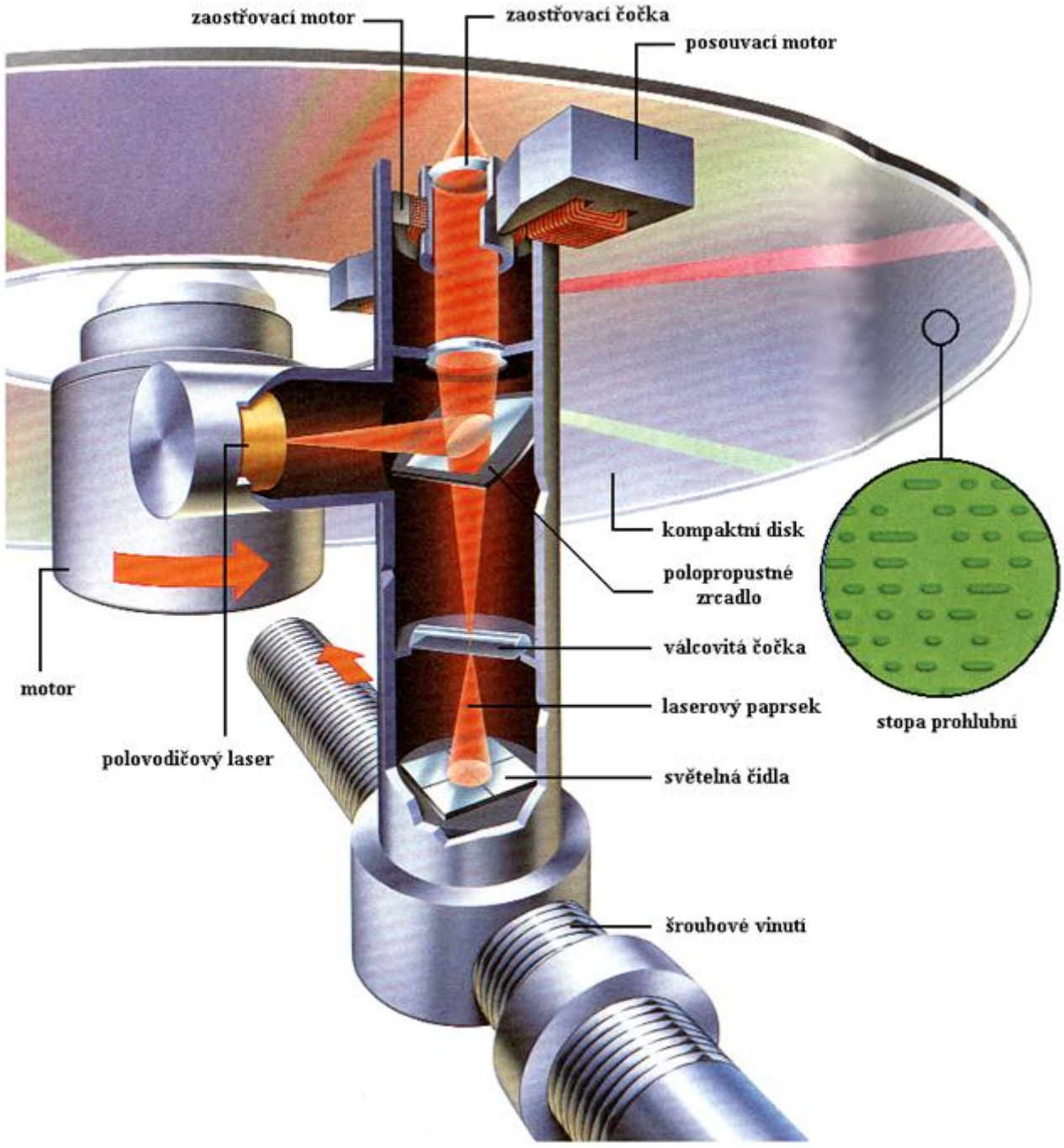
## Princip záznamu a reprodukce zvuku

Na kompaktní disk (viz obr. 292) se zaznamenává digitálně upravený elektrický signál, který byl vyroben v mikrofonu. Sled číslic, který byl z elektrického signálu vyroben tzv. vzorkováním signálu, se na kompaktní disk zaznamenává ve formě prohlubní a plošek mezi nimi. Každý disk o průměru 12 cm obsahuje nejméně 3 miliardy prohlubní na spirální stopě v plastickém materiálu dlouhé přes 5 km.

