

Středoškolská odborná činnost 2006/2007

Obor 02 – Fyzika

Sledování fyzikálních jevů prostřednictvím digitálního fotoaparátu

Autor:

Jan Weiser

SPŠSE a VOŠ, Masarykova 3,
460 84 Liberec, 4. ročník

Konzultant práce:

Mgr. Jaromír Osčádal

(SPŠSE A VOŠ, Liberec)

Zadavatel práce:

Liberec, 2007

Liberecký kraj

Prohlašuji tímto, že jsem soutěžní práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Jana Šimůnka a uvedl v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a další informační zdroje včetně internetu.

V Liberci dne

vlastnoruční podpis autorů

Anotace

Tento projekt je vyústěním mé dlouhodobé činnosti spojené s osvojením využití sofistikovaného přístroje v podobě digitálního fotoaparátu ke sledování fyzikálních jevů. Vzhledem k faktu, že se jedná o středoškolskou práci, odpovídá tomu také odbornost textu. První kapitola se vztahuje k teoretickým znalostem z oblasti digitální fotografie, které jsem získal v průběhu zpracování. Ve druhé a třetí kapitole jsem získané znalosti uplatnil pro účely pozorování povrchového napětí kapalin a polarizace. Podstatnou součástí projektu je také rozsáhlá obrazová dokumentace, na níž je možné pozorovat mnohé projevy z obou výše uvedených oblastí.

Annotation

This project is the result of the long-term activity connected with the adoption of the usage of the sophisticated device in the form of digital camera to describe physical effects. The expertness of the content is equal to high school level. The first chapter consist of the theoretical knowledges which I gained during elaboration. I used acquired knowledges for observing surface tension of the liquids and polarization in the second and third chapter. The important part of the project is also a large image documentation where it is possible to observe variety of both physical effects.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Mgr. Janu Šimůnkovi za odbornou pomoc a ochotu při vedení práce, mému otci Janu Weiserovi za spolupráci při experimentální části, Janu Sikorjakovi za pomoc s překladem anotační části a lidem ze serveru Fotoaparát.cz, kteří byli ochotní poskytnout mi požadované informace z oblasti digitální fotografie.

Obsah

Anotace	3
Annotation	3
Obsah	4
Slovník pojmů.....	6
Úvod.....	8
1. Digitální fotografie	9
1.1 Proces vzniku digitální fotografie.....	9
1.2 Digitální zrcadlovka – popis a nejdůležitější funkce	10
1.3 Konica Minolta Dynax 5D.....	10
1.4 Základy fotografování.....	13
1.4.1 Správná expozice	13
1.4.2 Hloubka ostrosti	14
1.4.3 White balance	15
1.5 Shrnutí.....	17
2. Povrchové napětí.....	18
2.1 Fyzikální teorie povrchového napětí kapalin.....	18
2.1.1 Struktura a vlastnosti kapalin.....	18
2.1.2 Povrchové vlastnosti kapalin	18
2.1.3 Povrchová síla a napětí	19
2.2 Praktické pozorování	20
2.2.1 Určení povrchového napětí kapkovou metodou	20
2.2.2 Pozorování odrazu kapky od hladiny kapaliny.....	22
2.2.3 Zachycení dalších jevů z oblasti povrchového napětí	32
2.3 Rekapitulace.....	32
3. Využití digitálního fotoaparátu ke sledování fyzikálních jevů z oblasti optiky	33
3.1 Polarizace.....	34
3.1.1 Nastínění pojmu polarizovaného světla.....	34
3.1.2 Možnosti získání polarizovaného světla	35
3.1.3 Experimentální část.....	38
3.1.3.1 Vlastnosti polarizovaného světla	39
3.1.3.2 Experiment s lepící páskou	43

3.1.3.3 Umělý dvojlom	47
3.1.3.4 Ledové krystaly.....	48
3.1.4 Polarizační filtr pro tvorbu kreativních fotografií.....	54
Závěr	59
Zdroje.....	61
Internetové zdroje:	61
Knižní zdroje:	61

Slovník pojmů

CCD snímač - soustava polovodičových obvodů, uchovávajících náboje, které lze postupně přesouvat na výstup.

Clona - soustava neprůhledných lamel, která stahováním nebo roztahováním mění množství světla procházejícího objektivem.

Expozimetr - měřicí přístroj, podle kterého se stanoví správné expoziční hodnoty (clonové číslo a doba osvitu).

Kinofilm - název pro perforovaný svitkový film s šířkou 3,5 mm užívaný pro kinofilmový fotografický přístroj.

LCD - zobrazovač nebo plochá obrazovka využívající schopností kapalných krystalů polarizovat procházející světlo podle polohy jejich tyčinkových molekul, ovládané elektrickým polem; toho se využívá ke konstrukci zobrazovačů

Makrofotografie - fot. postup (popř. snímek), který podává více podrobností, než rozezná lidské oko ze vzdálenosti 25 cm.

Objektiv - je součástí optických přístrojů, jež slouží k zobrazování pozorovaného předmětu.

Pixel - nejmenší bod, z něhož se skládá zobrazení na monitoru, snímáním obvodu CCD nebo na LCD displeji.

RGB - standardní zobrazovací systém barev u počítačových monitorů. Výsledná barva vzniká smísením tří jednotlivých světelných složek různé intenzity.

Závěrka - zařízení k ovládní světelného svazku procházejícího objektivem a řídicího expoziční dobu u fot. přístrojů

Bílé světlo - jedná se o světlo polychromatické, což znamená, že je složeno z více barevných složek

Anizotropie - závislost fyzikálních vlastností látek na směru, ve kterém se měří

Amorfní látky - látky v pevném skupenství, které nemají pravidelnou (krystalickou) strukturu

Chromaticnost - barevná jakost světla

Analyzátor - polarizátor, který propouští polarizované světlo jen s určitou orientací kmitové roviny

Polarizátor - prostředek, kterým přirozené světlo transformujeme na polarizované

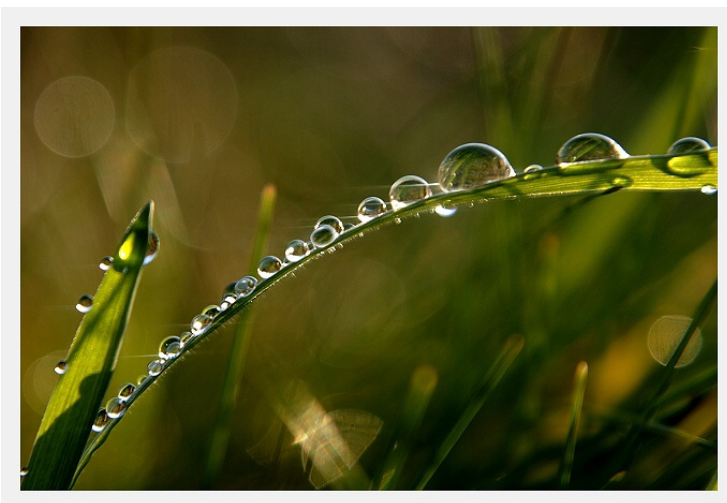
Souhlasně orientované filtry – jedná se o filtry, které mají rovnoběžný směr polarizace

Úvod

Tento projekt je vyústěním mé dlouhodobé činnosti spojené s osvojením využití sofistikovaného přístroje v podobě digitálního fotoaparátu ke sledování fyzikálních jevů. Námět projektu jsem upřednostnil z důvodu možnosti tvůrčí činnosti spojené jednak s vlastním nastavením expozice, tak i praktickým sledováním daných jevů. Problematika, kterou se zabývá, je obtížnostně omezena tak, aby odpovídala středoškolským znalostem a nebyla příliš detailní. Experimentální části projektu jsou komponovány s upřednostněním subjektivních pohledů a hodnocení.

Samotnému využití digitálního fotoaparátu ke sledování fyzikálních jevů pochopitelně předcházelo také mé seznámení se s jeho možnostmi, přičemž jsem vycházel z pozice naprostého laika. Poznatky, které jsem v průběhu zpracování získal, jsem přehledně uvedl v první kapitole projektu.

Ve druhé kapitole jsem se již soustředil na jevy z oblasti povrchového napětí kapalin, kde jsem pozoroval především odraz kapky na vodní hladině a mnohé jiné projevy, které z povrchovým napětím kapalin bezprostředně souvisejí a můžeme je spatřit takřka kdekoli.



Třetí a současně poslední kapitola je soustředěna na fyzikální jevy z oblasti optiky. Zde jsem se konkrétně zabýval polarizací, která je v souvislosti s digitálním fotoaparátem často skloňována v podobě filtru, jenž je mnohdy nepostradatelným článkem na cestě ke kvalitnímu snímku. Dané téma jsem se pokusil uchopit komplexněji, abych později předešel možným nesrovnalostem. Nezbytná teoretická část tedy plyně navazuje na část experimentální, jenž je soustředěna na interferenci polarizovaného světla, které, jak se později potvrdilo, skýtá mnoho estetických podob i tam, kde by je většina z nás ani v nejmenším nečekala. V poslední části jsem teorii taktéž aplikoval do praxe, přičemž jsem se soustředil na možnosti využití polarizačního filtru pro tvorbu kreativních fotografií.

1. Digitální fotografie

První kapitola tohoto projektu je věnována krátké rekapitulaci poznatků, které jsem za daný časový úsek získal z oblasti digitální fotografie. Tato kapitola je důležitá především z důvodu, že jsem se s touto problematikou hlouběji setkal poprvé až prostřednictvím tohoto projektu.

1.1 Proces vzniku digitální fotografie

Záznam obrazu digitálním fotoaparátem se od záznamu analogovým přístrojem liší především ve snímáči. U analogového fotoaparátu je snímačem kinofilm, u digitálního je to čip. K záznamu obrazu u digitálního fotoaparátu dojde následovně.

Světlo odražené od fotografovaného předmětu vstupuje do fotoaparátu přes optickou soustavu - „objektiv“. Objektiv usměrní svazek světelných paprsků do jednoho bodu - „ohniska“, kde je umístěn snímač. Mezi objektivem a snímačem je umístěna „závěrka“, která určuje dobu osvitů snímače. Intenzitu osvitů snímače určuje „clona“, která je součástí objektivu. Nastavením funkce závěrky a clony určujeme „expozici“. U zrcadlovek je navíc mezi objektiv a závěrku vsazeno sklopné zrcátko, které odráží svazek světelných paprsků procházejících přes objektiv do hledáčku.

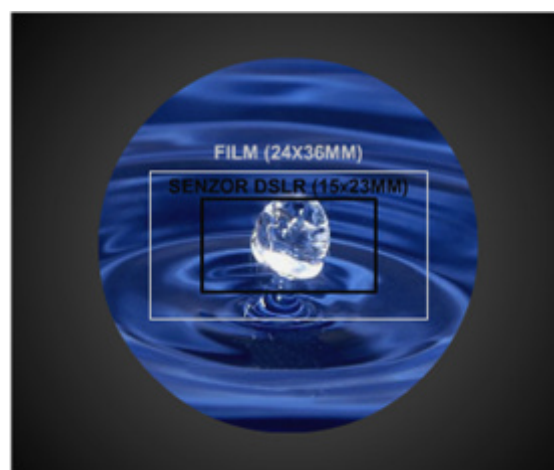
Naprostá většina používaných snímačů používá pro získání barevné informace takzvanou mozaiku barevných filtrů. Protože samotná buňka snímače rozpoznává pouze jasovou informaci, je nutné před ni umístit barevný filtr (červený, zelený nebo modrý), který odfiltruje část barevného spektra a doplní tak jasovou informaci o barevnou. V praxi je nad každým bodem fixně napařen jeden ze tří filtrů (RGB) a barevná informace se získává komplikovaným výpočtem vycházejícím z hodnot naměřených skupinou sousedních bodů.

1.2 Digitální zrcadlovka – popis a nejdůležitější funkce

Digitální zrcadlovka je kombinací klasické SLR konstrukce s digitálním záznamem. Obraz z objektivu je odváděn přímo do hledáčku a fotograf tak vidí přesně to, co bude při expozici promítnuto na snímač. Před samotnou expozicí se zrcadlo mechanicky sklopí a světlo tak může být „vpuštěno“ na snímač.

Digitální zrcadlovky jsou na rozdíl od takzvaných kompaktních digitálních fotoaparátů osazeny vysoce kvalitními a světelnými objektivy, které umožňují prostřednictvím výtečné optiky pořizovat velmi kvalitní fotografie.

Na přiloženém obrázku je dobře vidět zobrazení obrazu. Velikost snímače je asi $1,6 \times$ menší než políčko kinofilmu. Proto se nám i obraz, který snímač zachytí bude jevit tak, že prodlouží ohniskovou vzdálenost používaného objektivu $1,6 \times$.



Obrázek 1 Zobrazení obrazu v rovině snímače

1.3 Konica Minolta Dynax 5D

Fotografie, které jsou součástí tohoto projektu, jsem vytvořil prostřednictvím digitální zrcadlovky Konica Minolta Dynax 5D se dvěma výměnnými objektivy. Jedná se o fotoaparát, jehož předností je především systém optického stabilizátoru Anti-Shake, díky kterému je v konkurenci ostatních digitálních zrcadlovek ve své třídě v popředí veřejného zájmu.

Použitý CCD snímač má efektivní rozlišení 6,1 MPix a umožňuje pořizovat snímky s rozlišením $3\,008 \times 2\,000$, $2\,256 \times 1\,496$ a $1\,504 \times 1\,000$ bodů s citlivostí ISO 100, 200, 400, 800, 1 600 a 3 200 ve formátu JPEG a RAW. O zpracování obrazu se stará obrazový procesor CxProcess™ III.

Model disponuje již zmíněným Anti-Shake systémem s mechanismem posuvu snímače CCD. Toho lze velmi dobře využít při nedostatečném osvětlení, za soumraku, či při fotografování s teleobjektivem. Technologie Anti-Shake reaguje na pohyby těla i rychlé třesoucí se pohyby paže. Sledování stavu použití stabilizace obrazu je vidět v hledáčku na pravé straně. Je zde řada sloupců, které se rozsvěčují při pohybu přístroje. Čím více sloupců svítí, tím větší je nestabilita.

