

REDAKČNÍ RADA

Předseda: RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, a.s., Přerov

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZI-NA, Bratislava, RNDr. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, Ing. Libor HOVOR-KA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, prof. RNDr. Mi-roslav 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 KR-ŠEK, VUT, Brno, RNDr. Vojtěch KŘESÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KÚR, 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, a.s., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, a.s., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTO-RA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDEŘÁKOVÁ, 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 Moores Univer- sity, 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 Nakla- datelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky.

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 Pře- rov, 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 příspěv- ků odpovídají autoři.

Předplatné: Celoroční 420,- Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Českou i Slovenskou republiku. Do všech ostatních zemí je časopis JMO dis- tribuován za jednotnou cenu 10 EUR/ks. Pro členy SPIE/CS činí před- platné 120,- Kč/rok. Předplatné pro studenty Bc., Mgr., Ph.D. a studenty středních škol při osobním odběru činí 120 Kč/rok; v přípa- dě zaslání poštou 300,- Kč/rok.

Rozšiřuje vydavatel, KNIHKUPECTVÍ - Wellemínová, Ditrichova 13, 120 00 Praha 2, Podniková prodejna Meopta-optika, a.s., Přerov, Ka- belíkova 1, 750 02 Přerov a KNIHKUPECTVÍ ACADEMIA, Václavské nám. 34, 110 00 Praha 1.

V Slovenské republice je kontaktní místo: prof. RNDr. Anton Štr- ba, CSc., katedra experimentálnej fyziky FMFI UK, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 48 Bratislava, tel.: 00421 7 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.etc.sk
Tiskne TYPoServis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov, tel.: 573 398 746, e-mail: typoservis@iol.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 2005

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 50

1/2005

OBSAH

Editorial (K. Jungwirth)	3
Světový rok fyziky 2005 byl zahájen v Paříži (M. Libra)	3
40 let Společné laboratoře optiky UP a FZÚ AV ČR v Olomouci (M. Hrabovský)	4
Uplatnění svařování elektronovým svazkem v přístrojové technice (M. Hrabovský, M. Kopřiva, R. Kubínek)	5
Návrh systému ultratenkých zrcadel pro LIDAR (M. Pech, M. Hrabovský, P. Schovánek, M. Palatka, L. Nožka, D. Mandát, J. Řídký)	8
Český příspěvek v projektu AIRFLY (L. Nožka, P. Schovánek, M. Palatka, M. Hrabovský, J. Řídký, V. Vacek, M. Boháčová, M. Pech, M. Doubrava, D. Mandát)	11
Simulace laserového svařování kruhových svarů metodou konečných prvků (R. Čtvrtlík, H. Chmelíčková, M. Havelková)	14
Vliv vlhkosti vzduchu na spektrální odezvu holografického interferenčního filtru zaznamenaného do dichromované želatiny (P. Šmíd, H. Hiklová)	17
Souhrn experimentálních výsledků dosažených v laboratoři fotonové optiky (J. Soubusta, O. Haderka, J. Peřina Jr., M. Hendrych, M. Hamar, R. Myška, P. Pavlíček, V. Urbášek, M. Dušek, R. Filip, J. Fiurášek, P. Trojek, A. Černoch, M. Gavenda, M. Ježek)	20
Srovnání měření tvaru implantátu kloubní jamky pomocí profilometrie a topografie (D. Mandát, L. Nožka, M. Hrabovský, T. Rössler)	23
SPIE/CS - společnost optiků informuje	26
Oznámení	26
Analýza korelovaných fotonových párů pomocí masivně multikanálového detektoru (O. Haderka, M. Hamar, J. Peřina Jr.)	27
Prof. Ing. Miroslav Kopřiva, CSc. osmdesátníkem (L. Dvořák, M. Hrabovský)	31
Až 100 000 Kč pro české firmy (jpe)	31

Obsah časopisu Jemná mechanika a optika je uveden
na internetu: <http://www.meopta.cz/jmo>

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, a.s., Přerov (Czech Rep.)

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUČHAL - 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 KUR, 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 LOŠTÁK - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, a.s., 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 Physics 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 Moores 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.

Editor: Jan ŘÍDKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

Address of the Editor's office in Olomouc (subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 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.

Reproduction 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 Slovak 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, BOOKSTORE - Wellemínová, Ditrich street 13, CZ-120 00 Praha 2, Company Sales shop of Meopta-optika, a.s., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Contact place for the Slovak Republic: Anton Štrba, Department of Optics, Faculty of Mathematics and Physics, Comenius University, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 15 Bratislava,

phone: 00421 7 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: typoservis@iol.cz

Advertising: editor's office, Kabelíkova 1, CZ-750 02 Přerov, fax: 581 242 222.

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2005

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 50 1/2005

CONTENTS

<i>Editorial</i> (K. Jungwirth)	3
<i>World Year of Physics started in Paris</i> (M. Libra)	3
<i>40 years of the Joint Laboratory of Physics of Palacky University and Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic in Olomouc</i> (M. Hrabovský)	4
<i>Electron beam welding application in the instrument technique</i> (M. Hrabovský, M. Kopřiva, R. Kubínek)	5
<i>Preliminary Design of Ultralight Mirrors System for LIDAR</i> (M. Pech, M. Hrabovský, P. Schovánek, M. Palatka, L. Nožka, D. Mandát, J. Řídký)	8
<i>Czech contribution to the project AIRFLY</i> (L. Nožka, P. Schovánek, M. Palatka, M. Hrabovský, J. Řídký, V. Vacek, M. Boháčová, M. Pech, M. Doubrava, D. Mandát)	11
<i>FEM simulation of the laser welding process in axial circular geometry</i> (R. Čtvrtlík, H. Chmeličková, M. Havelková)	14
<i>Influence of air humidity on spectral response of holographic interference filter recorded into dichromated gelatin</i> (P. Šmíd, H. Hiklová)	17
<i>Summary of the experimental results obtained in the laboratory of photon optics</i> (J. Soubusta, O. Haderka, J. Peřina Jr., M. Hendrych, M. Hamar, R. Myška, P. Pavlíček, V. Urbášek, M. Dušek, R. Filip, J. Fiurásek, P. Trojek, A. Černoch, M. Gavenda, M. Ježek)	20
<i>Differences of the application of profilometry and topography for the cotyle implantate shape measurement</i> (D. Mandát, L. Nožka, M. Hrabovský, T. Rössler)	23
<i>SPIE/CS - a society of Czech optics informs</i>	26
<i>Analysis of correlated photon pairs using massively multichannel detector</i> (O. Haderka, M. Hamar, J. Peřina Jr.)	27
<i>Prof. Ing. Miroslav Kopřiva, CSc. in his eighties</i> (L. Dvořák, M. Hrabovský)	31
<i>Up to 100 thousand CZK for Czech companies (jpe)</i>	31

You can also find the contents of the Journal on Internet:
<http://www.Meopta.cz/jmo>

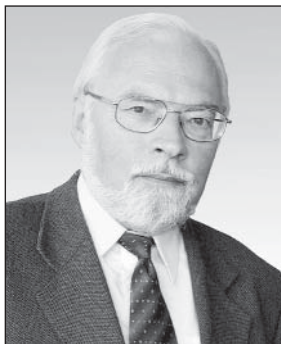
Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Vážené čtenářky, vážení čtenáři,

dovolte mi, prosím, abych Vás v tom každodenním chvatu a shonu zase jednou pozval k malému ohlédnutí na léta minulá. Letošní rok – mezinárodní rok fyziky – nabízí totiž Vám, zájemcům o jemnou mechaniku a optiku, hned několik dobrých důvodů pro takové zastavení. Spolu se stým výročím speciální teorie relativity slaví totiž letos své sté narozeniny i základní částice světla – foton. A čistě náhodnou shodou okolností vychází letos padesátý ročník našeho časopisu vydávaného Fyzikálním ústavem AV ČR.

Jako celek je tento ústav nejen největším fyzikálním pracovištěm u nás, ale je i zdaleka největším ústavem celé naší Akademie věd. O to pozoruhodnější je, nakolik se zde právě v posledních desetiletích výrazně zvýšil zájem o optiku a nové optické materiály, a to nejen v souvislosti s výkonovými laserovými systémy. Již dvacet roků například existuje v Olomouci Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR, založená na vynikajících vědeckých výsledcích prof. RNDr. Jana Peřiny, DrSc. Dnes pak tato Laboratoř, vedená prof. RNDr. Miroslavem Hrabovským, DrSc., vyniká nejen v kvantové, koherentní či statistické optice a holografii, ale i ve stavbě unikátních přístrojů a zařízení včetně nových optických a laserových technologií. Svými velkoplošnými mimořádně přesnými zrcadly a dalšími opti-



kými elementy se navíc úspěšně podílí i na prestižním mezinárodním projektu Pierre Auger Observatory, jehož hlavním cílem je zjistit zdroj a původ kosmického záření extrémně vysokých energií. Objevem fotonu se tedy jen zdánlivě uzavřela předlouhá cesta člověka směřující k odhalení záhad podstaty světla a možností jeho využití.

Dnes více než kdy jindy si totiž začínáme uvědomovat, jakou hodnotou je poznání. A bez optiky je poznání téměř nemožné. Nestačí ovšem, že se s „optikou“ rodíme, musíme mít také podstatné a správné informace, jejichž šíření v dané oblasti je krédem i posláním dnešního našeho jubilanta, Vašeho časopisu Jemná mechanika a optika. Na jeho stránkách můžete pravděpodobně nalézt příklady nejen z klasické optiky, optoelektroniky, koherentní optiky, ale i mechaniky, konstrukcí a technologií, včetně jejich vlivu na životní prostředí. Deset ročních čísel měsíčníku s dvěma dvojčísky Vám navíc přináší aktuální informace o různých projektech, výstavách a zprávách z průmyslu, ze škol i vědeckých ústavů.

Nové možnosti, ale i tvrdší konkurenční prostředí s sebou přinesl vstup do Evropské unie, a to platí i pro náš časopis. Jeho snahou, záměrem a ctížádostí je být kvalitním komerčním vědecko-odborným časopisem. A mým přáním do jeho padesátého ročníku je, aby čtenářů přibývalo a aby v něm vždy našli zajímavé a užitečné informace.

*Ing. Karel Jungwirth, DrSc.
ředitel Fyzikálního ústavu AV ČR*

Světový rok fyziky 2005 byl zahájen v Paříži

Rok 2005 byl vyhlášen Valným shromážděním OSN jako Světový rok fyziky. Nepochybně se tak nestalo náhodou, ale stalo se tak proto, že na odpovědných místech si plně uvědomují význam vědy pro lidstvo a její nezastupitelné místo v rozvoji civilizace. Dokladem toho byl už rok 2000, který byl vyhlášen Světovým rokem matematiky. K zahájení Světového roku fyziky proběhla v Paříži konference ve dnech 10. - 13. ledna 2005, kde byly prezentovány pouze zvané přednášky nositelů Nobelových cen a proběhla společenská setkání účastníků s kulturním programem. Za Českou republiku se konference zúčastnili 3 členové předsednictva Jednoty českých matematiků a fyziků (JČMF) a deset studentů vybraných podle předchozích úspěchů ve fyzikálních soutěžích pořádaných JČMF.

Fyzika jako základní přírodní věda si podobné ocenění jistě zasloužila. Vždyť představuje úvahy s nejvyšším stupněm abstrakce a zasahuje do mnoha oborů (techniky, chemie, biologie, medicíny apod.), prostřednictvím technických vymožeností usnadňuje život každému z nás a v lékařských aplikacích zachraňuje mnohým lidem i zdraví.

Symbolicky byl zvolen právě rok 2005, neboť v tomto roce uplyne 100 let od některých významných fyzikálních objevů zejména v oborech teorie relativity, kvantové mechaniky a statistické fyziky, například objev fotonu spadá do všech těchto oborů. Přelom 19. a 20. století byl velmi bohatý na převratné objevy nejen ve fyzice a od r. 1901 se udělují Nobelovy ceny.

Vyhlášením Světového roku fyziky je v globálním měřítku zdůrazněn význam přírodních věd v historickém vývoji. Je to velká příležitost k přiblížení vědy širším vrstvám a k posílení pozice přírodovědců v jejich dlouholetém boji s okultisty a šarlatány těšícími se u laické veřejnosti tradičně vyšší popularitě. Veřejnost má často raději záhadu a tajemno s nimi spojené a po seriózním vědeckém vysvětlení ani netouží. Málo kdo je totiž ochoten věnovat čas a úsilí k zvládnutí alespoň základů přírodních věd, aby mohl objektivně chápat show předváděnou šarlatány. Velmi nás mrzí, že

neznalost přírodních věd a zejména matematiky se stává trendem dnešní doby, hvězdy show-businessu se jí chlubí v zájmu vyšší popularity a dokonce bývá někdy používána i ve volebních kampaních. Mezery například v gramatice, jazykové výbavě či historii by asi málokdo přiznával tak ochotně. To je ale nebezpečné právě tím, že zmíněné skupiny jsou pro mnoho lidí vzorem, zejména pro mladou generaci a proto je úkolem zejména pracovníků univerzit i ostatních škol, akademie věd a vědeckých společností bojovat proti tomuto trendu.

Jednota českých matematiků a fyziků se hodlá zapojit řadou připravovaných akcí. Světovému roku fyziky bude věnována 15. konference českých a slovenských fyziků, budou pořádány různé semináře a setkání, vyjde poštovní známka a navazují se styky s českým rozhlasem a televizí, aby do programu byly v tomto roce více zařazovány pořady s fyzikální tematikou. V neposlední řadě JČMF plánuje spolupráci s Národním technickým muzeem při pořádání tematické výstavy a vydává se několik populárně vědeckých publikací. Bylo by žádoucí, aby se učitelé všech typů škol připojili k těmto snahám, uvedli informaci v co možná nejširší známost a aby zvláště učitelé fyziky projevíli iniciativu při hledání nových možností, jak podchytit zájem o přírodní vědy u mladé generace. Možná se i ostatní vědy časem dočkají podobného zviditelnění.

I ČZU v Praze se zapojila do této iniciativy. Katedra fyziky TF věnuje Světovému roku fyziky 4. ročník mezinárodního workshopu Applied Physics in Life Sciences 2005. Vítejte informace i dalších institucí o akcích pořádaných ke Světovému roku fyziky a významnější akce zveřejňujeme na html stránce <http://libra.tf.czu.cz/wyp2005.htm>, kde jsou i užitečné odkazy na další stránky věnované Světovému roku fyziky.

*doc. Ing. Martin Libra, CSc.
ČZU v Praze, Technická fakulta
předseda komise JČMF na propagaci fyziky*

40 let Společné laboratoře optiky UP a FZÚ AV ČR v Olomouci



Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky v Olomouci – vědecká instituce tohoto názvu vzpomíná v roce 2005 své ustanovení a působení v Olomouci. Při této příležitosti si dovoluji uvést několik historických dat a postřehů a doufám, že budou příjemnou vzpomínkou pro zasvěcené a možná i zajímavou informací pro ostatní čtenáře tohoto časopisu. Tato vzpomínka není záměrně rekapitulací odborných

výsledků, či plánů jubilujícího pracoviště, jak bývá zpravidla zvykem při podobných příležitostech, ostatně tyto informace jsou dnes již dostupné jinými cestami. Záměrem této statě je jen skromně připomenout založení, historii a současnost této instituce s poněkud neobvykle dlouhým jménem, avšak pro mne i pro mnohé další, instituce, která významně formovala a ovlivnila náš profesní život a postoje. Dále také s vděčností vzpomenu zakladatelů olomouckých pracovišť optiky a poděkovat současným zřizovatelům pracoviště, Univerzitě Palackého v Olomouci a Fyzikálnímu ústavu AV ČR v Praze, za přízeň a péči o toto pracoviště.



Historii Společné laboratoře optiky UP a FZÚ AV ČR lze však vysledovat mnohem dříve. V roce 1930, tedy před 75 lety, padlo v Praze na tehdejší ČVUT, pro obor optika, důležité rozhodnutí založit Ústav technické optiky; nástupce tohoto ústavu dodnes působí pod jiným názvem na FS ČVUT. Iniciátorem založení ústavu a jejím vedoucím v letech 1930-1952 byl doc. RNDr. Ing. Josef Hrdlička (19. 11. 1899 Kožlany – 24. 2. 1957 Praha), absolvent Karlovy univerzity a pařížské École supérieure d'optique. Paradoxně k samostatnému postavení ústavu dopomohla II. světová válka, kdy po uzavření vysokých škol byl Ústav technické optiky ušetřený a existoval jako samostatná instituce pod vedením doc. Hrdličky. Právě doc. Hrdlička společně s prof. RNDr. Bedřichem Havelkou, DrSc. (17. 7. 1907 Protivanov – 17. 2. 1990 Přerov), také absolventem École supérieure d'optique a pozdějším profesorem teoretické fyziky na Univerzitě Palackého v Olomouci, po různých poválečných organizačních peripetích, zakládají v roce 1953 v Praze na půdě nově vznikající Československé akademie věd instituci s názvem Laboratoř optiky ČSAV, vedoucím po celé období její existence (1953-1963) byl již prof. Havelka. Léta 1963-1965 lze

nazvat jako přechodová, postupně zanikají pražská pracoviště Laboratoře optiky ČSAV, prof. Havelkovi se daří jen velmi omezeně tato pracoviště převést do Olomouce. Při své katedře teoretické fyziky a astronomie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci však ustanovuje v roce 1965 neformální skupinu neučitelů, převážně mladých a nadějných vědeckých pracovníků, která je pod staronovým názvem Laboratoř optiky začleněna de jure do svazku olomoucké univerzity až v roce 1967. Prof. Havelka je nepřetržitě jejím vedoucím až do roku 1976, laboratoři vtiskl vědeckou pečeti renomovaného světového pracoviště, byl zakladatelem a tvůrcem olomoucké optické školy a vůdčí osobností moderní české optiky, vychoval řadu optických odborníků, kteří našli uznání ve světové vědě, v optickém průmyslu i jiných oborech. Paralelně v roce 1961 byla na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci založena katedra optiky a jemné mechaniky, jejím zakladatelem a prvním vedoucím byl prof. RNDr. Engelbert Keprt (16. 5. 1910 Vídeň – 2. 9. 1974 Olomouc), bývalý ředitel přerovské Meopty a tamního výzkumného ústavu ÚVOJM, skvělý organizátor, znalec fyzikální, technické i průmyslové optiky. Z dnešního pohledu se dá říci, že tyto dva muži, vědecky erudovaní, organizačně schopní, s dobrými osobními kontakty s blízkou Meoptou v Přerově, řadou dalších vědeckých institucí i průmyslových podniků v tuzemsku i v zahraničí, byli ve své době na správném místě a pro olomoucké vysoké školství velkým přínosem, založili a vybudovali silné optické pracoviště s patřičným světovým vědeckým i pedagogickým renomé, uměli si vybrat a nadchnout spolupracovníky, kteří vzali jejich myšlenky a vize za své; za všechny jmenujme alespoň prof. RNDr. Jana Peřinu, DrSc. (nar. 11. 11. 1936 v Městci Králové), jehož světový vědecký vzhlas a renomé je všeobecně známé.

Období 1976-1989 Laboratoře optiky je charakterizováno personální unií s katedrou jemné mechaniky, optiky a optoelektroniky v osobě tehdejšího vedoucího obou pracovišť doc. Ing. Antonína Nováka, CSc. (nar. 1934) a především dozráním vědecky silné a ojedinělé teoretické skupiny kvantové optiky pod vedením již zmíněného dr. J. Peřiny. V roce 1983, mimo jiné, i pod vlivem světového odborného renomé dr. Peřiny, je Laboratoř optiky transformována a přejmenována na Společnou laboratoř optiky UP a FZÚ ČSAV. Jejimi zřizovateli jsou olomoucká univerzita a Fyzikální ústav ČSAV v Praze, akademie věd se tak i oficiálně vrátila ke svému dítěti. Vedoucím byl do roku 1989 doc. Novák, v roce 1990 krátce pak prof. Peřina a následně autor této vzpomínky. Prof. Peřina však dílčím úvazkem zůstal členem laboratoře (paralelně je



také několik let vedoucím katedry optiky) a vůdčí osobností oboru kvantová optika, je pokračovatelem a tvůrcem odkazu vědecké školy prof. Havelky v Olomouci.

Zájemce o podrobnější historii (1930-2000) odkazují na vyčerpávající a lehce úsměvnou vzpomínku jednoho ze zakládajících členů Laboratoře optiky RNDr. Vladimíra Malíška, CSc. uveřejněnou v roce 2000 pod názvem „Nekolikánásobné jubileum Laboratoře optiky“ v časopise *Jemná mechanika a optika* 11-12 (2000) 296-312.

Období po politických změnách v roce 1989 bylo charakterizováno zpočátku řadou personálních a organizačních změn, následně několika stěhování, zatím poslední změnou názvu na Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR (1993), výstavbou a uvedením do provozu první vlastní budovy (1996), a to za aktivní účasti obou zřizovatelských institucí (nezanedbatelně také za účasti tehdejších zaměstnanců laboratoře), obnovou pracovišť po povodni na Moravě v létě 1997, reorganizací AV ČR v roce 1994, vznikem sekce optiky ve FZÚ AV ČR (1992) s přísnou dělbou a koordinací práce mezi pražskými optickými pracovišti sekce a SLO UP a FZÚ AV ČR.

Druhá polovina devadesátých let je však zejména charakteristická postupným zřízením a vybavením moderních laboratorních prostor pro klasickou a poprvé v historii olomouckých pracovišť i pro kvantovou optiku a také kvalitativně i kvantitativně novými, velmi těsnými pracovními vztahy s pražskými pracovišti Fyzikálního ústavu AV ČR, což oboje značně přispělo k rozvoji oboru a prohloubení prestiže olomouckých optických pracovišť. Dále pak příchodem nových, zejména mladých, odborně erudovaných a moderně, včetně absolvování zahraničních pobytů a škol, vyškolených mladých pracovníků. Řada z nich, v současné době, již se zkušenostmi z řešení prestižních tuzemských i zahraničních grantových projektů, mezinárodními kontakty, dobrou publikační aktivitou, výbornou experimentální erudicí, ale i četnými kontakty s praxí. Zdá se, že tato nastupující generace je dobrou zárukou budoucnosti laboratoře i oboru optika v Olomouci, což je potěšující a také i mým přáním tomuto pracovišti k jeho kulatému výročí.

*Prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc.,
vedoucí SLO UP a FZÚ AV ČR*

Miroslav HRABOVSKÝ¹, Miroslav KOPŘIVA¹, Roman KUBÍNEK²

¹Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR, Olomouc

²Katedra experimentální fyziky Univerzity Palackého v Olomouci

Uplatnění svařování elektronovým svazkem v přístrojové technice

Příspěvek informuje o užití svařování elektronovým svazkem ve vakuu beryliových bronzů, podrobených tepelnému zpracování precipitačním žháním a zjištěných parametrech pevnosti v tahu, změně mikrotvrdosti svarových pásem a mikrostruktur. Strukturální změny jsou dokumentovány mikrofotografiemi (SEM).

1. ÚVOD

Mezi velké výhody svařování elektronovým svazkem ve vakuu v oboru přesné mechaniky a přístrojové techniky patří:

- schopnost vytváření úzkých a díky totálnímu využití tepla elektronového svazku také hlubší svařování, než při obloukovém svařování
- možnost řízení tavení a ostatních parametrů svařování pro docílení kvalitního svarového spoje
- vysoká čistota prostředí pro svařování
- vysoká rychlost svařování a vysoká produkce [1].

Tyto skutečnosti umožňují také minimalizaci smrštění a deformací, svařování kalených, nebo zpevněných kovů a často opakované svařování bez významných zhoršení mechanických vlastností spoje, svařování součástí, které již byly zhotoveny v konečných rozměrech, svařování na teplo citlivých součástí, vytváření hermetických svarů a hermetických pouzder a konečně i svařování nespasovatelných a reaktivních kovů, včetně jejich kombinace obvykle nemožné provést obloukovým svařováním.

Mnoho dílců přístrojů, užívaných na poli biomedicíny jsou vyrobeny ze slitin Cu-Be a titanu, nebo jeho slitin a slitin Fe-Ni-Co. Z toho důvodu bylo pro výrobní účely žádoucí zjistit kvalitu svarů slitin Cu-Be, vytvořené elektronovým svazkem. Pro tento účel bylo nutné ověřit:

- pevnost v tahu základního materiálu a svarů
- mikrotvrdost těchto míst a přilehlých oblastí
- zjištění strukturálních změn těchto oblastí
- určení vhodné slitiny a způsoby jejího zpracování před svařováním.

2. PŘÍPRAVA VZORKŮ

2.1 Tepelné zpracování vzorků

Všechny vzorky, zhotovené ze slitiny Cu-Be, byly vyžháný rozpouštěcím režimem 810 °C/10 min., prudce ochlazený ve vodě a za studena tváření válcováním (stav 1/2 H). Konečný tvar vzorků byl ve formě pásků.

Vzorky slitiny Cu-Be₂ byly následně vytvrzeny režimem 370 °C/3hod. (stav HT). Vzorky, zhotovené ze slitiny Cu-Be₂ (No.3), byly vytvrzeny za teploty 320 °C/2 hod. (stav 1/4 HT). Vzorky ze slitiny Ti-VT1-0 byly použity ke zkouškám ve stavu zpracování za studena. Složení těchto vzorků bylo stanoveno speciální kvantitativní analýzou s tímto procentuálním výsledkem: Al = 0,3 %; Fe = 0,04 %; Si = 0,02 %; C = 0,05 %; O₂ = 0,081 %; N₂ = 0,03 %; H₂ = 0,003 %; zbytek byl titan.

2.2 Svařování elektronovým svazkem

Svařování zkušebních vzorků bylo realizováno zařízením ES-2, které bylo vyvinuto na pracovišti ČSAV – Ústav přístrojové techniky v Brně. Svařovací zařízení mělo tyto parametry:

- proudová hustota: 10⁴-10⁵ W/mm²
- proud svazku (paprskový): do 30 mA
- fokusace svazku: 0,02-0,3 mm
- vzdálenost děla ke svarku: 100-500 mm
- urychlující napětí: do 50 kV.

Uvedené materiály byly svařovány těmito parametry:

- urychlovací napětí: 48 kV
- proud svazku (paprskový): 2,2 mA
- rychlost svařování: 300 mm/min.

Tloušťka všech vzorků Cu-Be byla 0,3 mm, vzorky titanu 0,2 mm.

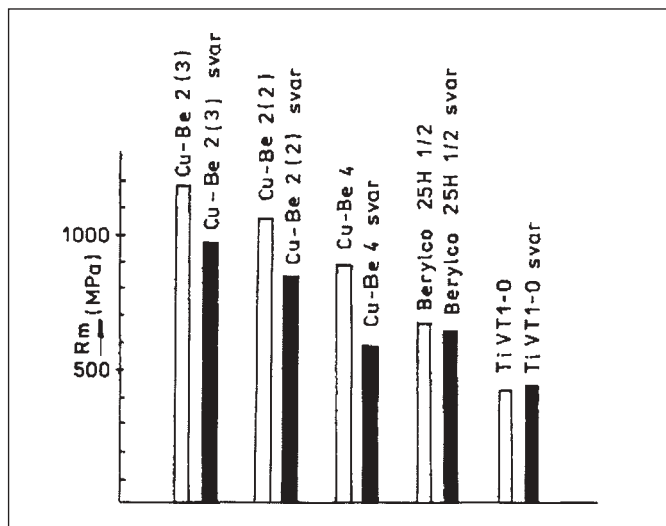
2.3 Zkoušky mechanických vlastností

Zkoušky základního materiálu a provedených svarů vykazaly průměrné hodnoty uvedené v tabulce 1.

Tabulka 1 Hodnoty pevnosti v tahu základních materiálů a svarů

Materiál	Pevnost v tahu R_m [MPa]	
	Základní materiál	Svar
Berylco 25 1/2H	676,90	641,90
Cu-Be 4	884,20	580,90
Cu-Be 2 (No.2)	1058,27	836,00
Cu-Be 2 (No.3)	1117,80	961,30
Ti-VT 1-0	434,66	443,59

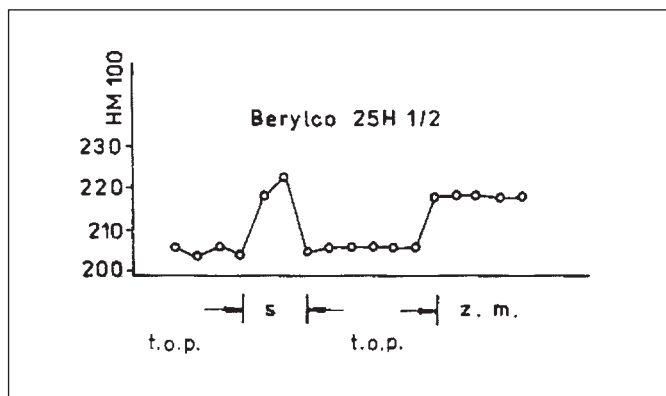
Výsledky ukazují, že pevnost v tahu R_m svarů slitiny Cu-Be 4 je 65,7% vůči základnímu materiálu, slitiny Cu-Be 2 (No.2) 79% a slitiny Cu-Be 2 (No.3) 86 %, ale slitiny Berylco více než 94% pevnosti základního materiálu, obr. 1.



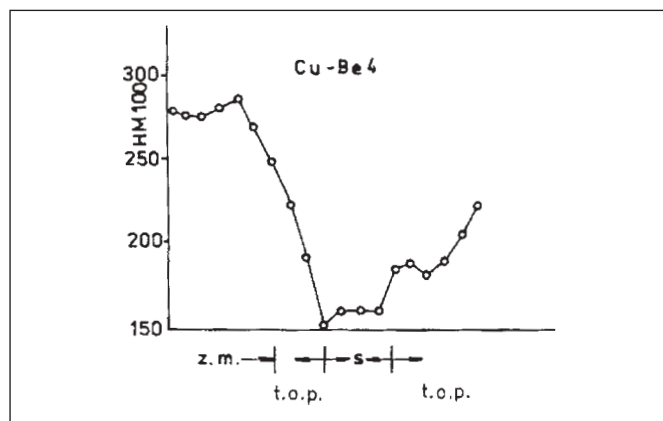
Obr. 1 Pevnost v tahu R_m svarů vyšetřovaných slitin

Zjištěné hodnoty měření mikrotvrdostí HM 100 základního materiálu (z.m.), svarů (s) a přechodových, teplem ovlivněných pásem (t.o.p.) jsou znázorněny v diagramech na obr. 2, 3, 4, 5, 6).

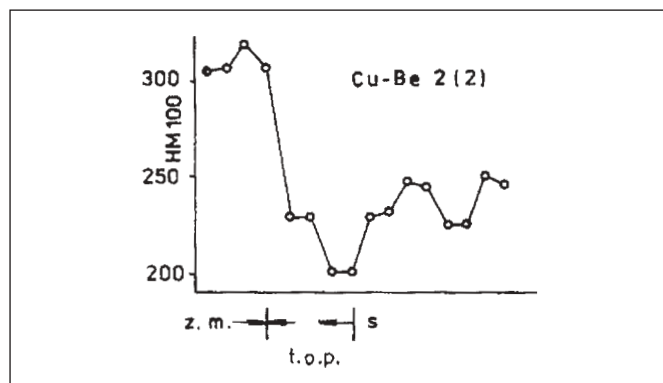
Z rozdělení mikrotvrdostí je zřejmé, že pro svařování elektro-rovým svazkem je slitina Berylco vhodnější k zamýšlenému účelu, protože nevykazuje velké rozdíly mikrotvrdosti v měřených



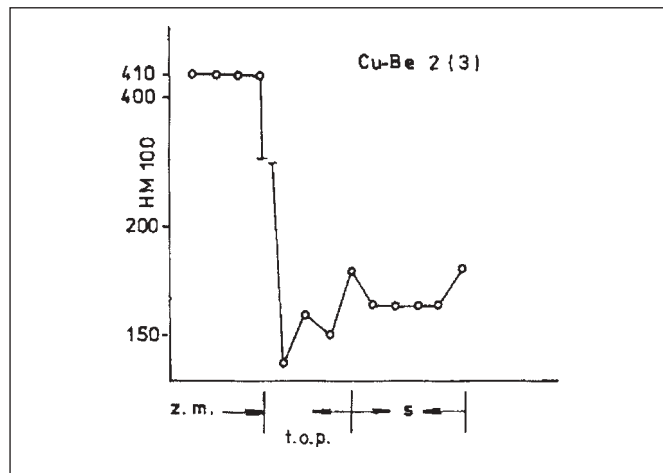
Obr. 2 Průběh mikrotvrdosti HN 100, Berylco 25H 1/2



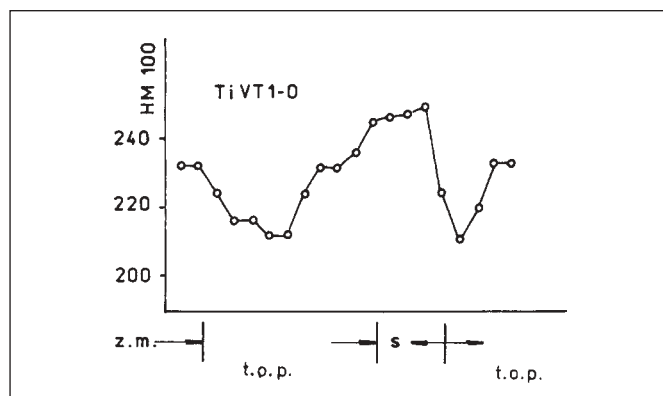
Obr. 3 Průběh mikrotvrdosti HN 100, Cu-Be 4



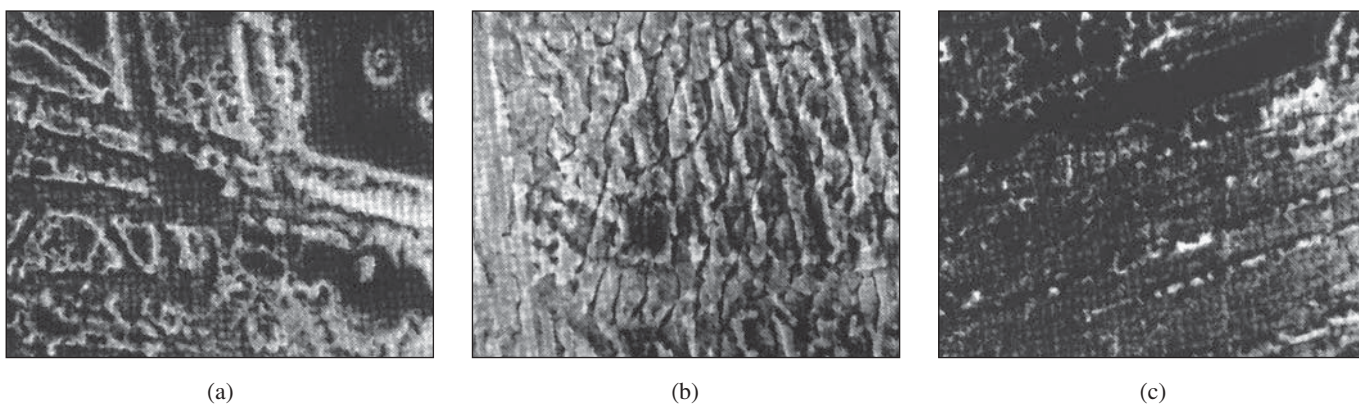
Obr. 4 Průběh mikrotvrdosti HN 100, Cu-Be 2(2)



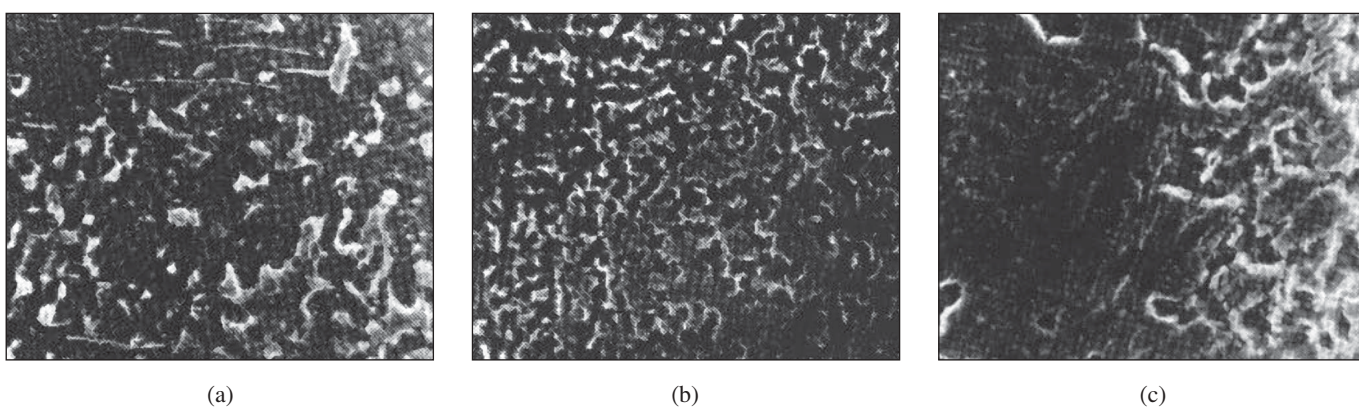
Obr. 5 Průběh mikrotvrdosti HN 100, Cu-Be 2(3)



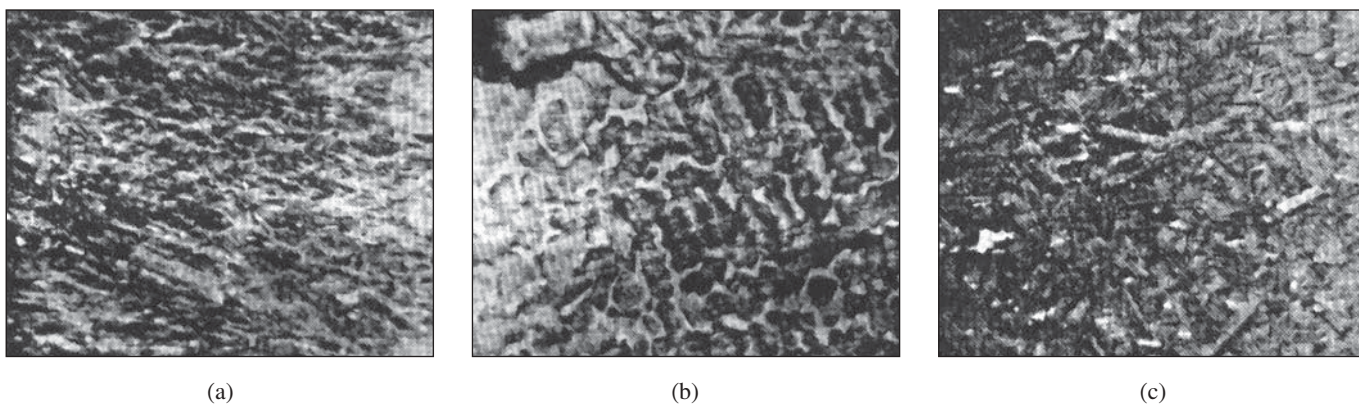
Obr. 6 Průběh mikrotvrdosti HN 100, Ti-VT 1-0



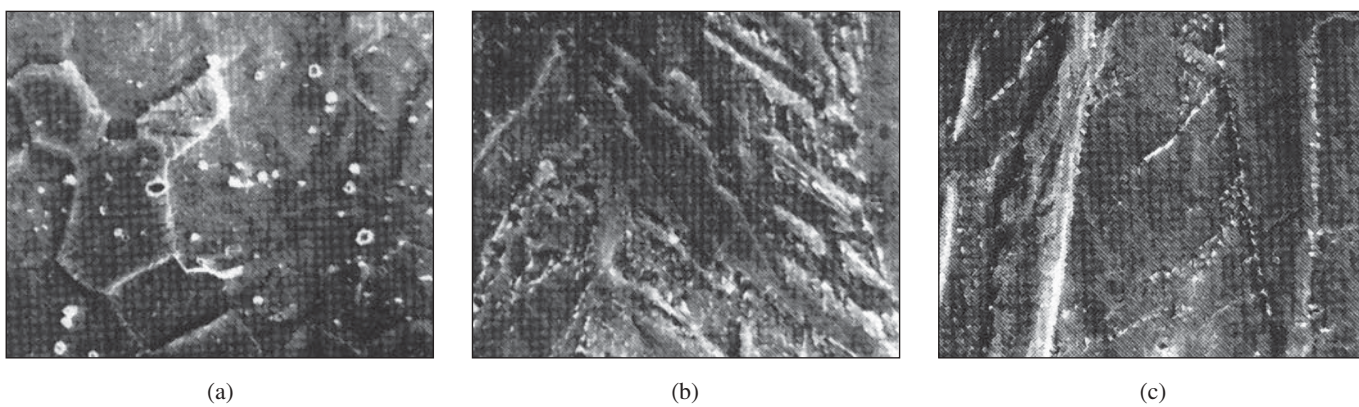
Obr. 7 Slitina Berylco 25 H 1/2, SEM, zvětšení 5000; (a) základní materiál, (b) svar, (c) tepelně ovlivněné pásmo



Obr. 8 Slitina Cu-Be 4, SEM, zvětšení 5000; (a) základní materiál, (b) svar, (c) tepelně ovlivněné pásmo



Obr. 9 Slitina Cu-Be 2(3), SEM, zvětšení 5000; (a) základní materiál, (b) svar, (c) tepelně ovlivněné pásmo



Obr. 10 Slitina Ti-VT 1-0, SEM, zvětšení 4000; (a) základní materiál, (b) svar, (c) tepelně ovlivněné pásmo

zónách [2]. Efekt precipitace se ve svařovaných slitinách Cu-Be zmenšuje se vzrůstem stupně tepelného zpracování. Z grafické dokumentace je patrné, že malé difference mají pozitivní efekt na pevnost v tahu svaru ve srovnání se základním materiálem. Strukturální změny jsou patrné z elektronové mikroskopie. Mikrosnímky (obr. 7a, b, c; 8a, b, c; 9a, b, c; 10 a, b, c), kde *a* – základní materiál, *b* – svar, *c* – pásmo přechodu svar-základní materiál, jsou z metalograficky šetřených míst svarových spojů [3]. Původní zvětšení mikrofotografií je 5000, slitiny Ti-VT1-0-4000x.

K vyvolání mikrostruktury bylo použito roztoku $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}$, u titanové slitiny pak $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{glycerin}$.

3. ZÁVĚR

Svařování elektronovým svazkem je používáno ke svařování většiny materiálů, které nemohou být svařovány elektrickým obloukem, avšak kvalita svarů u většiny kovů je převážně podstatně lepší, než u nejkvalitnějších svarů provedených elektrickým obloukem v ochranné atmosféře, například argonové. V přístrojové technice, kde omezení deformací svařovaného materiálu je mimořádně důležité, je tento způsob zvláště významný při svařování slitin Cu-Be a součástí z titanu. Mimořádně vysoká čistota svarů má velkou důležitost u prvků měřících přístrojů a přístrojové techniky, především v biomedicíně.

Na základě metalografických šetření je poukázáno na čistotu svarových spojů a fyzikální zkoušky potvrzují jejich mechanické vlastnosti, při vysoké produktivitě svařování [4].

Literatura

- [1] American Society of Metals. Welding and brazing, Vol. 6, pp. 519-520.
- [2] Kopřiva M.: Mechanical properties of the Cu-Be alloys and the welded joints. Research report, Palacky University, 1978 (not published).
- [3] Kopřiva M.: Study of the microstructures of the different welded materials. Research report, Palacky University, 1979 (not published).
- [4] Kopřiva M.: Using of electron beam welding in the branch of the instruments techniques. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Facultas Retrum Naturalium*, Vol. 76, Physica XXII (1983) 87-95.

Prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., prof. Ing. Miroslav Kopřiva, CSc., Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel.: +420-585 631 501, fax: +420-585 631 531, e-mail: hrabovsky@optnw.upol.cz, Doc. RNDr. Roman Kubínek, CSc., katedra experimentální fyziky Univerzity Palackého v Olomouci, Tř. 17. listopadu 50, 771 46 Olomouc, tel.: +420-585 634 285, fax: +420-585 634 253, e-mail: kubinek@prfnw.upol.cz.

Miroslav PECH, Miroslav HRABOVSKÝ, Petr SCHOVÁNEK, Miroslav PALATKA, Libor NOŽKA, Dušan MANDÁT, Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic, Olomouc Jan ŘÍDKÝ, Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic, Praha

Preliminary Design of Ultralight Mirrors System for LIDAR

For LIDAR system which is given for measurement of the atmosphere absorption coefficient is suitable to use non-depictive optical system and it is possible to use an ultralight SIMAX mirror. We would like to apply our experiences with producing and using of the mirror type in atmospheric detectors of ultra high energy cosmic rays for the LIDAR optical system.

