

A CD (compact disc) lemezek egyik oldalán általában felirat, vagy valamilyen díszítés látható. A másik oldaluk színes. Attól függően, hogy hogyan esik rá a fény, más-más színűnek látjuk. Már dekorációs elemként is előfordul néhány üzletben. A tárolt információ mennyiségét meghatározva és a tárolás-kiolvasás módját megismerve nem csodálkozunk, hogy a lemez ilyen érdekes látványt nyújt.

Mennyi információt tárolunk egy CD lemezen?

A digitális hangrögzítés során a sztereo hangfelvevő berendezés mindkét csatornáján lévő feszültségből másodpercenként 44100-szor vesznek mintát 90 dB dinamikával, és a lemezen ezt az információt tárolják. A lejátszáskor a digitálisan tárolt értékekből állítják vissza a jelre jellemző feszültség-idő értékeket, ami a végül a hangszóróra kerül.

A mintavételezéssel tehát a feszültséget az előírt 44,1 kHz gyakorisággal megméri. Ebből a sorozatból a 20 kHz alatti frekvenciájú hangok jól visszaállíthatók.

A hangfelvételek 90 dB dinamikája azt jelenti, hogy a legnagyobb leadott teljesítmény 10^9 -szer nagyobb a legkisebbnél, tehát a rezgés-amplitudók aránya $10^{4,5} : 1$. A bináris tárolásnak megfelelő formában felírva az arány $2^{15} : 1$, vagyis az amplitudót 15 bittel lehet meghatározni. Az előjellel együtt ezért két bájt kell tárolni az egyes amplitudómérések eredményét.

Egyetlen másodpercnyi hanganyagot $2 \cdot 44\,100 \cdot 16$ bit, azaz 1 411 200 bit tárol. A CD lemezen 72 percnyi hang van, azaz összesen $2 \cdot 705\,600 \cdot 72 \cdot 60$ bit = 6 096 384 000 bit, másképp 760 MB az információ mennyisége.

Hogyan helyezik el az adatokat?

Ezt a nagyszámú adatot a lemez egy oldala hordozza. A lemez hasznos felülete mintegy 80 cm^2 , amin ez a rengeteg adat csak úgy fér el, ha egy bit nem foglal el több helyet, mint egy $1,2 \mu\text{m}$ oldalhosszúságú négyzet. (A számítógépeknél használt CD-k „csak” 640 Mbájt hasznos információt tárolnak.)

A tényleges helyzet egy kicsivel rosszabb a számítotttnál. Mivel a lejátszáskor a lemez fordulatszáma állandó, és a másodpercenként kiolvasott információmennyiség nem függhet a kiolvasás sugarától, ezért a külső gyűrűkön (track) a sugárral arányosan nagyobb ívhossz tartozik ugyanahhoz az információmennyiséghez. A legrosszabb eset a legkisebb sugáron van, ezért az határozza meg az egy-egy gyűrű mentén tárolható információ mennyiségét, hogy a legkisebb sugáron mennyit tudunk tárolni. A hasznos tárolófelület ezért

$$A_{\text{hatásos}} = 2 \cdot r \cdot \pi \cdot (R - r),$$

ahol R a külső gyűrű sugara, r pedig a belsőé. A hatásos felület akkor a legnagyobb, ha $r = R/2$, ekkor $A_{\text{hatásos}} = R^2 \cdot \pi/2$.

Mivel a kisebb technológiai fejlődést nem követi azonnal a szabványok változása, ezért a fejlődés egy darabig a belső sugár csökkentésével folytatódik. Emiatt látjuk, hogy a CD lemezekon r kisebb $R/2$ -nél. A hatásos felülettel számolva a legkisebb sugáron csak $1 \cdot 1 \mu\text{m}^2$ áll rendelkezésre egyetlen bit tárolására.

A CD lemezeknél az adatokat nem a külső felületre írják. Az adathordozó réteg fölött még egy átlátszó műanyagréteg van. Magát az adatot a fényt visszverő, vagy azt átbocsátó réteg tárolja.

