

# Optické efekty silných zdrojů světla viditelné lidským okem

Hynek Hanke

16. května 2005

**Abstrakt:** Seminární práce zkoumá, za jakých okolností lze lidským okem spatřit efekty běžně přisuzované pouze fotoaparátům či další složitější zobrazovací technice a jaký je mechanismus jejich vzniku. Konkrétně práce rozebírá tzv. star-effect, lens-flare a halo-effect. U prvních dvou pak vysvětluje příčinu vzniku.

## 1 Úvod

Motivací této práce je snaha vysvětlit, jak je možné, že někteří lidé při pohledu do intenzivního světelného zdroje vidí z tohoto zdroje jakoby vycházet světelné „paprsky“, ačkoliv paprsky jsou samozřejmě pouze teoretický koncept.

V magazínu Chip byl kdysi publikován článek pojednávající o počítačové grafice, ve kterém autor věnoval podstatnou část rozboru symbolických zkratk, které grafik využívá, aby jednoduchým způsobem vyjádřil skutečný obsah scény. Za příklad bylo dáno kolečko s čarami radiálně z něj vycházejícími, které každý intuitivně chápe jako sluníčko. Autor zde argumentoval, že toto je pouze zkratka daná sociálními konvencemi a nikdo ve skutečnosti nikdy žádné paprsky vycházející ze sluníčka neviděl. Níže vysvětlím, že toto není pravda.

Tento jev si uvědomovali již staří egyptané, jak ukazuje (Obr. 1) rytina z egyptského muzea v Cairo, na které Akhanaten spolu s rodinou nabízí oběť bohu slunce Atonovi. Autor stati o historickém vývoji optiky [1] se domnívá, že egyptané myšlenku paprsků vycházejících ze světelných zdrojů získali z pozorování efektu, který vzniká v atmosféře za rozptýlenými mraky (Obr. 2). Takové vysvětlení má však podstatný nedostatek: při pozorování atmosferického efektu zachyceném na (Obr. 2) není možno zároveň vidět Slunce, ale na (Obr. 1) je Slunce nakreslené. Podobně, při atmosferickém efektu nikdy nevidíme paprsky jdoucí směrem přímo k nám, což je v rozporu se studovanou rytinou. Ve skutečnosti, pokud by se egyptanům nezdálo, že paprsky se natahují přímo k nim (lépe patrné z Obr. 3), nemělo by asi ani smysl je na obrazech týkajících se obětí bohům vůbec kreslit. Ani autor [1] tedy zřejmě nevěděl, že někteří lidé takové paprsky vidí úplně běžně.

Při diskuzích s dalšími lidmi, které ale v žádném případě nelze považovat za nějaký statistický průzkum, jsem zjistil, že někteří lidé efekt zdánlivých paprsků vycházejících ze světelných zdrojů buď opravdu nevidí, nebo si jej vůbec neuvědomují. Naopak bylo snadné efekt vysvětlit lidem, kteří trpí slabozrakostí.



Obrázek 1: Paprsky znázorňovali již staří egyptané



Obrázek 2: Autor [1] se snaží vysvětlit pozorování paprsků na základě efektů viditelných v atmosféře



Obrázek 3: Egypťané paprsky v posvátných rytinách kreslili zřejmě právě proto, že se jim zdálo, jakoby se za nimi ze slunce natahovaly.

## 2 Optické efekty ve fotoaparátu

Efekty, o kterých budu dále mluvit, jsou velmi dobře známy profesionálním fotografům a kameramanům. Všechny vznikají u silných světelných zdrojů jako nechtěný vedlejší efekt komplikovaného vnitřního uspořádání optických elementů v aparatuře. Různé formy těchto efektů jsou velmi dobře patrné z uměle počítačem vygenerovaného obrázku (Obr. 4). Je však třeba mít na paměti, že tyto obrázky jsou umělé a efekty na nich jsou úmyslně mnohem větší a výraznější, než jak se ve skutečnosti objevují na fotografiích.

Ve všech polích vidíme ze světelného zdroje vycházet různě dlouhé diskretní čáry, kterým budu nadále již říkat paprsky. Tyto vždy nějakým způsobem vykazují symetrii. Někdy se mimo jemnějších radiálně symetrických paprsků objeví i silnější paprsky v několika význačnějších směrech. Při pohybu kamery by se pak paprsky kolem zdroje také různě pohybovaly a měnily svoji intenzitu. To je známo jako tzv. „star-effect” a ve fotoaparátech vzniká difrakcí světla na cloně. Světlo se na ostrých hranách ohýbá a bodový zdroj se tak roztáhne v tomto směru do celé dlouhé ale diskretní linie. Další linie vznikají difrakcí na dalších hranách clony, případně na jiných význačných hranách použité aparatury.

