

Mișcarea particulelor încărcate în câmp magnetic

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

May 3, 2022

1 Scopul lucrării

1. Analiza mișării unei particule încărcate în funcție de sarcina ei într-un câmp magnetic omogen.
2. Utilizarea unui câmp magnetic pentru controlul unei particule încărcate în aproximarea 3D.
3. Evidențierea influenței distribuției după energie asupra traectoriei de mișcare.
4. Utilizarea montajului experimental pentru realizarea unei proceduri de control a traectoriei particulelor încărcate.

2 Principiul fizic

2.1 Analiza mișării unei particule încărcate în funcție de sarcina ei într-un câmp magnetic

În aproximarea 2D, într-un câmp magnetic omogen, o particulă încărcată se va mișca după o orbită circulară fixă. Astfel, forța Lorentz și forța centrifugă sunt în echilibru

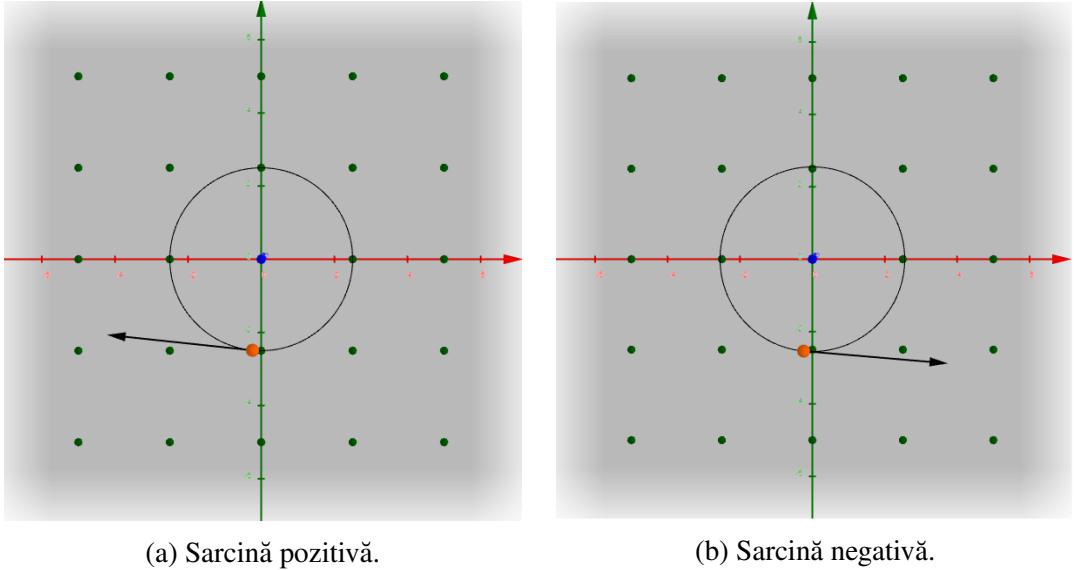
$$qvB = \frac{mv^2}{r}. \quad (1)$$

Deci, o particulă încărcată se va mișca pe traectoria unui cerc de rază

$$r = \frac{mv}{qB}, \quad (2)$$

unde m , v , q sunt masa, viteza respectiv sarcina particulei, iar B este intensitatea câmpului magnetic.

În figura 1 avem două cazuri de mișcare a unei particule încărcate în câmp magnetic în funcție de sarcina acesteia. Observăm că, pentru două sarcini egale dar de semn opus, mișcarea particulei descrie același cerc, dar sensul de parcursere al acestuia este diferit. Sensul se poate afla utilizând regula mâinii drepte.

