6
2006

JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

FINE MECHANICS AND OPTICS

Optické a scintilační materiály a jejich studium v CERNu v Ženevě a v FZÚ AV ČR v Praze – spolupráce mezi optikou a fyzikou vysokých energií

ISSN 0447-6441
Index 46 723

XV CZECH-POLISH-SLOVAK OPTICAL CONFERENCE

Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics

Technical University Liberec, Czech Republic
September 11 - 15, 2006

Organizing Committee

Miroslav JEDLIČKA, chair
Maciej KUCHARSKI
Miloš KLÍMA
Miroslav MILER
Dagmar SENDERÁKOVÁ
Miroslav SVOBODA
Milena ZEITHAMLOVÁ

Contacts
Scientific Issues
(Abstracts, Submissions, Program)

Miroslav Miler
Institute of Radio Engineering and Electronics
of Academy of Sciences
Czech Republic
Email: miler@ure.cas.cz
Phone: +420266773430

Local Arragements
(Registration, Accommodation,
Social Program)
Action M Agency

Milena Zeithamlová
Vršovická 68
101 00 Prague 10
Czech Republic

E-mail: milena@action-m.com
Phone: +420 267 312 333
Fax: +420 267 310 503
WWW: www.action-m.com

International Scientific Committee

Jan BARTL (Slovak Republic)
Miron GAJ, honorary chair (Poland)
Ivan GLESK (Slovak Republic)
Petr HLUBINA (Czech Republic)
Miroslav HRABOVSKÝ (Czech Republic)
Zdeněk HRADIL (Czech Republic)
Romuald JOZWICKI (Poland)
Henryk KASPRZAK (Poland)
Miloš KLÍMA (Czech Republic)
Jiří KOMRSKA (Czech Republic)
Václav KOPECKÝ (Czech Republic)
Miroslav MILER, chair (Czech Republic)
Jerzy NOWAK, vice-chair (Poland)
Jan PEŘINA, vice-chair (Czech Republic)
Dagmar SENDERÁKOVÁ (Slovak Republic)
Przemyslav SZLACHETKA (Poland)
Tomasz SZOPLIK (Poland)
Anton ŠTRBA, vice-chair (Slovak Republic)
Miroslav ŠULC (Czech Republic)
František UHEREK (Slovak Republic)
Waclaw URBANCZYK (Poland)
Marek ZAJAC (Poland)

Topics

01 interferometry and holography
02 biomedical and environmental optics
03 fiber and guided wave optics
04 quantum and nonlinear optics
05 diffractive and singular optics
06 nanooptics and optical sensing
07 optical technologies and materials
08 optical measurements and devices
09 physics and technology of lasers
10 ultrafast optical phenomena
11 optics education

REDAKČNÍ RADA

Předseda: *RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, s.r.o., Přerov*

Členové: *RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, Ing. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Karol KAROVIČ, DrSc., Předsednictvo SAV, Bratislava, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, RNDr. Josef KRÁSA, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, Ing. Jiří KRŠEK, VUT, Brno, RNDr. Vojtěch KŘESÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno, doc. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDERÁKOVÁ, CSc., UK, Bratislava, prof. Ing. Karel STUDENOVSKÝ, DrSc., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava*

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Mooros University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

Vydává Fyzikální ústav Akademie věd České republiky za spoluúčasti The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) v Nakladatelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky.
Ředitel FZÚ AV ČR: *Ing. Karel JUNGWIRTH, DrSc.*
Odpovědný zástupce vydavatele: *Jan ŘÍDKÝ, CSc.*
Šéfredaktor: *dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA*
Adresa redakce v Olomouci *(předplatné, nakladatelské služby):*
SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc,
tel.: 585 631 576, fax: 585 631 531, e-mail: pelclova@optnw.upol.cz
Adresa redakce v Přerově *(šéfredaktor): Kabelíkova 1, 750 02 Přerov,*
tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.
Otisk povolen se svolením redakce a se zachováním autorských práv. Nevyžádané materiály se nevrací. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.
Předplatné: *Celoroční 420,- Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Českou i Slovenskou republiku. Do všech ostatních zemí je časopis JMO distribuován za jednotnou cenu 10 EUR/ks. Pro členy SPIE/CS činí předplatné 120,- Kč/rok. Předplatné pro studenty Bc., Mgr., Ph.D. a studenty středních škol při osobním odběru činí 120 Kč/rok; v případě zasílání poštou 300,- Kč/rok.*
Rozšiřuje *vydavatel, Podniková prodejna Meopta-optika, a.s., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov a KNIHKUPECTVÍ ACADEMIA, Václavské nám. 34, 110 00 Praha 1.*
V Slovenské republice je kontaktní místo: *prof. RNDr. Anton Štrba, CSc., katedra experimentálnej fyziky FMFI UK, Mlynská dolina F2/148,*
SK - 842 48 Bratislava, tel.: 00421 2 65 426 706,
e-mail: Strba@fmph.uniba.sk
V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:
prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., Žilinská univerzita - FPV, Hurbanova 15,
SK - 010 26 Žilina, tel.: +421 415 136 350, e-mail: ivo.cap@fpv.utc.sk
Tiskne *TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov,*
tel.: 573 398 746, e-mail: dtp@typoservis.cz
Inzerce: *redakce, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov,*
tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.
Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2006

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS

ROČNÍK 51 6/2006

OBSAH

Příběh Hubbleova kosmického teleskopu *(L. Lejček)..... 159*

RTG digitální kamera s vysokým rozlišením *(J. Touš, O. Petr) 164*

Malá výzkumná dálkově řiditelná vzducholoď *(F. Kobrzek, P. Mareček) 166*

Výpočet koeficientů vlnové aberace pomocí korekčních pásem *(A. Mikš, J. Novák)..... 169*

Základní klasifikační systémy barev pro digitální zobrazovací kolorimetrii *(J. Pospíšil, J. Hrdý, J. Hrdý, jr.)..... 175*

ECONOS'06 a prof. Wolfgang Kiefer na Slovensku *(I. Bugár, F. Uherek)..... 179*

SPIE/CS – společnost optiků informuje..... *180*

Sen o jednej krajine *(I. Turek)..... 181*

EuroBLECH 2006 – 19. mezinárodní veletrh technologie zpracování plechů *182*

4. mezinárodní sympozium o laserových, scintilačních a nelineárních optických materiálech *183*

Nejvýznamnější odborné technické veletrhy pořádané ve 2. pololetí 2006 *(jpe)..... 184*

Nový laserový interferometr LMS firmy Limtek *(J. Zeman)..... 186*

Z technické knihovny *(J. Novák) 187*

Obsah časopisu Jemná mechanika a optika je uveden na internetu: ***http://jmo.fzu.cz***

Informace o předplatném podá, objednávky přijímá, objednávky do zahraničí vyřizuje: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

Chairman: *Miloslav VYCHODIL - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.)*
Members: *Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Jan DUPÁK - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Pavol HORŇÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Karol KAROVIČ - Presidium of the Slovak Academy of Science, Bratislava (Slovak Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Josef KRÁSA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric, Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠŤÁK - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jan ŘÍDKÝ - Inst. of Physies of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Dagmar SENDERÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak rep.), Karel STUDENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),*

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Mooros University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

FINE MECHANICS AND OPTICS

Published by Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic under participation of The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) in the Publishing House of the Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic.
Director of Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic: *Karel JUNGWIRTH*
Editor: *Jan ŘÍDKÝ*
Managing Editor*: Jaroslav NEVŘALA*
Address of the Editor's office in Olomouc *(subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, Tři. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, phone: ++420 585 631 576, fax: ++420 585 631 531, e-mail: pelclova@optnw.upol.cz*
Address of the Editor's office in Přerov *(Managing Editor): Kabelíkova 1,750 02 Přerov, Czech Republic.*
Reproduciton only with permission of the Editor and under observing the copyright. Unasked manuscripts are not sent back. The authors are responsible for originality and correctness of their contributions.
Subscription fee: *Annual fee is 420,- CZK. This price of subscription is the same for both Czech and Slovac Republics. Fine Mechanics and Optics journal is distributed into other countries for uniform price 10 EUR/Pcs. For members of SPIE/CS the annual subscription fee is 120,- CZK. For Bc., Mgr., Ph.D. and secondary school students the subscription fee is 120,- CZK per year, annual subscription including postage is 300,- CZK.*
Distribution: *by the Publisher, Company Sales shop of Meopta-optika, a.s., Pfierov, Kabelíkova 1, 750 02 Pfierov, Czech Republic.*
Contact place for the Slovak Republic: *Anton Štrba, Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 15 Bratislava, phone: 00421 2 65 426 706, e-mail: strba@fmph.uniba.sk*
Printing: *TYPOservis Holešov, Masarykova 650, CZ-769 01 Holešov, phone: 573 398 746 (from abroad: ++420 573 398 746). e-mail: dtp@typoservis.cz*
Advertising: *editor's office, Kabelíkova 1, CZ-750 02 Přerov, fax: 581 242 222.*
Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2006

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 51 6/2006

CONTENTS

The Story of the Hubble Space Telescope *(L. Lejček) 159*

X-ray high resolution digital camera *(J. Touš, O. Petr) 164*

Small Experimental Remote Controlled Airship *(F. Kobrzek, P. Mareček) 166*

Calculation of wave aberration coefficients using correction zones *(A. Mikš, J. Novák) 169*

Fundamental color classification systems for the digital imaging colorimetry *(J. Pospíšil, J. Hrdý, J. Hrdý, jr.) 175*

ECONOS'06 and Prof. Wolfgang Kiefer in Slovakia *(I. Bugár, F. Uherek) 179*

SPIE/CS – society of opticians informs *..... 180*

Dream of one country *(I. Turek) 181*

EuroBLECH 2006 - 19th international fair for metal sheet processing technology *..... 182*

4th International Symposium on Laser, Scintillator and Nonlinear Optical Materials *..... 183*

The key technical fairs hold in the 2nd half year 2006 *(jpe) 184*

New laser interferometer LMS from Limtek company *(J. Zeman) 186*

From technical library *(J. Novák) 187*

You can also find the contents of the Journal on Internet:
http://jmo.fzu.cz

Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Lubor LEJČEK, Fyzikální ústav AV ČR, Praha

Příběh Hubbleova kosmického teleskopu

Dokončení článku z č. 5/06

4. KOSMICKÝ TELESKOP JWST

Dne 10. 9. 2002 vybrala organizace NASA společnost TRW, aby do roku 2010 vyrobila za 824,8 mil. USD nástupce Hubbleova kosmického teleskopu teleskop nové generace NGST (New Generation Space Telescope). Podle zprávy NASA 02-171 se bude tento teleskop nazývat Kosmický teleskop Jamese Webba (JWST). J. Webb byl druhým generálním ředitelem organizace NASA v období 1961 - 1968, kdy probíhaly práce na přípravách pilotovaného výzkumu Měsíce v rámci programu Apollo a zasloužil se i o realizaci dalších meziplanetárních výzkumů pomocí sond. Teleskop JWST bude vybaven primárním zrcadlem, které bude během startu složené a až na oběžné dráze bude rozloženo do průměru 6 m. Zrcadlo by mělo vážit jen asi třetinu váhy zrcadla současného HST. Vypuštění teleskopu bude zajištěno organizací ESA, která zaplatí raketu Ariane 5. Dalekohled pak bude přesunut do tzv. druhého Lagrangerova bodu L2 systému Slunce – Země ve vzdálenosti asi 1,5 mil. km od Země. Výhodou této dráhy kolem Slunce, kde se teleskop bude pohybovat v okolí bodu L2 je skutečnost, že se mezi teleskopem a Sluncem bude stále nacházet Země. Teleskop tedy bude snazší odstínit od tepelného záření jak Slunce, tak Země pomocí štítu umístěného jen na jedné straně teleskopu. Bude tak snazší ochlazovat jeho čidla a tak zvýšit jejich citlivost. JWST je optimalizován pro práci v oblastech vlnových délek od 0,6 do 28 mikrometrů, tj. pro pozorování částečně ve viditelném a hlavně v blízkém a středním infračerveném spektru. Předpokládá se totiž pozorování velice vzdálených galaxií s rudým posuvem 15 a více, jejichž ultrafialové záření se posunuje až do infračerveného spektra. JWST není zcela ekvivalentní náhradou HST, neboť nepokrývá celé viditelné spektrum. Poznamenejme, že výhodného místa v libračním bodě L2 již využívá sonda WMAP proměřující anizotropii mikrovlnného záření [7].

Cílem mise nového teleskopu je zkoumání procesů, které vedly k vytváření galaxií po rychlé expanzi a ochlazení Vesmíru v období mezi 1 milionem a několika miliardami let po Velkém třesku. Teleskop bude hledat první hvězdy a galaxie, které se vytvořily. Tato pozorování by mohla přispět například k odpovědi na otázku, zda první hvězdy vznikaly ve shlucích či individuálně a jaký byl mechanizmus jejich vzniku. Detailnější informace o JWST lze nalézt na internetové adrese [8].

5. VĚDECKÁ POZOROVÁNÍ POMOCÍ HUBBLEOVA KOSMICKÉHO TELESKOPU

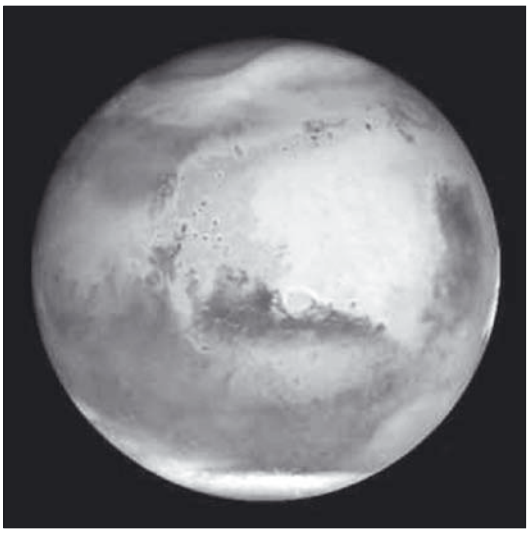
Po opravě v roce 1993 se konečně stal Hubbleův kosmický teleskop jednou z nejproduktivnějších astronomických observatoří. Přispěl jednak k potvrzení existence černých děr a dohlédl ke hvězdám galaxií, vznikajících asi miliardu let po vzniku Vesmíru. Jeho pozorování přispěla k upřesnění stáří vesmíru na 13,7 mld let. Pomocí HST bylo možné registrovat vývojové cykly vzdálených hvězd, sledovat vznik hvězd i poslední stádia jejich existencí. Byly katalogizovány i nově vznikající planetární soustavy. Ukazuje se, že vytváření nových planetárních systémů je častou událostí v naší galaxii. HST dovolil sledování i vnějších planet naší sluneční soustavy. Postupnou výměnou přístrojů byl HST zdokonalován, takže si udržuje své pozorovací kvality i v konkurenci zlepšujících se pozemských teleskopů s většími zrcadly. V nedávné době HST sledováním záření starých supernov přispěl k potvrzení pozoruhodného jevu, kterým je skutečnost, že se expanze Vesmíru nezpomaluje, ale zrychluje.

Pozorování a snímků kosmických objektů, které byly pořízeny Hubbleovým kosmickým teleskopem, je velké množství. V průběhu 16 let činnosti HST bylo získáno více než 750 000 fotografií a bylo zkoumáno na 24 000 kosmických objektů. Během té doby uskutečnil kosmický teleskop na 93 000 obletů Země. Rozsáhlá galerie snímků získaných HST je např. na internetových adresách [6,9].

V této části příspěvku se proto omezíme jen na vybrané příklady demonstrující typy pozorování prováděné pomocí HST. Tyto příklady jsou řazeny podle vzdáleností pozorovaných objektů. Nejprve se zmíníme o pozorování těles naší sluneční soustavy, pak objektům mimo sluneční soustavu do vzdáleností stovek světelných let (1 světelný rok = $9{,}46 \times 10^{12}$ km) a konečně vzdálenějším a vzdáleným galaxiím.

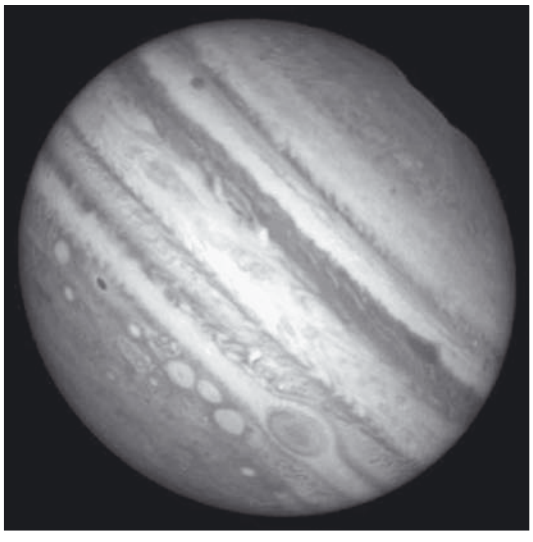
5.1 Pozorování planet a dalších těles naší sluneční soustavy

Povrch planety Mars je zajímavé fotografovat i pomocí Hubbleova kosmického teleskopu v obdobích, kdy se nejvíce přibližuje k Zemi. Například na snímku z 26. 6. 2001 (*obr. 4*), kdy se Mars nacházel asi 68 mil. km od Země, lze rozlišit detaily o velikosti 16 km. Jak již bylo zmíněno, pro toto období, kdy se Mars současně přibližuje ke Slunci, je typický výskyt prachových bouří. Na získaném snímku jsou pozorovatelné bouře v oblasti severní polární čepičky, další velká bouře se nacházela nad impaktní pánví Hellas na jižní polokouli.



Obr. 4 Pohled na Mars dne 26. 6. 2001 v období jeho největšího přiblížení k Zemi

HST se hodí i k dlouhodobému sledování dynamiky atmosféry planety Jupiteru. Asi před 60 léty byly v Jupiterově atmosférickém pásu jižně od Rudé skvrny pozorovány tři víry bílé barvy. Do roku 1998 se k sobě vzájemně přibližovaly a opět oddalovaly (*obr. 5*). Potom dva z nich splynuly. Dva víry, které zbyly, byly oblastmi vysokého tlaku o průměru asi 9000 km. Větry, rotující proti směru hodinových ručiček, v obou vírech dosahovaly rychlostí až 470 km/hod. V průběhu března a dubna 2000 i tyto dva víry splynuly,



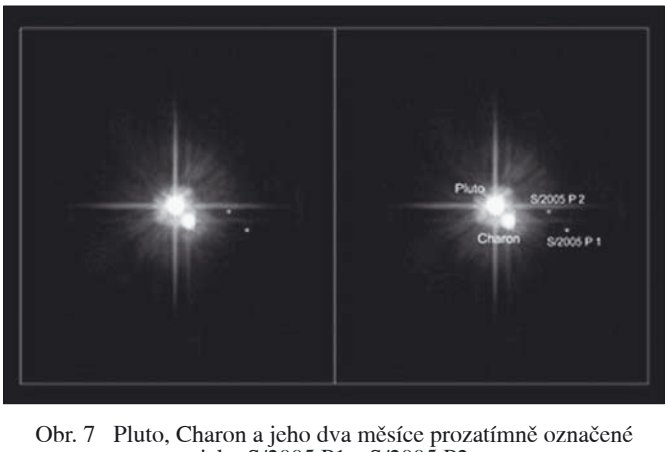
Obr. 5 Jupiter – tři velké atmosférické víry nedaleko Velké rudé skvrny

což bylo tentokráte možné pozorovat jak pozemskými teleskopy tak HST. Splynutím vznikl jediný vír, mající o třetinu větší průměr než původní víry. Toto pozorování podporuje představu, že velké víry zvyšují svou energii pohlcováním menších vírů.

Vždy zajímavé je i pozorování planety Saturn díky jejímu strukturovanému prstenci. Snímek na *obr. 6* je pohled na Saturn koncem roku 2004 před příletem sondy Cassini k této planetě.

Obr. 6 Saturn koncem roku 2004

Zajímavým objevem, uskutečněným kamerou ACS Hubbleova kosmického teleskopu, je i nalezení dvou měsíců obíhajících kolem Pluta a Charonu a označených jako S/2005 P1 a S/2005 P2 (*obr. 7*). Oba měsíce s odhadovaným průměrem mezi 60 – 160 km



Obr. 7 Pluto, Charon a jeho dva měsíce prozatímně označené jako S/2005 P1 a S/2005 P2

jsou asi 10× menší než Charon o průměru ~1212 km (Pluto má průměr kolem 2300 km). Objev dalších těles v soustavě Pluto – Charon podporuje teorii o vzniku všech těchto objektů v důsledku nějaké kolize v tzv. Kuiperově pásu. Je-li tomu tak, lze očekávat i přítomnost prstenců, tvořených úlomky po kolizi. Více informací o soustavě Pluto – Charon, jejich měsících a případných prstencích by nám měla přinést sonda New Horizons. Tato sonda odstartovala v lednu 2006 a dorazí k Plutu a Charonu v červenci 2015. Během průletu by sonda měla získat podrobné fotografie těchto těles a potom bude pokračovat v letu dále do Kuiperova pásu těles, obklopujících sluneční soustavu.

Hubbleův kosmický teleskop přispívá i ke studiu komet, jak o tom svědčí i případ komety LINEAR objevené v roce 1999 v rámci programu Lincoln Near Earth Asteroid Research (ze jména programu byl odvozen i název komety). Průlet komety kolem Slunce se stal pro astronomy zajímavějším, než se původně očekávalo. V období mezi 5. - 7. 7. 2000 bylo pozorováno zjasnění objektu a když se jas komety vrátil k normálu, ve chvostu komety byl pozorován úlomek jádra. Kometa prolétla v nejmenší vzdálenosti od Slunce dne 26. 7. 2000 a pozemská pozorování nebyla schopná v oblaku prachu zjistit stopy jádra komety. Na první pohled se tedy zdálo, že se jádro komety při průletu kolem Slunce rozpadlo na prach. Astronomové z Ústavu pro kosmický teleskop však rychle přeprogramovali HST a zkusili nalézt zbytky jádra. Snímky z HST ukázaly asi 6 úlomků v oblaku kometárního prachu (*Obr. 8*). Tyto úlomky, které se nyní chovají jako minikomety, jsou podle některých astronomů snad stavební bloky, ze kterých bylo jádro komety složeno. Rozpad komety však není nic neobvyklého. Odhaduje se, že asi 20 - 30 % komet se úplně rozpadne po průletu kolem Slunce.

Obr. 8 Rozpadlé jádro komety LINEAR

5.2 Planety mimo sluneční soustavu

Pomocí HST se podařilo provést první chemickou analýzu atmosféry planety mimo naší sluneční soustavu. Tato planeta obíhá Slunci podobnou hvězdu HD 209458 sedmé hvězdné velikosti ve vzdálenosti 150 světelných let v souhvězdí Pegasa. Planeta má hmotnost asi 220× hmotnosti Země a sklon její dráhy způsobuje, že se planeta dostane mezi hvězdu a Zemi. Planeta je ideální pro mnohanásobná pozorování, neboť oběhne hvězdu jednou za 3,5 dne. Nachází se totiž ve vzdálenosti asi 6 mil. km od hvězdy a kromě toho je její atmosféra zahřívána na 1100 °C. Když planeta přechází před hvězdou, zakrývá ji a intenzita světla hvězdy klesá. Analýza světla, prošlého atmosférou planety ukazuje, že planeta je primárně plynná, podobně jako Jupiter. Pomocí spektrometru HST bylo zjištěno, že se v atmosféře planety nachází sodík (NASA News 01-232). Pozorování tohoto typu by v budoucnosti mohla být využita k přímé detekci života mimo Zemi, neboť principiálně

dovolují zjišťovat v atmosférách extrasolárních planet plyny, vytvářené metabolizmem živých organizmů. Dosud se astronomům podařilo objevit na 80 planet, obíhajících blízké hvězdy.

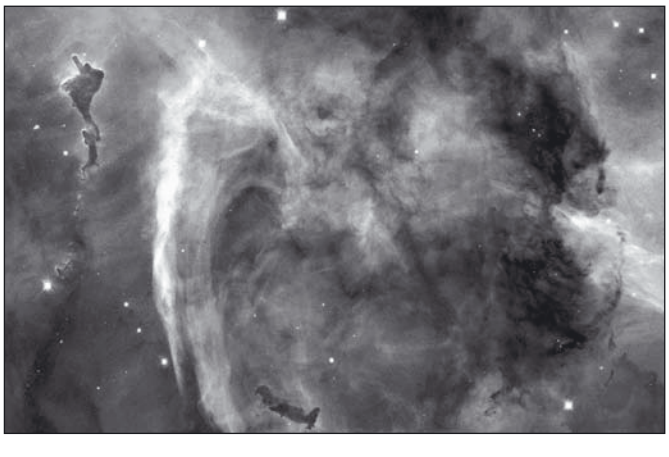
Existence prachového prstence kolem naší sluneční soustavy může být i vodítkem pro hledání hvězd s planetárním systémem. Zjistí-li se kolem hvězdy, která již není mladá, takový prstenec, je pravděpodobné, že tato hvězda má planety, asteroidy a jiná tělesa, jejichž srážky vedou k obnovování pozorovaného prstence. Podobné prstencové útvary již byly pozorovány pomocí kosmického teleskopu HST např. kolem hvězdy HR 4796A nebo v infračervené oblasti záření kolem hvězd Vega a Epsilon Eridani.

5.3 Pozorování galaxií a černých děr

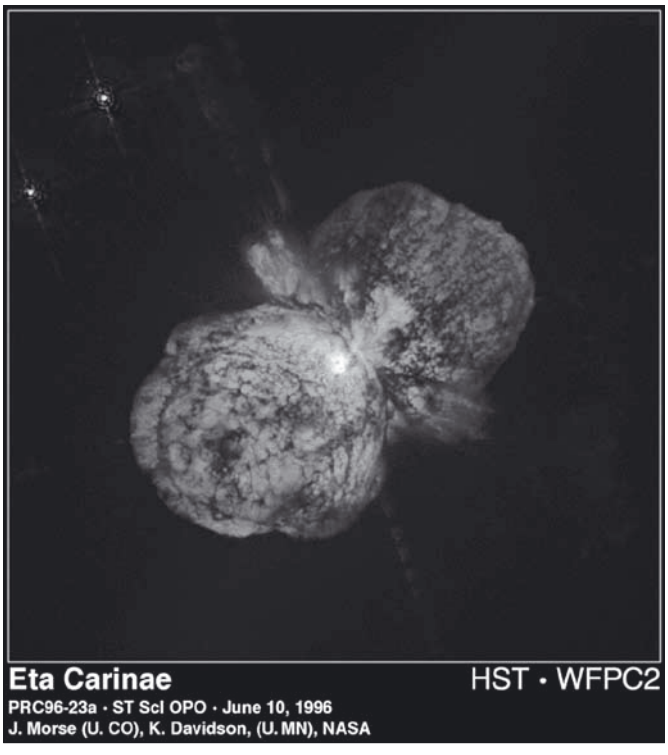
Pro sledování velice vzdálených galaxií je velice užitečným objektem masivní shluk galaxií, nazývaný Abell 2218 (*obr. 9*). Nachází se ve vzdálenosti 2 mld světelných let (rudý posuv 0,18) a jeho hmotnost je tvořena hmotností asi 10 000 galaxií, obsažených ve shluku. Abell 2018 působí jako gravitační čočka, dovolující pozorovat vzdálené galaxie, které se nacházejí daleko za tímto shlukem. Kolem roku 2000 se poprvé podařilo získat barevné snímky jader mladých galaxií. Jelikož gravitační čočka světlo pouze koncentruje a nemění jeho barvu, lze vybrat z celkového snímku objekty stejné barvy a tak identifikovat galaxie v různých vzdálenostech. První snímky galaxií z roku 1994, získané též pomocí HST, byly černobílé a tak nebylo možné identifikovat různě vzdálené objekty.

