

SBORNÍK

odborných textů, sylabů a studijního materiálu pro

PŘESHraniční LETNÍ ŠKOLU VĚDY A TECHNIKY



PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLÔČNE BEZ HRANÍC



FOND MIKROPROJEKTŮ

ZÁKLADY FYZIKY

MECHANIKA A TERMODYNAMIKA V POKUSECH

Peter Kluvánek

V podstate v pozadí každej prírodnej vedy sa nachádza fyzika (ide len o to, ako hlboko sme ochotní v danej oblasti ísť). Súčasne je fyzika, čo sa metodológie týka, akýmsi archetypom modernej vedy s jej „matematizáciou“ (podľa možností) čo najmenšieho počtu základných princípov a dôrazom na experiment. Práve na dôležitosť experimentu vo fyzike sa v súčasnosti často zabúda, prípadne sa zdôrazňujú experimenty na hraniciach vedeckého poznania, ktoré sú pre obyčajného človeka (čo väčšinou je už kolega fyzik z vedľajšej kancelárie) ťažko pochopiteľné a ich výsledky môže dokonca považovať, vzhľadom na potrebné investície, za príliš akademické a odtrhnuté od každodennej reality.

Rozhodli sme sa preto pomocou čo najjednoduchších pokusov, žiakom a študentom ukazovať, aká je v skutočnosti fyzika zaujímavá a aké prekvapivé sú logické väzby medzi zdanlivo jednoduchými fyzikálnymi princípmi na jednej strane a komplikovanými javmi, ktoré okolo seba pozorujeme.

Ukazujeme im tak, že fyzika nie je len „suché“ počítanie príkladov (hoci aj to je veľmi dôležité a pre niektorých jedincov dokonca krásne), ale môže byť atraktívnou a zábavnou aktivitou. Súčasne takýto jednoduchý experiment, ktorý si žiaci ale môžu prípadne sami realizovať, pomáha jednoduchšie zapamätať teóriu, stojacu v jeho pozadí. Pri vyučovaní je, aspoň podľa nás, minimálne tak dobrý, ako rôzne virtuálne pokusy, ktorých nevyčerpatelným zdrojom je dnes internet. Teória sa totiž do hlavy často krát dostáva lepšie rukami, než očami.

V rámci letnej školy na hvězdárne vo Valašskom Meziříčí sme dostali možnosť prezentovať výber experimentov z mechaniky a termodynamiky. Návodov na niektoré z nich prikladáme.

Zákon zachovania hybnosti

Jeden z najdôležitejších zákonov zachovania môžeme demonštrovať jednoduchým mechanizmom. Je to v podstate prak pripevnený lepiacou páskou na podvozku (plastový model auta).

Prak natiahneme pomocou nitky, ktorú upevníme o skrutku. Vložíme náboj



– my sme používali dva nástrčné (gola) kľúče spojené lepiacou páskou na dosiahnutie väčšej hmotnosti náboja. Hybnosť celého systému je na začiatku nulová (stojí). Nitku potom prepálime pomocou zapaľovača – použijeme čo najväčší plameň. Náboj vyletí jedným smerom a podvozok sa pohne smerom opačným. Výsledná hybnosť systému podvozok-náboj je opäť nulová. Môžeme vyskúšať aj ako rôzne hmotnosti náboja vplyvajú na rýchlosť, ktorou sa pohne podvozok (respektíve na dĺžku dráhy prejdenej po výstrele).

Zákon zachovania momentu hybnosti

Existuje viacero spôsobov, ako pomocou jednoduchých experimentov ukázať platnosť tohto zákona. Použiť môžeme zotrvačníky – najrôznejšie osovo symetrické telesá, ktoré sa dajú roztočiť s dostatočnou frekvenciou. Známy je tiež experiment so študentom, otočnou stoličkou a činkami. Študenta (žiaka), držiaceho v rozpažených rukách činky a sediaceho na otočnej stoličke, roztočíme. On potom pritiahne ruky k telu, čím sa rýchlosť jeho rotácie výrazne zrýchli (pozor, treba vybrať dostatočne silného jedinca!).

Vhodné je tiež obyčajné koleso z bicykla. Na osku kolesa pripevníme špagát. Študentom dáme úlohu udržať koleso vo vzduchu tak, aby jeho os smerovala horizontálne, pričom ho ale môžu držať len špagátom. Úloha je pre nerotujúce koleso nespítniteľná. Po jeho dostatočnom roztočení však naozaj stačí držať koniec špagátu v ruke a os kolesa sa udržuje prakticky vo vodorovnej polohe. Treba sa ale pomaly otáčať, pretože koleso vykonáva precesný pohyb s periódou podstatne dlhšou, než je perióda jeho otáčania okolo vlastnej osi.

No a doslova vlastnoručne si študenti môžu zákon zachovania momentu zotrvačnosti overiť tak, že im necháme os kolesa chytiť do rúk. Následne koleso roztočíme a povieme im, nech sa snažia prudko pootočiť osou kolesa. Študenti veľmi rýchlo zistia, že sa to nedá a z nejakej príčiny sa koleso „bráni“ takýmto prudkým zmenám. Príčinu takéhoto odporu môžu odhaliť oni sami.

Ťažisko a rovnovážna poloha



O tom, ako vplyva poloha ťažiska na stabilitu telesa, môžeme žiakov presvedčiť pomocou jednoduchého systému. Do korkovej (plastovej) zátky urobíme oproti sebe nožom dva vrypy a zasunieme do nich dve čajové lyžičky. Do fľaše zasunieme ďalšiu zátku, do ktorej zapichnete ihlu. Na hrot tejto ihly postavíme zátku s lyžičkami (tak, ako to vidieť na obrázku). Vďaka tomu, že ťažisko zátky s lyžičkami je pod hrotom ihly, bude poloha zátky s lyžičkami prekvapivo stabilná.

V prípade, že by ťažisko bolo nad hrotom, dostali by sme nestabilnú polohu. To dokážeme jednoducho tak, že by sme sa pokúsili „ustabilizovať“ zátku s lyžičkami na hrote ihly v obrátenej polohe (lyžičkami nahor).

Rovnako nám umožní posun ťažiska postaviť vajíčko na špicatejšiu stranu. Použijeme pritom malý trik. Z vajíčka vyfúkame obsah rovnakým spôsobom ako pri robení veľkonočných kraslíc. Dierku na obľúbenej strane zväčšíme natoľko, aby sme do vajíčka mohli hodiť niekoľko nábojov do vzduchovky. Tie nakoniec zalejeme lepidlom (stačí obyčajné na papier) a postavíme do obalu na vajíčka ostrou stranou nadol kým lepidlo nevyschne. Náboje vo vajíčku sa potom nebudú voľne pohybovať. Akokoľvek takto upravené vajíčko postavíme, vždy sa obráti ostrejšou stranou nadol.



Trenie

Trenie býva v mnohých oblastiach nežiadúce a ľudia sa ho snažia čo najviac potláčať. Pritom si mnohí nikdy neuvedomia, že keby trenie neexistovalo, náš svet by musel vyzeráť úplne inak, pretože by sme sa museli pohybovať úplne inak – bežná chôdza by nefungovala, podobne ako väčšina druhov pozemnej dopravy. Napriek komplexnej podstate trecích síl je ich popis veľmi jednoduchý a už pomocou obyčajného kvádra a pár závaží vieme všetko podstatné o trecej sile demonštrovať. Ak máme ešte k dispozícii latu, čoby naklonenú rovinu s premenlivým uhlom sklonu, môžeme ukázať aj rozdiel medzi statickým a dynamickým trením, ktorý rozhoduje o našich životoch pre brzdenie na cestách a vďaka ktorému sú systémy ABS také účinné.

Rozdiel statické/dynamické trenie je veľmi efektne demonštrovať na tyči s kruhovým prierezom, na ktorú zavesíme cez slučku špagátu závažie. Jeden koniec tyče potom zdvíhame. Dokážeme nájsť takú polohu, pri ktorej sa za závažie po tyči neklíže (statické trenie), ale ako náhle začneme tyč krútiť (v prstoch ruky, ktorou ju držíme), závažie sa začne kĺzať dolu, pretože sme „prepli“ zo statického trenia na trenie dynamické, ktoré je menšie.

Levitujúca ping-pongová loptička

Zvlášť efektným experimentom je možné objasniť študentom podstatu hydrodynamického paradoxu. Stačí k tomu fén a ping-pongová loptička.



Tá totiž dokáže stabilne levitovať v prúde vzduchu z fénu práve vďaka tomu, že čím má prúd vzduchu väčšiu rýchlosť, tým je v ňom nižší tlak. Loptička je potom z okraju prúdu vťahovaná späť do jeho stredu a „nevychodí“ ju z neho dokonca ani pomerne veľké naklonenie fénu.

Ak pridáme ešte jednu loptičku, položíme ich blízko ku sebe na stôl a fúkneme medzi ne vzduch cez slamku, loptičky sa ku sebe ešte viac priblížia. Takýto výsledok by pred vykonaním pokusu typoval máloktorý študent.

Vysvetlenie je, samozrejme, v hydrodynamickej paradoxe. Rovnako ako objasnenie známej situácie, keď prievan, čiže rýchly prúd vzduchu, zabuchne dvere.

Potápač v PET fľaši

Zaujímavou fyzikálnou hračkou je „potápač“ v PET fľaši. Urobíme ho pomocou balónika, matice a PET fľaše. Najprv do balónika umiestnime maticu. Následne si treba trochu poexperimentovať s množstvom vzduchu v balóniku. Ten totiž musí byť nafúknutý len tesne nad hranicu, pri ktorej dokáže plávať na vode. Je dobré „nastaviť“ si veľkosť balónika v umývadle. Vzduch následne vypustiť a balónik spustiť do fľaše, pričom v ruke držíme koniec s otvorom na nafukovanie. Až potom ho nafúkneme podľa potreby. Pri vtlačaní nafúknutého balónika do fľaše totiž môžeme mať problémy. Nakoniec PET fľašu napustíme vodou až po uzáver a pevne zatvoríme. Stláčaním takto pripravenej fľaše dokážeme ovládať objem balónika a tým smer jeho pohybu. V tejto fáze sa nám prejaví, ako dobre sme balónik nafúkli. Ak je totiž objem vzduchu v ňom moc veľký, bude potrebná príliš veľká sila k tomu, aby začal klesať, takže v konečnom dôsledku ho možno klesať ani neprinútime.