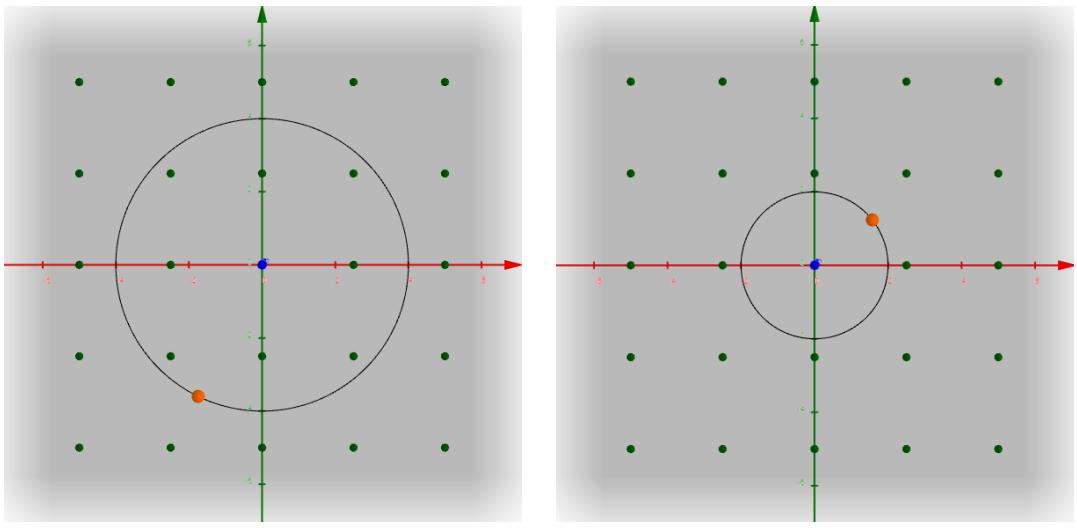


(a) Sarcină pozitivă.

(b) Sarcină negativă.

Figure 1: Mișcarea într-un câmp magnetic omogen, ceiese din foaie, a două particule de sarcină egala și semn contrar.

Observăm și faptul că raza cercului pe care se mișcă particula încărcată este invers proporțională cu sarcina particulei. În figura 2 se observă reducerea la jumătate a razei cercului atunci când se dublează sarcina.



(a) Mișcarea pentru o particulă de sarcină q .

(b) Mișcarea pentru o particulă de sarcină $2q$.

Figure 2: Mișcarea într-un câmp magnetic omogen, ceiese din foaie, a două particule de sarcină diferită.

2.2 Utilizarea unui câmp magnetic pentru controlul unei particule încărcate în aproximăția 3D

In schimb, în aproximăția 3D, dacă particula pătrunde sub un unghi oarecare în câmpul magnetic, atunci viteza particulei poate fi descompusă după două direcții, una paralelă cu linia de câmp magnetic și alta perpendiculară pe linia de câmp. Va exista astfel o mișcare circulară de

rază r ca în cazul 2D, combinată cu o mișcare de translație în jurul liniei de câmp. Ca urmare, particula are o traекторie helicoidală, ca cea reprezentată în figura 3.

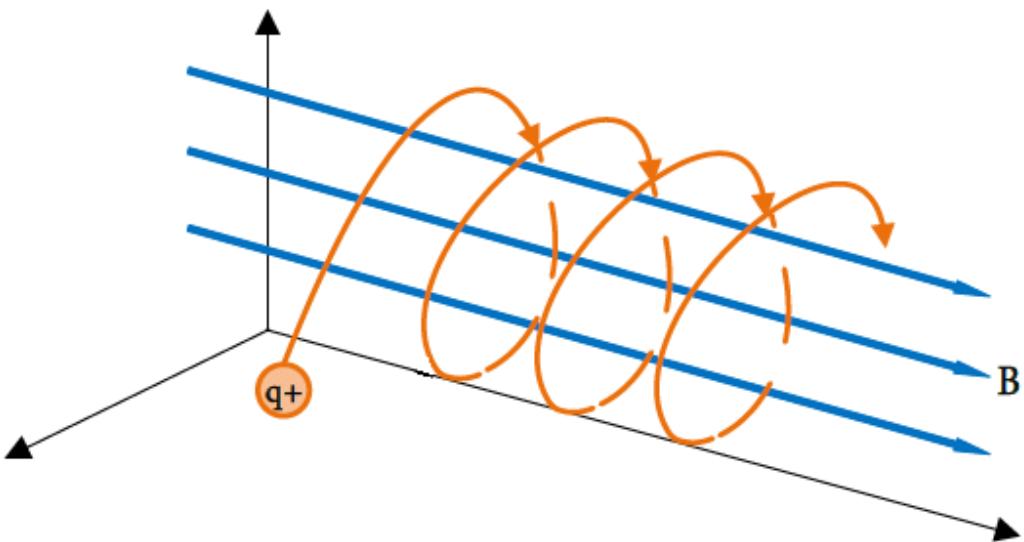


Figure 3: Traекторia helicoidală a unei particule încărcate în aproxiamația 3D.