Obr. 9 Gravitační čočka - masivní shluk galaxií Abell 2218

Fotografie komplexní struktury v mlhovině Carina (NGC 3372), tzv. "mlhoviny klíčové dírky" (NGC 3324 - Keyhole Nebula), kterou tak pojmenoval v 19. století Sir John Herschel (*obr. 10*), svědčí o energetických procesech, které se odehrávají v některých



Obr. 10 Mlhovina NGC 3324 „Klíčová dírka" (Keyhole Nebula)



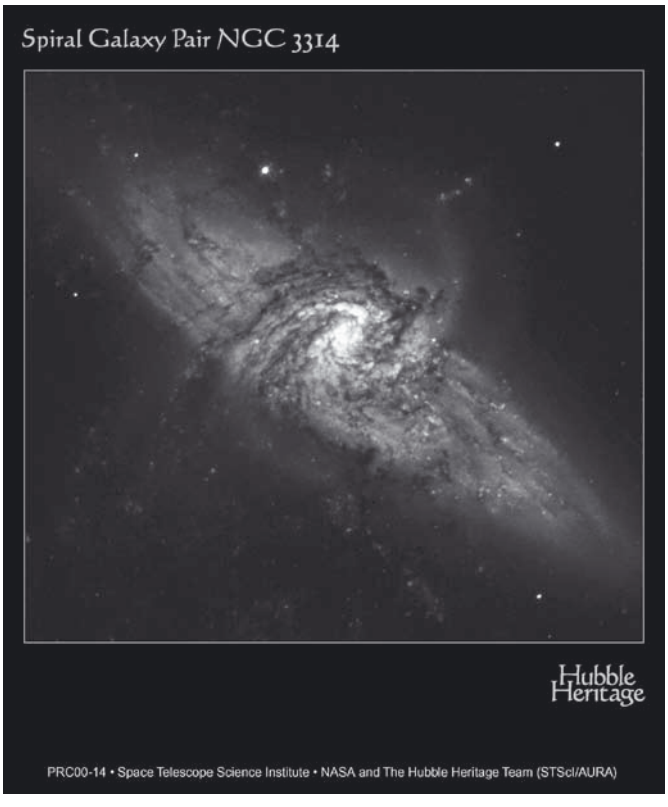
Obr. 11 Masivní hvězda Eta Carinae ve vzdálenosti 8000 světelných let explodovala v roce 1830. Při explozi uvolněná dvojice oblaků, expandující rychlostí kolem 1,5 mil. km/h, již zaujímá prostor o průměru naší sluneční soustavy

oblastech Vesmíru. Tato struktura, nacházející se ve vzdálenosti asi 7000 světelných let, je lokalizována nedaleko známé proměnné hvězdy Eta Carinae (*obr. 11*). Kruhová struktura "mlhoviny klíčové dírky" (o průměru asi 7 světelných let) je tvořena oblastmi horkého a chladného plynu. Jsou zde i malé tmavé sférické objekty, snad kolabující, ze kterých mohou vznikat nové hvězdy. Dále se zde nachází několik masivních hvězd, asi 10x teplejších a 100x hmotnějších než naše Slunce. Jejich radiace a hvězdný vítr tvořený vyvrženým materiálem o vysoké rychlosti jsou odpovědné za iluminaci zde existujících mračen prachu. Mlhovina Carina, nacházející se v části Mléčné dráhy pozorovatelné z jižní polokoule, má celkový průměr asi 200 světelných let.

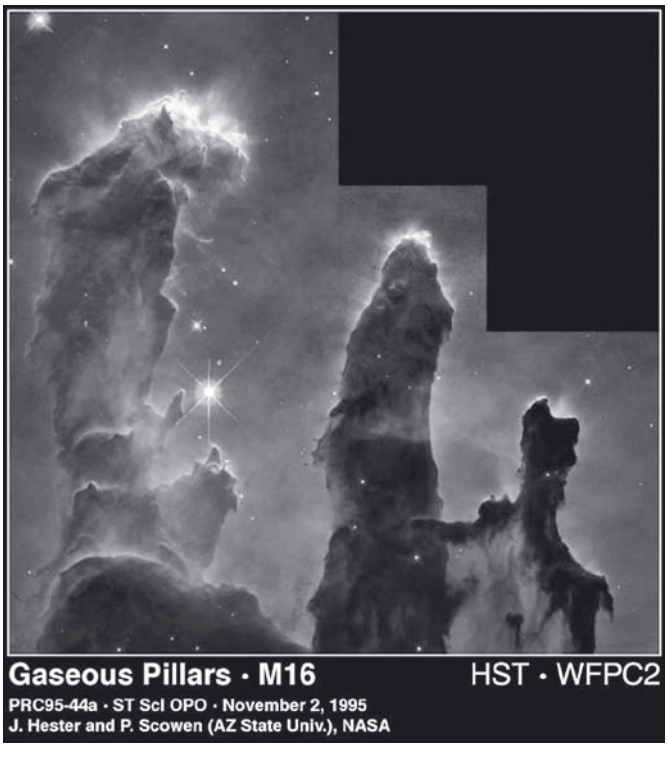
Další kuriozitou, kterou HST pozoroval, je dvojice spirálních galaxií NGC 3314, z nichž jedna při pohledu od Země překrývá druhou (*obr. 12*). Rovina galaxie NGC 3314a, která je blíže Zemi, je téměř kolmá na směr pohledu, a proto jsou vidět spirální ramena s mladými hvězdnými shluky a strukturou hvězdného prachu, prosvěcovanou hvězdami spodní galaxie NGC 3314b. Rovina spodní galaxie je více nakloněná do směru pohledu od Země. Zajímavé je načervenalé jádro galaxie NGC 3314b, jehož světlo prochází prachovými oblaky NGC 3314a. Načervenalá barva je známkou toho, že prachové částice více rozptylují světlo s kratšími vlnovými délkami a červená barva, která má nejdelší vlnovou délku ve viditelném spektru, se tolik nerozptyluje. Jde o stejný efekt – Rayleighův rozptyl na molekulách v plynu - jako při pozorování zapadajícího Slunce, též zbarveného do červena.

Zajímavé sloupce prachu, ve kterých dochází k formaci nových hvězd, jsou na snímku tzv. „Orlí mlhoviny" M-16 (*obr. 13*) v souhvězdí Hada (Serpens) ve vzdálenosti asi 7000 světelných let.

Obvyklé spirální galaxie jsou při pohledu ze strany ploché. Ovšem snímek galaxie ESO 510-G13 (*obr. 14*), která se nachází v souhvězdí Hydry na jižní obloze asi 150 mil. světelných let od Země, ukazuje, že rovina disku spirální galaxie může být i zkroucená. Tento zkrut se vysvětluje tím, že se galaxie ESO 510-G13 dostala do kolize se sousední galaxií a obě soustavy se spojují



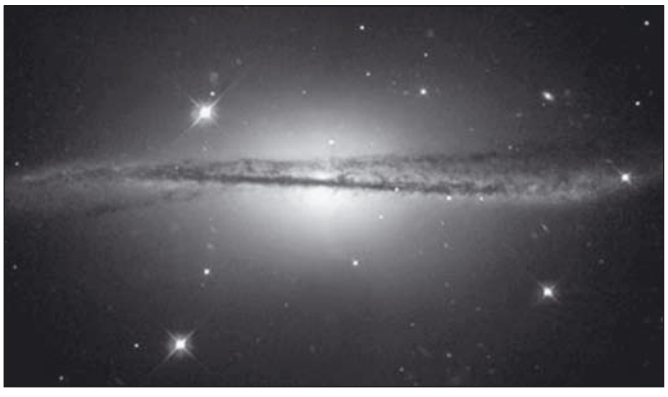
Obr. 12 Dvojice spirálních galaxií NGC 3314



Obr. 13 Prachové sloupce v „Orlí mlhovině" M-16

v procesu, který bude trvat miliony let. Gravitační síly obou galaxií (přirozeně včetně gravitačních sil skryté hmoty v galaxiích obsažené) deformují struktury těchto galaxií. Až bude proces spojení někdy v budoucnosti dokončen, gravitační poruchy pominou a ESO 510-G13 bude vypadat jako obvyklá spirální galaxie.

Nedávno zveřejněný snímek spirální galaxie M-101 (*obr. 15*) připomíná točící se větrník (Pinwheel Galaxy). Jde o jednu z nejdetailnějších fotografií, pořízených HST. Je složena z 51 segmentů,



Obr. 14 Zkrut roviny galaxie ESO 510-G13

Obr. 15 Spirální galaxie M-101 (Pinwheel Galaxy)

pořízených mezi březnem 1994 a lednem 2003. Spirální ramena galaxie obsahují oblasti s vodíkovými oblaky, kde dochází ke vzniku nových hvězd. Průměr galaxie M-101 činí asi 170 000 světelných let a nachází se v souhvězdí Velké medvědice (Ursa Maior) asi 25 mil. světelných let od Země. Galaktický disk M-101 však není příliš hustý a tak HST snadno nafotografoval i další vzdálené galaxie nacházející se za M-101.

HST též přispěl ke studiu formací galaxií a černých děr. Pozorování a nalezení asi dalších 10 supermasivních černých děr (o hmotnosti až miliardy hmotnosti Slunce) v jádrech gigantických

Obr. 16 Prachový oblak kolem předpokládané černé díry v NGC 4261

galaxií ukazuje na korelaci hmotnosti černých děr a hmotnosti galaxií. Zdá se, že černé díry vznikaly současně s galaxiemi a jak se galaxie vyvíjela, rostla i černá díra z hmoty, která byla v galaxii k dispozici. Její hmotnost bývá 0,2 hmotnosti galaxie (hmotnost černé díry se odhaduje z rychlosti rotace plynů v okolí černé díry - čím větší hmotnost černé díry, tím vyšší rychlost rotace plynů). Pohled na prachový oblak kolem předpokládané černé díry v NGC 4261, nacházející se ve shluku galaxií v souhvězdí Panny (Virgo) ve vzdálenosti asi 45 mil. světelných let, je na *obr. 16*. Existují ovšem i malé galaxie, v jejichž středu se nepozoruje žádné jádro (tj. vyšší koncentrace hvězd). Takové galaxie černou díru ve svém středu nemají.

5.4 Vývoj galaxií a vývoj vesmíru

Sledování vývoje galaxií a četnosti vzniku nových hvězd v těchto galaxiích bylo jedním z hlavních úkolů pro Hubbleův kosmický teleskop a od roku 1999 i pro rentgenovou observatoř Chandra. Ze studia mikrovlnného reliktního záření se ví, jak vesmír vypadal, když byl starý méně než milion let a z dalších pozorování víme, jak vesmír vypadal od stáří 10 - 12 miliard let do současnosti. Ovšem pozorování období vývoje vesmíru od stáří milionu let do několika miliard let jsou velice řídká. HST pozoroval jednu galaxii ve vzdálenosti 13,4 mld světelných let (rudý posuv 5,58) jen díky tomu, že její světlo bylo ještě asi 30× zesíleno efektem gravitační čočky tvořené shlukem galaxií Abell 2218. Její hmotnost je na galaxii malá, je přibližně asi 100 000× menší než je hmotnost naší Mléčné dráhy a jde o objekt o průměru asi 500 světelných let ve srovnání s průměrem Mléčné dráhy, který činí zhruba 100 000 světelných let.

Z porovnávání rozměrů galaxií od stáří 1 mld let až do 6 mld let je ostatně vidět jasná tendence růstu jejich rozměrů. To odpovídá modelům hierarchického růstu galaxií procesem splývání menších galaxií či pohlcováním satelitních galaxií. Tyto růstové procesy jsou v souhlasu i s existencí skryté nezářivé hmoty, která v počátečních stádiích vývoje vesmíru byla nerovnoměrně rozložena a vytvářela tak gravitační centra přitahující okolní plyn, který tak zvyšoval svoji hustotu se současnou tvorbou hvězdných shluků a trpasličích galaxií. Počet nových hvězd v období mezi 1 mld a 7 mld let stáří vesmíru narůstal velmi rychle. Po tomto období se ale další narůstání počtu nově vzniklých hvězd snížilo, což též svědčí o tom, že se proces vznikání nových galaxií zpomalil v době, kdy vesmír dosáhl asi poloviny svého současného stáří. Ale zhruba v té době se začala expanze vesmíru zrychlovat díky neznámé repulsivní síle, snad vyvolané přítomností skryté nezářivé hmoty.

Co se týče oné zmiňované skryté nezářivé hmoty, odhaduje se, že asi 90 % hmoty vesmíru tvoří tzv. "skrytá nezářivá hmota" či skrytá hmota, kterou nelze přímo pozorovat (zbývajících 5 % celkové hmoty je tvořeno vodíkem a dalších 5 % je veškerá hmota ve vesmíru pozorovatelná). Na existenci této skryté hmoty však astronomové soudí z pohybu hvězd v galaxiích. Jen pozorovatelná hmota nestačí k vysvětlení, proč galaxie drží pohromadě. Možná ale, že část této skryté hmoty je spojena s existencí černých děr, nacházejících se ve středech galaxií. I když tato skrytá hmota není vidět, musí se její přítomnost prozradit jejím gravitačním působením. Skrytá tmavá hmota není koncentrovaná do objektů jako jsou černé díry, a tak se neprozradí jako gravitační čočka. Přesto její gravitační vliv na procházející světlo od vzdálených galaxií vede k tomu, že se jejich obraz nerovnoměrně deformuje. Například sférický objekt se po průchodu oblastmi s předpokládanou skrytou hmotou deformuje na elipsoid. Statistické modely vyhodnocení takto deformovaných obrazů galaxií pak dávají určitou představu o rozložení této tmavé hmoty. Principiální otázkou ovšem je, z čeho je tato skrytá hmota složená, když tvoří na 90 % veškeré hmoty ve vesmíru a přitom není přímo pozorovatelná.

6. ZÁVĚR

Po korekci optické vady koncem roku 1993 se Hubbleův kosmický teleskop konečně stal účinným astronomickým nástrojem, který přinesl a snad ještě nějakou dobu bude přinášet zajímavá a unikátní pozorování kosmických objektů v blízkém a vzdáleném vesmíru.

Jako ilustrace činnosti HST je uvedeno jen několik málo příkladů v části 5 (nejde zde o systematický popis ani o definitivní vysvětlení uváděných pozorování. Detailněji lze astronomická pozorování sledovat např. na internetové adrese [10]. Další informace z kosmonautiky lze nalézt na adrese [7] a též na [11]).

Přehlédnutí optické vady HST v průběhu předstartovních příprav je charakterizováno podobnými symptomy jako tři jiné velké havárie americké kosmonautiky: požár Apolla 1 v roce 1967, havárie raketoplánů Challenger (1986) a Columbia (2003). Vždy šlo o to postupovat vpřed příliš rychle a dokonce přehlížet nedostatky v konstrukci, o kterých řada specialistů věděla a upozorňovala na ně. Důsledkem spěchu pak byly havárie i s tragickými následky, jejichž napravování je zdlouhavé a nákladné.

Hubbleův kosmický teleskop není jediným kosmickým astronomickým přístrojem. Jeho pozorování jsou doplňována daty, získávanými pomocí rentgenových astronomických observatoří Chandra a XMM-Newton, ke kterým se v roce 2003 připojil i Spitzerův kosmický infračervený teleskop SIRFT.

Dalekohled, který bude nástupcem HST, tzv. Kosmický teleskop Jamese Webba, by měl nahlédnout až do doby vzniku prvních hvězd. Budoucí teleskop JWST by tedy měl objasnit otázky o tvaru vesmíru, o vývoji galaxií, o vzniku a vzájemném působení hvězd a planetárních systémů, o rozložení hmoty ve vesmíru a konečně přispět k vyjasnění problému nezářivé skryté hmoty ve vesmíru. Ostatně vesmír má pro nás jistě připraveno ještě značné množství záhad. Není to ovšem překvapující, neboť asi o 90% vesmíru zatím vlastně nic nevíme.

Literatura

[1] J. N. Bahcall, L. Spitzer, Jr.: Scientific American 247(1) (1982) 40.
[2] J. J. McRoberts: NASA EP-166 (Space Telescope) (1983).
[3] E. J. Chaisson: Scientific American 266(6) (1992) 40.
[4] R. J. Laurence: ESA Bulletin (61) (1990) 9.
[5] B. Schwarzschild: Physics Today (11) (1990) 19.
[6] HST: http://hubble.nasa.gov/, http://hubblesite.org/
[7] SPACE 40 - Velká encyklopedie družic a kosmických sond: http://bibis.lib.cas.cz/knav/space.40/INDEX1.HTM
[8] JWST: http://www.ngst.nasa.gov/
[9] HST galerie snímků: http://hubblesite.org/gallery/
[10] Astronomické informace: http://www.astro.cz/
[11] Kosmonautické informace: http://www.kosmo.cz/

RNDr. Lubor Lejček, DrSc., Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8, tel.: 266 052 768, e-mail: lejcekl@fzu.cz

Jan TOUŠ, Crytur, spol s r.o., Turnov
Ondřej PETR, Reflex s.r.o., Praha

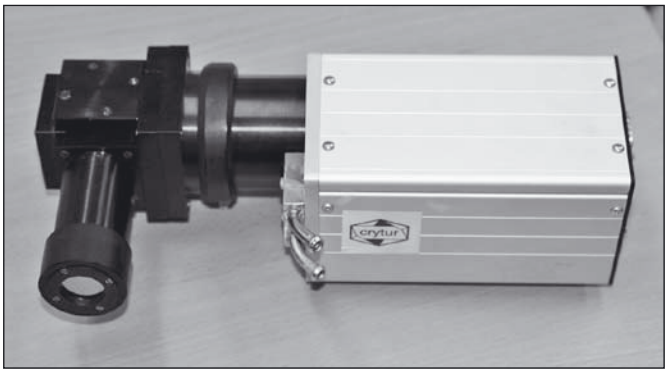
RTG digitální kamera s vysokým rozlišením

Článek se zabývá prostorovou rozlišovací schopností detekčního zobrazovacího systému (RTG kamera s vysokým rozlišením) založeného na monokrystalickém scintilačním materiálu YAG:Ce ($Y_3Al_5O_{12}$) jako detektoru RTG záření a na digitální CCD kameře s optickým systémem. Dosažené rozlišení této RTG kamery je v řádu jednotek mikrometrů. Rozlišení je srovnáváno s nejvíce rozšířeným scintilačním práškovým materiálem P43 používaným v zobrazovacích systémech.

ZOBRAZOVÁNÍ V RTG OBLASTI

Prostorová rozlišovací schopnost (dále jen rozlišení) standardních detekčních metod v RTG oblasti zobrazování je závislá na použitém detektoru. Klasický film ustupuje scintilačním a polovodičovým detektorům. Od bodového rozlišení řádu desetin milimetru se přechází do řádu desítek mikrometrů. Systémy kombinující scintilační materiál v podobě prášku (např. Gd_2O_2S, značení P43) s vláknovou optiku a CCD kameru dosahují bodového rozlišení kolem 30 µm. Polovodičové systémy typu Flat Panel jsou zatím omezené velikostí pixelu cca 50 µm. Pro zobrazování v nízkoenergetické RTG oblasti (2 keV - 10 keV) se používá přímé detekce na polovodičovém CCD prvku, kde rozlišení závisí na velikosti pixelu, které bývá 13 µm [1], [2].

Díky vyvinuté technologii opracování tenkých scintilátorů a vhodným vlastnostem vyráběných monokrystalů YAG bylo ve společnosti Crytur dosaženo o řád lepší rozlišení. Ve spolupráci s firmou Reflex s.r.o. vyvinutá RTG digitální kamera (*obr. 1*) založená na monokrystalickém scintilátoru a CCD prvku dosahuje bodového rozlišení okolo 1 µm.

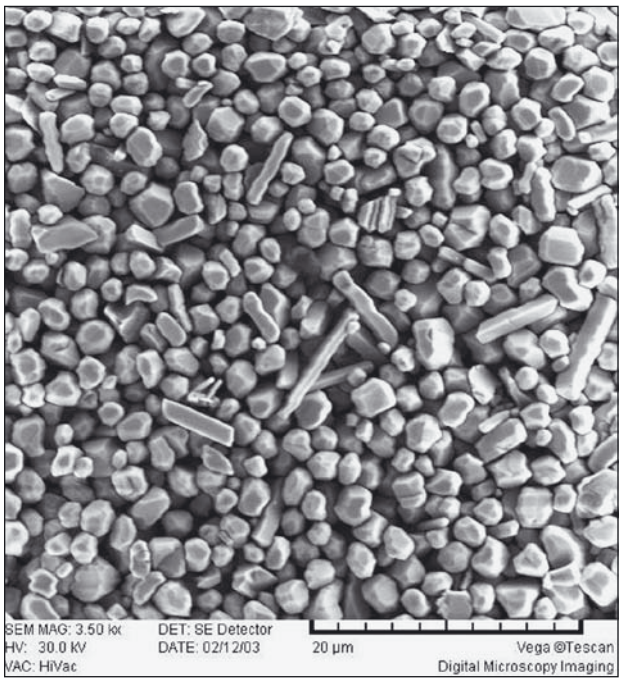


Obr. 1 RTG kamera s vysokým rozlišením

ROZLIŠENÍ ZOBRAZOVACÍHO SYSTÉMU

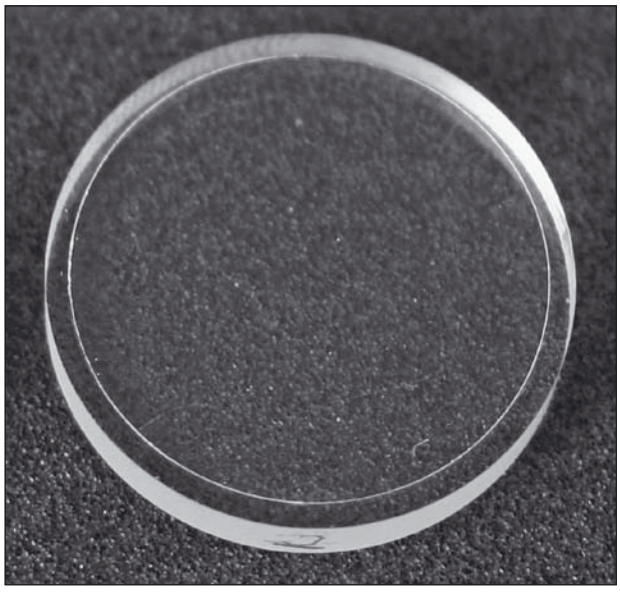
Práškový scintilátor je na optické podložce nanesená vrstva (například sedimentací ze vznosu v kapalině) scintilačního materiálu. Prášek je tvořen zrny o různých velikostech, některé frakce mohou být malé až 1 µm. (*obr. 2*). Naproti tomu monokrystalický scintilátor je opticky vyleštěná destička z materiálu, který je tvořen pravidelnou mřížkou a je opticky čirý ve viditelné oblasti (srovnej *obr. 3* a *obr. 4*).

Pokud uvažujeme situaci, kde postavíme mezi zdroj RTG záření a scintilátor objekt, který má určitou absorpci pro dané záření, tvoří se ve scintilátoru v místě zastíněném objektem absorpční obraz tohoto objektu. Tento obraz pak sledujeme z druhé strany scintilátoru optickým systémem. Přenos informace o absorpci RTG záření z objektu do scintilátoru a do detekčního systému pak závisí



Obr. 2 Práškový scintilátor P43, snímek z el. mikroskopu

Obr. 3 Scintilátor P43 na podložce



Obr. 4 Scintilátor YAG:Ce na podložce

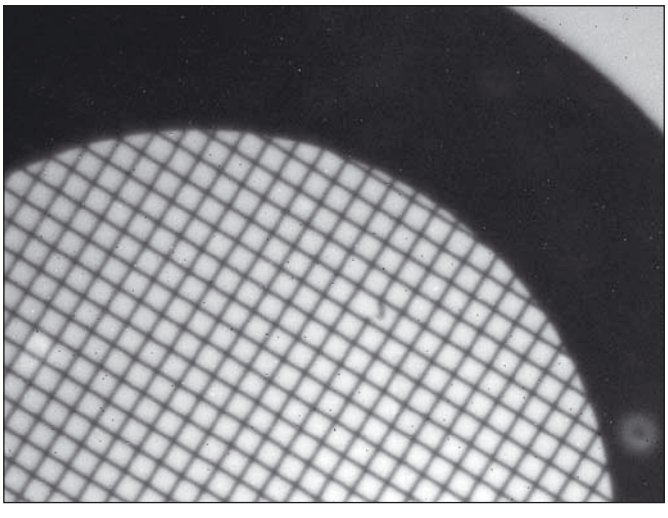
na parametrech této přenosové cesty. Na základě úvahy o šíření světla vznikajícího luminiscenčním procesem uvnitř obou typů scintilátorů je zřejmé, že díky odlišné struktuře je zde různý charakter průchodu světla. V práškovém scintilátoru dochází k rozptylu vznikajícího světla na jednotlivých zrnech, kdežto v monokrystalickém materiálu šíření světla nic nebrání (kromě jevu samoabsorpce). Ostrost obrazu zde závisí na tloušťce monokrystalické destičky díky všesměrovému charakteru šíření vznikajícího světla (zdroje luminiscence v monokrystalu). Mikronové rozlišení je dosaženo při použití zobrazovací destičky tloušťky několika mikrometrů.

Ostrost vytvořeného obrazu ve scintilátoru však nezávisí pouze na rozptylu světla uvnitř tohoto scintilátoru, ale též na kvalitě zdroje RTG a na snímacím optickém systému, kterým se přenáší obraz ze scintilátoru do detektoru (např. CCD prvek). Zdrojem RTG záření je anoda ostřelovaná proudem elektronů. Ostrost obrazu pak závisí na velikosti této ostřelované plochy, neboť je tvořen součtem projekcí z různých míst anody. V současné době se proto vyrábějí vedle standardních RTG zdrojů tzv. mikrofokusní zdroje s velikostí spotu (tzv. ohnisko RTG lampy) řádově v mikrometrech. Také z těchto důvodů je dosaženo lepšího rozlišení s tenčí destičkou. Z důvodů velikosti zdroje při zobrazování malých objektů je také důležitá minimální vzdálenost objektu od scintilátoru, jinak RTG záření proniká za objekt a ruší ostrost obrazu.

