Fokusační magnety

Pro správnou funkci urychlovače se částice musí pohybovat pokud možno přesně po ideální kruhové trajektorii uprostřed urychlovací trubice tak, aby nenarážely do jejích stěn. Částice se ovšem po této ideální trajektorii nepohybují. Příčinou odchýlení jsou zejména:

1. nehomogenity magnetického pole (způsobeném mírným kolísáním hodnoty elektrického proudu v elektromagnetech, nehomogenitou teploty supravodiče, z nějž jsou cívky elektromagnetu navinuty, ...);
2. srážky částic se zbytkovým plynem v trubici (v ní je sice udržováno velmi vysoké vakuum, ale nějaké částice v něm zůstanou).

Proto je nutné částice fokusovat do středu urychlovací trubice.

Mechanismus fokusace musí na částice, které jsou dále od své ideální trajektorie, působit silou vracející je na tuto ideální trajektorii, zatímco na částice, které se pohybují po požadované trajektorii, žádnou silou působit nesmí. Tyto požadavky splňuje magnetické pole vytvořené pomocí kvadrupólových magnetů.

Kvadrupólový magnet je tvořen čtyřmi magnetickými póly, které jsou rozmístěné tak, že vždy proti sobě jsou stejné póly (viz schématicky na obr. 183).

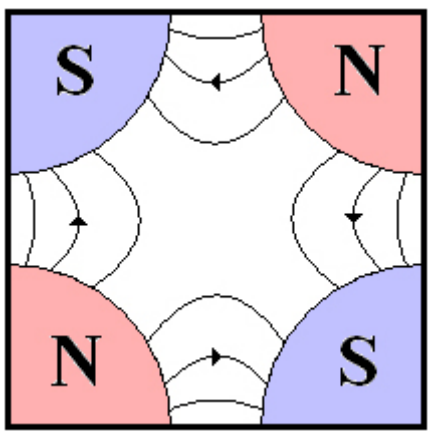
Orientaci magnetických indukčních čar lze určit na základě domluvy: vně magnetu mají magnetické indukční čáry směr od severního pólu magnetu k jižnímu pólu magnetu.

Bude-li prolétat kvadrupólovým magnetem nabitá částice, bude na ní působit výslednice magnetických sil $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ a $\vec{F}_4$ (viz obr. 184, na kterém výslednice sil zakreslena není).

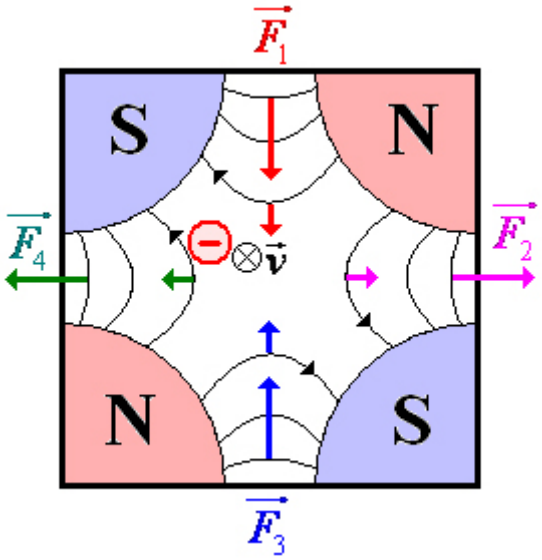
Směr sil lze určit Flemingovým pravidlem levé ruky; přitom je důležité si uvědomit, že částice na obr. 184 je nabitá záporně a tedy se pohybuje proti domluvenému směru elektrického proudu.

Poznámka: Síly jsou zakresleny u magnetických indukčních čar nikoliv u částice, jak by správně mělo být.

Směr pohybu nabité částice v magnetickém poli lze vyjádřit symbolicky - na obr. 184 se tedy záporně nabitá částice pohybuje směrem do nákresny (tj. od nás pryč).



Obr. 183



Obr. 184

Velikost sil $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ a $\vec{F}_4$ bude s rostoucí vzdáleností částice od středu kvadrupólového magnetu (tj. od své ideální trajektorie) narůstat. Proto na částice, které se pohybují po téměř ideální

