

Mișcarea particulelor încărcate în câmp magnetic

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

May 3, 2022

1 Scopul lucrării

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

2 Principiul fizic

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

În aproximația 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

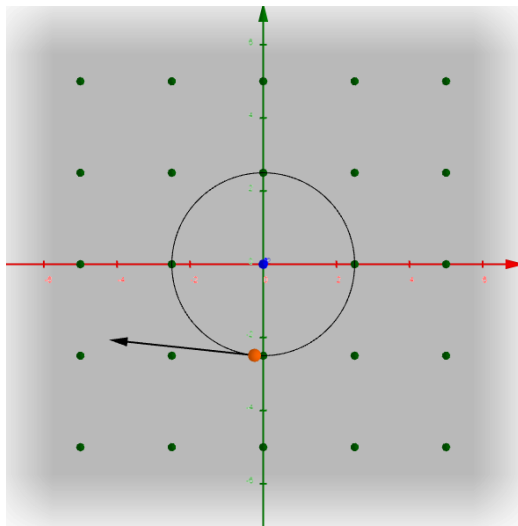
$$qvB = \frac{mv^2}{r}. \quad (1)$$

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

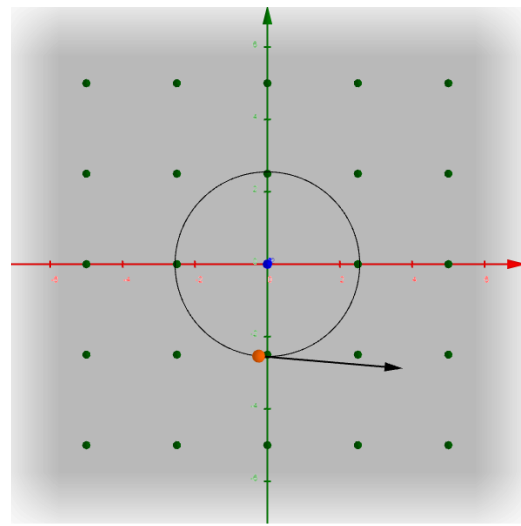
$$r = \frac{mv}{qB}, \quad (2)$$

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 parcurgere al acestuia este diferit. Sensul se poate afla utilizând regula mâinii drepte.



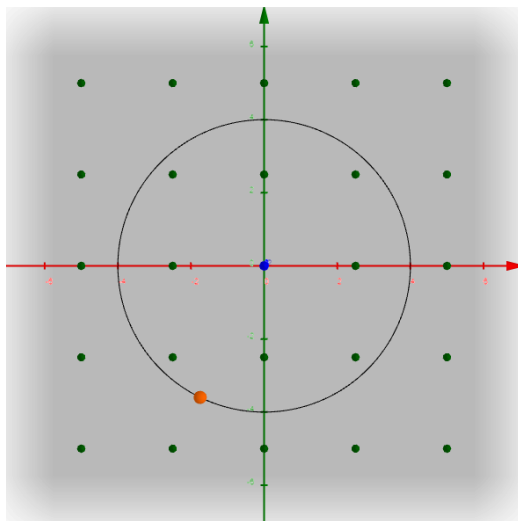
(a) Sarcină pozitivă.



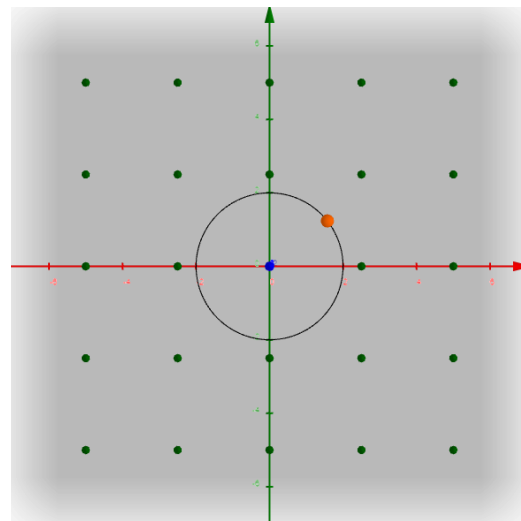
(b) Sarcină negativă.