Optický systém, kterým přenášíme viditelné záření ze scintilátoru do detektoru, může být tvořen například vláknovou optikou nebo soustavou čoček. V případě vláknové optiky (tzv. faceplate nebo taper) závisí rozlišení na velikosti vlákna. V případě objektivu z charakteru tvorby obrazu ve scintilátoru vyplývá, že ostrost obrazu (a rozlišení) závisí na hloubce ostrosti objektivu a jeho rozlišovací schopnosti. Při malé hloubce ostrosti (velkém zvětšení mikroskopového objektivu) lze k zobrazení použít i destičku tlustší a nejlepší obrazovou rovinu uvnitř scintilátoru „vybrat“ zaostřením.

Experimentální potvrzení těchto úvah je uvedeno např. na *obrázcích 5 a 6*. V obou případech je zobrazena zlatá mřížka s vláknem o velikosti 8 mikrometrů.

Další parametr, který má vliv na výsledné rozlišení je výtěžek světla. Při malém výtěžku, kdy se začneme pohybovat na hranici detekční citlivosti senzoru CCD, je signál senzoru v oblasti šumu a získaný obraz je tím rozostřen.

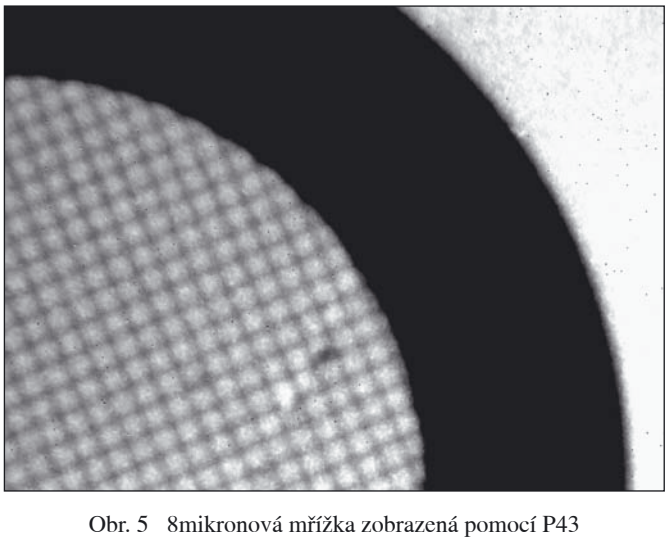


Obr. 6 8mikronová mřížka zobrazená pomocí YAG:Ce

RTG KAMERA S VYSOKÝM ROZLIŠENÍM

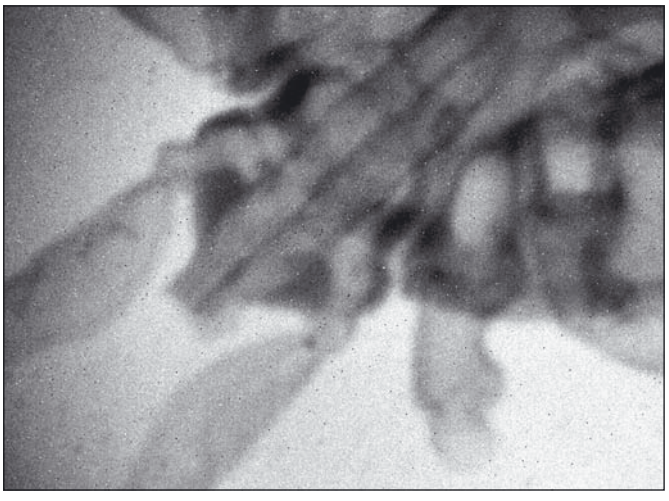
Popsané výsledky byly získány pomocí uvedené RTG kamery s vysokým rozlišením. Na *obrázku 7* je snímek zlaté mřížky s dosaženým rozlišením 2 μm. Aplikačním příkladem je snímek klíštěte na *obrázku 8*.

Nevýhodou použití monokrystalu YAG:Ce je malý výtěžek světla ve srovnání se scintilátorem P43, kde je rozdíl až o jeden řád. S větší tloušťkou scintilátoru roste výtěžek ale také klesá prostorové



Obr. 5 8mikronová mřížka zobrazená pomocí P43

Obr. 7 8mikronová mřížka ve vysokém rozlišení



Obr. 8 Snímek klíštěte

rozlišení. Pro danou aplikaci je tedy nutné zvolit určitý kompromis. Oblasti použití této kamery jsou v nedestruktivním detailním zkoumání defektů malých dílů, biologii, lékařství, zaměřování svazků ionizujícího záření apod.

Poděkování

Vývoj RTG digitální kamery s vysokým rozlišením je podporován Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky, projekt FT-TA/100.

Literatura

[1] Katalog výrobků firmy Hamamtsu.
[2] Carel van Eijk, Inorganic scintillators in medical imaging, Phys. med. biol. *47* (2002), R85-R106.

RNDr. Jan Touš, Ph.D., Crytur, spol. s r.o., Palackého 175, 511 01 Turnov, tel.: 481 319 511, fax: 481 322 323, e-mail: crytur@crytur.cz
Ing. Ondřej Petr, Reflex s.r.o., Novodvorská 994, 142 21 Praha 4, tel.: 244 043 333, e-mail: reflex@reflex-co.cz

---

Filip KOBRZEK, Petr MAREČEK, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní ČVUT v Praze

Malá výzkumná dálkově řiditelná vzducholoď

V článku se pojednává o konstrukci malé dálkově řiditelné vzducholodě, vyvinuté na pražské ČVUT v rámci samostatné tvůrčí činnosti skupiny studentů. Je kladen důraz na vlastní konstrukci celé vzducholodě a její využití. V úvodu je lehce zmíněna i problematika palubní elektroniky, podpůrného softwaru a autonomního řízení, což je ale také nedílnou součástí projektu. V závěru se dozvíte o zajímavých způsobech využití vzducholodě ku blahu a prospěchu lidstva.

ÚVOD

Myšlenka postavit dálkově řiditelnou vzducholoď vzešla z hlav studentů ČVUT jako jejich samostatná aktivita, jejímž cílem bylo vyvinout, vyrobit a zprovoznit prototyp moderní univerzální dálkově řiditelné vzducholodě. V budoucnu je snahou dosáhnout autonomního řízení vzducholodě a provozovat vzducholoď bez vizuálního kontaktu po celé České republice. Na základě takových zkušeností bychom rádi pokračovali ve vývoji nejrůznějších UAV (Unmanned Aerial Vehicle) pro nejrůznější účely.

Vzducholoď je vybavena GPRS komunikací umožňující online přenos dat ze vzducholodě k operátorovi na zemi a naopak. Vzducholoď lze rozdělit na několik částí – balón, gondolu a křídla. Kromě samotné konstrukce, o které pojednává tento článek, je nedílnou součástí také řídicí a komunikační elektronika pro zadávání příkazů a sběr naměřených údajů z GPS, digitálního kompasu, tlakoměrů, výškoměru. Další částí je i řídicí a komunikační software Giraffe fungující na principu klient-server. Tato platforma je určena pro uživatele vzducholodě, ale i pro vzdálené zájemce s připojením k internetu. Aplikace slouží k ovládání vzducholodě, vizualizaci a zadávání trasy letu vzducholodě, vizualizaci potřebných letových údajů, nebo čistě k pozorování obrazu z kamery umístěné na palubě vzducholodě.

PARAMETRY BIGGIE 05

Rozměr	délka 6 m, průměr 1,8 m
Vztlak	10 kg
Užitečná nosnost	0,5 kg
Max. rychlost	60 km/h
Max. rychlost větru	5 m/s

BALÓN

Dvouvrstvý balón (plášť + duše) doutníkového tvaru obsahující plnící plyn helium o objemu 10 m^3 je nosným prvkem celé vzducholodě. Doutníkový tvar typický pro vzducholodě vychází z veřejných NACA reportů z třicátých let dvacátého století, kdy probíhal intenzivní výzkum v této oblasti letectví.

Duše balónu je z tepelně svařitelné bariérové fólie vyznačující se nízkou propustností helia, dostatečnou pevností a nízkou plošnou hustotou. Duše je svařena z dvanácti podélných plátů z průhledné polymerové folie OPA/PE a vepředu zakončena ventilem pro napouštění, odpouštění helia a snímání přetlaku uvnitř duše. Protože největším problémem v návrhu a provozu vzducholodí je únik helia,

který zvyšuje provozní náklady, bylo třeba nejen nalézt nejvhodnější bariérový materiál, ale také snížit příčiny jeho stárnutí. Jak fyzické tak i chemické stárnutí rapidně snižuje bariérové vlastnosti polymerních folií. Proto je duše vyrobena vždy o něco větší než plášť, tak aby samotná folie a svařované spoje nebyli vůbec namáhány vnitřním přetlakem.

Namáhán je tedy pouze vnější plášť sešitý opět z dvanácti podélných plátů z tkaného materiálu Skytex používaného u paraglidů. Kromě mechanické ochrany duše zejména proti protržení a vlhkosti zajišťuje plášť design vzducholodě a správný tvar. Stálý aerodynamický tvar a zároveň dostatečná pevnost a tuhost celé vzducholodě je dílem pouze přetlaku uvnitř balónu, který není nijak zpevněn rámem. Tato koncepce tzv. neztužené konstrukce (*blimp*) je celosvětovým trendem ve stavbě vzducholodí do 20 m délky. Plášť je dále opatřen úchyty pro gondolu a křídla, očky pro umístění případné reklamy a osvětlením pro noční létání. Osvětlení je provedeno z osmi vysoce výkonných LED umístěných mezi pláštěm a duší nasměrovaných dovnitř balónu. Rozptýlené světlo tak osvítí celý povrch vzducholodě.

KŘÍDLA

Na samonosný plášť vzducholodě jsou připevněny výškovky a směrovka v rozmístění po 120°. Výškovky stabilizují vzducholoď, umožňují případnou korekci naklopení kolem vlastní a příčné horizontální osy vzducholodě. Směrovka určuje směr pohybu vzducholodě v horizontální rovině. Výchylky klapek křídel jsou ovládány samosvorným šroubovým mechanismem poháněným modelářskými servy. Směrovka je dále opatřena pomocným motorem s vrtulí s obousměrným chodem, umožňujícím zatáčení při malých či nulových rychlostech, kdy účinnost samotné klapky směrovky je malá. Tvar křídla není nijak profilován jedná se pouze o rovinnou desku tloušťky 5 mm, jen na náběžné straně jsou hrany zaobleny. Kostra křídla je příhradové konstrukce ze slepovaných smrkových nosníků 5 x 5 a 10 x 5 mm. Celé křídlo je pak potaženo nažehlovací folií, která ještě více zpevní celou konstrukci. Tato koncepce křídel je, jak jsme se mohli z několika plánovaných i neplánovaných crash testů přesvědčit, dostatečné pevná, lehce opravitelná a lehká (všechna tři křídla váží 1 kg včetně pohonu). Díky dvěma výškovkám, kde celková plocha křídla je 2 x 0,3 m^2, lze se vzducholodí stoupat či klesat téměř kolmo k zemi a to jen s mírným poklesem rychlosti. Při řízení směru, kde se uplatní jak samotné směrové křídlo tak i pomocný motor s vrtulí, lze dosáhnout při letu proti větru otočky o 180° na místě během 2 s.

KONSTRUKCE GONDOLY

Nejdříve si vysvětleme, co si pod tímto názvem představit. V našem případě se dá za gondolu označit uzavřený prostor, obvykle zavěšený pod nosným balónem, v kterém jsou umístěny hlavní pohonné jednotky, různá provozní zařízení a další přístroje. U vzducholodí větších rozměrů se v gondolách převáží také náklad, nebo slouží jako kabiny pro lidi.

Naše první gondola pro 6 metrů dlouhý trup byla vyrobena převážně ze dřeva (letecká překližka, kulatiny, atd.) a měla rozměry 450 délka x 220 šířka x 170 výška [mm]. Principielně šlo o dvě vyfrézované bočnice spojené kulatinami. Bočnice byly frézovány z 5 mm překližky. Snaha o co nejlehčí, zato co nejpevnější konstrukci je zde nasnadě. Spojení bočnic je provedeno pomocí 8 mm bukové kulatiny. Spojovacích kulatin je 10. V zadní části gondoly je umístěna otočná dutá duralová tyč, na jejíchž koncích jsou umístěny hlavní pohonné motory s celkovým výkonem 0,7 kW. Jedná se o střídavé třífázové motory ovládané jednosměrnými regulátory, osazené vrtulemi APC 250/150 mm, poskytující výkon 0,7 kW při otáčkách 8000 ot/min s odběrem proudu 40 A. Otočná tyč se dá natáčet pomocí šnekového převodu v rozsahu 180° horní úvratě. Šnek je poháněn standardním servem s vytaženou zpětnou vazbou přímo na otáčející se tyč. Tím jsme dosáhli výrazného zlevnění mechanizmu, protože jsme nemuseli kupovat drahá víceotáčková, vysokomomentová serva.

Zkušenosti, které jsme získali při prvním roce létání s tímto konceptem gondoly, nás nasměrovaly k vývoji druhé verze gondoly pro 9 metrů dlouhý trup nové vzducholodě. Principielně se původní konstrukce gondoly osvědčila, tzn. 2 bočnice spojené kulatinami. Tato konstrukce se vyznačuje extrémní lehkostí při zachování dostatečné tuhosti a pevnosti. Vznikl zde ale požadavek na nosnost gondoly do 30 kg. To je již výrazné zvýšení zatížení oproti 4,5 kg u gondoly původní. Proto jsme již sáhli k jiným materiálům. Jako materiál bočnic jsme zvolili lehký a zároveň tvrdý dural a polotovar kulatin jako dutý profil z hliníku. Hlavní rozměry gondoly: 640 délka x 310 šířka x 240 výška [mm]. Bočnice byly vyřezány z 1,6 mm tlustého duralového plechu pomocí laserového paprsku. Tím jsme dosáhli vysoké přesnosti rozměrů a kvalitní obrobený povrch. Vyřezané profily byly obroušeny, ohnuty a nalakovány polymerovou barvou. Poté jsme všechny díly sešroubovali a připevnili podlážky z finské 1,5 mm tlusté překližky.

V zadní části gondoly je opět umístěna otočná tyč s dvěma motory. Motory jsou od sebe vzdáleny 890 mm. Celkový maximální výkon motorů je v tomto případě 1,4 kW. Konstrukce gondoly umožňuje osadit motory vrtulemi s maximálním průměrem až 16". V gondole disponujeme 3 kg Li-Pol baterií o celkové kapacitě 22 Ah při napětí 21 V. Hlavní baterie jsou v zapojení 5 sériově a 10 paralelně článků. Vodiče od baterií jsou přivedeny na průmyslovou svorkovnice a z té vedou 4 mm^2 kabely přes vypínač na hlavní rozváděcí svorkovnici. Z té vedou 2,5 mm^2 kabely přes vypínač k hlavním motorům a k osvětlení balónu.

Po prvních testech vykazuje celá konstrukce překvapivě velmi vysokou tuhost i při plném zatížení 30 kg. Kapacita baterií nám umožní létat v dobrém počasí až 4 hodiny. Zapojení celé elektroinstalace nám umožňuje připojovat a odpojovat jednotlivé sady baterií bez větších obtíží a dále zajišťuje velmi komfortní nabíjení všech baterií i dvěma nabíječkami zároveň. Tím jsme schopni po 4 hodinách letu znovu nabít celou soustavu za 1,5 hodiny. Celá 9 metrová vzducholoď s novou gondolou bude schopna unést dalších 12 kg přístrojů. Zde již trošku zabíháme do kapitoly využití vzducholodě a proto se jí budeme dále věnovat.

VYUŽITÍ VZDUCHOLODĚ

Vzducholoď bude využívána především k předváděcím letům na školách (ZŠ, SŠ, VŠ) a stane se tak výborným prostředkem k propagaci vědy a techniky na ČVUT v Praze. Dále je to využití k experimentálním účelům, kdy budou na palubu vzducholodi umístěny různé přístroje, které budou provádět samotné experimenty. Vzducholoď se dá také využít jako létající reklamní plocha a jako prostředek k rekognizaci okolí např. pro filmové štáby. Vzducholoď by měla také sloužit jako praktický nástroj výuky studentů a měla by být využita jako platforma pro nové

Obr. 1 Šestimetrová vzducholoď při reklamním létání pro firmu FESTO

výzkumné projekty (diplomové práce, disertační práce, aplikovaný vývoj, atd.). V současné době je řešena diplomová práce na téma Řídicí algoritmy pro řízení vzducholodě a v rámci předmětu Experimentální aerodynamika Ústavu mechaniky tekutin a termodynamiky ČVUT měřili studenti model vzducholodě v aerodynamickém tunelu.

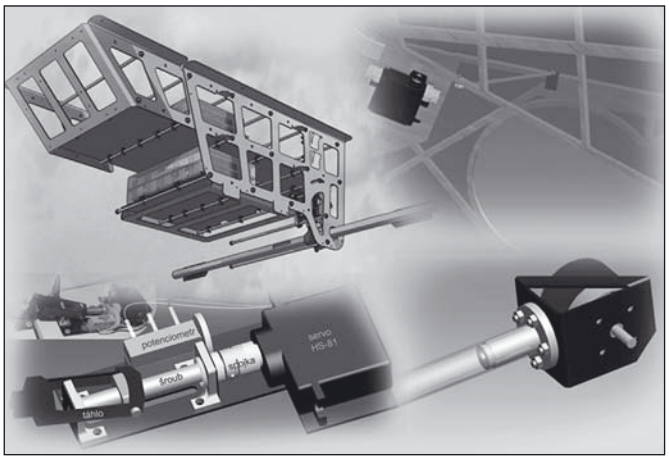
Nyní si popišme několik způsobů využití naší vzducholodě, které jsou již používány a nebo jsou ve fázi příprav.

Například spolupráce se zemědělskou univerzitou – mapování plevelů na polích pro následný efektivní postřik, monitorování napadených lesních porostů termovizí.

Nyní něco málo k tzv. HAPs. Alternativním způsobem poskytování nejen mobilních služeb třetí generace (UMTS) jsou platformy ve velkých výškách (High Altitude Platforms - HAPs). Tyto platformy by měly být v podobě vzducholodí popř. solárních plošin umístěny ve stratosféře ve výšce okolo 22 km a kombinují výhody terestrálních a satelitních systémů jako např. nezastínění pro vysoké elevační úhly, velká oblast pokrytí, relativně nízké náklady na rozmístění atd. Tato alternativa může být úspěšně použitá k poskytování 3G mobilních služeb v případě katastrof, velkých a řídce zalidněných oblastí apod.

Problematice HAPs je v mezinárodním měřítku věnován velký prostor. Příkladem může být především mezinárodní spolupráce v rámci projektu COST 297. V současné době se v celé ČR modelováním šíření signálu pro HAPs a následnými simulacemi systémové úrovně mobilních sítí třetí generace UMTS zabývá tým katedry elektromagnetického pole FEL ČVUT. Uplatnění vzducholodě by bylo v podobě měření ztrát šířením v městské čí předměstské oblasti - studium vlivu difrakce popř. refrakce na šíření etc. Naměřená data by se posléze porovnávala s výsledky simulací. Vlastní využití vzducholodě by bylo v podobě nosiče vysílací části UMTS linky ve výšce 100 metrů až 2 kilometry.

Dále je zde projekt "Nová metoda mapování bezpilotním automaticky řízeným systémem". Projekt je zaměřen na vytvoření a ověření nové metody mapování bezpilotním automaticky řízeným systémem. Oproti existujícím metodám mapování skutečného stavu bude systém výhodně kombinovat vyšší mapovací rychlost, nižší provozní náklady a větší polohovou přesnost a tím bude dosahovat lepších ekonomických parametrů. Systém se bude skládat z navigačního systému (GPS a INS), laserového skenovacího systému, digitální komory a bezpilotní vzducholodě. Systém umožňuje přímé georeferencování bez podpory aerotriangulace. Data z laserového skeneru budou doplněna barevnou informací z digitální komory. Na rozdíl od klasické fotogrammetrické metody je možné z naměřených dat přímo vytvářet digitální model povrchu a následně ortofoto. Systém lze uplatnit například při mapování skutečného stavu, v památkové péči, městských informačních systémech, při krizových situacích (povodně), ale i pro potřeby armády.



Obr. 2 Jednotlivé části vzducholodi, vpravo nahoře - gondola, vpravo dole - samosvorný mechanismus pohonu klapek výškovky, vlevo nahoře - detail kostry a pohonu směrovky, vlevo dole - uchycení hlavních pohonných motorů

Cílem je vytvoření a ověření nové metody mapování bezpilotním automaticky řízeným dopravním prostředkem – vzducholodí. Oproti existujícím metodám mapování skutečného stavu bude navrhovaný systém výhodně kombinovat vyšší mapovací rychlost, nižší provozní náklady a větší polohovou přesnost.

A konečně nelze nezmínit význam využití vzducholodě jako nosiče pro přístroje schopné měření ekologických funkcí ekosystémů, jako je stanovení nosné kapacity, určení mezí autoregulace, populací, ekosystémů, resp. krajiny.

Na celém projektu "Malá dálkově řízená vzducholoď" spolupracuje celkem 16 lidí, převážně PhD. studentů, z Ústavu přístrojové a řídicí techniky Fakulty strojní, katedry telekomunikační techniky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze a z dalších vysokoškolských pracovišť i ze soukromého sektoru. Spolupracujeme také s VŠCHT a Zemědělskou univerzitou. Finančně i materiálně projekt podpořili RDC (Research and Development Center), Ústav přístrojové a řídicí techniky Fakulty strojní ČVUT, katedra telekomunikační techniky Fakulty elektrotechnické ČVUT, AirshipClub.com, PHILIPS Česká republika. Dále bychom rádi poděkovali společnostem Festo, HT Eurep a Avacom.

Na stránkách www.airshipclub.com můžete nalézt spoustu fotografií a video ukázky z létání. V případě zájmu, připomínek a jakýchkoliv dotazů nás kontaktujte.

Ing. Filip Kobrzek, Odbor přesné mechaniky a optiky, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: 608 059 005, e-mail: filip.kobrzek@airshipclub.com
Ing. Petr Mareček, Odbor přesné mechaniky a optiky, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: 721 821 188, e-mail: petr.marecek@airshipclub.com

Antonín MIKŠ, Jiří NOVÁK, katedra fyziky, Fakulta stavební, ČVUT Praha

Výpočet koeficientů vlnové aberace pomocí korekčních pásem

Při návrhu optických soustav je žádoucí, aby zbytkové aberace těchto soustav byly co nejmenší. Sledováním průběhu těchto aberací v závislosti na numerické apertuře a zorném poli optické soustavy lze najít takové hodnoty numerické apertury a zorného pole, pro které je aberace nulová. Tyto hodnoty numerické apertury a zorného pole nazýváme korekční pásma. V práci je provedena teoretická analýza této problematiky a jsou odvozeny vztahy pro vyjádření koeficientů vlnové aberace pomocí korekčních pásem a to pro základní aberace třetího a pátého řádu. Užitím odvozených vztahů byl proveden výpočet optimálních korekčních pásem a poloh středů referenční sféry pro případ, že požadujeme minimální odchylku vlnové aberace od nuly.

1. ÚVOD

Při návrhu optických soustav je žádoucí, aby zbytkové aberace těchto soustav byly co nejmenší. Pokud sledujeme průběh těchto aberací v závislosti na numerické apertuře a zorném poli optické soustavy, potom lze najít takové hodnoty numerické apertury a zorného pole, pro které je sledovaná aberace nulová. Tyto hodnoty numerické apertury a zorného pole se nazývají korekční pásma [1,2]. Při podrobné analýze základních aberací (sférická aberace a koma) optických soustav se ukazuje, že kvalita zobrazení těchto soustav závisí na hodnotách korekčních pásem [1,2]. Hodnoty korekčních pásem jsou závislé na kritériu, které použijeme pro hodnocení kvality zobrazení optických soustav. Cílem této práce je provedení teoretické analýzy uvedené problematiky a odvození obecných vztahů pro vyjádření koeficientů vlnové aberace pomocí korekčních pásem a to pro základní aberace (sférická aberace, koma, zklenutí a zkreslení) třetího a pátého řádu. Užitím odvozených vztahů lze pak provést výpočet optimálních korekčních pásem a poloh středů referenční sféry pro případ, že požadujeme minimální odchylku vlnové aberace od nuly.

2. ZOBRAZOVACÍ FUNKCE

Jak je známo z geometrické optiky, splňuje bodová zobrazovací funkce $E(x,y,z)$ následující rovnici [1-10]

$$\left(\frac{\partial E}{\partial X}\right)^2+\left(\frac{\partial E}{\partial Y}\right)^2+\left(\frac{\partial E}{\partial Z}\right)^2=n^2\,,$$

kde n je index lomu prostředí a x,y,z souřadnice bodu v prostoru. Tato rovnice je základní rovnicí geometrické optiky. Funkce E nám udává optickou dráhu (součin geometrické dráhy a indexu lomu prostředí) mezi dvěma body v prostoru. Lze ukázat, že pro rotačně symetrickou optickou soustavu lze optickou dráhu mezi body předmětové roviny a mezi body vlnoplochy vyjádřit funkcí [1-10]

$$E = E(e_1,e_2,e_3),$$

kde proměnné e_1, e_2 a e_3 mají tvar

$$2e_1 = x^2+y^2\,,\quad e_2 = x\,x'_{\mathrm{R}}+y\,y'_{\mathrm{R}}\,,\quad 2e_3 = x'^2_{\mathrm{R}}+y'^2_{\mathrm{R}}\,,$$

přičemž x a y značí souřadnice v předmětové rovině a x'_{R}, y'_{R} jsou souřadnice bodu na referenční sféře v obrazovém prostoru optické soustavy. Rozvineme-li funkci E v Taylorovu řadu, dostáváme

$$\begin{aligned}E &= E_0+\sum_{i=1}^{3}E_ie_i+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}E_{ij}e_ie_j+\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{3}E_{ijk}e_ie_je_k+\cdots=\\ &= E_0+E_1e_1+E_2e_2+E_3e_3+\\ &+\frac{1}{2}(E_{11}e_1^2+2E_{12}e_1e_2+2E_{13}e_1e_3+E_{22}e_2^2+2E_{23}e_2e_3+E_{33}e_3^2)+\\ &+\frac{1}{6}(E_{111}e_1^3+3E_{112}e_1^2e_2+3E_{113}e_1^2e_3+3E_{122}e_1e_2^2+6E_{123}e_1e_2e_3+\\ &+3E_{133}e_1e_3^2+E_{222}e_2^3+3E_{223}e_2^2e_3+3E_{233}e_2e_3^2+E_{333}e_3^3)+\cdots\end{aligned}\qquad(1)$$

Při studiu aberací rotačně symetrické optické soustavy lze, bez újmy na obecnosti, položit $x = 0$, potom platí

$$2e_1 = y^2\,,\quad e_2 = y\,y'_{\mathrm{R}}\,,\quad 2e_3 = x'^2_{\mathrm{R}}+y'^2_{\mathrm{R}}\,.\qquad(2)$$

Je-li $e_1 = e_2 = e_3 = 0$, potom se jedná o zobrazení paraxiálními aperturními paprsky. Položíme-li $y = 0$, pak jde o zobrazení aperturními paprsky bodu ležícího na optické ose soustavy. V případě, že $x'_{\mathrm{R}} = 0$, $y'_{\mathrm{R}} = 0$ jde o paprsky hlavní. Máme tedy v přehledu

$e_1 = e_2 = e_3 = 0$ ..... paraxiální aperturní paprsky
$e_1 = e_2 = 0$ ..... aperturní paprsky
$e_2 = e_3 = 0$ ..... hlavní paprsky

Položíme-li ve vztahu (1) $e_1 = e_2 = e_3 = 0$, dostáváme

$$E = E_0 = E(0,0,0).$$

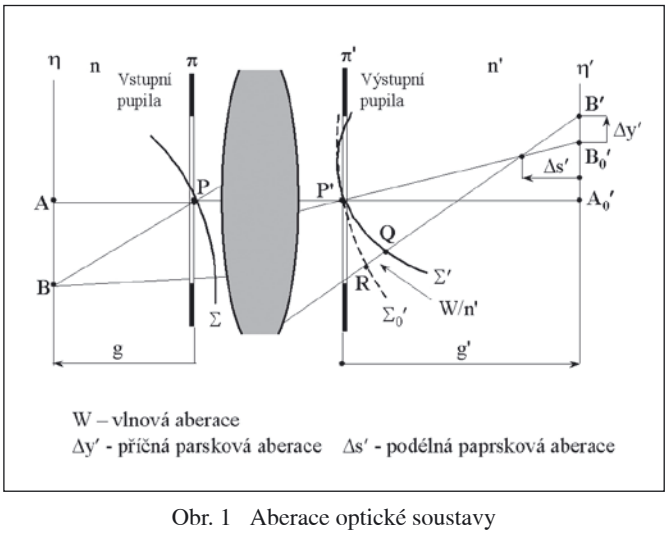
E_0 tedy značí optickou dráhu v paraxiálním prostoru při zobrazení aperturními paprsky. Dále hodnota $E = E(e_1,0,0)$ značí optickou dráhu hlavního (referenčního) paprsku.