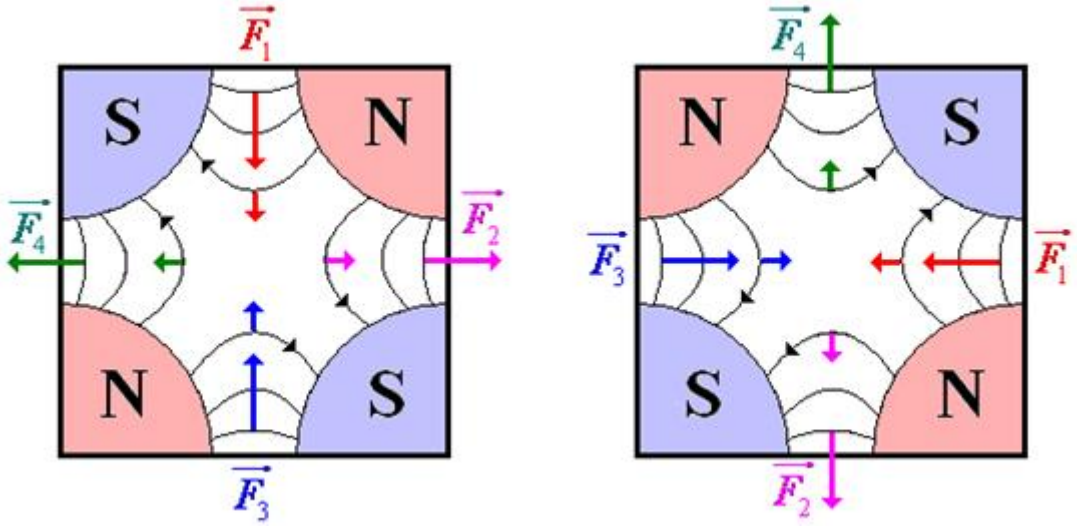
trajektorii v urychlovači bude působit velmi malá síla, zatímco na částice od ideální trajektorie vzdálenější bude působit síla větší. To je přesně cílem fokusační sekce urychlovače.

Ve středu kvadrupólu se magnetická pole všech čtyř magnetů, jimiž je kvadrupól tvořen, navzájem ruší a proto na částice pohybující se středem kvadrupólu nepůsobí žádná síla.

Podle obr. 184 na částici vychýlenou ve svislém směru působí síly $\vec{F}_1$ a $\vec{F}_3$ mířící do středu. Vrací tedy částici na její ideální trajektorii a tím svazek částic zaostřují (fokusují). Na částici vychýlenou ve vodorovném směru působí síly $\vec{F}_2$ a $\vec{F}_4$ mířící od středu kvadrupólu. Tyto síly částici více oddalují od její ideální trajektorie a celý svazek částice tedy rozostřují.

Kvadrupólový magnet tedy funguje ve svislém směru jako spojka a ve vodorovném směru jako rozptylka.

Aby se zaostřil svazek částic na ideální trajektorii v obou směrech, stačí umístit ve vhodné vzájemné vzdálenosti za sebou dva kvadrupólové magnety vzájemně pootočené o $90°$ (viz obr. 185). *Poznámka: Na obr. 185 jsou zobrazeny dva kvadrupóly vedle sebe kvůli přehlednosti. Ve skutečně jsou za sebou: za první magnet (ten vlevo) se „zasune“ druhý (ten vpravo).*

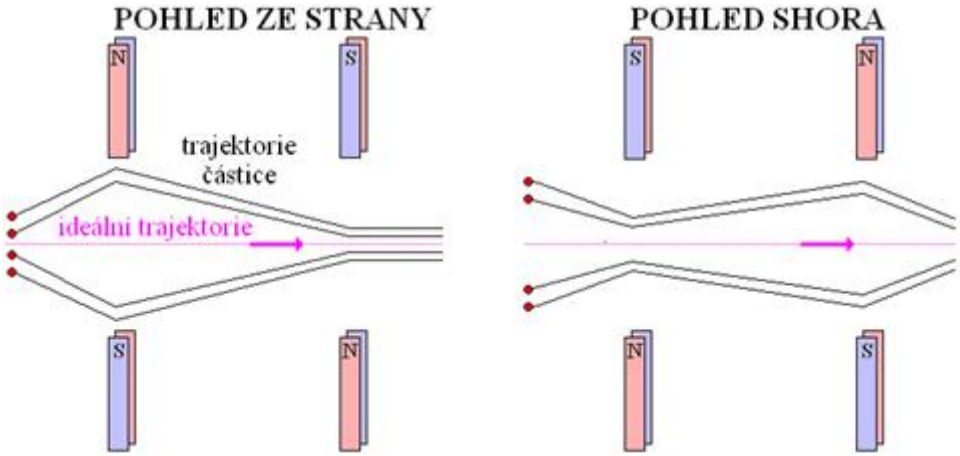


Obr. 185

Každý kvadrupólový magnet na obr. 185 funguje stejně. Tím, že jsou navzájem pootočeny o $90°$ a jsou umístěné ve správné vzdálenosti od sebe, zaostří svazek letících částic do středu (tj. na ideální trajektorii částic) v obou směrech. Schématicky tuto situaci zobrazuje obr. 186.

K zobrazení na obr. 186 dospějeme tak, že magnety zobrazené na obr. 185 „zasuneme“ za sebe (pravý za levý) a tuto sestavu otočíme o $90°$ „zepředu dozadu směrem vlevo“. A nyní se na sestavu podíváme ze strany (tj. tak, jak zůstane po právě popsaném otočení) a shora.

Částice se pohybují určitým směrem a kdyby nebyly v magnetickém poli, tak by směr svého pohybu nezměnily. Vzhledem k tomu, že v magnetickém poli jsou, změní se směr jejich pohybu přesně v souladu s vlastnostmi kvadrupólového magnetu (viz obr. 184 a obr. 185). Proto jsou částice u prvních magnetů v první části obr. 186 tlačeny směrem do středu (ačkoliv to na obrázky vypadá, že od středu odlétají). Magnety mění jejich trajektorii - v místě, kde je magnet se změní směr pohybu částice.



Obr. 186

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.