

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 obținute.

2 Principiul Fizic

În figura 3 se poate vizualiza diagrama schematică a unui tub de descarcăre 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 vor afla doi electrozi metalici, între care se aplică o tensiune continuă ce poate fi variată ("High voltage generator"). Această diferență de potențial între cei doi electrozi produce apariția unui camp electric orientat de la anodul pozitiv ("Anode") la catodul negativ ("Perforated cathode"). Câmpul 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 cinetică suficient de mare acestia pot excita și ioniza particulele neutre.

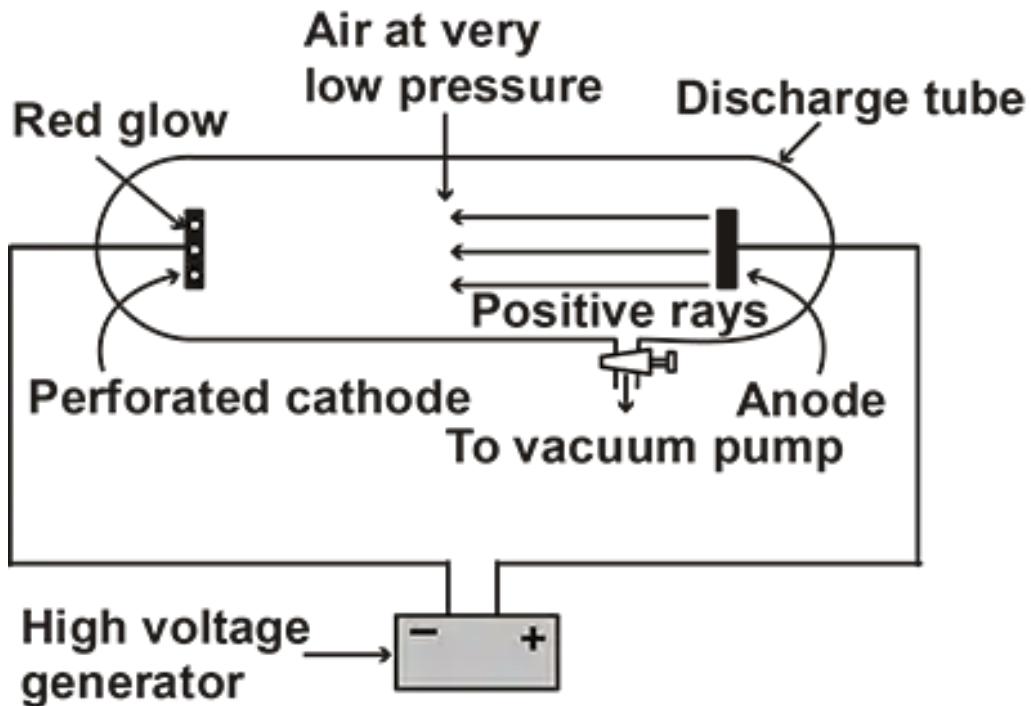


Figure 1: Diagrama schematică a unui tub de descarcare electrică în aer la presiune scăzută[2].

În continuare vom analiza distribuția radiației luminoase emise în funcție de poziția din tub. Privind în figura 2 de la stânga la dreapta se observă:

Strălucirea catodică ("cathodic glow"), spațiul în care electronii au căpătat destulă energie pentru a excita atomii din gaz, care se dezexcită cu emisie de lumină.

Spațiu întunecat catodic ("Cathode dark space"), spațiul în care electronii și mai multă energie, iar acestia nu mai excită atomii ci îi ionizează. Proces în urma căruia rezultă ioni și electroni, dar nu și radiație luminoasă.

Strălucirea negativă ("Negative glow"), spațiul în care electronii se recombină cu ionii pozitivi, proces în urma căruia rezultă radiație luminoasă.

Spațiu negativ Faraday ("Faraday dark space"), spațiul dintre strălucirea negativă și strălucirea pozitivă în care nu se emite radiație luminoasă.