Systém měření expozice je obdobný jako u předešlých zrcadlovek. Je vybaven pěti standardními expozičními režimy. Zelený P - plně automatický režim činnosti, P - automatická expozice, A - preference clony, S - preference času, M - manuální nastavování. Kromě toho je možné použít z nabídky dalších 5 přednastavených programů: Portrét, Sport, Krajina, Západ slunce a Noční portrét, kdy se kromě nastavení optimální clony a času využívají i přednastavené barevné režimy. Expozimetr pracuje ve 3 standardních režimech činnosti. Měření 14 segmenty snímače, kdy fotoaparát získává od systému zaostřování informace o poloze fotografovaného objektu a používá je k volbě odpovídajících segmentů snímače, kterými bude měřit expozici. Při lehkém stisknutí spouště se tedy v hledáčku naznačuje, který segment AF fotoaparát používá k zaostření a zároveň z toho místa měří expozici. Údaje z každého segmentu jsou vyhodnocovány nezávisle a umožňují tak určit úroveň případného protisvětla nebo bodového osvětlení. Závěrka dokáže pracovat s časy od 1/4 000 s do 30 s. Sériovým snímáním lze exponovat rychlostí 3 snímky za sekundu. Maximální počet je závislý na zvoleném rozlišení..

Konica Minolta Dynax 5D je vybaven 9 bodovým systémem automatického zaostřování s 8 řádkovými a jedním zkříženým středovým snímačem, které zajišťují přesné zaostření a sledování objektů pohybujících se v záběru. Systém disponuje jak Prediktivním řízením zaostřování, tak sledováním objektu což v praxi znamená, že systém předvídá, kam se objekt pohybuje a tím také urychluje proces ostření.

Parametry fotoaparátu:

- Rozlišení 6,1 megapixelů (3008 x 2000)
- CCD snímač (23,5 mm x 15,7 mm)
- Anti Shake - technologie stabilizace CCD snímače
- Bajonet - Minolta A pro AF objektivy Konica Minolta
- 2,5palcový (6,35cm) LCD displej
- P, A, S, M režimy
- Citlivost CCD snímače ISO 100, 200, 400, 800, 1600, 3200



Obrázek 2 Schéma digitální zrcadlovky KM Dynax 5D

1.4 Základy fotografování

Existuje mnoho odborné literatury, která pojednává o digitální fotografii. Je tedy možné získat mnoho poznatků, na jejichž podkladě se dají posléze vytvořit kvalitní snímky. V další části textu bych proto chtěl zmínit ty poznatky, které jsem konkrétně uplatnil při nastavování fotoaparátu a jejich následné úpravě v tomto projektu. Jedná se o tyto tři hlavní okruhy: *expozice, hloubka ostrosti, white balance*.

1.4.1 Správná expozice

Správná expozice je bezesporu jedním z hlavních faktorů na cestě ke kvalitní fotografii.

Expozice je optimální osvětlení snímače CCD množstvím světla, které se nachází na fotografované scéně. Expozici ovlivňují pouze tři faktory: expoziční čas, citlivost a clona.

V praxi je tak možné najít velké množství trojic – clona / čas / ISO – které povedou ke stejné expozici. Zatímco volbu času podřizujeme zvládnutí pohybové neostrosti a rozhýbání snímku, clona určuje hloubku ostrosti a ISO nám nepříjemně zvedá hodnotu šumu. Správné nastavení sady těchto tří hodnot tedy musí vést nejen k dobré expozici (množství světla), ale i k výrazově a technicky správnému pojetí snímku.

EV hodnota – absolutní množství světla na scéně

V každém oboru lidské činnosti je užitečné určit si nějaká stabilní a nezávislá měřítka – tzv. absolutní veličiny. Nejinak je tomu ve fotografii, kde si fotografové zvykli používat tzv. EV hodnoty. EV hodnoty měří absolutní množství světla na scéně vně fotoaparátu a každý pozorovatel nezávisle na vybavení a metodě musí dojít ke stejné hodnotě EV měří-li ve stejném místě (bodě) scény.

Každý bod scény má samozřejmě jinou hodnotu EV – jiný jas. Pro stanovení správné expozice je ale nutné stanovit průměrné EV scény. Na tuto hodnotu bude posléze nastavena expozice.

1.4.2 Hloubka ostrosti

Jedna z definic hloubky ostrosti zní:

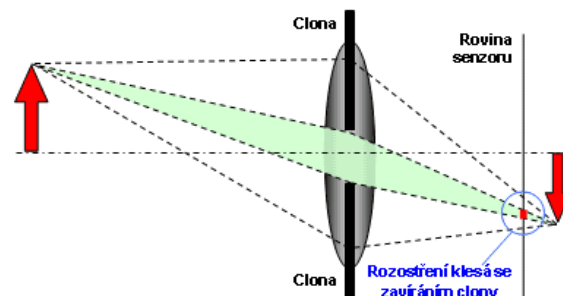
„Hloubka ostrosti je rozsah vzdáleností, uvnitř kterých jsou objekty přijatelně ostré.“

Hloubku ostrosti ovlivňují tři faktory – nastavená clona, vzdálenost k objektivu a použitá ohnisková vzdálenost objektivu.

Clona

Clona je jediným prvkem, který ovlivňuje hloubku ostrosti a neovlivňuje přitom kompozici obrazu. Snížení clonového čísla snižuje hloubku ostrosti zatímco zvýšení clonového čísla hloubku ostrosti zvyšuje.

Vysvětlení faktu, proč clona ovlivňuje hloubku ostrosti je velmi dobře patrné na následujícím obrázku. Při vyšším clonovém čísle prochází paprsky objektivem více „rovnoběžně“ a proto stejná odchylka od roviny zaostření nezpůsobí v rovině filmu tak velké rozostření.



Obrázek 3 Clona

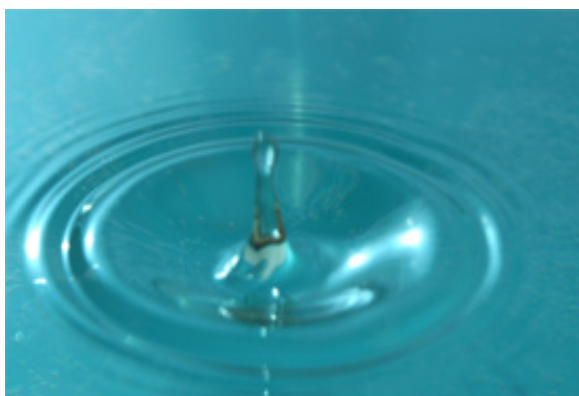
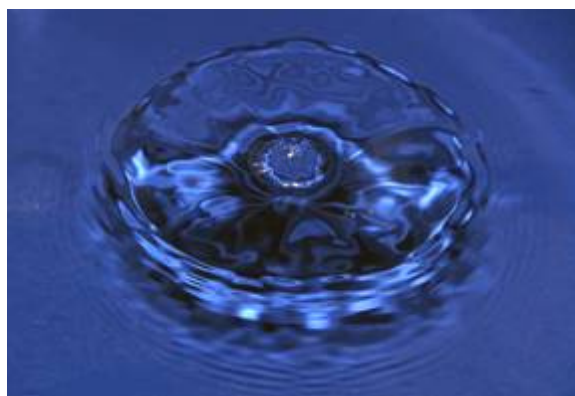
Vzdálenost k objektivu

Čím jdete k objektu blíže, tím se objekt jeví v hledáčku větší a tím klesá hloubka ostrosti. Pro velmi vzdálené objekty je tedy hloubka ostrosti největší, zatímco v makrofotografii je tomu naopak.

Ohnisková vzdálenost

Čím objekt zoomem více přiblížíte, tím je hloubka ostrosti nižší. Z toho logicky vyplývá, že širokoúhlé objektivy mají malou hloubku ostrosti. Proto i nároky na ostřicí systémy u teleobjektivů strmě stoupají.

Význam hloubky ostrosti pro pozorování fyzikálních jevů spočívá především ve snaze zachytit dané jevy v jejich plasticitě. Na přiložených fotografiích je velmi dobře patrné, jak nekvalitní výsledek může způsobit neadekvátně nastavená clona. Pro srovnání výsledku přikládám dva snímky s odlišně nastaveným clonovým číslem.

*Obrázek 4 clona f5.6**Obrázek 5 clona f18*

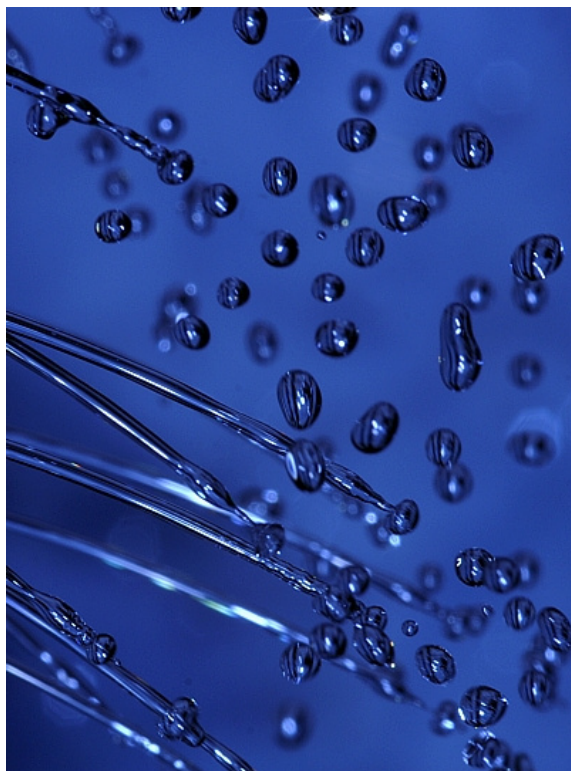
1.4.3 White balance

Velmi důležitým prvkem z hlediska digitálního fotoaparátu a tudíž i tvorby kreativních fotografií je funkce, která umožňuje vyvážení bíle (white balance). Její důležitost byla znatelná též při exponování experimentů v interiéru, kde podstata experimentu spočívala právě v podání barev. Proto ji zde věnuji podstatnějším prostor pro možnost komplexnějšího pojednání.

Na svět kolem nás nahlížíme očima, které nám zprostředkují zrakový vjem, jež je poté dále zpracováván naším vnímáním. Zajímavostí je, že bílá barva se nám jeví bílou, ať se již na daný list papíru díváme ve slunečním světle či pod světlem umělým

prostřednictvím wolframového vlákna. Tato zajímavost je způsobena složitostí lidského mozku, který je velmi tolerantní na bílou barvu, jelikož se přizpůsobuje zkušenostem, které během života získáváme ohledně okolního prostředí.

Co se týká fotoaparátu, tak zde je situace diametrálně odlišná, jelikož fotoaparát takovou schopnost postrádá. Fotoaparát zachytí světlo různých vlnových délek, které posléze transformuje na el. náboj, jenž je následně digitalizován. Podrobnosti o barvě jsou pak obsaženy v údajích ve třech barevných kanálech – RGB. Bílé světlo, respektive barevně neutrální světlo je tvořeno totožnými hodnotami jednotlivých barevných kanálů. Když tedy exponujeme list papíru, který se nám jeví jako bílý, kupříkladu ve světle wolframového vlákna, fotoaparát bude jeho plochu interpretovat nikoli, jako bílou, ale do odstínů červené. To může být v ohledu na jistý typ fotografií ku prospěchu, což ostatně dokumentuje také obr.6, kde je zachycen proud vody při použití blesku a nastavení vyvážení bílé na hodnotu odpovídající osvětlení









Obrázek 7 Využití nesprávného vyvážení bílé

prostřednictvím wolframového vlákna. Modrý nádech působí v tomto případě velmi esteticky. Ve většině případů je tomu ale naopak a to je právě důvod, který staví white balance při exponování fotografií do mnohdy neocenitelné pozice.

Možnosti vyvážení bílé

První možnost, která s sebou nese žádnou osobní odpovědnost, je využití automatického nastavení bílé (AWB), což v podstatě znamená, že fotoaparát vyhodnotí sám barevnost dané scény, při které využívá principu hledání průměrné barevnosti. Tato metoda je dosti nepřesná a zejména u snímků se silným barevným nádechem generuje velmi nepřírozené barvy.

Druhá možnost spočívá ve výběru přednastaveného druhu osvětlení, jež uvádí následující tabulka. Tento způsob je již ve většině situací velmi spolehlivý.

Ikona	Popis	Teplota v K
	Žárovka, halogen (Tungsten)	3200
	Zářivka (Fluorescent)	4000
	Slunný den (Sunny and daylight)	5200
	Zamračený den (Cloudy and hazy days)	6000
	Blesk (Flash)	6000
	Stín (Shade)	7000

Tab. 1. Druhy osvětlení

Další možností pro vyvážení bíle je fotoaparát manuálně zkalibrovat. To se dá provést tak, že před hledáček fotoaparátu umístíme předmět, jehož povrch je barevně neutrální. Fotoaparát si tak zjistí barevný nádech a o stejnou hodnotu bude poté další fotografie korigovat. K tomuto účelu se často ve fotografické praxi používají 18% šedé tabulky.

Poslední ve výčtu možností, avšak nikoli poslední z hlediska kvality výsledku je vyvážení bíle v postprocessingu, tedy na PC po samotné expozici. To je možné učinit, exponujeme-li do tzv. RAW formátu, který obsahuje jen surová data ze snímače, která lze dále zpracovat na PC.

1.5 Shrnutí

Digitální fotografie a moderní digitální fotoaparáty jsou vděčným pomocníkem v mnoha oborech lidské činnosti a bez jejich použití si dnešní život již neumíme představit. K jejich správnému používání je však nutné si osvojit řadu vědomostí a praktických návyků, bez kterých tyto pomocníky nebudeme umět správně využívat.

2. Povrchové napětí

V této části projektu jsem se pokusil zdokumentovat možnosti užití digitální fotografie při zkoumání fyzikálních jevů spojených s projevy povrchového napětí kapalin. Ke sledování jevů z oblasti povrchového napětí mne vedl fakt, že voda je takřka všude kolem nás. Jedná se o kapalinu, která nabízí mnoho podob, jenž lidskému oku nejsou lhostejné, avšak většina z nás si tyto podoby nedokáže s fyzikálního hlediska objasnit. Tento projekt jsem však nekoncepoval tak, aby prostřednictvím dlouhých statí nastiňoval, jak ke kterému jevu dochází. Soustředil jsem se především na jejich zdokumentování prostřednictvím digitálního fotoaparátu. Ten má v tomto projektu velké opodstatnění, jelikož dokáže zdokumentovat i tu část jevu, kterou lidské oko není schopno v reálném čase zachytit. Proto jsem se soustředil především na tu podobu vody, která není statická, nýbrž v pohybu. Tyto momenty poskytují nejen fyzikální sdělení o průběhu jevu, ale také mají svoji estetickou hodnotu, která je v jistém smyslu taktéž měřítkem této práce.

