

## 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 rozmístěny tak, že vždy proti sobě jsou stejné póly (viz schématicky na obr. 179).

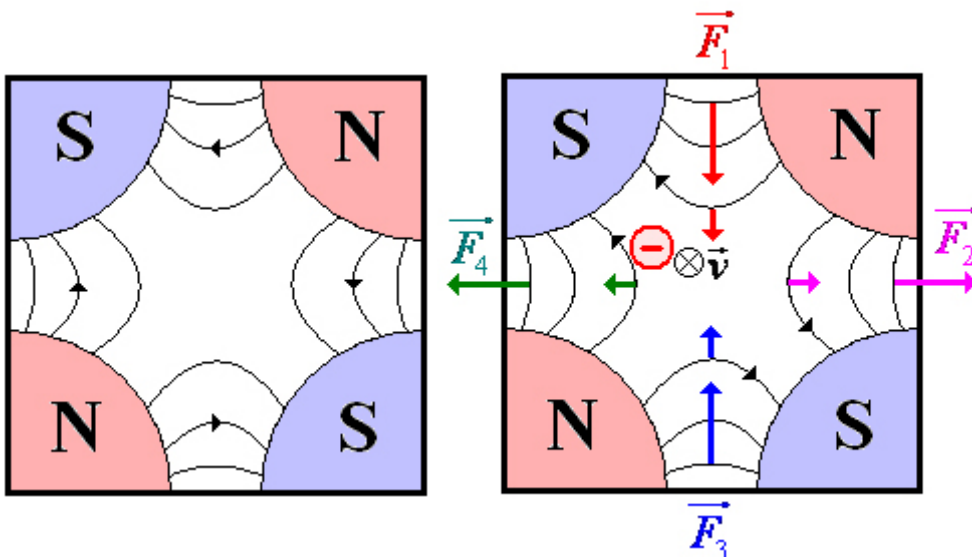
Orientaci [magnetických indukčních čar](#) lze určit na základě domluvy: vně magnetu mají magnetické indukční čáry směr od [severního pólu](#) magnetu k [jižnímu pólu](#) magnetu.

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. 180, na kterém [výslednice sil](#) zakreslena není).

Směr sil lze určit [Flemingovým pravidlem levé ruky](#); přitom je důležité si uvědomit, že částice na obr. 180 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. 180 se tedy záporně nabitá částice pohybuje směrem do náčrtu (tj. od nás pryč).



Obr. 179

Obr. 180

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

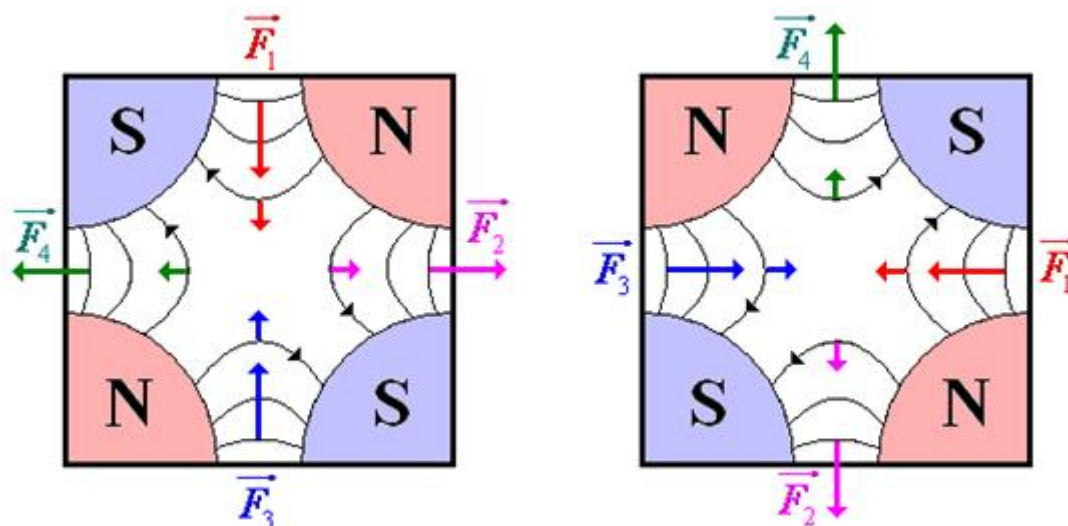
trajektorii v urychlovači bude působit velmi malá síla, zatímco na částice od ideální trajektorie vzdálenější bude působit síla větší. To je přesně cílem fokusační sekce urychlovače.

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. 180 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  $90^\circ$  (viz obr. 181). *Poznámka:* Na obr. 181 jsou zobrazeny dva kvadrupóly vedle sebe kvůli přehlednosti. Ve skutečnosti jsou za sebou: za první magnet (ten vlevo) se „zasune“ druhý (ten vpravo).

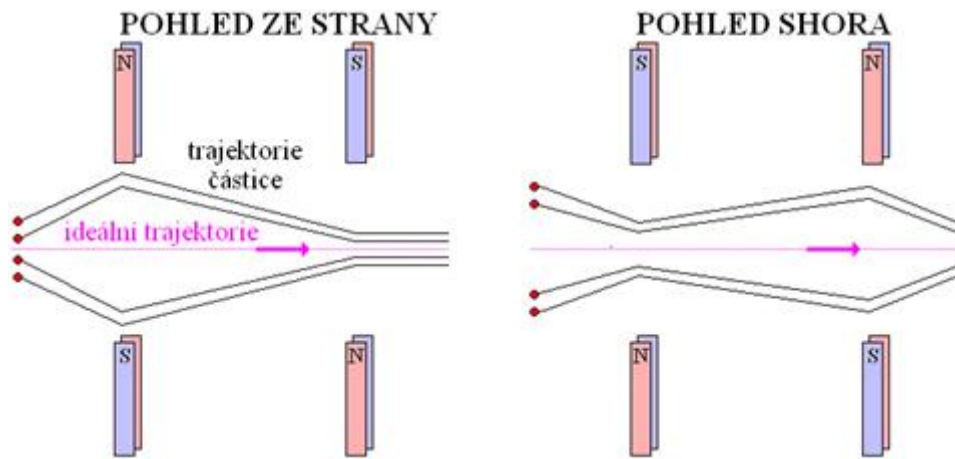


Obr. 181

Každý kvadrupólový magnet na obr. 181 funguje stejně. Tím, že jsou navzájem pootočené o  $90^\circ$  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. 182.

K zobrazení na obr. 182 dospějeme tak, že magnety zobrazené na obr. 181 „zasuneme“ za sebe (pravý za levý) a tuto sestavu otočíme o  $90^\circ$  „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. 180 a obr. 181). Proto jsou částice u prvních magnetů v první části obr. 182 tlačeny směrem do středu (ačkoliv to na obrázky vypadá, že od středu odlétají). Magnety mění jejich trajektorii - v místě, kde je magnet se změnil směr pohybu částice.



Obr. 182