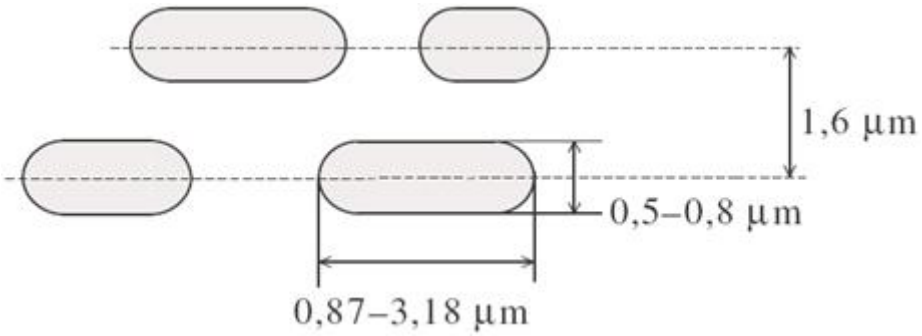



Obr. 292

Prohlubně ve spirální stopě se nazývají **landy**, části, které vystupují nad povrch se nazývají **pity**.

Land je 120 nm hluboký, 500 nm široký a jeho délka se pohybuje od 870 nm do 3180 nm (viz obr. 294). Rozptyl šířek landů je dán výrobní technologií, zatímco délka je různá podle dat, která jsou na disku uložena. Mezera mezi stopami má délku zhruba trojnásobnou ve srovnání se šířkou:

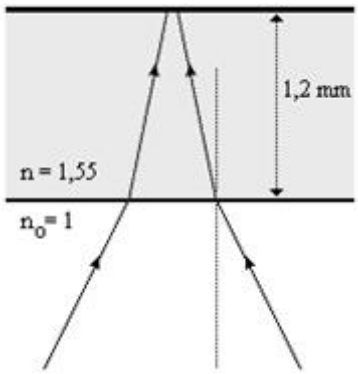
1600 nm.




Obr. 294

Landy a pity se čtou pomocí světla laseru, které se odráží od polopropustného zrcadla a prochází dvěma čočkami tak, aby bylo zaostřeno na stopu s prohlubněmi. Běžně se používá laser s vlnovou délkou světla 780 nm (tedy blízká infračervená oblast). Polykarbonát je silný 1,2mm a má relativně velký index lomu - jeho hodnota je 1,55 (viz obr. 295). Laserový svazek musí tímto materiálem projít až k pokovené vrstvě, která obsahuje informace zaznamenané na CD (viz obr. 296). Tato technologie je připravena takto záměrně: laserový svazek (i po průchodu zaostřovacími čočkami) má průměr $800\,\mu m$.

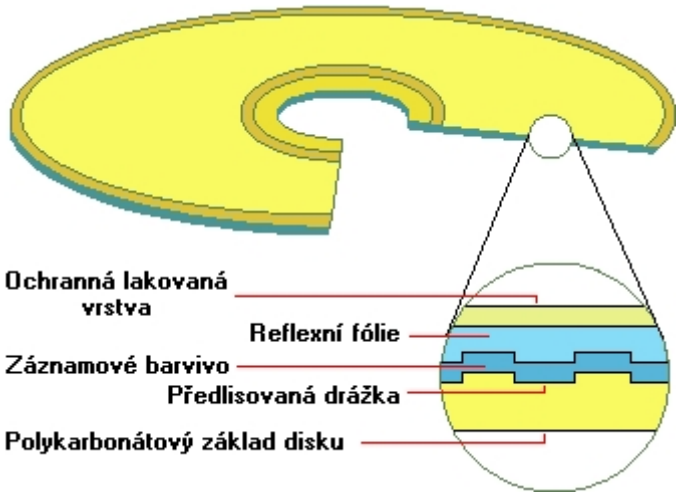
Světlo z laseru se totiž vyznačuje velmi malou rozbíhavostí, ale i sbíhavostí.