INTRODUCTION

Ultra High Energy Cosmic Rays (UHECR) produce an extensive particle shower in the atmosphere. Such showers locally release enough energy to produce the fluorescent or Čerenkov emission in the terrestrial atmosphere. The integral of the shower light intensity profile is proportional to the total UHECR energy. To minimize the atmospheric uncertainties, these experiments are located in dry desert areas with typically excellent atmosphere visibility. However the atmosphere in these areas is not stable enough during whole year and during the nights. The fluorescence and Čerenkov detection techniques of the cosmic ray experiments need a precise knowledge of the atmosphere influence on fluorescent rays to reconstruct air shower energies. So that occasional calibration of the atmospheric attenuation will be necessary to reconstruct the shower profiles [1].

LIDAR

LIDAR (Light Detection And Ranging) uses the similar principle as RADAR. Light emitted by laser interacts with the target. One part of this light is scattered back to the detection device whe-

re it is analyzed. The change in the properties of the light reflects certain target properties. The time when is light traveling to the target and back to the LIDAR is used to determine the target distance or attenuation distance dependency. LIDAR has much usage in measuring technology, for example it is possible to locate defects or inhomogeneities in optical fibers, to measure distance, speed, rotation, chemical composition and concentration of a remote target, where the target can be a sharp defined object, or a diffuse object such a cloud or atmosphere.

LIDAR system parameters

Our institution participates in Pierre Auger Project [2] and this segmented mirror proposal is derived for parameters of the LIDAR, which was constructed for this project.

The light source is frequency tripled Nd:YAG laser (base wavelength 1064 nm), which is able to emit up to 20 pulses per second, each with energy of 7 mJ and 4 ns duration (spatial pulse length 1.2 m). The laser divergence is 3 mrad and the emitted wavelength 355 nm is in the range of the nitrogen fluorescence spectrum (300-400 nm).

The spherical mirror concentrates the backscattered light to a Hamamatsu R7400 photomultiplier with operating voltage 1000 V and the gain of the PMT is up to 10^7 . To suppress the background, a broadband UG-1 filter with 60 % transmittance at 353 nm and FWHM of 50 nm is used. The distance between laser beam and the mirror center is 1 m, and the entry point of the laser beam into the telescope field of view is at the distance 200 m. The signal is digitized using a three-channel Licel transient recorder TR40-160 with 12 bit resolution at 40 MHz sampling rate [3]. A principal layout is on the *figure 1*.

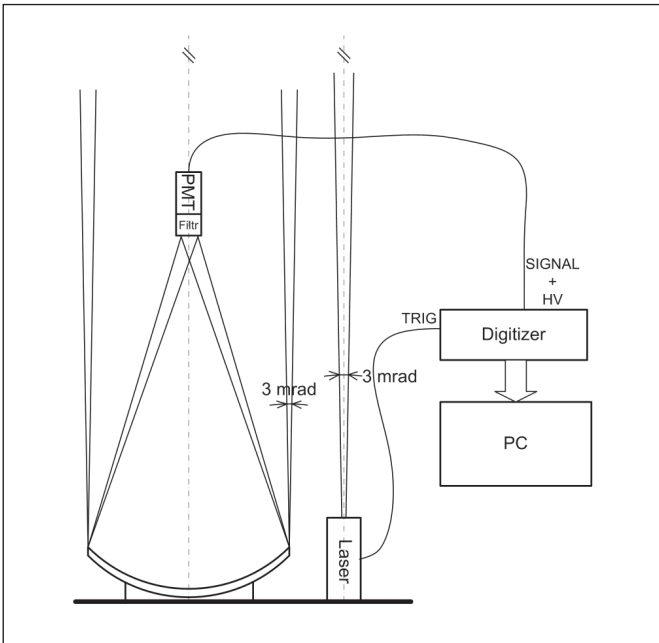


Fig. 1 LIDAR schema

Optical system proposal

The system is limited by dimension, maximal mirror diameter is 1 m and image distance can not be longer 1100 mm. The aberration of the spherical mirror with diameter 1 m is big and therefore it is necessary to use the segments [4] for the mirror with this diameter. If the mirror is segmented, we can use ultralight segments without reflecting surface deformation and lability, this mirror has minimal mass and requires minimal demands for the construction, which must be able to turn.

Another crucial requirement is the spot diameter (an image of a point source in infinity). This optical system will not be imaging telescope, a detecting element is not CCD chip or eye with pixel size circa $1 \mu\text{m}$. The detector is one photomultiplier with input aperture diameter 10 mm. For that reason there is not so strict requirement for resolution, acceptable resolution angle is about 0.3° .

The optimal solution should be parabolic mirror, but making the mirror with this diameter is technically demanding and more expensive than spherical mirrors production. The spherical shape implies a spherical aberration and a spot is not a point, but a disc. The mirror with basic spherical shape, diameter 1 m and radius of curvature 2.2 m, has the spot size 7.1 mm in a caustic waist. The usage of the Davies-Cotton mirrors system (the eight side mirrors are shifted and turned, but the radii of the side and central mirrors are the same 2.2 m) improves the spot diameter on 6.4 mm.

If our special mirror design is used (radii are not equal and side mirrors are behind the central mirror), this spot size will be reduced. We use the design with one central circular mirror (diameter 620 mm and curvature radius 2200 mm) and eight side segments (curvature radius 2276 mm) which form a sphere zone and they are turned through 0.1° (aspherical approximation) - *figure 2, 3*.

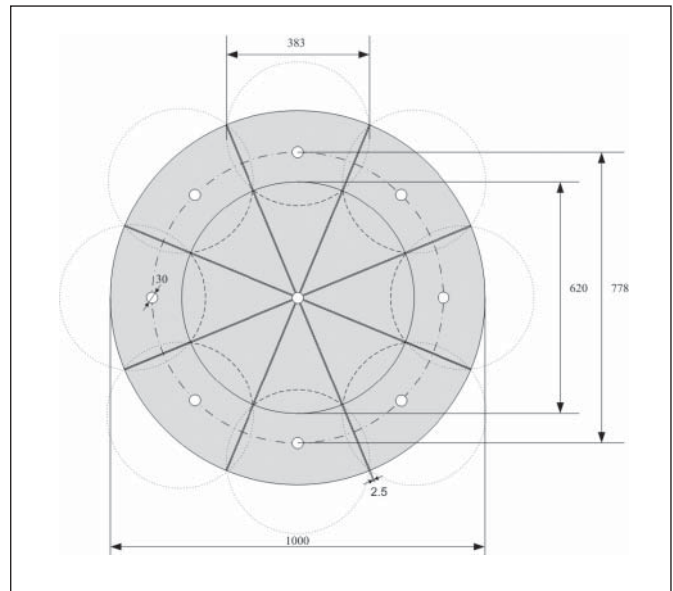


Fig. 2 Layout of the mirror, side view

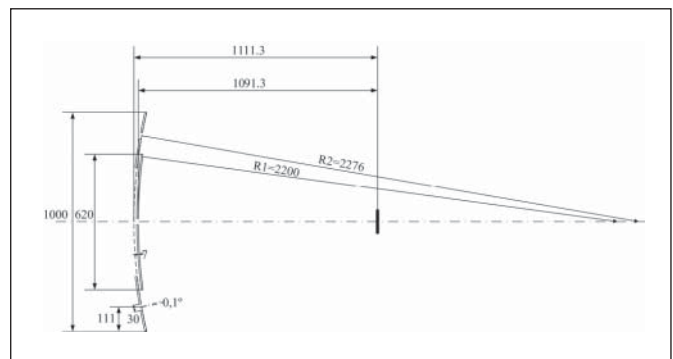


Fig. 3 Layout of the mirror, sectional view

The spot size is 5.5 mm (*figure 4*) in this configuration with perfect spherical mirrors and 87 % of the incident light into the telescope is projected into a circle with diameter 5 mm in the image plane. This spot size corresponds to the angular resolution $\sim 0.26^\circ$. Losses in efficiency are caused by mirror reflectivity (91 %) and by central holes and spaces between mirrors (3.7 % of the whole area).

We made several configuration simulations, for example with eight or twelve side mirrors. However the spot size decreases imperceptibly and the number of central holes and spaces increase, hence the efficiency decreases. Furthermore, the production and mechanical construction would be more complicated.

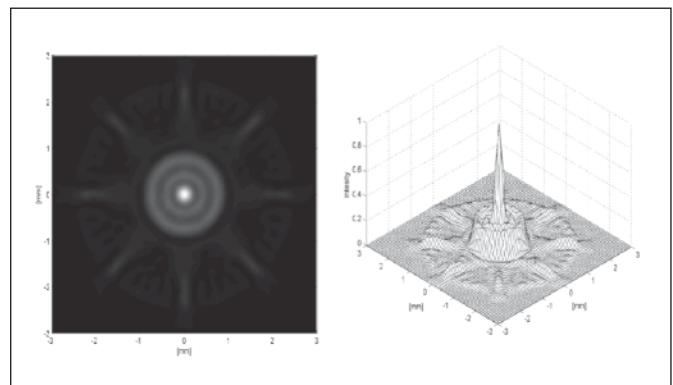


Fig. 4 Simulation of the spot, intensity profile

Our mirrors have maximal slope errors about 0.03° . This value is very good for this type of the thin glass mirrors (thickness 7-12 mm). So the final resolution will be 0.29° . For this configuration an angular image size of the laser trace will have: 0.17° (angular laser trace size ≈ 3 mrad) + 0.26° (angular spot size) + 0.03° (mirror slope error) = 0.46° . It follows that the laser trace image is 8.8 mm in the image plane. With this image size and 10 mm PMT aperture diameter this configuration will operate well above 1 km, because the whole image is projected into the PMT aperture. For some lower elevation measuring or with using a smaller PMT aperture (for background noise elimination by field of view reduction – optimal will be 0.3 mrad as the laser divergence) could be useful to use a Winston concentrator. It is a reflecting surface similar to a paraboloid, which is attached to the PMT aperture. This concentrator is able to concentrate energy into the small aperture form the selected field of view.

ULTRALIGHT MIRRORS

The production technology is very similar to the classical optical mirror one, but we have not got such strict resolution requirements, but there are more significant requirements for roughness, because it will work in UV region. Our production process includes coating layers on polished glass. The reflecting surface of the mirror is an aluminium layer with a protection silica layer.

Table 1 Main mirrors characteristics,
1) - central mirror, 2) - side mirror

Glass	SIMAX - borosilicate glass of PYREX type
Refraction index	1.475
Density	$2230 \pm 2 \text{ kg/m}^3$
Coefficient of the thermal expansivity	$3.3 \pm 0.1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ for $20 \pm 300 \text{ }^\circ\text{C}$
Modulus of elasticity	$6.4 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$
Shape	Circle, diameter 620 mm ¹⁾ Polygonal shape, diameter of circumscribed circle 383 mm ²⁾
Thickness	7-12 mm
Radius of curvature	2200 mm ¹⁾ 2276 mm ²⁾
Mass	$\approx 20 \text{ kg}^1$ $\approx 6 \text{ kg}^2$
Reflecting layers	aluminium + layer SiO_2
Reflectivity	minimal value for $\lambda = 370 \text{ nm}$ is 90.5 %

CONCLUSION

Our optimal variant proposal of the optical system for LIDAR atmospheric monitoring system with usage the ultralight spherical mirror is described. This mirror has minimal mass and it give in the segmented construction good performance with usage minimal financial resources. However it is necessary to pay close attention to the thermal expansivity and rigidity of the mechanism, because the system is very sensitive to misalign.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic by grant INGO LA 134 and by Czech Academy of Science by grant AVOZ 10100522.

References

- [1] The Auger Collaboration: Pierre Auger Project Design Report. www.auger.org/admin/DesignReport.
- [2] MATTHEWS J.A.: Atmospheric Monitoring for the Auger Fluorescence Detector. Proceedings of ICRC 2001 p. 745
- [3] VERBIĆ D.: Pierre Auger Atmosphere-Monitoring Lidar System. 28th International Cosmic Ray Conference, p. 461
- [4] PALATKA M., at all: Light mirrors for VHE astronomy telescopes. Proceeding of the Eight Scientific and Business Conference "Silicon 2002", p. 278

Mgr. Miroslav Pech, prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., RNDr. Petr Schovánek, RNDr. Miroslav Palatka, Mgr. Libor Nožka, Mgr. Dušan Mandát, Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic, Tř.17. listopadu 50, 77207 Olomouc, tel.: +420585631520, fax. +420585631531, email: pech@optnw.upol.cz
RNDr. Jan Řídký, CSc. Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic, Na Slovance 2, 182 21, Praha 8, tel. +420266052141, email: ridky@fzu.cz.

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají i v elektronické formě. Nejvhodnější je dodat text ve formě souborů z běžných textových editorů, např.: Word for Windows. Sazba časopisu se provádí programem Adobe PageMaker 6.5.

Grafickou část příspěvku je také vhodné dodat v elektronické formě. Mohou to být soubory *.CDR verze 3 až 11, *.EPS, *.TIF *.JPG a jiné běžné formáty. Grafiku nevčleňovat do textu (např. ve Wordu), ale uložit ji na disketu jako samostatné grafické soubory. Bitmapové soubory pro černobílé kresby musí mít rozlišení alespoň 600 dpi, pro černobílé fotografie 200 dpi a pro barevné 300 dpi. Ke každému textu nebo grafice musí být přiložen kontrolní výtisk nebo fotografie. Soubory je možno dodat též na médiu ZIP 100 MB, CD nebo na e-mail: typoservis@iol.cz. Při nejasnostech technického charakteru kontaktujte tiskárnu na tel.: 573 398 746.

Je žádoucí, aby k článkům dodal autor i překlad resumé a název článku do anglického (českého - slovenského) jazyka.

Czech contribution to the project AIRFLY

The aim of the AIRFLY (air fluorescence yield) project is to simulate and to measure the process of the fluorescence and Cherenkov emission produced by impact of cosmic rays on molecules of nitrogen in high level atmosphere. Several setups were designed to measure fluorescent and Cherenkov light. In this paper we report those of them designed by the Czech group participating in the project.

1. INTRODUCTION

The origin of very high energy cosmic rays (above 10^{18} eV) is still a great question in high-energy physics. The Pierre Auger observatory [1], nowadays built in Argentina, is destined to solve this question as well as the project HIRES or Telescope Array for instance. The observatory consists of several fluorescence telescopes and an array of surface water detectors. The task for fluorescence detectors is to detect the feeble fluorescence light emitted by nitrogen molecules excited by collision with cosmic rays of very high energy in high level atmosphere (at the altitude up to 20 km). This process is also accompanied by the Cherenkov emission which has its characteristic forward anisotropy. The spectrum of the fluorescence light falls within 300 – 400 nm range. The knowledge of the fluorescence emission efficiency is the relevant contribution to the absolute energy calibration which is essential for the Pierre Auger experiment and others concerning with the task of high energy cosmic rays with the aid of fluorescence detectors. For the first

time, the mechanism of atmospheric fluorescence was described by Blummer in his Ph.D. thesis in 1967 [2] and his result is shown in *Figure 1a*. The estimated systematic error of fluorescence yield measurement is, however, large approaching 25%.

In the past, there were two experiments AGASA and HIRES having dealt with the fluorescence yield measurement. As we can see in *Figure 1b*, the results of both experiments are quite different, the divergence makes 15-20%.

The AIRFLY experimental program [3] is the measurement of the fluorescence and Cherenkov yields as a function of particle energy in a wide energy interval from 50 to 800 MeV with the precision better than 5%. The project has been realized at the Beam Test Facility (BTF) of the Laboratori Nazionali di Frascati near to Roma, *figure 2*. High energy particles, particularly electrons or positrons, are generated by linear accelerator (LINAC).

Teams from four countries are concerned in this project – Italy, Germany, Czech Republic and Brasil. From our country, Institute of Physics of Czech Academy of Science (Prague) and Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of AS CR (Olomouc) are interested in.

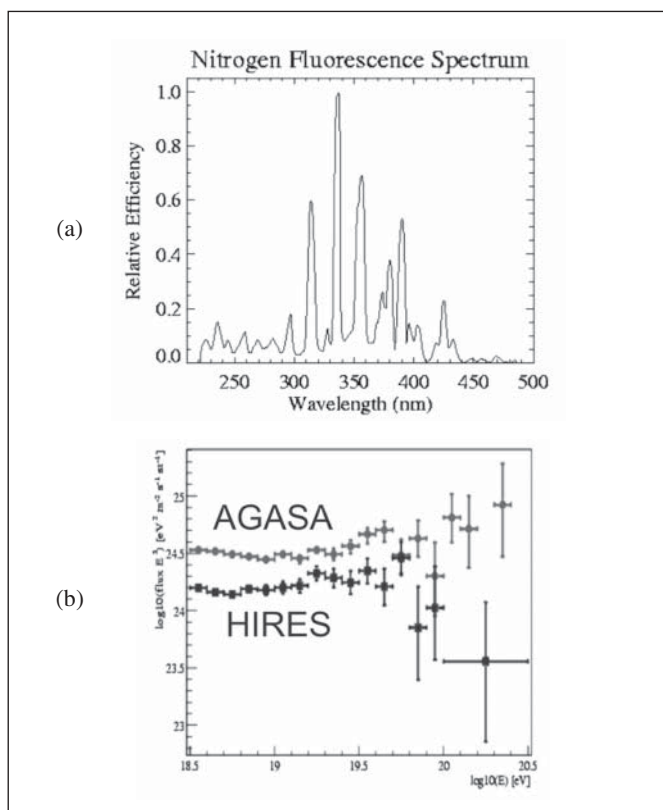


Fig. 1 (a) The nitrogen fluorescence spectrum, (b) results of AGASA and HIRES experiments

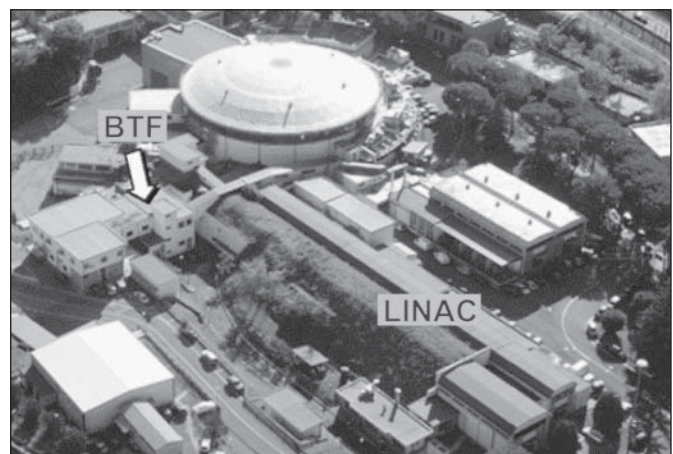


Fig. 2 Linear accelerator LINAC and BTF

2. PROPOSED DESIGN FOR THE FLUORESCENCE AND THE CHERENKOV LIGHT MEASUREMENT

The fluorescence light generated by passing a particle beam through molecules of air is isotropic and feeble. So the collection of generated fluorescence light is one of the most important tasks while the design of a fluorescence chamber is proposed. There have been two designs proposed by the Czech group to detect the fluorescence light or the Cherenkov light.

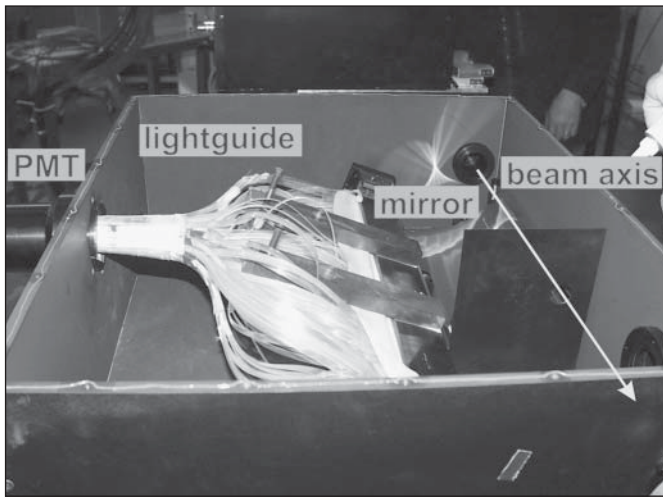


Fig. 3 Fluorescence chamber with elliptical mirror

2.1. Elliptical-mirror design

An elliptical-mirror chamber [4], *Figure 3*, has been proposed for the purpose of fluorescence measurement where the light collection maximalization is required. There are several advantages of the concave mirror to condenser lenses. First, the mirror has better collection efficiency than the condenser lens and it is not spectral dependent which is especially important while the detected light is in the UV region (there is a need of an expensive condenser material, quartz for instance, in the case of lenses). In this case we used elliptical mirror with major semi-axis of 80 mm, minor semi-axis of 60 mm and 250 mm in length. The chamber is designed so that the particle beam passes the mirror in one of its focus lines. The area of the fluorescence emission tracks the beam so it acts as a linear isotropic light source. The mirror collects the emitted light in its second focal line where the linear fiber bundle is positioned to bring the light to the photomultiplier (PMT) which is Photonics XP2262 (2 inch input aperture) in this case. Plastic optical fibers were used to collect the light because of high numerical aperture and plasticity. A disadvantage of this fiber is its lower transmittance in the UV region, though the fiber length is small.

While tested a significant increase in the light collection was observed – a factor 10 with respect to the basic fluorescence chamber designed for the project [5]. The drawback of the elliptical-mirror design is its high sensitivity to the position of the particle beam.

2.2. Two-paddles chamber

The two-paddles chamber, *Figure 4*, has been proposed for the measurement of the anisotropic forward Cherenkov light emitted along with the fluorescent light. The paddles were made of plexi material (PMMA) and both of them were 8 mm in width. Both photomultipliers Photonics XP2262 with paddles are sloping under the angle of 48° to the beam to catch theoretically almost all generated Cherenkov photons.

This arrangement has been allowed to be less sensitive to a beam position variation. This assumption was tested along with the intensity scan. The measurement setup is shown in *Figure 5*. In this arrangement, a beam of high energy electrons went from the tail pipe of the LINAC and developed towards the calorimeter where it was absorbed. The beam passed successively through a chamber with three photomultipliers to detect the fluorescence light, a Cherenkov chamber containing a mylar mirror to collect Cherenkov light and the two-paddles chamber.

