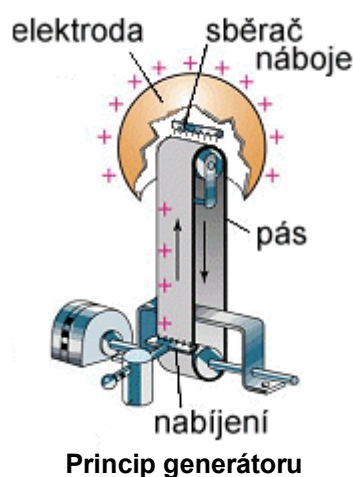


Urychlovače

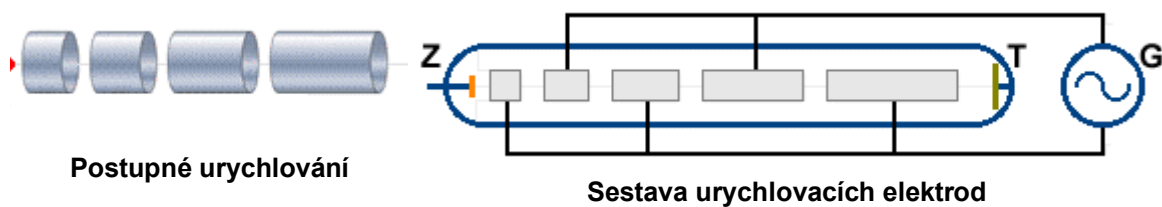
A) Lineární

- **Cocroft-Waltonův** ; John Cockroft a Ernest Walton zkonstruovali roku 1920 elektrostatický urychlovač nabitých částic, jehož základem je tzv. *násobič napětí*. V prvním přístroji bylo použito urychlovací napětí „jen“ 100 kV. V roce 1932 se pomocí výkonnějšího typu tohoto urychlovače prováděly první experimenty s umělými přeměnami jader. Cockroft - Waltonův urychlovač se dodnes používá v některých [obřích urychlovačích](#) jako předstupeň hlavního urychlovače. Malý elektrostatický urychlovač elektronů máme dokonce v každé domácnosti - je to obyčejná **televizní obrazovka**. Elektrony jsou v ní urychlovány elektrickým polem o napětí kolem 16 kV. Získaná energie však stačí jen na rozsvícení bodů na stínítku, pro účely atomové fyziky je příliš malá
- **Van der Graaffův** ; Jiný typ elektrostatického urychlovače zkonstruoval Robert van de Graaff. Jeho základem je **generátor vysokého napětí**, který známe z hodin fyziky: pohybující se pás izolantu se třením nabíjí a kovovými hroty se náboj přenáší na kulovou kovovou elektrodu. Van de Graaff v r. 1931 v Princetonu dosáhl generátorem napětí 1,5 MV a tímto napětím, rozděleným podél vakuové trubice, urychloval protony. Dnešní urychlovače tohoto typu používají k urychlování běžně napětí několik desítek megavoltů. Používají se nejen samostatně, ale i v rámci [obřích urychlovačů](#), podobně jako urychlovač Cockroft - Waltonův.



- **Lineární (vysokofrekvenční) urychlovač** ; Švédský technik R. Videroe navrhl jiné řešení elektrostatického urychlovače: místo jednorázového urychlení vysokým napětím přišel s myšlenkou postupného vícenásobného urychlování menším napětím. První **lineární urychlovač** začal pracovat roku 1930 a v různých variantách se používá dodnes.

Lineární urychlovač je dlouhá řada válcových elektrod, mezi nimiž se napětí vhodně střídá tak, aby letící nabitou částici stále urychlovalo. Na elektrody se z **generátoru G** přivádí střídavé vysokofrekvenční napětí. Ze **zdroje Z** je vyzářena částice (např. proton) v okamžiku, kdy je na první elektrodě záporné napětí. Částice je k ní přitahována a urychlena. Během jejího průletu první elektrodou se změní napětí tak, že první elektroda je kladná (odpuzuje částici) a druhá má záporné napětí (přitahuje částici). V mezeře dojde k dalšímu urychlení částice. Během průletu druhou elektrodou dojde opět ke změně polarity. Částice je v další mezeře opět urychlena atd. Při dopadu na **terčik T** v něm urychlená částice může vyvolat různé jaderné reakce.