Magdeburské polgule

Pokusov na demonštrovanie veľkosti atmosférického tlaku je veľké množstvo. Klasickým je pokus s magdeburskými polgulami. Prvý takýmto spôsobom silové pôsobenie atmosféry dokázal starosta Magdeburgu Otto von Guericke v roku 1654. Ako pomôcka nám slúžia magdeburské polgule. Najprv ich dáme vybranému študentovi od seba oddeliť bez zníženia tlaku medzi nimi. Následne z nich pomocou vývevy vzduch vysajeme, takže polgule ku sebe začne pritláčať atmosférický tlak, a študent sa ich pokúsi oddeliť znovu. Treba dať pozor, aby sa v okolí vybraného študenta nikto nenachádzal, mohlo by totiž

dôjsť k nechcenému zraneniu. Študenti vidia (aj cítia), že na oddelenie polgúlí s „vákuom“ je potrebná väčšia sila.

Na rovnaký pokus možno využiť napríklad vývevu so zvonom – najprv necháme dobrovoľníkovi zdvihnúť zvon voľne položený na podložke vývevy, následne vzduch vysajeme a môže to zopakovať. A ak nemáte ani polgule ani vývevu so zvonom, nezúfajte, použiť sa dá aj obyčajný vákuový zvon na čistenie upchatých odtokov.



Pokrčená plechovka

Veľkosť atmosférického tlaku ukážeme aj s využitím obyčajnej plechovky od piva. Pôvodný obsah z plechovky vypustíme cez dva menšie otvory. Do takto pripravenej plechovky pred študentmi vstrekneme striekačkou vodu a necháme ju zovrieť na plynovom variči (využiť možno turistické variče s malými plynovými bombami). Po zovretí vody para vyplní plechovku a vytlačí z nej vzduch. Pomocou klieští potom plechovku rýchlo ponoríme do vedra so studenou vodou. To plechovku pokrčí (implózia) aj s počutelným zvukovým efektom. Pri ponorení totiž dôjde k poklesu teploty a rýchlej kondenzácii pary. V plechovke tým prudko poklesne tlak a pre malé otvory do nej nestihne natiecť voda. Pôsobením atmosférického tlaku je plechovka výrazne zdeformovaná.

Pascalov zákon

O tom, že atmosférický tlak pôsobí naozaj všetkými smermi presvedčíme študentov jednoduchým pokusom. Naplníme pohár vodou tesne nad okraj (hladina má tvar šošovky) a prikryjeme kúskom kancelárskeho papiera (mierne ho k poháru pritlačíme). Pohár potom obrátíme hore dnom, pričom voda nevytečie (samozrejme do pohára sa nám nesmie dostať vzduch). Proti hydrostatickému tlaku kvapaliny v pohári pôsobí atmosférický tlak – v tomto prípade zdola hore. Pohár môžeme otáčať, čím názorne demonštrujeme, že atmosférický tlak pôsobí vždy kolmo na papierik a pritláča ho k poháru bez ohľadu na polohu pohára. Rovnaký pokus ešte zopakujeme aj so sklenou fľašou. Študentom môžeme dať otázku, aká najvyššia by mohla byť fľaša, aby sme ju mohli použiť na takýto pokus.



Parná Herónova turbína

Asi najjednoduchšia verzia Herónovej turbíny sa dá vyrobiť z obyčajnej plechovky od piva (z pedagogických dôvodov možno použiť aj plechovku z iného nápoja, ale pri plechovke z piva to, z neznámeho dôvodu, funguje najlepšie). Jej obsah musíme vypustiť cez dva čo najmenšie otvory (použijeme ihlu) urobené osovo symetricky oproti sebe. Ihlu pri vyťahovaní natočíme tak, aby bola v tangenciálnom smere k plášťu plechovky – aby aspoň časť pary vychádzala z plechovky v smere dotyčnicovom a nie kolmo na plášť. Na plechovku upevníme špagát (opatrne ho prevlečieme cez kovové očko, ktorým sa plechovka otvára – pozor, aby sme ju pri tom neotvorili) a naplníme ju vodou (stačí malé množstvo) cez striekačku s ihlou (striekačku dávať v tangenciálnom smere). Po uvedení vody v plechovke do varu (opäť využijeme turistický varič) sa začne plechovka otáčať značnou rýchlosťou. Veľmi jednoducho a pritom efektne tak ukážeme premenu energie, prijatej od plameňa vo forme tepla, na kinetickú energiu rotácie plechovky.

Pumpa naruby



Fungovanie klasickej vodnej pumpy môžeme ukázať pomocou vývevy. Do jej zvona umiestnime čiastočne naplnenú sklenú banku. Tá je uzavretá zátkou s otvorom, ktorým prechádza trubička. Jeden koniec má ponorený vo vode v banke. Druhý ústi do prázdnej kadičky. Pri znižovaní tlaku v zvone vývevy dochádza k pumpovaniu vody z banky do kadičky až pokiaľ hladina vody neklesne pod sklenú trubičku. Voda je z banky vytláčaná tlakom v nej uzavretého vzduchu. Je to presne rovnaký spôsob, akým pumpujeme napr. vodu zo studne len tam okolitá atmosféra tlačí vodu zo studne do piestu, kde je nižší tlak. Tu naopak nižší tlak z okolia (vzduchu vo zvone) vyťahuje vodu zo sklenej banky.

Ako vyrobiť teplomer

Pomocou bimetalického pásika, ktorý chytíme do klieští, prípadne upevníme pomocou statívu, a zohrejeme plynovým varičom, ukážeme princíp teplomera s využitím rozdielnej teplotnej rozťažnosti dvoch rôznych kovov. Fúknutím na skrútený horúci bimetalový pásik vyvoláme jeho „rozmotávanie“ a zahriatím opätovné stočenie. Študentom môžeme dať otázku, na ktorej strane pásika

je kov s väčšou teplotnou rozťažnosťou.

Využitím skúmavky naplnenej zafarbenou vodou alebo liehom, uzavretej zátkou s otvorom, v ktorom je sklená trubička, prípadne kapilára, môžeme urobiť jednoduchý model liehového alebo ortuťového teplomera. Po ponorení skúmavky do kadičky s horúcou vodou uvidíme stúpanie kvapaliny v trubičke. Môžeme tiež urobiť dva takéto „teplomery“ s rôznou náplňou a porovnať koeficienty objemovej rozťažnosti použitých kvapalín. Študentom popri čakaní na zahriatie vody v skúmavke dáme otázku, ako by sa dal teplomer zdokonaľiť a prečo je výhodné, keď má teplomer čo najmenšie množstvo pracovnej látky, ako je to pri používaných ortuťových a liehových teplomeroch.



Stavová rovnica ideálneho plynu a základné deje v plyne

Pomocou troch pokusov odhadneme vzťahy medzi tlakom, objemom a teplotou plynu pri troch základných dejoch v plyne: izochorickom, izobarickom a izotermickom. Spojením týchto vzťahov môžu študenti „objaviť“ stavovú rovnicu ideálneho plynu.

Izochorický dej: Zo statívovej súpravy zostavíme stojan a do neho umiestnime kadičku, uzavretú zátkou, spojenú hadičkou s U trubicou. V kadičke je uzavretý vzduch. Študentom zdôrazníme, že tento pokus je len priblížením sa k izochorickému deju. Použitím banky, dostatočne veľkej oproti objemu U trubice, by sme ho mohli zdokonaľiť, no aj tak nám dáva dobrú predstavu o tom, čo sa pri izochorickom deji odohráva.



Po zahriatí kadičky fénom začne stúpať voda v ramene U trubice otvorenom do okolitej atmosféry. Študenti tak jednoznačne vidia, že v kadičke stúpa tlak. Vysvetlíme im, že najjednoduchší vzťah opisujúci takéto správanie, je priama úmernosť medzi tlakom a teplotou plynu.

Izobarický dej: Dosiahneme prestavaním aparatury použitej na demonštráciu izochorického deja. Hadíčku odpojíme od U trubice a ponoríme ju do určitej hĺbky do kadičky s vodou. Túto hĺbku nemeníme, čiže vzduch je v banke stále pod rovnakým tlakom. Po zahrievaní vzduchu v sklenej banke začnú z hadičky do vody unikať bublinky, čo je znakom zväčšovania objemu plynu. Opäť sme sa dostali k priamej úmernosti, tento krát medzi objemom a teplotou plynu.



Izotermický dej: Do zvonu vývevy umiestnime nafúknutý balónik. Pri odčerpávaní vzduchu vývevou, a teda pri znižovaní tlaku v okolí balónika a tým aj v balóniku samotnom, dochádza k nárastu jeho objemu. Naopak pri napustení vzduchu do zvonu sa balónik zmenší. Študenti tak jasne vidia nepriamu úmernosť medzi tlakom a objemom plynu pri konštantnej teplote.

Najjednoduchší matematický zákon, ktorý správne opisuje všetky tri pokusy je známa stavová rovnica ideálneho plynu. Študenti na tomto príklade môžu vidieť jeden z možných spôsobov, ako sa dá dopracovať ku kvantitatívnym vzťahom vo fyzike.