Folosind această mișcare, putem astfel descrie o configurație de câmp magnetic ce poate fi utilizat pentru controlul practic al unei particule încărcate. În fizica plasmei o astfel de configurație este un câmp ce permite fenomenul de reflecție magnetică. Acest fenomen este datorat faptului că forța care acționează asupra unei particule încărcate electric este orientată întotdeauna spre câmpuri mai slabe. Astă înseamnă că, în mișcarea sa, o particulă poate întâlni un camp magnetic care să o oprească și să determine întoarcerea acesteia din sensul în care a venit. Acest fenomen, de reflexie magnetică, permite creaarea de oglinzi magnetice (vezi figura 4).

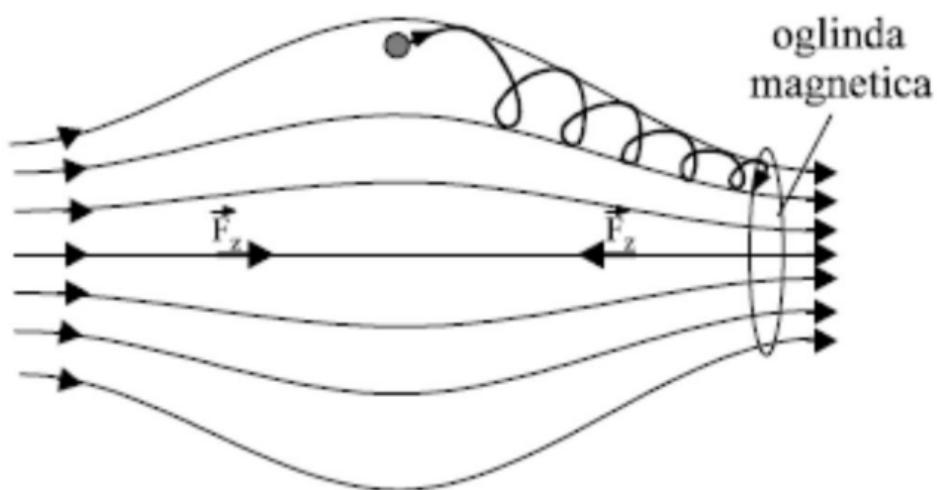


Figure 4: Mișcarea unei particule încărcate într-o oglindă magnetică.

Oglinzelile magnetice au o puternică întrebuităre în fizica plasmei prin faptul că sunt folosite în realizarea capcanelor magnetice, un dispozitiv vital în confinarea magnetică a plas-

mei de fuziune. Cea mai simplă capcană magentică se obține folosind două spire de curent apropriate, prin care circulă curenți electrici în același sens (vezi figura 5).