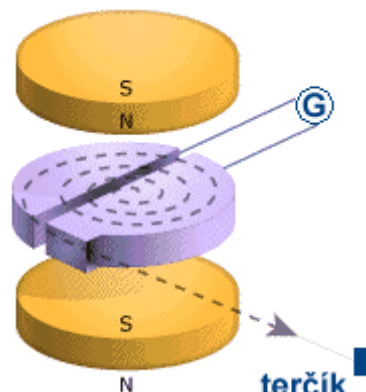
Největší lineární urychlovač SLAC pracuje na Stanfordově univerzitě. Kanál, ve kterém dochází k urychlování elektronů a pozitronů na energii 50 GeV, má délku přes 3 km! Také lineární urychlovače se zařazují do systému **obřích urychlovačů** jako injektory částic.

B) Kruhové urychlovače

Mají-li částice získat v **lineárním urychlovači** velmi vysokou energii, nastávají problémy. Je třeba mít jednak k dispozici výkonný zdroj vysokého napětí, jednak musí mít urychlovací trubice velkou délku. Výborným nápadem proto bylo zakřivení dráhy urychlovaných částic magnetickým polem. Vznikly kruhové urychlovače, které mají poměrně malé rozměry. Částice jsou v nich urychlovány mnohonásobně opakovaným průchodem mezi elektrodami s relativně malým urychlovacím napětím. Podobným způsobem roste energie pasažérů na rozjíždějícím se řetízkovém kolotoči. Při každé jeho otočce se pohybují větší rychlostí a vzdalují se od osy otáčení. Současné **velké urychlovače** kombinují výhody urychlovačů lineárních (první fáze) a kruhových (dosažení velkých výsledných energií).

Cyklotron ; První kruhový urychlovač - *cyklotron* - zkonstruoval v roce 1930 americký fyzik E. O. Lawrence. Byl to malý přístroj s průměrem asi 10 cm (levý obr.), kterým se podařilo udělit protonům energii 80 keV. Vývoj postupoval rychle dopředu a už za dva roky byl uveden do provozu cyklotron o průměru 70 cm, protony v něm získaly energii 1,2 MeV (prostřední obr.). Dnes se cyklotrony různých velikostí a výkonů používají k výzkumným účelům nebo k přípravě radionuklidů pro potřeby průmyslu, medicíny a dalších oborů. Konstrukce cyklotronu má tři hlavní části: urychlovací komoru, elektromagnet a zdroj urychlovacího napětí. *Komora* se skládá ze dvou dutých elektrod, nazývaných duanty (anglicky „dee“). V komoře je vakuum a uprostřed je zdroj iontů, které mají být urychlovány. Duanty jsou umístěny v magnetickém poli silného *elektromagnetu* a připojeny ke *generátoru* G vysokofrekvenčního urychlovacího napětí.

Urychlování: Ze zdroje iontů vylétne částice (např. kladná). Je přitahována k tomu duantu, který je právě připojen k zápornému napětí. Působením magnetického pole se uvnitř duantu pohybuje po půlkružnici o malém poloměru. V okamžiku, kdy duant opouští, změnil se polarita napětí a záporné napětí je nyní na druhém duantu. Částice je v mezeře urychlena, vnikne do druhého duantu a pohybuje se v něm po půlkružnici o větším poloměru. Tento děj se stále opakuje: v mezeře mezi duanty získává částice stále větší rychlost, uvnitř duantů se pohybuje po půlkružnicích se stále větším poloměrem. Její dráha se podobá spirále. Ve vhodném okamžiku je částice elektrickým polem odchýlena směrem k terčiku, kde dojde k jaderné reakci.



Částice je urychlována elektrickým polem v mezeře mezi duanty

- **Synchrotron;** V cyklotronu je frekvence střídavého napětí konstantní a částice se pohybuje po spirálové dráze. Při velkých rychlostech částic se však začnou projevovat relativistické efekty - hmotnost částice roste. V cyklotronu by se začala opožďovat za změnami napětí na duantech a urychlování by se přerušilo. *Synchrotron* je kruhový urychlovač, ve kterém se částice pohybuje po kruhové dráze a je urychlována při každém průchodu mezi urychlovacími elektrodami. Frekvence urychlovacího napětí není stálá, ale mění se podle toho, jak roste relativistická hmotnost urychlené částice. První synchrotron byl uveden do provozu roku 1952 v Brookhavenu (New York, USA).

V synchrotronech a dalších typech kruhových urychlovačů mohou získat částice obrovskou energii. Současné **nejvýkonnější urychlovače** udělují částicím energii až 10^{12} elektronvoltů a částice přitom mohou získat rychlosti, které se těsně blíží rychlosti světla!

Jinak pokud měníme pouze frekvenci magnetického pole - synchrotron (poloměr trajektorie zůstává stejný)

Měníme-li také frekvenci urychlovacího napětí - synchrofázotron (TeV)

Princip vstřícných svazků : urychlené částice se pohybují proti sobě a jejich vzájemná energie se při srážce zdvojnásobí.