Směrem k pozorovateli jsou na (Obr. 4) vidět různě barevná kolečka poskládaná v efektu známém jako „lens-flare”. Kolečka (ale obecně i jiné útvary jako různé n-úhelníky) jsou důsledkem [2] odrazů, lomů a rozptýlení světla uvnitř aparatury, které jsou díky intenzivnímu zdroji světla viditelné i na výsledné fotografii, ačkoliv při normálním fotografování jsou tyto efekty dostatečně slabé na to, aby výsledný obraz nijak nenarušovaly. Nechtěné geometrické obrazce,



Obrázek 4: Počítačová simulace efektů objevujících se ve fotoaparátech a kamerách (ostrost, velikost i barvy jsou přehnané)

kteřé nakonec vidíme na fotce, jsou jak obrazy zdroje světla, tak obrazy čoček a dalších optických elementů v kameře (odtud zmíněné n-úhelníky).

Poslední efekt patrný z (Obr. 4) je tzv. „halo-effect“ ve formě rozmazání původního bodového zdroje nebo zdroje s diskřétní hranicí do jemného kruhu podstatně větších rozměrů obklopujícího původní zdroj. Tento efekt má zřejmě původ v nedokonalém zaostřeni použité optiky, které se na fotografickém filmu podstatně zvýrazní při namířeni kamery na silný zdroj světla.

Všechny tyto efekty lze vidět lidským okem i bez složité zobrazovací aparatury. Chtěl bych zde ale zdůraznit, že mechanismus jejich vzniku je obecně jiný a tak nabývají tyto efekty při pozorování okem i jiné formy. Uvědomění si analogie s efekty, které jsou známé fotografům a z praktických důvodů již byly docela dobře prozkoumány a popsány, mi umožnilo pokusit se o vysvětlení mechanismu vzniku efektů při pozorování okem.

### 3 Star-effect v lidském oku

Jak již bylo řečeno, star-effect lze pozorovat při pohledu na dostatečně intenzivní zdroj i lidským okem. Přitom dostatečně intenzivním zdrojem je například pouliční lampa, žárovka v lustru či světlo přijíždějícího automobilu. Star-effect pozorovaný okem se od fotografického liší především svojí podstatně větší intenzitou a podstatně delšími výslednými paprsky, které nejsou radiálně symetrické, ale ve většině případů míří směrem k pozorovateli.

Na základě analogie s efektem ve fotoaparátu jsem předpokládal, že jde o difrakci světla. Jedině tak bylo také možné vysvětlit, že všechny paprsky vycházející ze zdroje jsou naprosto jasné a diskřétní a obraz za nimi je zachován v nezmenšené kvalitě (jak by tomu nikdy nemohlo být, pokud by se jednalo o nějakou vadu čočky).

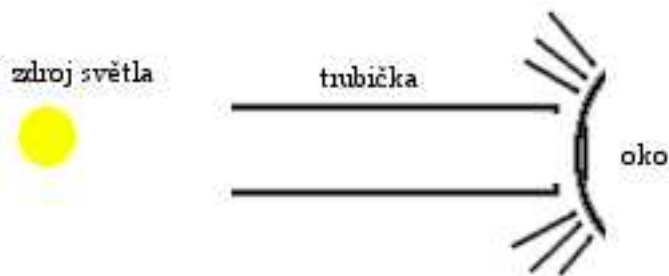
Difrakce však nemůže vznikat až v oku samotném, protože zde není nic, co by jako u fotoaparátu mělo ostré hrany a mohlo difrakci vyvolávat. Navíc, pakliže by difrakce vznikala až uvnitř oka (například na hranách zorničky), měl by výsledný efekt být podobně jako u fotoaparátu symetrický, ale není. Tyto úvahy mě přivedly k názoru, že příčinu je nutno hledat mimo oko – na řasách.

Domněnku o difrakci na řasách jsem pak ověřil jednoduchým pokusem s trubičkou, kterou jsem si přiložil těsně před oko tak, abych zamezil možnosti řas ovlivnit světlo zdroje dopadající na sítnici (viz. schéma Obr. 5). Efekt podle očekávání vymizel.

