

Ostrov opic – díl první

Václav Piskač*, Gymnázium kpt. Jaroše, Brno

Toto vyprávění se snaží popsat jednu z půvabných částí fyziky – pásovou teorii vodivosti. Fyzikální pravdy jsou zde převedeny do podivného světa Ostrova opic. Doporučuji ti, milá čtenářko-milý čtenáři, přečíst si článek alespoň dvakrát. Nejprve samotné vyprávění, kdy budeš přeskakovat rámy s kurzívou psanými poznámkami, poté souvisle celý text, kdy tě psané poznámky převedou od opic do neméně podivného světa atomů.

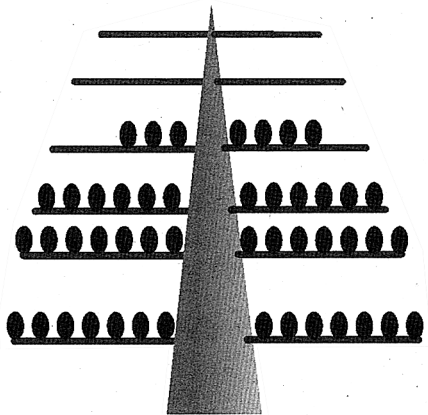
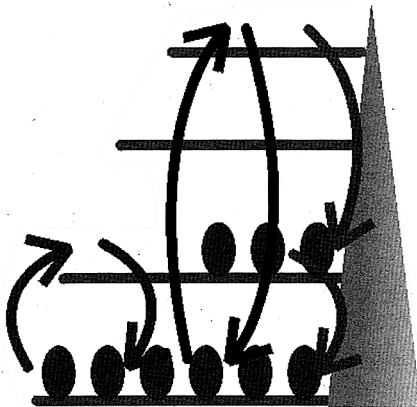
Na jednom tichomořském ostrově rostou stromy patřící do třech rodů:

- Conductus**, zastoupený hlavně druhy *Conductus aluminiosus* a *Conductus cuprumis*, vyznačující se značnou houževnatostí;
- Izolatus**, tvořený převážně mnoha poddruhy a místními varietami *Izolatus keramicus* a *Izolatus plastix*;
- velmi vzácný **Semiconductus**, až na výjimky zastoupený druhy *Semiconductus silicius* a *Semiconductus germanicus*.

Lesy jsou tvořeny monokulturami, na volných prostranstvích občas rostou solitéry.

Charakteristickým rysem ostrova jsou přemnožené opice – hustě obalují každý strom. Díky přílivu turistů značně zlenivěly, proto zaplňují větve stromů odspodu a bez výrazného vnějšího popudu odmítají zbytečně lézt výše, než je nutné.

Stojí-li strom osaměle, tvoří jeho větve jednotlivá patra, odspodu obsazená opicemi. Opice vyskočí na vyšší volné místo jen tehdy, když do ní něco vrazí, např. kámen vržený některým z domorodců.



Tento náraz však musí odpovídat převýšení větví – je-li menší, opice nereaguje. Při velkém nárazu však může vyskočit i přes několik větví současně.

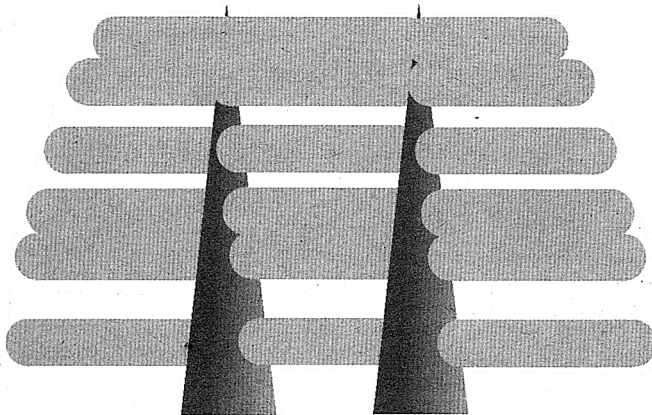
Protože opice jsou však líné a chtějí být co nejbližší zemi, seskakují po chvíli zpět na volná místa na nižších větvích, při dopadu se ozve zuchnutí – čím větší výška seskoku, tím hlasitější zuchnutí.