Coloana pozitivă ("Positive column"), spațiul în care numărul ioniilor pozitivi scade, deci electronii vor avea o energie destul de mare pentru a începe din nou să excite atomii care ladezexcitare produc radiație luminoasă.

În cadrul coloanei pozitive se observă striații cauzate de faptul că atomii pot absorbi energie numai în cantități discrete.

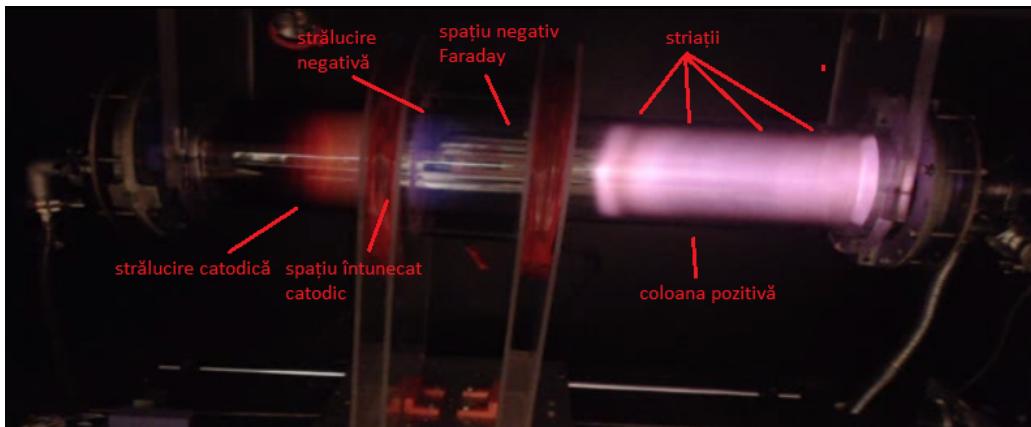


Figure 2: Distribuția radiației luminoase în tubul de descarcare.

3 Montajul Experimental

Montajul experimental constă într-un simulator ce permite ajustarea parametriilor tubului de descarcare după cum urmează:

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

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

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

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

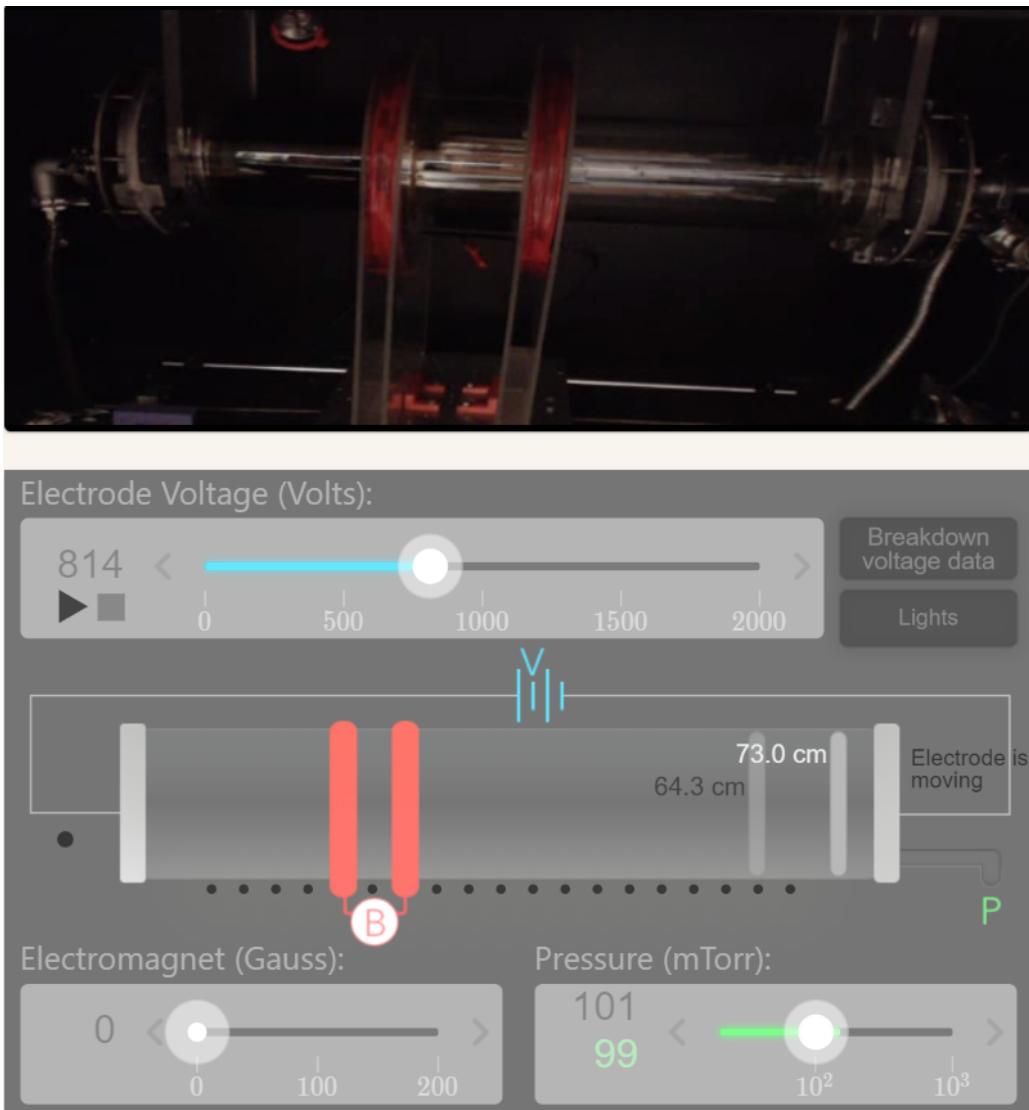


Figure 3: Fereastra de control a simulatorului.

4 Modul de lucru

Se lucrează la urmatoarele distanțe între electrozi: 0.2m (grupa 1), 0.35m (grupa 2), 0.5m (grupa 3) și 0.728cm (grupa 4).

Pasul 1: Se calculează valorile presiunii ce va fi fixată în simulator după formula

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

unde n este numărul grupei de lucru ($n = \overline{1,4}$), k este numărul măsurătorii ($k = \overline{1,5}$) și d este distanța dintre electrozi aferentă grupei de lucru (0.2, 0.35, 0.5, 0.728)[m].

Pasul 2: Se alege prima grupă ($n = 1$) și prima măsuratoare ($k = 1$) și se introduc valorile aferente în formula 1. Valoarea presiunii obținute se introduce în simulator (se poate alege o valoare de $\pm 20\%$ față de valoare calculată), simulatorul va modifica automat distanța dintre electrozi.

Pasul 3: Se măreste tensiunea dintre electrozi păna cand se detectează plasma (se ajunge la tensiunea de aprindere, U_b). Se notează, într-un tabel, distanța dintre electrozi, presiunea în tub și tensiunea dintre electorzi la momentul detecției.

Pasul 4: Se micsorează tensiunea dintre electrozi până cand plasma nu mai este vizibilă în tub (se ajunge la tensiunea de stingere, U_d). Se notează, într-o altă coloană a tabelului de la pasul 3, tensiunea dintre electrozi la momentul stingerii plasmei.

Se repetă pașii anteriori pentru restul de patru măsuratori și restul de trei grupe. Pentru fiecare grupă se va realiza un tabel separat.

Pasul 5: Se reprezintă grafic dependența tensiunilor U_b și U_d în funcție de produsul presiunii și distanței dintre electrozi. Pentru fiecare grupă se va realiza un grafic separat.