Obr. 295

Vlivem velkého indexu lomu polykarbonátu se začne laserový svazek sbíhat rychleji, což znamená, že u kovové vrstvy má tento svazek průměr jen zhruba $1,7\,\mu m$ - tedy 470krát menší než měl při vstupu do vrstvy polykarbonátu. Tímto způsobem je zajištěno, že ani velké škrábance nebo nečistoty na povrchu disku neznamenají pro čtení vážnou překážku - efektivně se 470krát zmenší. Navíc malé poškození povrchu či ušpinění disku neovlivní výrazně celkovou intenzitu odraženého světla.

Situace je analogická situaci, kdy je drobná nečistota na objektivu fotoaparátu nebo na skle brýlí. Přes brýle normálně vidíme a smítko z objektivu fotoaparátu se nezobrazí na film. Jen se nepatrně sníží intenzita světla a malinko zvýší rozptyl (tj. obraz na filmu nebo v oku nebude tak ostrý).




Obr. 296

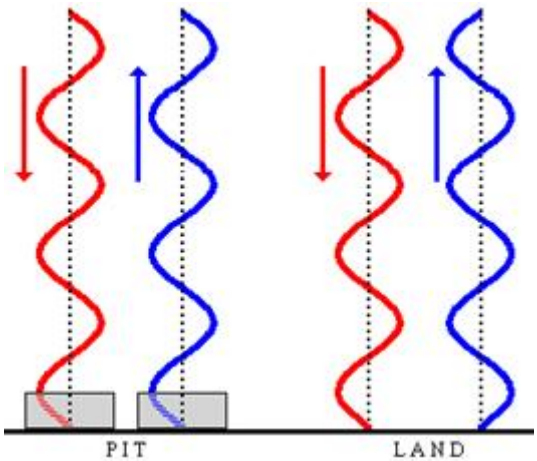
Laser tedy „prosvicuje“ CDčko zespoda: nejdříve dopadá laserové světlo na plastový základ disku (již zmiňovaný polykarbonát) a až poté na kovovou vrstvu, která obsahuje uložená data. Nečistota nebo škrábanec na disku se nachází na povrchu plastového základu disku.

Laserový svazek dopadající kolmo na povrch disku se od landů a pitů odráží téměř stejně.

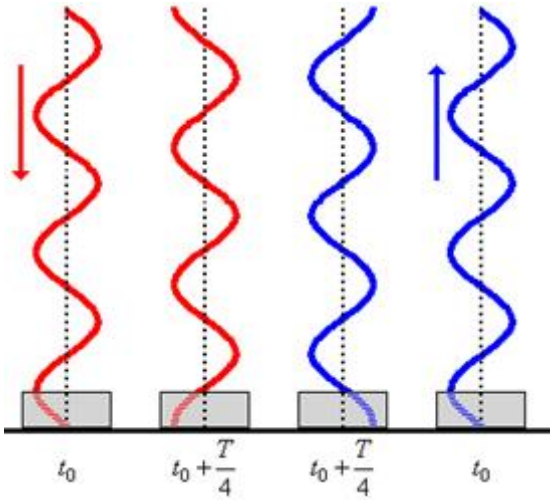
Rozdíl v intenzitě světla odraženého od landu nebo od pitu je tak malý, že sám o sobě tento rozdíl intenzit nestačí k určení, odkud se laserový svazek odrazil - jestli od landu nebo od pitu.

Pity jsou vysoké 120 nm, vlnová délka použitého světla je 780 nm. Poměr výšky pitu k vlnové délce je tedy zhruba 1:6. Přesto další výklad bude veden tak, jako by tento poměr byl 1:4. Vysvětlení je uvedeno v dalším textu (u systému zaostřování laserového svazku na vodící drážku).

Když se odrazí laserový svazek od landu a od pitu, změní se intenzita odraženého světla stejně jako při interferenci na tenké vrstvě. Světlo, které se odrazí po pitu, urazí ve srovnání se světlem odraženým od landu geometrickou dráhu o polovinu vlnové délky kratší. O čtvrtinu vlnové délky se geometrická dráha světla zkrátí při dopadu na pit (uvažujeme výšku pitu rovnou zhruba čtvrtině vlnové délky světla laseru), o tuto čtvrtinu vlnové délky bude geometrická dráha kratší také při odrazu - dohromady bude tedy geometrická dráha světla odrážejícího se od pitu o polovinu vlnové délky kratší než geometrická dráha světla odraženého od landu (viz obr. 297).
*Poznámka: Dopadající vlna a odražená vlna na obr. 297 a obr. 298 jsou znázorněny různými barvami kvůli přehlednosti. Vlnová délka (a tedy i „barva světla“) laseru se odrazem nemění!*