2.1 Fyzikální teorie povrchového napětí kapalin

2.1.1 Struktura a vlastnosti kapalin

Kapaliny mají stálý objem, ale už ne tvar. Tvoří přechod mezi úplně uspořádanými pevnými látkami a neuspořádanými plyny. Uspořádání kapalin je *krátkodosahové*, podobné amorfním látkám. Molekuly kapalin se po krátký časový úsek pohybují v kmitech kolem jedné rovnovážné polohy, ale mají takovou kinetickou energii, že z této rovnovážné polohy uniknou a zaujmou jinou polohu. Zahřátí kapaliny se projeví zvýšením kinetické energie molekul a tím kratším intervalem, ve kterém setrvávají kolem jedné rovnovážné polohy. Molekuly kapaliny na sebe vzájemně působí přitažlivými silami. Tyto síly mají vliv na vlastnosti kapaliny.

2.1.2 Povrchové vlastnosti kapalin

Volný povrch kapalin se chová jako pružná blána (kapky na okně, kapka u kohoutku). Je to způsobeno vzájemným silovým působením molekul. Kolem každé je silové pole. V poloměru rm je velikost tohoto silového působení ještě patrná.

Když je kompletní kulové silové pole dané molekuly uvnitř kapaliny, je výslednice přitažlivých sil, kterými ostatní molekuly v kapalině působí na danou molekulu, nulová.

Ovšem jiná situace nastane tehdy, když je vzdálenost molekuly od volného povrchu kapaliny menší než r_m . Molekuly plynu, které působí na danou molekulu již nevyvolávají takovou přitažlivou sílu jako molekuly kapaliny, proto výslednice sil působí dovnitř kapaliny. Vrstva molekul, které mají vzdálenost od volného povrchu kapalin menší než r_m , se nazývá povrchová vrstva kapaliny.

Na každou molekulu ležící v povrchové vrstvě kapaliny působí sousední molekuly výslednou přitažlivou silou, která má směr dovnitř kapaliny. Volný povrch je kolmý na směr této síly. Při posunutí molekuly z vnitřku kapaliny do povrchové vrstvy je nutno vykonat práci k překonání této síly. Molekuly povrchové vrstvy mají větší energii než-li ostatní molekuly. Kompletní povrchová vrstva povrchovou energii – jedna ze složek vnitřní energie kapaliny. Kapalina má tendenci mít co nejmenší energii, proto se snaží mít i nejmenší energii povrchovou. Z toho plyne, že má také tendenci mít při daném objemu co nejmenší povrch. Pokud bychom porovnali povrch těles o stejném objemu, zjistí bychom, že nejmenší povrch vzhledem k objemu má koule. Proto se i kapaliny snaží vytvořit kulovitý tvar. Takový tvar by měla, kdyby na ni nepůsobily žádné síly. Na zemi však působí tíha, proto kapaliny zaujímají kapkovitý tvar.

Když chceme zvětšit velikost povrchu kapaliny o ΔS , musíme dodat přírůstek povrchové energie ΔE , kterou musíme dodat molekulám, které se staly molekulami povrchové vrstvy kapaliny.

2.1.3 Povrchová síla a napětí

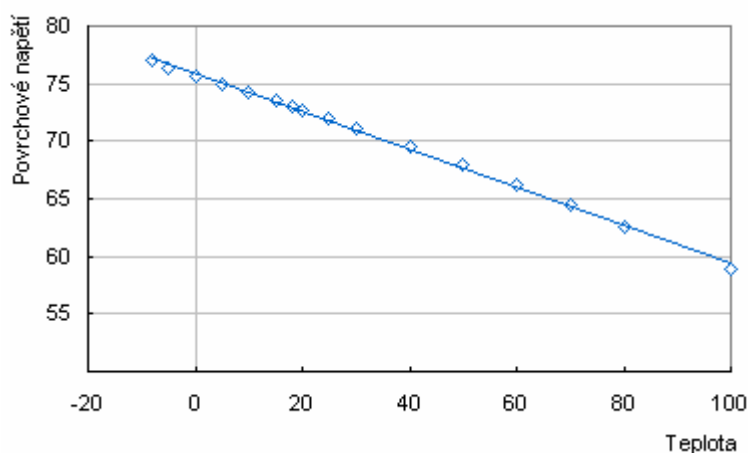
Veličina, která charakterizuje závislost povrchové energie kapaliny na jejím povrchu je povrchové napětí σ

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S}$$

$$[\sigma] = \text{J} \cdot \text{m}^{-2} = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

V následné tabulce jsou uvedeny hodnoty povrchového napětí kapalin při teplotě 20°C

Kapalina	σ [10^{-3} N/m]
benzen	28,90
etanol (líh)	22,55
glycerol	62,50
metanol	22,70
olej olivový	33,00
petrolej	27,00
rtuť	476,00
toluen	28,40
voda	72,75



Graf 1 závislost povrchového napětí vody na teplotě

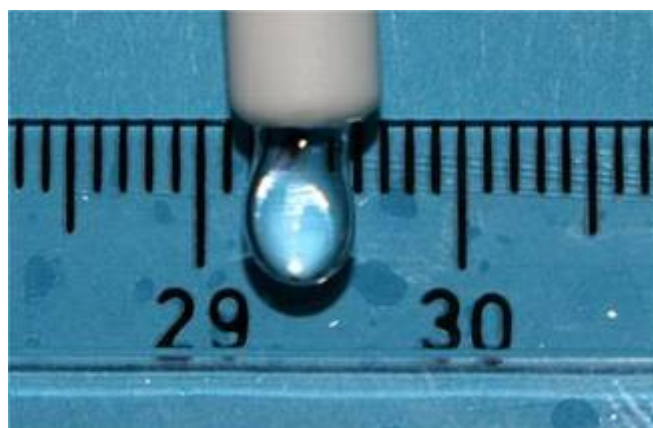
Tabulka 2 Hodnoty povrchového napětí kapalin

2.2 Praktické pozorování

2.2.1 Určení povrchového napětí kapkovou metodou

Jedním z nejčastějších způsobů využití digitálního fotoaparátu je pořizování detailních snímků objektů nepatrných rozměrů. Toho lze využít kupříkladu pro měření povrchového napětí kapalin.

Prostřednictvím pipety odkapáváme pomalu kapky vody v těsné blízkosti pravítka s milimetrovou stupnicí. Těsně před odkápnutím se snažíme kapky vyfotografovat proti pravítku z nejbližší možné vzdálenosti. Fotografii posléze zobrazíme na PC, kde můžeme poměrně přesně určit velikost kapky i průměr protaženého



Obrázek 7 „Kapková metoda“

„krčku“ kapky před odkápnutím. Z velikosti kapky a obvodu „krčku“ určíme známou kapkovou metodou povrchové napětí vody.

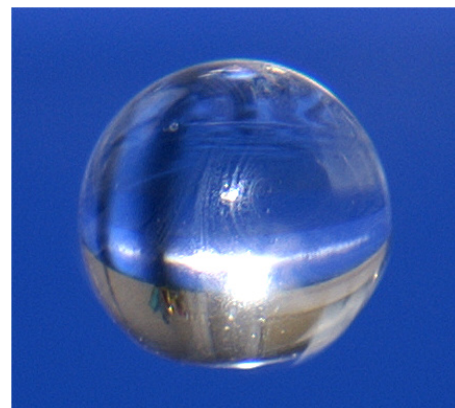
V okamžiku odkápnutí je tíha kapky rovna povrchové síle, kterou drží krček o průměru d kapku:

$$mg = \pi d \sigma$$

m je hmotnost kapky, g je velikost tíhového zrychlení, σ je povrchové napětí vody, πd je obvod krčku, tedy délka okraje povrchové vrstvy, za který "kapka tahá". Odtud snadno vyjádříme velikost povrchového napětí jako:

$$\sigma = \frac{mg}{\pi d}$$

Hmotnost kapky můžeme v případě použití digitálního fotoaparátu vypočítat ze vztahu $m = \rho V$, kde $V \cong \frac{4}{3} \pi r^3$. Do tohoto vztahu již jen dosadíme hodnoty, přičemž poloměr kapky je možné s přesností asi na 0,1 mm odečíst z fotografie na monitoru. To je možné provést dvěma způsoby, přičemž ten jednodušší spočívá v pouhém přiložení pravítka s milimetrovou stupnicí, čímž zjistíme požadovanou hodnotu pouhým odečtením ze stupnice pravítka.



Obrázek 8 Letící kapka

Tato metoda se mi zdá velmi přesná a není tak nutné se k výpočtu dostávat poněkud obtížnějším způsobem, který vychází z ohniskové vzdálenosti objektivu a velikosti snímače. V tomto případě je nutné znát pochopitelně i vzdálenost kapky od roviny objektivu, což způsobuje při měření se standardními pomůckami jistou odchylku. K účelu zjištění hmotnosti jsem konkrétně použil kapku v letu, která již má téměř dokonalý kulový tvar.

Výpočet:

Experiment byl proveden s vodou o teplotě 20°C => $\rho = 998,205 \text{ kg/m}^3$

$$\sigma = \frac{mg}{\pi d}$$

$$\sigma = \frac{V\rho g}{\pi d}$$

$$\sigma = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g}{\pi d}$$

$$\sigma = \frac{\frac{4}{3}998,205\pi \times 0,0025^3 \times 9,81}{\pi \times 0,0029}$$

$$\sigma = 70,34 \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

Z uvažovaných hodnot vychází po dosazení do výše uvedeného vztahu povrchové napětí vody přibližně $70,34 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$. Tato hodnota poměrně dobře souhlasí s tabulkovou hodnotou $72,75 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$. Vzniklá odchylka je pravděpodobně způsobena především tím, že kapka nemá dokonalý kulový tvar a nelze tedy pro výpočet jejího objemu použít vztah:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

2.2.2 Pozorování odrazu kapky od hladiny kapaliny

Teoretická příprava experimentu

Zvolená problematika, kdy chceme prostudovat a porovnat chování kapaliny po nárazu kapky na její hladinu je jistě velmi zajímavý a komplexní fyzikální jev.

Při jeho zkoumání se zaměřím především na měření a popis jevů, které s ním souvisí. Jedná se především o přeměnu potenciální energie kapky v energii kinetickou a po jejím nárazu na hladinu k jejímu rozkladu. Přičemž dojde k její částečné přeměně na vlnění a částečně na její spotřebu při zpětném odrazu. Vzhledem k rozsahu projektu jsem se ve svém pozorování soustředil především na tu část jevu, která souvisí s odrazem kapky od hladiny.

Samotný experiment jsem připravil tak, aby umožnil provést některé výpočty (hmotnost kapky, výška jejího odrazu, rychlost v době dopadu). Pro srovnání chování jevu jsem použil dvě kapaliny: vodu a rostlinný olej a jejich následné kombinace.

Než-li přistoupím k samotnému provedení experimentu, je třeba si uvědomit jakým způsobem nastavit prostředí a především parametry fotoaparátu tak, aby výsledek nepostrádal jednak estetickou a především fyzikální hodnotu. Tedy, aby bylo možné ze získaných fotografií vysledovat, respektive vypočítat nějaké hodnoty, které by dokumentovaly onen sledovaný fyzikální děj.

Přestože je digitální fotoaparát automat, který je schopen hodnoty expozice nastavit samostatně a to včetně kreativních programů, jenž jsou k dispozici pro specifické případy, je pro širší užití vhodné si osvojit nastavení manuální v režimu A,S, které umožňuje jeden z parametrů nastavit dle vlastního uvážení. S tímto faktem souvisí další možnosti, kterými je nastavení ostatních důležitých parametrů pro fotografování dané scény. Těmito parametry jsou: hodnota ISO, vyvážení bílé, intenzita blesku, způsob zaostření apod.

Nejprve je tedy nutné si uvědomit, že se jedná o fotografii v pohybu, což má zásadní vliv na nastavení fotoaparátu a také na dostatečnou světelnost, kterou je třeba nějakým způsobem zajistit. První variantou, která se nabízí, je použití externího blesku, který by zajistil dostatečné osvětlení a možnost synchronizace s expozičním časem, pohybujícím se v řádu tisícín sekundy. Vzhledem k faktu, že externí blesk je záležitostí, kterou lze považovat za méně postradatelnou, volil jsem řešení blesku interního. Zde však nastává menší potíže, jelikož interní blesk je možno synchronizovat s expozičními časy s hodnotou nejméně 1/125s. I tento čas, jak se posléze potvrdilo, však umožní zachytit tento moment s dostatečnou hloubkou ostrosti a tedy i s velkou vypovídající hodnotou sledovaného jevu.

Nastavení fotoaparátu se však, jak jsem již uvedl, netýká jen expozičního času. Je třeba nastavit také clonové číslo, hodnotu ISO, intenzitu blesku, ohniskovou vzdálenost objektivu či správný mód, který by mohl kladně působit na výslednou kvalitu fotografie. Při nastavování výše uvedených hodnot je pochopitelně nutné znát problematiku digitální

fotografie. Bez její znalosti se fotograf jen velmi obtížně dostane k uspokojivému výsledku.

Z textu, který jsem uvedl v první kapitole je dobře patrné, že se zvyšující se hodnotou citlivosti ISO roste také obrazový šum, který působí negativně na výslednou kvalitu fotografie. Vzhledem k faktu, že vyšší hodnoty ISO se používají výhradně při špatných světelných podmínkách, není třeba v mém případě tuto hodnotu zvyšovat. Proto jsem použil nastavení citlivosti ISO na hodnotu 100, kdy není šum na výsledné fotografii téměř znatelný.

Zbývající a neméně podstatná hodnota, kterou je třeba nastavit je clona. Ta řídí množství světla, které projde objektivem a je přímo spjata s hloubkou ostrosti. Platí zde, že čím větší (číselně) bude clonové číslo, tím větší bude hloubka ostrosti. Proto jsem hodnotu clonového čísla volil na $f/16$, což je hlavní předpoklad pro dostatečnou plasticitu pořízeného snímku.