Figure 1: Mișcarea într-un câmp magnetic omogen, ce iese din foaie, a două particule de sarcină egală 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, ce iese din foaie, a două particule de sarcină diferită.

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

În schimb, în aproximația 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 traiectorie helicoidală, ca cea reprezentată în figura 3.

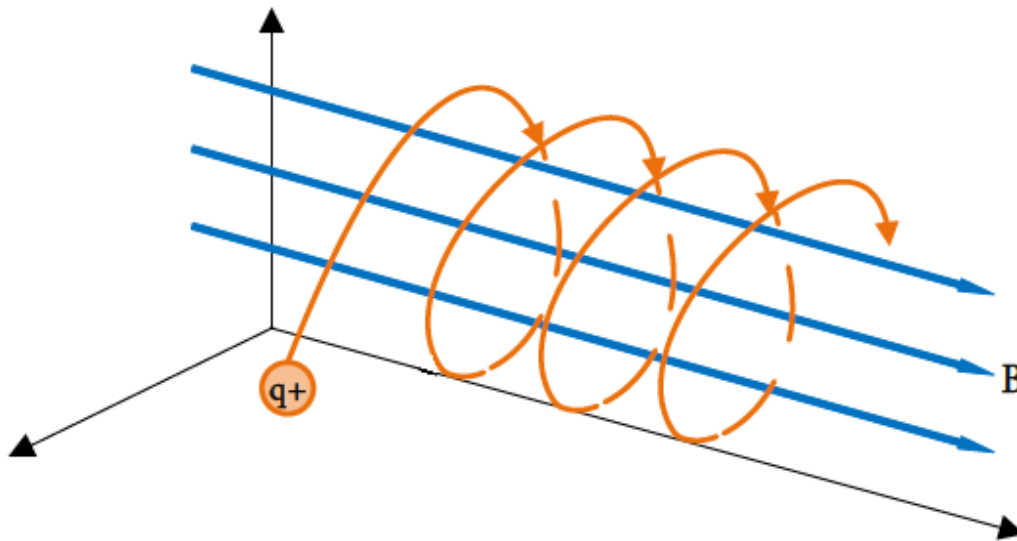


Figure 3: Traiectoria helicoidală a unei particule încărcate în aproximația 3D.

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 reflexie magnetică. Acest fenomen este datorat faptului că forța care acționează asupra unei particule încărcate electric este orientată întotdeauna spre câmpuri mai slabe. Asta înseamnă că, în mișcarea sa, o particulă poate întâlni un câmp magnetic care să o oprească și să determine întoarcerea acesteia din sensul în care a venit. Acest fenomen, de reflexie magnetică, permite crearea de oglinzi magnetice (vezi figura 4).

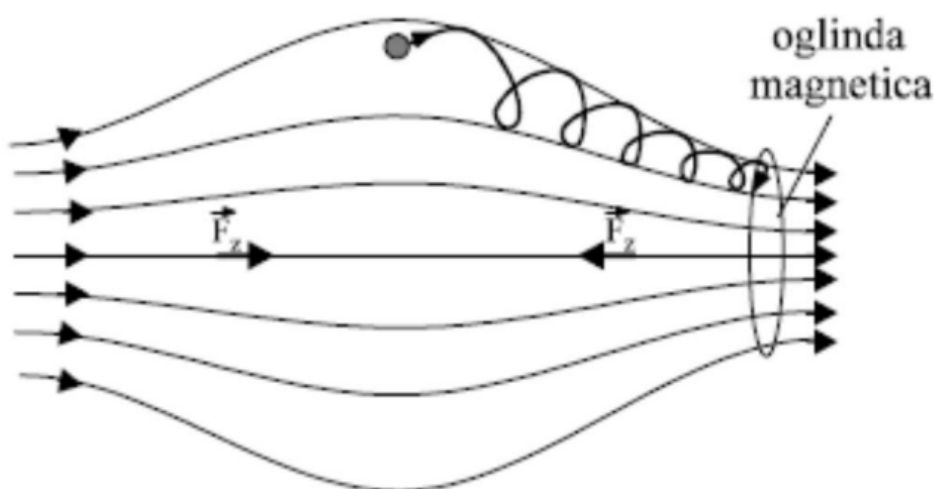


Figure 4: Mișcarea unei particule încărcate într-o oglindă magnetică.