* piskac@jaroska.cz

V běžném světě může těleso nabývat libovolně velké energie a může ji plynule měnit. Ve světě příliš malých částic (na úrovni atomů) však platí jiná, většinou značně absurdní pravidla. Velikost náboje jádra atomu (stromu) a vzájemné působení elektronů předurčuje určité, přesně dané hodnoty energie (větvi), které mohou elektrony (opice) atomového obalu mít. Těmto hodnotám energie se říká energetické hladiny. Na každé energetické hladině může být vždy jen určitý počet elektronů (řídí se tzv. Pauliho vylučovacím principem). Elektrony obsazují hladiny odspodu (dodržují obecný princip přírody, podle něhož všechny děje probíhají tak, aby bylo dosaženo co nejnižší energie). Aby elektron přeskočil ze své původní na vyšší energetickou hladinu, musí získat energii rovnou rozdílu těchto dvou hodnot energie. K tomu může dojít například nárazem jiné částice nebo pohlcením fotonu záření (náraz kamene). Záření (tj. viditelné světlo, rádiové vlny, mikrovlny, rentgenové záření, ...) se vyzařuje a pohlcuje rozporcované na malé balíčky - fotony. Každý foton (balíček) má přesně danou energii. Nemá-li foton dostatečnou energii (náraz není dostatečně silný), elektron jej nepohltní – energie elektronu se nezmění.

Je-li na nižší energetické hladině volné místo, přeskóčí sem elektron z některé vyšší hladiny. Nadbytečné energie se zbaví tím, že vyzaří foton (ozve se žuchnutí). Frekvence tohoto fotonu (tj. to, do které oblasti záření patří) je této energii úměrná (hlasitost žuchnutí odpovídá výšce pádu).

Tvoří-li stromy les, je jejich růst ovlivněn okolními stromy – namísto jednotlivých silných větví vyroste mnoho menších větviček tak blízko u sebe, že vytvářejí jakýsi pás, ve kterém se mohou opice pohybovat nahoru i při sebemenším nárazu. Žuchnutí způsobená jejich malými poklesy v rámci pásu jsou tak slabá, že je téměř není slyšet.



V krystalické mřížce dojde díky působení okolních atomů k rozštěpení jednotlivých hladin (vznikne větší množství možných hodnot energie). Vzniknou jakési pásy energie (pásy větví), energie elektronu se zde může téměř plynule měnit. Mezi jednotlivými pásy jsou však oblasti hodnot energií, které elektrony nemohou mít – tzv. zakázané pásy. Pro překonání těchto zakázaných pásů je nutné, aby elektron získal potřebnou „porci“ energie (jako u osamocenému atomu).

Zvláštností ostrova je to, že při přemnožení opic v určité oblasti se zde terén vyzdvihne úměrně stupni přemnožení, zatímco při vymírání populace dojde v dané oblasti k poklesu terénu (příčiny těchto jevů zatím nebyly objasněny).

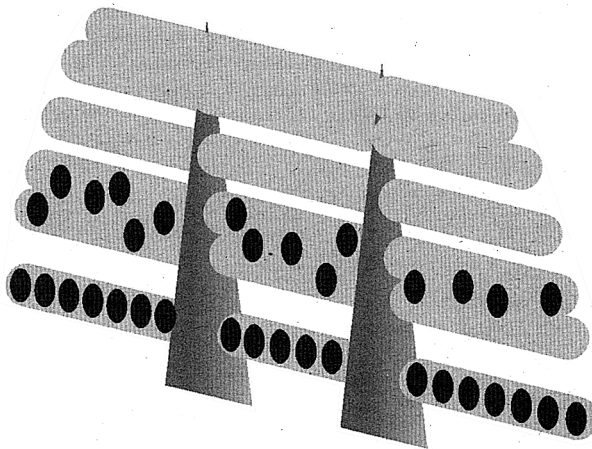
Ve světě atomů příčiny těchto jevů známe: když přidáváme do určité oblasti elektrony, nabíjí se tato oblast záporně a další elektrony jsou více a více odpuzovány. Pro jejich přidání je potřeba vykonat větší práci – zvyšuje se jejich energie – energetické pásy se posouvají do vyšších hodnot energie.

Odebíráme-li elektrony, nabíjí se oblast kladně a při odebírání dalších je potřeba vykonat větší práci – musíme dodat elektronům větší energii. To je totéž, jako by se energetické pásy přesunuly k nižším hodnotám energie.

Jednotlivé populace opic si vytvořily specifické návyky v závislosti na tom, v jakém typu lesů žijí.

V lesích tvořených stromy rodu *Conductus* je nejvyšší pás s výskytem opic obsazen jen zčásti. Stačí tedy libovolně malý náraz k tomu, aby se opice vyškrábaly kousek nahoru. Většinou je tedy část opic o něco výš než ostatní – mohou se proto volně pohybovat. Díky tomu, že jejich chování je náhodné (opice jsou tvoří nevypočitatelní), zde však nedochází k výraznějším přesunům.