Dále bych také rád uvedl, že je vhodné využít té jednoduchosti digitálního fotoaparátu spojené se správou fotografií. Prostřednictvím LCD displeje lze bezprostředně zhodnotit kvalitu právě pořízeného snímku a v případě nespokojenosti s jeho kvalitou použít onu výsostnou vlastnost digitální fotografie v podobě možnosti *delete*. Právě tento fakt vedl v mém případě k vzestupné tendenci kvality získaných snímků. Efektivita spojená s rychlostí ponaučení se z chyb z předešlých snímků je nespornou výhodou digitální fotografie.

Základní fyzikální údaje:

hustota

voda : $998,205 \text{ kg/m}^3$

rostlinný olej : 910 kg/m^3

Prostředí experimentu:

- Stojan pro fyzikální účely
- Pipeta (0,38m nad hladinou)
- Pravítko
- Nádobka na kapalinu
- Fotoaparát (Konica Minolta Dynax 5D)
- Předsádkové čočky
- Stativ



Obrázek 8 prostředí experimentu

Základní údaje o provedení fotografování:*Fotoaparát a jeho nastavení*

- objektiv: AF DT zoom 18 – 70 mm / 3.5 – 5.6 (D)
- použití interního blesku se sníženou hodnotou intenzity záblesku (dle osvětlení)
- použit stativ
- ohnisková vzdálenost: 90mm / 105mm
- čas: 1/125s / 1/150s
- clona: f/16, f/11, f/18
- iso: 100
- mód: natural+
- nastavení bílé: blesk, denní světlo (dle druhu osvětlení)

Popis provedení experimentu a zjištěné hodnoty

Experiment a jeho dokumentace byly provedeny ve dvou fázích.

1. fáze – vizuální pozorování

S využitím stojanu pro fyzikální účely byla sestavena aparatura, jejímž účelem bylo upevnění pipety nad ustálenou hladinou kapaliny a zajištění polohy pravítka tak, aby bylo možné zaznamenat krajní polohu kapky, která se odrazila nad hladinu.

Zjištěné skutečnosti:

Nejprve jsem pozoroval chování kapaliny v okamžiku dopadu na ustálenou hladinu. Byl zaznamenán pohled zdola, který byl uskutečněn přes průhlednou stěnu nádoby. Pozorováním bylo zjištěno, že povrchová vrstva kapaliny se vzhledem k povrchovému napětí chová jako pružná blána. Hladina kapaliny se po nárazu prohnula a poté na ní došlo ke vzniku vlnění, které se pohybovalo v soustředných kruhových vlnách se středem v místě dopadu. Současně s tímto jevem se část kapky odrazila nad úroveň hladiny v podobě sloupce a oddělené kapky kulového tvaru. Tento jev jsem pozoroval v případě vody. V případě použití stolního oleje jsem však dospěl k poněkud jiným hodnotám. Kapky oleje, které dopadaly na vodní hladinu se odrazily do viditelně menší výšky, než-li v případě vody. Tento fakt, že se kapky oleje odrazí do menší výšky umocnil další pokus, ve kterém jsem vodní hladinu nahradil olejem. Zde jsem nezachytil ani nepatrný náznak odrazu.

Číslo kapky	Přechod kapalin			
	Voda-voda	Voda-olej	Olej-voda	Olej-olej
1.	25	35	18	-
2.	26	34	15	-
3.	24	34	13	-
4.	27	36	16	-
5.	26	37	17	-
6.	25	31	13	-
7.	24	30	15	-
8.	23	34	12	-
9.	22	35	14	-
10.	25	32	17	-
Průměrná výška odrazu	24,7	33,8	15	-

Tabulka 3 vyhodnocení výšky odrazu pro jednotlivé přechody, údaje jsou uvedeny v mm

2. fáze – zachycení dopadu kapky na vodní hladinu

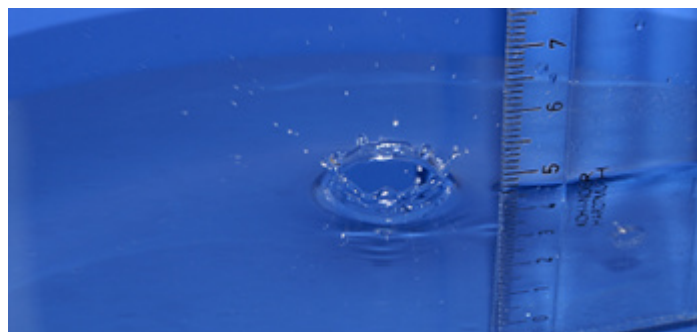
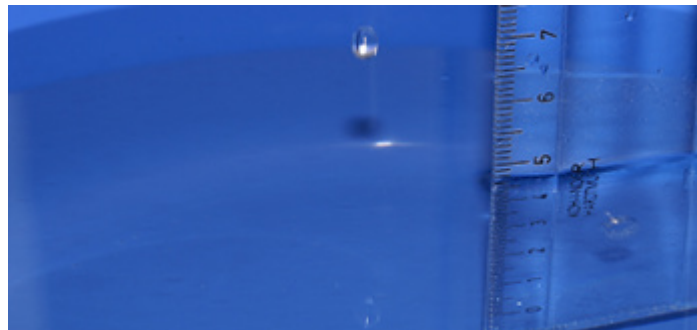
Experiment byl proveden jako v případě visuálního pozorování, s tím rozdílem, že zde bylo použito digitálního fotoaparátu, který byl použit k zachycení jednotlivých fází jevu. Vzhledem k rychlosti a nepatrným rozměrům kapky nebyl tento experiment tak jednoduchý, jak by se mohlo na první pohled zdát. Přesto mi však dosažené výsledky umožnily zaznamenat tři sekvence, které děj velmi dobře dokumentují. Samotné digitální fotografie jsou pořízeny s rozlišením EXTRA JPG a umožňují další mnohonásobné zvětšení, kterým je možné velmi přesně zjistit objem kapky.

Shrnutí výsledků pozorování:

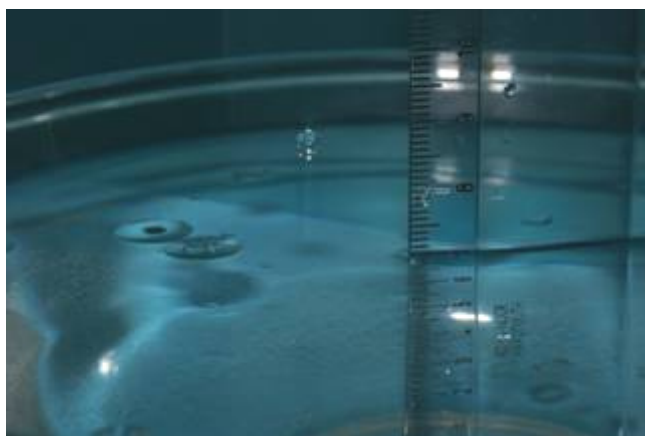
- Digitální fotografie umožňuje velmi přesně změřit velikost pozorovaných objektů, na jejímž základě se dají vypočítat další hodnoty.
- Kapka letící k hladině má téměř dokonalý kulový tvar.
- Efekt dopadu kapky na hladinu kapaliny můžeme charakterizovat tak, že po dopadu dojde díky povrchovému napětí k jejímu odrazu od hladiny. Současně s tím dojde k tomu, že v místě dopadu kapky se vymrští vodní sloupec, jako reakce na místní stlačení kapaliny vyvolané dopadem kapky.
- Nejvýše se odrazí kapka vody od hladiny oleje. Přitom však dojde k jejímu roztržení na několik menších kapek nepravidelného tvaru. Důvod tohoto chování lze vysvětlit pouze tak, že příčinou je nižší povrchové napětí hladiny oleje.
- V případě dopadu kapky vody na vodní hladinu je patrné, že kapka se odrazí celá, bez ztráty původní velikosti.
- Na hladině je patrný vznik vlnění v podobě soustředných kružnic se středem v místě dopadu.

Zkoumání výsledků digitálních fotografií naznačuje, že fotografie odhaluje mnoho skrytých detailů, které lidské oko není schopno zachytit a dostatečně analyzovat v reálném čase. Z fotografií se dají dále odečíst poměrně přesné hodnoty, které jsou důležité pro výpočet dalších fyzikálních hodnot.

Sekvence zobrazující dopad kapky vody na vodní hladinu:



Sekvence zobrazující dopad olejové kapky na hladinu vody:



Sekvence zobrazující dopad kapky vody na hladinu oleje:



Na následných fotografiích v přílohouvé části jsou dokumentovány další možnosti pozorování tohoto jevu. Fotografie jsou pořízeny s využitím předsádkových čoček a dosažené zvětšení je 10násobné. Na fotografiích mne osobně imponuje i skrytá krása tohoto tak nenápadného jevu.

2.2.3 Zachycení dalších jevů z oblasti povrchového napětí

Projevy povrchového napětí jsou častým jevem, který je takřka všude kolem nás. Ve svém výběru jsem dal přednost těm jevům, které jsou všeobecně známé z vizuálního hlediska, ale méně pochopené z hlediska fyzikální podstaty. Fotografie jsou přiloženy v přílohouvé části.

- Dešťová kapka na listu rostliny
- Vodoměrka na hladině vody / mince na hladině
- proud tekoucí vody

2.3 Rekapitulace

Mnou provedený experiment prokázal, že využití kvalitního digitálního fotoaparátu významně napomáhá k získání informací, které by nám byly jinak nedostupné. Při tom je třeba podotknout, že cena takto pořízených informací je zanedbatelná a použití digitálních přístrojů je umožněno dnes již široké veřejnosti.

3. Využití digitálního fotoaparátu ke sledování fyzikálních jevů z oblasti optiky

Ke sledování fyzikálních jevů z oblasti optiky mne vedl nejprve fakt, že se často jedná o jevy, se kterými se prostřednictvím zrakového vjemu setkáváme stále, ale mnohdy je nedokážeme z fyzikálního hlediska adekvátně objasnit. Ať se již jedná o optické jevy v atmosféře či projevy interference apod. Často se jedná o jevy, které vytváří svoji barevností zajímavý estetický vjem. Tento prvotní impuls, který byl spojen s jevy, které jsou našemu zraku přítomny takřka na každém kroku, byl však posléze modifikován na jevy, které jsou našemu oku ve standardních podmínkách skryty či jsou viditelné jen v nepatrné intenzitě, čímž se stávají tajuplnějšími a řekl bych, že z daného hlediska i zajímavějšími. Těmito postupnými úvahami nad náplní této kapitoly jsem se tedy dostal k jevům z oblasti polarizace, která patří stejně jako interference a ohyb světla do té části optiky, kde se významně projevuje jedna stránka světla a to vlnová.

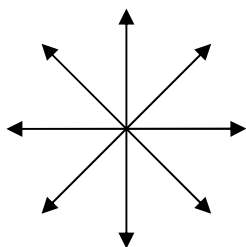
Dané téma jsem se pokusil uchopit komplexněji s intenzivnějším ohledem na teoretickou část, ve které jsou fyzikální jevy podloženy mnohdy i matematicky. Struktura kapitoly je tedy nejprve podložena nezbytnou teorií, jež posléze navazuje na samotnou experimentální část. Ta se týká především interference polarizovaného světla, kterou je možné oproti obyčejnému světlu pozorovat, co se týká tloušťky daného vzorku i v mnohem vyšších řádech, než-li u světla „obyčejného“. Další z experimentů je spojen s optickou aktivitou ledových krystalů, jejichž správné uzpůsobení v polarizovaném světle dá jako výsledek jev, jehož doprovodným a v tomto případě však naprosto stěžejním prvkem je opět vznik škály interferenčních barev, které přinášejí pro hledáček objektivu a posléze i lidské oko nesporný estetický vjem.

Poslední část kapitoly pojednává o tvorbě kreativních fotografií prostřednictvím polarizačního filtru. Ten má tu schopnost, že dokáže částečně či dokonale pohltit polarizované světlo, což je pro ukončení této kapitoly tak trochu symbolické. Zmíněná část je doplněna o fotografie, na kterých jsou objasněny některé poznatky z teoretické části a především samotný účinek filtru.

3.1 Polarizace

3.1.1 Nastínění pojmu polarizovaného světla

Světlo je příčné elektromagnetické vlnění, jenž je charakterizováno dvěma navzájem kolnými vektory, intenzitou elektrického a magnetického pole. Vzhledem k faktu, že tyto vektory jsou stále vzájemně kolné, lze dále uvažovat jen jednu z intenzit. Dále je třeba si uvědomit, že přirozené světlo kmitá v různých směrech kolných na směr šíření, přičemž jeho kmitová rovina se neustále chaoticky mění, což dokladuje Obr.9a). To je dáno mechanismem vzniku světla v elektronových obalech. Existují však jisté prostředky, jejichž prostřednictvím, lze toto nepolarizované světlo převést na světlo tzv. lineárně polarizované, které je charakteristické tím, že vektor intenzity elektrického pole kmitá jen v jedné rovině (viz. Obr. 9b).



a) nepolarizované světlo



b) světlo lineárně polarizované

Obr. 9 Pohled ve směru šíření světla

3.1.2 Možnosti získání polarizovaného světla

Polarizace světla selektivní absorpcí (dichroizmus)

Některé materiály, které se skládají z rovnoběžných tenkých dlouhých krystalů či molekul, propouštějí jen světlo polarizované v jistém směru. Vlny, jejichž elektrická složka kmitá ve směru rovnoběžném s krystaly či molekulami, se transformují na elektrický proud a posléze, prostřednictvím elektrického odporu, na teplo. Jelikož mezi krystaly či molekulami jsou nevodivé mezery, ve směru na ně kolmém proud nevzniká a vlny v tomto směru kmitající materiálem projdou. Propuštěné světlo je lineárně polarizované ve směru kolmém na směr krystalů či molekul. Tyto polarizátory pak nacházejí uplatnění jako polarizační fólie a filtry.