The test results of the chamber are described in [6]. *Figure 6* shows one of the most interesting – the result of the dependence of photomultipliers outputs to the horizontal position of the beam (the x-scan test). The measurement was carried out with the energy 442 MeV of the electron beam. The channel adc15 corresponds to the

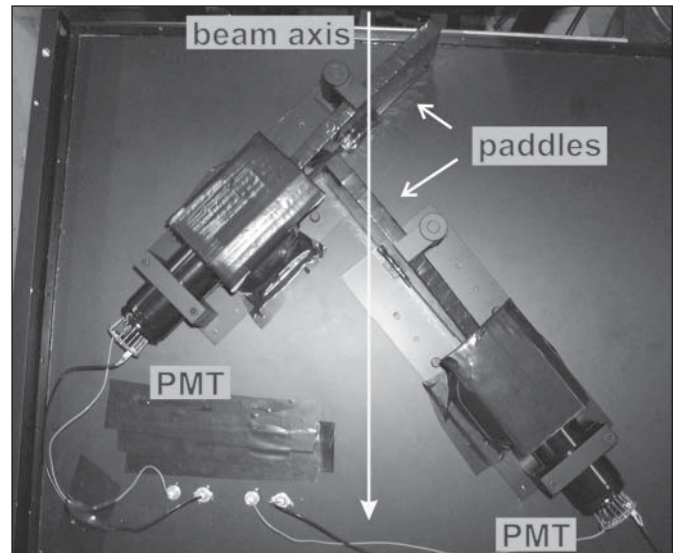


Fig. 4 Two-paddles chamber design

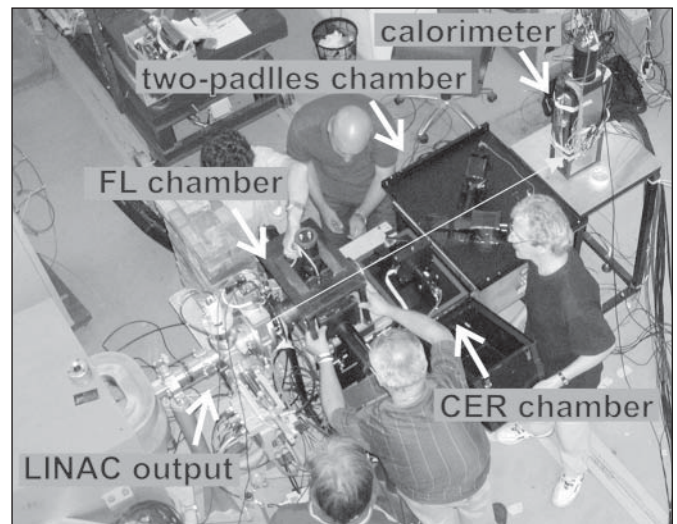


Fig. 5 Measurement setup

first photomultiplier with the first paddle, the channel adc31 to the second photomultiplier and the channel adc16 corresponds to the calorimeter. As we can see from this figure, the outputs of the photomultipliers have inverted curves with extremes (a minimum in the first case and a maximum in the latter one) which are close each to other for the deflecting current 298 A. The sum of both outputs is depicted in the fourth graph. It can be approximated by a multinomial of the first degree. From the gradient of the curve it is obvious that the first photomultiplier catch the most part of the response to the beam. Note the fine Gauss distribution of the calorimeter (the channel adc16) for the x-scan as depicted in the third graph of the *Figure 6*.

4. OUTLOOK

After one year of designing and testing of several types of fluorescence and Cherenkov chambers, the AIRFLY team has proposed a final design of the chamber for an absolute measurement of the fluorescence yield and the detailed measurement of the fluorescence spectrum. It includes both fluorescence and Cherenkov detectors. In order to simulate physical conditions under the fluorescence arises from, the chamber has been equipped with a system of nitrogen pressure and humidity regulation inside the chamber. We plan to carry out the measurements with the precision at least 5% in the beam range 50 – 800 MeV under various nitrogen pressure and humidity. The project should be concluded within 2005.

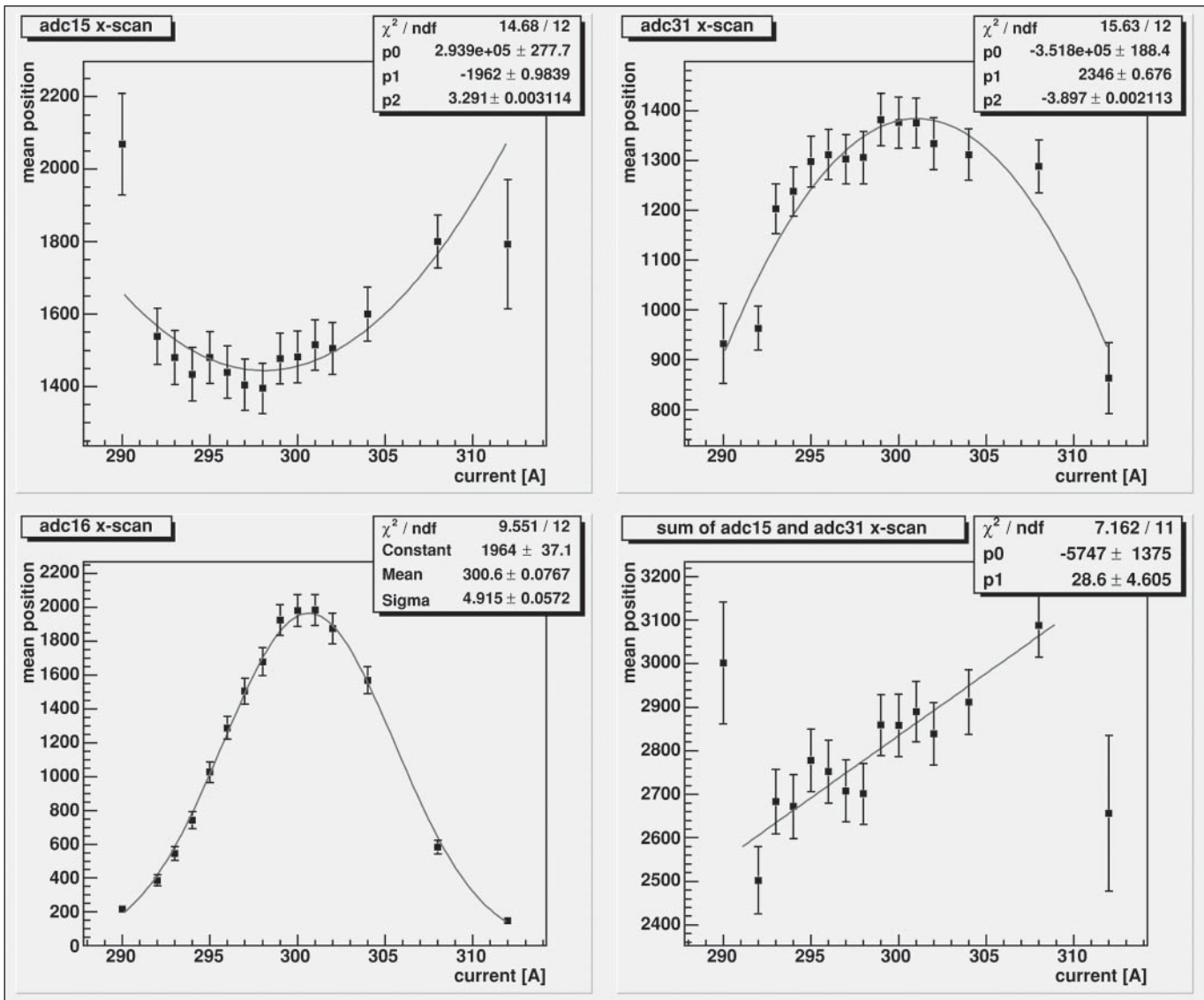


Fig. 6 Results of the x-scan of the two-paddles chamber

ACKNOWLEDGMENT

We thank the Ministry of Education of the Czech Republic for its financial support under grants LN00A006 and INGO LA134.

References

- [1] The Auger Collaboration: Pierre Auger Project Design Report. www.auger.org/admin/DesignReport
- [2] BUNNER, A. N.: Cosmic ray detection by atmospheric detection, Ph.D. Thesis, Cornell University, New York, 1967
- [3] PRIVITERA, P.: Status and prospects of the AIRFLY experiment, Air Light 03, 11-14 December 2003, Bad Liebenzell, 2003
- [4] PALATKA, M. et al.: Light collector for air fluorescence as well as for scattering by wafer contaminants. Proc. of The Ninth Scientific and Business Conference "SILICON 2004", November 2 – 5, 2004, Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika, (2004) 213-223
- [5] ARCIPRETE, F at al.: AIRFLY: Air Fluorescence Induced by Electrons in a Wide Energy Range, 28th International Cosmic Ray Conference 2003, Tsukuba, Japan, 837-840, 2003
- [6] NOŽKA, L., VLČEK, M.: Výsledky testování komory českého návrhu v projektu AIRFLY v INFN, Frascati, Itálie. Zpráva č. 256/SLO/2004, SLO UP a FZÚ AV ČR Olomouc, 2004.

Mgr. Libor Nožka, prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., RNDr. Petr Schovánek, RNDr. Miroslav Palatka, Mgr. Miroslav Pech, Mgr. Dušan Mandát, Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420585631520, fax: +420585631531, e-mail: nozka@optnw.upol.cz
 Jan Řídký, CSc., Mgr. Martina Boháčová, Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8, tel.: +420266052666, fax: +420286585443, e-mail: ridky@fzu.cz
 Ing. Václav Vacek, Michal Doubrava, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University, Technická 4, Praha 6, 16607, vaclav.vacek@cern.ch

FEM simulation of the laser welding process in axial circular geometry

FEM modelling has become recently a very powerful tool used practically in all branches of science and a necessary part of the applied industrial research. In the present work, finite element modelling was successfully utilised to simulate the welding process, especially for axial circular welds. After the simulation the validation experiment with Nd:YAG was done, furthermore the effect of main processing parameters on weld quality for low carbon steel was examined.

1. INTRODUCTION

1.1 Finite element model

Simulation by finite element method (FEM) is an excellent tool to get thorough knowledge of the various processes during laser welding. An important aim of FEM simulations consists in the prediction of machining results and performance capabilities of the workpiece during the planning of the welding processes. All simulations have been carried out using the FEM program SYSWELD that is designed especially for the modelling of welding processes. SYSWELD takes into account multiple factors such as process parameters, part geometry, thermal, metallurgical and mechanical material behaviour features a comprehensive material database that covers the major steels and aluminium alloys in the market SYSWELD simulates all major welding processes, in our case laser welding. To solve the heat conduction equation as well as the mechanical calculations the BFGS algorithm was applied using volume elements with eight Gauss points. The simulations were done for follow-up settings of the suitable process parameters.

1.2 Laser welding

Laser welding is a very progressive branch of the laser material processing and in many cases, it has completely replaced arc or gas flame welding. Some of the benefits of laser welding are its ability to perform precise narrow welds, good penetration, a small heat affected zone, low heat input and fast travelling times. The process also has the advantages of minimum distortion, no secondary cleaning process or filler materials and a high degree of repeat - ability.

Generally, there are two types of laser welding processes: heat conduction welding and deep penetration welding. In heat conduction welding only the surface of the materials is melted. It results in welding seams with a characteristic smooth surface and with a low penetration depth, which is limited to only a few tenths of a millimetre. This process is mainly used with a pulsed Nd:YAG laser welding. If surface power density exceeds the critical value of approx. 10^6 W.cm^{-2} vaporisation of material occurs. This leads to creation of a gas capillary that is surrounded by a fluid metal and in which the melt circulates heavily due to the enormous temperature and pressure gradient. This welding technique is called Keyhole mode welding or deep penetration welding. In this way a narrow welding seams are produced with a large depth - width ratio.

2. FEM

Predictive simulation was made with school (max. 20000 nodes) version of FEM code SYSWELD 2004, developed by Systus International. SYSWELD allows user-defined weld sequencing and control of the weld manufacturing parameters such as velocity, energy input and many others. There was used the part Geometry to create the 2D mesh of the cross-section of the part welding joint. SYSWELD Heat Source Fitting program has extruded it into

the 3D geometry see *figure 1*. The mesh defines the geometry of the structure, it contains some additional data like groups (*figure 2*). 1D elements defining the Heat source trajectory (TRAJECTORY, REFERENCE), 2D elements for thermal exchange with outside (SURFACE), 3D elements defining the components (VOLUME, BASE, UPPER), groups of nodes for constraints definition (POD, FRONT, SYM0).

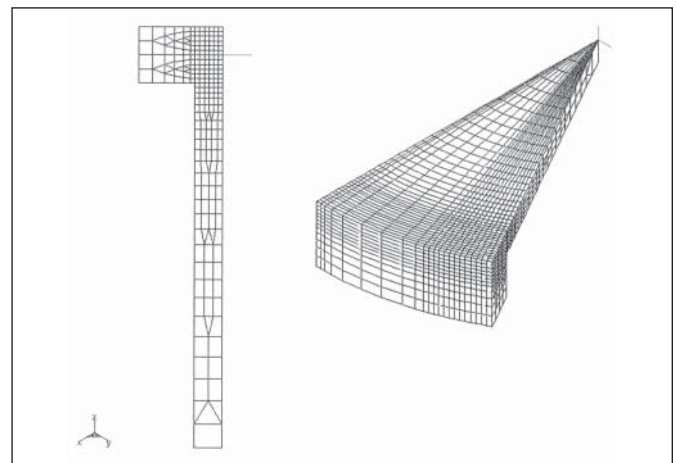


Fig. 1 Creation of 2D and 3D mesh

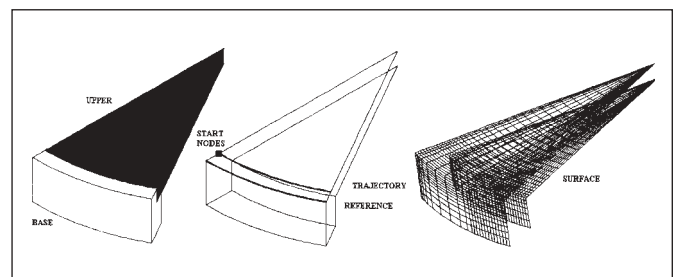


Fig. 2 Example of defined groups

Welding Advisor technology was used to define the problem. In a FEM simulation is important to choice of an optimal mesh discretisation under the beam and the selection of suitable heat source representation, add this improvements in all aspect that have been made in Welding Advisor, for example pre-defined functions representing moving heat source. We have been used pre-defined function conical heat source for laser welding process. From finite

element point of view, a heat source is modelled by volume density of energy applied to elements, which move along the welding trajectory. In the part "Heat Source Fitting" were adjusted the required parameters of heat source- its shape was estimated from Laser Beam Analyser SPIRICON. In figure 3 there are shown temperature fields in cross-section of weld joint (in the place of the heat source action) for different values of energy input ($\text{W}\cdot\text{mm}^{-3}$), with constant welding velocity $v = 3 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. As the material for simulation was chosen STEEL16NCD5 from SYSWELD material database, its physical properties were the nearest from used material. The approximate temperature at which the material becomes fully molten (ISOSURFACE 1: TEMPERATURE OF MOLTEN ZONE [$1500 \text{ }^\circ\text{C}$]) and the approximate temperature at which the material just starts to melt (ISOSURFACE 2: TEMPERATURE OF HEAT AFFECTED ZONE [$850 \text{ }^\circ\text{C}$]) were provided. There are shown the temperature fields during welding and start of cooling with pre-defined conical heat source in the figure 4. Automatic solution for welding and heat treatment problems was provided by the SYSWELD solver, covering all related complex mathematics and material physics. Depending on temperature, phases and proportion of chemical elements, thermal and mechanical properties are computed (including phase transformations, enthalpy, melting and solidification of material, large strains, plasticity and transformation plasticity). Multi physics post-processor was used to visualise the results.

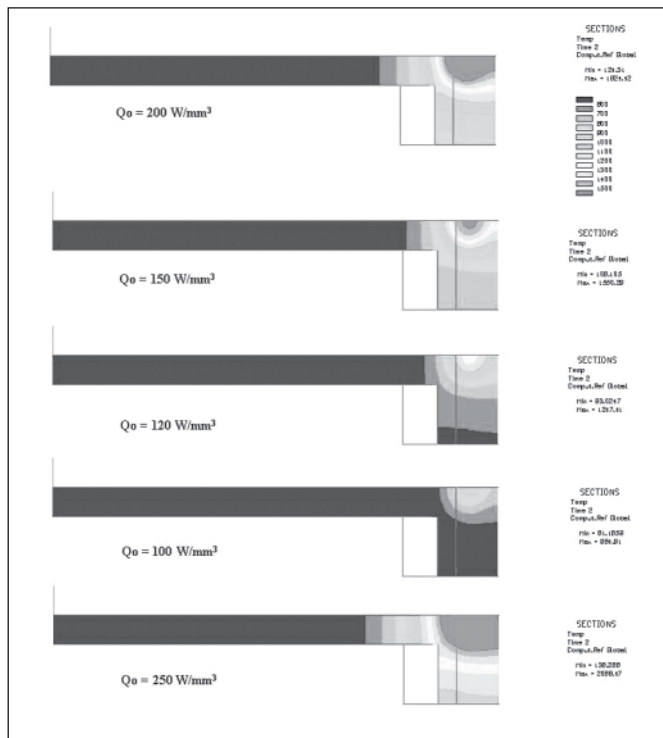


Fig. 3 Cross sections of welding joint for different energy input

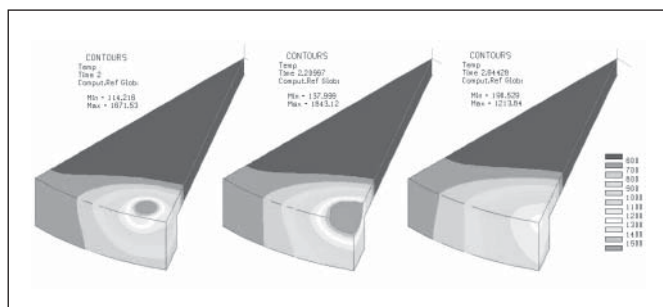


Fig. 4 Time evolution of temperature field during laser welding

3. EXPERIMENT

3.1 Experimental set-up

All performed welding experiments were done with a high power pulsed Nd:YAG laser system Lasag KLS 246 – 102, which is suitable for welding of metal materials thickness up to 1 mm. This laser, available in our laboratory, with average power 150 W and maximal pulse energy 30 J can produce pulse from 0.1 ms to 20 ms and is possible to achieve a peak power 6 kW. Because of the Nd:YAG laser was used, there was employed fibre optic delivery, which is suitable only for welding with this laser type (1 064 nm).

3.2 Basic preparation

At first there was necessary to find the relation between beam diameter and distance from focus position. Optimal position for welding varies from 2 mm to 3 mm behind focus point, where beam diameter is sufficiently wide to create a hard weld. The first step consisted in finding the optimal processing parameters, such as pulse energy E , pulse duration t , frequency f_p , welding speed v , overlapping P_p , working distance (distance from the focus position) h and type of shielding gas for low carbon steel, stainless steel, zinc coated steel and aluminium. The sheets with thickness 0.5 mm were welded in some basic geometry (butt, lap, fillet, flare, flange and T - joint). Research was focused especially for low carbon steel in a butt configuration. At the same time with experiments concentrating on linear welds, there was carried out a design of a new rotary support.

3.3 Welding of cylindrical profiles

There were performed experiments of welding on the cylindrical profile, especially for axial circular weld. For this weld geometry there were used experimental results, which were acquired by an optimisation of welding parameters for linear weld geometry. For the starting welding parameters of the used steel there were chosen approximately: energy of 12.5 J in 5 ms laser pulse and frequency 7 Hz associated with travel speed $3 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, the focus point was 2 mm above material. The experiments with axial circular welds were made on samples of low carbon steel. Base was created by tube with 2 mm thick wall and with outside diameter 30 mm, which was on perimeter provided with undercut $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$. This recessing was necessary for easy positioning of laser cut ring with diameter 27.75 mm and with thickness 1 mm. Before starting the laser welding there was done a precious arrangement of welded parts into a special centring fixture, which was essential to ensure the one of the basic conditions for creation of a quality weld. Fixed working parameters were: frequency $f = 7 \text{ Hz}$, pulse length $t = 5 \text{ ms}$ and focus position $h = + 2 \text{ mm}$, the rest of the parameters oscillated around the starting parameter listed before. These experiments were focused on searching for the optimal pulse energy and overlapping. Travel speed v depends on laser diameter D , pulse frequency f_p and the percentage of laser spots overlapping P_p by relationship:

$$v = f \cdot D \cdot (1 - P_p). \quad (1)$$

Pulse power P_{pulse} is determined by pulse energy E and pulse length t :

$$P_{\text{pulse}} = E \cdot t^{-1}. \quad (2)$$

At first there were done welds with single pass technique (SPT), then were performed experiment with two pass technique (TPT), results are illustrated on figure 5 and 6. Parameter series are noted on figure 8. In terms of experiment there were done metallographic analysis for some created joints. From these analysis results, that weld metal has a bainitic structure, with an acicular orientation at the weld root. Heat Affected Zone (HAZ) of the welds is minimal with solitary occurrence of the martensite or troostite grains – figure 9.

Tab. 1 Table of laser welding parameters

Technique	Frequency [Hz]	Pulse length [ms]	Pulse energy [J]	Peak power [kW]	Overlapping [%]	Travel speed [mm.s ⁻¹]
SPT	7	5	12.75	2.55	50	4.0
SPT	7	5	12.75	2.55	60	3.0
SPT	7	5	12.50	2.50	75	2.0
TPT	7	5	12.75	2.55	60	3.0

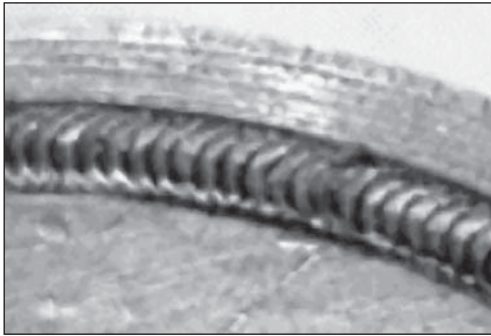


Fig. 5 Axial circular weld – single pass

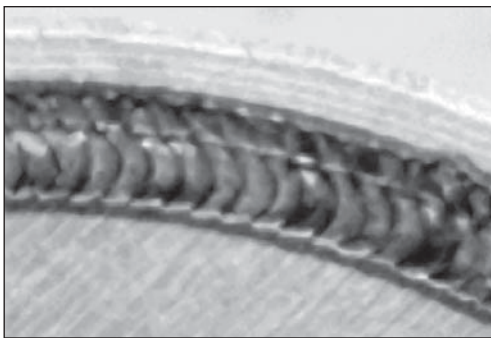


Fig. 6 Axial circular weld – two passes

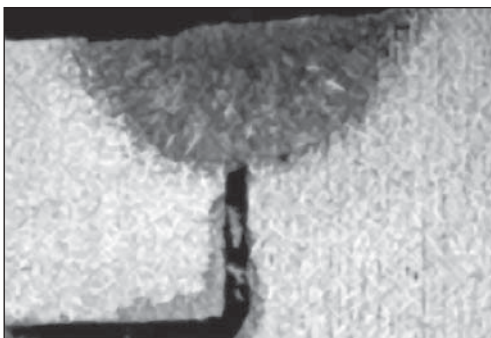


Fig. 8 Micro-graphs of the cross section of laser welds

4. CONCLUSION

A new rotary support was developed to fill up a blank in utilize laser KLS 246 – 102 in the area welding of cylindrical profile. This tool is usable not only for welding, but also for another laser applications - laser cutting was tested. With this new rotary support together with special fixture there were done an optimisation of laser parameters for axial circular welds. As optimal welding parameters for applied steel and geometry there were chosen: energy of 12.75 J in 5 ms laser pulse and frequency 7 Hz associated with travel speed 3 mm.s⁻¹, the optimal working distance was found 2 mm below focus point. There were done experiments with double pass technique, too. Gained knowledge and experience were immediately applied to welding of a small construction part - the motor cover for models of racing cars.