Dojde-li v určité oblasti k přemnožení opic, vyzdvihne se zde terén a společně s ním i pásy větví, opice přelézají do okolních – nižších částí pásu. Tímto ale původně zvýšený terén začne



klesat a okolí stoupat – po čase dojde k vyrovnání, opice přestanou migrovat. K podobným jevům dojde při vymírání opic – dané oblast poklesne a opice se sem klesajícím pásem přesunou. Opět dojde po čase k vyrovnání.

Zdejšími hoteliéřům ale vadila nahodilost těchto jevů, které jsou pro turisty značně atraktivní. Proto začali opice odchyťávat a cíleně převážet na jiná místa. Po několika letech tuto metodu zdokonalili

natolik, že vytvořili soustavy nákladních lanovek, které neustále převážejí opice z jednoho místa na druhé. Terén je zde díky tomu trvale nakloněný – jásající davы turistů mohou přihlížet, jak opice neustále proudí z vyšších poloh do nižších. Na noc se samozřejmě lanovka vypíná – velmi rychle dojde k vyrovnání terénu a opice si mohou zaslouženě odpočinout.

U vodičů není poslední pás obsahující elektrony (tzv. valenční pás) zcela zaplněn. Elektrony se zde proto rozvrství v závislosti na teplotě látky. Mohou se v tomto pásu volně přesouvat (jejich energie se při tom nemění).

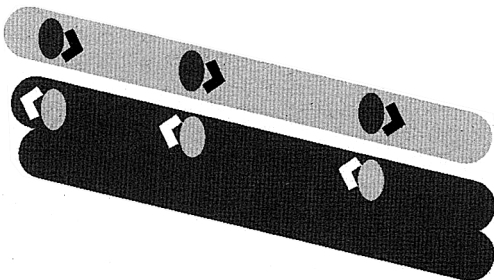
Je-li do určitého místa vodiče přiveden záporný náboj (jsou sem dodány elektrony), dojde k místnímu vyzdvihnutí energetických pásů, což má za následek přesun elektronů do nižších částí pásu – po chvíli dojde k vyrovnání hladin, tj. k rovnoměrnému rozvrstvení přidávaných elektronů. Podobný jev nastává i tehdy, dodá-li se do určitého místa kladný náboj (jsou odsud odebrány elektrony).

Jsou-li však vlivem vnějších sil z jednoho místa vodiče elektrony neustále odebrány a do druhého přidávány, dojde k trvalému naklonění energetických pásů – vznikne stálý proud elektronů (elektrotechnik by řekl, že po zapojení zdroje napětí do obvodu vzniká stálý elektrický proud).

V oblastech osazených stromy rodu *Izolatus* tuto atrakci nelze provozovat. Došlo zde vlivem velké vzdálenosti sousedních pásů větví k tomu, že poslední obsazený pás je opicemi zcela zaplněn. Vlivem plného obsazení pásu je pohyb opic zcela vyloučen. I při jejich převážení a následném převýšení terénu zůstávají tupě sedět na svých místech. (Výjimku tvoří situace, kdy dojde k příliš vysokému převýšení nebo jsou opice navíc kamenovány a vyskáčou ve větším množství do vyššího pásu.)

U izolantů je valenční pás zcela zaplněn elektrony. Ty se zde proto nemohou pohybovat. Zakázaný pás brání přechodu do dalšího, volného pásu je značně široký – k jeho překonání musí elektron získat dosti velkou energii – k přechodu dochází jen výjimečně. Připojíme-li zdroj napětí, nevzniká zde elektrický proud – elektrony se nakloněnými pásy nemohou pohybovat – pásy jsou zcela zaplněné.

Ve zbývajícím typu lesů (rod *Semiconductus*) je situace obdobná jako u rodu *Izolatus*, avšak vzdálenost volného pásu od pásu plně obsazeného opicemi je zde mnohem menší. Proto například při každoročním slavnostním kamenování opic domorodci přeskáče mnoho opic do volného pásu a zde se chovají podobně jako opice v lesech rodu *Conductus*. Navíc se však díky uvolnění míst v dřívě zaplněném pásu mohou přesouvat i opice, které zde zůstaly. Domorodci přišli na to, že je jednodušší sledovat, kde je v pásu volné místo (lidově zvané „díra“), než to, kam se která opice přesouvá. Dokonce někteří z nich po požití zkažené ovocné šťávy přesvědčují turisty, že se přesouvají tyto „díry“!



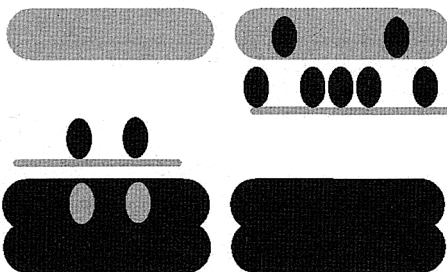
I v těchto lesích došlo k výstavbě nákladních lanovek. Opice však musí být během provozu lanovky kamenovány (kupodivu jsou výpravy do těchto lesů žádanější než do lesů rodu *Conductus*). Opice, které přeskočily do horního volného pásu, sklouzávají po nahnutém pásu dolů, ale díry vzniklé v původně plném pásu stoupají vzhůru (pozorný čtenář si tento zdánlivě paradoxní jev jistě sám objasní).