3. VLNOVÁ ABERACE

Vlnovou aberací W budeme nazývat rozdíl optických drah libovolného paprsku a hlavního (referenčnímu) paprsku, přičemž oba paprsky náleží témuž paprskovému svazku. Platí obecně

$$W = E(e_1, e_2, e_3) - E(e_1,0,0).\qquad(3)$$

Podle *obr. 1* tedy platí $W = [\mathrm{BR}] - [\mathrm{BP'}]$, kde hranatými závorkami značíme optickou dráhu mezi dvěma body.



Obr. 1 Aberace optické soustavy

Mezi vlnovou aberací W a paprskovými aberacemi $\Delta x'$ a $\Delta y'$ platí vztahy [1-10]

$$\Delta x' = X' - x'_0 = \frac{R'}{n'} \cdot \frac{\partial W}{\partial x'_R}$$
$$\Delta y' = Y' - y'_0 = \frac{R'}{n'} \cdot \frac{\partial W}{\partial y'_R}, \qquad (4)$$

kde $R' = (R,B_0')$ je poloměr referenční sféry Σ_0' mající střed v bodě $B_0'(x'_0,y'_0)$, který je paraxiálním (ideálním) obrazem předmětového bodu B, x'_R, y'_R jsou souřadnice bodu $R(x'_R,y'_R)$ na referenční sféře Σ_0', X' a Y' jsou souřadnice průsečíku $B'(X',Y')$ paprsku s obrazovou rovinou η' optické soustavy a n' je index lomu obrazového prostředí. Pro clonové číslo c v obrazovém prostoru optické soustavy platí

$$c = \frac{1}{2n' \sin\sigma'_k}, \quad c_x = \frac{1}{2n' \sin\sigma'_{xk}}, \quad c_y = \frac{1}{2n' \sin\sigma'_{yk}}, \qquad (5)$$

kde σ'_K je maximální aperturní úhel v obrazovém prostoru při zobrazení osového bodu A předmětu, σ'_{xk} je maximální aperturní úhel v sagitální rovině (rovina určená hlavním paprskem a osou x') obrazovém prostoru při zobrazení mimoosového bodu B předmětu a σ'_{yk} je maximální aperturní úhel v meridionální rovině obrazovém prostoru při zobrazení mimoosového bodu B předmětu. Úhly σ'_{xk} a σ'_{yk} odečítáme od hlavního paprsku procházejícího středem výstupní pupily. Nechť w a v jsou normované souřadnice [3,11] na referenční sféře ($v^2 + w^2 \le 1$), potom pro výsledný vztah mezi vlnovými a paprskovými aberacemi platí (v rámci platnosti teorie aberací třetího a pátého řádu)

$$\Delta x' = 2c_x \frac{\partial W}{\partial w} \approx 2c \frac{\partial W}{\partial w}, \quad \Delta y' = 2c_y \frac{\partial W}{\partial v} \approx 2c \frac{\partial W}{\partial v}, \qquad (6)$$

kde jsme položili přibližně $c_x \approx c_y \approx c$. Tyto vztahy jsou pro praxi dostatečně přesné a budeme je v další části práce užívat.

Vzhledem k tomu, že se v difrakční teorii optického zobrazení [1,4,6,7,8,11] vyskytuje vlnová aberace W ve spojení s vlnovým číslem $k = 2\pi/\lambda$ (λ je vlnová délka světla) ve tvaru kW, uvedeme v našich vztazích také tento výraz.

Označme nyní

$$2\bar{e}_1 = 2e_1 = y^2, \quad \bar{e}_2 = yv, \quad 2\bar{e}_3 = w^2 + v^2, \qquad (7)$$

jako nové proměnné. Aberace optické soustavy si můžeme rozdělit na aberace 1. řádu, aberace 3. řádu, aberace 5. řádu atd. Užitím vztahů (1), (3) a (7) můžeme, v těchto nových proměnných, psát

a) Aberace 1. řádu $\quad W_1 = \bar{E}_2\bar{e}_2 + \bar{E}_3\bar{e}_3, \qquad (8)$

b) Aberace 3. řádu $\quad W_3 = \frac{1}{2}(2\bar{E}_{12}\bar{e}_1\bar{e}_2 + \cdots + \bar{E}_{33}\bar{e}_3^2), \qquad (9)$

c) Aberace 5. řádu $\quad W_5 = \frac{1}{6}(3\bar{E}_{112}\bar{e}_1^2\bar{e}_2 + \cdots + \bar{E}_{333}\bar{e}_3^3), \qquad (10)$

kde jsme koeficienty E_i, E_{ij}, E_{ijk} atd. příslušející k proměnným e_1, e_2, e_3, ve vztahu (1) nahradily koeficienty $\bar{E}_i$, $\bar{E}_{ijj}$, $\bar{E}_{ijk}$ atd. příslušející k proměnným $\bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3$.

3.1. Aberace 1. řádu

Zabývejme se nyní aperturními paprsky tj. zobrazením bodů ležících na optické ose soustavy. Pro aperturní paprsky platí $\bar{e}_1 = \bar{e}_2 = 0$ a tedy

$$W_1 = \bar{E}_3\bar{e}_3 = \frac{1}{2}\bar{E}_3(v^2 + w^2). \qquad (11)$$

Protože jde o rotační souměrnost, stačí zkoumat jen poledník vlnoplochy. Užitím vztahů (6) dostáváme

$$\Delta y' = 2c\frac{\partial W}{\partial v} = 2c\bar{E}_3 v.$$

Označíme-li jako δs_0 vzdálenost nového středu referenční sféry od původního středu referenční sféry (měřenou podél osy paprskového svazku), potom pro $v = v_k = 1$ máme

$$\Delta y'_k = -\frac{\delta s_0}{2c} = 2c\bar{E}_3.$$

Dosazením do (11) obdržíme

$$W_1 = -\frac{\delta s_0}{8c^2}(v^2 + w^2). \qquad (12)$$

Zavedeme nyní následující označení

$$q = v^2 + w^2 \quad v = \sqrt{q}\cdot\cos\varphi \quad w = \sqrt{q}\cdot\sin\varphi,$$

kde φ je polární souřadnice (úhel) v rovině výstupní pupily. Při tomto označení dostáváme

$$W_1 = -\frac{\delta s_0}{8c^2} q. \qquad (13a)$$

Je-li $2\pi/\lambda$ vlnové číslo a označíme-li

$$A_1 = \frac{\pi\delta s_0}{\lambda c^2},$$

dostáváme

$$kW_1(\delta_0) = -\frac{1}{4}A_1 q \qquad (13b)$$

Tuto aberaci vznikající posuvem δs_0 středu referenční sféry podél osy svazku nazýváme *podélná defokusace.*

Položme nyní $\bar{e}_3$, potom platí

$$W_1 = \bar{E}_2\bar{e}_2 = y\bar{E}_2 v. \qquad (14)$$

Použitím (6) obdržíme

$$\Delta y' = 2cy\bar{E}_2 = -\delta y_0,$$

a dosazením do (14) máme

$$W_1 = -\frac{\delta y_0}{2c} v = -\frac{\delta y_0}{2c}\sqrt{q}\cos\varphi \qquad (15a)$$

a tedy

$$kW_1 = -\frac{\pi\delta y_0}{\lambda c}\sqrt{q}\cos\varphi. \qquad (15b)$$

Označme

$$A_2 = \frac{\pi\delta y_0}{\lambda c},$$

potom platí

$$kW_1(\delta s_0) = -A_2\sqrt{q}\cos\varphi. \qquad (16)$$

Tato aberace vzniká posunutím středu referenční koule ve směru osy y' o hodnotu y_0. Tuto aberaci nazýváme *příčnou defokusací.*

Shrneme-li uvedené výsledky, dostáváme pro *úhrnnou aberaci prvního řádu* vztah

$$kW_1(\delta s_0, \delta y_0) = -\frac{1}{4}A_1 q - A_2\sqrt{q}\cos\varphi. \qquad (17)$$

kde jednotlivé koeficienty mají následujíc význam: $A_1 = \pi\delta s_0/\lambda c^2$ - podélná defokusace a $A_2 = \pi\delta s_0/\lambda c$ - příčná defokusace.

3.2. Aberace 3. a 5. řádu

Zabývejme se nyní současným působením aberací třetího a pátého řádu. Pro vlnovou aberaci tedy podle (9) a (10) platí

$$W = W_3 + W_5 = \frac{1}{2}\bar{E}_{12}y^3 v + \frac{1}{4}\bar{E}_{13}y^2(v^2 + w^2) +$$
$$+ \cdots + \frac{1}{48}\bar{E}_{333}(v^2 + w^2)^3.$$

Omezme se nyní na zkoumání základních aberací, potom platí

$$W = W_{310}y^3v + W_{201}y^2(v^2+w^2) + W_{220}y^2v^2 + W_{111}yv(v^2+w^2) + \\ + W_{002}(v^2+w^2)^2 + W_{510}y^5v + W_{401}y^4(v^2+w^2) + W_{420}y^4v^2 + \\ + W_{112}yv(v^2+w^2)^2 + W_{003}(v^2+w^2)^3 \qquad (18)$$

kde jednotlivé koeficienty značí: W_{002} - otvorová vada 3. řádu, W_{003} - otvorová vada 5. řádu, W_{111} - koma 3. řádu, W_{112} - koma 5. řádu, W_{201} - sklenutí 3. řádu, W_{401} - sklenutí 5. řádu, W_{220} - astigmatismus 3. řádu, W_{420} - astigmatismus 5. řádu, W_{310} - zkreslení 3. řádu, W_{510} - zkreslení 5. řádu.

Přistupme nyní k sledování jednotlivých typů aberací. Položme $y = 0$, jde tedy o *zobrazení aperturními paprsky*. Potom platí

$$W = W_{002}(v^2+w^2)^2 + W_{003}(v^2+w^2)^3 .$$

Parciální derivace podle proměnných v, w jsou dány vztahy

$$\frac{\partial W}{\partial v} = 4W_{002}(v^2+w^2)v + 6W_{003}(v^2+w^2)^2 v ,$$

$$\frac{\partial W}{\partial w} = 4W_{002}(v^2+w^2)w + 6W_{003}(v^2+w^2)^2 w .$$

Vzhledem k rotační souměrnosti stačí, omezíme-li se jen na poledníkový řez ($w = 0$), platí

$$\Delta y' = 2c(4W_{002}v^3 + 6W_{003}v^5) ,$$

dále platí pro $v = v_k = 1$

$$\frac{\Delta s'_k}{4c^2} = 4W_{002} + 6W_{003} ,$$

kde $\Delta s'_k = 2c\,\Delta y'_k$ je podélná aberace (podélná sférická aberace). Předpokládejme dále, že pro $v = v_0$ je $\Delta y' = 0$, potom platí

$$0 = 2W_{002} + 3W_{003}q_0 ,$$

což, ve spojení s předcházející rovnicí, dává

$$W_{002} = -\frac{3}{2}W_{003}q_0 , \quad W_{003} = \frac{\Delta s'_k}{24(1-q_0)c^2} ,$$

Koeficient W_{003} si můžeme také vyjádřit pomocí extrémní hodnoty $\Delta s'_{ext}$ podélné sférické aberace. Užitím předcházejících vztahů dostáváme

$$W_{003} = -\frac{\Delta s'_{ext}}{6c^2q_0^2} .$$

Podélná sférická aberace bude mít extrémní hodnotu pro pásmo $q_{ext} = q_0/2$. Dosazením za W_{002} a W_{003} do rovnice pro W obdržíme

$$W = \frac{\Delta s'_k(2q-3q_0)q^2}{48c^2(1-q_0)} = \frac{\Delta s'_{ext}(3q_0-2q)q^2}{12c^2q_0^2} . \qquad (19)$$

Tato aberace se nazývá *otvorová vada pátého řádu*.

Sledujme nyní *zobrazení hlavními paprsky*, tj. ve vztahu (18) uvažujme jen první mocniny v a w. Potom platí

$$W = W_{310}y^3v + W_{510}y^5v , \quad \frac{\partial W}{\partial v} = W_{310}y^3 + W_{510}y^5 , \quad \frac{\partial W}{\partial v} = 0 .$$

Je-li y_k krajní velikost předmětu, pak platí ($\Delta y'_{zk} \equiv \Delta y'_k$)

$$\frac{\Delta y'_{zk}}{2c} = y_k^3W_{310} + y_k^5W_{510} .$$

Předpokládejme dále, že pro určité $y = y_0$ je $\Delta y' = 0$ a tedy

$$0 = W_{310} + y_0^2W_{510} .$$

Spojením obou vztahů obdržíme

$$W_{510} = \frac{\Delta y'_{zk}}{2c(1-p_0)} \cdot \frac{1}{y_k^5} ,$$

$$W_{310} = -\frac{\Delta y'_{zk}}{2c(1-p_0)} \cdot \frac{p_0}{y_k^3} .$$

Dosadíme-li nyní tyto vztahy do rovnice pro W máme

$$W = \frac{\Delta y'_{zk}}{2c} \cdot p\sqrt{p} \cdot \frac{p-p_0}{1-p_0}\sqrt{q} \cdot \cos\varphi . \qquad (20)$$

Tato aberace se nazývá *zkreslení pátého řádu*. Dále p_{0z} značí pásmo zorného pole, pro které je zkreslení korigováno.

Přistupme nyní k sledování *komy třetího a pátého řádu*. Tato aberace závisí při daném y jen na šíři zobrazujícího svazku, a tedy bude platit

$$W = W_{111}yv(v^2+w^2) + W_{112}yv(v^2+w^2)^2 .$$

Parciální derivace jsou dány vztahy

$$\frac{\partial W}{\partial v} = W_{111}y(v^2+w^2) + 2W_{111}yv^2 + \\ + W_{112}y(v^2+w^2)^2 + 4W_{112}yv^2(v^2+w^2) ,$$

$$\frac{\partial W}{\partial w} = 2W_{111}yvw + 4W_{112}yv(v^2+w^2)w .$$

Vyšetřujme nyní *sagitální svazek* tj. v předcházejících vztazích položme $v = 0$. Užitím vztahů (6) dostáváme pro krajní pásmo ($w_k = 1$) vztah

$$\frac{\Delta y'_{sk}}{2c} = W_{111}y + W_{112}y$$

Předpokládejme nyní, že pro $w = w_0$ je $\Delta y'_s = 0$ (sagitální koma je korigována), potom platí

$$W_{111} + W_{112}q_{0k} = 0 .$$

Řešením těchto rovnic dostáváme

$$\frac{\Delta y'_{sk}}{2cy} = W_{112}(1-q_{0k}) , \quad W_{111} = -W_{112}q_{0k} .$$

Po dosazení do rovnice pro W obdržíme

$$W = \frac{\Delta y'_{sk}}{2c} \cdot \frac{q-q_{0k}}{1-q_{0k}} q\sqrt{q} \cdot \cos\varphi . \qquad (21)$$

Toto je výsledný vztah pro *komu* v případě, že *sagitální koma je korigována pro pásmo* q_{0k}.

Zkoumejme nyní zobrazení *meridionálním (tangenciálním) svazkem*, tj. pro $w = 0$. Potom dostáváme

$$\frac{\Delta y'_m}{2cy} = 3W_{111}v^2 + 5W_{112}v^4 .$$

Pro krajní pásmo máme ($v_k = 1$)

$$\frac{\Delta y'_{mk}}{2cy} = 3W_{111} + 5W_{112} .$$

Předpokládejme nyní, že pro $v = v$ je $\Delta y'_m = 0$ (meridionální koma je korigována), potom platí

$$3W_{111} + 5W_{112}q_{0k} = 0 .$$

Řešením těchto rovnic dostáváme

$$W_{111} = -\frac{5}{3}W_{112}q_{0k} , \quad W_{112} = \frac{\Delta y'_{mk}}{10(1-q_{0k})cy} .$$

Dosazením do vztahu pro W máme

$$W = \frac{\Delta y'_{mk}}{30c} \cdot \frac{3q - 5q_{0k}}{1 - q_{0k}} q\sqrt{q} \cdot \cos\varphi \,. \qquad (22)$$

Toto je výsledný vztah pro *komu* v případě, že je *tangenciální koma korigována pro pásmo* q_{0k}.

Studujme nyní *úzký astigmatický svazek*, tj. berme v úvahu jen nejnižší mocniny *v*, *w*. Platí tedy

$$W = W_{201} y^2 (v^2 + w^2) + W_{220} y^2 v^2 + W_{401} y^4 (v^2 + w^2) + W_{420} y^4 v^2 \,.$$

Pro parciální derivace potom dostáváme

$$\frac{\partial W}{\partial v} = (2W_{201} y^2 + 2W_{220} y^2 + 2W_{401} y^4 + 2W_{420} y^4) v \,,$$

$$\frac{\partial W}{\partial w} = (2W_{201} y^2 + 2W_{401} y^4) w \,.$$

Jak jsme si již dříve odvodili, platí

$$\Delta x' = w \frac{\Delta s'_s}{2c} \,, \qquad \Delta y' = v \frac{\Delta s'_m}{2c} \,,$$

Máme tedy

$$\frac{\Delta s'_m}{8c^2} = y^2 (W_{201} + W_{220} + W_{401} y^2 + W_{420} y^2) \,,$$

$$\frac{\Delta s'_s}{8c^2} = y^2 (W_{201} + W_{401} y^2) \,.$$

Pro zjednodušení výpočtu lze v předcházejících výrazech nahradit $y^2 \to p$, $\bar{W}_{201} = W_{201} y_k^2$, $\bar{W}_{401} = W_{401} y_k^4$ atd. Potom dostáváme

$$\frac{\Delta s'_m - \Delta s'_s}{8c^2} = p(\bar{W}_{220} + p\bar{W}_{420}) \,, \qquad \frac{\Delta s'_s}{8c^2} = p(\bar{W}_{201} + p\bar{W}_{401}) \,.$$

Předpokládejme, že pro $p = p_0$ je astigmatismus korigován a tedy

$$\Delta s'_{ms} = \Delta s'_m - \Delta s'_s = 0 \,, \qquad \Delta s'_m = \Delta s'_s = \Delta s'_{s0} \,.$$

Veličinu $\Delta s'_{ms}$ nazýváme *astigmatismem* a veličinu $\Delta s'_{s0}$ nazýváme *střední zklenutí*. Podle předcházejících rovnic tedy platí

$$\bar{W}_{220} + \bar{W}_{420} p_0 = 0 \,, \qquad \frac{\Delta s'_{s0}}{8c^2} = p_0 (\bar{W}_{201} + \bar{W}_{401} p_0) \,. \qquad (23)$$

Pro $y = y_k$ dostáváme

$$\frac{\Delta s'_{mk} - \Delta s'_{sk}}{8c^2} = \bar{W}_{220} + \bar{W}_{420} \,, \qquad \frac{\Delta s'_{sk}}{8c^2} = \bar{W}_{201} + \bar{W}_{401} \,. \qquad (24)$$

Řešením rovnic (23) a (24) obdržíme

$$\bar{W}_{220} = -p_0 \bar{W}_{420} \,, \qquad \bar{W}_{420} = \frac{\Delta s'_{mk} - \Delta s'_{sk}}{8c^2 (1 - p_0)} \,,$$

$$\bar{W}_{401} = \frac{1}{8c^2 (1 - p_0)} \left[\Delta s'_{sk} - \frac{\Delta s'_{s0}}{p_0} \right] \,,$$

$$\bar{W}_{201} = \frac{\Delta s'_{s0}}{8c^2 p_0 (1 - p_0)} - \frac{p_0 \Delta s'_{sk}}{8c^2 (1 - p_0)} \,, \qquad (25)$$

$$\bar{W}_{201} = \frac{1}{8c^2 (1 - p_0)} \left[\frac{\Delta s'_{s0}}{p_0} - p_0 \Delta s'_{sk} \right] .$$

Dosadíme-li nyní tyto vztahy do rovnice pro *W*, kterou upravíme na tvar

$$W = p(\bar{W}_{201} + p\bar{W}_{401}) q + p(\bar{W}_{220} + p\bar{W}_{420}) v^2 \,,$$

dostáváme

$$W = p(p - p_0) \frac{\Delta s'_{mk} - \Delta s'_{sk}}{8c^2 (1 - p_0)} v^2 +$$

$$+ \frac{p}{8c^2 (1 - p_0)} \left[(p - p_0) \Delta s'_{sk} + \frac{1 - p}{p_0} \Delta s'_{s0} \right] q \,,$$

odkud získáme po úpravě vztah pro vlnovou aberaci v případě *zklenutí pátého řádu*

$$W = p \frac{p - p_0}{1 - p_0} \left[\frac{\Delta s'_{mk}}{8c^2} \cos^2\varphi + \frac{\Delta s'_{sk}}{8c^2} \sin^2\varphi \right] \qquad (26)$$

$$\mathrm{q} + \frac{p(1 - p)}{p_0 (1 - p_0)} \cdot \frac{\Delta s'_{s0}}{8c^2} q$$

Shrneme-li uvedené výsledky, dostáváme pro *úhrnnou primární aberaci pátého řádu spolu s aberacemi prvního řádu* ($W = W_1 + W_3 + W_5$) vztah

$$kW = kW_1(\delta s_0) + kW_1(\delta y_0) +$$

$$+ \frac{2q - 3q_0}{3(1 - q_0)} kW_3(\Delta s'_k) + \frac{q - q_{0k}}{1 - q_{0k}} kW_3(\Delta y'_{sk}) + \qquad (27)$$

$$+ \frac{p - p_0}{1 - p_0} kW_3(\Delta s'_{mk}, \Delta s'_{sk}) + \frac{1 - p}{p_0 (1 - p_0)} kW_3(\Delta s'_{s0}) +$$

$$+ \frac{p - p_{0z}}{1 - p_{0z}} kW_3(\Delta y'_{zk})$$

kde jsme položili

$$kW_1(\delta s_0) = -\frac{1}{4} A_1 q \,,$$

$$kW_1(\delta y_0) = -A_2 \sqrt{q} \cos\varphi \,, \; kW_3(\Delta s'_k) = \frac{1}{8} A_3 q^2 \,,$$

$$kW_3(\Delta y'_{sk}) = A_4 q\sqrt{q} \cos\varphi \,, \qquad (28)$$

$$kW_3(\Delta s'_{mk}, \Delta s'_{sk}) = \frac{1}{4} p(A_5 \cos^2\varphi + A_6 \sin^2\varphi) q \,,$$

$$kW_3(\Delta s'_{s0}) = \frac{1}{4} p A_7 q \,, \quad kW_3(\Delta y'_{zk}) = p\sqrt{p} A_8 \sqrt{q} \cos\varphi \,.$$

Jednotlivé koeficienty ve vztazích (28) mají následujíc význam: $A_1 = \pi\delta s_0 / \lambda c^2$- podélná defokusace, $A_2 = \pi\delta s_0 / \lambda c$ - příčná defokusace, $A_3 = \pi\Delta s'_k / \lambda c^2$ - sférická aberace, $A_4 = \pi\Delta y'_{sk} / \lambda c$ - sagitální koma, $A_5 = \pi\Delta s'_{mk} / \lambda c^2$ - meridionální zklenutí, $A_6 = \pi\Delta s'_{sk} / \lambda c^2$ - sagitální zklenutí, $A_7 = \pi\Delta s'_{s0} / \lambda c^2$ - střední zklenutí, $A_8 = \pi\Delta y'_{zk} / \lambda c$ - zkreslení. Dále jsme zvolili označení

$$q = \left(\frac{h}{h_k} \right)^2 , \quad q_0 = \left(\frac{h_0}{h_k} \right)^2 , \quad p = \left(\frac{y}{y_k} \right)^2 , \quad p_0 = \left(\frac{y_0}{y_k} \right)^2 ,$$

kde (h, φ) jsou polární souřadnice v rovině výstupní pupily a y je velikost předmětu. Dále h_0 je radiální vzdálenost od středu výstupní pupily, pro kterou je vada korigována, obdobně y_0 je velikost předmětu, pro který je příslušná vada korigována, h_k je poloměr výstupní pupily a y_k je maximální (krajní) velikost předmětu. V případě nekonečně vzdálených předmětů platí

$$p = \left(\frac{\mathrm{tg}\,\tau}{\mathrm{tg}\,\tau_k} \right)^2 , \quad p_0 = \left(\frac{\mathrm{tg}\,\tau_0}{\mathrm{tg}\,\tau_k} \right)^2 ,$$

kde τ je úhel zorného pole, τ_0 je úhel zorného pole pro který je aberace korigována a τ_k je maximální úhel zorného pole. V případě, že q_0, p_0, q_{0k} a p_{0z} se bez omezení blíží k nekonečnu, potom přecházejí aberace pátého řádu v aberace třetího řádu, jak je patrno ze vztahu (27) pro úhrnnou aberaci pátého řádu. *Vztah* (27) *nám představuje*

názorné vyjádření výsledné vlnové aberace pomocí korekčních pásem q_0, q_{0k}, p_0 a p_{0z} a aberací prvního a třetího řádu.

4. VÝPOČET KOREKČNÍCH PÁSEM MINIMALIZUJÍCÍCH MAXIMÁLNÍ ODCHYLKU VLNOVÉ ABERACE

Jak je ze vztahu (27) patrno, bude průběh vlnové aberace závislý na hodnotách korekčních pásem q_0, q_{0k}, p_0 a p_{0z}. Zabývejme se nyní problémem určení optimálních hodnot korekčních pásem pro jednotlivé typy aberací. *Optimální hodnoty korekčních pásem budou záviset na kritériu, které si zvolíme pro posouzení vlivu vlnové aberace na vyšetřovaný proces*.