Archimedov zákon vo vzduchu

Do zvonu vývevy umiestnime rovnoramenné váhy, na ktorých je v rovnováhe polystyrénová guľôčka a kovová miska. Po znížení tlaku vzduchu v zvone dôjde k preváženiu kovovej misky polystyrénom. Študentom vysvetlíme, že okrem tiažových síl pôsobia na telesá pri normálnom tlaku aj sily vztlakové podľa Archimedovho zákona. Polystyrénová guľôčka má väčší objem a tak na ňu pôsobí väčší vztlak. Keďže ramená váh sú na vzduchu v rovnováhe, musí byť tiaž polystyrénu väčšia než tiaž misky. Po odčerpaní vzduchu vývevou znížime vztlakové sily, vďaka čomu nakoniec väčšia tiaž polystyrénu nakloní váhy na stranu guľôčky.



Aj na telesá ponorené do vzduchu teda pôsobí vztlaková sila rovnajúca sa tiaži vzduchu telesami vytlačeného. Keďže je však hustota vzduchu malá, je malá aj vztlaková sila. Balóny a vzducholode tak musia mať veľký objem, na rozdiel od vody, v ktorej nám na „lietanie“ stačí plávacie koleso, či dokonca len mávanie rukami.

Závislosť teploty varu vody od tlaku

Do zvonu vývevy položíme kadičku s vodou, ktorá práve prešla varom (necháme ju zovrieť v rýchlovarnej kanvici). Študentom ukážeme, že voda za normálnych okolností už nevie, no jej teplota je dostatočne vysoká na to, aby

sme nemuseli moc dlho pumpovať vzduch zo zvona (na vnútornej strane zvonu za takýchto podmienok pomerne rýchlo začína kondenzovať para, čo výrazne znižuje viditeľnosť do zvonu). Krátko po začatí pumpovania dôjde v kadičke k varu kvapaliny. Pri používaní mechanickej vývevy s ručnou pumpou (ako to bolo v našom prípade) vidíme krátky var, ktorý sa rýchlo utlmí. Pri ďalšom pumpovaní sa to zopakuje. Študentom vysvetlíme, že teplota varu vody s poklesom tlaku klesá. Vďaka pare, uvoľnenej počas varu, stúpne tlak v zvone natoľko, že teplota varu narastie a var sa zastaví. Musíme ďalším pumpovaním znížiť tlak, aby sme znovu znížili teplotu varu.

Študentom, po zhladnutí tohto experimentu, by malo byť jasné, prečo horolezcom trvá vo veľkých výškach varenie dlhšie a naopak tlakové hrnce varenie skracujú.

Fázové premeny a ohrievacie vankúšiky

Fázové premeny sú jednou z najzaujímavejších oblastí termodynamiky, ktorá má uplatnenie aj v exotických oblastiach fyziky od prechodu feromagnet-diamagnet cez supravodiče a supratekuté kvapaliny až po inflačné teórie ranného vývoja Vesmíru. Študentom krátko vysvetlíme, čo sú fázové premeny, spomenieme typické príklady a uvedieme rozdelenie fázových premien na dva základné typy. Ako príklad na fázový prechod prvého druhu im predvedieme vyhrievací vankúšik – komerčne predávaný produkt – plastové vrečko, ktoré obsahuje supersaturovaný roztok CH_3COONa . Ten môžeme podchladiť, pričom zostáva kvapalný (teplota tuhnutia je $54\text{ }^{\circ}\text{C}$). Stačí potom minimálny impulz, ktorým je uvoľnenie kryštalizačného jadra z plieška, umiestneného vo vrečku, a dochádza k prudkej kryštalizácii a rýchlemu uvoľneniu latentného tepla, ktoré zahrieva vrečko. Celý proces je vratný – stačí vrečko povariť vo vode, skryštalizovaný materiál sa rozpustí a pokus môžeme opakovať.



CCD DETEKTORY PRAKTICKY, SEZNÁMENÍ S DOSTUPNOU POZOROVACÍ TECHNIKOU, ÚLOHY

Ladislav Šmelcer

CCD kamery za posledních 25 let radikálně změnily svět astronomie. Jednodušší pořízení snímků noční oblohy, jednodušší zpracování a neposledně i archivace vede k novým objevům v různých oblastech astronomie. Týká se to i pozorovatelů proměnných hvězd. V současné době i amatérský astronom za relativně rozumné peníze je schopen pořizovat kvalitní data a výsledky.

V rámci letní přehsraniční školy si v krátkosti odpovíme na otázky – proč, čím a jak.

- 1) **Proč pozorovat proměnné hvězdy** – to je záležitost dlouhodobá, založená především na znalosti problematiky, studia odborné literatury a propojení s komunitou lidí, kteří se o tento obor zajímají.
- 2) **Čím pozorovat** – éra vizuálních pozorovatelů je více méně ukončená, většina pozorovatelů dnes pracuje se CCD technikou. K pozorování proměnných hvězd je možné využít širokou škálu dalekohledů – od těch nejmenších až po veliké. Vše je závislé na vybraném pozorovacím programu, dají se pozorovat jasné i slabší proměnné hvězdy. Součástí praktika je seznámení se zařízením na hvězdárně Valašské Meziříčí.
- 3) Pokud pozorovatel ví proč a má čím pozorovat, musí také **zvládnout namířit přístroj na dané místo na oblohu**. Posluchači se seznámí se základními informacemi o souřadnicích na obloze, orientaci a polohu souhvězdí a různými typy montáží dalekohledů. Jedním z úkolů je nastavení dalekohledů na dané souřadnice.

STAVEBNICE MANIPULÁTORU - ZÁKLADNÍ INFORMACE

Naděžda Lenžová

Stavebnice manipulátoru Lynxmotion AL5D-KT a rotace zápěstí WRU-HD pro výukové účely. Firma Lynxmotion nabízí stavebnici manipulátoru v několika provedeních.

Námi pořízená verze AL5D může uchopit předmět vážící 368 g ve vzdálenosti 260 mm od základny. Jedná se o kompletní stavebnici, která obsahuje vše, co je ke stavbě potřeba, včetně řídicí jednotky pro serva a softwaru. Stavebnici jsme vylepšili o rotaci zápěstí WRU-HD.



Jednotlivé díly jsou roztrženy v plastových sáčkách, podle toho k jakému celku náleží. Každý z velkých sáčků obsahuje i list papíru s popisem a seznamem dílů včetně obrázků.

Obsah stavebnice:

- | | |
|---|--------------------------|
| - otočná základna | - rameno a jeho součásti |
| - řídicí jednotka a příslušenství pro montáž | - předloktí |
| - rotace zápěstí včetně serva | - elektronika SSC-32 |
| - CD-ROM se softwarem RIOS | - servomotory Hitec |
| - stejnosměrný zdroj na pro silovou část robota | |
| - sériový kabel | |

Výrobce nedodává návod na sestavení v tištěné podobě, a tak samotná stavba probíhá krok za krokem podle podrobného návodu na internetu.

Řídicí jednotka SSC-32 je trvale závislá na PC, s nímž je propojena sériovým portem přes USB redukci.

Po sestavení manipulátoru stačí pokračovat podle návodů na internetových stránkách výrobce, nainstalovat software na PC, připojit řídicí jednotku přes redukci USB.

Program RIOS je rozdělen na tři logické cečky:

- nabídka a nastavení komunikace
- nabídka pro celkovou konfiguraci a kalibraci robotické ruky
- nabídka pro programování pohybů robotické ruky a spouštění již hotových projektů

Nejprve je potřeba provést kalibraci a nastavení softwaru RIOS a potom už můžeme přistoupit k samotnému programování našeho manipulátoru opět podle podrobného manuálu na internetových stránkách výrobce.

ZÁKLADY AUTOMATIZACE A ROBOTIKY - ALGORITMY

Libor Lenža

Definice algoritmu

Algoritmus je obecný popis postupu řešení úkolu (programu), je tvořen posloupností pokynů (příkazů), které popisují určitou činnost (akci).

Vyčerpávající definici výpočetního algoritmu (a ten je předmětem našeho zájmu) vyslovil A. A. Markov, podle kterého *„Algoritmus je přesný předpis definující výpočtový proces vedoucí od měnitelných výchozích údajů až k žádaným výsledkům“*. Takový předpis se skládá z jednotlivých výpočetních kroků, které jsou zapsány v určitém pořadí. Počet těchto kroků musí být konečný.

Algoritmus je přesný návod či postup, kterým lze vyřešit daný typ úlohy. Pojem algoritmu se nejčastěji objevuje při programování, kdy se jím myslí teoretický princip řešení problému (oproti přesnému zápisu v konkrétním programovacím jazyce). Obecně se ale algoritmus může objevit v jakémkoli jiném vědeckém odvětví. Jako jistý druh algoritmu se může chápat i např. kuchařský recept. V užším smyslu se slovem algoritmus rozumí takové postupy, které splňují některé silnější požadavky.

Samotné slovo algoritmus pochází ze jména perského matematika 9. století Abu Jafar Muhammada ibn Mūsā al-Chwārizmího, který ve svých dílech položil základy algebry (arabské číslice, řešení lineárních a kvadratických rovnic).

Vlastnosti algoritmu

Konečnost - řešení úlohy v konečném počtu kroků.

Každý algoritmus musí skončit v konečném počtu kroků. Tento počet kroků může být libovolně velký (podle rozsahu a hodnot vstupních údajů), ale pro každý jednotlivý vstup musí být konečný. Postupy, které tuto podmínku nesplňují, se mohou nazývat výpočetní metody. Speciálním příkladem nekonečné výpočetní metody je reaktivní proces, který průběžně reaguje s okolním prostředím. Někteří autoři však mezi algoritmy zahrnují i takovéto postupy.

Obecnost (hromadnost, masovost, univerzálnost)

Algoritmus řeší všechny úlohy daného typu (popisuje řešení obecně pro celou skupinu úloh s proměnným zadáním). Jinými slovy algoritmus neřeší jeden konkrétní problém (např. „jak spočítat 3×7 “), ale obecnou třídu obdobných problémů (např. „jak spočítat součin dvou celých čísel“), má širokou množinu možných vstupů.

Determinovanost - přesnost, srozumitelnost a návaznost jednotlivých částí.