Polovodiče (např. křemík a germanium) mají podobné rozvrstvení elektronů jako izolanty, jen zakázaný pás mezi valenčním a volným pásem je mnohem užší – stačí menší dávky energie k tomu, aby elektrony přeskákaly do volného pásu. Zde se mohou volně přesouvat jako u vodičů. Dochází k tomu například vlivem tepelného pohybu – s narůstající teplotou roste jejich počet ve volném pásu. Na rozdíl od vodičů se zde pohybu elektronů účastní kromě elektronů ve volném pásu také elektrony valenčního pásu, které se mohou přesouvat do volných míst po elektronech, které přeskákaly do volného pásu. Pro popis situace je ale mnohem pohodlnější popisovat, kde je zrovna volné místo a mluvit o proudu „děr“. Tyto díry se ale pohybují opačným směrem než elektrony.

V posledních letech začaly být vysazovány na ostrově importované stromy rodu *Impuritus*. Většinou jsou jimi zaplňovány místa po vykáčených stromech v monokulturních lesích (říká

se jim proto „přiměsí“, což je ale mimochodem velmi nelichotivé označení jinak užitečných stromů). Díky tomu, že rostou „osamoceně“ (z hlediska rodové příslušnosti), rostou jim jednotlivé větve jako samostatné rostoucím stromům (netvoří pásy). Tyto větve většinou zasahují do pásů větví okolních stromů. V lesích rodu *Semiconductus* však dochází k tomu, že se určité větve „přiměsí“ ocitnou v mezeře mezi plným a prázdným pásem větví, a to dokonce ve dvou různých variantách:

- druhu *I. acceptoris* rostou jeho větve (v normální situaci bez opic) těsně nad plně obsazených pásem okolních stromů – opice je proto obsadí (stačí k tomu velmi malé vzruchy). Protože jsou to však pouze větve a ne pásy, nemohou se na nich opice přesouvat (nemají kam). Zanechávají však po sobě „díry“ v původním pásu.
- druhu *I. donoris* má své větve (v normální situaci bez opic) těsně pod volným pásem okolních stromů. Tyto jeho větve jsou však plně obsazeny opicemi, které ve většině případů přeskáčí do volného pásu okolních stromů – „díry“ po nich zbylé jsou sice k ničemu, ale opice ve volném pásu se mohou volně pohybovat.



V obou případech získávají lesy rodu *Semiconductus* vlastnosti velmi podobné lesům rodu *Conductus* i bez kamenování opic (v jednom případě se zde při náklonu terénu pohybují „díry“, v druhém opice). Proto se i lesy rodu *Semiconductus* s „přiměsmi“ rodu *Impuritus* staly výrazným zdrojem příjmů cestovních kanceláří.

Chování polovodičů se prudce změní, nahradí-li se některé atomy polovodiče atomy tzv. přiměsí (ke změně dojde už při záměně každého milióného atomu). Energetické hladiny se u těchto atomů neštěpi (stojí „osamoceně“). Hladiny však musí mít jisté zvláštní vlastnosti.

a) přiměsí nazývané akceptory mají neobsazenou hladinu těsně nad valenčním pásem okolního polovodiče – dojde k jejímu zaplnění elektrony z tohoto pásu (přijímají – akceptují elektrony). Díry, které po nich zůstaly, se mohou ve valenčním pásu volně pohybovat. Mluví se proto o příměsových polovodičích typu P – vedení zajišťují pozitivní díry. Příkladem je křemík s přiměsí galia.

b) přiměsí nazývané donory mají plně obsazenou vrstvu těsně pod volným pásem okolního polovodiče – jejich elektrony přeskáčí do volného pásu, kde se mohou volně pohybovat (přiměs je dárce – donorem volných elektronů). Mluví se o příměsových polovodičích typu N – vedení zajišťují negativní elektrony. Příkladem je křemík s přiměsí fosforu.

V obou případech získává je schopen polovodič vést elektrický proud i bez dalšího dodávání energie.

Pokud se vám příběhy z Ostrova opic líbí, počkejte si na další díl. V mezidobí zkuste uvažovat, k čemu dojde, vysadí-li hoteliér v jedné půlce lesa stromy druhu *I. acceptoris* a v druhé *I. donoris*. Přesněji řečeno – k čemu dojde na rozhraní, kde se stýkají oblasti s různými přiměsmi.