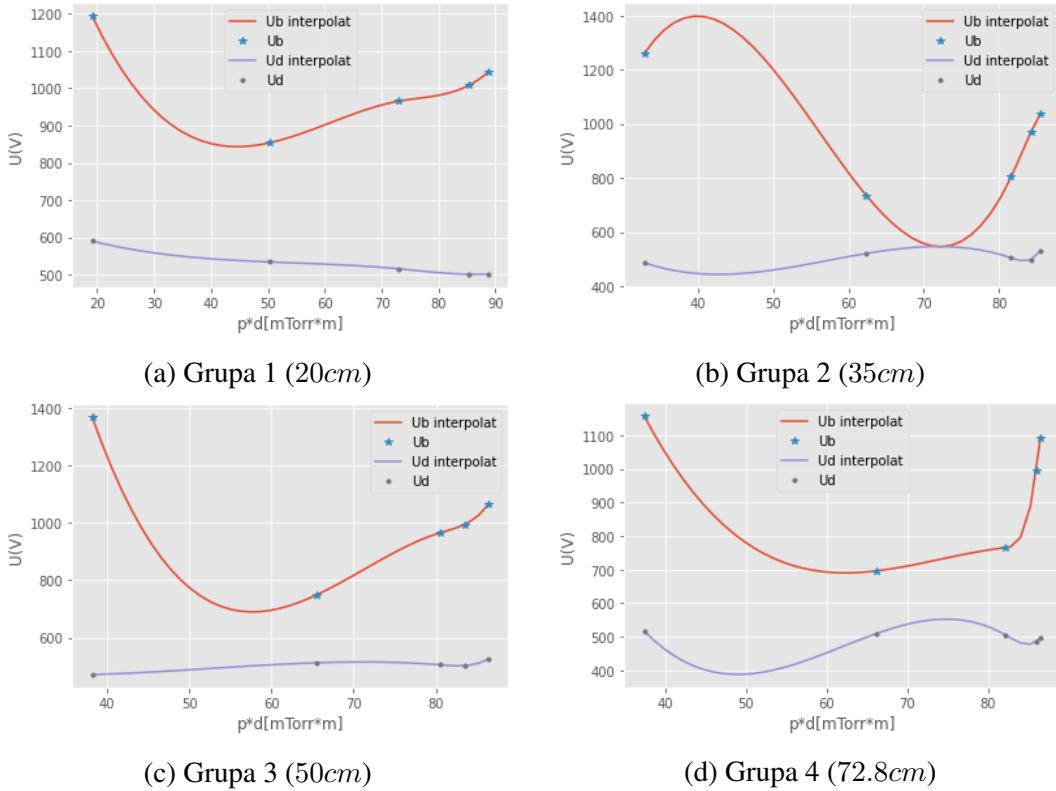


Figure 4: Dependența experimentală a tensiunilor U_b și U_d pentru cele patru grupe.

Parametrii setati in simulator sunt niste valori medii, în realitate valoare instantanee a distantei dintre electrozi, presiunii si tensiunii dintre electrozi fluctueaza in jurul valorii medii. Acest fapt introduce alte erori in rezultatele experimentale pe langa erorile cauzate de utilizator precum setarea presiunii la o valoare putin diferita fata de cea calculata cu formula 1.

Pentru a reduce influenta acestor eror am mediat rezultatele celor patru grupe in tabelul6 si am refacut graficele $U_b(p * d)$ si $U_d(p * d)$ pentru noiile valori 5. In cazul curbei de interpolare pentru $U_b(p * d)$, se observa o mai mare similitudine cu o curba Pachet teoretica, nemaifiind observata o crestere brusca dupa atingerea minimului. In curba de interpolare pentru $U_d(p * d)$, aceasta este aproximata tot printr-o dreapta dar are varabilitatea mai mica, iar valoriile experimentale sunt distribuite mult mai aproape de valoarea asteptata de 510V.

$d[m]$	$p[mTorr]$	$p * d[m * mTorr]$	$U_b[V]$	$U_d[V]$
0.73	43.74	31.91	1244	516
0.63	98.00	61.12	758	519
0.51	155	78.86	874	508
0.41	209	84.39	991	496
0.32	272	86.79	1058	513

Table 5: Rezultatul pentru media celor patru grupelor.