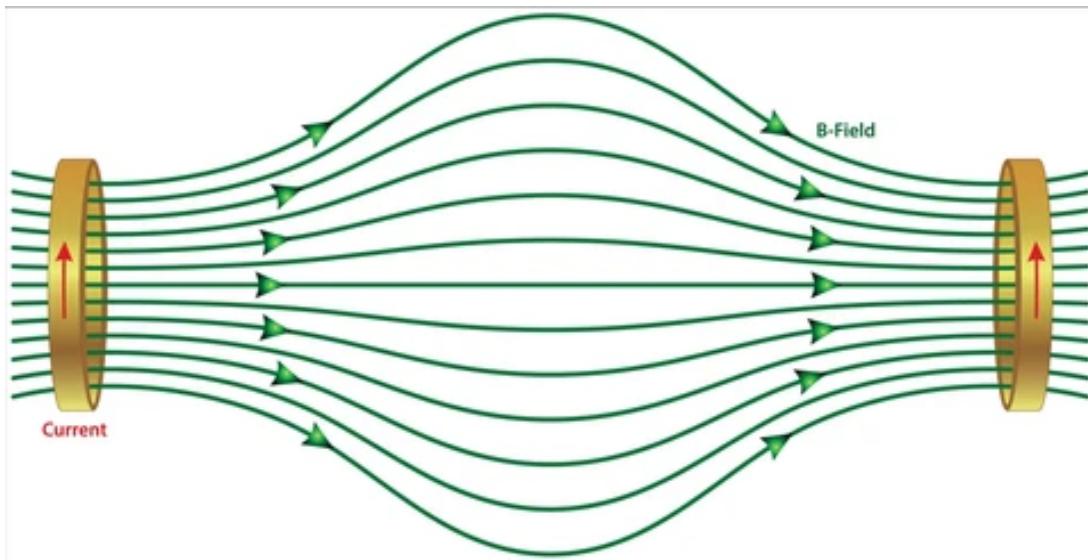


Figure 5: Ansamblu de spire de curent ce formează o capcană magetică.

3 Montajul experimental

Elementul principal din montajul experimental (vezi 6) este un electromagnet ce curbează traiectoria radiațiilor β emise de o sursă radioacativă. Intensitatea câmpului magnetic creat de electromagnet poate fi controlată prin modificarea intensității curentului prin electromagnet din butonul de la sursa de tensiune. Numaratoare se face cu un detector Geiger–Müller.

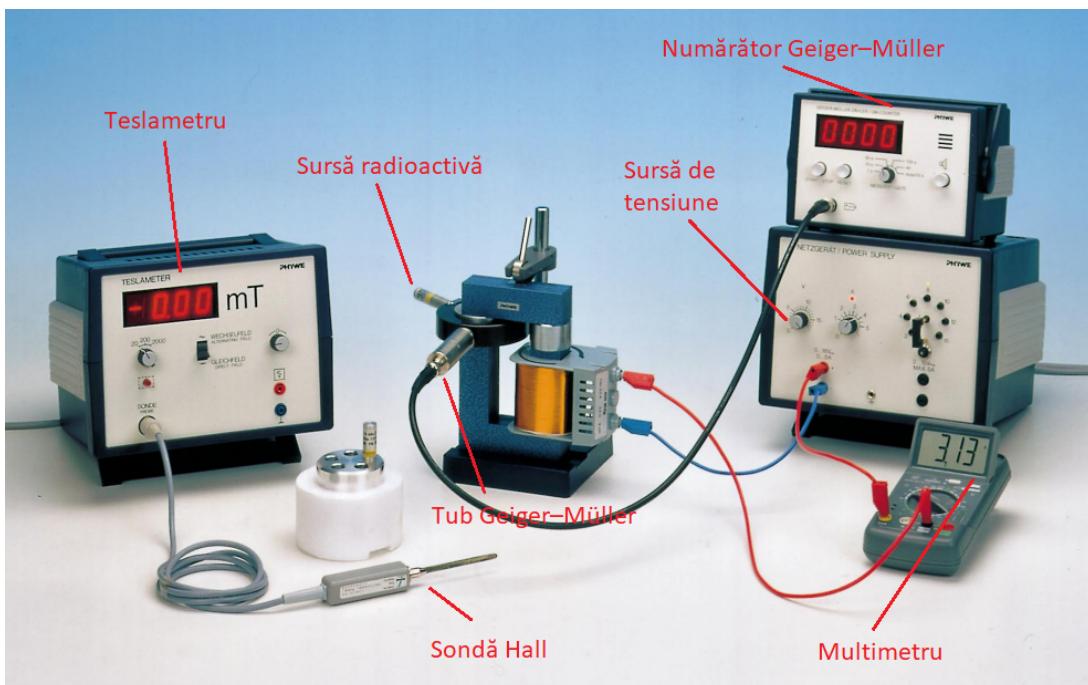


Figure 6: Montajul experimental.