Performed experiments were completed by simulation made by modelling program SYSWELD. This numerical model was used mainly to set of the suitable process parameters, to determinate of the temperature field during laser welding and the range of molten zone and heat affected zone, but it provides instantaneous process information for the heating and cooling rates, metallurgical structure of the material, distortions, stresses, yield stress of the modified material, plastic strains, that is area of next research.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is supported by the project no. IBS1010353 of Academy of Sciences of the Czech Republic.

References

- [1] Lasag AG, *Operation manual for KLS 246-102 system*. LASAG AG. Thun, 1999
- [2] W. M. Steen, *Laser material processing*. Springer-Verlag. Berlin, 1998
- [3] J. F. Ready, *LIA Handbook of Laser Materials Processing*. Laser Institute of America. Orlando FL, 2001

Mgr. Radim Čtvrtlík, Joint Laboratory of Optics, Palacký University and Institute of Physics of AS CR, 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc; tel.: 585634284; e-mail: ctvrtlik@optnw.upol.cz
 RNDr. Hana Chmelíčková, Joint Laboratory of Optics, Palacký University and Institute of Physics of AS CR, 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc; tel.: 585631516; e-mail: chmelickova@optnw.upol.cz
 Mgr. Martina Havelková, Joint Laboratory of Optics, Palacký University and Institute of Physics of AS CR, 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc; tel.: 585631506; e-mail: havelkova@optnw.upol.cz

Influence of air humidity on spectral response of holographic interference filter recorded into dichromated gelatin

Dichromated gelatin is a medium designed for volume type holograms recording. However, its sensitivity to air moisture results in problems of keeping constant properties of a recorded hologram. To demonstrate this behaviour a holographic interference filter is recorded and investigated by means of a spectrometer. Spectral transmittances of the filter are detected in dependence on time elapsed from the moment of the end of the filter development.

1. INTRODUCTION

Holograms may be classified in a number of different ways [1] depending on their influence on the optical wave, direction of reconstructed image, thickness etc. Amplitude-type holograms influence the amplitude of the reconstruction wave. Phase-type holograms produce phase changes in the reconstruction wave due to a variation in the refractive index or thickness of the recording medium. Phase holograms have the advantage over amplitude holograms of no energy dissipation within the hologram medium and higher diffraction efficiency.

According to the mutual direction of object and reference recording waves, holograms may be transmission or reflection type. In the first type, the reconstruction wave is transmitted through the hologram while in the second one the reconstruction wave is reflected. In a transmission hologram the fringes tend to run across the emulsion whereas in the reflection hologram the fringes are parallel to the emulsion (recording medium).

Taking hologram thickness into account, holograms can be classified as thin (plane) and thick (volume). There is another parameter determining the plane or volume type hologram. A hologram is regarded as thin if the recording medium is much less than the fringe spacing. Such holograms produce several orders. Zero order represents directly transmitted reconstruction wave. The first and minus first orders of diffraction produce virtual and real image, respectively. The second one equals in intensity to the first one and represents conjugate image. Higher orders cause decrease of intensity of light.

A volume type hologram may be regarded as a superposition of three-dimensional gratings recorded in the volume of the recording medium, each satisfying the Bragg law. A consequence of Bragg condition is that the volume hologram reconstructs the virtual image at the original position of the object on condition of coincidence of the reconstruction wave with the reference wave. The conjugate image and higher orders of diffraction are absent so that there is a unique direction of reconstructed wave for reconstructing the image. If the illuminating wave deviates from the Bragg angle, the brightness of the image is reduced greatly.

It may be mentioned that if the interference pattern is not recorded in depth, the hologram will be a thin hologram even if the emulsion is thick. The very use of the volume of the recording medium allows to produce only one image at a time. It is evident that volume phase type holograms have high diffraction efficiency reaching theoretically of 100% due to no energy dissipation within medium and absence of higher diffraction orders.

Long-time development in the area of holographic recording materials has given many different mediums [2] either for plane or volume type holograms as silver-halide materials, dichromated gelatin, photopolymers, photoresists, thermoplastic materials, etc.

Dichromated gelatin (DCG) [2, 3], gelatin sensitized with ammonia dichromate ($(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), has proved itself to be suitable for volume type holograms recording. Its characteristics [3, 4] as large refractive index modulation, high resolution capacity, high signal-to-noise ratio, low absorption over the range from visible to near IR wavelengths, sensitivity to UV radiation to blue-green radiation, possibility to be red sensitive and to control thickness of DCG layer by using preprocessing and postprocessing treatments support this statement. Even the mechanism of hologram formation in a DCG layer is interpreted by two ways [5, 6] holographic optical elements (HOEs) recorded into DCG reach high diffraction efficiency of up to 80% [3, 7, 8].

Application area of dichromated gelatin [9] seems to be holographic optical elements as beam combiners or beamsplitters [3], laser scanners, spectral (interference) filters, elements for optical data processing, etc. However, good long-lasting environmental stability of the HOEs is guaranteed storing in dry atmosphere or using a cover plate protecting the layer against air moisture. The characteristic of dichromated gelatin to be moisture sensitive gives ability of controlling spectral transmittance of the interference filters. Change of air humidity may result in wavelength shift of a minimum of spectral transmittance.

This paper presents humidity effect on unprotected holographic interference filter recorded into PFG-04 holographic plate by Slavich Company. PFG-04 is a long-life dichromated gelatin emulsion with layer thickness of 16 to 17 μm for blue and green laser recording. The humidity effect is investigated by means of spectral transmittance behaviours obtained from a spectrometer during illumination of the filter by wide-spectral light. Positions of minima of the behaviours in dependence on time elapsed from the moment of the end of the interference filter development are determined and analysed.

2. THEORETICAL BACKGROUND

Holographic diffraction gratings are recorded by interfering two plane or spherical beams [10]. Let us suppose two plane waves with the complex amplitudes a_1 and a_2

$$a_1 = A_1 \exp\{i(\mathbf{k}_1 \mathbf{r} + \varphi_1)\}, \quad (1)$$

$$a_2 = A_2 \exp\{i(\mathbf{k}_2 \mathbf{r} + \varphi_2)\}, \quad (2)$$

where A_1, A_2 are amplitudes of the plane waves, $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$ are wave vectors, \mathbf{r} is a position vector and φ_1, φ_2 represent phases of the waves.

Let the two plane waves be coherent and interfere. As a result of interference there is an interference field in the area where the two waves interact. The intensity of light in the interference field can be written as

$$I = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\mathbf{k}_{12}\mathbf{r} + \varphi_{12}), \quad (3)$$

where $\mathbf{k}_{12} = \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2$ and $\varphi_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$.

An analysis of Eq. 3 shows that there are maxima of intensity of light in the points of the interference field where the argument ($\mathbf{k}_{12}\mathbf{r} + \varphi_{12}$) of the cosine function equals to $2\pi n$, where $n = 0, 1, 2, \dots$. So, this relation describes an intensity pattern of sinusoidal behaviour of the period $\Lambda = 2\pi / |\mathbf{k}_{12}|$ with planes of constant intensity of light perpendicular to the vector \mathbf{k}_{12} .

For simplicity, it is possible to suppose the difference of the optical phases φ_1 and φ_2 equals to zero, the wave vectors \mathbf{k}_1 and \mathbf{k}_2 lie in the x - z plane and the wave with the vector \mathbf{k}_1 runs in the z -axis direction and the second wave makes with the z -axis an angle θ . Then

$$|\mathbf{k}_{12}| = 2k \sin(\theta/2) \quad (4)$$

and the period is

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)}. \quad (5)$$

Eq. (4) shows that the interference planes halve the angle that the two interfering waves \mathbf{k}_1 and \mathbf{k}_2 form.

When a thick hologram of the interference field is produced and then reconstructed by means of the reference wave with the wave vector \mathbf{k}_1 the equidistant interference planes reflects the wave only if the Bragg condition $\sin(\theta/2) = \lambda / 2\Lambda$ is met, where $\theta/2$ is the angle between the propagation direction of the reconstruction wave and the planes of the grating. The propagation direction of the reflected wave (reconstructed wave) coincides with the one of the object wave with the vector \mathbf{k}_2 .

The Bragg condition is met not only for the angle $\phi = \theta/2$ but for the wavelength λ of the reference wave. Therefore, if the grating is illuminated by wide-spectrum light (white light) only the wavelength, for which the Bragg condition is satisfied, is reflected during the reconstruction process.

The mentioned behaviour of the optical grating recorded as a volume type hologram can be utilized in holographic interference filters. When the reference and object plane waves propagate against each other whereas the ones make the angle of π a set of equidistant interference planes perpendicular to the wave vectors can be recorded into medium for volume type holograms recording. Then, the grating period is $\Lambda = \lambda/2$. Provided the recorded planes are parallel to the surface of the recording medium and the grating is illuminated by white light the set of planes reflects only the wavelength for which the Bragg condition is met.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

As shown above the holographic interference filter reflects back only the wave of the wavelength that satisfies the Bragg condition. It is evident that fluctuation of the period Λ of the grating varies the wavelength of the wave to be reflected. In such a case the interference filter could be recorded by use of a wavelength λ_0 and the reconstructed wave could have different wavelength $\lambda \neq \lambda_0$ where $\lambda = 2\Lambda$.

Since the unprotected DCG layer is sensitive to air moisture the holographic interference filter based on DCG can be affected by humidity effect during its storage. As a result thickness of the layer and subsequently the period Λ can vary. The response of the reflection volume phase-type grating to humidity effect is under investigation. A set-up as illustrated in Fig. 1 is used for recording the grating. A divergent laser beam ($\lambda = 488 \text{ nm}$) filtered by a pinhole is directed by means of the mirror M1 upright to the plane mirror M2. This mirror reflects back the laser beam that interferes with the incident one. The equidistant interference planes are recorded into the PFG-04 holographic plate parallel to the mirror M2.

Then the holographic plate is developed bathing in water and solution of isopropyl alcohol of increasing concentration alternately. Finally, the plate is dried at high temperature for specific time.

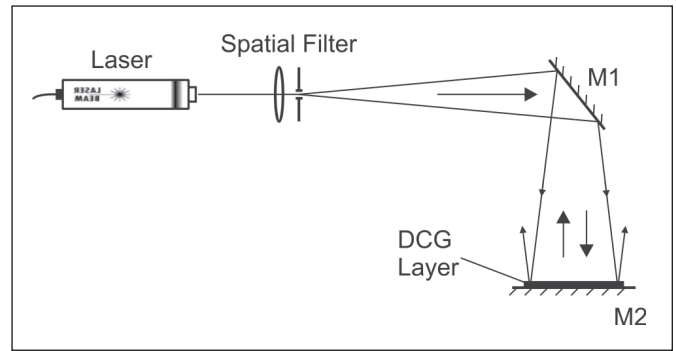


Fig. 1 Optical set-up for recording reflection phase-type grating into DCG layer

Afterwards, the spectral response of the holographic interference filter as a function of time is under investigation. The plate is illuminated by wide-spectrum light. The spectrum of the light transmitted through the filter is detected by means of a spectrometer in specific moments measured from the end of the development process. Let us denote the moment of the end of the plate development as $t = 0$. Fig. 2 shows the spectral transmittance T of the filter investigated in $t = 0$ and in $t = 105 \text{ min}$. The DCG layer is in direct contact with air of relative humidity of 53% during the mentioned time of 105 min. There are two curves plotted in the graph. The curve with the minimum at the position 507 nm is a result of the measurement performed in $t = 0$. The second one represents the result obtained in $t = 105 \text{ min}$. It is possible to see markedly a shift of a wavelength of the wave meeting the Bragg condition produced by the air moisture impact. The amount of the shift is equalled to 18 nm.

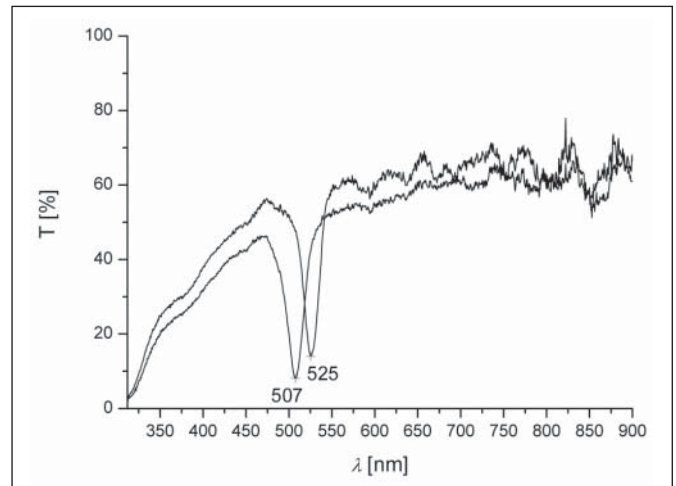


Fig. 2 Spectral transmittances of the holographic interference filter recorded with light of 488 nm detected after its development (the curve with the minimum at 507 nm) and after 105 minutes long interaction with air moisture of relative humidity of 53% (the curve with the minimum at 525 nm).

As mentioned above, spectral transmittance of the holographic interference filter is investigated in several specific moments measured from the end of the development process. The measurements are repeated several times during the first day (day of the plate development) and then after several days. The last measurement is made after 720 hours. The relative humidity RH of air is recorded for each of all measurements, too. Fig. 3 shows change of the wavelength λ of the spectral transmittance minimum of the holographic interference filter plotted as a function of time t , represented by the curve A. The curve B shows behaviour of the relative humidity RH of air during all moments of measurements.

The marks (squared and circular) of both curves identify the moments of measurements and the line segments between adjacent marks make behaviour of the measured quantity more visible. Actually, the curve of relative humidity behaviour shows change of moisture conditions during storage of the filter.

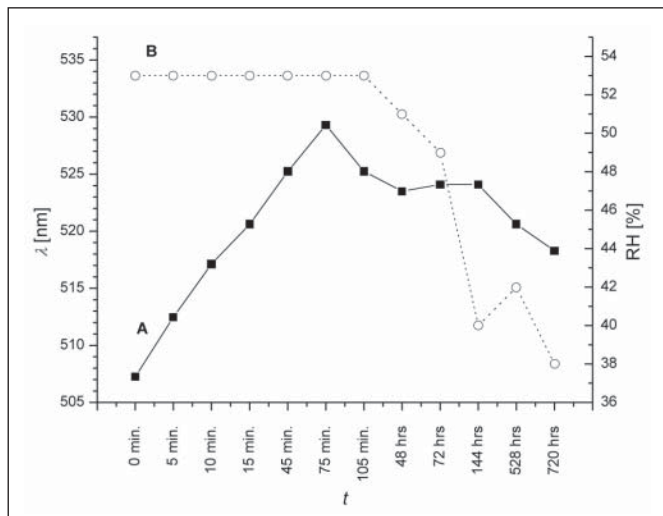


Fig. 3 The curve A - change of the wavelength λ of the spectral transmittance minimum of the holographic interference filter plotted as a function of time t measured from the instant of the end of the plate development; the curve B - time behaviour of the relative humidity RH measured during storage of the filter.

4. CONCLUSIONS

Dichromated gelatin is a material designed for volume type holograms recording. However, its sensitivity to humidity effect causes problems with preservation of desired hologram parameters. Results presented here show response of DCG layer to the change of air moisture during storage of unprotected holographic interference filter. The curves in the graphs confirm increase of the period Λ as relative humidity increases. Fig. 3 shows that, immediately after the plate development, the Bragg condition is met for a wavelength different from the one used for recording. The process of development consisting of bathing in water and isopropyl alcohol is the reason. Afterwards, the unprotected DCG layer absorbs or evaporates moisture resulting in wavelength shift towards infrared or ultraviolet area of spectrum. The DCG layer also exhibits some inertia before reaching state of equilibrium (the layer thickness and moisture level are in equilibrium).

Evidently, the period Λ of the interference filter could be controlled by air moisture. However, change of moisture conditions results in shift of hologram parameters. The holographic element can be protected against moisture by means of a protective cover in order to stabilise the DCG layer. But this protection changes input conditions for waves entering the element and increases losses of energy.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the projects LN00A015 and MSM6198959213 of the Ministry of Education of the Czech Republic.

References

- [1] P. C. Mehta, V. V. Rampal, "Lasers and holography," World Scientific Publishing, Singapore, 1993.
- [2] H. I. Bjelkhagen, ed., "Selected Papers on Holographic Recording Materials," SPIE Milestone Series, MS 130, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, 1996.
- [3] P. Šmíd, H. Hiklová, J. Keprt, "Dichromated gelatin and its importance for optical hologram recording," *Czech. J. Phys.*, **54** (12), pp. 1461-1472, 2004.
- [4] B. J. Chang, C. D. Leonard, "Dichromated gelatin for the fabrication of holographic optical elements," *Appl. Opt.*, **18**(14), pp. 2407-2417, 1979.
- [5] R. K. Curran, T. A. Shankoff, "The Mechanism of Hologram Formation in Dichromated Gelatin," *Appl. Opt.*, **9**(7), pp. 1651-1657, 1970.
- [6] T. A. Shankoff, "Phase Holograms in Dichromated Gelatin," *Appl. Opt.*, **7**(10), pp. 2101-2105, 1968.
- [7] R. Changkakoti, S. V. Pappu, "Towards optimum diffraction efficiency for methylene blue sensitized dichromated gelatin holograms," *Opt. Laser Technol.*, **21**(4), pp. 259-263, 1989.
- [8] P. G. Boj, J. Crespo, J. A. Quintana, "Broadband reflection holograms in dichromated gelatin," *Appl. Opt.*, **31**(17), pp. 3302-3305, 1992.
- [9] B. J. Chang, "Dichromated gelatin holograms and their applications," *Opt. Eng.*, **19**(5), pp. 642-648, 1980.
- [10] B. E. A. Saleh, M. C. Teich, "Fundamentals of photonics," John Wiley & Sons, New York, 1991.

Mgr. Petr Šmíd, Ph.D. *) Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic, Tř. 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, Czech Republic, +420 58 563 1575, smid@optnw.upol.cz

*) Also at Research Center for Optics, Tř. 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, Czech Republic

RNDr. Helena Hiklová, Research Center for Optics, Tř. 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, Czech Republic, +420 58 563 1530, hiklova@optnw.upol.cz

Summary of the experimental results obtained in the laboratory of photon optics

This article describes ten years of the history of the laboratory of photon optics in Olomouc.

The laboratory of photon optics was established as a new research group within the Joint Laboratory of Optics (JLO) in 1995 with the aim to gradually create an experimental counterpart to the traditionally theoretically based quantum optics research group at the Department of Optics (DO) of Palacký University. The initial impulse came from prof. Jan Peřina who also motivated the first research goal – to build an experimental quantum cryptography apparatus. The opportunity created by opening of a new JLO building at the university campus was taken and brand new rooms were equipped with basic laboratory equipment. It is necessary to note that the development of the laboratories, both technical and personal, would not be possible without systematic support of the laboratory by the project “250” (VS96028) of the Ministry of Education of Czech Republic and later by the concurring project Research Center for Optics (LN00A015). There were also other minor grant projects that contributed to the equipment of the laboratories.

In the summer of 1995 the experimental group (counting two newborn experimentalists and one theoretician) started its experimental work on the implementation of quantum cryptography. It was a truly pioneering time as the laboratory had to be equipped with only a limited budget. Moreover, in the summer of 1997, the works were violently interrupted by the big floods and substantial part of the equipment and laboratory infrastructure was severely damaged. The laboratory’s main investment of that time was the purchase of a Kr-ion cw laser together with wide scale of fiber-optics components and single-photon detection equipment. When the Research Center of Optics was established in 2000, the group expanded to another room and obtained an ultrafast Ti:sapphire amplified laser system and an intensified CCD camera. Today, the group is personally stronger and also its cooperation with DO is wider. It is possible to state that the original aim – to create a basis for experimental quantum optics in Olomouc – has been fulfilled. What follows is a brief overview of the experimental results obtained in the recent ten years.

Quantum key distribution

During the 90s of 20th century quantum communications underwent intensive progress. Quantum key distribution (QKD) became a widely used scheme for establishing a provable secure shared secret. Experimental realization brought QKD to the disposal of future commercial applications. Similar to other groups worldwide, we decided to build QKD scheme using dim coherent pulses as a carrier of qubits [1]. Individual photons are ideal carriers of quantum information, which can be distributed over long distances utilizing low-loss optical fibers. Main contribution of our laboratory consisted in building an apparatus with lowest error rate of its time and in the development of an original protocol for quantum identification. *Figure 1* shows the scheme of this experimental setup used for mutual identification of two parties called Alice and Bob. This identification can be used, e.g., for identification of the legitimate user (bank, client) of a communication line without disturbance caused by any third party. Our laboratory prototype was based on a faint pulse interferometric method and on the quantum transmission protocol BB84. The prototype could be suitable for a local network communication (distance: 0.5 km), it

operated at telecom wavelength (830 nm). Due to the careful adjustment, 99.5% interference visibility was reached. This condition allowed fast operation with the error rate as low as 0.3 %.