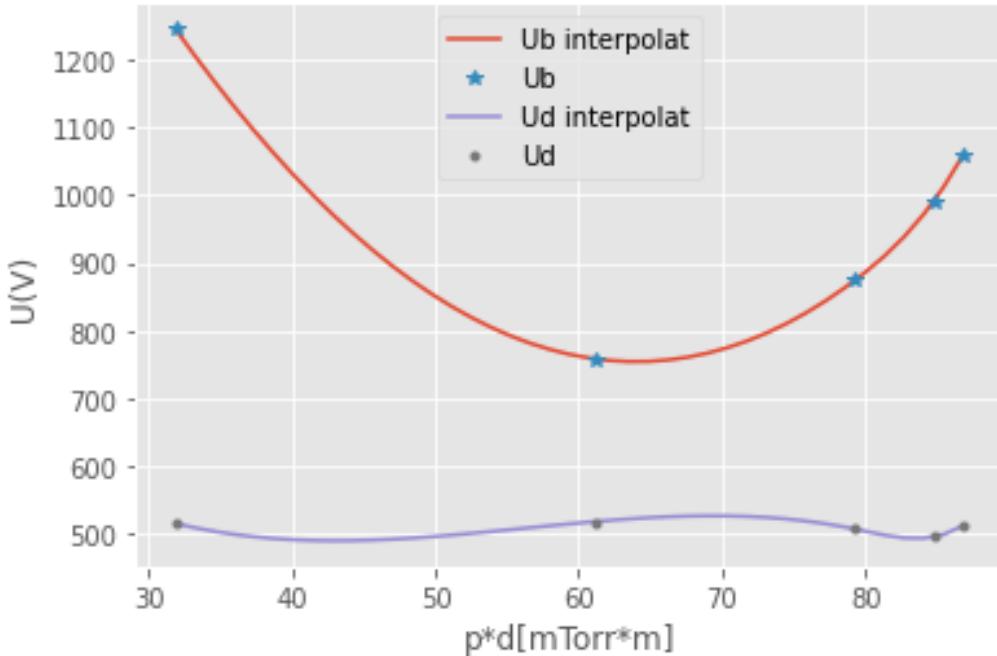


Figure 5: Dependența experimentală a tensiunilor U_b și U_d pentru cele media celor patru grupe.

6 Studiul erorilor

Am amintit mai sus tipurile de erori ce influenteaza valoriile obtinute experimental, dar nu am stabilit in ce masura acestea afecteaza rezultatul final. Pentru a obtine o cuantificare a erorilor vom masura tensiunea de aprindere pentru presiunea de $100mTorr$ setata in simulator

$d[m]$	$p[mTorr]$	$U_b[V]$
0.62	101	892
0.63	101	916
0.63	99	935
0.62	101	936
0.65	99	908

Table 6: Rezultatul masuratoriilor pentru $p = 100mTorr$.

In continuare calculam media si abaterea standard si trecem rezultatele in forma

$$d = 0.63 \pm 0.01[m],$$

$$p = 100.2 \pm 0.97[mTorr],$$

$$U_b = 917.40 \pm 16.64[V].$$

Analizand rezultatul putem spune ca eroriile (cauzate de simulator) pentru presiune si distanta dintre electrozi sunt nesemnificative, eroarea pentru tensiunea de aprindere este aproximativ 2%. Deci eroriile introduse de utilizatorul simularii sunt cauza neconcordantei graficelor experimentale 4 cu cele teoretice, iar medierea rezultatelor pe fiecare grupa produce un rezultat mai apropiat de realitate.

7 Concluzii

In aceasta lucrare am studiat aprinderea unei descarcari electrice in aer la presiune scăzută. Am determinat tensiuniile de aprindere si de stingere pentru diverse distante dintre electrozi si diferite presiuni. Am reprezentat grafic curba Paschen: dependenta U_b de produsul dintre distanta dintre electrozi si presiunea in incinta. Masuratoriile au fost facute prentu patru grupe de lucru fiecare cu o valoare a distantei dintre electrozi dferita (0.2, 0.35, 0.5, 0.728)[m]. Rezultatele sunt satisfacatoare doar pentru doua dintre cele patru grupe de lucru utilizate, dar medierea valorilor experimentale permite obtinerea unei curbe Paschen determinata experimental apropriate de cea teoretica.

References

- [1] L. H. Van Der Horst, *Philips Gas-Discharge Tubes*. N.V Phillips Gloeilampenfabrieken, 1963.
- [2] O. A. Hammadi, W. N. Raja, M. A. Saleh, and W. A. Altun, “Employment of magnetron to enhance langmuir probe characteristics of argon glow discharge plasma in sputtering system”, *Iraqi Journal of Applied Physics*, vol. 12, no. 4, 2016.