Předpokládejme nyní, že *kritériem pro výpočet optimálních hodnot korekčních parametrů bude maximální odchylka vlnové aberace od nuly*. Toto kriterium má význam např. v oblasti měření tvaru optických ploch, kdy se nám jedná o určení odchylek jednotlivých bodů měřené plochy od nominálního tvaru této plochy. Zabývejme se nyní postupně jednotlivými vadami tj. vyšetřujme ve vztahu (27) jeho jednotlivé členy.

4.1. Sférická aberace

V případě sférické aberace ze vztahu (27) dostáváme

$$W = \frac{\Delta s'_k}{48c^2}\left(\frac{2r^2-3q_0}{1-q_0}\right)r^4 - \frac{s_0}{8c^2}r^2 = W_{60}r^6 + W_{40}r^4 + W_{20}r^2 , \quad (29)$$

kde jsme označili $r^2 = v^2 + w^2$. Dále pak značí

$$W_{60} = \frac{\Delta s'_k}{24c^2(1-q_0)} = -\frac{\Delta s'_{ext}}{6c^2 q_0^2} ,$$
$$W_{40} = -\frac{3}{2}q_0 W_{60} , \quad W_{20} = -\frac{\delta s_0}{8c^2} , \quad (30)$$

Má-li se vlnová aberace W, daná vztahem (29), minimálně odchylovat od nuly, musí se pravá část rovnice (29) rovnat příslušnému *Čebyševovu polynomu* [12]. Musí tedy platit $W - 1 = T_6$, kde T_6 je Čebyševův polynom. Tedy

$$W - 1 = W_{60}r^6 + W_{40}r^4 + W_{20}r^2 - 1 = 32r^6 - 48r^4 + 18r^2 - 1 . \quad (31)$$

Porovnáním koeficientů ve vztahu (31) dostáváme

$$W_{60} = -\frac{\Delta s'_{ext}}{6c^2 q_0^2} = 32 ,$$
$$W_{40} = -\frac{3}{2}q_0 W_{60} = -48 , \quad W_{20} = -\frac{\delta s_0}{8c^2} = 18 .$$

Řešením těchto vztahů dostáváme

$$q_0 = 1, \quad \delta s_0 = 3\Delta s'_{ext}/4 = 0,75\ \Delta s'_{ext} . \quad (32)$$

Ze vztahů (32) je patrno, že optimální hodnota korekčního pásma v případě sférické aberace je $q_0 = 1$ a tedy sférická aberace je korigována pro paprsky procházející krajem výstupní pupily optické soustavy. Poloha středu referenční sféry se pak nachází ve vzdálenosti $\delta s_0 = 0,75\ \Delta s'_{ext}$ od paraxiální obrazové roviny, kde $\Delta s'_{ext}$ je podélná sférická aberace pro pásmo $q = q_{ext} = 0,5\ q_0$.

4.2. Koma

V případě komy ze vztahu (27) dostáváme

$$W = \frac{\Delta y'_{sk}}{2c}\left(\frac{r^{2\prime}-q_{0k}}{1-q_{0k}}\right)r^3\cos\varphi - \frac{y_0}{2c}r\cos\varphi =$$
$$= W_{51}r^5\cos\varphi + W_{31}r^3\cos\varphi + W_{11}r\cos\varphi , \quad (33)$$

kde jsme označili

$$W_{31} = -\frac{\Delta y'_{sk}}{2c(1-q_{0k})}q_{0k} = -W_{51}q_{0k} , \quad W_{11} = -\frac{\delta y_0}{2c} . \quad (34)$$

Má-li se vlnová aberace W, daná vztahem (33), minimálně odchylovat od nuly, musí se pravá část rovnice (33) rovnat příslušnému Čebyševovu polynomu. Musí tedy platit $W = T_5$, kde T_5 je Čebyševův polynom. Tedy

$$W = W_{51}r^5\cos\varphi + W_{31}r^3\cos\varphi + W_{11}r\cos\varphi =$$
$$= 16r^5 - 20r^3 + 5r . \quad (35)$$

Porovnáním koeficientů ve vztahu (35) dostáváme

$$W_{51}\cos\varphi = \frac{\Delta y'_{sk}}{2c(1-q_{0k})}\cos\varphi = 16 ,$$
$$W_{31}\cos\varphi = -W_{51}q_{0k}\cos\varphi = -20 ,$$
$$W_{11}\cos\varphi = -\frac{\delta y_0}{2c}\cos\varphi = 5 .$$

Řešením těchto vztahů dostáváme

$$q_{0k} = 5/4 = 1,2 , \quad \delta y_0 = \frac{5\Delta y'_{sk}}{16(1-q_{0k})} = -\frac{5}{4}\Delta y'_{sk} . \quad (36)$$

Ze vztahů (36) je patrno, že optimální hodnota korekčního pásma v případě komy je $q_{0k} = 1,25$ a koma je tedy v tomto případě podkorigována. Poloha středu referenční sféry se pak nachází ve vzdálenosti $\delta y_0 = -1,25\ \Delta y'_{sk}$ od paraxiální obrazového bodu, kde $\Delta y'_{sk}$ je sagitální koma pro paprsky procházející okrajem výstupní pupily optické soustavy.

4.3. Zklenutí pole

V případě sklenutí pole ze vztahu (27) dostáváme ($p \in \langle 0, 1\rangle$)

$$W = C_0 + p(p-p_0)C_1 + p(1-p)C_2 , \quad (37)$$

kde jsme pro jednoduchost označili

$$C_0 = -\frac{\delta s_0}{8c^2}q , \quad C_1 = \frac{q\left(\Delta s'_{mk}\cos^2\varphi + \Delta s'_{sk}\sin^2\varphi\right)}{8c^2(1-p_0)} ,$$
$$C_2 = \frac{q\,\Delta s'_{s0}}{8c^2 p_0(1-p_0)} . \quad (38)$$

Má-li se vlnová aberace W, daná vztahem (37), minimálně odchylovat od nuly, musí se pravá část rovnice (37) rovnat příslušnému Čebyševovu polynomu. Musí tedy platit $W = T^*_2$, kde T^*_2 je Čebyševův posunutý polynom [12]. Tedy

$$W = p^2(C_1 - 1) + p(C_2 - p_0C_1) + C_0 = 8p^2 - 8p + 1 .$$

Odtud dostáváme

$$C_1 - 1 = 8 , \ C_2 - p_0C_1 = -8 , \ C_0 = 1.$$

Užitím vztahů (38) dostáváme

$$p_0(p_0 - 8/9) = \frac{\Delta s'_{s0}}{\Delta s'_{mk}\cos^2\varphi + \Delta s'_{sk}\sin^2\varphi} ,$$
$$s_0 = -\frac{\Delta s'_{mk}\cos^2\varphi + \Delta s'_{sk}\sin^2\varphi}{9(1-p_0)} . \quad (39)$$

Vztahy (39) nám vyjadřují relace mezi zklenutím pole a korekčním pásmem, které musí být splněny, má-li být dosaženo optimálního korekčního stavu ve výše uvedeném smyslu. Volíme-li ve vztazích (39) např. $\Delta s'_{s0} = 0$ a dosadíme-li za $\cos^2\varphi$ a $\sin^2\varphi$ jejich střední hodnoty $\langle\cos^2\varphi\rangle = \langle\sin^2\varphi\rangle = 0,5$, dostáváme

$$p_0 = 8/9 = 0,89 , \ s_0 = -(\Delta s'_{mk} + \Delta s'_{sk})/2 . \quad (40)$$

Chceme-li např., aby poloha optimální obrazové roviny pro zklenutí pole a sférickou aberaci byla stejná, potom užitím vztahů (32) a (40) dostáváme relaci mezi sférickou aberací a zklenutím pole ve tvaru

$$\Delta s'_{ext} = -2(\Delta s'_{mk} + \Delta s'_{sk})/3$$

Z tohoto vztahu je patrno, že sférická aberace a zklenutí pole nejsou navzájem nezávislé veličiny.

4.4. Zkreslení

V případě zkreslení je vlnová aberace dána vztahem

$$(\bar{y} = y / y_k = \sqrt{p})$$

$$W = \bar{W}_{510}\bar{y}^5 v + \bar{W}_{310}\bar{y}^3 v + \bar{W}_{110}\bar{y}v\,, \qquad (41)$$

kde

$$\bar{W}_{310} = -\frac{\Delta y'_{kz}\ p_{0z}}{2c(1-p_{0z})} = -p_{0z}\bar{W}_{510}\,, \quad \bar{W}_{110}\bar{y} = -\delta y_0 / 2c\,. \qquad (42)$$

Má-li se vlnová aberace W, daná vztahem (41), minimálně odchylovat od nuly, musí se pravá část rovnice (41) rovnat příslušnému Čebyševovu polynomu. Musí tedy platit $W = T_5$, kde T_5 je Čebyševův polynom. Tedy

$$W = \bar{W}_{510}\bar{y}^5 v + \bar{W}_{310}\bar{y}^3 v + \bar{W}_{110}\bar{y}v = 16\bar{y}^5 - 20\bar{y}^3 + 5\bar{y}\,.$$

Odtud dostáváme

$$\bar{W}_{510}v = 16, \quad \bar{W}_{310}v = -20, \quad \bar{W}_{110}v = 5\,.$$

Užitím vztahů (42) obdržíme

$$p_{0z} = 5/4 = 1{,}25\,,$$
$$\delta y_0 = -\frac{5\,\Delta y'_{kz}}{16(1-p_{0z})}\sqrt{p} = (5/4)\Delta y'_{kz}\sqrt{p}\,. \qquad (43)$$

Ze vztahů (43) je patrno, že optimální hodnota korekčního pásma v případě zkreslení je p_{0z} = 1,25. Poloha středu referenční sféry se pak nachází ve vzdálenosti $\delta y_0 = (5/4)\,\Delta y'_{kz}\sqrt{p}$ od paraxiálního obrazového bodu pásma p zorného pole a $\Delta y'_{kz}$ je hodnota zkreslení pro kraj zorného pole (p = 1).

5. ZÁVĚR

V práci byla provedena podrobná teoretická analýza výpočtu koeficientů vlnové aberace až do pátého řádu a to pomocí korekčních pásem tj. pásem, v kterých je hodnota příslušné paprskové aberace nulová. Říkáme, že pro tato pásma je aberace korigována. Při výpočtech optických systémů je toto vyjádření výhodné a názorné, neboť aberace jsou ve většině případů korigovány pro určité pásmo v oblasti numerické apertury a pro určité pásmo v zorném poli. Odvozené vztahy představují jedno z možných vyjádření koeficientů vlnové aberace, které je však velmi názorné z praktického hlediska. Užitím odvozených vztahů a Čebyševových polynomů byl proveden výpočet optimálních korekčních pásem a poloh středů referenční sféry pro případ, že požadujeme minimální odchylku vlnové aberace od nuly.

Práce byla vypracována v rámci projektu MSM6840770022 Ministerstva školství ČR.

Literatura

[1] MIKŠ, A.: *Aplikovaná optika 10* . Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000.

[2] MARÉCHAL, A.: *Imagerie Géométrique Aberrations*. Revue d´Optique, Paris, 1952.

[3] HERZBERGER, M.: *Modern Geometrical Optics*. Interscience, New York, 1958.

[4] MOUROULIS, P. - MACDONALD, J.: *Geometrical Optics and Optical Design*. Oxford University Press, New York, 1997.

[5] BORN, M. - WOLF, E.: *Principles of Optics*. Oxford University Press, New York, 1964.

[6] HOPKINS, H. H.: *Wave theory of Aberrations*. Oxford University Press, New York, 1950.

[7] COX, A.: *A System of Optical Design*. Focal Press, London, 1964.

[8] HAFERKORN, H.: *Bewertung optisher systeme*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin,1986.

[9] WELFORD, W. T.: *Aberrations of the Symmetrical Optical Systems*. Academic Press, London, 1974.

[10] BUCHDAHL, H. A.: *An Introduction to Hamiltonian Optics*. Cambridge University Press, Cambridge, 1970.

[11] HOPKINS, H. H.: *Canonical Pupil Coordinates in Geometrical Optics and Diffraction Image Theory*. Jap. J. Appl. Physics, Vol. 4, Sup. I, 1965, pp. 31-35.

[12] KORN, G. A. - KORN, T.M.: *Mathematical Handbook*. McGraw-Hill, New York, 1968.

Prof. RNDr. Antonín Mikš, CSc., katedra fyziky, Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice,
tel.: 224 354 948, fax: 233 333 226, e-mail: miks@fsv.cvut.cz
Ing. Jiří Novák, PhD., katedra fyziky, Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice,
tel.: 224 354 435, fax: 233 333 226, e-mail: novakji@fsv.cvut.cz

Jaroslav POSPÍŠIL, Jan HRDÝ, Jan HRDÝ, jr.
Department of Experimental Physics of Palacký University and Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of Academy of Sciences, Olomouc, Czech Republic

Fundamental color classification systems for the digital imaging colorimetry

The article is written in the form of a review paper containing four fundamental color classification systems for the digital imaging colorimetry. Such a branch is based commonly on exploitation of a digital three-channel color camera adapted for objective color measurements and connected with an evaluational and processing PC. The relevant fundamental color (colorimetric) classification systems under consideration in this article are: the additive color system (R,G,B), the subtractive color system (C,M,Y), the CIE color system (X,Y,Z) and the CIE color system (L,a*,b*).*

Keywords: Color classification systems, color coordinates, analog and digital imaging colorimetry

1. INTRODUCTION

Color is one of the important properties of various objects and substances. It is a specific sensuous psychophysical and neurophysiological percept inseparably associated with the light (visible electromagnetic radiation) of wavelength range about $\lambda \approx 400 - 800$ nm which incidences on the human eye retina [1-4]. Usually, there are distinguished the color of light emitted by a source (stimuli, illuminant) directly and the color of light influenced by an object (or substance). In the first case, the light color (light color shade) can be characterized sufficiently by its chromaticity (color tone, color hue) and saturation (color purity, chroma) while in the second case, the color identification of an object (or substance) relates to three basic properties: chromaticity called coloring, saturation and luminance (i. e. brightness under perception of a self-luminous object or lightness under perception of a nonself-luminous object). These properties can be numerically expressed by the natural physical color (colorimetric) quantities (natural color coordinates): dominant light wavelength, saturation rate (degree) and light flux (generally, luminance value). The substances that absorb, reflect or transmit the light energy are called colorants (if insoluble, pigments; if soluble, dyes).

A human eye perceives an inexhaustible number of various colors. Provided their physical effects, they can be evaluated by the methods of the spectral photometry or densitometry given the relevant optical spectra. The psychophysical effects of a color can be suitably evaluated by a tristimulus (trichromatic) color (colorimetric) system (model, space) which is based on the fact that an additive mixing of three suitably chosen representative (primary) color lights can produce the percept of any color. These mixtures are accurately and exactly numerically expressible by tristimulus (trichromatic) color (colorimetric) quantities (coordinates, components) representing the relevant tristimulus (trichromatic) color (colorimetric) classification systems of various possible modifications. For the considered digital (and also analog) imaging colorimetry, the following classical tristimulus color classification systems are fundamental: the additive color system (*R,G,B*), the subtractive color system (*C,M,Y*), the CIE color system (*X,Y,Z*) and the CIE color system (*L*,a*,b**). Their interpretation and evaluation is the subject of the present text.

2. COLOR SYSTEMS (*R,G,B*) AND (*C,M,Y*)

Every tristimulus colorimetry, relating to a human eye color reception, requires the defined choice of three primary light sources: R (red of representative wavelength $\lambda = 770$ nm), G (green, $\lambda = 546.1$), B (blue, $\lambda = 435.8$ nm). The corresponding additive rectangular color system (*R,G,B*) with coordinate-axes (*r,g,b*) is represented by the unit RGB color cube of color vertexes R($r = 1$, $g = 0$, $b = 0$), G(0, 1, 0), B(0, 0, 1), C(0, 1, 1), M(1, 0, 1), Y(1, 1, 0), W(1, 1, 1), K(0, 0, 0), see Fig. 1. The remaining color vertexes C, M and Y in Fig. 1 represent the cyan (azure, blue-green) C, magenta (purple, red-blue) M and yellow (green-red) Y complementary primary (normal) colors to the additive primary colors R, G and B. The additive mixing of a primary and a corresponding complementary color gives rise to the white color W, while their subtractive mixing produces the black (key) color K, respective various shades of the gray color which lie on the straight line $\overline{WK}$.

The additive tristimulus color system (*R,G,B*) is the entrance model for image information processing by a PC. It is also suitable for imaging, displaying, monitoring and scanning purposes. For printing purposes, the complementary subtractive color system (*C, M, Y*), or (*C, M, Y, K*), is commonly of use. The corresponding unit CMY color cube of coordinate-axes (*c, m, y*) has vertexes C(1, 0, 0), M(0, 1, 0), Y(0, 0, 1), R(0, 1, 1), G(1, 0, 1), B(1, 1, 0), W(0, 0, 0), K(1, 1, 1). Mixing of the next color produces an increase in the resultant color luminance in the (*R, G, B*) system, whereas a darker color shade is obtained under the (*C,M,Y*) system. Therefore in the printing practice, the system (*C,M,Y,K*) is often exploited when an addition of a black color gives darker shade of the resultant color.

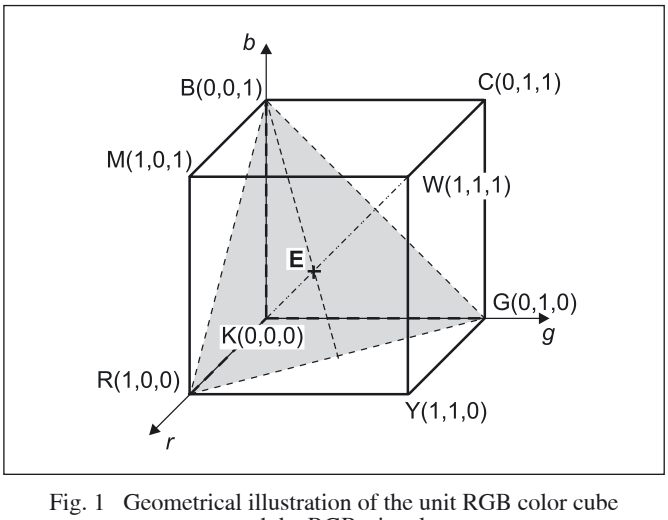


Fig. 1 Geometrical illustration of the unit RGB color cube and the RGB triangle

When the continuous color changes are considered, the total number of colors is not defined. If we respect the common usual binary quantization (digitizing) of the color quantities in the (*R, G, B*) or (*C, M, Y*) system by a digital measuring device, a reduction of the number of colors is obtained. The corresponding so-called color depth in number of bits per screen pixel (pictural element) expresses the fineness of gray and color shades which are distinguished by the used device, while the color resolution is the total number of distinct colors that can be produced by the device. Most of the contemporary computer displays use 8, 16 or 24 bits per screen pixel. In the case of one-channel (monochromatic) imaging (one-channel video signal) with 1 bit/pixel or 8 bits/pixel displays and uniform color quantization, the corresponding total number $\mathcal{N}$ of the primary color luminance shades (steps) per channel is $\mathcal{N} = 2^1 = 2$, which relates to the black-and-white (K/W) signal of shades 0 and 1, or $\mathcal{N} = 2^8 = 256$ for the so-called gray-scale signal of shades from 0 to 255. If we consider a three-channel (tristimulus, trichromatic) videosignal with common 8 bits/pixel displays and uniform quantization, then the corresponding number $\mathcal{N}$ of the primary color luminance shades per channel is also $\mathcal{N} = 2^8 = 256$, while the total color depth is $3 \times 8 = 24$ bits/pixel and the total number of color shades per all three channels (the total color resolution) is $\mathcal{N} = 2^{(3\times8)} = 2^{24} = 16.78 \times 10^6$. It is the so-called truecolor resolution. The corresponding truecolor RGB cube of approximately illustrated color shades for 8 bits/pixel displays is shown in Fig. 2 (on the third page of the cover).

For the (*C,M,Y,K*) system with 8 bits per pixel and channel and for channels total color depth $4 \times 8 = 32$ bits/pixel, the total color resolution is also $\mathcal{N} = 16.78 \times 10^6$, because the added component *K* does not form a color channel. Practically, all the theoretical true color shades have never been obtained by digital devices existing so far.

3. CIE COLOR SYSTEM (*X,Y,Z*)

The spatial cubic color representation (*R,G,B*), or (*C,M,Y*), is often not advantageous from the standpoint of color observation, evaluation and numerical procedures. However, it can be transformed into the suitable intersection color triangle RGB, or CMY, so that the individual cubic color points are imaged into the RGB (or CMY) triangle as intersection points of straight lines connecting these points with the cubic origin K, or W. For example, the white point W of the unit RGB color cube in Fig. 1 is transformed into the intersection (representative) white point E of the color triangle RGB. In the extension of the color triangle RGB, forming the RGB (*r,g,b*) color plane, it is also possible to mark other colors (color points) which lie outside the area defined by the RGB color cube.

The disadvantage of the tristimulus color systems (*R,G,B*) and (*C,M,Y*), or (*C,M,Y,K*), consisting in the impossibility to include all possible colors by nonnegative values is removed by other color systems. The needful standard represents the color definitions and systems which were established by the Commission Internationale de l'Eclairage (International Commission on Illumination) of usual abbreviation CIE. On the basis of long-time investigations, were defined different suitable color systems which include all colors of the visible optical spectrum. The colors in such systems have their characteristic nonnegative values, called conventionally the color (colorimetric) coordinates (respective color single dimensions). The basic CIE color systems are the CIE 1931 tristimulus color system (*X,Y,Z*), or (*x,y,z*), and the CIE 1976 color system (L^*, a^*, b^*) known also as the CIELAB color system which is more complete. These systems contain, besides others, all the colors of the (*R, G, B*) and (*C, M, Y*) systems and are standardly useful also for image-computational processing. For color manipulation purposes, not only the choice of primary colors is important but also the manner of their combination. Provided the colors are processed only by PC, their (*R, G, B*), (*X, Y, Z*) and (L^*, a^*, b^*) representations are advantageous. The simulation is worse when a user must insert the color data into the PC itself. Namely, the user's singleness valuation of color properties by quantities of the color systems mentioned above is difficult, always. Therefore, also other suitable specific color systems were established that are more close to the human eye color perception and are suitable for the more easy insertion and arrangement of the color components. Basically, they exploit other useful color quantities (components) than the basic systems mentioned above. One of also acceptable color systems is the Munsell system (*H, V, C*) which enables advantageously the successive changes of separate color characteristics under conservations of other (remaining) color properties. Such a system is not a matter of our next considerations and it is described, for example, in [1-11].

The CIE 1931 tristimulus color system (*X,Y,Z*) is based on exploitation of the classical tristimulus (trichromatic) theory of human eye color perception by which the perceived color of light is a combination of three primary stimuli of representative so-called CIE standard observer (stimuli) spectral curves $\overline{x}(\lambda)$, $\overline{y}(\lambda)$ and $\overline{z}(\lambda)$ in dependence of the light wavelength λ (Fig. 3). Such curves are also called the standard color-matching (color response) functions (spectral composition curves of tristimulus factors $\overline{x}$, $\overline{y}$ and $\overline{z}$). Moreover, the curve $\overline{y}(\lambda)$ agrees with the shape of the eye sensitivity curve for the conventional CIE standard observer under day (photopic) illumination conditions [2, 3]. The color stimuli is a radiant light energy of given intensity and spectral composition entering the eye and producing perception of a color.

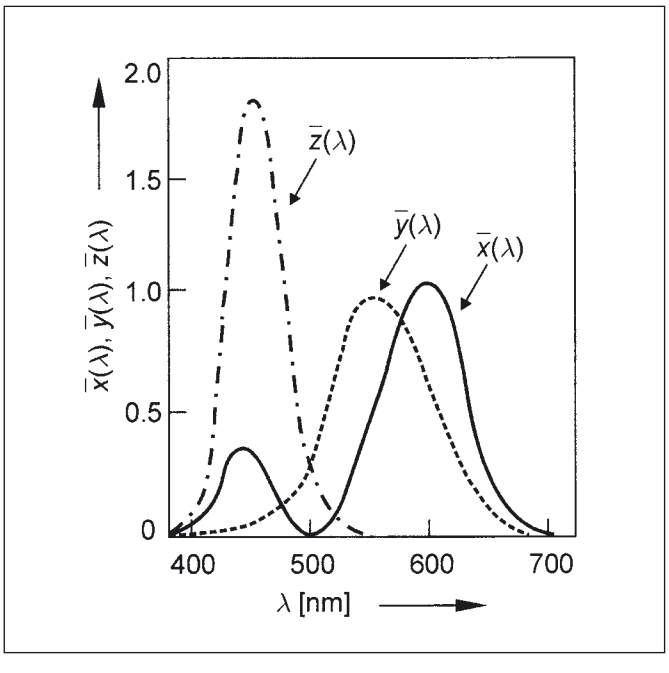


Fig. 3 CIE standard observer spectral curves $\overline{x}(\lambda)$, $\overline{y}(\lambda)$ and $\overline{z}(\lambda)$

The observed uniformly distributed color of an object or substance sample surface (specimen) is then unambiguously described by the CIE tristimulus color coordinates (color components) of general definitions

$$X = k \int_{\Delta\lambda} \mathcal{P}(\lambda)\mathcal{E}(\lambda)\overline{x}(\lambda)\mathrm{d}\lambda \,, \tag{1a}$$

$$Y = k \int_{\Delta\lambda} \mathcal{P}(\lambda)\mathcal{E}(\lambda)\overline{y}(\lambda)\mathrm{d}\lambda \,, \tag{1b}$$

$$Z = k \int_{\Delta\lambda} \mathcal{P}(\lambda)\mathcal{E}(\lambda)\overline{z}(\lambda)\mathrm{d}\lambda \,. \tag{1c}$$

$\mathcal{P}(\lambda)$ is the sample light spectral composition function. It represents the diffuse light spectral reflectance $\mathcal{R}(\lambda)$ (light reflection factor) of an opaque sample, $0 \le \mathcal{R}(\lambda) \le 1$, or if need be the scattered

light transmittance $\mathcal{T}(\lambda)$ (light transmission factor) or the light absorbance (light absorption factor) $\mathcal{A}(\lambda)$ of an transmitting (transparent) sample, $0 \le \mathcal{T}(\lambda) \le 1$, $0 \le \mathcal{A}(\lambda) \le 1$. $\mathcal{E}(\lambda)$ is the spectral power density of the light source utilized (the sample spectral illumination). The wavelength extent $\Delta\lambda$ of integrals (1) relates to the light range $\lambda \approx 400 - 800$ nm. The proportional constant k is the normalizing coefficient which for the sample colors can be conveniently chosen as

$$k = \frac{100}{\int_{\Delta\lambda} \mathcal{E}(\lambda)\bar{y}(\lambda)\mathrm{d}(\lambda)}. \qquad (2)$$

With introduction of the constant (2), we express the tristimulus values (1) of sample colors on the scale having the maximum value $Y = 100$ related to a perfect diffusely reflecting sample surface in the case of an opaque sample, or to a perfectly scattering transmitting sample. If we consider only the situation without a sample, or with a perfect white sample, then the value $\mathcal{P}(\lambda) = 1$ in Eqs.(1) is correct.