Každý krok algoritmu musí být jednoznačně a přesně definován, v každé situaci musí být naprosto zřejmé, co a jak se má provést, jak má provádění algoritmu pokračovat, takže pro stejné vstupy dostaneme pokaždé stejné výsledky. Protože běžný jazyk obvykle neposkytuje naprostou přesnost a jednoznačnost vyjadřování, byly pro zápis algoritmů navrženy programovací jazyky, ve kterých má každý příkaz jasně definovaný význam. Vyjádření výpočetní metody v programovacím jazyce se nazývá **program**. Některé algoritmy ale determinované nejsou, pravděpodobnostní algoritmy v sobě mají zahrnutu náhodu.

Výstup (resultativnost)

Algoritmus má alespoň jeden výstup, veličinu, která je v požadovaném vztahu k zadaným vstupům, a tím tvoří odpověď na problém, který algoritmus řeší (algoritmus vede od zpracování hodnot k výstupu)

Elementárnost

Algoritmus se skládá z konečného počtu jednoduchých (elementárních) kroků. V praxi jsou proto předmětem zájmu hlavně takové algoritmy, které jsou v nějakém smyslu kvalitní. Takové algoritmy splňují různá kritéria, měřená např. počtem kroků potřebných pro běh algoritmu, jednoduchost, efektivitu či eleganci. Problematikou efektivit algoritmů, tzn. metodami, jak z několika známých algoritmů řešících konkrétní problém vybrat ten nejlepší, se zabývají odvětví informatiky nazývané algoritmická analýza a teorie složitosti.

Korektnost

Algoritmus skončí pro libovolná (korektní) data správným výsledkem v konečném množství kroků.

Zápis algoritmů

- Slovním popisem – slovní popis v přirozeném jazyce.
- Vývojovým diagramem (blokové schéma) – grafické znázornění algoritmu řešení úlohy jednotnými značkami a zkratkami.
- Strukturogramy – používá obdobné symboly ale přesnější, tento systém přesně splňuje podmínky důležité pro strukturované programování.
- Datově orientované diagramy HIPO – (z angl. *Hierarchy plus Input-Process- Output*), je grafickým vyjádřením funkčního členění problému, struktury dat a postupu řešení problému při různém stupni podrobnosti.
- Rozhodovací tabulky – používané při velmi složitých větveních.

Vývojové diagramy

Vývojový diagram je symbolický algoritmický jazyk, který se používá pro názorné zobrazení algoritmu zpracování informací a případnou stručnou publikaci programů.

Tento jazyk je tvořen přesnými definovanými značkami s jejich jednoznačným významem (**sémantiku** - slovník) a pravidly jak tyto značky ve vzájemné souvislosti používat (**syntax** - gramatika). Jeho používání je vhodné zejména u začínajících programátorů, protože dovoluje názorným způsobem formulovat postup řešení daného úkolu s vyznačením všech jeho možných alternativ.

Používá se však i při týmovém řešení problému, kdy slouží jako komunikační prostředek mezi analytiky a programátory. (Analytik na základě provedené analýzy sestaví postup řešení ve formě vývojového diagramu, programátor pak podle tohoto diagramu napíše v odpovídajícím programovacím jazyce program).

Pro kreslení vývojových diagramů platí od 1. ledna 1996 nová česká státní norma ČSN ISO 5807 „Zpracování informací. Dokumentační symboly a konvence pro vývojové diagramy toku dat, programu a systému, síťové diagramy programu a diagramy zdrojů systému“.

Norma specifikuje symboly používané v dokumentaci pro zpracování informací a poskytuje návod pro jejich použití.

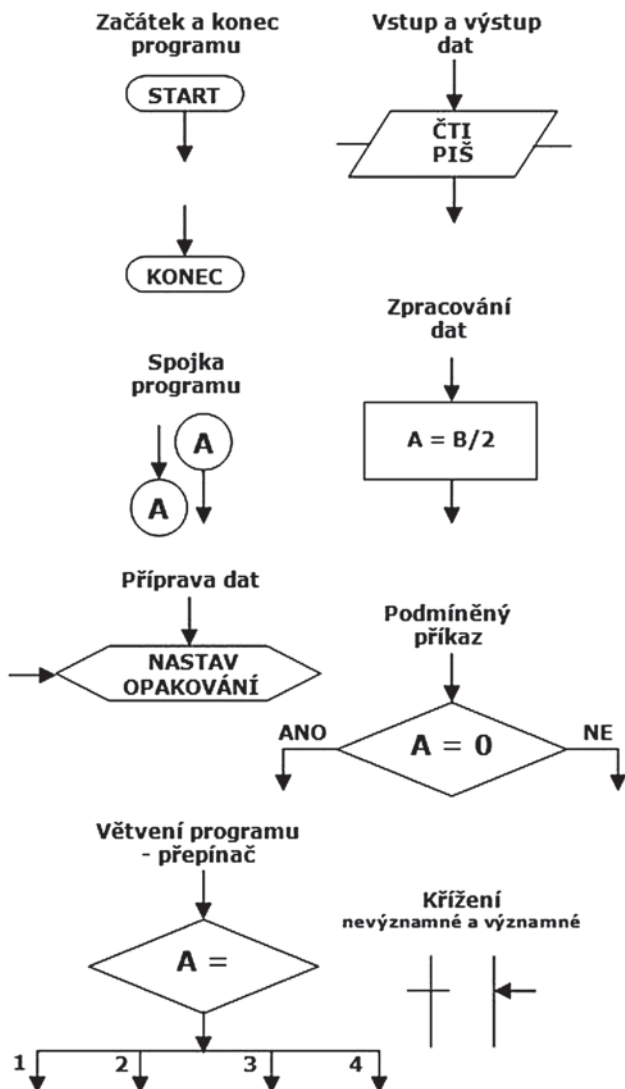
Vývojový diagram programu je definován jako zobrazení posloupnosti operací v tomto programu a skládá se z následujících prvků:

- a) symbolů pro vlastní operace zpracování, včetně symbolů definujících stanovený tok, který má být dodržen při zachování logických podmínek;
- b) spojnic indikujících tok informací (dat);
- c) zvláštních symbolů pro usnadnění čtení a zápis vývojového diagramu.

Vývojový diagram představuje tedy grafické znázornění logické struktury řešeného problému.

Symbody vývojových diagramů představují grafické značky přesně definovaného významu. Pro upřesnění funkce symbolu se do nich vpisují slovní nebo symbolické operace, nebo i celé skupiny operací.

Příklady grafických symbolů obecně používaných při zpracování algoritmů.



ZÁKLADY GEOLOGIE – VZNIK A VÝVOJ HORNIN

Petr Skupien

Horniny jako součást zemské kůry se nacházejí všude kolem nás. Jejich základní vlastností je, že jsou nehomogenní, kdy chemické a minerální složení je proměnlivé a nedá se vyjádřit chemickým vzorcem. Horniny se nejčastěji skládají z několika minerálních druhů pravidelně či nepravidelně v hornině rozptýlených a velmi často mají velký prostorový rozsah (vytvářejí samostatná rozsáhlá geologická tělesa).

Podle způsobu a podmínek vzniku **můžeme rozdělit horniny na magmatické** (vyvřelé), **sedimentární** (usazené) a **metamorfované** (přeměněné).

Magmatické horniny vznik krystalizací a utužením přirozené silikátové taveniny označované jako magma. Záleží na tom, v jakých podmínkách a v jak velkých tělesech magma utuhlo. Podle toho se vyvřelé horniny rozdělují na **horniny hlubinné, žilné a výlevné**. Pokud magma zůstane v hloubce uvnitř zemské kůry, dochází vlivem různého výchozího chemizmu nebo různou **diferenciací magmatu** během pozvolného ochlazování, ke vzniku různých typů **hlubinných vyvřelých hornin**. Díky dlouhotrvající krystalizaci (řádově mil. roků) se hlubinné horniny vyznačují makroskopicky zrnitou hmotou. Velikost minerálů se zpravidla pohybuje od několika milimetrů až do několika centimetrů.



Lávový proud – příklad výlevné vulkanické horniny. Jedná se o čedič.

Má-li magma možnost prostupovat podél tektonických trhlin směrem k zemskému povrchu, vznikají v případě utužení magmatu v puklinách deskovitá tělesa různé mocnosti. Někdy dochází i k jejich větvení a v příčném pohledu pak při-

pomínají žíly v lékařském smyslu, od čehož je odvozen název **žilných hornin**. Tyto horniny se nezdá vyznačují hmotou, ve které jsou větší, okem viditelné krystaly minerálů obklopeny jemně zrnitou hmotou, která utuhla až v puklině rychlejším ochlazováním. Např. vyšší koncentrací těkavých složek, jako H_2O , CO_2 , F, B, může krystalizace i v těchto místech vést ke vzniku zvláštní žilné horniny pegmatitu s krystaly o rozměru i několik decimetrů.

Dostoupí-li magma až k zemskému povrchu a dojde k jeho výlevu, vznikají **horniny výlevné (vulkanity)**. Ochlazování taveniny na povrchu (**lávy**) probíhá ve srovnání s předchozím velmi rychle, a to podmiňuje často makroskopicky celistvý vzhled hmoty vulkanitů.

Sedimentární horniny jsou nejrozšířenějšími horninami na zemském povrchu. Vznik sedimentárních hornin lze rozdělit na několik fází:

- **zvětrávání** hornin (magmatických, metamorfovaných nebo starších sedimentárních)
 - *fyzikální* (sluneční záření, mráz, kořeny rostlin),
 - *chemické* (živce na jílové minerály; slidy poměrně dobře odolávají zvětrávání – často součástí klastických sedimentů).
- **přenos (transport)** zvětralého materiálu různými transportními činiteli (voda, vítr, zemská přitažlivost, ledovce) v podobě klastických částic nebo formou roztoků,
- **usazování (sedimentace)** přeneseného materiálu v sedimentačních prostředích různého charakteru, může jít o hromadění klastických částic nebo srážení minerálů z roztoku,
- **zpevňování (diagenese)** usazeného materiálu, a to buď **kompakcí** (stlačením) vlivem tíhy nadloží, nebo chemickou cestou tzv. **cementací**, při níž dochází k vysrážení některého minerálu tvořícího v klastických sedimentech **tmel**. Diagenézí zpevněné sedimenty považujeme za **horniny skalní**. Příkladem může být vznik pískovce z písku nebo slepence ze štěrku.