Oglinzile magnetice au o puternică întrebuințare 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 magnetică se obține folosind două spire de curent apropiate, prin care circulă curenți electrici în același sens (vezi figura 5).

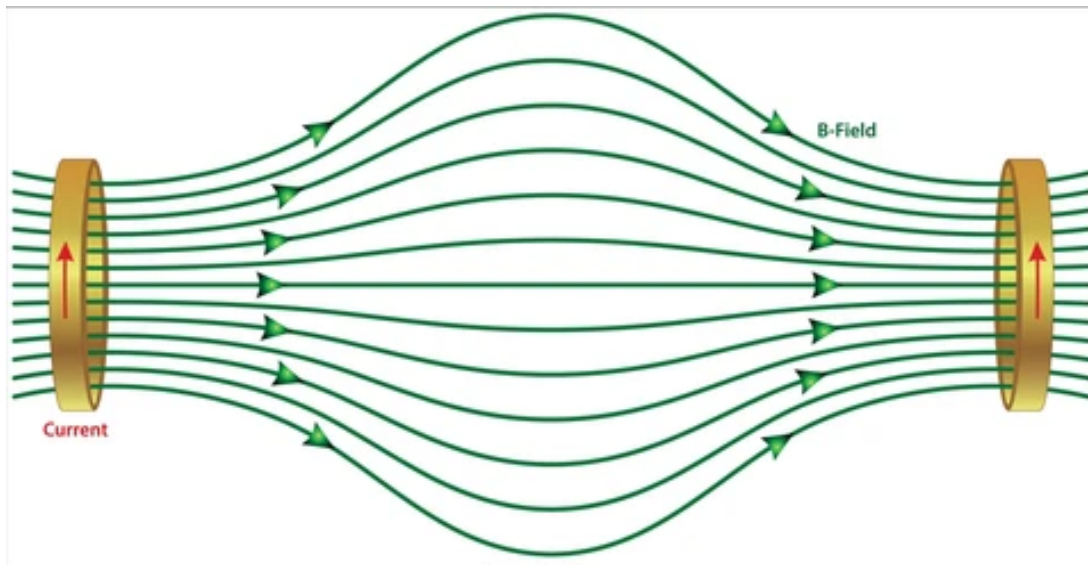


Figure 5: Ansamblu de spire de curent ce formează o capcană magnetică.

3 Montajul experimental

Elementul principal din montajul experimental (vezi 6) este un electromagnet ce curbează traiectoria radițiilor β emise de o sursă radioactivă. 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 efeta cu un detector Geiger–Müller.