5 Rezultate

În urma parcuregerii pașilor descriși în secțiunea anterioară au rezultat tabelele 1, 2, 3, 4 și figurile 4.

Rezultatele obținute sunt nesatisfacatoare, în cazul grupelor 1 și 3, $U_b(p * d)$ descrie o curbă Paschen, dar în cazul grupelor 2 și 4 valorile obținute după minim cresc mult prea brusc pentru a descrie o curba Paschen, lucru evident dacă ne uităm la curba de interpolare, mai ales în cazul grupăi 4. Valorile experimentale pentru $U_d(p * d)$ sunt mult mai satisfacatoare acestea aflându-se mereu în intervalul (500-600)[V]. Curbele de interpolare ale acestora sunt aproape drepte, fapt ce este în concordanță cu cele așteptate.

| $d[m]$ | $p[mTorr]$ | $p * d[m * mTorr]$ | $U_b[V]$ | $U_d[V]$ |
|--------|------------|--------------------|----------|----------|
| 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 măsuratorilor 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 măsuratorilor 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 măsuratorilor 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 măsuratorilor pentru grupa 4 (72.8cm).

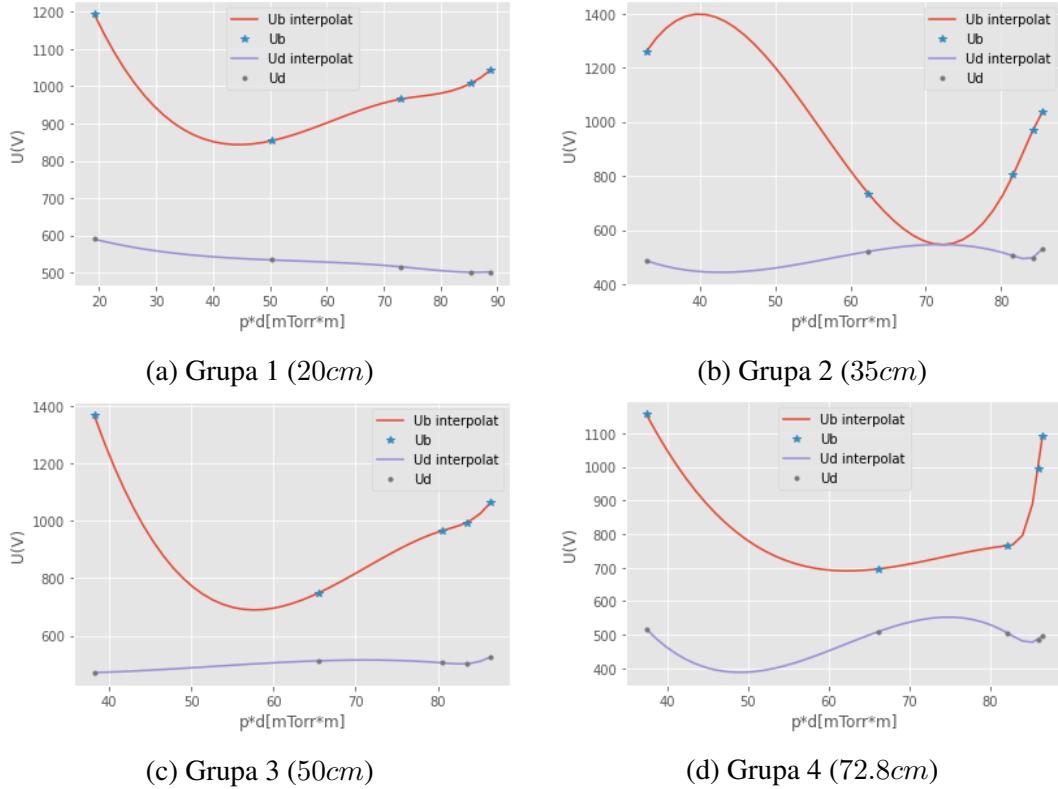


Figure 4: Dependența experimentală a tensiunilor U_b și U_d pentru cele patru grupe.