Sedimentární horniny vznikají exogenními procesy za běžných povrchových podmínek a teplot. K základním sedimentárním procesům patří zvětrávání, transport, sedimentace a diagenese, přičemž transport a diagenese nemusí u některých hornin proběhnout.

Podle procesů, které vedly k jejich vzniku, se dělí na klastické (tvořené hlavně úlomky hornin a minerálů) a cementační (neklastické, biochemické).

Klastické horniny se dále dělí podle velikosti částic (klastů) na psefity, psamity, aleurity a pelity. V každé z těchto skupin lze rozlišit horniny zpevněné a nezpevněné.

Cementační sedimenty se dělí především na základě jejich látkového složení. Patří zde karbonátové sedimenty, silicity, allity, ferolity, manganolity, fosfority, evapority a kaustobiolity.

Mezi oběma skupinami existují i přechodné sedimenty, např. slíny (směsi karbonátů a pelitů). Stejně tak lze najít horniny na pomezí sedimentů a meta-



Hlubokomořské sedimentární horniny – charakteristické střídání jemnozrnných a hrubozrnných sedimentů.

morfovaných hornin (např. jílové břidlice), protože mezi diagenézí a není jasně stanovená hranice.

Metamorfované horniny vznikají metamorfózou (přeměnou) magmatických, sedimentárních nebo starších metamorfovaných hornin. Metamorfóza je poměrně složitý proces, při kterém dochází k přizpůsobování již existujících hornin novým fyzikálně-chemickým podmínkám prostředí, do nichž se postupně dostávají vlivem neustále probíhajících geologických procesů. Z hlediska geologické pozice probíhá metamorfóza obvykle v hlubších částech zemské kůry. Od magmatických procesů je odlišná tím, že horninový materiál zůstává v průběhu metamorfózy v pevném stavu (**nevzniká magma**). Při procesech metamorfózy dochází ke změnám stavby hornin, minerálního a obvykle i chemického složení. Vznikají při tom nové minerální asociace a mění se složení jednotlivých minerálů (dochází k rekrystalizaci).

Metamorfóza je děj, který nelze přímo pozorovat, a proto jsou podmínky, při nichž probíhá, pouze odhadovány. Uvádí se, že všesměrný tlak narůstá asi o 25 MPa na 1 km hloubky a teplota se pohybuje v intervalu od několika desítek °C, do teplot přesahujících 1000° C.

Existuje škála přírodních procesů, které vedou k metamorfóze. **Regionální metamorfóza** má největší význam. Svými účinky postihuje rozsáhlá území

(řádově stovky až tisíce km²) a probíhá velmi dlouho, pravděpodobně desítky milionů let. V jejím průběhu vznikají **krystalické břidlice** - horniny, většinou, s výraznou plošně-paralelní (břidličnatou) texturou.

K lokální metamorfóze dochází anomálními změnami podmínek v prostorově omezených částech zemské kůry. Probíhá mnohem rychleji než metamorfóza regionální, několik sekund až několik tisíc let. V rámci lokální metamorfózy se vymezuje několik podtypů:

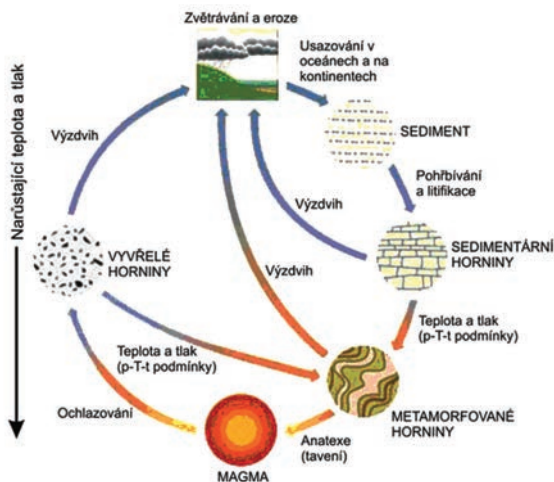
- *metamorfóza kontaktní* – probíhá na kontaktech vyvřelých hornin. Buď na kontaktu žhavé lávy (přibližně 1 200 °C), vyvržené ze sopky, s okolními horninami nebo na kontaktu magmatu v plutonech, pních či žilách pod zemským povrchem s okolními horninami.
- *metamorfóza dislokační* – způsobena drcením hornin na zlomech a v pásmech kolem nich. Nejčastěji takto vznikají mylonity a kataklazity, ovšem při intenzivnější dislokační metamorfóze mohou vznikat i některé druhy krystalických břidlic
- *metamorfóza šoková* – je nejrychlejším typem metamorfózy a probíhá obvykle jen několik sekund. Příkladem může být metamorfóza hornin po nárazu meteoritu na zemský povrch nebo při podzemním jaderném výbuchu.
- *kaustická metamorfóza* – přeměna hornin v důsledku prohořívání uhelných slojí.



Porcelanit – příklad kaustické metamorfózy, kdy hornina vzniká prohřátím sedimentů v důsledku prohořívání uhelných slojí.

V průběhu času horniny neustále vznikají a na druhé straně, působením geologických procesů zanikají, anebo mění své vlastnosti či složení. To vše

je ovlivňováno takzvanými endogenními (vnějšími) a exogenními (vnitřními) procesy. Endogenní procesy jsou geologické děje, které probíhají v litosféře pod povrchem Země. Oproti tomu exogenní procesy probíhají na povrchu litosféry, obvykle za přispění vlivu atmosféry, hydrosféry a často i biosféry. Vzájemné působení endogenních a exogenních procesů tvoří dohromady horninový nebo taky **geologický cyklus**.



SFÉRICKÁ ASTRONOMIE

Radek Kraus

Obor astronomie, který se zabývá určením zdánlivé polohy a pohybu nebeských těles promítajících se na nebeskou sféru. Na tyto pohyby má vliv celá řada faktorů – aberace, paralaxa, precese, nutace, pohyb pólů a refrakce. Pro stanovení poloh na nebeské sféře se využívá tzv. sférické trigonometrie. S jejíž pomocí je určována poloha tělesa v daném čase. Poloha se vyjadřuje dvojicí souřadnic (sférických souřadnic) – deklinace a rektascenze. K základním znalostem v oboru sférické astronomie patří celá řada termínů – zenit, nadir, horizont, souhvězdí atd. a dovedností jako je například nastavení dalekohledu na paralaktické montáži.

Elektronické studijní texty

1. KILKENNY, Dave. *Basics - I. Positional astronomy* [online]. National Astrophysics and Space Science Programme [cit. 2014-07-22]. Dostupné z: <http://www.star.ac.za/course-resources/local/david-buckley/basics1.pdf>.

2. CIARDULLO, Robin. Notes on Spherical Astronomy. In: *Course Astro 501 -- Fundamental Astronomy* [online]. Department of Astronomy and Astrophysics Penn State University, 2004 [cit. 2014-07-22]. Dostupné z: http://www2.astro.psu.edu/users/rbc/a501/wade_spherical.pdf.
3. LAKOMÁ, Hana a Veronika DOUCHOVÁ. *Sférická trigonometrie v matematické geografii a astronomii* [online]. 1. vyd. PRAHA: ČVUT, 2002 [cit. 2014-07-22]. Dostupné z: <http://mat.fsv.cvut.cz/lakoma/KOGG/2014/SferikaSkriptum.pdf>.

Kvalifikační práce

HLOŽEK, Martin. *Sférická geometrie* [online]. Plzeň, 2005 [cit. 2014-07-22]. Dostupné z: http://geometrie.kma.zcu.cz/work/cd/dp_sferickageo.pdf. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce RNDr. Světlana Tomiczková.

Praktické odkazy na databáze

1. Hvězdářská ročenka: <http://rocenka.observatory.cz/index.php?issue=2014&action=loginpage&getback=1>
2. Heavens-Above (databáze efemerid): <http://www.heavens-above.com/>

LETY DO STRATOSFÉRY A MOŽNOSTI ZAPOJENIA ŠTUDENTOV

Jakub Kapuš

Stratosférické, balónové lety sa v posledných rokoch začali tešiť veľkej obľube. Vďaka novým technológiám a cenovej dostupnosti sa do stratosféry dostalo množstvo najrôznejších hračiek či po domácky zhotovených zariadení. Avšak táto časť Zemskej atmosféry, vďaka podmienkam ktoré v nej panujú je



veľmi zaujímavá aj pre vedecké, či technologické experimenty.

Predstavme si stratosféru. Je to časť zemskej atmosféry ktorá siaha od výšky približne 10 km až do výšok okolo 50 km od zemského povrchu. Atmosférický tlak v stratosfére sa pohybuje v jednotkách hektopascalov, nie je tam žiadna vlhkosť a teploty sa pohybujú až k -70 stupňom celzia. Aj vďaka týmto parametrom sa stratosféra niekedy nazýva aj ako hranica, či predsieň vesmíru. Navyše podmienky v stratosfére sa v mnohom približujú aj podmienkam na povrchu planéty Mars, čo činí zo stratosféry veľmi zaujímavý a najmä dostupný priestor pre najrôznejšie experimenty.

Slovenská organizácia pre vesmírne aktivity (SOSA) zrealizovala prvý stratosférický let - JULO1 v roku 2010. Predchádzala mu približne dvojročná príprava a počas nej sa sformoval tím s veľkým potenciálom pre ďalšie kozmické aktivity a projekty. Pôvodným zámerom projektu bolo ukázať, že aj malá krajina, ako Slovensko môže pôsobiť na poli kozmických technológií a prispieť k diskusii o vstupe Slovenskej republiky do Európskej vesmírnej agentúry ESA.