A CD lemezen rögzített adatokat egy vörös fényt kibocsátó félvezető lézer tapogatja le. A fényt az információhordozó rétegre fókuszálják, ezért a védőrétegbe még sokkal nagyobb felületen léphet be, tehát a felületi karcok, szennyeződések kevésbé rontják a leolvasás minőségét. A lemez kiválasztott pontjáról visszaverődő fényt egy fotodetektorra vetítik. Annak megfelelően, hogy a kiválasztott helyről érkezett-e reflektált fény, a detektor segítségével meghatározhatjuk az adott biteken tárolt értékeket.

Érdemes megemlíteni, hogy mivel az olvasófejet nem a lemez és a fej között fellépő erő mozgatja, ezért nem kell spirál mentén „felírni” az adatokat, hanem körgyűrűkön is elhelyezhetők. A 72 percnyi hangon kívül szinte elhanyagolhatóan kevés az a néhány kilobájtnyi segédinformáció, ami a felvételre vonatkozó adatokat, például a szerzők és az előadók nevét, a számok címét, valamint a számok időtartamát adja meg. Ennek segítségével indítható a lejátszás tetszőleges helyről.

Az eredeti, címbeli kérdésre visszatérve, mivel az egyes biteket kb. $1 \cdot 1 \mu\text{m}^2$ méretű felületeken tároljuk, ráadásul olyan módon, hogy a különböző állapotoknak megfelelő foltok optikailag különbözőek, ezért azok a látható fényt szórják. A méret miatt a fény hullámhosszától függő irányokban lép fel erősítés és kioltás, tehát a lemez színesnek látszik. A lemez megfigyelésével, a fényszórás aszimmetriájából arra is rájöhethetünk, hogy az egyes biteket nem négyzet, hanem téglalap alakú foltokban tárolják.

Mérjük meg, hogy mennyi egy bájt tényleges felülete!

Az egy-egy bitet tároló felület nem látható szabad szemmel, de még olcsóbb mikroszkóppal sem. Azt viszont megnézhetjük, hogy milyen színű a lemeze szóródott fény. Egyetlen izzólámpa kivételével kapcsoljunk le minden

fényforrást a szobában, és nézzük ennek a lámpának a tükörképét a CD lemezben. Maga a tükörkép legyen éppen a lyukban. A lemezt a szemünkhöz közelítve körkörösén megfigyelhetjük a szivárvány színeit. Legkívül lesz a vörös, legbelül az ibolya. Ha megkeressük azt a távolságot, amelynél a vörös gyűrű sugara megegyezik a lemez sugarával, meghatározhatjuk a szóródás szögét. A λ hullámhosszúságú fény szóródása d rácsállandójú optikai rácson jött létre, tehát

$$\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{d},$$

azaz az első maximumhely esetén

$$d = \frac{\lambda}{\sin \alpha_1} \approx \frac{0,600 \mu\text{m}}{0,3} = 2 \mu\text{m}.$$

Megnyugodhatunk, ez a mért érték összhangban van az előzetes számításunkkal.

Érdemes megfigyelnünk, hogy csak a sugárirányú szórást tudjuk kimutatni, mert a másik irányban nagyon kicsi a rácsállandó. Kísérletünket a tanár segítségével megismételhetjük az iskolai lézerrel is. A lézerfényt a lemezre irányítva a fény nem egyetlen irányba verődik vissza, hanem megjelennek az elhajlási maximumok is. Vigyázzunk, hogy a lézer fénye most se jusson a szemünkbe, azt vetítsük ernyőre vagy a falra.

Mit láthatunk még?

Az iskolában többnyire fénycsővilágítást találunk, a lakások világítására pedig kompakt fénycsövet ajánlanak. Nézzük meg a fénycsövet is ugyanolyan módon, ahogy az izzólámpát néztük az imént! Ehhez vagy menjünk jó messzire, vagy egy kisebb lyukon át bocsátott fényt érdemes néznünk. A szivárványszínű, elmosódott szélű gyűrű helyett most vékony, különféle színű gyűrűket láthatunk. Ez azt bizonyítja, hogy a fénycső nem olyan fehér fényt bocsát ki mint az izzólámpa, hanem a benne levő anyagokra jellemző vonalas spektrumú fényt. Ezt a fényt bontottuk fel összetevőire a lemez segítségével.

Tichy-Rács Ádám