Parametrii setați în simulator sunt niste valori medii, în realitate valoare instantanee a distanței dintre electrozi, presiunii și tensiunii dintre electrozi fluctuează în jurul valorii medii. Acest fapt introduce alte erori în rezultatele experimentale pe lângă erorile cauzate de utilizator precum setarea presiunii la o valoare puțin diferită față de cea calculată cu formula 1.

Pentru a reduce influența acestor erori am mediat rezultatele celor patru grupe în tabelul 7 și am refăcut graficele $U_b(p * d)$ și $U_d(p * d)$ pentru noile valori 5. În cazul curbei de interpolare pentru $U_b(p * d)$, se observă o mai mare similitudine cu o curba Pachet teoretică, ne fiind observată o creștere bruscă după atingerea minimului. Curba de interpolare pentru $U_d(p * d)$ este aproximată tot printr-o dreaptă, dar are varabilitatea mai mică, iar valorile experimentale sunt distribuite mult mai aproape de valoarea asteptată 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.

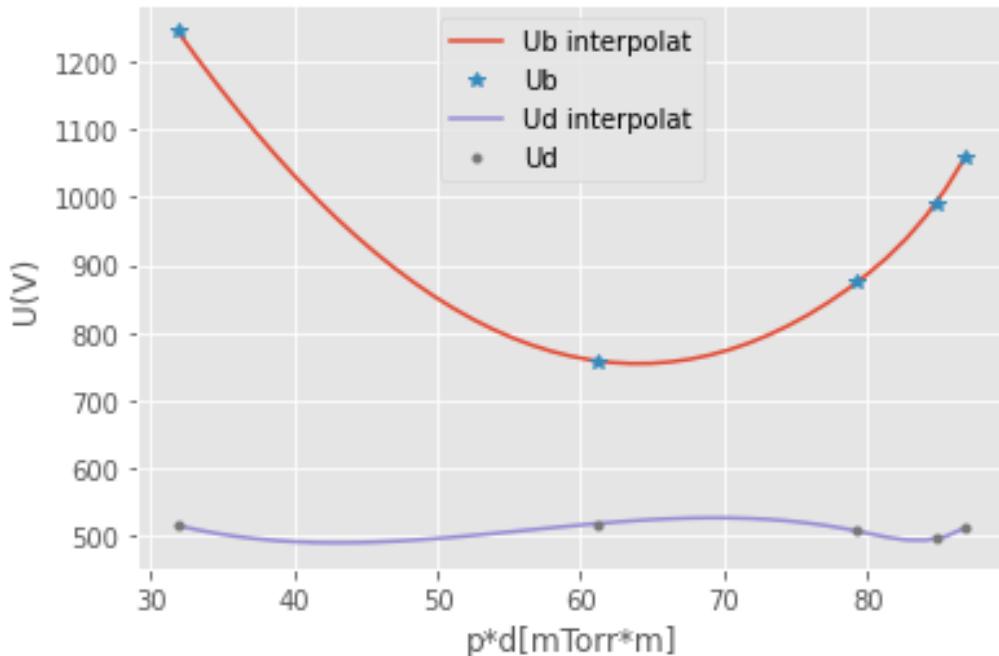


Figure 5: Dependenta experimentală a tensiunilor U_b și U_d pentru cele media celor patru grupuri.

Combinam, de asemenea, rezultatele celor patru grupe intr-un singur tabel 6 și o singură figură 6.

| $d[m]$ | $p[mTorr]$ | $p * d[m * mTorr]$ | $U_b[V]$ | $U_d[V]$ |
|--------|------------|--------------------|----------|----------|
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 6: Rezultatele pentru toate cele patru grupe.