Polarizace světla odrazem

Pokud necháme dopadat světelný paprsek na čistou skleněnou destičku (polarizátor) pod jistým úhlem, přičemž k ní umístíme druhou destičku (analyzátor) tak, že roviny dopadu na obou destičkách budou vzájemně rovnoběžné, odrazí se světlo od druhé destičky v totožné intenzitě. Pootočíme-li však s druhou destičkou tak, že dopadové roviny budou vzájemně kolmé, světlo se od druhé destičky odrážet nebude. Pokud by bylo světlo odražené na první destičce přirozené, pak by otáčením druhé destičky nedocházelo ke ztrátě intenzity. Z toho vyplývá, že světlo je polarizováno. Dokonalé polarizace lze dosáhnout právě prostřednictvím daného úhlu dopadu, jenž je nazýván jako Brewsterův úhel, pro který platí vztah: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{n}{n'}$, kde n je index lomu látky, kterou se šíří světelný paprsek a n' je index lomu prostředí, na kterém dochází k odrazu.

V původním paprsku tedy kmital vektor elektrického pole ve všech možných směrech kolmých ke směru paprsku, přičemž při odrazu pod Brewsterovým úhlem pro daný typ skla došlo k tomu, že se odrazily jen kmity uspořádané v jedné rovině. Dopadá-li světlo na rozhraní pod Brewsterovým úhlem, pak platí, že paprsky odražené a lomené jsou

vzájemně kolmé. Při odlišném úhlu dopadu k jevu také dojde, ale nebude tak intenzivní, jelikož světlo bude jen částečně polarizováno.

To, jaká intenzita světla se odrazí je tedy dáno úhlem obou destiček, přičemž jevy v obou krajních polohách již byly nastíněny. Pro případ obecného úhlu obou destiček je tu Malusův zákon, který matematicky zásadně vypadá následovně:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

Kde I je intenzita prošlého světla, I_0 je intenzita světla před odrazem a φ je úhel, který svírají dané roviny

Následná tabulka uvádí indexy lomu a výsledné Brewsterovy úhly pro dané látky v prostředí vzduchu ($n=1$)

Jelikož index lomu závisí na vlnové délce, není možné u bílého světla dosáhnout dokonalé polarizace.

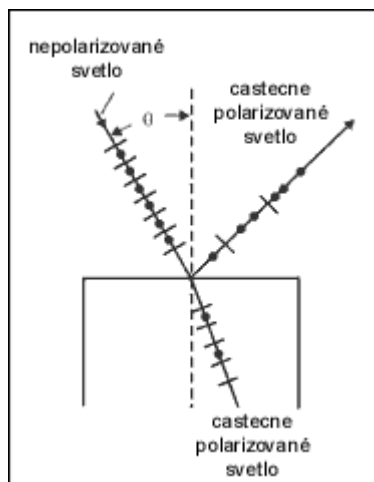
Látka	Index lomu n	α_B
Led	1,31	52,64°
Voda	1,33	53,06°
Sklo	1,5 – 1,9	56,31° - 62,24°
Diamant	2,42	67,55°

Tabulka 4 Indexy lomu a Brewsterovy úhly pro dané látky

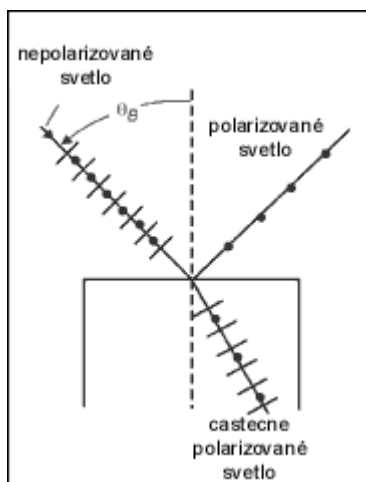
Lineární (částečná) polarizace světla lomem

U polarizace světla lomem lze dosáhnout jen částečné polarizace. Její intenzita je tím vyšší, k čím více lomům dojde. Experimentálně ji tedy můžeme docílit tím, že necháme světlo projít soustavou rozhraní, kupříkladu soustavou skleněných destiček. Z následného schématu je patrné, že kmitová rovina světla polarizovaného lomem je totožná s rovinou lomu světla.

Polarizace při odrazu a lomu je graficky nastíněna na následujících dvou schématech.



Obr. 10 a) Obecný úhel



Obr. 10 b) Brewsterův úhel

Polarizace světla dvojlomem

U některých anizotropních látek se dopadající světlo rozštěpí na dva paprsky, které jsou lineárně polarizované v navzájem kolmých rovinách. Jedná se o paprsek řádný, který se řídí Snellovým zákonem lomu a paprsek mimořádný. Oba paprsky se šíří vzájemně různou rychlostí a různým směrem, v případě, že světlo nedopadá ve směru optické osy. V této konkrétní situaci bylo experimentálně zjištěno, že je index lomu pro oba paprsky totožný, tedy při postupu světla v tomto směru je rychlost obou paprsků stejná a tudíž tak k dvojlomu nedochází.

Pokud tedy necháme dopadat kolmo na povrch nějaké dvojlomné látky paprsek přirozeného světla, pak v závislosti na vzájemném natočení této dopadové roviny látky a její optické osy, mohou kromě toho, že budou vzájemně kolmé a k dvojlomu nedojde, nastat následné situace:

~ Povrchová rovina látky bude s optickou osou orientována shodně

V tomto případě dopadá paprsek kolmo na optickou osu, štěpí se na dva paprsky, které jsou však pouze fázově posunuty a jejich směr je stejný.

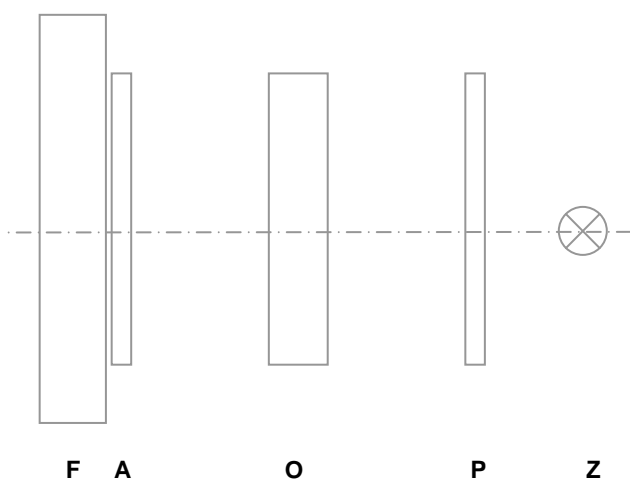
~ Povrchová rovina látky bude s optickou osou orientována odlišně (kromě 90°)

Zde je situace odlišná v tom, že paprsek se opět rozštěpí na dva, které však již mají kromě rychlosti odlišný i směr šíření.

3.1.3 Experimentální část

V této části kapitoly jsou popsány experimenty, u nichž je získání polarizovaného světla zajištěno metodou selektivní absorpce, tedy prostřednictvím polarizačního filtru. Tato metoda je velmi jednoduchá a uskutečníme ji tak, že přirozenému světlu postavíme do cesty polarizační filtr, z něhož bude posléze vystupovat světlo lineárně polarizované. Bylo by pochopitelně možné využít některou jinou z dříve popsaných metod pro získání lineárně polarizovaného světla, ale aparatura by se tím zbytečně stala komplikovanější na sestavení z hlediska přesnosti. Jelikož bude experimentální část soustředěna na interferenci polarizovaného světla, bude zapotřebí druhý filtr, který bude na hledáčku fotoaparátu plnit funkci analyzátoru.

Prostředí experimentů je nastíněno na následujícím schématu, kde F je fotoaparát, A analyzátor, O – objekt pozorování, P polarizátor a Z zdroj světla.



Obrázek 11 Uspořádání experimentu

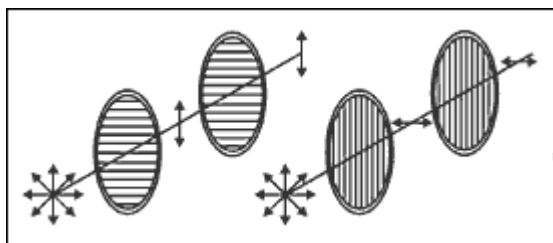
3.1.3.1 Vlastnosti polarizovaného světla

Křížová polarizace

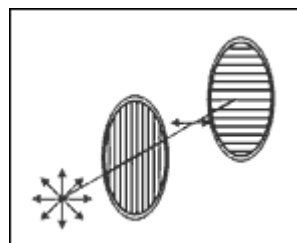
Při průchodu přirozeného světla polarizačním filtrem dochází u vystupujícího světla k dvojnásobnému poklesu jeho intenzity. Pokud dáme za sebe dva shodně orientované filtry, intenzita světla bude při zanedbání ztrát v samotném materiálu filtru po výstupu totožná, jako při použití jednoho filtru. To je dáno tím, že ke ztrátě intenzity po průchodu filtrem dochází jen tehdy, je-li dopadající světlo nepolarizované, což v této situaci neplatí. Pro tento případ je tu Malusův zákon, který byl zmíněn již v předchozí části a matematicky zapsán vypadá následovně:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

Kde I je intenzita prošlého světla, I_0 je intenzita světla před průchodem a φ je úhel, který svírá směr vektoru E dopadajícího světla s rovinou polarizace filtru. Z toho tedy vyplývá, že při postavení shodně orientovaných filtrů, je úhel φ roven nule, z čehož vychází, že $I = I_0$. Intenzita světla tedy zůstává neměnná. Když však jeden z filtrů otočíme o 90° , dojde podle předchozího matematického aparátu k tomu, že $I = 0$, z čehož vyplývá, že prošlá intenzita světla bude rovněž nulová a doprovodným jevem tedy bude pro naše oko zatemnění filtru. Pro tento případ, kdy jsou směry polarizace obou filtrů navzájem kolmé, se užívá označení tzv. křížové polarizace.



a) filtry orientovány souhlasně, světlo prochází



b) filtry orientovány kolmo, světlo neprochází

Obr.12 Průchod světla dvěma filtry



Obr.13a) Souhlasně orientované filtry



Obr.13b) Kolmo orientované filtry

Interference polarizovaného světla

Bylo zjištěno, že polarizované světlo interferuje pouze tehdy, když mají oba interferující paprsky stejný směr vektoru E . Z toho důvodu je nutné používat dva filtry, přičemž jeden plní funkci polarizátoru a druhý analyzátoru. Analyzátor zajišťuje, že všechny paprsky, které jím projdou budou mít stejný směr vektoru E .

V případě, že do oblasti mezi dva polarizační filtry vložíme dvojlomný preparát, dojde k situaci, kterou jsem nastínil již v předešlé části textu. Tedy k tomu, že se polarizovaný paprsek, který vychází z polarizátoru, při dopadu na dvojlomný preparát rozštěpí na dva – paprsek řádný a paprsek mimořádný. Tyto paprsky jsou polarizovány v navzájem kolmých rovinách, což znamená, že se vektor E rozštěpí na vektory E_e a E_o , které se následně promítnou zpět do směru analyzátoru v podobě vektorů E_{eA} a E_{oA} . Ty posléze interferují (obr. 5a), což způsobí, že na stínítku, respektive v hledáčku objektivu registrujeme na dvojlomné látce vznik barevných ploch. Experimentálně poté můžeme zjistit, že tyto barvy jsou odlišné v závislosti na vzájemné orientaci obou filtrů.

Matematicky lze vznik barev na dvojlomné látce popsat následovně

Pro intenzitu vlny, která vznikla interferencí z vln o intenzitách I_1 a I_2 , platí:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi,$$

kde φ značí fázový rozdíl interferujících vln, který je definován následovně:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x,$$

kde Δx je dráhový rozdíl, který je dán rozdílem indexu lomu pro paprsek řádný a mimořádný vynásobený tloušťkou dvojlomné látky:

$$\Delta x = \Delta n d,$$

Z uvedeného matematického vztahu pro intenzitu vlny, vzniklé interferencí z vln o intenzitách I_1 a I_2 je patrné, že při konstantních hodnotách I_1 a I_2 závisí velikost výsledné intenzity na hodnotě $\cos\varphi$. Tento faktor může nabývat hodnot z intervalu $\langle -1; 1 \rangle$. Maximální hodnoty intenzity se dosáhne tehdy, je-li $\cos\varphi = 1$. Z vlastností funkce cosinus je dále patrné, že φ je nutné zapsat ve tvaru $\varphi = z2\pi$, kde z je libovolné celé číslo.

Dosazením do vztahu $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$ pak dostaneme:

$$2\pi z = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

Dosazením za Δx dostane po zkrácení vztah:

$$z = \frac{\Delta n d}{\lambda_{\max}}$$

$$\Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{\Delta n d}{z}$$

Z předešlého vztahu vyplývá, že vlnová délka, která dosáhne největšího zesílení, závisí na rozdílu indexu lomu pro řádný a mimořádný paprsek, ale také na tloušťce dvojlomné látky. Pokud je tedy její tloušťka lokálně odlišná, pak budou tyto místa odlišné i barevně. Vlnové délky, pro které je faktor $\cos\varphi$ nižší než-li 1, se zesilují méně, přičemž

při hodnotě, která spadá do intervalu $(-1;0)$ již nastává jejich zeslabování. Pro λ_{\min} můžeme naprosto analogickým postupem dostat matematické vyjádření:

$$\lambda_{\min} = \frac{\Delta nd}{z - \frac{1}{2}}$$

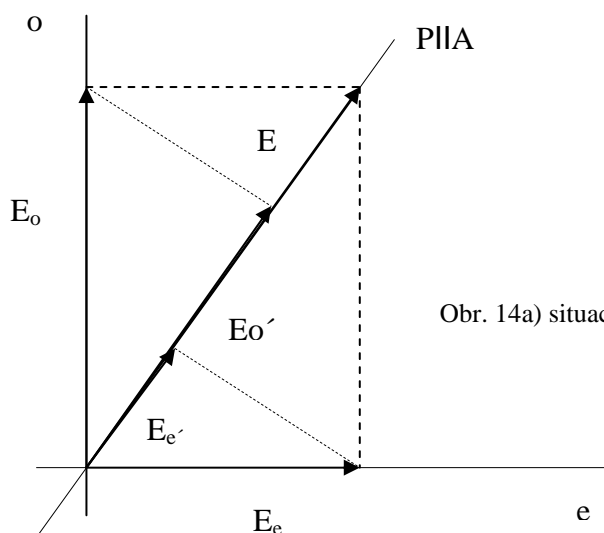
Zde je nutné si uvědomit, že pokud $\cos\varphi = -1$, pak je φ zapsáno ve tvaru: $\varphi = (2z - 1)\pi$

Z předchozího textu tedy vyplývá, že výsledná barva není dána jedinou vlnovou délkou, ale složením všech vlnových délek, které padnou do viditelné oblasti.

