

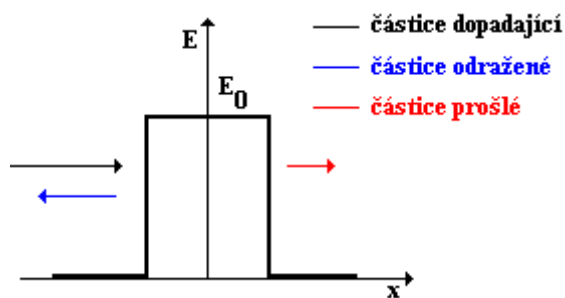
## \*\*\*Tunelový jev

Typickým příkladem vlnových vlastností [částic](#) je tzv. **tunelový jev**. Uvažujme částici, která má překonat nějakou bariéru - dostat se přes svah, dostat z nějaké (potenciálové) jámy, ... Z klasické fyziky víme, že je to možné pouze tehdy, pokud bude mít částice dostatečně velkou [energii](#).

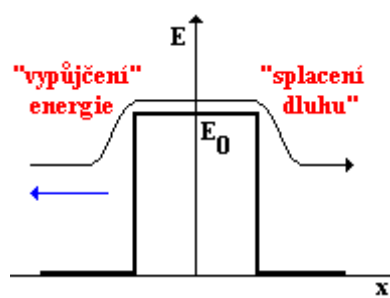
Např. kmitající kuličky v hladké misce tuto miskou nemohou opustit, pokud ne získají dostatečnou [potenciální energii](#) k dosažení a následnému překonání okraje mísky.

Vlny se ale na rozdíl od částic mohou dostat díky ohybu i za překážku a pokračovat v dalším šíření prostorem. Mikročástice podle [zákonů kvantové fyziky](#) mohou skutečně proniknout bariérou, aniž by k tomu měli dostatečnou energii - mohou se „protunelovat“ a najednou se ocitnout za překážkou.

Uvažujme částici s energií  $E_1$ , která se blíží k potenciálovému valu, jehož „výška“ je  $E_0$ , přičemž  $E_0 > E_1$ . To znamená, že klasicky je k překonání valu nutné, aby částice měla energii minimálně  $E_0$  (schematicky znázorněno na obr. 25). Tímto potenciálovým valem ve skutečnosti je např. kovová destička, silové pole, povrch vodiče, „hranice“ [atomového jádra](#), ... Většina částic s energií  $E_1$  se od valu odráží zpět (na obr. 25 je relativní množství odražených a prošlých částic znázorněno různě dlouhými šipkami). V klasické fyzice, by se do prostoru za valem nedostala žádná částice.



Obr. 25



Obr. 26

V kvantové interpretaci existuje nenulová pravděpodobnost nalezení částice s energií  $E_1$  i za potenciálovým valem. To znamená, že částice se na druhou stranu valu dostala, přestože její energie je nižší, než je energie nutná na překonání potenciálového valu. Částice se tedy na druhou stranu valu „protunelovala“.

Tunelový jev lze přirovnat k situaci, kdy vezmeme malý kamínek a lehce jej hodíme proti skleněnému oknu. V klasické představě se kamínek od skla odrazí a spadne na zem. V kvantovém případě kamínek projde sklem a na druhé straně spadne na podlahu pokoje, aniž by porušil skleněné okno.

Pro hrubé vysvětlení tunelového jevu je možné si představit, že částice dokáže svoji energii nějakým způsobem měnit, třebaže vždy jen na velmi krátkou dobu. K tomuto tvrzení nám dává oprávnění 2. [Heisenbergova relace neurčitosti](#): energie částice může uvnitř hranic stanovených touto relací spontánně přeskakovat z jedné hodnoty na druhou.

Jinými slovy, částice si může dodatečnou energii (nutnou na překonání potenciálového valu) na příslušnou pevně stanovenou dobu „vypůjčit“ (viz obr. 26). V souladu s [relací neurčitosti](#) platí, že čím kratší je lhůta návratnosti takové půjčky, tím větší je její povolený rozsah.

V rámci relace neurčitosti tedy nemusí platit [zákon zachování energie](#).

Tímto způsobem byla energie částici „půjčena“ za přísných podmínek. Pokud se částice nedokáže dostat na druhou stranu bariéry dříve, než vyprší výpůjční lhůta, bude se muset vrátit zpátky. Takové částice se od bariéry, do které stihly proniknout jen zčásti, prostě odrazí.

Proces „půjčování“ energie je navíc velmi nahodilý (jako ostatně většina kvantových jevů), takže při interpretaci tunelového jevu je nutné používat statistiku a pravděpodobnost. Obecně platí, že čím je potenciálový val širší, tím méně jsou částice při jeho „protunelování“ úspěšné, tj. tím větší část počtu částic dopadajících na val se od něj odráží.

Situaci si lze opět představit na jevu z běžného života: dosavadním pochodem vyčerpaný turista se vyveze lanovkou na místo blízko vrcholu kopce, odkud již samotný vrchol snadno překoná.

Tímto způsobem může docházet v elektrickém poli k emisi elektronů z kovů, přestože energie elektronů je nižší než příslušná výstupní práce. Díky tunelovému jevu vylétají např. částice  $\alpha$  z atomových jader. Na tunelovém jevu je založena činnost řady polovodičových prvků a řada citlivých měřících metod. Výklad tunelového jevu je možné provést na základě pravděpodobnosti: částice musí vykonat nejprve řadu neúspěšných pokusů, než se „jí podaří“ uvolnit se např. z kovu.

Pro částici, která má dostatečné množství „pokusů“ na opuštění kovu tedy neplatí známé přísloví: „Hlavou zed' neprorazíš.“

---

© Encyklopedie Fyziky (<http://fyzika.jreichl.com>); Jaroslav Reichl, Martin Všeticka

Licence <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/> zakazuje úpravy a komerční distribuci.