4 Modul de lucru

Pasul 1: Se înregistrează numărul de impulsuri (F) pentru radiația de fond timp de 10 minute ($t_f = 10\text{min} = 600\text{s}$) și se calculează viteza de numărare a fondului cu formula $f = \frac{F}{t_f}$ [imp/s].

Pasul 2: Se introduce sursa de ^{90}Sr în suportul circular și se cuplează borna pozitivă a sursei de alimentare la borna β^- a bobinei.

Pasul 3: Se setează intensitatea curentului brin bobină la prima valoare din tabelul 1.

Pasul 4: Se setează ceasul număratorului la $t = 60\text{s}$ și se înregistrează numărul de impulsuri [N], rezultatul se trece în tabelul 1.

Pasul 5: Se calculează viteza de numărare cu formula $n' = \frac{N}{t}$ [imp/s] și separat se scade viteza de numărare a fondului $n = n' - f$.

Pasul 6: Se repetă măsuratorile pentru restul valorilor intensității curentului prin bobină.

Pasul 7: Se cuplează borna pozitivă a sursei de alimentare la borna β^+ a bobinei.

Pasul 8: Se parcurg aceleasi măsuratori ca și în cazul anterior, iar rezultatele se trec în tabelul 2.

5 Rezultate

După parcurgerea procedurilor descrise în secțiunea anterioară au rezultat tabelele 1 2 și figurele 8 7.

Pentru radiația de fond s-au înregistrat 150 de impulsuri în 600 de secunde. Deci $f = 0.25\text{imp/s}$.

Privind acum atât la tabelul 1 cât și la figura 8 observăm că există o valoare a câmpului magnetic pentru care numarul de impulsuri înregistrate este maxim. Această valoare corespunde cu mărimea ideală a câmpului magnetic ce curbează fasciculul de radiatii beta pe detector. O valoare mai mare sau mai mică a câmpului magnetic va produce o deviație a fasciculului de radiații betă înainte sau după detector, acest lucru atrage de la sine valori mai mici ale numarului de impulsuri înregistrate.

Ne concentrăm atenția pe tabelul 2 cât și la figura 7 observăm că valorile numărului de impulsuri nu mai sunt dependente de valoarea intensității câmpului magnetic. Acest lucru se întâmplă deoarece am shimbăt bornele sursei deci și sensul câmpului magnetic. Deci acesta va curba traiectoria radiațiilor beta în sensul opus detectorului, astfel vom înregistra doar radiația de fond. În realitate se înregistrează un număr de impulsuri foarte apropiat de radiația de fond deoarece unele particule încărcate tot reușesc să ajungă pe detector deoarece au o energie ridicată și nu pot fi deviate în timp de câmpul magnetic. Acest lucru este evident în special pentru valori mici ale câmpului magnetic.

Nr. crt	I [A]	b[mT]	E[keV]	N(imp)	n' [Imp/s]	n [imp/s]
1	0	4.4	5.47	155	2.58	2.33
2	0.1	15.4	21.56	258	4.3	4.05
3	0.2	24.5	47.34	336	5.6	5.35
4	0.3	34.7	81.55	534	8.9	8.65
5	0.4	45.7	122.83	789	13.15	12.9
6	0.5	56.1	169.89	1008	16.8	16.55
7	0.6	65.8	221.62	1140	19	18.75
8	0.7	78	277.11	1267	21.11	20.86
9	0.8	87	335.61	1296	21.6	21.35
10	0.9	97.4	396.53	1278	21.3	21.05
11	1.0	107.4	459.43	1076	17.93	17.68
12	1.1	120.2	523.94	1004	16.73	16.48
13	1.2	128.5	589.79	894	14.9	12.65
14	1.3	140	656.74	735	12.25	12
15	1.4	149	724.61	618	10.3	10.05
16	1.5	159.3	793.27	477	7.95	7.7
17	1.6	168.1	861.58	412	6.86	6.61
18	1.7	174.7	932.47	308	5.13	4.88

Table 1: Datele colectate pentru sursa de ^{90}Sr atunci când borna pozitivă a sursei este conectată la borna negativă a sursei.