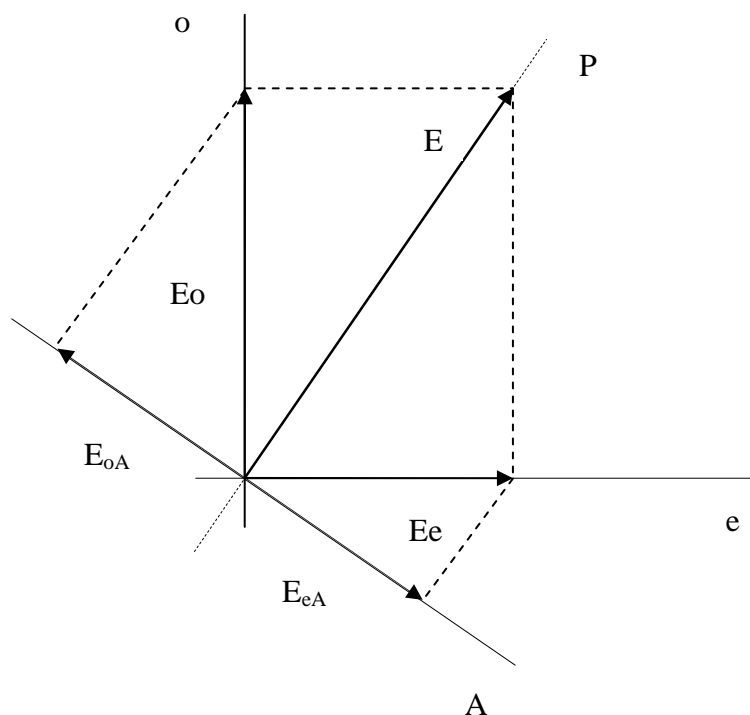
Pokud budeme uvažovat situaci, kdy jsou filtry zkřížené, dostaneme pro totožnou dvojlomnou látku jiné barevné podání, než-li tomu bylo v předchozím případě. Tyto barvy jsou doplňkové a jejich opodstatnění je nastíněno na následujícím schématu 5b). Stačí toto schéma porovnat s předchozím a ihned je patrný rozdíl v tom, že interferující vektory v tomto případě nesměřují stejným směrem, nýbrž svírají úhel 180° , což je také dodatečný fázový rozdíl, který je nutné vkomponovat do rovnice, jenž bude vypadat následovně:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{(I_1 I_2)} \cos(\varphi + \pi),$$

Vzhledem k tomu, že pro funkci cosinus platí, že $\cos(\varphi + \pi) = -\cos\varphi$, vyplývá z toho, že pro vlnovou délku, která se v případě shodné orientace filtrů nejvíce zesílila je nyní nejvíce zeslabena a naopak. To je tedy opodstatnění oné spatřené doplňkové barvy.



Obr. 14a) situace pro shodně orientované filtry



Obr. 14b) situace pro opačně orientované filtry

3.1.3.2 Experiment s lepící páskou

Dobře dostupným materiálem, který vykazuje dvojlom je průhledná lepící páska, popřípadě polyethylenová fólie. Osobně jsem dal pro následný experiment přednost prvně jmenovanému materiálu, jelikož optická osa je u něj orientována ve směru pásky, což je naprosto dokonalý případ, protože pokud zajistíme, aby paprsky dopadaly na pásku kolmo, budou taktéž kolmé na optickou osu pásky.

Postup experimentu

Prostředí experimentu jsem přizpůsobil tak, aby bylo možné umístit přes sebe ve dvou vzájemně kolmých směrech několik vrstev pásky a pozorovat tak postupnou proměnu barevného podání v závislosti na lokální tloušťce vrstvy.

Nejprve jsem tedy umístil do soustavy jednu vrstvu pásky, nastavil analyzátor na objektivu fotoaparátu do takové polohy, kde jsem považoval ztrátu intenzity jako minimální a exponoval. Naprosto obdobným způsobem jsem postupoval i poté, jen jsem

analyzátor pootočil o 90° , abych mohl zaznamenat barvy ve zkřížené poloze filtrů. Zde jsem se pokusil postupovat velmi přesně a neorientovat se jen podle zdánlivé nejnižší intenzity, která byla dána zatměním pole, ale také podle úhlu pootočení, prostřednictvím vyznačených bodů na objímce filtru. V hledáčku objektivu tedy registrujeme, že páska získala v obou případech natočení filtru odlišné barevné podání, která jsou, jak již bylo popsáno v dřívější části textu, barvami doplňkovými.

Následně jsem posupně přidával další vrstvy pásky v souhlasném, tak i kolmém směru na původní vrstvu a to vždy tak, aby došlo k částečnému překryvu. Výsledné páry snímků jsou vyobrazeny v následné části.

U druhého páru snímků je přidána další vrstva pásky, která je orientována shodně s první vrstvou a částečně ji překrývá. U krajních polí je situace podle předpokladu neměnná, ale prostřední pole je teď, co se týká tloušťky vrstvy, dvojnásobné, čímž vzniká dvojnásobný dráhový rozdíl a tudíž i odlišná barva. Pokud bychom takto umístily další vrstvy pásky tak, aby docházelo k dalším překryvům, bude se pochopitelně barevné podání stále měnit. Odlišná situace však nastane v případě, kdy umístíme další vrstvu pásky orientovanou kolmo na předešlou, jak nastiňuje třetí pár snímků. V tomto případě totiž dojde v krajních polích, které jsou tvořeny jen jednou vrstvou pásky, k úplnému vymizení barev. Opodstatnění tohoto jevu spočívá v tom, že optické osy obou pásek jsou nyní orientována kolmo, tudíž z toho vyplývá, že paprsek, který byl v první vrstvě mimořádný je ve druhé vrstvě paprskem řádným a naopak. Jinými slovy, ve druhé vrstvě pásky se vytvoří u obou paprsků dráhový rozdíl, který je úplně stejný jako v případě první vrstvy, ale s jiným znaménkem, což způsobí ono vymizení barvy. Další pár snímků již jen rekapituluje předešlé jevy.

V této části textu považuji za nutné a naprosto nezbytné zmínit další okolnost, která při experimentu s dvojlomnou látkou v podobě pásky podstatně ovlivňuje vznik barev. Vzhledem k tomu, že jsem se o ní nejprve nedočel a teprve později, kdy jsem při exponování experimentu vysledoval jisté modifikace podání barev, jsem v literatuře našel odůvodnění.

Jedná se o to, že kromě závislosti vzájemného natočení obou filtrů vůči sobě je barevné podání závislé i na natočení obou filtrů vůči optické ose pásky. Jinými slovy to znamená, že když budou oba filtry orientovány souhlasně či ve zkřížené poloze a my s nimi v tomto postavení budeme současně otáčet stejným směrem, pak se budou barvy

postupně měnit. Uvažujme tedy situaci, kdy jsou filtry souhlasně orientovány. Pokud je pole světlé a barvy nejjasnější, pak bude postupným otáčením obou filtrů docházet k jejich postupnému blednutí, které se po 45° změní opět v jejich postupnou saturaci. Tento cyklus proběhne tedy čtyřikrát během otočení o 360°.

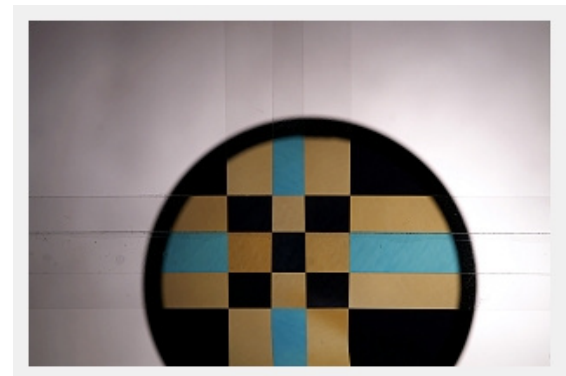
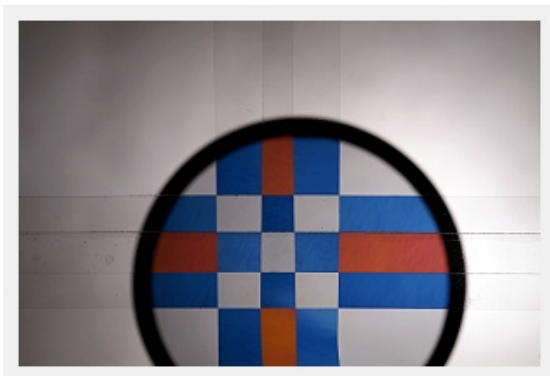
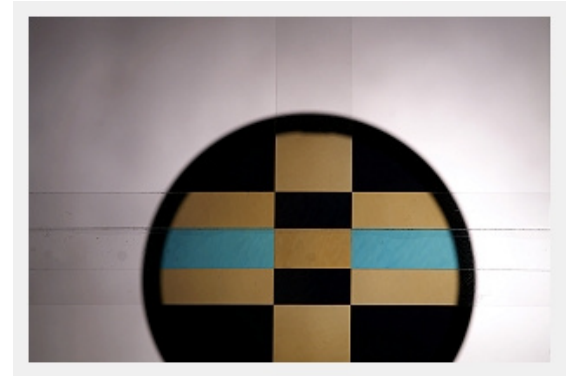
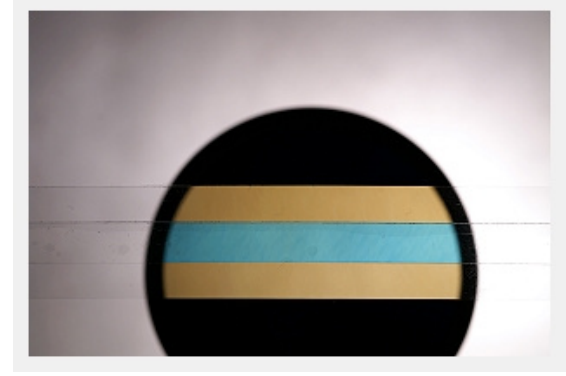
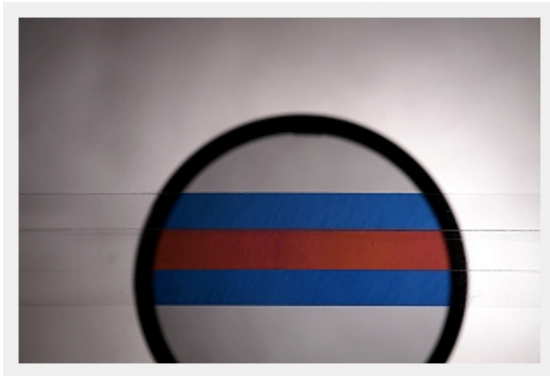
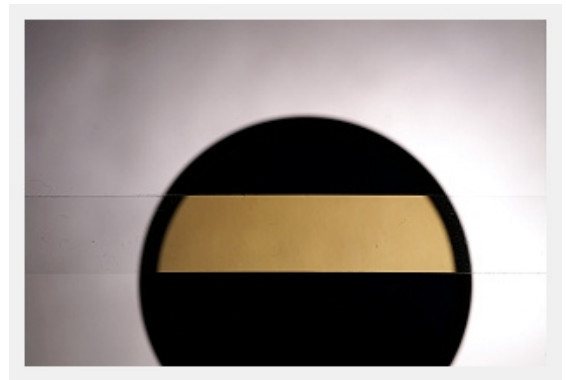
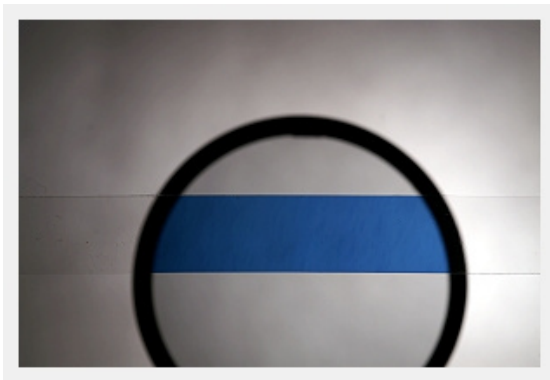
Pro doložení tohoto jevu je třeba využít definici viditelnosti, jež matematicky vyjádřena vypadá následovně:

$$\mu = \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{(I_{\max} + I_{\min})}$$

kde I_{\max} a I_{\min} udávají minimální a maximální intenzitu, kterou je možné zaznamenat na obrazci na stínítku. Pro $\mu = 1$ je viditelnost největší, přičemž pro $\mu = 0$ je naopak nulová.

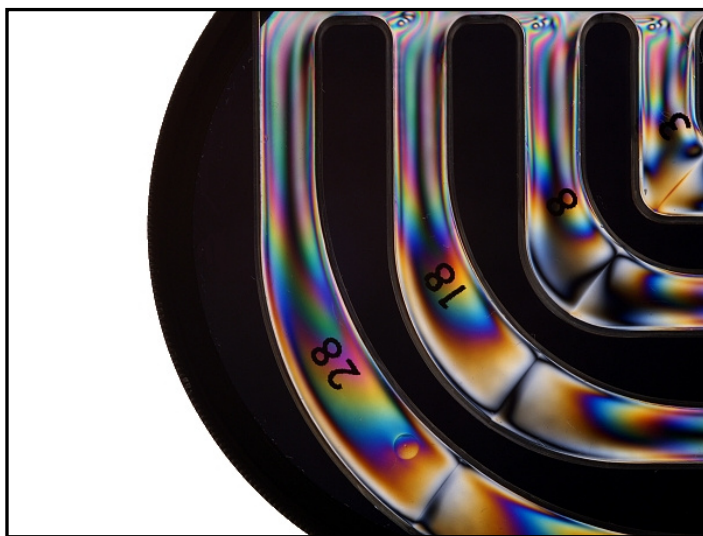
Když tedy aplikujeme toto matematické vyjádření pro danou situaci, kdy interferují paprsek vzniklý z řádného paprsku s intenzitou I_o a paprsek vzniklý z mimořádného paprsku s intenzitou I_e , pak zjistíme, že pokud budeme uvažovat intenzitu obou paprsků stejnou, bude výsledná viditelnost rovna jedné a tedy maximální.