Because the determination of ratios *X:Y:Z* is sufficient, the CIE relative color coordinates (chromatic factors) *x, y* and z of definitions

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \qquad (3)$$

are useful. Moreover, the validity of the equality

$$x + y + z = 1 \qquad (4)$$

makes possible the sufficient considerations only about the coordinates x and y in the so-called CIE color plane (*x, y*). Since the components *X, Y* and *Z* are nonnegative, the coordinates (*x, y, z*) are within the domains

$$0 \le x \le 1, \quad 0 \le y \le 1, \quad 0 \le z \le 1. \qquad (5)$$

In fact, all the considered tristimulus relative rectangular coordinates *x*, *y* and *z* form the plane area of an equileg rectangular CIE color triangle XYZ in the (*x, y*) – color plane. It means that all the real (actual, existing) and virtual (illusory, nonexisting) colors lie within the triangle XYZ. Its legs have unit length and its hypotenuse belongs to the parametric value $z = 0$. Moreover, the other straight lines, parallel to the hypotenuse of the triangle XYZ, belong to the parametric values $0 < z < 1$ and the value $z = 1$ is associated to the vertex Z. Therefore, the vertexes X, Y and Z have the coordinates: X($x = 1, y = 0, z = 0$), Y($x = 0, y = 1, z = 0$), Z($x = 0, y = 0, z = 1$). They represent the three primary virtual light colors in the plane (*x, y*).

The real light colors can be separated into the saturated colors (i. e. the colors of all monochromatic lights) and into the nonsaturated colors (which contain an additive white component). According to the chromaticity, the lights can be chromatic (colored), i. e. of red, green, blue, yellow, cyan, magenta chromaticity (coloring) or they can be achromatic (colorless). It is evident that there exists only one achromatic light, i. e. white light, while the achromatic objects (substances) can be white, of all possible gray shades or of black color.

All the existing real light colors are included in the separate closed part of the color triangle XYZ. This part is bounded by the so-called CIE chromatic (chromaticity) diagram (color saturation line), see Fig. 4. Such a diagram is a plane graph with *x* and *y* coordinate axes and it is formed above by the spectral color saturation curve of a curved triangle (horse-shoe) shape and below by the nonspectral color saturation straight line, i. e. by the straight line of pure purples (pure magenta colors). The boundary of the chromatic diagram with light wavelength scale represents all the real saturated colors, while its inside forms the nonsaturated color area containing all the real nonsaturated colors inclusive of the white color area. This area is a result of additive mixed primary lights R, G, B, or their complements C, M, Y. All the contracting various white color points in the white color area are situated in the near surroundings of the central representative white point E. This point represents the equienergetic realizable white light of relative coordinates $x = y = 0.333$ and equivalent color temperature 5400 K (its nonrealizable theoretical form is denoted obviously by the symbol I) [3 - 5]. The approximate colors dislocation in the chromatic diagram is illustrated in Fig. 5 (on the third page of the cover).

For the human eye color perception, the real primary light colors have the conventional coordinates: R ($x = 0.7347$, $y = 0.2653$), G ($x = 0.2738$, $y = 0.7171$), B ($x = 0.1660$, $y = 0.0089$). Every real color point representing an additive mixed light color in the chromatic diagram area is always located on the connection straight line of the points of relevant colors whose mixing the color produces. To characterize such color, say at the point F of Fig. 4, the corresponding dominant substitute light wavelength λ_d, as the natural measure of its chromaticity, must be established: it is the wavelength at a color point Q obtained by extrapolation of the straight line EF to the spectral color saturation curve. The ratio (saturation rate) of definition

$$s = \frac{\overline{\mathrm{EF}}}{\overline{\mathrm{EQ}}} \qquad (6)$$

can then be a natural measure (representation) of the light color saturation which relates to the considered color point F. For the purple light colors, say at the point M in Fig. 4, it is impossible to find the mentioned dominant wavelength λ_d. Such colors are expressed conventionally by the relevant dominant wavelengths of the complementary colors with negative sign. The graphical straight line connection of two complementary colors intersects always the chosen white point (e. g. the point E in Fig. 4). It means that the complementary light colors depend on the position of the chosen white point.

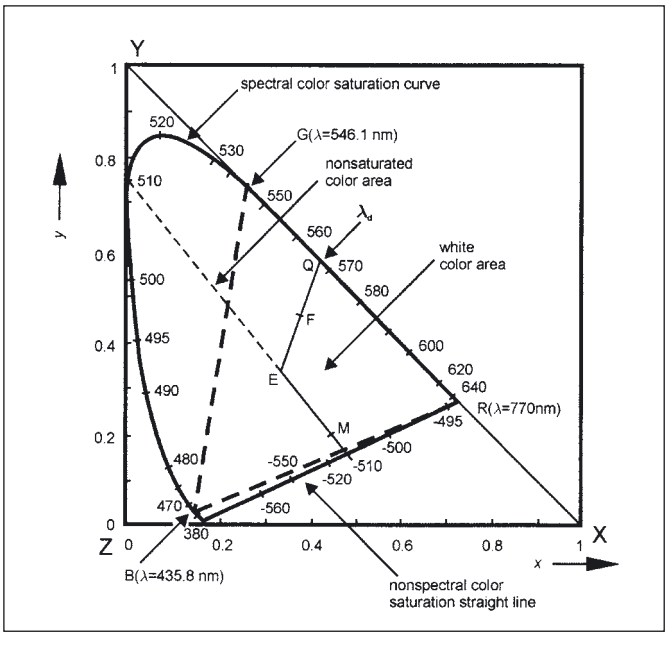


Fig. 4 CIE chromatic diagram in the color plane (*x,y*) with marked spectral color saturation curve, nonspectral color saturation straight line, nonsaturated color area, white color area and the color triangle RGB. E is a representative white point, Q is a spectral color saturation point, F and M are examples of nonsaturated color points

4. CIE COLOR SYSTEM (*L*,a*,b**)

The CIE tristimulus color system (*X, Y, Z*) provides accurate values for the single light colors, but their differences (distances) are only poorly correlated with their eye perception. Therefore,

more adequate is the CIE 1976 color system (L^*, a^*, b^*) with color coordinates L^*, a^*, b^*, or L^*, C^*, H^*. In such a widely used system, quantity L^* represents the color luminance with luminous scale from 0 to 100 (0 ≙ black , 100 ≙ white), while $a^*$and b^* denote the representative color values (+a^* ≙ red, -a^* ≙ green, +b^* ≙ yellow, -b^* ≙ blue). The corresponding color saturation (chroma) values are then given by the relation

$$C^* = \left(a^{*2} + b^{*2}\right)^{1/2} \tag{7}$$

and the chromaticity (color hue) values are represented by the quantity

$$H^* = \arctan\frac{b^*}{a^*}. \tag{8}$$

The rectangular geometrical illustration of the system (L^*, a^*, b^*) for L^* = 50, when the changes of values a^*, b^*, $C^*$and H^* are most expressive, is shown in Fig. 6. The corresponding approximate colors distribution in the color plane (a^*, b^*) is in Fig. 7 (on the third page of the cover). Self-evident is that the color changes are zero for L^* = 0 and L^* = 100. For a^*= 0, b^* = 0 and then for C^* = 0, the values of H^* are not defined (they are ambiguous). Moreover, the changes of C^* produced by changes of H^* are one of disadvantages of this system. Such a natural dependence is removed, for example, by the Munsell color system of exact circular dislocation of the chromaticity (color hue) [3, 9 - 11].

The relationship between the systems (*X, Y, Z*) and (L^*, a^*, b^*) for nondark samples is given by the equations [3]:

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} - 16, \tag{9a}$$

$$a^* = 500\left[\left(\frac{X}{X_0}\right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3}\right], \tag{9b}$$

$$b^* = 200\left[\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{1/3}\right]. \tag{9c}$$

The components *X, Y* and *Z* are given by Eqs. (1), whereas the values X_0, Y_0 and Z_0 relate to the reference white sample. For correct use of Eqs. (9), the ratios X/X_0, Y/Y_0 and Z/Z_0 need to be greater than 0.01.

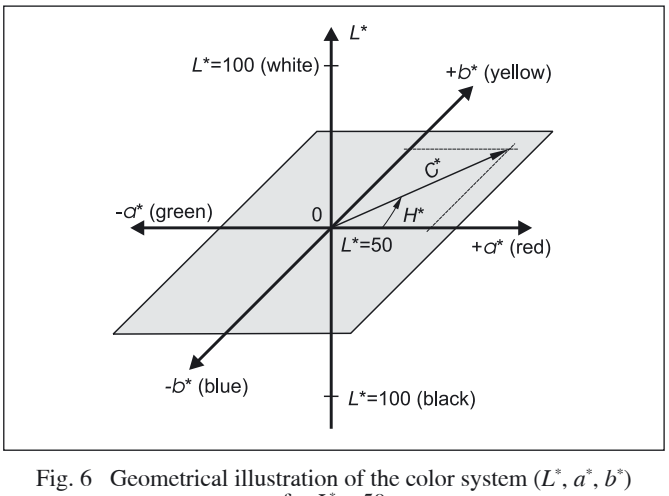


Fig. 6 Geometrical illustration of the color system (L^*, a^*, b^*) for L^* = 50

5. CONCLUSION

The color systems (*R,G,B*), (*X,Y,Z*) and (L^*, a^*, b^*), interpreted previously, are first of all a basis for establishment the classical analog color-measuring methods and devices. With respect to the main illumination and instrumental optical configurations and measuring procedures, these methods can be basically divided into the spectrocolorimetric (spectrophotometric), photoelectric tristimulus and visual methods of various modifications, applications and completations (e. g. [3, 4, 6 – 8, 12 - 16]). Their modified forms for the digital imaging colorimetry, originally proposed by [17-20], are in principle also based on the color systems alredy mentioned. But in addition, the sampled and quantized (digitized) color values of a color sample image obtained by a digital camera (that is connected with an evaluational and processing PC) are exploited.

References

[1] R. H. Evans: *An Introduction to Color.* J. Wiley, New York, 1948.

[2] D. B. Jud, G. Wyszecki: *Color in Business, Science and Industry.* J. Wiley, New York, 1975.

[3] G. Wyszecki, W. S. Stiles: *Color Science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*. J. Wiley, New York, 1982.

[4] D. Malacara: *Color Vision and Colorimetry. Theory and Applications*. SPIE Press, Bellington, 2002.

[5] Norm ISO 31-6: *Quantities and Units, Part 6: Light and Related Electromagnetic Radiations*. Internat. Org. for Standardization, Geneva, 1992.

[6] J. A. Shields, R. J. S. Arrand, E. A. Paul, J. S. Claiton: "Measurement of soil color". *Can. J. Soil Sci.*, Vol. **46** (1966), pp. 83-90.

[7] J. Torrent, V. Barrón: "Laboratory measurement of soil color. Theory and practice". *Soil Sci. Soc. Am.*, Spec. Publ. **31** (1993), pp. 21-33.

[8] A. Berger-Schunn: *Practical Color Measurement*. J. Wiley, New York, 1994.

[9] A. H. Munsell: *Color Notation*. Munsell Color Comp., Baltimore, 1941.

[10] Munsell Standard Ed.: *Munsell Book of Color*. Munsell Color Comp., Baltimore, 1929 and 1943.

[11] Munsell User's Guide: *Munsell Soil Color Charts.* Munsell Color Comp., Baltimore, 1975.

[12] J. Torrent, U. Schwertmann, A. Fechter, F. Alferez: "Quantitive relationships between soil color and hematite content". *Soil Sci.*,Vol. **136** (1983), No. 6, pp. 354-358.

[13] C. Kosmas, N. Curi, R. B. Bryant, D. P. Franzmeier: "Characterization of iron oxide minerals by second-derivative visible spectroscopy". *Soil Sci. Am.* J., Vol. **48** (1984), pp. 401-405.

[14] P. Kubelka: "New contributions to the optics of intensity light-scattering materials, Part I". *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. **38** (1948), pp. 448-460.

[15] V. Barrón, J. Torrent: "Use of the Kubelka – Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color". *J. Soil Sci.*, Vol. **37** (1986), pp. 499-510.

[16] R. M. Cornell, U. Schwertmann: *Iron Oxides. Structures, Properties, Reactions, Occurrence and Uses*. VCH Verlagsg., Weinheim, 1996, pp. 136-146.

[17] P. L. P. Dillon, D. M. Lewis, F. G. Kaspar: "Color imaging system using a single CCD area camera". *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. **ED-25** (1978), No. 2, pp. 102-107.

[18] L. T. Maloney, B. A. Wandell: "Color constancy: a method for recovering surface spectral reflectance". *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. **76** (1986), No. 1, pp. 29-33.

[19] M. L. Simpson, J. F. Jansen: Imaging colorimetry: a new approach". *Appl. Opt.,* Vol. **30** (1991), No. 32, pp. 4666-4671.

[20] M. Corbolán, M. S. Millán, M. J. Yzuel: "Color measurement in standard CIELAB coordinates using a 3CCD camera: correction for the influence of the light source". *Opt. Eng.*, Vol. **39** (2000), No. 6, pp 1470-1476.

Prof. RNDr. Ing. Jaroslav Pospíšil, DrSc., RNDr. Jan Hrdý, Ph.D. and Jan Hrdý, jr.,
Department of Experimental Physics of Palacký University and Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of Academy of Sciences, 17. listopadu 50, 772 09 Olomouc, Czech Republic. Tel.: +420 585 634 283, E-mail: pospis@prfnw.upol.cz

Ignác BUGÁR, Medzinárodné Laserové Centrum, Bratislava
František UHEREK, Medzinárodné Laserové Centrum a Katedra mikroelektroniky FEI STU, Bratislava

ECONOS'06 a prof. Wolfgang Kiefer na Slovensku

Európska konferencia o nelineárnej optickej spektroskopii (ECONOS) sa konala v tomto roku 9-11. apríla v KC SAV v Smoleniciach. Konferencia je zameraná na experimentálne aj teoretické aspekty nelineárnych optických techník ako koherentný anti-Stokesový ramanovský rozptyl (CARS), stimulovaný ramanovský rozptyl (SRS), štvorfotónové zmiešavanie (FWM) a podobné. Konferenciu organizovalo Medzinárodné laserové centrum Bratislava, ktoré sa zapojilo do práce ECONOS komunity svojou činnosťou v oblasti femtosekundovej spektroskopie. Význam tohoročnej konferencie značne posilnil pozvaný prednášajúci, prof. Wolfgang Kiefer, ktorého pri príležitosti jeho 65. narodenín programový výbor konferencie ocenil za jeho celoživotné dielo v oblasti nelineárnej optickej spektroskopie. Prof. Kiefer je šéfredaktor časopisu Journal of Raman Spectroscopy a jeho skupina patrí medzi najvýznamnejšie v oblasti Ramanovej spektroskopie v celosvetovom merítku.

Začiatkom apríla ovládla priestory KC SAV v Smoleniciach nelineárna optika. V tomto roku cestovali účastníci na Európsku konferenciu o nelineárnej optickej spektroskopii (ECONOS) na Slovensko. Jadro účastníkov tvorili výskumníci, ktorí sa pravidelne stretávajú na konferenciách ECONOS, ale niektorých prilákal na tento ročník pozvaný prednášajúci, prof. Wolfgang Kiefer, ktorý bol v rámci tejto udalosti ocenený za jeho celoživotné dielo v oblasti Ramanovej a nelineárnej spektroskopie. Smolenický zámok sa ukázal ako skutočne ideálny priestor na reprezentáciu Slovenska pred zahraničnými hosťami, ako aj na zorganizovanie intenzívnej dvojdňovej konferencie pod jednou strechou.

Prof. Wolfgang Kiefer (vľavo) preberá ocenenie za jeho celoživotné dielo od prof. Petra Radiho, predsedu programového výboru konferencie ECONOS

Na minuloročnej konferencii ECONOS'05 v Oxforde bolo pripomenuté 40. výročie začiatku CARS spektroskopie, ktorá je jednou najširšie použitou nelineárnou spektroskopickou technikou. Rozvoj CARS spektroskopie bol vo veľkej miere ovplyvnený prácou prof. Kiefera, ktorý napomáhal aj zrodu európskych CARS workshopov organizovaných od roku 1982. Rýchly rozvoj laserovej spektroskopie koncom 90-ich rokov prinieslo aj to, že princípy a metódy, ktoré sa uplatnili pri vyšetrovaní stimulovaného Ramanovského rozptylu prenikli aj do vyšetrovania ďalších spektroskopických procesov. Na základe toho boli aj Európske CARS workshopy premenované od roku 2002 na European conference on nonlinear optical spectroscopy (ECONOS), s cieľom dať priestor novým vznikajúcim smerom. Pôvab ECONOS konferencií je aj v tom, že vytvárajú priestor pre experimentátorov a teoretikov pri riešení spoločných problémov. Ďalší ich dôležitý charakter spočíva v tradičnej zjednocovacej sile optických vied, ktorá spája západnú Európu s východnou (a hlavne s Moskvou). Nepochybne aj tento rozmer ECONOS konferencií napomohol k tomu, aby v tomto roku sa konala na území Slovenska s dobrými prepojeniami na západ aj východ.

ECONOS´06 organizoval tím z Medzinárodného laserového centra (MLC) pod vedením zástupcu riaditeľa, prof. Františeka Uherека. Zblíženie pracovníkov MLC s ECONOS komunitou sa začalo pred dvomi rokmi, keď sa na ECONOS'04 objavila prvá spoločná prezentácia so skupinou prof. Alekseja Žoltikova z Moskovského MLC MŠU. Týkala sa časovo rozlíšenej dvojfotónovej fluorescencie, ktorá bola realizovaná pomocou femtosekundového laserového systému v Bratislave. Na tohoročnej konferencii zaznamenalo bratislavské MLC už 4 posterové a jednu ústnu prezentáciu, všetky z oblasti femtosekundovej spektroskopie. Náš vstup do série ECONOS konferencií bol vďaka tejto vednej disciplíne, ktorej rozvoj sme chceli synergizovať aj aktívnym zapojením sa do práce tejto komunity. Táto naša snaha našla podporu aj zo strany členov programového výboru, ktorých dôležitým zámerom posledných rokov je rozšírenie odbornej náplne konferencie.

Za týmto zámerom sme oslovili širšiu odbornú spoločnosť v Európe, v prvom rade femtochemickú komunitu a laserových spektroskopistov v okolitých štátoch. Vďaka pozitívnej odozve dvoch skupín s femtochemickým zameraním bolo možné zaradiť do programu okrem štandardných ECONOS sekcií aj sekciu ústnych prezentácií z oblasti koherentného riadenia. Odozva slovenských, českých a poľských spektroskopistov bola slabšia, zrejme sú ešte potrebné ďalšie úsilia, aby sme sa začali stretávať so susednými kolegami aj na európskej vedeckej pôde. Zastúpenie ruských vedeckých skupín bola na úrovni predchádzajúcich ECONOS konferencií s desiatimi účastníkmi z troch rôznych inštitúcií. Ďalších desať účastníkov bolo z Bratislavy (MLC a spolupracujúce inštitúcie) a zvyšná časť 55 účastníkov bola zo západnej Európy.

Metódy nelineárnej optickej spektroskopie boli rozvinuté v prvom rade na vyšetrovanie materiálov v plynnej fáze, kde sú dobre rozlíšiteľné rotačné a vibračné stavy molekúl. Diagnostikou týchto stavov je možné určiť teplotu plynu a jeho zloženie. Získané poznatky sa veľmi účinne aplikujú pri skonštruovaní spaľovacích motorov. Činnosti spadajúce do tejto oblasti sú tradičnou náplňou

prezentácií na ECONOS konferenciách. V Smoleniciach bol badateľný rast počtu časovo-rozlíšených vyšetrovaní v diagnostike plynnej fázy, z ktorých už mnohé dosahujú femtosekundové rozlíšenie. Vo všeobecnosti „femtosekundové" práce tvorili už tretinu ústnych prezentácií na tohotočnom ECONOSe a objavila sa aj špeciálna sekcia o riadení molekulového pohybu pomocou tvarovaných femtosekundových impulzov. Rozvoj nelineárnej optickej spektroskopie vidieť aj v tom, že stále viac prác je zameraných na kondenzovanú fázu počnúc od jednoduchej vody až k β-karoténu v polymérnej matici.

V Smoleniciach sa dal pozorovať vývoj v mnohých ohľadoch. Významným bodom tohoročného ECONOSu však bola sekcia venovaná prof. Wolfgangovi Kieferovi. A to nie len z hľadiska spoločenského, keď mu programový výbor konferencie udelil ocenenie k príležitosti jeho 65. narodenín, ale aj z hľadiska odborného, keďže účastníci konferencie sa mohli zoznámiť so širokou paletou metodík, objektov a objavov z dielne prof. Kiefera v oblasti nelineárnej optickej spektroskopie.

Prof. Wolfgang Kiefer sa už od svojej diplomovej práce venuje Ramanovskému rozptylu a jeho sústavná a široko sa rozvetvujúca práca v tomto smere ho zaviedla na pozíciu šéfredaktora renomovaného časopisu Journal of Raman Spectroscopy, ktorého impakt faktor ustavične rastie pod jeho vedením. Jeho vedecká kariéra je svedectvom o vynikajúcom experimentátore, rad inovácií týkajúcich sa spôsobu excitácie, prípravy vzorky a detekcie Ramanovského signálu je spojených s jeho menom. Na Mníchovskej Univerzite už v roku 1974 zrealizoval spolu so svojimi kolegami CARS experimenty, pomocou ktorých bolo možné získať spektrá s vysokým rozlíšením v Q-vetve. Vďaka jeho priekopníckej práce v oblasti laserového uväznenia mikrokvapiek vznikol nový smer Ramanovskej spektroskopie, kde signál je zosilnený pomocou Mie rozptylu. Zavedením femtosekundového časového rozlíšenia do CARS experimentov boli získané mnohé nové poznatky o molekulových vibráciách. Ďalším potvrdením jeho vedeckých schopností sú jeho teoretické výsledk. Vypracoval teóriu pre lineárny a nelineárny Ramanovský rozptyl a riešil otázky chemickej štruktúry pomocou DFT výpočtov.

Počas svojej kariéry vyrástol za vedca svetového formátu, jeho úspechy ocenili tak na západe ako aj na východe. Je laureátom amerických cien „Honorary Membership Award of the Society for Applied Spectroscopy" a „Pittsburg Spectroscopy Award". Taktiež pracoval na univerzitách Honk Kong, Tokio a Singapur ako hosťujúci profesor. Nie je neznámy ani vo východnej časti Európy, keďže sa stal honorárnym doktorom Univerzity Babes-Bólyai v Kluži. Je sympatické, že napriek tomu zostal verný krajine kde vyrástol, získal diplom a začal pracovať. Síce jeho prvé stále profesorské miesto dostal v Grazi, ale od roku 1988 napĺňa miesto profesora fyzikálnej chémie na Univerzite Würzburg. Dokonca v období 1996-99 pôsobil ako dekan Fakulty farmácie a chémie. Pod jeho pedagogickým vedením vzniklo 85 diplomových a 81 dizertačných prác a vychoval troch docentov. Je autorom 730 vedeckých publikácií a je spolueditorom 5 kníh. Jeho prítomnosť na tohoročnej ECONOS konferencii jednoznačne posilnilo jej odbornú a spoločenskú úroveň. Bolo pre nás cťou ho hostiť a priblížiť mu našu krajinu, v ktorej bol pri tejto príležitosti po prvýkrát.

Samozrejme okrem slovenských reálií sme mali účastníkom možnosť predstaviť aj výskumné laboratóriá laserového centra, keďže mnohí pracovníci MLC boli zaangažovaní do tohoročného ECONOSu. Buď ako organizátori, alebo ako autori prezentácií, či odborní sprievodcovia pri návšteve účastníkov konferencie v MLC Bratislava. Dobrou tradíciou ECONOS konferencií je uzavretie udalosti návštevou laboratórií organizujúcej inštitúcie. Po záverečnom obede v Smoleniciach sa mohli záujemcovia presunúť s konferenčným autobusom priamo do laserového centra, kde mali možnosť sa zoznámiť s prácou laboratórií, ktoré zachádzajú do oblasti nelineárnej spektroskopie. Skupine dvadsiatich účasníkov bol ukázaný prierez práce laserového centra od laserovej tomografii k mikrotechnológiám, od lekárskych aplikácií spektroskopie až k fotonickým kryštálom.

Uvedomujeme si, že ešte nemáme toľko skúseností ako naši zahraniční kolegovia, ale aj vďaka tejto konferencii sa stávame postupne ich partnermi. Tento partnerský prístup bol vyjadrený aj tým, že prof. František Uherek, hlavný organizátor konferencie bol zvolený do programového výboru ECONOS komunity. Po rozlúčke s účastníkmi, ktorí navštívili MLC Bratislava sme mohli skonštatovať, že máme za sebou úspešnú akciu, a to aj z hľadiska odborného, reprezentačného, aj spoločenského. Na tomto mieste by sme chceli poďakovať prof. Aleksejovi Žoltikovovi, ktorý ako dlhoročný člen programového výboru inicializoval a podporoval cestu ECONOS komunity na Slovensko.

Mgr. Ignác Bugár PhD., prof. Ing. František Uherek PhD., Medzinárodné laserové centrum Bratislava, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, tel.: 00421-2-654 21 575, fax.: 00421-2-654 23 244

SPIE/CS – společnost optiků informuje

Nabízíme následující volné sborníky SPIE k prodeji:
Proceeding of SPIE
Photonics, Devices, and Systems II
(26-29 May 2002, Prague, Czech Republic)
Vol. 5036
Cena 200,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Classical and Quantum Interference
(25-26 October 2001, Olomouc, Czech Rebublic)
Vol. 4888
Cena 100,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

12th Czech-Slovak-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics
(12-15 September 2000, Velké Losiny, Czech Republic)
Vol. 4356
Cena 150,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Photonics, Devices, and Systems (Proceedings from Photonics Prague´99)
(21-23 June 1999, Prague, Czech Republic)
Vol. 4016
Cena 150,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

11th Slovak-Czech-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics
(21-25 September 1998, Stará Lesná, Tatra Mountains, Slovak Republic) Vol. 3820
Cena 150,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Sborníky lze objednat u pí Kučerové v knihovně SPIE/CS na adrese: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 504, fax: 585 631 531, e-mail: kucerove@prfnw.upol.cz
Prodej sborníku proběhne do vyčerpání zásob v pořadí dle došlých žádostí.

Ivan TUREK, Katedra fyziky Žilinskej univerzity, Žilina, Slovenská republika

Sen o jednej krajine

Absolvoval som pracovné stretnutie riešiteľov štátnej úlohy „Zvýšenie záujmu o doktorantské štúdium“ na ktorom sa zúčastnili významní predstavitelia vedeckého života a významní predstavitelia výskumno-vývojovej sféry. Cieľom tohto stretnutia bolo pripomienkovať predložený návrh opatrení vedúcich k zlepšeniu postavenia mladých vedeckých pracovníkov. Na stretnutí boli prezentované výsledky široko koncipovaného prieskumu názorov a odznela tam široká paleta rôznych námetov. Námetov navrhujúcich stratégiu i taktiku podpory vedy na Slovensku. Niektoré z tých námetov boli zúčastnenými pracovníkmi prijaté, iné nie. V noci sa mi v hlave krútil vír tých námetov a nadránom sa mi z toho víru začal vynárať neuveriteľný obraz čarovnej krajiny.