Nr. crt	I [A]	b[mT]	E[keV]	N[imp]	n' [Imp/s]	n [imp/s]
1	0	4.4	5.47	82	1.36	1.11
2	0.1	15.4	21.56	81	1.35	1.1
3	0.2	24.5	47.34	70	1.16	0.91
4	0.3	34.7	81.55	57	0.95	0.7
5	0.4	45.7	122.83	43	0.71	0.46
6	0.5	56.1	169.89	38	0.63	0.38
7	0.6	65.8	221.62	31	0.51	0.26
8	0.7	78	277.11	34	0.56	0.31
9	0.8	87	335.61	34	0.56	0.31
10	0.9	97.4	396.53	24	0.4	0.15
11	1.0	107.4	459.43	30	0.5	0.25
12	1.1	120.2	523.94	36	0.6	0.35
13	1.2	128.5	589.79	19	0.31	0.06
14	1.3	140	656.74	20	0.33	0.08
15	1.4	149	724.61	15	0.25	0
16	1.5	159.3	793.27	20	0.33	0.08
17	1.6	168.1	861.58	16	0.26	0.01
18	1.7	174.7	932.47	15	0.25	0

Table 2: Datele colectate pentru sursa de ^{90}Sr atunci când borna pozitivă a sursei este conectată la borna pozitivă a sursei.

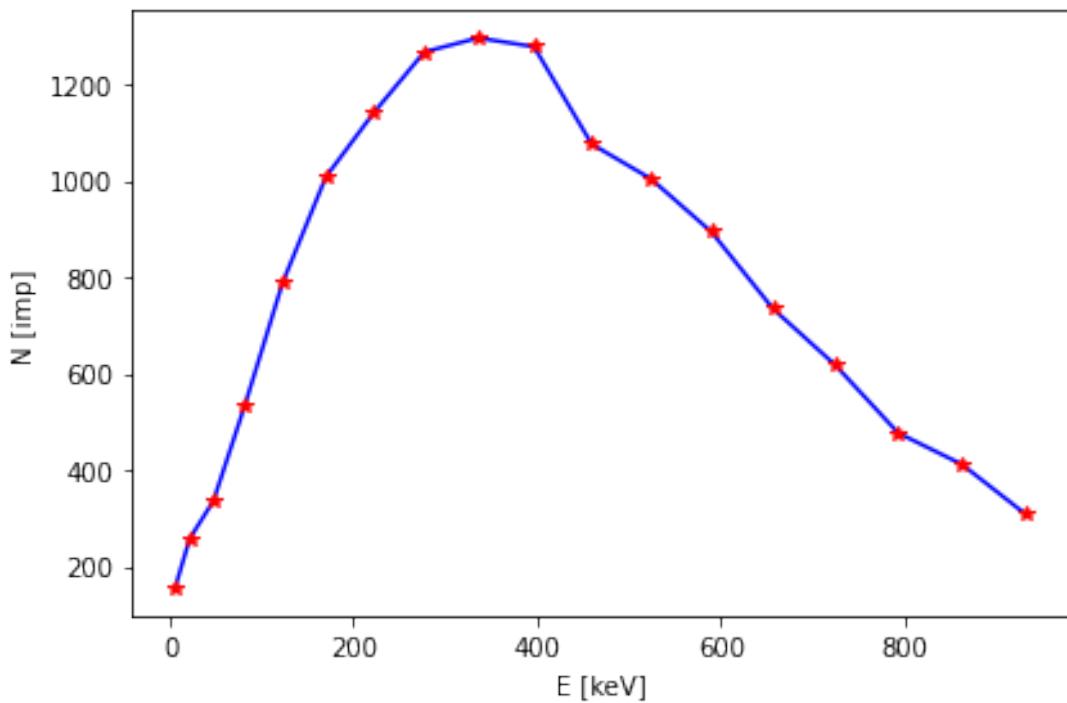


Figure 7: Graficul distribuției după energie pentru sursa de ^{90}Sr atunci când borna pozitivă a sursei este conectată la borna β^- a sursei.