Po vypustení prvej sondy nasledoval druhý štart - JULO2 v roku 2012. Jednalo sa o zdokonalenú verziu sondy, ktorej architektúra sa v mnohom podobá na satelit typu CubeSat. JULO2 absolvoval sedem úspešných letov s experimentálnym či komerčným nákladom.

V tom istom roku na pôde Hvezdárne vo Valašskom Meziříčí vznikla idea študentských letov s experimentálnym či vedeckým nákladom. Táto idea sa rozrástla do reality v podobe cezhraničného projektu s názvom **“Společne do stratosféry”**. Počas jedného roka trvania tohto veľmi úspešného a prínosného projektu štartovalo celkom 5 stratosférických sond JULO-X s takmer desiatkou študentských a vedeckých experimentov. Samotné experimenty boli navrhované študentami v rámci študentskej súťaže a najúspešnejšie z nich boli vybrané k letom na hranicu vesmíru. Súťaže sa zúčastnila široká paleta študentov zo stredných a vysokých škôl. Na palube boli vynesené technologické, fyzikálne ale aj biologické experimenty a spolupráca ktorá započala medzi partnermi projektu a študentami znamená veľmi sľubný základ pre budúce spoločné česko-slovenské kozmické aktivity.

Slovenská organizácia pre vesmírne aktivity, chce aj takýmto spôsobom motivovať a povzbudzovať mladých ľudí na Slovensku, ale aj v zahraničí. Chceme, aby sa možno aj cez vesmír a vesmírne aktivity dostali k štúdiu technických smerov. Aby aj cez projekty stratosférických letov zistili, že študovať techniku je dnes naozaj in.

Stratosférické balónové lety sú dôkazom toho že, vesmír nie je od nás vzdialený na svetelné roky. Na jeho dobývanie nepotrebujeme miliardové rozpočty, ale v prvom rade nápady, odvahu a cieľavedomosť ich realizovať.

ÚVOD DO CCD ZOBRAZOVÁNÍ

Jiří Srba

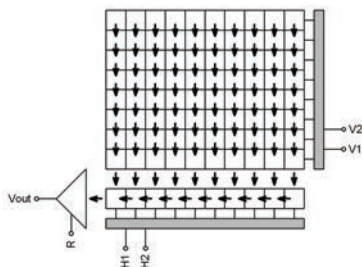
CCD prvky vynalezli W. Boyle a G. E. Smith (Bellovy laboratoře) v roce 1969 a v roce 2009 za svůj objev obdrželi Nobelovu cenu za fyziku. **CCD** (*Charge-Coupled Device*) vznikly původně jako experimentální počítačová paměť. Jejich schopnost převádět příchozí světlo na elektrický náboj z nich však udělala ty nejlepší polovodičové detektory světla.

Základní princip je poměrně jednoduchý: dopadající světlo vyrazí v křemíkovém čipu elektron (vytvoří elektrický náboj). Elektrony však nemohou přes čip cestovat volně, protože obsahuje mřížku negativních potenciálních stěn (pásky se záporným nábojem, které odpuzují elektrony) a elektrody (rovněž pod negativním napětím), které vytvářejí ohraničené oblasti tzv. potenciálové studny. Každá potenciálová jáma dobře reprezentuje jeden pixel („*pixel*“ je zkratka pro „*picture element*“, základní nejmenší prvek v obraze). Počet pixelů v horizontálním a vertikálním směru, jakož i fyzickými rozměry jednoho pixelu, představují základní charakteristiky CCD čipu. Pixels vystavené většímu množství světla obsahují více elektronů a naopak. Náboj se v pixelech hromadí a CCD tak mohou detekovat světlo i z velmi slabých zdrojů prostým prodloužením expozice.

Skupiny elektronů, které představují náboj na jednotlivých pixelech, jsou posunuty do výstupního uzlu CCD, kde je elektrický náboj převeden na napětí. Toto napětí se objeví na výstupním pinu CCD. Elektronika následně napětí změří a konvertuje napětí každého pixelu na čísla pomocí analogově digitálního převodníku (*ADC-Analog Digital Converter*). Informace o náboji uloženém v každém pixelu (číslo představuje počet elektronů a tím i počet detekovaných fotonů) pak vytvoří datový soubor obrazu.

Uspořádání pixelů může být různé. Jediná řada pixelů tvoří lineární CCD. Častější je uspořádání pixelů do matice, která vytváří plošný obraz najednou.

Pixely zaznamenávající informaci o intenzitě světla jsou uspořádány do sloupců. Použití odpovídajícího napětí na vertikálních elektrodách posune celý obraz (všech pixelů) podél sloupců o jeden řádek dolů. To znamená, že všechny obrazové řádky se přesunou na další řádek, pouze nejnižší řádek se přesune do tzv. horizontálního registru. Horizontální registr může být potom posunut pomocí horizontálních elektrod do výstupního uzlu pixel po pixelu. Čtení pole CCD znamená vertikální posuny náboje doprovázené s horizontálními posuny registru a digitalizací jednotlivých obrazových bodů.



Pole CCD může mít různé konstrukce:

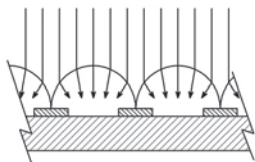
Čipy typu Full Frame: světlu je vystavena celá plocha čipu. K zakrytí čipu během vyčítání je nutné použít mechanickou závěrku, jinak dojde ke znehodnocení obrazu dodatečným světlem. FF zařízení se nejlépe hodí pro astronomické účely, protože ke sběru světla využívají maximální plochu. Přístroje s opravdu vysokou kvantovou účinností Q_E jsou vždy FF zařízení.

Čipy typu Frame Transfer (FT): obsahují dvě oblasti, jedna je vystavena světlu (Imaging Area-IA) a druhá je pokryta neprůhlednou vrstvou (Storage Area-SA). Jakmile expozice skončí, obraz je velice rychle přenesen z IA do SA.

Čipy typu Interline Transfer (IT): pracují podobně jako FT zařízení (které jsou také vybaveny elektronickou závěrkou), ale jejich skladovací plocha je proložena samotným snímkem. Pouze liché sloupce akumulují světlo, sudé sloupce jsou pokryty neprůhledným stíněním. Liché sloupce jsou na konci expozice rychle převedeny do sudých sloupců, a sloupce jsou pak posunuty do horizontálního registru a digitalizovány. Prokládání obrazu a skladovacích sloupců u IT čipů omezuje sběrnou plochu čipu. Tento efekt může být částečně eliminován pomocí pokročilých výrobních technologií (například použitím mikročoček).

Frame Read CCD snímače (FR): Jedná se o kombinaci prokládané a progresivní architektury, která umožňuje zúžení neprůhledných sloupců a tím zvýšení citlivosti čipu. Každé dva body v sousedních řádcích hrají úlohu jednoho pixelu v neprůhledném sloupci, který pak může být jen z poloviny tak široký, protože každý pixel je dvakrát vyšší. Oblast pixelu a také jeho dynamický rozsah zůstává stejný.

Kvantová účinnost CCD (Q_E) určuje, kolik fotonů dopadajících na detektor je převedeno na signál. Q_E kolem 30 % znamená, že přibližně každý třetí foton vygeneruje elektron v CCD.



Q_E čipu je ovlivňována řadou výrobních technologií: negativní účinek má stínění elektrod na povrchu čipu. Efekt může být snížen použitím transparentního materiálu k vytvoření malé čočky nad každým pixelem. Tyto čočky soustředí světlo z necitlivých částí čipu (nad nimiž jsou umístěny elektrody) na citlivá místa.

Nejllepší možné Q_E lze dosáhnout pomocí tenčených čipů osvětlovaných ze zadní strany (back illuminated). Čip je instalován „vzhůru nohama“, takže elektrody a ostatní stínící architektura čipu zůstává na spodní neosvětlované spodní straně čipu. Veškerá plocha čipu pak sbírá světlo. Výroba back-iluminated čipů je však drahá a tyto čipy mají i některé negativní vlastnosti, jako je vznik interfe-

renčních obrazců způsobených atmosférickým IR zářením apod.

Kvalita obrazu je však určena výsledným poměrem signálu k šumu, nejen čistě kvantovou účinností. Například dvakrát lepší Q_E a čtyřikrát vyšší úroveň šumu dává dvakrát horší poměr signál/šum (S/N). To znamená, že méně citlivý čip s nízkým tepelným šumem může přinést lepší výsledky než srovnatelně chlazený vysoce citlivý čip s větším tepelným šumem.

Povšimněme si jedné vlastnosti CCD čipů často využívané v astronomii. Jednotlivé pixely mohou být elektronicky sečteny (binovány, binning). Je možné přenést náboj z jednoho pixelu do jiného, než dojde k jeho vyprázdnění. Náboj v cílovém pixelu pak představuje osvětlení dvou sousedních bodů. Binning je možné provést vertikálním posunutím dvou obrazových řádků do horizontálního registru, aniž by se první řádek vyčetl. Je také možné pixely binovat horizontálně posunem ve vodorovné ose až do výstupního uzlu bez nutnosti resetování po příchodu prvního signálu. Kombinace vertikálního a horizontálního binningu vede ke čtvercovému nebo obdélníkovému binningu. Například 2×2 binning je kombinací vertikálního a horizontálního binningu.

Použitím binningu se snižuje rozlišení a zvyšuje citlivost. Binning je velmi užitečný například jsou-li pixely mnohem menší než nejmenší detail, jaký dalekohled může zobrazit, ať už je to kvůli špatnému seeingu, dlouhé ohniskové vzdálenosti apod. Binning pak zvyšuje velikost pixelu a tím citlivost bez ztráty úhlového rozlišení – nebinovaný obrázek by byl zbytečně převzorkován.