Geometrie, s jakou jsou na oku rozmístěny řasy, vysvětluje, proč nejsou paprsky kolem zdroje rozmístěny symetricky. Stejně tak je již zřejmé, proč může být snazší vysvětlit tento efekt slabozrakým – pokud přimhouříme, a to slabozrací často dělají, aby lépe zaostřili, je efekt ještě daleko lépe patrný, protože řasy mají možnost ovlivňovat větší část světla, které nakonec dopadne na zorničku.

### 4 Lens-flare na brýlích

Není mi známo, že by tento efekt byl pozorovatelný pouhým lidským okem, nicméně je pozorovatelný na dioptrických brýlích. Za předpokladu, že je primární zdroj dostatečně intenzivní, lze ve skle brýlí spatřit sekundární zdroj jako od-



Obrázek 5: Při vyloučení řas z optické dráhy star-effect zmizí

raz primárního zdroje od vnitřních stěn skla. Lens-flare opět nenastává u málo intenzivních zdrojů, protože sklo většinu světla propouští, jen malé procento odrazí, a tak je světlo po dvou vnitřních odrazech již příliš zeslabeno.

## 5 Halo-effect při pozorování okem

Tento efekt lze pozorovat vzácně i pouhým nahým okem. Mechanismus jeho vzniku s mi nepodařilo objasnit – především proto, že jej neumím uměle navodit v situaci, která by umožňovala detailnější zkoumání. Za určitých okolností, které neumím upřesnit, je za tmy vidět kolem pouličních lamp jako radiálně symetrický kruhový světelný oblak kolem zdroje, s přibližně homogenní intenzitou, která na okrajích rychle ale spojitě ubývá. Tento světelný oblak nemusí mít nutně stejnoubarvu jako zdroj. Velmi podobný efekt je patrný v poli označeném 35MM Prime<sup>1</sup> na (Obr. 4).

Je známo [3], že tento efekt běžně pozorují krátkozrací lidé, kteří prošli laserovou operací zraku. Ta spočívá v korekci optické mohutnosti čočky zploštěním její přední strany. Zploštění se při zákroku ale týká pouze centrální části čočky. Za podmínek, kdy je málo světla, se zornička roztáhne natolik, že odhalí i oblast čočky s původním nekorigovaným zakřivením. Světlo procházející touto trajektorií pak není zaostřené a vytváří na sítnici kolem ostrého obrazu zdroje ještě i rozmazaný kruh většího poloměru.

Zda je mechanismus vzniku efektu pozorovatelného neoperovaným okem stejný a především, zda efekt skutečně vzniká až v oku, difrakcí mimo oko nebo v atmosféře kolem zdroje, jsem nezjistil.

<sup>1</sup>Toto pole také obsahuje diskretní centrální lens-flare kolem zdroje, se kterým bychom si neměli halo-effect plést.

## 6 Závěr

Popsal jsem optické efekty star-effect, lens-flare a halo-effect známé z fotoaparátů a u prvních dvou jsem vysvětlil okolnosti, za kterých je lze okem pozorovat okolo intenzivních zdrojů světla bez použití složitějších optických soustav. Star-effect vzniká difrakcí světla na řasách a někteří lidé jej zřejmě za normálních okolností nevidí, avšak měli by jej vidět, pokud přimhouří oči. Lens-flare je běžně pozorovatelný zřejmě jen v brýlích a tam vzniká vnitřním odrazem světla od skla brýlí. Halo-effect jsem popsal, ale nedokázal vysvětlit. Pouze jsem poukázal, že je známo, jak tento efekt vzniká v oku, které prošlo laserovou operací za účelem korekce optické mohutnosti čočky.

Veškerý zde uváděný popis i poskytnutá vysvětlení jsou pouze kvalitativního charakteru. Kvantitativní rozbor bohužel zatím nejsem se svými znalostmi schopn poskytnout.

## 7 Literatura

- [1] The visual world through history, University of Toledo, 2005, [http://www.physics.utoledo.edu/lsa/\\_color/03\\_history.htm](http://www.physics.utoledo.edu/lsa/_color/03_history.htm)
- [2] Lens flare (encyklopedický článek), Wikipedia, 2005, [http://en.wikipedia.org/wiki/Lens\\_flare](http://en.wikipedia.org/wiki/Lens_flare)
- [3] The halo phenomenon after laser surgery, Bill Casselman, University of British Columbia, 2003, <http://www.math.ubc.ca/cass/courses/m309-03a/m309-projects/hiew/lasik.html>
- [4] Fyziologie oka a vidění, Synek, Skorkovská, Grada publishing, 2004, ISBN 80-247-0786-1