Obr. 297



Obr. 298

Na landu i pitu se světlo odráží jako na pevném konci - světlo totiž dopadá z prostředí, kterým se může bez problémů šířit, na prostředí (pokovená vrstva), od kterého se pouze odráží. V obou případech se tedy fáze vlnění mění na opačnou fázi. V případě odrazu na pitu to není jasně vidět, proto je dobré se podívat na danou světelnou vlnu v časovém okamžiku o čtvrtinu periody pozdějším (viz obr. 298 druhá část). V tomto případě je možné odraz světla od pitu s opačnou fází dobře zkonstruovat (viz obr. 298 třetí část). Situace nás ala zajímala v původním čase $t_0$ - odraženou světelnou vlnu je nutné opět posunout o čtvrtinu periody.

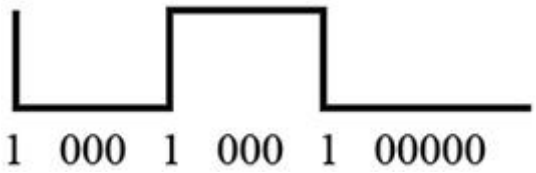
Dopadající vlnu při zobrazení v delším čase posouváme dolů, odraženou vlnu při zobrazení v kratším čase posouváme také dolů.

Světlo odražené od pitu má tedy opačnou fázi než světlo odražené od landu. Tato dvě světelná vlnění (odražené vlny na obr. 297) spolu interferují a výsledná intenzita je proto dána rozdílem intenzit obou uvažovaných vlnění.

Kdyby byl landů a pitů na disku stejný počet, odražené světlo by se navzájem vyrušilo a zpět do čtecí soustavy by se nevrátilo žádné světlo.

Na povrchu disku je zhruba 30 % pitů, což znamená, že intenzita odraženého světla nikdy neklesne zcela na nulu.

Pity a landy nepředstavují tedy přímo logické jedničky nebo nuly. Informace je uložena na přechodech mezi pity a landy a v délce souvislých oblastí. Přesněji, jeden bit logické jedničky je reprezentován jako přechod mezi landem a pitem (hrana mezi landem a pitem), resp. mezi pitem a landem, zatímco délka následujícího landu nebo pitu představuje přiměřený počet bitů logických nul. Vzdálenost mezi hranami se nazývá *run length* (průběžná délka). Výsek ze stopy na CD zobrazený na obr. 299 představuje číslo 3.



Obr. 299

Nikde se neopakují dvě jedničky za sebou, což je dáno použitým kódováním: zde se osm bitů kóduje pomocí čtrnácti. Je to proto, že je fyzicky nemožné mít dvě hrany hned za sebou. Z důvodu

použité vlnové délky světla čtecího laseru, je nejmenší možná průběžná vzdálenost tři bity. Nikde v kódové tabulce tedy nejsou méně než dvě nuly za sebou.

Právě popsaný způsob kódování se nazývá NRZI kód (*non return to zero inversed*).

Datový tok z CD musí mít také vlastnost samočasování, podle kterého systém řídí otáčení disku tak, aby byla zajištěna konstantní obvodová rychlost. Jako ideální byla nalezena maximální délka 11 bitů, která přidáním minimální délky 3 bity, dává výše zmíněných 14 bitů. Stejně jako u osmibitového kódování, i u čtrnáctibitového kódování představuje 14 bitů jeden znak. Použitím EFM kódování tedy vznikají pity o délce 3 bity až 11 bitů.

Jak již bylo řečeno, není možné z fyzikálních důvodů zaznamenat dvě logické jedničky za sebou. Pokud ovšem za sebou půjdou dva čtrnáctibitové kódy, z nichž první jedničkou končí a druhý jedničkou začíná, může k tomuto stavu dojít. Proto se mezi jednotlivá slova vkládají ještě tři slučovací bity (tzv. *mergin*). Jedno osmibitové slovo se tedy zvětšilo na 17 bitů.