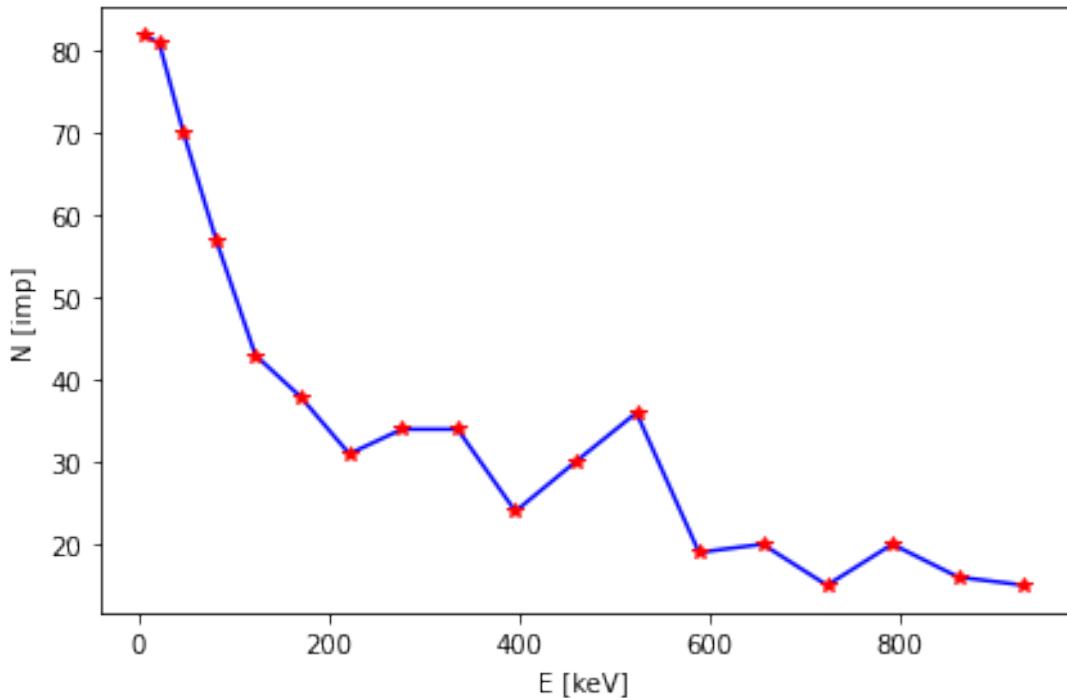


Figure 8: Graficul distribuției după energie pentru sursa de ^{90}Sr atunci când borna pozitivă a sursei este conectată la borna β^+ a sursei.

6 Controlul traectoriei particulelor încărcate

Montajul experimental descris în secțiunea 3 poate fi utilizat pentru controlul traectoriei particulelor încărcate. Vom arăta acest lucru prin utilizarea unui simulator.

Considerăm o particulă cu masa, sarcină și viteză inițială constantă, putem controla traectoria acesteia prin trecerea acesteia print-un câmp magnetic. În urma utilizării simulatorului (vezi 9) observăm faptul că un câmp magnetic mai puternic va devia mai mult traectoria unei particule încarcate și dacă direcția campului magnetic se schimbă, atunci și deviația are loc în sensul opus.