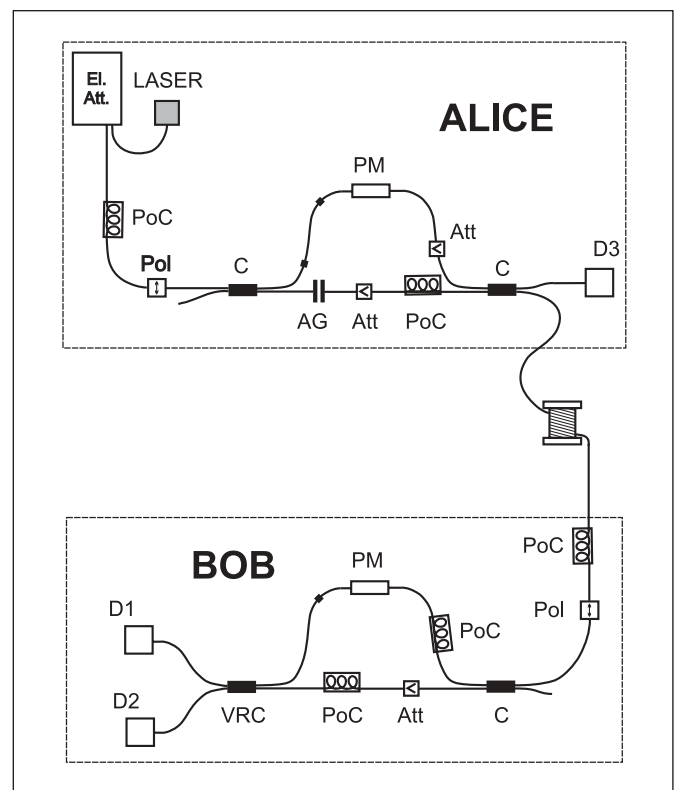


Fig. 1 Scheme of the optical part of the built quantum identification system

Quantum random number generator

Random numbers are used in many different kinds of applications ranging over *computer simulations, sampling, numerical analysis, or computer programming*. In many applications pseudo-random numbers generated by computers can be used, although such numbers are generated in a deterministic way, and actually they are not random, they only seem to be random. There are, however, more demanding applications - like quantum cryptography - that need large amounts of high-quality random numbers. That is why great effort has been recently expended on searching for some quantum random process that can be implemented in a realistic physical random number generator. One of the elementary quantum processes, that a good random number generator can be based on, is a single photon incidence on a fiber coupler. Because a photon is indivisible, it must choose between the two possible output paths, and can be detected only in one of them. The choice of the output path is truly random, and cannot be predicted. This process is very simple and yields two possible results. Experimental realization is straightforward.

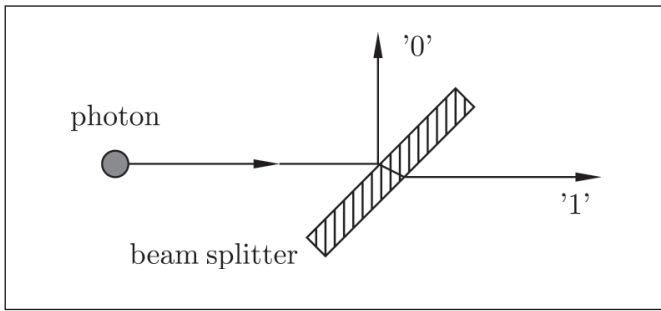


Fig. 2 Reflection or transmission of a single photon at a beam splitter

In the first step, we built the setup working as a random number generator on an optical table [2]. This setup was composed of fiber components utilizing standard detection electronics. A computer was doing all necessary recalculations of the generated data. In the second step, we realized a prototype of the quantum random number generator based on this fundamental quantum process (see Fig. 3) [3]. The device is composed of commercially accessible components, and is able to provide random numbers to any computer equipped with a parallel port. Moreover, all the optical paths are made of fibers, and the device is assembled in a shielding box. These conditions guarantee stable and correct operation. The generated data passed all kinds of tests we made. The generator is rather easy to use, and it is potentially suitable for any cryptographic applications. The generation rate of the balanced data is 28 kByte/s.

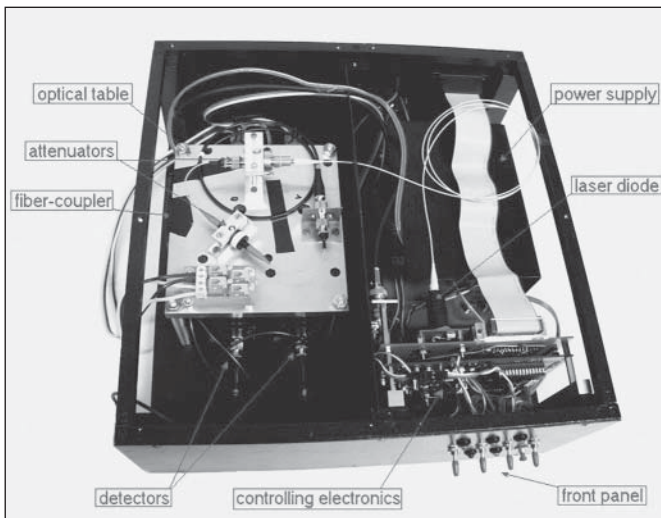


Fig. 3 Photo of the inside of the of the random number generator prototype

Experiments with photon pairs

Most of the practical QKD schemes built in 90s utilized weak coherent pulses prepared by attenuating laser light. Unfortunately, these schemes suffer both from vacuum and multiphoton contributions. Later on, spontaneous parametric down-conversion (SPDC) became a widespread method used for generation of entangled pairs of photons, which can serve as a source of photons with better statistical properties. In the process of SPDC a laser beam is directed into a nonlinear crystal, where an incident photon can spontaneously decay and create pair of new photons called *signal* and *idler*. These two photons have highly correlated properties due to the conservation rules. The polarization states of the photons can be easily and precisely manipulated using linear optical elements (wave plates, beam splitters) and the photons can be efficiently measured with the help of single-photon detectors.

Quantum cryptography using postselection from entangled two-photon states

Practical existence of a single-photon source would be helpful to formulate general security proofs of quantum cryptography. We suggested to construct an approximation of a single-photon source as follows. Perform a photon-number measurement on a signal beam and select only those cases where a single photon has been detected. Then there is a single photon in the idler beam and this photon is used for cryptography. We realized measurements characterizing this kind of source in a real application [4].

Experimental multi-photon-resolving detector using a single avalanche photodiode

Simultaneously we continued in construction of photon-number-resolving detectors, which could be used to trigger the source described above. One implementation used loop fiber configuration splitting incident multi-photon state into several temporal contributions that can be measured with a single avalanche photodiode (see Fig. 4) [5][6].

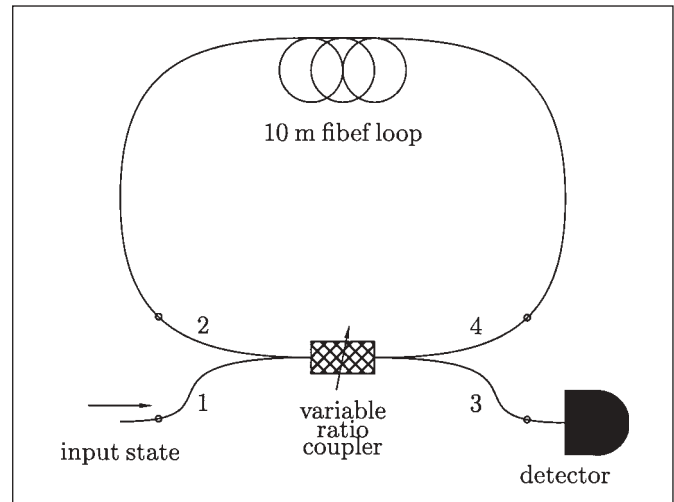


Fig. 4 Scheme of the fiber-loop detection device

Experimental Tests of Energy and Time Entanglement

We also used interference experiments to study energy and time correlations of the entangled photons in a direct way [7] [8]. When a signal photon is detected behind a narrow spectral filter, the spectrum of the corresponding idler photon is consequently also narrowed. This effect was demonstrated measuring prolongation of the coherence length of the idler photon. Figure 5 shows the scheme of the setup with a Mach-Zehnder interferometer in the idler photon arm, and with an adjustable Fabry-Perot resonator in the signal photon arm. We were able to prolong the coherence length of the idler photon by two orders of magnitude as shown in Fig. 6.

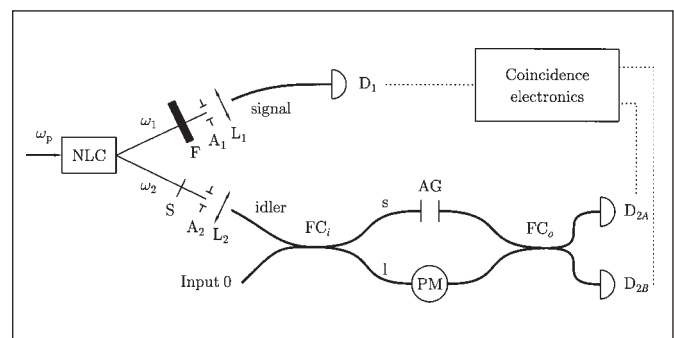


Fig. 5 Experimental setup for the measurement of energy correlations

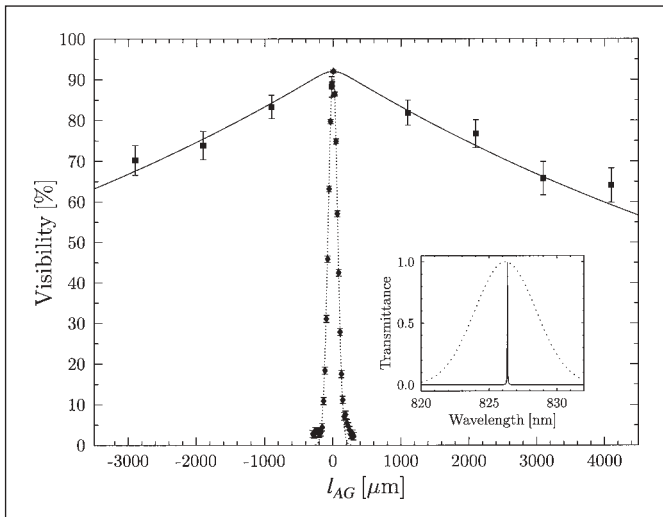


Fig. 6 Coincidence-count interference visibility as a function of a MZ interferometer unbalance (points – experiment, lines - theory). Dotted line corresponds to the measurement without any filter; continuous line corresponds to the measurement with only one spectral line of the Fabry-Perot resonator. Inset shows the corresponding spectra

Narrow time correlations of the signal and idler photon were demonstrated using the same photon-pair source. We rebuilt the setup slightly as shown in Fig 7. In this experiment the signal and idler photon are mixed at a 50/50 fiber beam splitter. If the photons reach the beam splitter simultaneously, they exit the beam splitter in the same output port. It results in a dip in coincidence-count rate. Both these experiments showed that the two-photon state generated in the process of SPDC is properly described by entangled two-photon state.

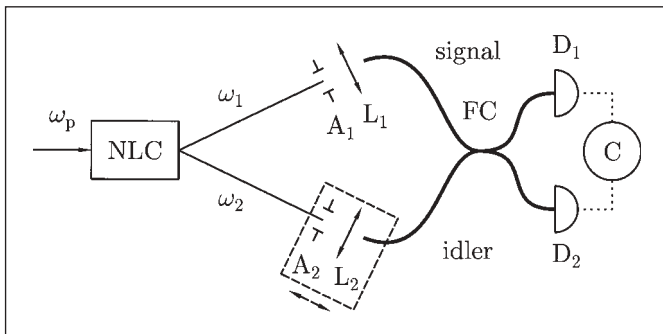


Fig. 7 Experimental setup for the measurement of time correlations

Quantum multi-meters

The polarization states of the photons can be changed utilizing wave-plates. Moreover, the two photons can be mixed at beam splitters. With the use of linear optics, we are able to prepare the states ranging from pure state to totally mixed state [9]. Entangled photon pairs can be used for building programmable quantum measurement devices (multimeters). These devices serve to measure a photon state (qubit) without a priori knowledge of the polarization basis of the photon states. The measurement is possible due to the fact, that the second photon is prepared in the same still unknown polarization basis. We realized two quantum multimeters [10] [11] with the setup shown in Fig. 8. The first device was designed for unambiguous discrimination of two nonorthogonal polarization states of a qubit. The second one could perform von Neumann measurements on a single qubit located on a phase-covariant subspace of polarization states.

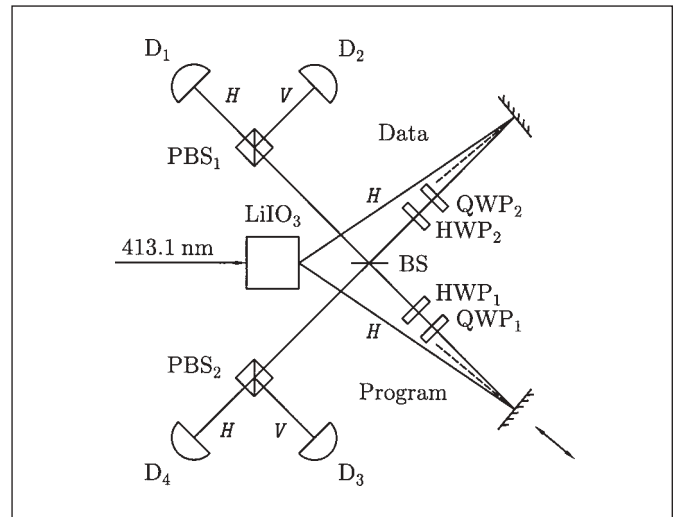


Fig. 8 Experimental setup of the quantum multimeter

Prediction of complementary measurements

Quantum correlations between the two photons comprising the entangled pair can be used to predict the measurement result on one photon knowing the result gained measuring the other photon. We generated the two-photon Werner states, which represent a smooth transition between maximally entangled singlet state, and maximally chaotic mixed two-photon state. We derived and experimentally checked a nontrivial bound on the sum of the squares of knowledge excesses, which can be extracted from a pair of measurements on one qubit [12]. This bound is given by the value of the Bell factor corresponding to the prepared two-photon state.

Direct measurement and reconstruction of nonclassical features of twin beams

The use of intense femtosecond pump fields together with the availability of new materials with larger nonlinearities has opened a new area in investigation of twin beams. Nowadays, even beams containing many photon pairs generated in a sharp time window can be obtained. We studied the correlations in the twin beams composed of many photon pairs using an intensified CCD camera [13]. Joint signal-idler photon-number distribution and quantum phase-space quasi-distributions determined from experimental data have nonclassical features. The area of correlations has also been experimentally measured.

Future perspectives

We plan to continue with the quantum information processing with linear optics. In particular, the attention will be paid to schemes implementing symmetric or asymmetric cloning using unbalanced beam splitters. Simultaneously, the work on photon-number and homodyne detection techniques will be continued and expanded.

Acknowledgement

The members of the research group would like to express their gratitude to prof. Jan Peřina and to prof. Miroslav Hrabovský for their systematic support. Also, the support by the grant projects of Ministry of Education of CR, Grant Agency of CR, and the National Security Authority is acknowledged.

References

- [1] *Quantum identification system*, M. Dušek, O. Haderka, M. Hendrych, R. Myška, **Phys. Rev. A** **60**, 149 (1999); quant-ph/9809024.
- [2] *Quantum random number generator*, J. Soubusta, O. Haderka, M. Hendrych, **Proceedings of SPIE** **4356**, 54 (2001).

- [3] *Experimental realization of quantum random number generator*, J. Soubusta, O. Haderka, M. Hendrych, P. Pavlíček, **Proceedings of SPIE** **5259**, 7 (2003).
- [4] *Quantum cryptography using a photon source based on postselection from entangled two-photon states*, J. Peřina Jr., O. Haderka, J. Soubusta, **Phys. Rev. A** **64**, 052305 (2001); quant-ph/0107086.
- [5] *Experimental multi-photon-resolving detector using a single avalanche photodiode*, O. Haderka, M. Hamar, J. Peřina, Jr., **Eur. Phys. J. D** **28**, 149 (2004); quant-ph/0302154.
- [6] *Multiple-photon resolving fiber-loop detector*, J. Řeháček, Z. Hradil, O. Haderka, J. Peřina Jr., M. Hamar, **Phys. Rev. A** **67**, 061801 (2003); quant-ph/0303032.
- [7] *Experimental verification of energy correlations in entangled photon pairs*, J. Soubusta, J. Peřina Jr., M. Hendrych, O. Haderka, P. Trojek, M. Dušek, **Phys. Lett. A** **319**, 251 (2003); quant-ph/0306020.
- [8] *Experimental tests of energy and time entanglement*, J. Soubusta, J. Peřina Jr., O. Haderka, M. Hendrych, M. Dušek, to be published in **Acta Phys. Hung. B**.
- [9] *Simple optical measurement of the overlap and fidelity of quantum states*, M. Hendrych, M. Dušek, R. Filip, J. Fiurášek, **Phys. Lett. A** **310**, 95 (2003); quant-ph/0208091.
- [10] *Experimental realization of a programmable quantum-state discriminator and a phase-covariant quantum multimeter*, J. Soubusta, A. Černocho, J. Fiurášek, M. Dušek, **Phys. Rev. A** **69**, 052321 (2004); quant-ph/0401166.
- [11] *Optical implementation of two programmable quantum measurement devices*, A. Černocho, J. Soubusta, J. Fiurášek, M. Dušek, to be published in **Acta Phys. Hung. B**.
- [12] *How quantum correlations enhance prediction of complementary measurements*, R. Filip, M. Gavenda, J. Soubusta, A. Černocho, M. Dušek, **Phys. Rev. Lett.** **93**, 180404 (2004).
- [13] *Direct measurement and reconstruction of nonclassical features of twin beams generated in spontaneous parametric down-conversion*, O. Haderka, J. Peřina, Jr., M. Hamar, J. Peřina, to be published in **Phys. Rev. A**; quant-ph/0405118.

Jan Soubusta, PhD, phone: (+420) 585 631 577, fax: (+420) 585 631 531, e-mail: soubusta@sloup.upol.cz.
 Ondřej Haderka, Jan Peřina Jr., Martin Hendrych, Martin Hamar, Robert Myška, Pavel Pavlíček, Vladimír Urbášek,
 Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic,
 17. listopadu 50A, 772 00 Olomouc, Czech Republic
 Miloslav Dušek, Radim Filip, Jaromír Fiurášek, Pavel Trojek, Antonín Černocho, Miroslav Gavenda, Miroslav Ježek,
 Department of Optics, Palacký University, 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, Czech Republic

Dušan MANDÁT, Libor NOŽKA, Miroslav HRABOVSKÝ Joint Lab. of Optics of Palacký Univ. and Inst. of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic, Olomouc
 Tomáš RÖSSLER, Dept. of Experimental Physics, Natural Science Fac., Palacký Univ., Olomouc

Differences of the application of profilometry and topography for the cotyle implantate shape measurement

The paper is devoted to two optical measurement methods developed in the Joint Laboratory. Those are the 3D scanning profilometry and single-projector moiré topography which are designed for noncontact measurement of the shape of the object surface. Although the target of both methods is the same, the way to achieve the result is different diametrically. Both methods were applied to the same problem – the cotyle implantate shape measurement. This fact makes possible to realize the comparison of the properties of methods.

1. INTRODUCTION

The cotyle implantate is abraded in the body of patient. Information about the magnitude of abrasion follows from the change of the shape of implantate. The two different approaches are possible to determine the shape of object generally. First, the profilometry can be applied to obtain the data file containing the values of three coordinates in number of measured points. The magnitude of abrasion can be computed from this data file. The method called the 3-D scanning profilometry was applied to measure the shape of the implantate.

On the other way, the topography can be used. In contrast to the profilometry the result is the contour map of measured object. The locations and dimensions of abraded areas can be computed from the contours deformation. The method called the single-projector moiré topography was used for the contour map determination.

The theoretical description of mentioned methods is given at first. The design of the experimental set-up follows. Then the description of applied digital processing is introduced shortly. The

final results of both measurement methods are analyzed at the end. The analysis includes result comparison and declaration of advantages or disadvantages of compared methods.

2. METHODOLOGY

2.1 Three-dimensional optical scanning profilometry

The 3D scanning profilometry is an optical method that use the detection of the laser trace projected on the diffused reflecting surface. The laser beam passes through the optical system which transforms it into a strip. The strip is focused in the tangential plane close to the reference plane. The knowledge of the strip shape in the detection plane enables us to determine the surface shape of the measured object. The profile of the illuminated surface is captured by a digital camera. Finally, the computer calculation algorithm is applied. The analysis of the laser trace is executed by the software XCAP-Std™. The visualization of the object is carried out using the VRML language (the international standard language for virtual objects ISO/IEC 14772-1:1997). The geometrical setup of the experiment [1-3] is shown on the Fig. 1.

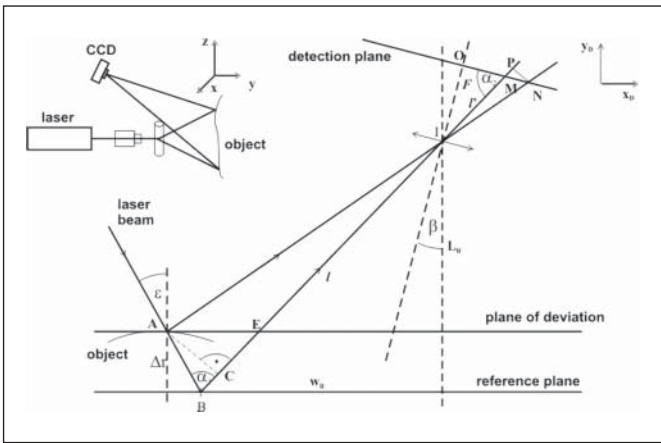


Fig. 1 The principle of the laser trace projection. The geometry of experiment

2.2 Single-projector fringe-shifting moiré topography

Method [4-6] is based on the projection of intensity periodic structure (grating) into the measured surface. The various gratings are able to use in the dependence of the kind of solved problem or the character of surface. For these purposes the light grating projector was used. The structure on the measured surface is realized on the principle of the two coherent beams interference. The result recorded pattern is often called the specimen grating. The second pattern (reference grating) is necessary to obtain the moiré pattern. Hence the next step is recording of the intensity structure from the screen placed before the measured surface. The projection of the light grating and the origin of the periodic structures are shown on the Fig. 2.

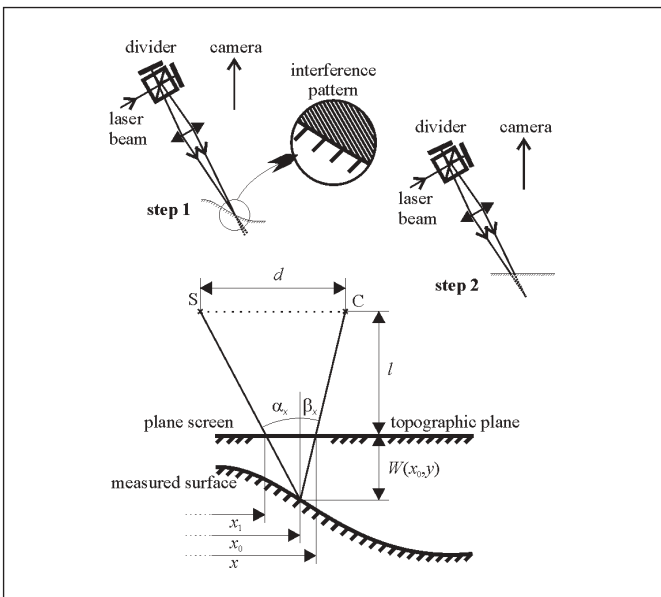


Fig. 2 The specimen and reference grating origin. The geometry of experiment

Both gratings are recorded using the CCD camera. On the digital sum of recorded images the moiré pattern can be recognized under the condition of the same projector and camera position during the recording. Except the original gratings the other structure is observed on the result image. It has the form of bright and dark ill-defined fringes. They are called the moiré fringes and the system of them is the moiré grating. Moiré fringes represent the places with the same topographic depth W from the topographic plane. This plane is identical or at least parallel with the plane screen.