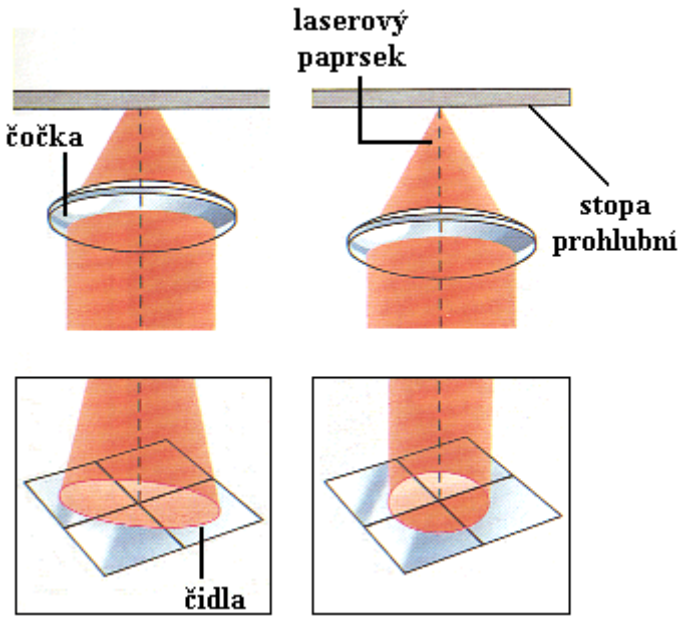
Bylo kódováno 14ti bity a kvůli „čitelnosti“ se přidaly další tři bity.

Dostává-li systém disku signál odpovídající obr. 299, slouží k identifikaci začátku rámce posloupnost 24 bitů následovaná třemi slučovacími bity, tj. posloupnost 10000000000100000000010 + 3 slučovací bity. Jakmile je tato posloupnost nalezena, začíná samotné zpracování dat vypuštěním nadbytečné informace.

Po průchodu odražené světelné vlny válcovou čočkou dopadá světlo na čtyři světelná čidla (viz obr. 300), která po osvětlení vyšlou elektrický impuls.

Přítomnost nebo nepřítomnost světla na čidlu tedy vytváří signál „zapnuto - vypnuto“.

Tento signál je poté převeden u hudebních kompaktních disků přehrávačem na vlnový signál původní nahrávky. Jak se disk otáčí, šroubový závit posunuje celý optický systém směrem od středu disku k jeho okraji.




Obr. 300

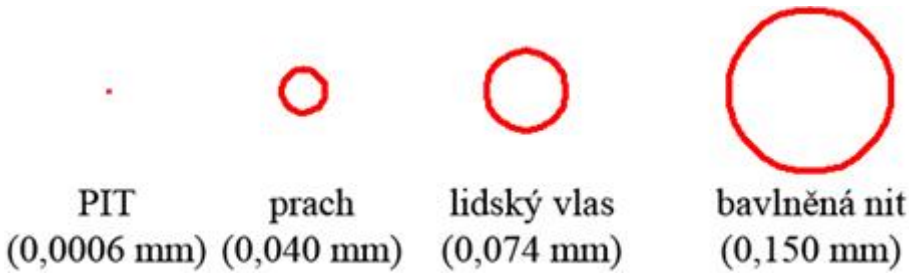
Systém čidel zajišťuje přesné zaostření laserového svazku v přehrávači a jeho pohyb po spirální stopě. Je-li zaostření a vedení stopy v pořádku, vytvoří odražené světlo kruhový obrazec s rovnoměrně rozdělenou intenzitou světla. Je-li zaostření nepřesné, obrazec je buď pokřiven nebo je nehomogenní co do intenzity. Tyto nepravidelnosti v rozložení světla po všech čidlech jsou převedeny na signál, který uvede do chodu dva drobné motory, které nepravidelnost odstraní a svazek znovu zaostří.

Některé technologie využívají třísvazkový systém (třísvazkovou metodu). Na disk dopadají tři laserové svazky: jeden hlavní a dva pomocné. Pomocné svazky jsou umístěné po stranách hlavního čtecího svazku a jsou posunuté mimo podélnou osu stopy (osu drážky). Systém pak porovnává střední hodnotu intenzit odraženého světla obou pomocných svazků. Podle jejich vzájemných hodnot pak provede korekci polohy hlavního svazku. Uvedené tři svazky jsou získávány z jednoho laseru pomocí ohybu světla na mřížce. Světlo před dopadem na disk prochází difrakční mřížkou s velkou hustotou vrypů. Tím vzniká jedno hlavní maximum a dvě maxima prvního řádu, která jsou použita právě jako pomocné svazky.