V tej krajine bola veda dotovaná 3,8 % HDP. Približne polovica týchto prostriedkov bola použitá na financovanie vedeckých inštitúcií medzi ktoré sa počítali vysoké školy a výskumné ústavy. Na vysokých školách sa takmer všetci učitelia okrem pedagogickej práce venovali práci výskumnej. Na niektorých katedrách prevládala práca teoretická, na iných experimentálne bádanie. Väčšina výskumných programov bola financovaná grantovými agentúrami. Niektoré, väčšinou začínajúce projekty boli financované z prostriedkov vysokej školy. Na projektoch pracovali tímy pozostávajúce z učiteľov, výskumných pracovníkov školy, ale i z doktorantov a v mnohých prípadoch i študentov vyšších ročníkov. Študenti mali často zadanú úlohu, ktorá súvisela s riešenou problematikou, ale nespadala do „hlavného prúdu“ riešenej úlohy a študent mohol výsledok svojej práce predložiť ako diplomovú prácu. Podobne doktoranti podieľajúci sa na riešených projektoch zahrňovali dosiahnuté výsledky do dizertačných prác. Ich podiel na riešenej problematike však spravidla už spadal do „hlavného prúdu“ programu. Skoro všetky práce sa uskutočňovali v kontexte s prácami iných, často zahraničných univerzít. Spojenie s nimi sa nie vždy realizovalo priamou účasťou na práci v laboratóriách. Často tento kontakt bol „virtuálny“ prostredníctvom internetu, ale napriek tomu bol skoro taký intenzívny, ako keby boli všetci pracovníci na tom istom pracovisku.

Grantové agentúry mali preto ťažkú prácu – museli diferencovať medzi dobrými a vynikajúcimi projektmi. Túto ťažkú úlohu mohli plniť iba vďaka tomu, že mali kontakty s vedeckými pracoviskami okolitých krajín združených v „Zjednotenej Utópii“, takže vedeli čím sa zaoberajú a o posúdenie projektov mohli požiadať i zahraničných odborníkov pracujúcich v príbuznej oblasti.

Prostriedky ktoré grantové agentúry rozdeľovali boli obrovské. To vyžadovalo aby členovia agentúr boli nie len vynikajúci, široko rozhľadení učenci, ale absolútne objektívni (nepodplatiteľní) ľudia. Napriek tomu že to boli ľudia ktorým všetci dôverovali, ich rozhodovanie bolo vystavené verejnej kontrole – posudky ktoré vypracovali sa zverejňovali spolu s predloženými návrhmi na internete, takže bolo pod verejnou kontrolou*. Je to udivujúce, ale táto okolnosť priviedla krajinu k novej filozofii vedeckej práce, k folozofii, ktorá sa výrazne odlišovala od krajín „Realistickej Únie“. Zverejnené projekty boli pre mnohé pracoviská silnou inšpiráciou pre ich vedeckú prácu. Takže i projekty ktoré neboli agentúrami financované, ovplyvňovali vedecký život krajiny. Na rozdiel od krajín Realistickej Únie, každý kto čerpal inšpiráciu zo zverejneného projektu nezabudol zdroj inšpirácie citovať, takže zverejnením námetov neboli ich autori poškodení. Naopak takéto citácie boli veľmi cenené, pretože boli zdrojom rozvoja krajiny.

Napriek vysokému stupňu objektivity práce grantových agentúr boli ošetrené i prípadné omyly: riešiteľské kolektívy financie na úlohu nedostávali na začiatku riešenia etapy (spravidla ročné etapy) v plnej výške. Záloha sa poskytovala približne na úrovni polovice pridelenej sumy. Zbytok riešitelia dostali až po úspešnom zvládnutí etapy. Pretože v projekte požadované financie nebývali nadsadené, záloha nestačila na plné krytie nákladov. Tento deficit vykrývali inštitúcie z prostriedkov ktoré mali na vedeckú činnosť. Finančné „zálohy“ na ďalšie etapy grantové komisie prideľovali v závislosti od úrovne výsledkov dosiahnutých v predchádzajúcej etape. „Doplatky“, ktoré riešitelia dostali po skončení etapy sa čiastočne vracali inštitúcii ktorá kryla deficit na začiatku etapy a čiastočne boli poskytnuté riešiteľom ako odmeny za vynikajúce výsledky. Spôsob ich rozdelenia bol zverejnený spolu so záverečnou správou projektu.

Prostriedky pridelené na úlohu neboli delené na „mzdové“, kapitálové“ a podobne. A nepoužité prostriedky sa mohli preniesť do budúceho roku. Dokonca ich čerpanie nemuselo presne kopírovať v projekte vyznačené položky. Pretože účty úloh boli vedené organizáciami na ktorých sa úlohy realizovali a záverečná správa (včítane prehľadu čerpania prostriedkov) bola zverejňovaná, akékoľvek zneužitie prostriedkov by znamenalo diskreditáciu riešiteľa. Podobne ako by ju znamenalo prípadné zamlčanie zdroja inšpirácie k riešenej úlohe. Mohlo by sa zdať, že takáto verejná kontrola pomocou internetu je časovo príliš náročná. Vďaka dobre prepracovaným vyhľadávacím programom to nie je tak.

Keď som sa počudoval nad (pre nás nezvyklým) zverejňovaním projektov, vysvetlili mi, že aj u nich to kedysi budilo nedôveru. Ale asi po desiatich rokoch od zavedenia takéhoto spôsobu zistili, že to mení vzťah medzi mladými a „skúsenejšími“ pracovníkmi. Tí mladí prichádzali s netradičnými nápadmi. Ale na ich realizáciu (a často po potrebnej korekcii námetu) bola potrebná skúsenosť starších. Tak došlo ku skĺbeniu nápaditosti mladých a erudície starších. A to i vtedy, ak sa jednalo o ľudí zo vzdialených laboratórií. A keďže zdroj inšpirácie bol zverejnený, autori nápadu sa v priebehu jeho realizácie mohli uchádzať o zamestnanie na ústave kde sa ich nápad realizoval. Mohli sledovať aké korekcie bolo potrebné vykonať, aké postupy bolo potrebné pre realizáciu zvoliť. Jednoducho učili sa na skúsenosti starších „kolegov“. Pritom prestalo byť dôležité, kto je profesor, doktorand, CSc, študent, alebo PhD.

Týmto ale príbeh nekončí. Vďaka silnej popularite nového grantového systému (ktorá bola spočiatku vyvolaná polemikou jeho zástancov a odporcov) a neskôr popularite jeho výsledkov, sa začal meniť v krajine vzájomný vzťah ľudí medzi sebou. Nie len medzi vedeckými pracovníkmi. Došlo k všeobecnému oceneniu invencie a to bez toho, aby sa znevažovala schopnosť realizovať námety. Vďaka tomu sa začala búrať bariéra medzi vedou, vývojom a výrobou. Znamenalo to výrazné zvýšenie konkurencieschopnosti výroby.

Mnohí poprední politickí činitelia si uvedomili pôvod týchto zmien a v dôsledku toho premenovali krajinu na **Grantovú Utópiu**.

Rektori viacerých vysokých škôl si uvedomili zmenu situácie a i keď sa pôvodne dotácie vysokým školám prideľovali podľa počtu študentov, prestali počet študentov považovať za jediné kritérium úspešnosti školy a začali zohľadňovať i počet citácií publikovaných projektov. Dokonca sa boj o študentov odsunul na druhé miesto pri hodnotení školy a citácie návrhov projektov sa začali ceniť viac ako citácie výsledkov, začalo dominovať ocenenie invencie. Reagovala na to i vláda a do pravidiel pre delenie rozpočtu zahrnula i počet

* V súčasnosti sa zvažuje či zverejňovať i meno autora posudku.

citácií – včítane citácií publikovaných projektov. Samozrejme že to zmenilo i stratégiu uchádzačov o vysokoškolské štúdium. Začali si všímať nie len to aké ma tá ktorá škola internáty a telocvične ale i umiestnenie jednotlivých škôl v grantovom rebríčku. Takže dopad neobvyklej zmeny v grantovom systéme sa rozšíril i na stredné školy. Stalo sa zrejmým, že kreativita je v antagonistickom rozpore s výchovou založenou na memorovaní faktov. Takže v záujme úspešnosti stredných škôl bolo potrebné prejsť od encyklopedického vzdelávania k vzdelávaniu analytickému. Ministerstvo školstva zmenu prístupu akceptovalo a prepracovalo štandardy skoro všetkých vyučovaných predmetov. Zhromažďovanie faktografických údajov prestalo byť základom výuky. Začala prevládať výchova založená na hľadaní súvislostí. A jednotlivé fakty sa dostali do polohy materiálu na ktorom sa deti učili hľadať súvislosti. Takto vyvolaná zmena myslenia ľudí (takmer všetci občania prechádzajú stredoškolským vzdelávaním) sa prejavila vo všetkých sférach – i v politike, pretože u ľudí ktorí sú schopní vidieť súvislosti je politický populizmus kontraproduktívny. Dominantným nástrojom politiky sa stali myšlienky ...

Krátko po zavedení tohto systému sa o absolventov škôl s vysokým indexom „grantových citácií" začali zaujímať i výrobné podniky. Spočiatku bol počet absolventov týchto škôl malý a prostriedky ministerstva školstva nestačili nato, aby umožnili ich prudký nárast. Ale výrazné zvýšenie konkurencie schopnosti podnikov voči podnikom z „Realistickej Únie" vyvolávalo taký silný záujem o absolventov s „inovačnou orientáciou", že začali školám s vysokým umiestnením v grantovom rebríčku poskytovať prostriedky aby urýchlili ich rozvoj. Vyvolalo to zmenu orientácie i u ostatných vysokých a stredných škôl.

Počudoval som sa, keď mi povedali, že zmena myslenia ktorú nový grantový systém vyvolal priniesla zmenu i v etickej oblasti. Vysvetlili mi, že keď sa v myslení ľudí stane samozrejmým, že svet pozostáva z množstva kauzálne viazaných javov, ľudia chápu i svoje činy ako činy ktoré majú dôsledky a rozmýšľajú o tom, či to čo mienia urobiť, majú urobiť, alebo nie. Navyše, v dôsledku všeobecného priznávania podielu jednotlivcov na výslednom diele, každý vidí svoje zaradenie v spoločnosti a chápe, že jeho sloboda končí tam, kde začína sloboda iných. Zmena správania sa ľudí sa prejavila najmä na poklese hospodárskej kriminality. A v súvise s tým na poklese počtu vrážd, ktoré, najmä s hospodárskou kriminalitou veľkých rozmerov, súvisia. Žiaľ na počte vrážd vykonaných z iných dôvodov sa to neprejavilo.

Údiv ktorý vo mne poskytnuté informácie vyvolal vzbudil záujem ďalších obyvateľov Grantovej Utópie a chceli mi vysvetliť i ďalšie výhody ktoré ich systém má ...

Avšak medzitým začalo svitať a cez okno som začal rozoznávať protiľahlý panelák v ktorom býva náš šéf. To mi pripomenulo, že dnes máme sedenie, na ktorom budeme hľadať stratégiu, ktorá umožní získať akreditáciu pre študijný odbor ktorý plánujeme zviesť. A pod váhou týchto starostí sa mi obraz Grantovej Utópie postupne rozostroval, až sa stratil niekde v nedohľadne.

Dúfam ale, že sa mi ešte niekedy podarí nazrieť do tej krajiny.

Doc. RNDr. Ivan Turek, CSc., Katedra fyziky Žilinskej univerzity, Veľký Diel, 010 26 Žilina, Slovenská republika
tel.: +421 415 132 322, e-mail: turek@fel.utc.sk

EuroBLECH 2006
19. mezinárodní veletrh technologie zpracování plechů
24. – 28. října 2006 – Hannover

Přibližně 1 400 dodavatelů strojů a systémů na zpracování plechu z více než 30 zemí představí poslední novinky na veletrhu EuroBLECH, který se koná od 24. do 28. října 2006 v Hannoveru.

Na největším světovém veletrhu zaměřeném na toto odvětví, který svým rozsahem předčí všechny dosavadní ročníky, se setkají všichni, kteří se zabývají zpracováním plechu. Konstruktéři, zásobovači, vedoucí řízení jakosti i výrobní specialisté z celého světa se mohou na vlastní oči seznámit s nejmodernější technikou i novými postupy. Letošní veletrh bude zaměřen především na dosahování nejvyšší kvality výroby a snižování nákladů.

Veletrh EuroBLECH 2006, který je přehledně uspořádaný a rozdělený na 15 technologických kategorií, představí úplný technologický řetěz v oblasti zpracování plechu. Hlavními tématy veletrhu jsou zpracování plechu, polotovary a hotové výrobky z plechu, manipulace, třídění, tváření a zpracování pružných plechů, technologie spojování/svařování a technologie úpravy povrchu. Vystavené výrobky doplní dále nástroje, systémy řízení procesů a jakosti, aplikace CAD/CAM a výzkum a vývoj.

Společnost Mack Brooks Exhibitions, organizátor veletrhu, uskuteční řadu informačních akcí k veletrhu EuroBLECH v Polsku, Rusku, na Slovensku, v České republice a v Maďarsku. Cílem je dále rozšířit kontakty mezi vystavujícími firmami a zájemci ze střední a východní Evropy a intenzivněji oslovit účastníky z těchto významných trhů.

Místo konání: Výstaviště Hannover, Německo. Haly 11, 12, 13, 14, 15, 16, 27. Vstupy bránami Süd 1, West 1, West 2, Ost 3.

Otvírací doba: úterý až pátek 27. října 2006 od 9,00 do 18,00, sobota 28. října 2006 od 9,00 do 16,00.

Podrobnější informace naleznete na adrese: Ing. Eva Václavíková, výhradní zastoupení DEUTSCHE MESSE AG, HANNOVER v ČR, Myslbekova 7, 169 00 Praha 6, tel.: 220 517 837.

4. mezinárodní sympozium o laserových, scintilačních a nelineárních optických materiálech

27 – 30. června 2006, Praha, Česká republika
http://www.fzu.cz/activities/conferences/islnom4/

Fyzikální ústav AV ČR a Fakulta jaderná a fyzikálně-inženýrská ČVUT pořádají v Praze ve dnech 27. – 30. června 2006 4. mezinárodní sympozium o laserových, scintilačních a nelineárních optických materiálech (ISLNOM4). ISLNOM4 pokračuje v tradici, která začala předchozími setkáními, které se konaly v Singapuru (1997), v Lyonu ve Francii (2000) a v Keystone v USA (2003). Sympozia představují mezioborové fórum pro přednášení a výměnu současných poznatků v základním i aplikovaném výzkumu v oblasti materiálů pro optiku a optoelektroniku včetně současných technologií, charakterizace a aplikací nových laserových, scintilačních a nelineárních optických materiálů.

V současné době je na sympozium přihlášeno okolo 140 účastníků z 20 zemí. Zájem mají především pracovníci z Asie (Japonsko, Čína, Korea), dále z Ruské federace, Ukrajiny a dalších postsovětských států, ale i z USA, Polska a starých členských států EU (Francie, Německo, Holandsko aj.). V programu sympozia jsou 4 zvané přehledové referáty, dalších cca 20 specielních referátů na vybraná témata a dvě posterové sekce s cca 50 příspěvky na každé z nich.

Z hlediska tématiky sympozium bude shrnovat vlastně současný stav ve třech základních okruzích optických materiálů, jak je vidět z jeho názvu, tzn. optické materiály laserové, scintilační a nelineární. V oblasti laserových krystalů pokračuje vývoj jak ve zlepšování vlastností pevnolátkových laserů včetně možnosti jejich buzení výkonnými polovodičovými diodami. Budou probírány i možnosti buzení a generace ultrakrátkých laserových impulzů. V oblasti scintilačních optických materiálů pokračuje vývoj a hledání účinných a rychlých krystalů, např. se začíná zkoušet jako aktivátor iont Pr^{3+}. Pokračuje také vývoj scintilátorů s Li pro detekci neutronů (detekční bezpečnostní zařízení na letištích a jinde). Vývoj nelineárních krystalů je zaměřen na krystaly umožňující generovat účinně druhou a vyšší harmonické od IR a viditelných laserů. Avšak základním a jednotícím prvkem tohoto sympozia budou metody přípravy těchto krystalů, zejména novější, jako je tzv. micro-pulling down metoda (metoda tažení z menších objemů roztavených směsí).

Vědecké obory sympozia

- Příprava a technologie růstu krystalů pro optické materiály
- Defekty v krystalech a jejich charakterizace
- Pevnolátkové lasery – materiály se širokým pásem zakázaných energií
- Pevnolátkové lasery – polovodičové lasery
- Monokrystalické a keramické lasery s vysokým výkonem
- Organické optické materiály
- Nelineární materiály
- Fotorefraktivní a magnetooptické materiály
- Tenkovrstvé optické materiály
- Monokrystalické a keramické scintilátory
- Optické a radiační poškození

Ředitelé sympozia

Martin Nikl
Fyzikální ústav AV ČR, Praha
Tomáš Čechák
Katedra dosimetrie,
Fakulta jaderná a fyzikálně-inženýrská,
ČVUT, Praha

Čestní prezidenti sympozia

Tsuguo Fukuda
Georges Boulon
Robert Feigelson

Mezinárodní poradní výbor

Robert Feigelson
Nobuhiko Sarukura
Robert Feigelson
Peter Moulton
Bob Byer
Tetsuo Taniuchi
Yasuhiro Kondo
Chuangtian Chen
Mauro Tonelli
Carel W.E. van Eijk

Programový výbor

Georges Boulon
Robert Feigelson
Akira Yoshikawa
Helena Jelinkova
Martin Nikl
Pete Schunemann
Yusuke Mori
Kenji Kitamura

Místní organizační výbor

Tomáš Čechák
Jiřina Losinská
Lenka Thinová
Zdněk Kožíšek
Karel Nitsch
Jan Pejchal

Sekretariát

Jiří A. Mareš
Alena Beitlerová

Nejvýznamnější odborné technické veletrhy pořádané ve 2. pololetí 2006

Ve stručném přehledu je uveden výběr nejzajímavějších mezinárodních technických a s elektrotechnikou souvisejících veletrhů, včetně odborných akcí, pořádaných v České republice i ve snadno dostupném zahraničí. Podle čísel uvedených v závorkách je možné si na kontaktních adresách veletržních správ nebo jejich zástupců vyžádat o jednotlivých akcích podrobnější informace. Důležité údaje o dění na výstavištích a prezentovaných novinkách jsou také na uvedených internetových adresách. Pro některé veletrhy pořádané v Německu lze zakoupit v předprodeji zlevněné vstupenky a katalogy za koruny, přihlásit se k připravovaným zájezdům nebo si objednat ubytování. Před odjezdem jednotlivců je vhodné si ověřit, zda v termínech nenastala změna nebo nevznikly náhodné chyby v údajích. O některých veletrzích budou postupně uváděny další podrobnější informace v tomto časopisu a jiném odborném tisku. Kalendář vybraných technických veletrhů pro celý rok 2007 bude uveden také v Ročence ELEKTRO 2007.

Termín konání	**Místo s číslem kontaktní adresy**	**Název, základní nomenklatura,** ***informační internetová adresa***
12. – 15. 9.	Jekatěrinburg (1)	**NÁRODNÍ VÝSTAVA ČR JEKATĚRINBURG*** – samostatná česká výstava s významným příspěvkem Ministerstva průmyslu a obchodu ČR českým vystavovatelům; *www.ppa.cz*
15. – 17. 9.	Praha – výstaviště Holešovice (1)	**SBĚRATEL** – 9. mezinárodní veletrh sběratelství pro každého; *www.sberatel.info*
18. – 22. 9.	Brno (2)	**MSV BRNO** – 48. mezinárodní strojírenský veletrh; *www.bvv.cz/msv* **IMT** – 5. mezinárodní veletrh obráběcích a tvářecích strojů; *www.imt.cz*
19. – 23. 9.	Praha – PVA Letňany (3)	**FOR-ARCH** – 17. mezinárodní stavební veletrh; *www.forarch.cz*
19. – 23. 9.	Stuttgart (4)	**AMB** – mezinárodní výstava zpracování kovů; *www.messe-stuttgart.de/amb*
21. – 28. 9.	Hannover (5)	**IAA** – 64. mezinárodní výstava užitkových vozidel pro nákladní a osobní dopravu; *www.iaa.de*
26. – 29. 9.	Petrohrad (1)	**AQUA-THERM ST. PETERSBURG** – mezinárodní veletrh vytápění, větrání, měřicí, sanitární a ekologické techniky (zastoupení M.S.I. Vertriebs GmbH); *www.aqua-therm.info*
9. – 13. 10.	Brno (2)	**INVEX** – 16. mezinárodní veletrh informačních a komunikačních technologií; *www.bvv.cz/invex* **DIGITEX** – mezinárodní veletrh spotřební elektroniky a digitální zábavy; *www.digitex.cz*
10. – 13. 10.	Trenčín (6)	**ELO SYS** – elektrotechnika, elektronika a energetika; *www.elosys.sk*
10. – 13. 10.	Vídeň (12)	**WIENNA-TEC** – největší rakouský průmyslový veletrh; *www.wienna-tec.at* **ENERGY-TEC** – mezinárodní odborný veletrh rozvodů energie a spínací techniky; *www.energy-tec.at* **IE** – mezinárodní odborný veletrh průmyslové elektroniky; *www.ie-messe.at* **AUTOMATION AUSTRIA** – mezinárodní odborný veletrh průmyslové automatizace a pohonové techniky; *www.automation-austria.at* **MESSTECHNIK** – mezinárodní odborný veletrh měřicí a zkušební techniky, zajištění jakosti; *www.messtechnik.co.at* **INTERTOOL** – mezinárodní odborný veletrh výrobních technik; *www.intertool.at* **SCHWEISSEN/JOIN-EX** – mezinárodní odborný veletrh svařování, spojování, řezání a zkoušení; *www.schweissen.at*
18. – 20. 10.	Berlín (4)	**BELEKTRO** – odborný veletrh elektrotechniky, elektroniky a světelné techniky; *www.belektro.de*
23. – 25. 10.	Mnichov (7)	**EXPO REAL** – 9. mezinárodní veletrh podnikatelských nemovitostí (jen pro odborníky); *www.exporeal.net*
23. – 27. 10.	Mnichov (7)	**SYSTEMS** – mezinárodní veletrh informační techniky, telekomunikací a nových médií (jen pro odborníky); *www.systems.de*
24. – 27. 10.	Brno (2)	**HOSPIMedica Brno/Central Europe** – Mezinárodní veletrh zdravotnické techniky, rehabilitace a zdraví
24. – 28. 10.	Hannover (5)	**EUROBLECH** – mezinárodní veletrh technologie zpracování plechů; *www.euroblech.com*

24. – 28. 10.	Düsseldorf (8)	**GLASSTEC** – mezinárodní odborný veletrh sklářských technologií a výrobních zařízení se zvláštní přehlídkou a sympóziem; *www.glasstec.de*
26. – 29. 10.	Vídeň (1)	**FUNTEC** – veletrh zábavní elektroniky a komunikací; *www.messe-reed.cz*
2. – 4. 11.	Olomouc – výstaviště Flora (9)	**EKOENERGIE OLOMOUC** – samostatná výstava a konference obnovitelných zdrojů energie; *www.omnis.cz/stavo*
8. – 9. 11.	Plzeň – Dům kultury Inwest (9)	**ELEKTROFEST** – 12. veletrh průmyslové elektrotechniky, elektroniky a energetiky; *www.omnis.cz/elektra*
14. – 17. 11.	Mnichov (7)	**ELECTRONICA** – 22. mezinárodní odborný veletrh elektronických komponentů a elektronické montáže; *www.electronica.de* **EMBEDDED IN MÜNCHEN** – 2. mezinárodní odborný veletrh vestavěné elektrotechniky; *www.messe-muenchen.de*
21. – 23. 11.	Ostrava – výstaviště Černá Louka (10)	**ELEKTROTECHNIKA OSTRAVA** – 13. mezinárodní odborný veletrh průmyslové a spotřební elektrotechniky, elektroniky, regulace, automatizace a energetiky; *www.bael.cz*
21. – 25. 11.	Praha – výstaviště Holešovice (1)	**AQUA-THERM PRAHA** – 13. mezinárodní veletrh vytápění, větrání, měřicí, sanitární a ekologické techniky, technických zařízení budov; *www.tzb-info.cz*
28. – 30. 11.	Norimberk (4)	**SPS / IPC / DRIVES** – mezinárodní odborný veletrh elektrické automatizační techniky, systémů a komponentů; *www.mesago.de*
28. 11. – 1. 12.	Lyon – Euroexpo (11)	**POLLUTEC LYON** – veletrh životního prostředí; *www.pollutec.com*
29. – 30. 11.	Liberec – Centrum Babylon (9)	**ELEKTROFEST** – 5. veletrh průmyslové elektrotechniky, elektroniky a energetiky; *www.omnis.cz/elektra*
2. – 10. 12.	Mnichov (7)	**HEIM+HANDWERK** – 29. mezinárodní prodejní veletrh stavění, zařízení a bydlení; *www.hh-online.de*
5. – 8. 12.	Paříž – Villepinte (11)	**SCS AUTOMATION & CONTROL PARIS** – nové výstavy **Automation, Elec Industrie, Mecatronic, Mesucora** a **Solutions Vision** se systémy, výrobky a návrhy pro průmysl a jeho infrastrukturu; *www.scs-automation.com*

** Pro veletrh takto označený hvězdičkou mohou naši vystavovatelé v rámci oficiální účasti získat příspěvek od Ministerstva průmyslu a obchodu ČR na úhradu výdajů za pořízení expozic.*

Další aktualizované informace o více než 2500 veletrzích a výstavách v tuzemsku i zahraničí včetně možnosti propojení na stránky pořadatele lze najít na internetových adresách ***www.veletrhyavystavy.cz*** a ***veletrhyavystavy.sk***, které spravuje veletržní agentura Progres Partners Advertising s.r.o. (uvedena v kontaktních adresách pod číslem 1).