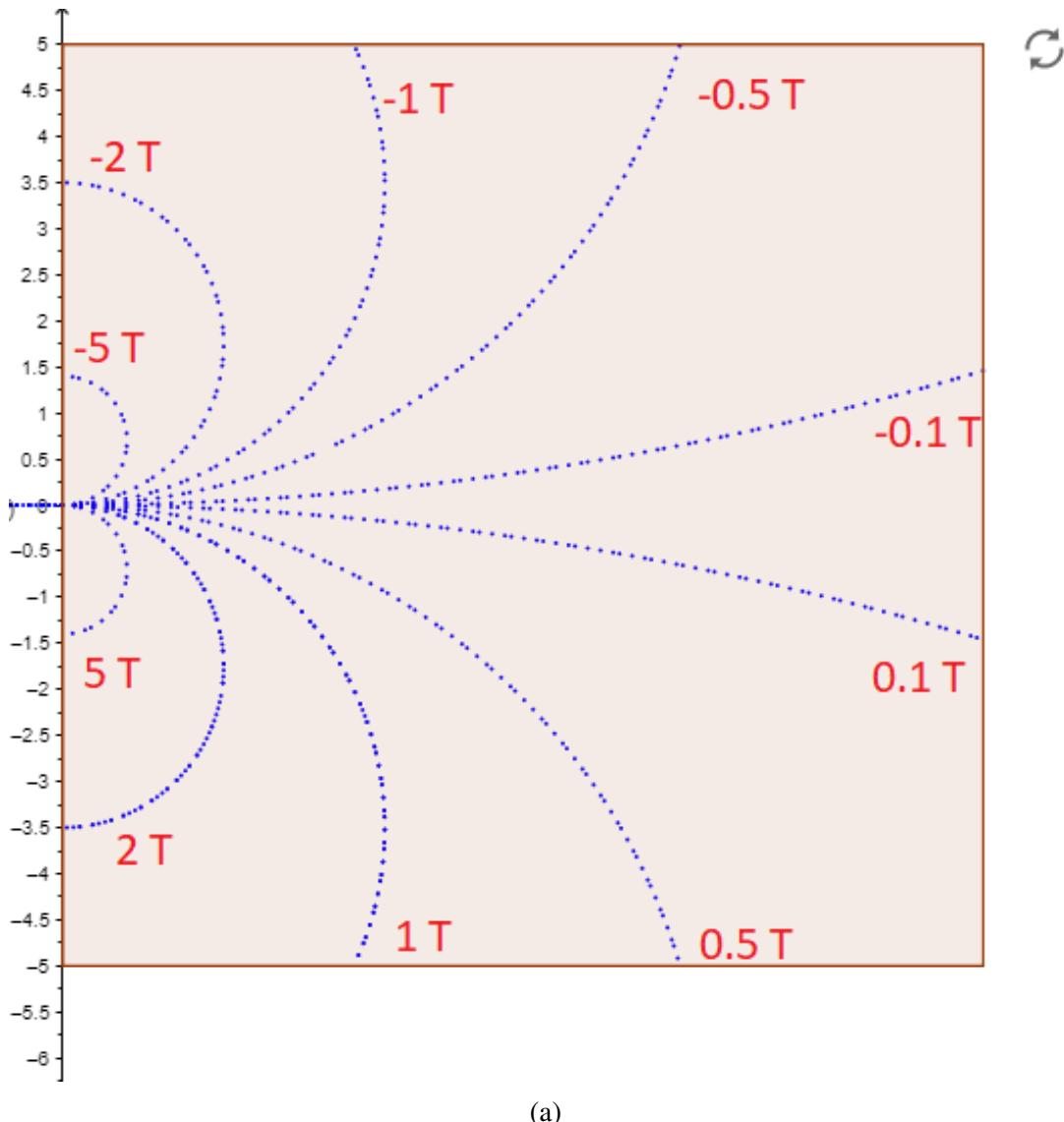


Figure 9: Dependența traectoriei unei particule încărcate de intensitatea câmpului magnetic prin care trece.

In urma utilizării simulatorului realizam faptul ca un camp magnetic mai puternic va devia mai mult traectoria unei particule incarcate și dacă direcția câmpului magnetic se schimbaă, atunci și deviația are loc în sensul opus.

7 Concluzii

În acest laborator am analizat mișcarea unei particule încărcate în funcție de sarcina ei intr-un câmp magnetic omogen atât în cazul 2D cât și 3D. Am evidențiat influența distribuției după energie asupra traectoriei de mișcare. Am arătat aplicabilitatea unui câmp magnetic în controlul practic al particulelor încărcate (capcana magnetică) și am propus o procedură prin care montajul experimental poate fi utilizat pentru controlul traectoriei particulelor încărcate.