Z předešlých matematicky podložených úvah tedy vyplývá, že k nejpodstatnější viditelnosti resp. saturaci barev dojde, když budou mít oba paprsky stejnou intenzitu. Zde je užitečné podívat se na schéma 14a), ze kterého je možné vysledovat, že pokud bude směr polarizace filtrů s optickou osou pásky svírat úhel 45° promítnou se oba vektory do směru analyzátoru stejně velké a intenzita interferujících paprsků bude tedy stejná. Ke stejnému jevu dojde pochopitelně i v případě úhlů 135°, 225° a 315°. Analogicky pak dojdeme k tomu, že v úhlech 0°, 90°, 180° a 270° dojde k úplné desaturaci barev pásky.



3.1.3.3 Umělý dvojlom

Za jistých okolností je možné uskutečnit, aby se z látek izotropních staly látky anizotropní a tím vykazovaly dvojlom. Toho lze dosáhnout kupříkladu mechanickým napětím. Některé amorfnní látky se mohou stát dvojlomnými, vznikne-li v nich vnitřní napětí, které je dáno tuhnutím, chladnutím či vnějším



namáháním. Takto můžeme klasifikovat z pohledu technologie výroby plastové předměty. Pokud tedy vložíme předmět z plastu do oblasti mezi dva polarizační filtry, lze pozorovat, že v místě plochy plastu se vytvoří barevné obrazce, které jsou v jistých místech velmi intenzivní. Tato intenzita, která je dána sytostí barev a hustotou, představuje místa, ve kterých byl předmět vystaven podstatnému mechanickému namáhání (v místě vlisů apod.).

K demonstraci výše uvedeného jevu jsem použil plastové pravítko, které jsem umístil před polarizační filtr, jenž byl osvětlován intenzivním zdrojem světla. Takto vytvořené prostředí experimentu jsem posléze exponoval s tím, že druhý polarizační filtr jsem upevnil na objektiv fotoaparátu a nastavil do polohy, aby došlo k tzv. křížové polarizaci (obr.3), která zapříčiní ztmavnutí okolní plochy a dá tak vyniknout barevnému podání. Většinu snímků jsem poté exponoval s prioritou clony s hodnotou $f/11$, jež jim dodala potřebnou hloubku ostrosti. Použití stativu bylo pochopitelné, jelikož při dané cloně byl výsledný expoziční čas příliš dlouhý.



Pro porovnání barevného podání při jednotlivých polohách filtrů jsem exponoval taktéž následné dva snímky, jež zachycují prostředí, kdy jsou oba filtry orientovány nejprve kolmo a poté shodně.

3.1.3.4 Ledové krystaly

V průběhu tvorby tohoto projektu a tedy i v době, kdy jsem se mj. soustředil kromě kreativního exponování daných snímků také na sběr potřebných reálií, jsem našel velmi skromné pojednání o tzv. „Frizion“ (zamrzlé vize), což je název série fotografií jistého Dr. Petera Wasilewského, který je vědeckým výzkumníkem NASA. Jedná se o sérii fotografií, které zachycují tenké ledové krystaly, které jsou ozařovány polarizovaným světlem, přičemž při průchodu ledem se různé barvy polarizovaného světla na jemných krystalických vrstvách lámou a odrážejí po trochu odlišných cestách. Když se poté podíváme na ledové krystaly přes polarizační filtr, naskytne se nám pohled na různě barevné ledové plošky.

Skutečnost, že se jedná o velmi snadno dostupnou látku, jsem využil a pokusil se daný jev zdokumentovat a obohatit tím tak tento projekt.

Příprava prostředí experimentu

Nejprve je nutné si uvědomit, že led je ve formě skupenství, které je v laboratorních podmínkách v jeho případě dosti nestálé, jelikož okolní teplota způsobuje, že během chvíle dochází k tání a tedy i k jeho přeměně na skupenství kapalné. To je třeba brát v úvahu a provést experiment v předem připravených podmínkách, aby byla zajištěna potřebná nezbytná rychlost provedení. To je však jen na okraj, jelikož zde nastávají mnohem důležitější a méně zřetelné podmínky, které je třeba zajistit, aby došlo k pozorování požadovaného jevu. Jednou z těchto podmínek je tloušťka ledové plošky, kterou je nutné získat v daném intervalu, jehož krajní hodnota pro maximální tloušťku, jak jsem během experimentování zjistil, činí kolem pouhého jednoho milimetru. K účelu získání takovýchto tenkých ledových plošek jsou velmi vhodně uzpůsobeny tzv. Petriho misky, což jsou v podstatě obyčejné skleněné misky, které jsou však dokonale konstrukčně uzpůsobeny pro podobné experimenty. Jejich mělké dno umožňuje dokonalou manipulaci s ledovými ploškami, které na něm vytvoříme. Ty pak jednoduše sejmeme, buď

prostřednictvím teplé vody, dopadající na spodní část misky či jednoduše pomocí ostrého předmětu opatrně vykrojíme. Takto uzpůsobené ledové plošky pak již jen uchytíme prostřednictvím nějakého mechanismu tak, aby jejich plocha zakrývala podstatnou část jednoho filtru. To se již dostáváme k aparatuře, která je uzpůsobena naprosto totožně jako v případech předešlých experimentů, (viz obr. 11) s odlišností v podobě daného zkoumaného vzorku, kterým je právě onen ledový úlomek.

Aparatura se tedy opět skládá z intenzivního zdroje světla, polarizátoru, který je umístěn před ním, zkoumaného vzorku v podobě ledové plošky a v neposlední řadě také analyzátoru, který je opět upevněn na objektivu fotoaparátu, aby bylo možné daný jev následně exponovat. Zde je nutné také uvést, že světelný zdroj jsem pokryl látkou, abych tak snížil intenzitu a zabránil tak zkreslení výsledných barev, které by při opomenutí tohoto faktu byly světelně degradovány tzv. přepaly.

Nastavení fotoaparátu pro kreativní exponování

Nyní následuje nastavení jednotlivých parametrů fotoaparátu. Scéna není nikterak složitá na expozici, nicméně, je si opět třeba uvědomit některá fakta, která mohou mít pro vypovídající hodnotu výsledných snímků dosti zásadní charakter. Předpokladem tohoto experimentu je opět vznik škály interferenčních barev, jenž by tak neměly být nijak zkresleny a naopak by jejich vyobrazení na fotografiích mělo odpovídat jejich reálné podobě. Proto je třeba nastavit tzv. white balance, který je podrobněji rozebrán v části 1.4.3, na dané osvětlení. Osobně jsem využíval jednoho z přednastavených profilů pro výbojové světlo a u některých snímků využil možnosti formátu RAW k jemným úpravám, které jsem prováděl na podkladu bílého listu papíru, jenž byl umístěn v rohu exponované scény. Co se týká samotného nastavení expozice, tak je třeba si nejprve ujasnit priority. Vzhledem k faktu, že se jedná o fotografii, která dokumentuje fyzikální jev, je nutné zajistit její dokonalou vypovídající hodnotu, čehož docílíme především prostřednictvím vyšší hloubky ostrosti, což zajistí pohodlně clona F11. Ačkoli jsem již zmínil v dřívější části textu že led je látka, která je v pokojových podmínkách nestálá a permanentně tak v průběhu experimentu taje, čímž způsobuje pohyb, který může být při delším čase expozice příčinou neostrosti některých částí plošky, stále vychází vyšší clona jako perspektivnější řešení dané expozice. Je to dáno jednak tím, že ani při cloně F2.8

nebudeme schopni synchronizovat expoziční časy, které by se pohybovaly v takovém intervalu, jenž by možné neostrosti úplně zabránil, což se v kombinaci s malou hloubkou ostrosti nejeví jako příliš adekvátní řešení. Druhým, neméně podstatným faktem je, že se tání a s tím spojený pohyb týká většinou jen obvodových částí plochy, které pro dané pozorování nejsou důležité. Tato úvaha je však jen jakousi první domněnkou, kterou je možné, podobně jako je tomu i v jiných oblastech lidské činnosti, posléze modifikovat prostřednictvím praktických zkušeností. Z pohledu digitálního fotoaparátu je tento fakt umocněn tím, že výsledky našeho počínání můžeme snadno a především bezprostředně rychle konfrontovat a zjišťovat tak, kudy vede ta správná cesta.

Pozorovaný jev

V předešlé části textu jsem se věnoval nastavení prostředí experimentu a také nastavení parametrů fotoaparátu, přičemž v této části již následuje samotná analýza získaných snímků.

Nejprve bych zmínil, že vznik interferenčních barev je v případě ledových krystalů způsoben obdobně jako v případě dvojlomných látek. Tedy tak, že jsou důsledkem jevu, při kterém je světlo uvnitř krystalu rozděleno na dva paprsky o různé rychlosti, paprsek řádný a paprsek mimořádný, přičemž opětovné složení (interference) těchto paprsků je příčinou vzniku škály interferenčních barev. I zde se potvrzuje již zmíněný fakt, že interference polarizovaného světla je uskutečnitelná v mnohem vyšších řádech tloušťky vzorku, než-li je tomu v případě interference světla „obyčejného“.

Jak jsem již uvedl v předešlé části textu, led bylo třeba nejprve uzpůsobit do dané podoby, ve které dojde k požadovanému jevu. Když byla zajištěna tato podmínka, bylo možné v hledáčku fotoaparátu sledovat vznik interferenčních barev. Tento fakt však neplatil vždy, respektive dané barvy byly většinou viditelné jen v nepatrné intenzitě, čímž se postupně odkrývaly další závislosti, které výsledné barvy dosti ovlivňují. Těmito faktory je orientace ledové plochy vůči filtru, což pochopitelně souvisí i s uzpůsobením ledových krystalů a tedy i se způsobem jejich vzniku. Ten byl v mém případě omezen na jednu cestu, při které jsem však mohl modifikovat, jak se později potvrdilo, jeden velmi důležitý parametr pro výslednou podobu ledové plošky. Tímto parametrem byla teplota a tedy i čas, během něžž došlo ke vzniku ledu. Tento fakt je uveden v této části textu, jelikož jsem jeho význam zaregistroval až při samotném experimentování.

Faktory, které ovlivňují výsledné barevné podání:

- Způsob procesu vzniku ledové plošky z hlediska okolní teploty
- Sklon plošky vůči filtru
- Vzájemná poloha obou filtrů
- Tloušťka ledové plošky

Výsledky a jejich analýza:

Po velmi podstatném množství snímků, na kterých daný jev nebyl zachycen či byl pouze nepatrný, se mi podařilo exponovat fotografie, které jev naopak vystihují velmi kvalitně. Kromě jiného jsem se také pokusil exponovat sekvenční snímky, které zachycují barevné podání v závislosti na vzájemné orientaci obou filtrů a také v závislosti na tání ledu, které bezprostředně souvisí s jeho lokální tloušťkou a tedy i výsledným barevným podáním. Sekvenční snímání jsem prováděl nikoli v rychlém sledu, ale s podstatnějšími časovými prodlevami, aby byla barevná a tvarová modifikace ledové plošky více znatelná. V tomto případě bylo při minimální vzdálenosti objektivu od objektu a tedy maximálního možného detailu často znemožněno při dalším snímání opět zaostřit, proto sekvenčních snímků není mnoho, přesto však dle mého mají kvalitní vypovídající hodnotu.

Z následujícího páru snímků, který zachycuje tání ledu, je možné vysledovat onu zmíněnou modifikaci barev, které v tomto konkrétním případě vlivem ztenčování tloušťky ledové plošky jsou postupně méně saturované a přechází v jiné barvy.

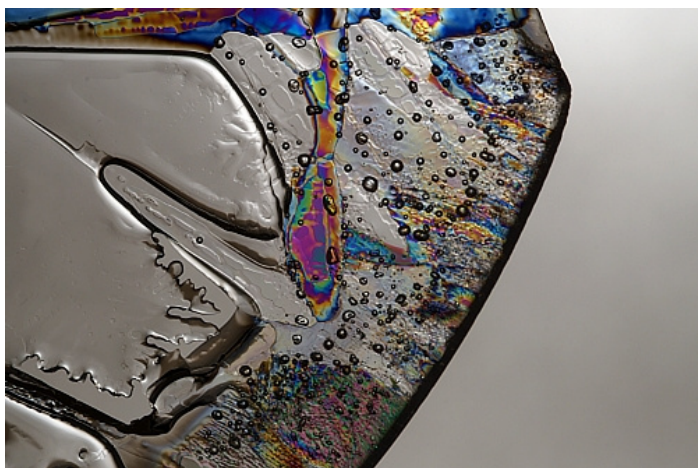
Druhá situace, která zachycuje plynulou proměnu barev v závislosti na natočení analyzátoru vůči polarizátoru je zachycena na snímcích 16a) – 16c). Rozměry ledových plošek, které jsou zachyceny na následných snímcích, se pohybují kolem 15mm z pohledu delší strany. Další snímky těchto ledových krystalů jsou uvedeny v přílohách.