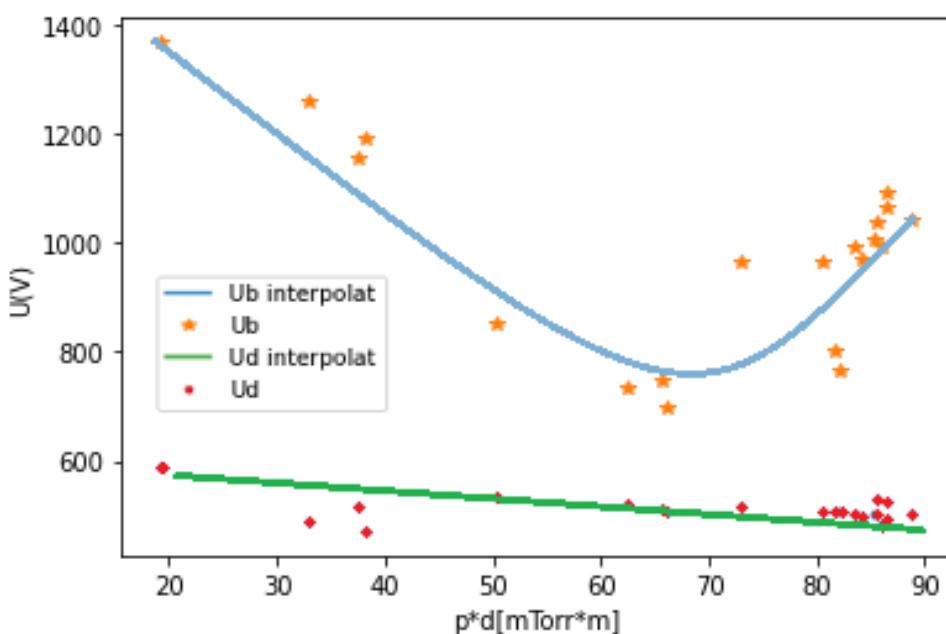


Figure 6: Dependența experimentală a tensiuniilor U_b și U_d pentru toate cele patru grupe.

6 Studiul erorilor

Am amintit mai sus tipurile de erori ce influentează valorile obținute experimental, dar nu am stabilit în ce măsura acestea afectează rezultatul final. Pentru a obține o cuantificare a erorilor vom măsura tensiunea de aprindere pentru presiunea de $100mTorr$ setată în 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 7: Rezultatul măsuratorilor pentru $p = 100mTorr$.

În continuare calcuăm media și abaterea standard și trecem rezultatele în forma

$$d = 0.63 \pm 0.01[m],$$
$$p = 100.2 \pm 0.97[mTorr],$$
$$U_b = 917.40 \pm 16.64[V].$$

Analizând rezultatul putem spune că erorile (cauzate de simulator) pentru presiune și distanță dintre electrozi sunt nesemnificative, eroarea pentru tensiunea de aprindere este aproximativ 2%. Deci erorile introduse de utilizatorul simulatorii sunt cauza neconcordantei graficelor experimentale 4 cu cele teoretice, iar medierea rezultatelor pe fiecare grupă produce un rezultat mai apropiat de realitate.

7 Concluzii

În această lucrare am studiat aprinderea unei descărari electrice în aer la presiune scăzută. Am determinat tensiuniile de aprindere și de stingere pentru diverse distanțe dintre electrozi și diferite presiuni. Am reprezentat grafic curba Paschen: dependența U_b de produsul dintre distanța dintre electrozi și presiunea în incintă. Masurările au fost facute pentru patru grupe de lucru fiecare cu o valoare a distanței dintre electrozi diferită ($0.2, 0.35, 0.5, 0.728$)[m]. Rezultatele sunt satisfăcătoare doar pentru două dintre cele patru grupe de lucru utilizate, dar medierea valorilor experimentale permite obținerea unei curbe Paschen determinată experimental apropiată de cea teoretică.

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.