Je-li použita jen jednosvazková metoda, identifikuje přehrávač vzájemnou polohu světelné stopy a drážky analýzou odraženého světla. Vyžívá toho, že land pracuje jako fázová destička na odraz, tj. světelná vlna odražená od landu je fázově posunuta vzhledem ke světelné vlně odražené od pitu. Odražená vlna tak nese informaci o vzájemné poloze pitu (resp. landu) a světelné stopy. Tato informace je důležitá pro korekci pohybu světelné stopy po disku. Velmi důležitý je také poměr vlnové délky světla a výšky pitu. Optimální poměr je: $\frac{\lambda}{4n} = 1{,}3h$, kde $\lambda$ je vlnová délka světla laseru, *n* je index lomu materiálu (v tomto případě polykarbonátu) a *h* je výška pitu. (Tento vztah vyplývá z rozlišovací schopnosti optických přístrojů.) A tento optimální poměr je právě u CD splněn. Kdyby byl pit vysoký přesně čtvrtinu vlnové délky použitého světla, difrakční obrazec vznikající v detektoru na základě odraženého světla z landu a pitu by byl symetrický a nebylo by možné z něj určit korekce nutné na zpřesnění pohybu světelné stopy v drážce.

Šířka landů a pitů je zhruba 600 nm.

… což je asi setina tloušťky lidského vlasu (viz srovnání na obr. 301).




Obr. 301

Při takové hustotě údajů na disku by mohla i malá částečka prachu blokovat celé sady údajů a způsobit velké problémy.

Existují dva mechanismy, které tyto případné chyby odstraňují. Prvním z nich je sama použitá technologie čtení dat z disku, při níž se každá chyba či nečistota na povrchu disku efektivně zhruba 470krát zmenší (díky relativně velkému indexu lomu polykarbonátu). Druhý mechanismus spočívá v přidávání dodatečné informace při nahrávání disku. Přidaná informace je pak zpracována mikroprocesorem uvnitř přehrávače a dovoluje rozpoznat chybějící údaje a zaplnit drobné mezery v toku dat. Větší chyby jsou odstraňovány rozštěpením a provázáním 16ti bitových slov, takže poškození povrchu disku znehodnotí pouze malé kousky jednotlivých vzorků a nikoliv jeden vzorek úplně.

I přes vysokou kvalitu CD, není tato kvalita stále perfektní. Specifické zkreslení může způsobit samo vzorkování, kdy se spojitý signál převádí do diskrétní (nespojité, přetržité) podoby pouze dvou hodnot: 1 nebo 0. Chyba kvantování pak vzniká jako důsledek tohoto převodu, jako důsledek „zaokrouhlení“ signálu před jeho převodem do digitální podoby (viz obr. 292 a obr. 293). Toto „zaokrouhlení“ se projeví jako šum v pozadí.

Vypalovací disky fungují stejně - v místě pitu se intenzita odraženého světla sníží, v místě landu

zůstává intenzita odraženého světla neměnná. V tomto případě se ovšem pity a landy neliší svojí výškou (resp. hloubkou), ale pomocí vrstvy speciálního materiálu. Tento materiál je citlivý na světlo silné intenzity.

S velkou intenzitou světla souvisí i energie světla.

Při vypalování disku je laser puštěn na plný výkon. Energie světla laseru tedy způsobí ve speciálním materiálu změny, které se projeví změnou průhlednosti tohoto materiálu: v místech, kde byl materiál vystaven působení světla laseru, jeho průhlednost poklesne. Tak se od sebe odlišují pity (místa, kde je materiál neprůhledný) a landy (místa, kde je materiál průhledný). Čtecí laser má výrazně menší výkon, takže s tímto materiálem žádné změny už neudělá. V tomto případě je čtení už založeno na odrazu světla: světlo se od povrchu disku odrazí v místech, kde není narušen speciální materiál, kterým je disk pokryt. Tam, kde je průhlednost materiálu snížena (pit), se světlo zpět téměř neodráží.

V případě přepisovatelných disků je nutné při přepisu vrátit průhlednost materiálu na disku do původního stavu.

---

**© 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.