3. EXPERIMENTAL AND LABORATORY SETUPS, DATA PROCESSING

3.1 Three-dimensional optical scanning profilometry

The experimental setup is shown on Fig. 3. The microscopic objective and the cylindrical lens create a laser strip. This strip is projected on the surface of the measuring object.

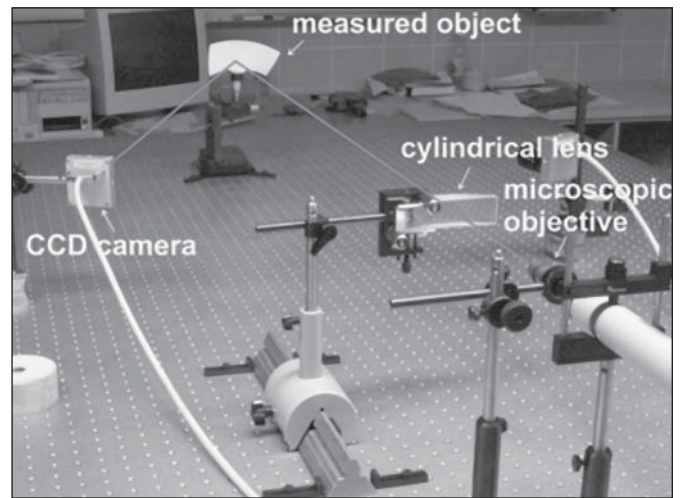


Fig. 3 The experimental setup

The cotyle is situated in rotating holder which was rotated with the object in range of 180° with the step of 7.5° . Thus 24 profiles of the cotyle surface were obtained like the one shown on Fig. 4. These profiles serve as the basis of the WRML model. The chosen step of the analysis defines the number of points of the final coordinate grid. The result is the data file containing the three coordinates of surface spots. These spots create a virtual image of the object.



Fig. 4 The cotyle profile

3.2 Single-projector fringe-shifting moiré topography

The experimental setup is shown on Fig. 5. The light beam from the coherent source (laser L) goes through the microscopic objective MO. It creates the divergent beam. There is placed the pin hole H in the image focal point of the objective to clean the beam. The location of pin hole is approximately the point source in practice. This beam goes through the divider D. The divided beams are projected to the measured object by the position of rotating mirror M. The result grating on the surface of the measured object or screen is recorded by the camera C.

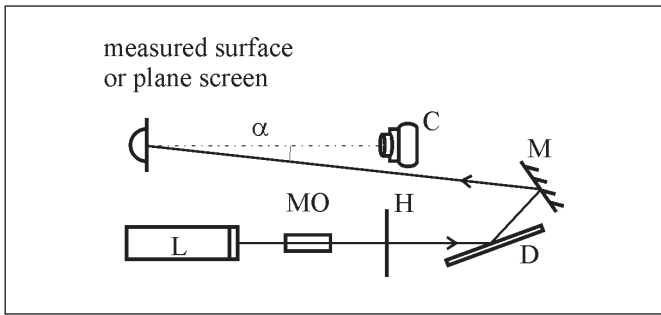


Fig. 5 Illustration figure of the experimental set-up

The plane screen was placed in the topographic plane and the reference grating image was recorded. Then the screen was removed and replaced by the measured object. The image of both reference and specimen grating was recorded with non-changed experimental configuration. They are shown on the Fig. 6.

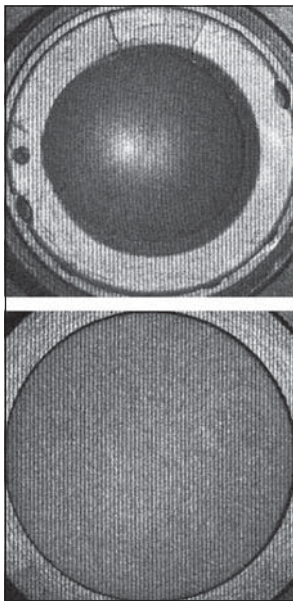


Fig. 6 The reference and specimen grating

The linear filtering algorithms based on the convolution were applied for the noise reduction and for the undesirable global mean brightness changes elimination of the both images. The brightness values were suitable normalized in the next step. The result moiré grating is obtained by means of computer sum of the final normalized images of specimen and reference gratings (See Fig. 7).

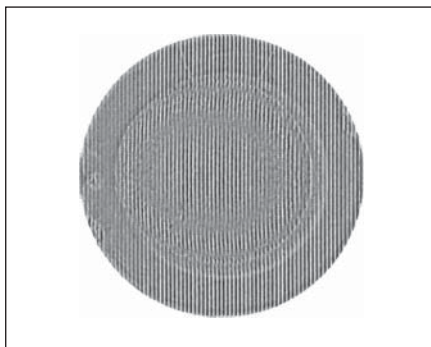


Fig. 7 The moiré pattern – the sum of the reference and specimen grating

The disturbing remainders of the original projected gratings are detectable in the composed image. They were removed by the application of the convolution filtering. The required exact detection of moiré fringes was performed by the image morphological operations based on the grayscale image dilatation and erosion and subsequent thresholding. Then the moiré fringes (or one moiré fringe in this case) are very well observable but too thick. For the practical exploitation of the moiré fringes, their centerline must be determined. This is achieved using morphological algorithm based on skeletonization.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

The points on the surface of the measured object, as the result of method, are described by the x , y and z coordinates. These points create a model to virtual object in WRML space. This virtual object shows surface of the real object and can be compare with an etalon or other object. Several views to the measured cotyle are illustrated on the Fig. 8.

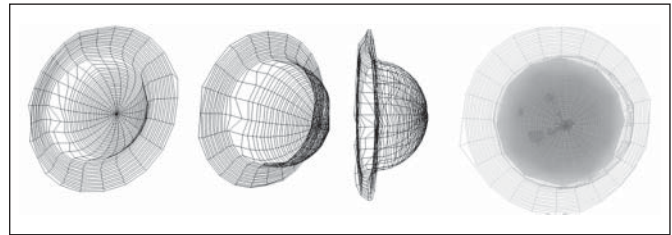


Fig. 8 WRML model of a cotyle

The method of fringe-shifting was applied to increase the number of moiré fringes. The result image is combined with the picture of measured object for the better orientation in system of fringes and also for better evaluation of measurement. Such image has the character of contour map of cotyle implantate which is shown on the Fig. 9.

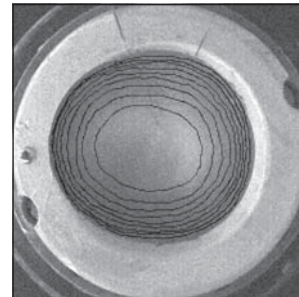


Fig. 9 The result contour map of cotyle implantate

5. CONCLUSION

The main advantage of the profilometric method is the very simple setup. But the number of partial profile measurements with the rotation of object has to be carried out to obtain the whole 3D profile. The setup and adjustment especially is much more difficult for the topographic measurement. On the other hand the whole contour map is obtained from the single measurement.

The complication of the computing process is similar. Although the computation of the profile is simpler then the applied image processing, it has to be performed for every measured profile on the other hand. In addition the result profiles have to be recomputed for the whole surface.

The main disadvantage of the profilometry is the execution of the calibration which is necessary to be done in the measurement process. In the case of moiré topography the calibration is not necessary if only the qualitative evaluation is requested. That means only the shape of contours can be determined. The calibration makes possible the association between particular contours and the topographic depth.

ACKNOWLEDGMENT

Those results of the project LN00A015 were supported by The Ministry of Education of the Czech Republic.

Those results of the project FRVS 48/2004 was supported by The Ministry of Education of the Czech Republic.

References

- [1] Asundi A., Sajan M.R.: Mapping algorithm for 360-deg profilometry with time delayed integration imaging. *Optical Engineering* **38**, pp 339-343, (1999).
- [2] Mandát D., Nožka L., Hrabovský M.: "Measurement of abrasion of polyethylene TEP cotyles ABG I of coax using optical scanning topography", in *14th Optical Conf. Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics*, Proceedings of SPIE, 2004. (in print)
- [3] Mandát D., Nožka L., Hrabovský M.: "Measurement of Abrasion of Artificial Cotyles Using 3D Optical Scanning Topography", in *21th Danubia-Adria Symposium on Exp. Methods in Solid Mechanics*, Proc., 92-93 (2004).
- [4] Rössler T., Hrabovský M.: Moiré methods for measurement of displacement and topography. *Czechoslovak Journal of Physics*, 2004. (in print)
- [5] Rössler T., Hrabovský M., Pluháček F.: "Fringe-shifting single-projector moiré topography application for cotyle implantate abrasion measurement", in *14th Optical Conf. Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics*, Proceedings of SPIE, 2004. (in print)
- [6] Rössler T., Hrabovský M., Pluháček F.: "Cotyle Implantates Abrasion Measurement Using the Fringe-Shifting Single-Projector Moiré Topography", in *21th Danubia-Adria Symposium on Exp. Methods in Solid Mechanics*, Proc., 102-103 (2004).

Mgr. Dušan Mandát, Mgr. Libor Nožka, prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic, Tř.17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420585631573, fax: +420585631531, e-mail: mandat@optnw.upol.cz, nozka@optnw.upol.cz, hrabovsky@optnw.upol.cz
RNDr. Tomáš Rössler, Ph.D., Dept. of Experimental Physics, Natural Science Fac., Palacky Univ., Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420585634302, fax: +420585631531, e-mail: rossler@optnw.upol.cz

SPIE/CS – společnost optiků informuje

Nabízíme k odprodeji následující sborník SPIE:

Proceeding of SPIE

Microwave and Optical Technology 2003

Jaromir Pistora, Kamil Postava, Technical Univ. of Ostrava (Czech Republic); Miroslav Hrabovsky, Palacky Univ. Olomouc (Czech Republic); Banmali S. Rawat, Univ. of Nevada
11-15 August 2003, Ostrava, Czech Republic

Vol. 5445

Cena: pro členy SPIE/CS 1 800,- Kč/ks + poštovné
pro nečleny SPIE/CS 2 500,- Kč/ks + poštovné

Dále 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 Republic)

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 %.

Iodine Lasers and Applications

(18-22 September 1995, Trest Castle, Czech Republic)

Vol. 2767

Cena 100,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Advanced Laser Technologies

(8-13 November 1993, Prague, Czech Republic)

Vol. 2332

Cena 100,- Kč/ks + poštovné, pro členy SPIE/CS sleva 20 %.

Poznámka:

Sborníky lze objednat u p. Kučerové v knihovně SPIE/CS na adrese: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc
Tel.: 585631504, 585631535, e-mail: kucerova@optnw.upol.cz

Prodej volných sborníků proběhne do vyčerpání zásob v pořadí dle došlých žádostí.

OZNÁMENÍ

Knihovna SPIE/CS nabízí pro členy SPIE zlevněný odběr omezeného počtu časopisu OPTICAL ENGINEERING – 90 Kč/ks + poštovné a balné. Časopis vychází 12x ročně a přibližný počet stran ve výtisku je 300.

Kontakt: Knihovna SPIE/CS, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc
tel.: 585 631 504, fax: 585 631 351, e-mail: kucerova@optnw.upol.cz

Analysis of correlated photon pairs using massively multichannel detector

An intensified CCD camera is used as a detector to analyze the properties of correlated photon pairs obtained by spontaneous parametric down-conversion. Pixels of the camera serve as detecting elements so that the whole camera represents a massively multichannel photon-counter. This enables measurement of photon-number statistics of the signal and idler fields. Finite detection quantum efficiencies, noises as well as possible loss of one or both photons from a pair are taken into account. The joint signal-idler photon-number distribution is obtained using the expectation maximization algorithm. Spatial resolution of the camera allows for investigation of the spatial properties of correlations of the photon pairs. Area of correlation of the correlated photon pairs is determined.

Keywords: Entangled photon pairs, spontaneous parametric down-conversion, intensified CCD camera.

I. INTRODUCTION

Correlated photon pairs obtained using the nonlinear process of spontaneous frequency down-conversion [1] represent today a well established tool in many areas of quantum optics and quantum communications. They were extremely successful as a means to perform experiments confirming the fundamental laws of quantum mechanics [2]. In recent years, many novel protocols in quantum communications were realized using these states of light, such as quantum cryptography [3], quantum teleportation [4], quantum dense coding [5] as well as nonclassical counterparts of classical optical methods like quantum imaging [6], quantum holography [7] or quantum lithography [8] were suggested and demonstrated.

All these methods make use of the nonclassical features of the down-converted light, namely that its photons are always created in pairs correlated in a tight time-window and/or that they are entangled in a certain physical quantity – polarization, energy or momentum. The probability of pair creation is quite low in common nonlinear materials so that traditionally the probability of generation of more than one pair in a single detection interval was negligible. Using one member of the pair as a trigger, the time-correlation was employed to prepare a close approximation of a single-photon Fock state both for quantum-optical and quantum communications purposes [9-11]. With the advent of ultrashort and intense pulsed laser sources and periodically-poled nonlinear materials, however, it is now possible to generate many correlated photon pairs from a single pumping pulse.

Nevertheless, the determination of the number of photons in the down-converted beam is not an easy task as traditional detectors at the single-photon level – based on avalanche photodiodes – do not provide resolution in photon numbers due to the noise in the electronic amplification process. A vast amount of suggestions of photon-number-resolving detectors appeared in recent years [12-15]. Some of them used novel materials and structures operated usually in low-temperature conditions, others rely on classical detectors but operate on a time-multiplexed beam [16,17]. While the former class of detectors achieves high quantum efficiencies, the latter retains the advantages of silicon photodiodes – low noise and ease of operation. Using such detectors, photon-number statistics of light can be measured and nonclassical features of the down-converted light can directly be revealed [18].

In this paper we use another type of photodetector to study the properties of down-converted light – the intensified CCD camera. While such detector has already been used to characterize spatial distribution of the correlated photon pairs [19], we make use both

of its spatial resolution to directly measure the area of correlation and its number of pixels as a massively multi-channel counter of photons in a spatially spread beam. We show that even though the overall quantum efficiency of the intensified CCD camera is rather low compared to other photon-number resolving detectors, it is possible to directly measure the nonclassical character of the field as well as to reveal nonclassical features of the quantum state using reconstruction based on the maximum likelihood approach.

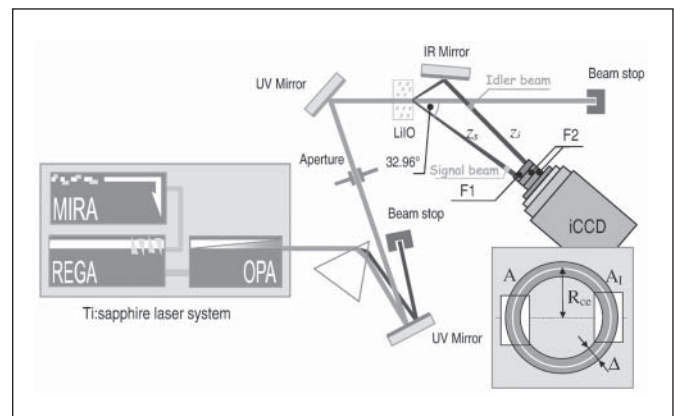


Fig. 1 Scheme of the experiment. F1: bandpass filter, ($\Lambda_s = 800$ nm, $\Delta\Lambda = 10$ nm), its transmissivity at 800 nm is 90%. F2: Edge filter with edge at 670nm, its transmissivity at 800 nm is 98%. The length of the path signal (idler) beam $z_i = 10.5$ cm ($z_s = 12.5$ cm). In the inset situated in the bottom-right corner, the cut of the cones that pass through the bandpass filter is depicted. The areas that are detected by the camera are signed as A_s , A_i .

II. MEASUREMENT OF CORRELATIONS IN PHOTON NUMBERS

In our experiment sketched in Fig. 1, we use second-harmonic of an amplified femtosecond Ti:sapphire laser system as a pump source for the generation of down-converted light in a 5-mm long Li:IO₃ nonlinear crystal. Laser system operates at 800 nm and yields a train of 200 fs pulses with a repetition rate controlled by the amplifier and set to 11 kHz in our case. Their second-harmonic is produced in a 2-mm long BBO crystal and pulses of energy up to

1.3 mJ are obtained. Down-converted photons emerge from a crystal at a cone layer with vertex half-angle of 33 deg (see Fig. 1). One part (signal) of the cone layer is captured by the photocathode of the camera placed 10 cm behind the crystal. The corresponding opposite part of the cone layer (idler) is led to the camera after reflection on a high-reflectivity mirror placed as close to the crystal as possible to minimize path difference of the two beams. Prior to entering the camera, both beams are filtered by two edge filters (high-pass above 700 nm) and a 10 nm wide (FWHM) bandpass filter centered at 800 nm. The filters reduce the noise coming from fluorescence in the nonlinear crystal and stray light in the laboratory to an acceptable level and bandpass filter defines the thickness (ΔR) of the cone layer. In the software of the camera, three regions of interest are defined, two for the signal and idler strips and a third one that serves for monitoring the noise level. The overall quantum efficiency of the iCCD camera has been found to be 9.5% at its maximum gain setting.

Quantum state of twin beams at the output plane of the crystal can be described by the following statistical operator $\hat{\rho}_{SI}$ [20]:

$$\hat{\rho}_{SI} = \sum_{n_S=0}^{\infty} \sum_{n_I=0}^{\infty} p(n_S, n_I) |n_S\rangle_S \langle n_S| \otimes |n_I\rangle_I \langle n_I|. \quad (1)$$

$|n_S\rangle_S$ ($|n_I\rangle_I$) denotes Fock state with n_S (n_I) photons and then $p(n_S, n_I)$ means the joint signal-idler photon-number distribution. The down-converted photon pairs then undergo several loss mechanisms before they are registered. We take into account losses in the signal and idler paths (expressed in terms of effective transmittances T_s , T_I), external noise (from the laboratory and fluorescence from the crystal) and internal noise of the camera (D_S , D_I), and quantum efficiency of the camera (η). All these mechanisms have to enter to the measured probabilities f . The result can be expressed in the form

$$f^{c_S, c_I} = \sum_{n_S=0}^{\infty} \sum_{n_I=0}^{\infty} p(n_S, n_I) K^{S, \infty}(c_S, n_S) K^{I, \infty}(c_I, n_I), \quad (2)$$

$$K^{i, \infty}(c_i, n_i) = \sum_{l=0}^{\min(c_i, n_i)} \binom{n_i}{l} (T_i \eta_i)^l (1 - T_i \eta_i)^{n_i - l} \frac{D_i^{c_i - l}}{(c_i - l)!} \exp(-D_i), \quad i = S, I, \quad (3)$$

where c_s is number of detections in the signal strip and c_I is number of detections in the idler strip. We can use this formula only for intensities that produce much fewer detections at the camera than the number of active pixels [20].

Further quantities that can help us to analyze the measured data are the covariance defined by the following formula [21]

$$C(n_S, n_I) = \frac{\langle \Delta n_S \Delta n_I \rangle}{\sqrt{\langle (\Delta n_S)^2 \rangle} \sqrt{\langle (\Delta n_I)^2 \rangle}} \quad (4)$$

$$\Delta n_i = n_i - \langle n_i \rangle, \quad i = S, I$$

and coefficient K

$$K = \frac{\langle n^2 \rangle}{\langle n \rangle^2} - \frac{1}{\langle n \rangle}. \quad (5)$$

The covariance of the measured data (the histogram of which is shown in Fig. 2a) equals 0.0435 ± 0.008 and K_S (K_I) is equal to 0.997 ± 0.030 (0.994 ± 0.030). The value of the covariance of perfectly correlated signal and idler would equal one. The covariance of measured photon-number distribution in our case is far from this value but it is not zero. The coefficient K can help us to estimate the kind of statistics of down-conversion. $K = 1$ for Poissonian statistics, $K = 2$ for Gaussian statistics and $K \leq 1$ for a Fock state. From comparison of these values with values we receive from the experiment we can see that the statistics of down-converted pairs is close to the Poissonian statistics. Now the question is

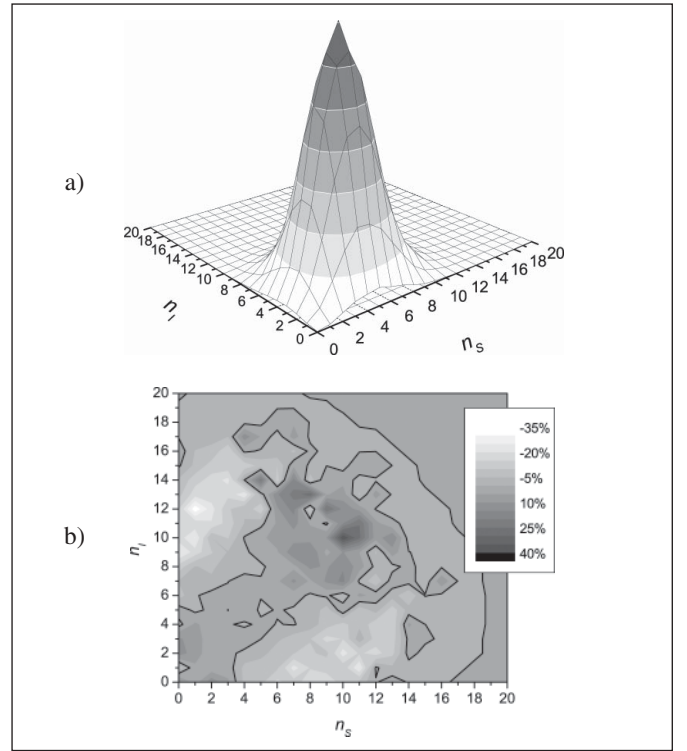


Fig. 2 (a) Measured joint signal-idler photon-number distribution f as a function of the signal (n_s) and idler (n_i) photon numbers. (b) Difference between the measured photon-number distribution f and the distribution given by direct product of two independent Poissonian distributions with means equal to those of experimental data.