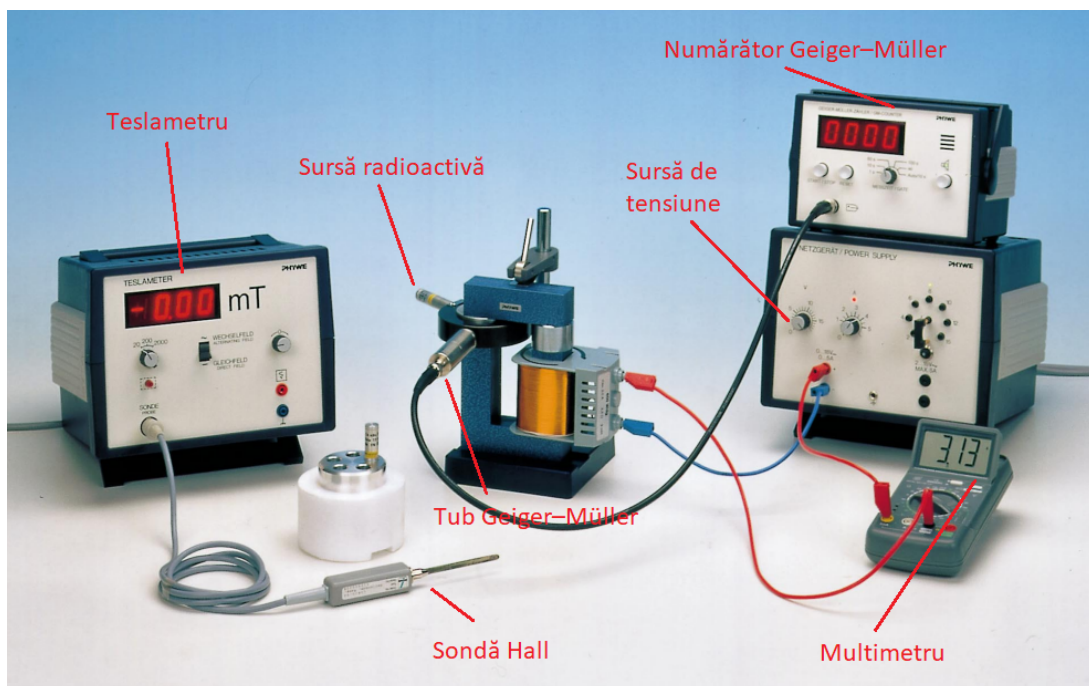


Figure 6: Montajul experimental.

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 prin 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 măsurătorile 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 aceleași măsurați 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 și 2 și figurile 8 și 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 numărul de impulsuri înregistrate este maxim. Această valoare corespunde cu mărimea ideală a câmpului magnetic ce curbează fasciculul de radiații beta pe detector. O valoare mai mare sau mai mică a câmpului magnetic va produce o deviație a fasciculului de radiații beta înainte sau după detector, acest lucru atrage de la sine valori mai mici ale numărului 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 schimbat 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.