CCD v astronomii

CCD detektory přinesly revoluci nejen v astronomii. První CCD detektory trpěly malou zobrazovací plochou, vysokým šumem, vysokou cenou a nízkým rozlišením ve srovnání s klasickým filmem. Všechny tyto nevýhody byly postupně odstraněny a dnes CCD nabízí lepší rozlišení a obrazovou plochu srovnatelnou s filmem. Výhody však zůstaly:

CCD jsou mnohem citlivější než film. Kvantová účinnost CCD používaných ve fotoaparátech může být kolem 30 %. Q_E CCD používaných v astronomických kamerách může být 60 % až 80 %. Tenčené back-iluminated CCD čipy dosahují v některých vlnových délkách dokonce 90 % Q_E . Velmi dobrý a citlivý film dosáhne Q_E cca. 3 % až 5 % Q_E .

CCD mají lineární odezvu na světlo (na rozdíl od filmů, které jsou naopak velmi nelineární). Lineární odezva detektoru je klíčem k aplikaci v přesné fotometrii. Porovnáme-li signál (hodnoty obrazových bodů), ze dvou hvězd na CCD snímku, můžeme se spolehnout, že množství světla přicházející z hvězd, je ve stejném poměru.

Poznámka:

Co je „*anti-blooming gate*“ a proč poškozuje linearitu? Takzvaný ‚blooming‘ nastává, když pixel dostane tolik světla, že generovaný náboj již nemůže být uložen v jeho potenciálové jámě (doschází k saturaci) a elektrony začnou proudit do okolních pixelů. Vznikají tak typické pruhy vystupující ze saturovaných pixelů v obraze.

Některé CCD využívají speciální elektrody určené k odvádění náboje v okamžiku, kdy se úroveň nasycení blíží k saturaci. Taková elektroda se nazývá ‚*anti-blooming gate*‘. Problém je, že *anti-blooming gate* neovlivňuje náboj na pixelu jen tehdy, když dosáhne určité úrovně, ale ovlivňuje množství náboje už od velmi nízkých hodnot. To je důvod, proč CCD snímače s *anti-blooming gate* jsou méně citlivé (mají nižší Q_E) a jsou méně vhodné pro fotometrické aplikace.

CCD křemíkový čip má velmi stabilní rozměry. Přesně definované fyzické rozměry umožňují přesné astrometrické aplikace. S použitím matematických technik (vážený průměr) je možné měřit polohu hvězd (nebo planetek, komet, supernovy, atd.) s přesností na cca. 1/10 pixelu.

CCD snímky jsou digitální datové soubory, jsou okamžitě k dispozici pro zpracování počítačem. Je možné prohlédnout obrázky pár sekund po uzavření závěrky. Je možné se v reálném čase ujistit, že objekt je ve středu zorného pole, nebo že dalekohled je správně zaostřen.

Digitální zpracování umožňuje další práci s digitálním obrazem. Jednu dlouhou expozici lze snadno rozdělit do několika kratších expozic a jednotlivé snímky lze elektronicky sečíst teprve následně. To umožňuje použití méně stabilních montáží – krátké expozice jsou méně náročné na přesnost navádění. Jeden zkažený snímek nezkazí celou sérii, atd.

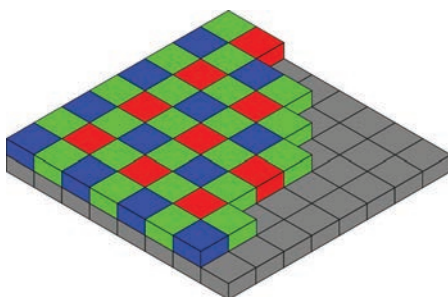
Složení více obrázků zlepšuje dynamiku obrazu. Digitálně lze navýšit rozsah jednoho pixelu z běžných 16 bitů na 32 nebo i 64 bitů (tady 2 na 64 úrovní).

Digitální snímky lze snadno archivovat, kopírovat, poslat kolegům e-mailem, zveřejnit na WWW stránkách, atd.

Několik slov o barvách

Lidé jsou dnes zvyklí vytvářet především barevné fotografie, z běžného života černobílé snímky zmizely spolu s černobílými novinami či televizí. Černobílé digitální fotoaparáty se na trhu nikdy objevily (přestože CCD snímač jako takový vytváří pouze obraz v úrovních šedé).

Abychom získali barevný snímek,



musíme měřit intenzitu světla ve třech barvách – obvykle červené, zelené a modré (RGB). CCD čip je však citlivý na všechny vlnové délky viditelného světla (a to včetně některých neviditelných částí spektra – IR, UV). Je tedy nutné použít barevné filtry a těmi přístup světla k jednotlivým pixelům omezit.

V zásadě existují **dva způsoby použití filtrů**:

Je možné provést samostatné expozice s použitím červeného, zeleného a modrého filtru. Je třeba provést tři expozice a vyměnit filtry mezi expozicemi. Tuto metodu není možné použít ke snímání obrazu rychle se pohybujících objektů (nepoužívá se tedy u digitálních fotoaparátů). Naopak je tato metoda běžná v astronomii.

Použití filtru přímo před CCD pixely (**Bayerova maska**). Jednou expozicí je možné získat úplné informace o barvě. Nevýhodou je snížení rozlišení a Q_E CCD čipu s barevnými filtry. Používá se u digitálních fotoaparátů.

Monochromatické CCD jsou schopné rekonstruovat barevný obraz astronomických objektů pomocí barevných filtrů. Ale pomocí CCD čipu s barevnou maskou lze vytvořit monochromatický obraz jen za cenu mnohem nižší QE a nižšího rozlišení.

CCD čipy s Bayerovou maskou mají jednu pevnou množinu filtrů bez možnosti jejich výměny. Astronomické aplikace však vyžadují nefiltrované snímky pořízené s maximální Q_E (barevná informace není důležitá) nebo použití filtrů s přesně definovanou propustností ve velmi úzké oblasti spektra (H α , OIII, apod.). K fotometrickým účelům se používají přesně definované profily propustnosti filtrů (například systém UBVR I), nikoliv běžné RGB filtry pro denní fotografii (jejich úkolem je napodobit barevné vnímání oka).

Čipy s barevnou maskou mají menší Q_E . Zatímco Q_E čipu bez masky je zhruba 80 %, Q_E stejného čipu s maskou je jen asi 25 %.

Barevné CCD čipy neumožňují jednoduchou aplikaci binningu (dojde k poškození barevné informace).

Monochromatické čipy umožňují kombinaci použití filtrů RGB s kvalitní expozicí jasu bez filtru (LRGB). Vzhledem k tomu, že informace o barvě je méně důležitá než informace jasu, je možné použít ke zvýšení barevné citlivosti binning a pouze expozici jasu provést v plném rozlišení.

Temný proud, čtecí šum CCD a jednotky A/D

Přirozenou vlastností CCD technologie je skutečnost, že elektrony v pixelech jsou generovány nejen dopadajícím světlem, ale také náhodně, v závislosti na teplotě čipu, na velikosti pixelů, architektuře čipu a výrobní technologii. Tepelně generovaný náboj nazýváme „temný proud“ (generuje signál, i v případě, že čip

je zcela ve tmě). Temný proud je obvykle vyjadřuje jako počet vygenerovaných elektronů za sekundu na pixel při definované teplotě. Například čip Kodak KAF-0400 generuje $1e^-/s$ na pixel při 0°C

Pozitivní věc na tmavém proudu je, že je za stejné teploty vždy stejný (nebo velmi podobný). Vezmeme-li obraz z CCD kamery, pak informace čtené ze snímače obsahují jak signál generovaný dopadajícím světlem, tak signál generovaný temným proudem. Je tedy možné provést stejnou expozici znovu, ale s uzavřenou závěrkou. Takový obraz bude obsahovat signál generovaný pouze temným proudem. Tomuto snímku říkáme „temný snímek“ (dark frame). Je možné jej jednoduše odečíst od původního obrázku (s obrazovými daty) a vliv temného proudu z něj odstranit.

Temný proud není jediným zdrojem nežádoucího šumu na CCD snímku. Již jsme popsali mechanismus čtení CCD. Konverzní elektronika ovládající posun náboje po snímači nemůže pracovat bez šumu. Tento šum je také charakteristický pro určitý čip a je často vyjádřen v elektronech. Například čtecí šum zmíněného čipu Kodak KAF-0400 $15 e^- \text{ RMS}$. Jednoduše řečeno, není možné získat obraz s lepší přesností než $15 e^- \text{ RMS}$, bez ohledu na to, jaké je teplota čipu. Je třeba také zdůraznit, že výstupní napětí je digitalizováno externí elektronikou, která rovněž zavádí do obrazu další šum.

Je třeba si uvědomit, že šum elektronického čtení je vyjádřen v elektronech. Ale elektronický šum je obvykle vyjádřen v RMS voltů. Vztah je velmi jednoduchý: každý CCD čip (nebo jeho výstupní uzel) je charakterizován poměrem „voltů na elektron“. Například Kodak KAF-0400 CCD konvertuje 1 elektron na výstupním uzlu na napětí $10 \mu\text{V}$.

Výsledkem stažení CCD čipu je obraz – pole čísel, a každé jedno číslo představuje jas jednoho obrazového pixelu. Čísla jsou generována pomocí A/D převodníku v elektronice kamery. Máme tedy parametr kamery vyjádřený v elektronech na ADU (ADU znamená *Analog Digital Converter Unit*, označovaný také jako „count“). Každý výstupní uzel CCD převádí elektrony na napětí v určitém poměru a každá kamera převádí napětí na ADU. Je tedy možné jednoduše vypočítat výsledný poměr e^-/ADU .

Předpokládejme hypotetickou kameru, která má 16-bitový A/D převodník s rozsahem 2 V. To znamená, že signál 2 V je rozdělen na 2^{16} (tedy 65 536 úrovní) – tedy představuje $2 \text{ V} / 65\,536 = 30,5 \text{ mV}$. Předpokládejme, že máme CCD s $10 \mu\text{V}$ na výstupním uzlu elektroniky. Výsledný poměr je $(30,5 \text{ mV} / \text{ADU}) / (10 \text{ mV} / e^-) = 3 e^-/\text{ADU}$. To znamená, že náboj 3 elektronů v každém pixelu způsobuje přírůstek o jedna (count) ve výsledném obraze.