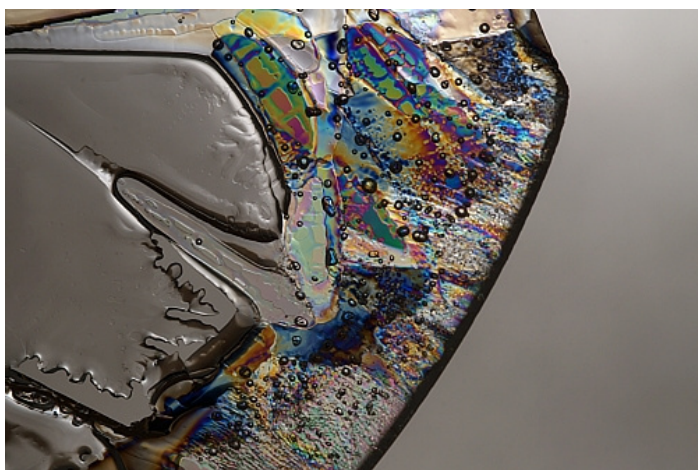
Obr. 15a) Závislost barevného podání na tloušťce ledové plošky



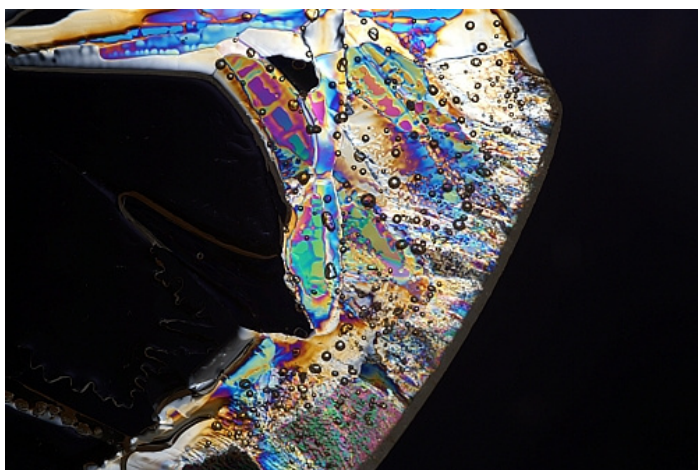
Obr. 15b) Závislost barevného podání na tloušťce ledové plošky



Obr. 16a) Závislost barevného podání na vzájemném natočení filtrů



Obr. 16b) Závislost barevného podání na vzájemném natočení filtrů



Obr. 16c) Závislost barevného podání na vzájemném natočení filtrů

3.1.4 Polarizační filtr pro tvorbu kreativních fotografií

Polarizační filtr je velmi všestranný a je ho tedy možné upotřebit takřka v každém odvětví výtvarné fotografie. Ať již exponujeme snímky architektury, portréty, krajinné fotografie či fotografie, které zachycují vodní plochy, vždy dokáže tento filtr pozvednout kvalitu výsledného snímku.

Zmíněné pozvednutí kvality spočívá v tom, že barvy jsou jeho prostřednictvím mnohem více satureované, nebe získá tmavší odstín modré a snímky statických či dynamických vodních ploch budou při správném užití exponovány bez nežádoucích odlesků. Z toho tedy vyplývá jeho hlavní činnost, která spočívá v tom, že při správném nastavení dokáže odfiltrovat odražené polarizované bílé světlo, které je právě příčinou toho, že vidíme barvy méně satureované a v takovém podání, které pro oko není tak estetické, jako při jeho použití. Tato jeho vlastnost je dána využitím, k tomuto účelu, uzpůsobené fólie. Vzhledem k faktu, že přední část filtru je otočná, je možné měnit orientaci zmíněné fólie a tím tedy taktéž měnit množství polarizovaného světla, které je odfiltrováno. Pokud se tedy dostaneme do situace, kdy potřebujeme využít pouze částečného účinku polarizačního filtru, pak lze jednoduše nastavit filtr tak, kdy jeho účinnost dosahuje pro danou scénu našich požadavků. Je důležité také zmínit, že efekt filtru nelze využít u kovových povrchů.

V této části textu bych uvedl, že koeficient polarizačního filtru je $\times 4$. To znamená, že redukuje množství procházejícího světla čtyřikrát, tedy o 2 stupně expozice (EV). V praxi tedy dojde k tomu, že pokud zaostříme danou scénu při prioritě clony či expozičního času a fotoaparát tak necháme dopočítat správnou expozici, která bude kupříkladu vypadat následovně: 1/30s, F16, pak při použití polarizačního filtru pro exponování totožné scény je nutné buď prodloužit expozici na 1/8s či naopak snížit clonu na F8 při zachování jedné z původních hodnot. Především je aplikovaná na situaci, kdy je zachována hodnota ISO. Zde je nutné si především uvědomit, že užití filtru vyvolává podstatnou světelnou ztrátu, která může způsobit, že se dostaneme do intervalu exp. časů, při nichž již bude potřebné zvýšit hodnotu ISO a přijmout tak fakt, že kvalita fotografie bude částečně degradována šumem. Jinou a pochopitelně výhodnější metodou je

pak pevná paže či lépe její modifikace v podobě stativu, který zajistí, že doba expozice již nebude představovat absolutně žádné komplikace.

V následné části textu jsem se pokusil dokumentovat účinek polarizačního filtru prostřednictvím párů fotografií, které představují kompozičně totožné snímky, přičemž první z nich je exponován vždy bez použití filtru.

Následný pár fotografií představuje expozici kamenné plochy po níž stéká voda. Zde je možné zaregistrovat, že v případě druhého snímku jsou na kameni a kmeni stromu redukovány odlesky. To je právě efekt, který je způsoben použitím filtru.



Obr. 15a) Snímek vody bez použití filtru



Obr. 15b) Snímek vody s použitím filtru

Také v případě vlhkého mechového zátiší, na které dopadají sluneční paprsky lze pozorovat jistý účinek, který je způsoben přítomností správně nastaveného filtru na přední části objektivu. Když se podíváme na oba snímky, spatříme, že i zde jsou redukovány odlesky v levé části snímku a barevné podání působí mnohem sytějšími barvami, což je mj. dáno i zmíněnou redukcí množství procházejícího světla filtrem.



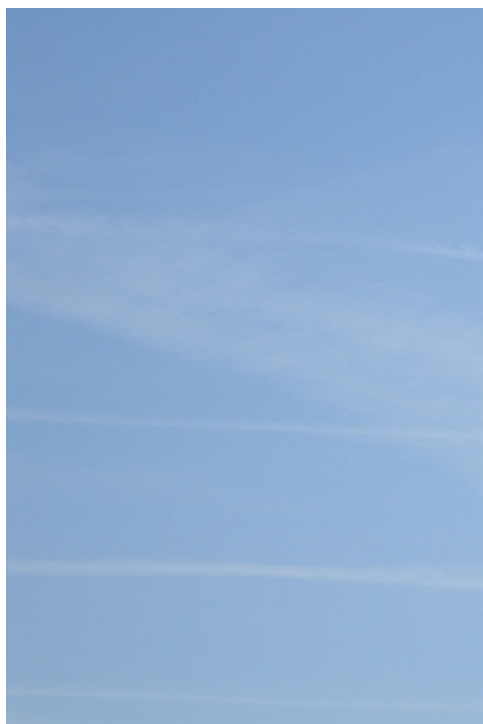
Obr. 16a) mechové zátiší bez použití filtru



Obr. 16b) mechového zátiší s použitím filtru

Když exponujeme snímky, které obsahují modrou oblohu, nejhlubšího účinku dosáhneme prostřednictvím filtru tehdy, když bude slunce v pravém úhlu od aparátu, jinými slovy, když se bude slunce nacházet na jih od nás, dosáhneme nejpodstatnějšího účinku, když budeme exponovat snímky na západ či východ od nás. Je tomu tak proto, že obloha obsahuje nejvíce polarizované světlo v oblastech nacházejících se na 90 stupních od slunce. Naopak, pokud bychom exponovali proti slunci či se sluncem v zádech, nedosáhneme prostřednictvím filtru žádného účinku. Je nutné také dodat, že nejsytější modré barvy nebe je možné dosáhnout v brzkých či pozdních hodinách, když se slunce nachází v nižší poloze. S tím souvisí také nadmořská výška, s jejíž rostoucí hodnotou je obloha tmavší, proto je třeba mít na paměti, že zde může být efekt filtru až příliš intenzivní a obloha získá nechtěný černý nádech.

Na tomto konkrétním páru snímků je patrné, že polarizační filtr je pro tvorbu kreativní krajinářské fotografie s nebem za jasného či oblačného počasí naprosto nepostradatelný. Jeho účinek spočívá v tom, že nebe získá tmavší odstín, čímž dojde k vystoupení bílých oblak, které s ním tak velmi efektně kontrastují.



Obr. 17a) nebe bez použití filtru

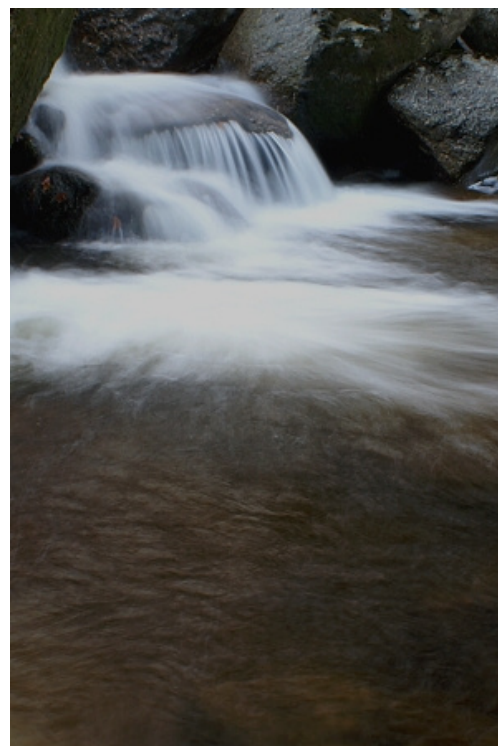


Obr. 17b) nebe s použitím filtru

Takřka nezbytným se polarizační filtr jeví především při exponování snímků, které obsahují vodní plochu. V tomto případě totiž dochází k mnoha odleskům na hladině, které jsou pochopitelně nežádoucí, jelikož degradují výslednou kvalitu získané fotografie. Zmíněná degradace je viditelná na prvním z následného páru snímků, jenž byl exponován bez filtru. Na první pohled je patrné, že je snímek velmi přesvětlen a vlivem lesku bílé oblohy na hladině získává dosti neestetický bělavý nádech. V případě druhého snímku byly povrchové odrazy prostřednictvím filtru podstatně eliminovány a taktéž došlo k dostatečné saturaci barev. Zde bych opět zmínil, že odrazy lze v dané části vodní plochy eliminovat úplně. Stačí když hledáček objektivu nastavíme vůči dané scéně tak, aby světlo, které se od ní odráží dopadalo do hledáčku pod úhlem, který je roven 90° - Brewsterův úhel pro vodu, který činí $53,06^\circ$. V tomto úhlu, jak již bylo řečeno v teoretické části, dochází k nejpodstatnějšímu účinku. Je třeba však brát v potaz, že v případě rozsáhlejší plochy již nedosáhneme požadovaného maximálního účinku pro kompletní plochu, jelikož daný přibližný úhel svírá s filtrem jen nepatrná část vodní hladiny. Výsledný efekt je však i tak velmi podstatný.



Obr. 18a) vodní plocha bez použití filtru



Obr. 18b) vodní plocha s použitím filtru

3.2 rekapitulace

V této kapitole jsem se pokusil zdokumentovat fyzikální jevy z oblasti polarizace, což je oblast, která podobně jako v případě jevů souvisejících z povrchovým napětím kapalin, skýtá pro hledáček objektivu mnoho zajímavých a estetických námětů. Struktura kapitoly je opět vytvořena tak, aby samotným experimentům předcházela teoretická část a bylo tak možné konfrontovat jevy zaznamenané prostřednictvím fotoaparátu se získanými poznatky a dokreslovat si tak teoretické znalosti prostřednictvím vizuálního vjemu. Tím se také dostávám k hlavnímu účelu tohoto projektu, který nespočívá ve hledání nových poznatků v dané oblasti, nýbrž ve vytvoření komplexního pojednání doplněného o fotografie s maximální vypovídající hodnotou a estetickým vjemem. Troufám si tvrdit, že tento předpoklad byl naplněn.

Závěr

Na tomto místě bych chtěl zmínit hlavní předpoklad tohoto projektu, který jsem si pro jeho výslednou podobu stanovil. Nejedná se o projekt, který pojednává o nových poznatcích v daných sférách fyziky, nýbrž o komplexní pojednání o dvou oblastech fyziky, kde je teoretická část doplněna o část experimentální, přičemž k záznamu jednotlivých jevů je využit digitální fotoaparát. Ten má své neoddiskutovatelné opodstatnění v tom, že dokáže zachytit i ty jevy, které jsou ve standardních podmínkách lidskému oku skryty či je nedokáže v reálném čase postřehnout. V souvislosti s tímto projektem jsem se pokusil splnit následující cíle:

- a) pochopit problematiku digitálního fotoaparátu a zvládnout jeho obsluhu
- b) vytvořit teoretické pojednání o dvou fyzikálních oblastech
- c) zdokumentovat prostřednictvím digitální zrcadlovky dané jevy a doplnit tak teoretické poznatky o nezbytný vizuální vjem

Troufám si tvrdit, že jsem dané cíle splnil a projekt je tak možné využít jako pomocný materiál pro výuku fyziky na středních školách.

Zdroje

Internetové zdroje:

http://www.fotografovani.cz/art/tech_vybirame_jak/evf_vs_dslr.html?tisk=on
http://www.fotografovani.cz/art/fotech_df/rom_dof.html
http://www.fotografovani.cz/art/fotech_df/rom_aperture.html
<http://www.converter.cz/tabulky/povrchove-napeti.htm>
http://cs.wikipedia.org/wiki/Povrchov%C3%A9_nap%C4%B9t%C3%AD
<http://courses.ncssm.edu/hsi/class2000/splashes/index.htm>
<http://courses.ncssm.edu/hsi/class2000/splashes/index.htm>
<http://www.fotoaparar.cz/article/10178/1>
<http://www.fotoaparar.cz/article/10183/1>
http://www.digimanie.cz/art_doc-30410DEBDF47DD86C1256CC60033C932.html
<http://coto.je/>
<http://www.megapixel.cz/sigma-105-28-e-xdg-macro>
<http://www.paladix.cz/clanky/polarizacni-filtry-teorie.html>
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace_\(elektrodynamika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace_(elektrodynamika))
http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_10/10_07_Gottwald.html
<http://www.frizion.com/frizzz/about.html>
<http://www.iucr.org/iucr-top/comm/cteach/pamphlets/20/cs/index.html>
http://www.muweb.cz/veda/che/polarizace_svetla.htm
http://muweb.cz/Veda/difrakce/studie/studie_teorie.html#definice

Knižní zdroje:

Ondřej Neff, Neffův průvodce digitální fotografií, Institut digitální fotografie s.r.o., 2004
Lee Frost, Naučte se fotografovat dobře s filtry, Zoner Press, 2006
Bryan Petersona, Naučte se vidět kreativně, Zoner Press, 2006
Strumienský J.: *Polarizace světla – výuka na střední škole*, Masarykova univerzita - bakalářská práce
B. Vlach a J. Fuka, *Vlnová povaha světla*, Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1971