Kontaktní adresy veletržních správ a zahraničních zástupců

1. **PROGRES PARTNERS ADVERTISING s.r.o.**, zastoupení Reed Exhibitions Messe Wien, Ing. Olga Pešková, Opletalova 55, 110 00 Praha 1, tel.: 221 602 324, fax: 224 218 312, e-mail: aqua@ppa.cz, peskova@ppa.cz
2. **VELETRHY BRNO a.s.**, Výstaviště 1, 647 00 Brno, tel.: 541 151 111, fax: 541 153 079, e-mail: info@bvv.cz
3. **ABF a.s.**, Václavské nám. 29, 111 21 Praha 1, tel.: 222 891 111, fax: 222 891 199, e-mail: info@abf.cz
4. **ČESKO-NĚMECKÁ OBCHODNÍ A PRŮMYSLOVÁ KOMORA**, Václavské nám. 40, 110 00 Praha 1
   Norimberk: Naděžda Lichte – tel.: 221 490 305, fax: 224 490 332, e-mail: messe1@dtihk.cz
   Stuttgart: Ladislav Baxa – tel.: 221 490 326, fax: 224 490 332, e-mail: messe-stuttgart@dtihk.cz
5. **DEUTSCHE MESSE AG, Hannover**, zastoupení Ing. Eva Václavíková, Myslbekova 7, 169 00 Praha 6, tel.: 220 510 057, 220 517 837, fax: 220 510 057, e-mail: info@hf-czechrepublic.com
6. **VÝSTAVISKO TMM a.s.**, Pod Sokolicami 43, SK 911 01 Trenčín, tel.: 00421/326 515 217, fax: 00421/327 441 039, e-mail: os53@tmm.sk
7. **EXPO-CONSULT+SERVICE s.r.o.**, Příkop 4, 604 45 Brno, tel.: 545 176 158, fax: 545 176 159, e-mail: info@expocs.cz
8. **VELETRHY BRNO a.s.**, odbor zahraničních zastoupení, Mgr. Romana Šilhánková, Výstaviště 1, 647 00 Brno, tel.: 541 152 940, fax: 541 153 051, e-mail: rsilhankova@bvv.cz
9. **OMNIS OLOMOUC a.s.**, Mgr. Petr Nasadil, Kosmonautů 8, 772 11 Olomouc, tel.: 587 433 150, fax: 585 232 097, e-mail: nasadil@omnis.cz
10. **BAEL – veletrhy a výstavy**, Korunní 32, 709 00 Ostrava, tel.: 596 634 738, tel./fax: 596 625 421, e-mail: bael@bael.cz
11. **ACTIVE COMMUNICATIONS s.r.o.**, zastoupení francouzských odborných veletrhů, Silvie Faletti, Anglická 28, 120 00 Praha 2, tel.: 222 518 587, fax: 222 519 057, e-mail: active@telecom.cz
12. **SCHWARZ & PARTNER s.r.o.**, Senovážné nám. 23, 110 00 Praha 1, e-mail: veletrhy@terminy.cz

(jpe)

Nový laserový interferometr LMS firmy Limtek

Firma Limtek dodává od r. 2005 nový laserový měřicí systém LMS pro kalibrace přesnosti polohování a geometrie obráběcích a měřicích strojů. Systém LMS se skládá ze 2 jednotek:

1. **Laserového interferometru** pro měření přesnosti polohování, úhlového natočení a měření rovinnosti desek.
2. **Kamery CCD** pro měření přímosti a kolmosti os.

LASEROVÝ INTERFEROMETR

Laserový interferometr LMS pracuje na stejném principu jako interferometry jiných výrobců. To znamená:

- Optické uspořádání je založeno na principu Michelsonova interferometru
- Vlnová délka laseru je stabilizována s přesností 0.02 ppm a je navázána na mezinárodní etalony délky

Specifikace laserového interferometru LMS jsou z hlediska fyzikálních principů shodná s jinými výrobky na trhu. Systém LMS však má 6 následujících předností:

- **Hlavní novinkou jsou bezdrátová kompenzační čidla**. Slouží k měření teploty kalibrovaného stroje a k měření teploty, tlaku a vlhkosti atmosféry. Údaje z čidel slouží ke kompenzaci teplotní roztažnosti měřeného stroje a vlivu závislosti indexu lomu vzduchu na tlaku, teplotě a vlhkosti. Nahrazení obvyklého připojení čidel k vyhodnocovací elektronice pomocí kabelů dlouhých několik metrů radiovým přenosem výrazně zvyšuje komfort obsluhy a spolehlivost. Další výhodou je možnost současného použití většího počtu čidel než v případě čidel s kabely.
- **Nový interface** přijímá radiová data z kompenzačních čidel
  Volitelná komunikace jednotky Interface s notebookem – Ethernet, USB, případně WiFi
  Vlastní malý LCD displej
- **Systém je připraven k měření ihned po zapnutí laseru**. Pro stabilizaci vlnové délky laseru se nepoužívá topení obvyklé u jiných typů. Není proto nutné čekat před měřením dokončení termostabilizace laseru. Časová úspora může být důležitá například při kalibraci více strojů, kdy jsme nuceni laser mezi měřeními vypínat.
- **Stabilita vlnové délky laseru není ovlivněna zpětnými odrazy laserového záření.** Funkce jiných laserových interferometrů může být rušena laserovým zářením odraženým např. od optických prvků interferometru. Odrazy mohou způsobit nestabilitu vlnové délky laseru a přerušit probíhající kalibraci stroje. U interferometru LMS se takový problém nevyskytuje. Konstrukcí laseru a použitím 2 isotopů neonu v náplni trubice se vliv odrazů vyloučil.
- **Dlouhodobá vysoká přesnost vlnové délky laseru.** Lasery systému LMS mají garantovanou dlouhodobou přesnost 0,02 ppm. Prokázaly to opakované kalibrace vlnové délky během 10 let
- **Vysoká spolehlivost, životnost a odolnost vůči nárazům a otřesům** je dosažena dvouplášťovou konstrukcí laserové trubice. Záruční doba jsou 3 roky. Dosud jsou v činnost lasery s těmito trubicemi vyrobené v r. 1991. V případě potřeby je však možné pokles tlaku plynové náplně v trubici doplnit. Obvykle až po 8 letech provozu. Jiná konstrukční řešení to neumožňují, je nutná výměna laserové trubice za novou.
- **Použití kamery CCD k měření odchylky od přímosti**. Je to alternativní metoda k metodě interferometrické. Dává srovnatelné výsledky. Výhodou je její jednoduchost. Ve srovnání s metodou intereferometrickou poskytuje hodnoty odchylky od přímosti v obou na sebe kolmých směrech současně. Při interferometrické metodě se měření musí opakovat po otočení příslušných optických elementů o 90°.

Laserový systém LMS se používá i jako vestavěný odměřovací systém. Původně byl vyvinut pro krokovací kamery používané při výrobě integrovaných obvodů.

U vestavěných systémů se často jedná o přesná zařízení s polohovacími stolky XY. Pro vestavěné systémy Limtek nabízí speciální miniaturní optiku MINI.

Laserové měřicí systémy firmy Limtek prokázaly svoji dlouhodobou spolehlivost jak v prostředí strojírenských podniků, tak i v klimaticky náročném prostředí např. na Indickém subkontinentu. Kvalita a spolehlivost jsou výsledkem 35tileté tradice a zkušenosti jak výrobce tak laserové skupiny v Ústavu přístrojové techniky AV ČR v Brně. To umožnilo firmě Limtek poskytovat na laserový interferometr LMS standardní 3letou záruční dobu.

TECHNICKÉ SPECIFIKACE SYSTÉMU LMS

Laser LS 10.3

• Vlnová délka ve vakuu	632.990796 nm
• Přesnost vlnové délky	2.10^{-8}
• Průměr laserového paprsku	6 mm
• Váha	4,4 kg

Kompenzační čidla vlivu atmosférických podmínek LS 75

• Měřicí rozsah atmosférického tlaku	75 – 110 kPa
• Přesnost	±0.1 kPa
• Měřicí rozsah atmosférické vlhkosti	0 – 95 %
• Přesnost	2 % r.v.
• Měřicí rozsah čidel teplot atmosféry a materiálu	0 – 40 °C
• Přesnost	±0.1 °C
• Celkový počet čidel obou typů	10 max.

Měření délek

• Rozsah	0 – 40 m standard
• Rozlišení	1.25 nm
• Rychlost měření	1 m/s max
• Přesnost měření s kompenzační jednotkou LS 75	1 µm/m

Kamerový systém CCD pro měření přímosti, kolmosti a rovnoběžnosti

Referenci přímosti tvoří směrové stabilní laserový paprsek ze speciálního polovodičového laseru. Vysoké optické kvality a směrové stability paprsku je dosaženo prostorovou filtrací původního záření. Detektorem polohy laserového paprsku je kamera CCD kalibrovaná interferometrem. Její rozlišení je 0.5 µm. Proti použití laserového paprsku jako reference přímosti se někdy uvádí ovlivnění výsledné přesnosti měření turbulencí atmosféry na dráze mezi laserem a detektorem.

Srovnáme li interferometrickou metodu měření přímosti s metodou s polohovým detektorem dojdeme k následujícímu závěru. Ke vlivům turbulence jsou citlivé metody obě. Interferometrická metoda je méně citlivá ke směrovým výchylkám paprsku vlivem turbulence, je však citlivá ke změnám v indexu lomu vzduchu, které turbulenci provázejí. Dochází tak ke změnám optických drah paprsků ze kterých se odchylka od přímočarosti počítá. Limtek vyrábí jednotky pro obě alternativní metody a mohl obě metody porovnat. Ukazuje se, turbulence ovlivňuje přesnost obou metod řádově stejně a obvykle je nutné aplikovat vhodné statistické postupy pro zpracování změřených dat. Z hlediska uživatele však metoda s kamerou CCD nabízí dvě výhody. Za prvé se s ní snadno pracuje a dále poskytuje hodnoty odchylky od přímočarosti pro oba směry současně. Metoda interferometrická poskytuje při jednom měření výsledek v jedné rovině a vyžaduje proto provést měření dvě.

(Ilustrační foto - viz. 3. str. obálky)

[1] J. Zeman, JMO 1/2001
[2] F. Petrů at al., Iodine stabilized He-Ne lasers….JMO, 1/2003

RNDr. Jiří Zeman, Limtek s.r.o., Čapkova 22, 678 01 Blansko, limtek@limteklaser.com, tel./fax: 516 417 648, website: www.limteklaser.com

Z technické knihovny

Steinchen W., Yang L.: Digital Shearography. SPIE Publishing, Washington 2003. 330 stran, ISBN: 0-8194-4110-4, 72 USD

Metody nedestruktivního testování ve vědě a průmyslu v poslední době prodělávají obrovský rozvoj. Stále se zvyšující nároky na kvalitu a spolehlivost průmyslových výrobků podněcují velký zájem o zkoumání nových nedestruktivních metod, které by byly schopny takové požadavky naplňovat. Oblast nedestruktivních metod se proto stále zdokonaluje a mnoho těchto metod je již standardně používáno v průmyslu jako techniky pro kontrolu kvality produkce. Jednou z optických metod, která se dá využít pro nedestruktivní testování, je i tzv. střihová interferometrie, jež je založena na interferenci koherentních vlnových polí, která jsou vytvořena z předmětového vlnového pole rozdělením pomocí vhodných optických prvků. Autoři se v této knize pokusili shrnout teoretickou problematiku nedestruktivního měření pomocí digitální střihové interferometrie společně s aplikacemi této měřicí techniky v oblasti nedestruktivního testování materiálů a měření deformací a vibrací.

Publikace je rozčleněna na jedenáct kapitol, jež se zabývají jednotlivými aspekty měřicí metody digitální střihové interferometrie. Každá z kapitol je doplněna seznamem další odborné literatury, která souvisí s danou problematikou. Úvodní kapitola obsahuje stručné shrnutí současné problematiky v uvedeném oboru optické metrologie a vysvětlení některých základních pojmů a jevů, zejména pak tzv.koherenční zrnitosti (speklu). Ve druhé a třetí kapitole jsou uvedeny základní principy střihové interferometrie a souvislost mezi vzhledem detekovaného interferenčního pole a deformací povrchu měřeného objektu. Čtvrtá kapitola se velmi stručně zabývá aplikací metody fázového posuvu ve střihové interferometrii, která umožňuje plně automatické počítačové vyhodnocování interferenčních polí. V páté kapitole jsou poté zmíněny některé další metody vyhodnocení a zpracování fázových hodnot, které úzce souvisejí s deformacemi měřených objektů. Šestá kapitola popisuje praktické použití metody digitální střihové interferometrie v oblasti nedestruktivního testování vad materiálů. Následující, sedmá kapitola je zaměřena na postup měření a výpočtu deformací v oblasti testování mechanických konstrukčních prvků. V osmé kapitole je popisována důležitá problematika měření mechanických vibrací a analýzy vibrací pomocí uvedené metody a laseru, pracujícího v kontinuálním režimu. Devátá kapitola stručně uvádí pokus o použití metody digitální střihové interferometrie pro zjišťování rychlosti přenosu tepla v materiálech. V desáté kapitole knihy je diskutována velmi důležitá problematika citlivosti uvedené metody a souhlasu obdržených experimentálních výsledků jak s teoretickými modely měřených objektů tak s jinými experimentálními metodami měření deformací. Dále je zde též stručně zmíněno porovnání možností měření deformací pomocí některých dalších optických měřicích metod. Poslední kapitola je poté věnována stručnému zhodnocení použitelnosti uvedené metody a jejích možných aplikací v budoucnu.

Publikace popisuje detailně měřicí a vyhodnocovací postupy v metodě digitální střihové interferometrie společně s možnými aplikacemi při měření deformací a vibrací. Obsahuje množství grafických ilustrací, které vhodně dokreslují jak vyhodnocovací metody tak konkrétní měření a používané měřicí systémy. Probíraná témata jsou zpracována velmi stručně a pro hlubší porozumění dané problematice je nutno použít další odbornou literaturu. Avšak i přes tyto výhrady kniha představuje dobrý přehled současného stavu metody střihové interferometrie s aplikacemi na oblast experimentální mechaniky, kterou ocení jistě jak vědečtí pracovníci, kteří se oborem optické metrologie zabývají, tak i další zájemci o tuto problematiku.

J. Novák

Menn, N.: Practical Optics. Elsevier Academic Press, New York 2004. 321 stran, ISBN: 0-12-190951-5, 70.00 USD

Autor této publikace se pokusil o vytvoření vysokoškolské učebnice pro studenty oboru optoelektroniky, která by pomocí předkládaných příkladů usnadňovala přechod mezi teorií a praktickou aplikací teoretických poznatků na řešených jednodušších inženýrských problémech. Tomu odpovídá i název této knihy – praktická optika.

Kniha je rozčleněna na deset kapitol a čtyři dodatky, které se zabývají základními partiemi aplikované optiky a moderními optickými měřicími metodami. Teoretický výklad a příklady jsou doplněny schématickými obrázky a přehledným věcným rejstříkem. Každá z kapitol knihy začíná stručným teoretickým úvodem do probírané problematiky, ve kterém jsou vysvětleny základní pojmy a uvedeny bez odvození potřebné vzorce pro výpočet nejrůznějších fyzikálních a geometrických veličin, a dále pokračuje vždy demonstrací použití uvedených teoretických vztahů na řadě řešených praktických i školských příkladů.

Úvodní kapitola se zabývá geometrickou optikou v paraxiálním prostoru, zejména základními zobrazovacími rovnicemi geometrické optiky a jejich použitím na výpočtu jednoduchých optických prvků a soustav. Ve druhé kapitole autor rozebírá problematiku optického zobrazení se zaměřením na primární aberace optických soustav a základy difrakční teorie zobrazení. Třetí a čtvrtá kapitola poté stručně popisuje vlastnosti zdrojů světla, osvětlovacích optických soustav a detektorů optického záření. Pátá kapitola se zabývá optickými systémy pro měření spektrálních vlastností materiálů. V šesté kapitole jsou uvedeny stručně základy radiometrie a bezkontaktních metod pro měření teploty. Sedmá kapitola se poté zaměřuje na problematiku optických a akustooptických skenerů. V osmé a deváté kapitole jsou probírány základy optických systémů pro bezkontaktní měření vzdáleností, geometrických rozměrů, tvaru povrchů a rychlosti proudění. Poslední, desátá kapitola je věnována vnímání a měření barev. Čtyři dodatky knihy poté obsahují tabulky vybraných fyzikální konstant a materiálových parametrů, které jsou potřebné pro výpočet předložených příkladů.

Publikace jako celek se snaží především spojit teorii s praktickou aplikací na příkladech, kterých je v knize velké množství, a jednoduchým způsobem ukázat možné použití teoretických vztahů. Jsou zde kombinovány jak některé klasické partie aplikované optiky tak problematika moderních optických metod pro měření a analýzu nejrůznějších fyzikálních veličin v praxi. Nicméně kniha vzhledem k tomu, že předkládaná problematika je vysvětlena pouze velmi stručně a výsledné vztahy jsou uvedeny naprosto bez odvození a bez potřebného kontextu, bude asi těžko sloužit jako dobrá učebnice aplikované optiky. Je ji možno využít studenty optiky a souvisejících oborů pouze jako podpůrnou studijní literaturu, kde lze nalézt množství jednodušších příkladů, často vázaných na praktické použití optiky a optických jevů v nejrůznějších oblastech vědy a techniky.

J. Novák

Kreis, T.: Handbook of Holographic Interferometry: Optical and Digital Methods. Wiley-WCH Verlag, Weinheim 2005. 554 stran, ISBN: 3-527-40546-1, 185.00 USD

Metoda holografické interferometrie je již čtyřicet let používanou měřicí technikou pro optické bezkontaktní zjišťování tvaru a statických i dynamických deformací nejrůznějších typů objektů. Je široce aplikována pro měření jak ve vědeckých aplikacích tak i v nejrůznějších aplikacích průmyslových. Od svých počátků v šedesátých letech 20.století byla tato bezkontaktní optická měřicí technika výrazně zdokonalena a bylo provedeno mnoho zajímavých praktických aplikací. Přesto však je klasická metoda holografické interferometrie v posledních letech nahrazována nejrůznějšími digitálními a elektronickými metodami, které používají moderní optické a optoelektronické prvky pro detekci a zpracování optického záření a které umožňují odstranit některé nevýhody klasické metody holografické interferometrie, jako např. digitální holografická interferometrie, spekl interferometrie, aj. Kniha podrobně popisuje principy a metody klasických i digitálních holografických technik

pro měření deformací, analýzy napětí, zjišťování indexu lomu materiálů a nedestruktivního testování materiálů a konstrukcí. Důraz je však kladen především na moderní počítačové metody detekce a vyhodnocení interferenčních polí (holografických interferogramů). Je zde uveden jak teoretický základ dané problematiky, tak implementace pro počítačové vyhodnocovací algoritmy a ukázky některých praktických aplikací popisovaných metod.

Publikace je tématicky rozdělena na sedm kapitol a tři dodatky. Je vhodně doplněna obrázky schématického i aplikačního charakteru, velmi podrobným věcným i autorským rejstříkem a především značně rozsáhlým seznamem odborné literatury, týkající se holografické interferometrie a metod pro vyhodnocování interferenčních polí.

Po úvodní kapitole, která se velmi stručně zabývá historií a vývojem metody holografické interferometrie, následuje část, zabývající se optickými základy holografie a holografické interferometrie. Zde jsou uvedeny základní principy interference a difrakce světla, koherence světla, koherenční zrnitosti (speklu), holografického záznamu a jeho rekonstrukce. Třetí kapitola knihy nabízí podrobný popis metody digitální holografie, která využívá na rozdíl od klasické holografie digitálního záznamu na vhodný maticový detektor optického záření (CCD, CMOS) a následné numerické rekonstrukce vlnového pole pomocí počítačových algoritmů. Ve čtvrté kapitole jsou uvedeny teoretické základy metody holografické interferometrie. Následující kapitola poté velmi podrobně pojednává o kvantitativním vyhodnocování informace o měřeném objektu na základě detekce intenzity interferenčního pole. Je zde popsána většina nejpoužívanějších matematických algoritmů a postupů pro získání fázové informace z detekovaných hodnot intenzity interferenčního pole. Na základě těchto fázových hodnot je poté možno provést kvantitativní vyhodnocení měřené problematiky (např. tvaru, statické deformace či vibrace povrchu měřeného objektu, apod.). Touto problematikou se zabývá šestá kapitola knihy, kde jsou uvedeny způsoby, jak přiřadit konkrétní hodnotu měřené fyzikální veličiny (např.posunutí) vypočtené fázové hodnotě pro dané uspořádání měřícího zařízení pro metodu holografické interferometrie. V poslední, sedmé kapitole jsou uvedeny stručné základy metody spekl interferometrie, která je založena na použití jevu koherenční zrnitosti (tzv.speklu) pro vyhodnocení interferenčního pole. V následujících třech dodatcích knihy jsou poté stručně popsány některé matematické pojmy a metody, používané pro výklad (např. základy zpracování signálu, Fourierova transformace, projekční metody a Besselovy funkce).

Publikace představuje velmi kvalitní příručku principů a moderních metod holografické interferometrie, která je široce použitelná v praxi. Velmi rozsáhlý seznam odborné literatury, uvedený na konci knihy, lze použít pro další studium daného oboru. Knihu je možno vřele doporučit vědeckým pracovníkům, inženýrům i studentům, kteří se danou problematikou zabývají nebo se s ní chtějí podrobněji seznámit.

J. Novák

CONTENTS

The Story of the Hubble Space Telescope (L. Lejček) 159
The review of the 16 years history of the Hubble Space Telescope is presented. After the correction of its spherical aberration Hubble Space Telescope becomes very important and successful astronomical apparatus on the Earth orbit. In the course of those 16 years the Telescope obtained many results. A few of them are presented in this review as examples of Hubble Space Telescope activities.

X-ray high resolution digital camera
(J. Touš, O. Petr) 164

Small Experimental Remote Controlled Airship
(F. Kobrzek, P. Mareček) 166
The article is dealing with construction of the small experimental remote controlled airship. The airship has been developed at the Czech Technical University within individual creative activity by students' group. We point out the own airship construction and its utilization in the article. In the preface is talking about the on-board electronics, supporting software and autonomous control that is also indivisible part of the project. In the conclusion you can read about interesting manners of airship utilization for human benefit.

Calculation of wave aberration coefficients using correction zones (A. Mikš, J. Novák) 169
During the design process of optical systems, it is desirable to obtain residual aberrations of designed optical systems as small as possible. By analysis of the dependence of aberrations on the numerical aperture and field of view, it is possible to find such values of the numerical aperture and field of view, where the residual aberration is zero. Such values of the numerical aperture and field of view are called correction zones. The work theoretically analyses the described problem and equations are derived for expression of wave aberration coefficients using correction zones for aberrations of the third and fifth order. Finally, there was done an analysis of optimal values of correction zones and optimal position of the centre of reference sphere using derived equations. This analysis was done for the case when we require the minimum deviation of wave aberration from zero.

ECONOS'06 and Prof. Wolfgang Kiefer in Slovakia
(I. Bugár, F. Uherek) 179

SPIE/CS – society of opticians informs 180

Dream of one country (I. Turek) 181

EuroBLECH 2006 - 19th international fair for metal sheet processing technology 182

4th International Symposium on Laser, Scintillator and Nonlinear Optical Materials 183

The key technical fairs hold in the 2nd half year 2006
(jpe) 184

New laser interferometer LMS from Limtek company
(J. Zeman) 186

From technical library (J. Novák) 187

ANOTACE

Základní klasifikační systémy barev pro digitální zobrazovací kolorimetrii (J. Pospíšil, J. Hrdý, J. Hrdý, jr.) 175
Článek je napsán v přehledné formě obsahující čtyři základní klasifikační systémy barev pro digitální zobrazovací kolorimetrii. Tento obor je obvykle založen na využití digitální tříkanálové barevné kamery upravené pro objektivní měření barev a spojené s vyhodnocovacím a zpracovávacím počítačem. Příslušné základní barevné (kolorimetrické) klasifikační systémy, uvažované v tomto článku, jsou: aditivní barevný systém (R,G,B), subtraktivní barevný systém (C,M,Y), CIE barevný systém (X,Y,Z) a CIE barevný systém (L^*,a^*,b^*).

Fundamental color classification systems for the digital imaging colorimetry

(J. Pospíšil, J. Hrdý, J. Hrdý, jr. - page 175)

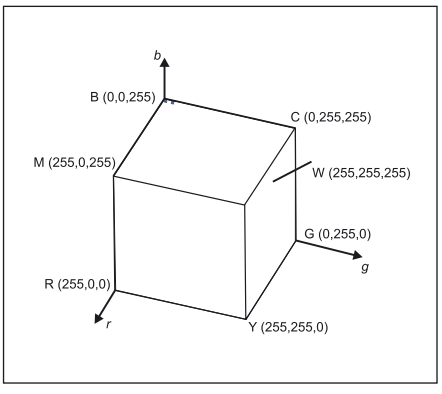


Fig. 2 Approximate colors dislocation in the RGB color cube with marked numbers of distinct luminance shades of the primary colors and the white color

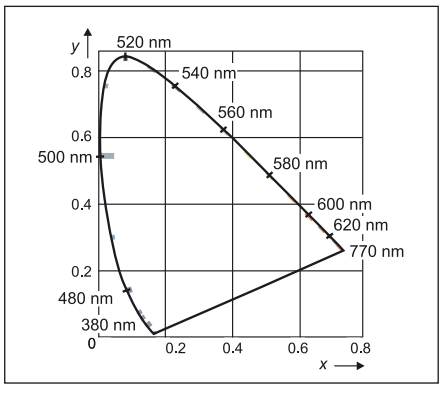


Fig. 5 Approximate colors dislocation within the CIE chromatic diagram

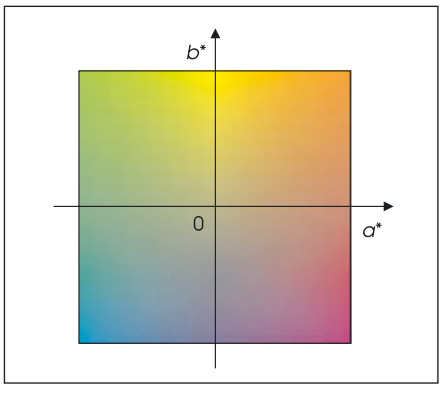
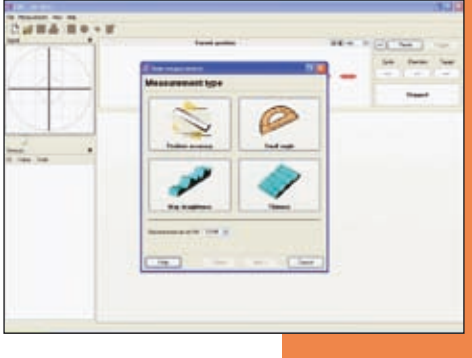
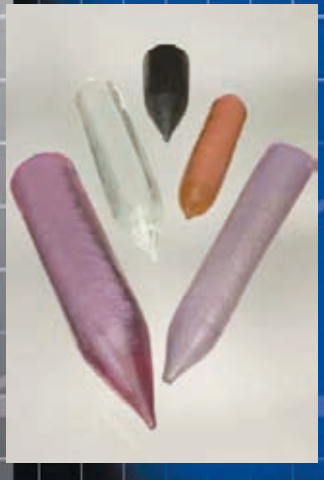


Fig. 7 Approximate colors dislocation in the color plane (a^*, b^*) of the color system (L^*, a^*, b^*) for $L^* = 50$

Nový laserový interferometr LMS firmy Limtek

(Ilustrační foto k článku - str. 186)





Crytur Ltd.
Palackého 175
CZ-51101 Turnov
Phone: +420 481 319511
Fax: +420 481 322323
crytur@crytur.cz
www.crytur.com

SCINTILLATION MATERIALS AND DETECTORS

LASER RODS AND OTHER LASER COMPONENTS

CRYSTAL BASED PRECISE OPTICS AND MECHANICS

SAPPHIRE PROFILES...

CRYTUR - CZECH REPUBLIC