Poměr počtu elektronů na ADU je důležitý také v souvislosti s kapacitou CCD. Každá potenciálová jáma reprezentující CCD pixel má určitou kapacitu, obvykle v závislosti na velikosti pixelu. Malé pixely (asi 6 mikronů) jsou schopné obvykle udržet náboj kolem 50 000 e^- . Středně velké pixely (kolem 10 mikronů)

pojmeou cca. 100 000 e^- a velké pixely (kolem 25 mikronů) můžou mít kapacitu až 300 000 e^- .

CCD kamery obvykle využívají 16-bitový AD převodník, což má za následek rozlišení 65 536 ADU. Je jasné, že převod 50 000 e^- do 65 536 úrovní nemá význam a pro takový čip je dostačující 15 nebo dokonce 14-bitový převodník. Na druhé straně převod 300 000 e^- na 65 536 úrovní vede k 4 nebo 5 e^- /ADU, což je naopak velmi vhodné.

Nejen jednotlivé obrazové body, ale také horizontální registr pixelů a výstupní uzel mají omezenou kapacitu. Tuto skutečnost je třeba vzít v úvahu, a to zejména při používání binningu.

Pixel a velikost obrazu

Úhlové rozlišení daného dalekohledu závisí na vlnové délce záření a průměru objektivu. To je důvod, proč úhlové rozlišení malých 5 cm refraktorů je 1000× lepší než úhlové rozlišení radioteleskopu o průměru 100 m (přijímáme vlnovou délku rádiových vln 1 m, průměr antény je 2000× větší, ale vlnová délka je 2 000 000 × větší). Vlnová délka viditelného světla je mezi 400 a 700 nm.

V praxi je rozlišení přístroje ovlivněno především jinými faktory, například turbulencí vzduchu. Kvalita obrazu hvězdy bývá označována jako „seeing“ a je obvykle vyjádřena jako úhlová velikosti obrazu hvězdy. Typický obraz hvězdy je rozmazaný seeingem na kroužek o průměru 3“ nebo 4“ (většinou hovoříme o FWHM). Je-li průměr hvězdy kolem 2“ nebo menší, je seeing velmi dobrý. Na druhé straně velmi špatný seeing deformuje obraz hvězdy na 6“ nebo dokonce 8“. Vezmeme-li v úvahu seeing, zjistíme, že typický amatérský dalekohled o průměru 25 cm dosahuje téměř seeingem limitovaného rozlišení, takže zvětšení průměru objektivu přinese již jen zkrácení expozice a ne zvýšení rozlišovací schopnosti.

„Ideální“ obraz hvězdy má FWHM dva pixely. Hvězda, která na obraze pokrývá jen jeden pixel, je takzvaně podvzorkovaná (snižuje se přesnost určení polohy, neboť není možné určit těžiště obrazu). U hvězdy, která naopak překrývá příliš mnoho pixelů, dochází dělení toku na příliš mnoho částí a obraz je převzorkován.

Kalibrace obrazu

Obraz stažený z kamery je označován jako syrový (raw). Jeho dalším zpracováním lze eliminovat horké (hot) nebo (cool) pixely, odstranit nechtěné gradienty, snížit šum, atd.

Zpracování obrazu pomůže obraz vylapšit, ale za cenu změny obsažené informace. Řada operací tak může být provedena jen se snímky určenými

ke zveřejnění (odborně hodnotné informace mohou být nenávratně ztraceny). Základní kalibrace všech pořízených snímků je však nutná. V závislosti na CCD kameře, dalekohledu (nebo objektivu) či zobrazeném objektu může být kalibrace poměrně složitá.

Základní kalibrace obrazu se v podstatě skládá ze dvou kroků: **odečtení temného snímku** (dark frame) a **aplikace plochého pole** (flat field)

Syrový snímek je ovlivněn tepelným šumem a nerovnoměrným osvětlením pole. Účelem odčítání temného snímku je odstranění (snížení) tepelného šumu ze snímku s obrazovými daty. Jak již bylo řečeno, temný proud CCD je úměrný teplotě. Tepelný šum se zdvojnásobuje každých cca 6 °C, v závislosti na architektuře čipu. Náboj nahromaděný v pixelech je také přímo úměrný době expozice (temný proud je vyjádřen v elektronech na pixel za sekundu při definované teplotě). Pro snížení tepelného šumu obrazu je temný snímek odečten a měl by být získán při stejné teplotě a stejnou expozicí, jak je obraz.



Ukázka temného snímku

Některé softwarové balíky vyžadují temný snímek exponovaný časem nula (nekratší možná expozice) a označují jej jako „bias frame“.

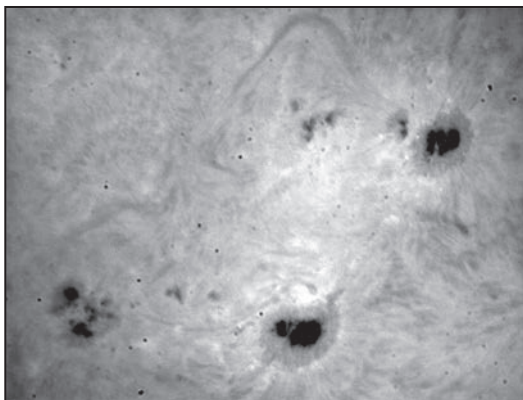
Závislost temného proudu na teplotě je důvod, proč chlazené kamery potřebují regulované chlazení. Je-li kamera schopna elektronicky udržet teplotu čipu na dané úrovni, odpadá nutnost pořizovat více temných snímků při různých teplotách a jejich interpolace je eliminována. Vypočtený temný snímek je vždy méně přesný než temný snímek fyzicky pořízený za stejných podmínek. Pořízení temných snímků vyžaduje uzavření mechanické závěrky nebo zakrytí dalekohledu krytkou.

Zorné pole dalekohledu je často osvětleno nerovnoměrně, především na okrajích může být intenzita osvětlení nižší než ve středu. Rovněž prachové částice na filtru nebo vstupním okénku CCD kamery vytváří kruhové obrazy se sníženou intenzitou. Také vlastní reakce jednotlivých pixelů na osvětlení může být různá. Obraz rovnoměrně osvětlené plochy se pak jeví jako soustava více či méně jasných pixelů.

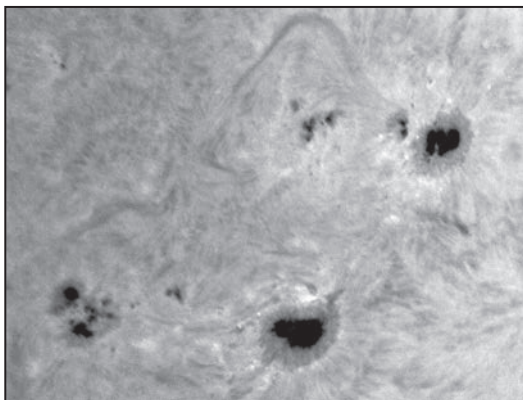
Všechny tyto efekty ovlivňují nerovnoměrnost jasu obrazu a způsobují nejen estetické artefakty, ale také snižují přesnost měření. Lze je odstranit použitím takzvaného „flat field“ (plochého pole).

Flat field je obraz rovnoměrně osvětlené plochy. Všechny variace jasu na flat fieldu jsou (za ideálních okolností) způsobeny dalekohledem nebo kamerou, nikoliv objektem na snímku. Ideální úroveň naexponování flat fieldu je asi na polovině rozsahu (průměrná hodnota by měla být kolem 32 000 pro 16-bitové kamery). Použití flat fieldu znamená vynásobení každého pixelu obrazu průměrnou hodnotou flat fieldu a následné vydělení hodnoty každého pixelu obrazu příslušným pixelem plochého pole.

Flat field je potřeba získat znovu při každé změně nastavení dalekohledu a rovněž zvláště pro všechny používané filtry. Flatfield lze získat nafotografováním rovnoměrně osvětlené plochy (uměle vytvořené) nebo modré oblohy za soumraku. Flat field se exponuje většinou jinou expozicí než snímek oblohy. Jedná se však o datový snímek, který je potřeba opravit příslušným temným snímekem.



Snímek před aplikací plochého pole (flat fieldu)



Snímek po aplikaci plochého pole (flat fieldu)

Zdroj

Manuál k programu SIPS v2.3, ke stažení: <http://www.gxccd.com/download?id=340&lang=405>

Obsah

ZÁKLADY FYZIKY MECHANIKA A TERMODYNAMIKA V POKUSECH	1
CCD DETEKTORY PRAKTICKY, SEZNÁMENÍ S DOSTUPNOU POZOROVACÍ TECHNIKOU, ÚLOHY	10
STAVEBNICE MANIPULÁTORU - ZÁKLADNÍ INFORMACE	11
ZÁKLADY AUTOMATIZACE A ROBOTIKY - ALGORITMY	12
ZÁKLADY GEOLOGIE – VZNIK A VÝVOJ HORNIN	16
SFÉRICKÁ ASTRONOMIE	20
LETY DO STRATOSFÉRY A MOŽNOSTI ZAPOJENIA ŠTUDENTOV	21
ÚVOD DO CCD ZOBRAZOVÁNÍ	23



© 2014, Hvězdárna Valašské Meziříčí, p.o., Vsetínská 78, 757 01 Valašské Meziříčí

Grafika a sazba: Naděžda Lenžová

Vytiskla: Hvězdárna Valašské Meziříčí, p. o.



Publikace byla vydána jako metodický a studijní materiál v rámci aktivit projektu Vědou a technikou ke společnému rozvoji. Partnerem projektu je Krajská hvězdárna v Žiline. Projekt je spolufinancován z EU v rámci Operačního programu přeshraniční spolupráce Slovenská republika – Česká republika 2007–2013 prostřednictvím Fondu mikroprojektů.

Neprodejně!





Práce se CCD technikou u dalekohledů



Hlavní budova Hvězdárny Valašské Meziříčí