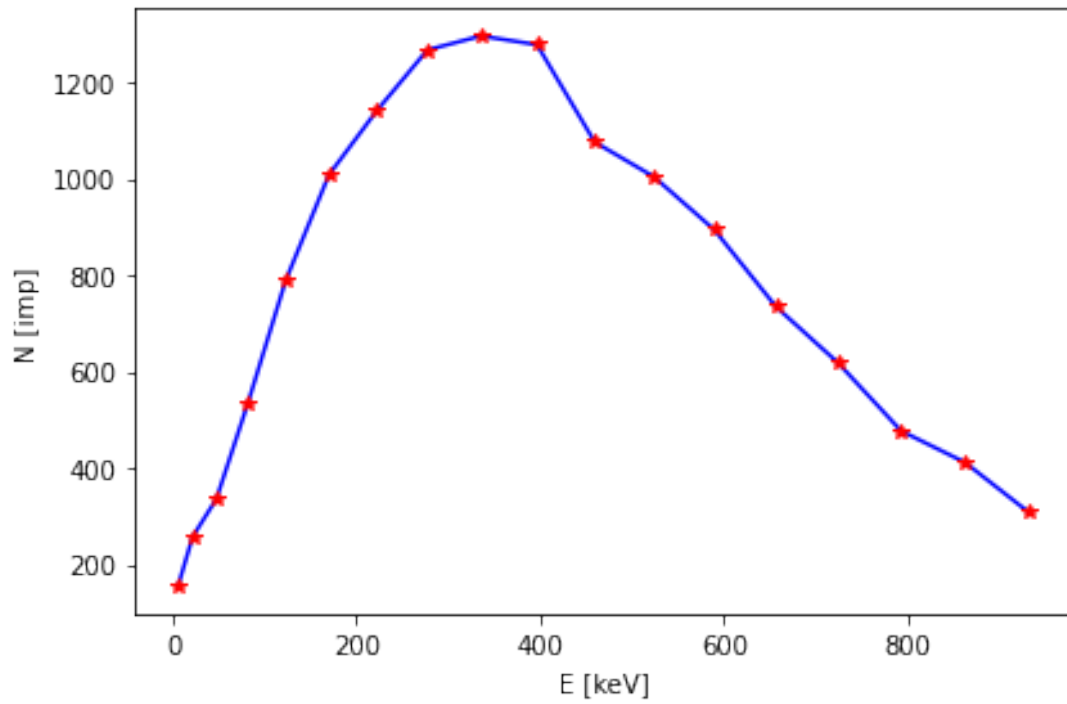


Figure 7: Graficul distribuției după energie pentru sursa de ^{90}Sr atunci când borna pozitivă a sursei este conectată la borna β^- a sursei.

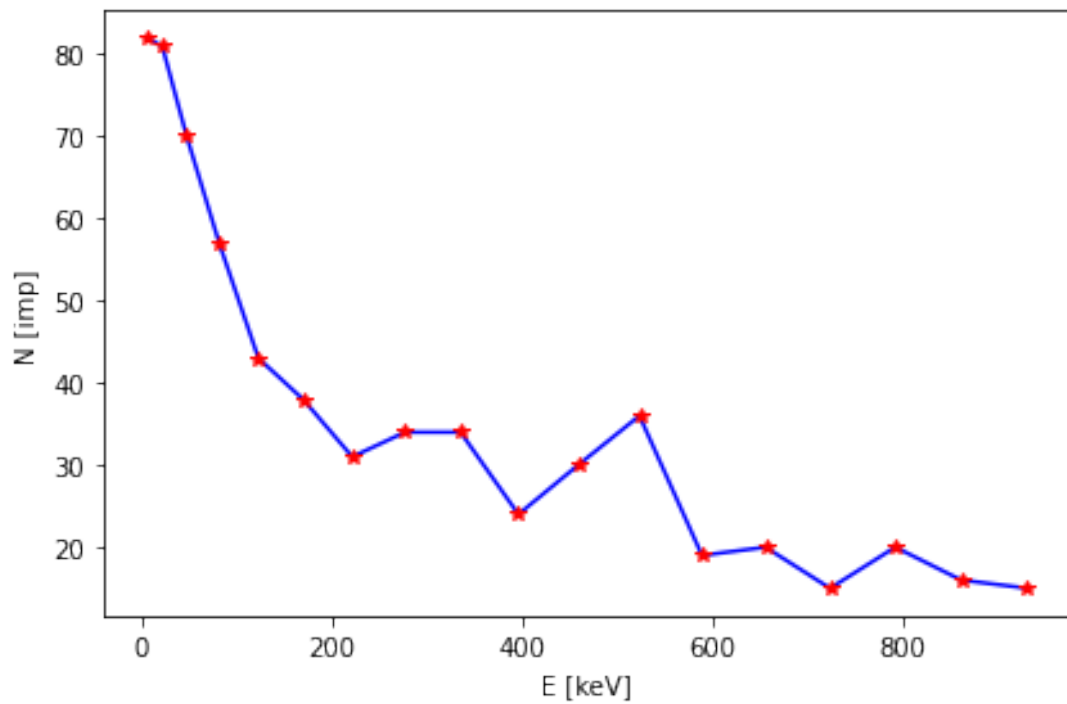
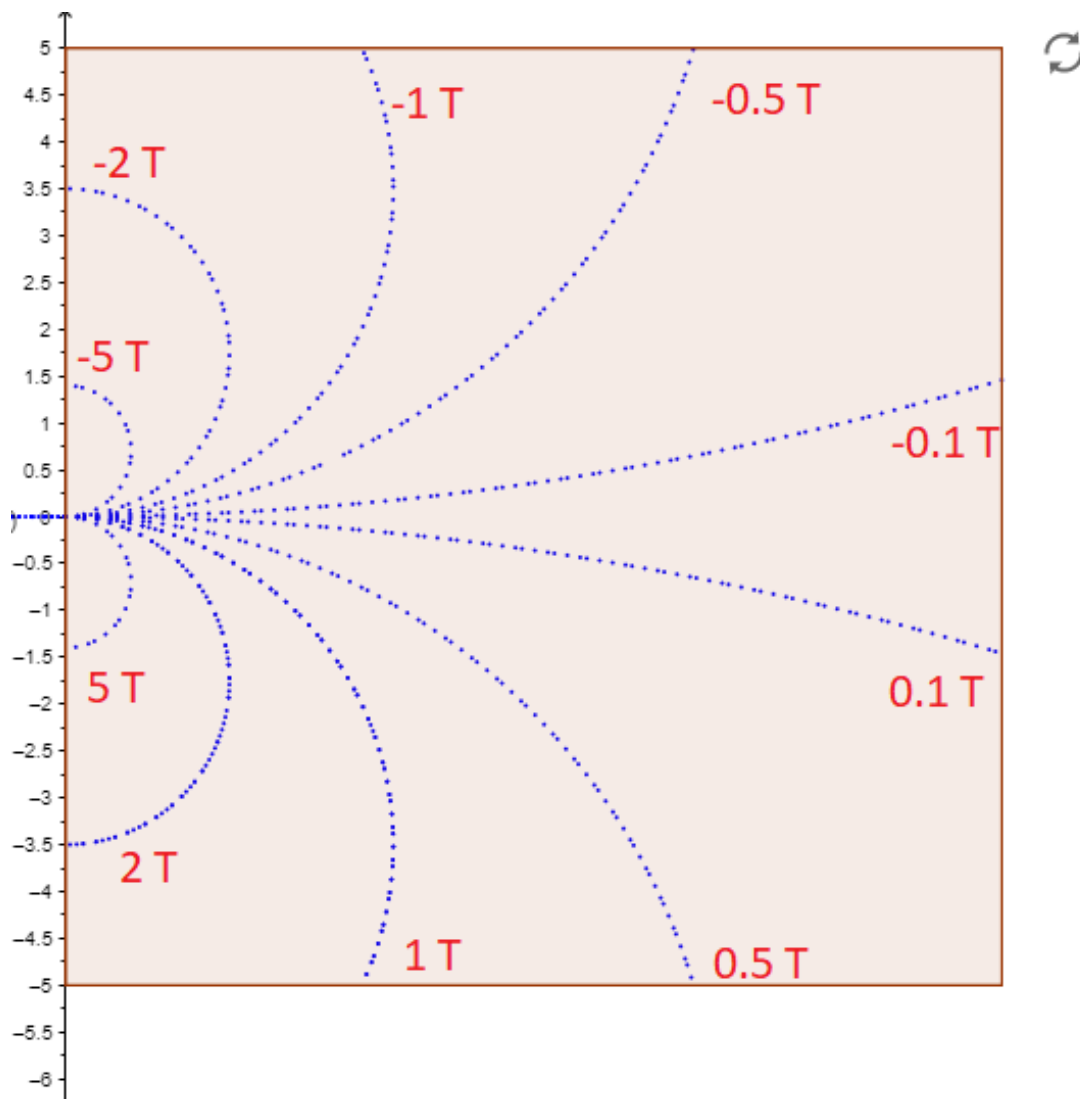


Figure 8: Graficul distribuției după energie pentru sursa de ^{90}Sr atunci când borna pozitivă a sursei este conectată la borna β^+ a sursei.

6 Controlul traiectoriei particulelor încărcate

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

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



(a)

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

În urma utilizării simulatorului realizăm faptul că un câmp magnetic mai puternic va devia mai mult traiectoria unei particule încărcate și dacă direcția câmpului magnetic se schimbă, atunci și deviația are loc în sensul opus.

7 Concluzii

În acest laborator am analizat mișcarea unei particule încărcate în funcție de sarcina ei într-un câmp magnetic omogen atât în cazul 2D cât și 3D. Am evidențiat influența distribuției după energie asupra traiectoriei 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 traiectoriei particulelor încărcate.