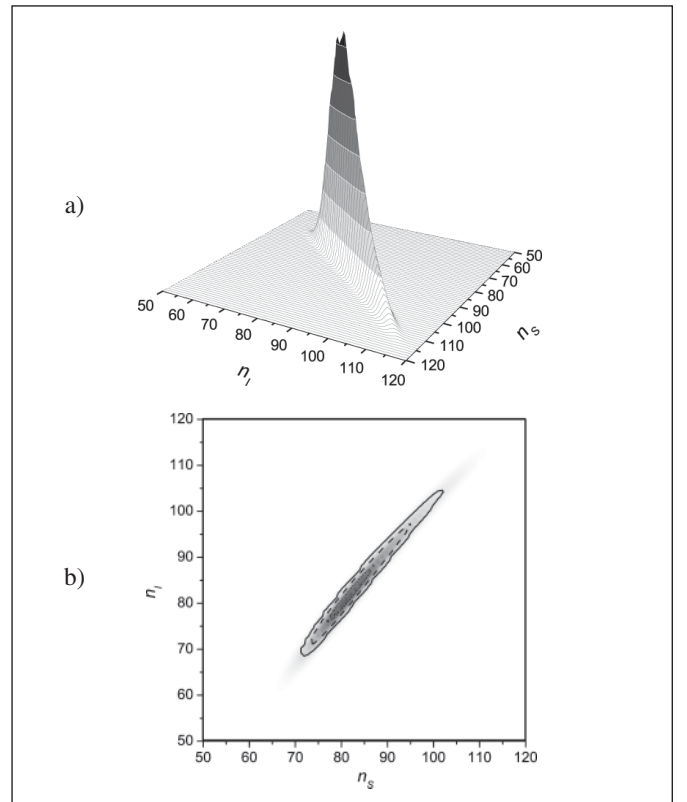


Fig. 3 (a) 3D- and (b) topo-graph of reconstructed joint signal-idler photon-number distribution $\rho^{(\infty)}$ as a function of the signal (n_s) and idler (n_i) photon numbers; contour lines in graph (b) show the magnitude of violation of the classical inequality in Eq. 7 by more than 3 (solid line), 20 (dashed line) and 40 (dotted line) standard deviations; $\eta T_s = 0.0539$, $\eta T_I = 0.0415$, $D_S = D_I = 0.75$.

whether we have enough evidence to say that signal and idler photons are indeed generated in pairs. The Poissonian statistics of a small number of independent modes at two distinct spatial points cannot have any correlations in photon numbers. Nonzero values of covariance of measured data together with the fact that its statistics is Poissonian indicate that the data indeed reflect the detection of correlated photon pairs.

The Fig. 2a shows an example of the measured photon-number distribution $f(c_s, c_i)$. For a better view, we can compare this measured photon-number distribution with that one composed of two independent Poissonian distributions, which have mean values equal to those of the measured signal and idler fields. If we subtract these two photon-number distributions, we can see that our measured data show more events around the diagonal of the plot in comparison with those corresponding to two random fields while the off-diagonal elements are suppressed. This is a direct experimental manifestation of the fact that signal and idler photons are generated in pairs.

III. RECONSTRUCTION OF THE QUANTUM STATE

The next step of the data analysis is the reconstruction of the original joint signal-idler photon-number distribution $p(n_s, n_i)$ that characterizes the light at the output plane of the crystal; i.e. the inversion of relation in Eq. 2 has to be found. For that purpose, we have found the method of maximum likelihood estimation extraordinarily suitable. The joint signal-idler photon-number distribution $\rho^{(\infty)}(n_s, n_i)$ that minimizes the Kullback-Leiber divergence from experimental data can be found using the iterative expectation-maximization algorithm [18,22,23]:

$$\rho^{(n+1)}(n_s, n_i) = \rho^{(n)}(n_s, n_i) \sum_{i_s, i_i=0}^{\infty} \frac{\int_{i_s, i_i=0}^{\infty, \infty} (i_s, i_i) K^{S, \infty}(i_s, n_s) K^{I, \infty}(i_i, n_i)}{\sum_{j_s, j_i=0}^{\infty} K^{S, \infty}(i_s, j_s) K^{I, \infty}(i_i, j_i) \rho^{(n)}(j_s, j_i)}, \quad (6)$$

where $\rho^{(n)}(n_s, n_i)$ denotes the joint signal-idler photon-number distribution after the n-th step of iteration, $\rho^{(0)}(n_s, n_i)$ is an arbitrary initial photon-number distribution. The result of reconstruction is shown in Fig. 3. From Fig. 3 a strong correlation between the signal and idler photon numbers is clearly seen. The knowledge about the parameters $\eta T_s, \eta T_i, D_s,$ and D_i was acquired from independent measurements. The reconstructed signal and idler photon-number covariance is $C_p \approx 0.98$. The reconstruction is not perfect due to the impossibility to describe precisely all noises occurring in the experiment.

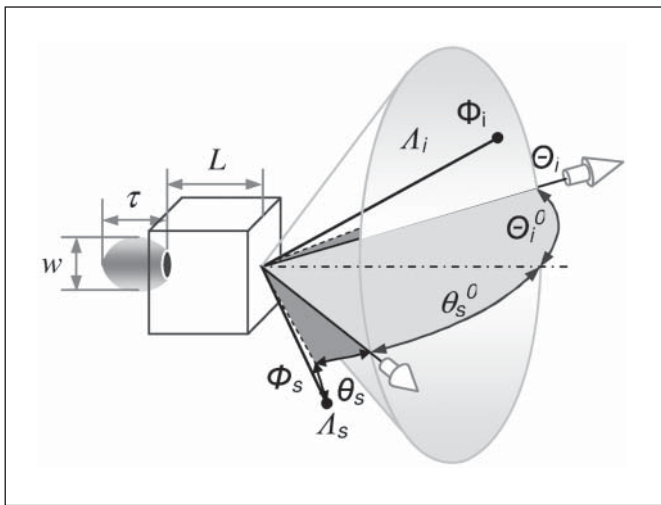


Fig. 4 The direction of movements of the signal and idler. 3D Arrows shows the direction of signal and idler photons in an ideal case. The angles $\Phi_j, \theta_j, j=S, I$, depict the spread in the polar and radial directions under real conditions.

Any photon-number distribution $p(n_s, n_i)$ originating in a classical field has to fulfill the following inequality [24]:

$$p(n_s, n_i) \leq \frac{n_s^{n_s}}{n_s!} e^{-n_s} \frac{n_i^{n_i}}{n_i!} e^{-n_i}, \quad (7)$$

i.e. this inequality represents a criterion of nonclassicality. The reconstructed probabilities lying inside the bold curve in Fig. 3b exhibit significant violation of this inequality with a maximum violation of 49.2 standard deviations [25]. The violation is a consequence of the generation of photons in pairs (probabilities tend to be concentrated towards the diagonal where they reach greater values).

III. SPATIAL CORRELATIONS

Until now we were interested only in the numbers of signal and idler photons. Now we pay attention to their spatial coordinates. As already mentioned in sec. II of the paper, the members of the correlated photon pair emerge from the crystal at output angles given by the momentum conservation condition (phase-matching). In a real experiment, this condition is not sharp but gets relaxed due to the finite time- (and spectral-) width of the pump pulse, due to transverse profile of its intensity, transverse width of the pump beam and finite length of the nonlinear crystal. All these factors cause that the momentum conservation in the transverse direction can be satisfied in more than one way. For each signal photon there is a spread of angles Φ_s, θ_s where the corresponding idler photon can emerge (see Fig. 4).

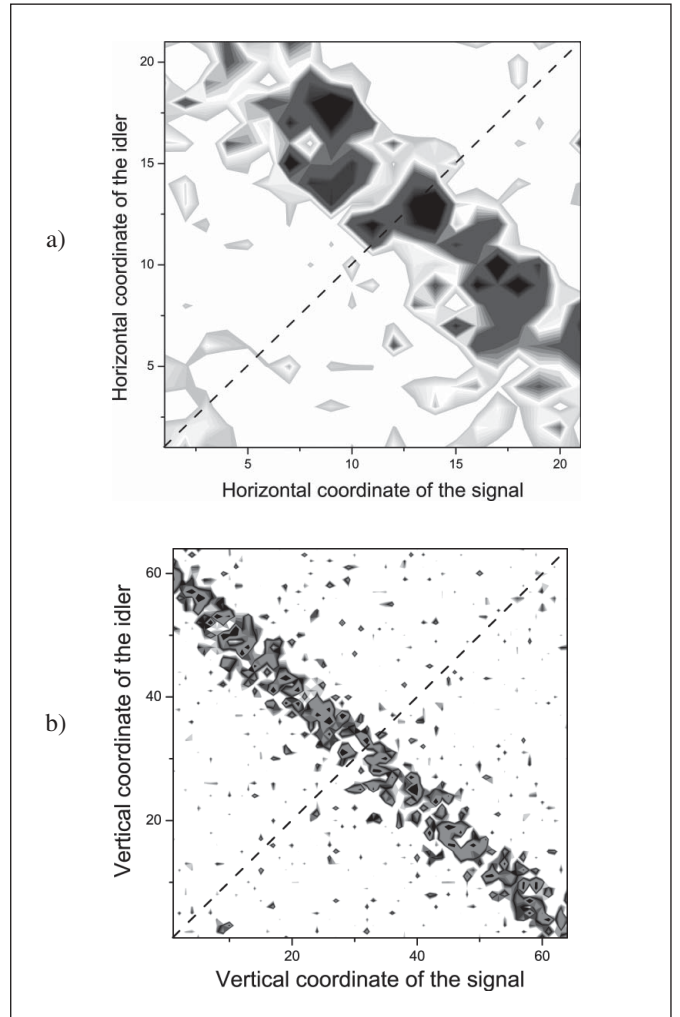


Fig. 5 The measured probability of joint detection of a signal and idler photons in a) X b) Y coordinate. The dashed line shows the direction of the cut which is depicted in Fig. 6.

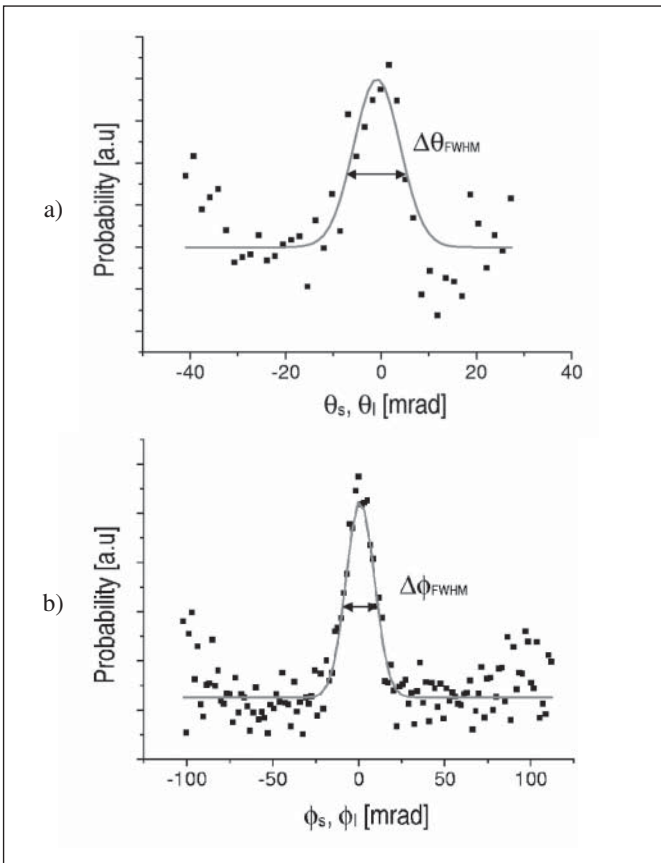


Fig. 6 Cross-section of the plot made along the diagonal (dashed line, Fig. 5) of measured probability of joint detection of a signal and idler photons as a function of a) polar b) azimuthal angles.

In our experiment, we measure directly the positions of the signal and idler photons in the detection plane. From comparison of x (and y) coordinates of signal and idler photon locations with locations defined by the ideal phase-matching we can estimate the spread of angles. The advantage of the iCCD camera is that it directly measures the coordinates of the incident signal and idler photons in transverse plane of the cone layer. Disadvantage of the camera is that it exhibits a quite small quantum efficiency. So most of the time we are not able to detect the whole pair but just one of its members. The reliability of the detection process is also partly concealed by the noise of the iCCD. For these reasons we match all detections from the signal strip with all detections from the idler strip. In other words we make all possible combinations of detections in both strips. As a result of measurement we get the probability of joint detection of a signal and idler photons as a function of x (and y) coordinates [see Figs. 5a(b)]. From the measured probability of the joint detection of a photon pair we can clearly see the diagonal from upper-left to lower-right corner, which gives the evidence that signal and idler photons are correlated in directions. In the case when we are interested in photon pairs situated close to the horizontal cross-section of the cone so that the curvature of the cone layer cross-section in the photocathode plane is negligible, the coordinates x, y can easily be related to radial q_s, q_i and angular f_s, f_i angles (see Fig. 1). The width of the diagonal then corresponds to the spread of angles from the ideal-phase matching. From the cross-section along the diagonal (dashed line in Fig. 5) we estimate numerical values of radial (angular) spread of correlation angles, see Figs. 6a(b). The spread of angles of a photon pair around the direction defined by the ideal phase-matching in the radial direction equals $\Delta\theta_{\text{FWHM}}=11.43\pm 1.36$ mrad and in the angular direction $\Delta\phi_{\text{FWHM}}=19.28\pm 0.68$ mrad in our experiment.

IV. CONCLUSION

We have demonstrated a new method of investigation of photon-number statistics and spatial correlation of twin beams composed of many photon pairs. Using a massively multichannel detector, we have brought another experimental evidence about nonclassical character of the field and introduced a new nonclassicality criterion. Correlation in the spatial domain have been also measured and quantified. The iCCD camera has proven to be a very useful tool of research of spontaneous parametric down-conversion.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors acknowledge support by the projects Research Center for Optics (LN00A015) and CEZJ-14/98 MSM 6198959213 of the Ministry of Education of the Czech Republic.

References

- [1] D. F. Walls and G. J. Milburn, *Quantum Optics* (Springer, Berlin, 1995), chap. 5.
- [2] L. Mandel and E. Wolf, *Optical Coherence and Quantum Optics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1995), chap. 22.4; J. Peřina, Z. Hradil, and B. Jurčo, *Quantum Optics and Fundamentals of Physics* (Kluwer, Dordrecht, 1994).
- [3] N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, and H. Zbinden, *Rev. Mod. Phys.* 74, 145 (2002).
- [4] D. Bouwmeester, J.W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter, and A. Zeilinger, *Nature* 390, 575 (1997).
- [5] K. Mattle, H. Weinfurter, P. G. Kwiat, and A. Zeilinger, *Phys.Rev.Lett.* 76, 4656 (1996).
- [6] A. F. Abouraddy, B. E. A. Saleh, A. V. Sergienko, and M. C. Teich, *Phys. Rev. Lett.* 87, 123602 (2001).
- [7] A. F. Abouraddy, B. E. A. Saleh, A. V. Sergienko, and M. C. Teich, *Opt. Express* 9, 498-505 (2001).
- [8] A. N. Boto, P. Kok, D. S. Abrams, S. L. Braunstein, C. P. Williams, and J. P. Dowling, *Phys. Rev. Lett.* 85, 2733 (2000).
- [9] J. Peřina, Jr., O. Haderka, J. Soubusta, *Phys. Rev. A* 64, 052305 (2001).
- [10] G. Brassard, N. Lütkenhaus, T. Mor, and B. C. Sanders, *Phys. Rev. Lett.* 85, 1330 (2000).
- [11] E. Jeffrey, N. A. Peters, and P. G. Kwiat, *New J. Phys.* 6, 100 (2004).
- [12] Z. Walton, A. V. Sergienko, M. Atatüre, B.E.A. Saleh, M.C. Teich, *J. Mod. Opt.* 48, 2055 (2001).
- [13] J. Kim, S. Takeuchi, Y. Yamamoto, H.H. Hogue, *Appl. Phys. Lett.* 74, 902 (1999).
- [14] S. Brattke, B.T.H. Varcoe, H. Walther, *Phys. Rev. Lett.* 86, 3534 (2001).
- [15] A. J. Miller, S.W. Nam, J.M. Martinis, A.V. Sergienko, *Appl. Phys. Lett.* 83, 791 (2003).
- [16] K. Banaszek, I.A. Walmsley, *Opt. Lett.* 28, 52 (2003).
- [17] O. Haderka, M. Hamar, J. Peřina, Jr., *Eur. Phys. J. D* 28, 149 (2004).
- [18] J. Řeháček, Z. Hradil, O. Haderka, J. Peřina Jr, M. Hamar, *Phys. Rev. A* 67, 061801(R) (2003).
- [19] B. M. Jost, A. V. Sergienko, A.F. Abouraddy, B. E. A. Saleh, and M. C. Teich, *Opt. Express* 3, 81 (1998).
- [20] J. Peřina Jr, O. Haderka, and M. Hamar, "Statistical properties of twin beams generated in spontaneous parametric downconversion", arXiv:quant-ph/0310065.
- [21] B. E. A. Saleh, *Photoelectron Statistics in Springer Series in Optical Sciences*, (Springer, Berlin, 1978).
- [22] A. P. Dempster, N. M. Laird, and D. B. Rubin, *J. R. Statist. Soc. B* 39, 1 (1997).
- [23] Y. Vardi and D. Lee, *J. R. Statist. Soc. B* 55, 569 (1993).
- [24] M. Hillery, *Phys. Rev. A* 35, 725 (1987); M. Hillery, *Phys. Rev. A* 31, 338 (1985).
- [25] O. Haderka, J. Peřina Jr., M. Hamar, and J. Peřina, "Direct measurement and reconstruction of nonclassical features of twin beams generated in spontaneous parametric down-conversion", to appear in *Phys. Rev. A* (2005).

Corresponding author: RNDr. Ondřej Haderka, Ph.D., phone (+420) 585631511, e-mail: haderka@sloup.upo.cz

Prof. Ing. Miroslav Kopřiva, CSc. osmdesátníkem



Na sklonku loňského roku, se svou rodinou, přáteli a spolupracovníky, prof. Ing. Miroslav Kopřiva, CSc. oslavil osmdesáté narozeniny.

Narodil se 30. prosince 1924 v Brně, kde po ukončení základního vzdělání se vyučil (1943) jemným mechanikem u firmy J. Suchánek (později Meopta Brno) a tam také pracoval, s přerušením totálního nasazení, do roku 1945. V letech 1945-1947 absolvoval mistrovskou školu jemné mechaniky a optiky na Vyšší průmyslové škole v Přerově, kde také pokračoval v nástavbovém studiu a maturoval v roce 1949, v období 1949-1953 absolvoval fakultu strojního inženýrství Vysoké školy technické dr. E. Beneše v Brně.

V období 1953-1956 působí jako odborný asistent na katedře strojírenské technologie Vysoké školy báňské v Ostravě, v letech 1956-1963 pracuje nejprve (1956-1958) ve funkci technika svařování tehdejší VHJ Přerovské strojíreny, později (1958-1963) pak ve funkci hlavního technologa montážního závodu Přerovských strojíren, přičemž aktivně spolupracuje s řadou akademických a výzkumných pracovišť. Nesporné odborné kvality Ing. M. Kopřiva a živý styk s praxí jsou hlavním důvodem nabídky prof. RNDr. E. Kepřta, tehdejšího vedoucího a zakladatele katedry jemné mechaniky a optiky (1962) na Přírodovědecké fakultě UP v Olomouci, k přechodu na tuto katedru a vybudování oboru jemná mechanika.

Této nabídky Ing. M. Kopřiva využívá se zarputilostí sobě vlastní, vrhá se do nové práce, přednáší, píše skripta, vede diplomové práce, netradičně otcovsky vede několik ročníků studentů, které celoživotně odborně i lidsky nasměroval, zakládá z ničeho laboratoře materiálů a technologie pro jemnou mechaniku, je propagátorem spolupráce univerzity s praxí, intenzivně sám spolupracuje s prů-

myslovou strojírenskou praxí, s elektrotechnickým průmyslem, se stomatology a řadou dalších oborů, odborně publikuje. Vědeckou hodnost CSc. obhájil v roce 1966 na Vysoké škole technické v Brně pro obor fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálů, tam také habilituje v oboru strojírenská technologie v roce 1968, docentem je na PřF UP v Olomouci jmenován v témže roce.

Normalizační období zmrazuje jeho další kariérní růst, o to více se však věnuje studentům, výzkumné práci ve svém oboru, včetně rozsáhlé spolupráce s praxí. Po roce 1989, s racionálností sobě vlastní, moudrostí a nadhledem svých životních zkušeností, přijímá funkci proděkana a předsedy rehabilitační komise na PřF UP v Olomouci, Vysoká škola báňská v Ostravě oceňuje vědeckou a pedagogickou kvalitu doc. Kopřiva a po úspěšném řízení jej jmenuje v roce 1992 profesorem oboru strojírenská technologie.

Zdálo by se, že důchodce prof. Ing. Miroslav Kopřiva, CSc. by mohl v klidu své rodiny odpočívat a dělat jen samé příjemné věci, věnovat se snad i koníčkům. Jeho světem je však jemná mechanika a tak bylo jen logické, že po krátké pauze se vrací, tentokrát na půdu Společné laboratoře optiky UP a FZÚ AV ČR v Olomouci, aby konzultoval a oponoval magisterské a doktorské práce, podílí se radami na modernizaci a tvorbě nových výukových předmětů, významně pomáhá v redakci časopisu Jemná mechanika a optika, publikuje, je aktivním soudním znalcem Krajského soudu v Ostravě, vtipně glosuje dění kolem sebe i ve státě, zkrátka plní úspěšně roli nestora pracoviště, které považuje za své, a to právem.

Nezbývá než popřát jubilantovi pohodu, dobré zdraví a jemu vlastní optimismus do dalších let.

*Prof. RNDr. Lubomír Dvořák, CSc., děkan PřF UP
Prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc.,
vedoucí SLO UP a FZÚ AV ČR*



Až 100 000 Kč pro české firmy

V norském Oslu se bude ve dnech 7. až 10. června 2005 konat jedna ze tří na světě největších mezinárodních námořních výstav NOR-SHIPPING. Setkávají se na ní vystavovatelé, obchodníci a odborníci, kteří mají co do činění s loďářstvím, námořnictvím a souvisejícími službami. Na novém, moderním výstavišti má výstava celkovou rozlohu 32 000 m² a je pořádána každý druhý rok za účasti 700 vystavovatelů ze 40 zemí. Zajímá se o ní více než 14 000 návštěvníků včetně dvou stovek novinářů.

Okruh výrobků a služeb, které souvisejí s námořní dopravou a mají své místo na této speciální výstavě, je velmi široký. Týká se nejen stavby lodí, ale také jejich vybavení a zařízení. Proto i nomenklatura je rozsáhlá a pro vystavovatele i návštěvníky velmi přitažlivá:

- stavba lodí, opravy, konverze, design
- naftové motory, pohonné systémy, náhradní díly
- zařízení a vybavení palub, pomocné stroje, čerpadla, kompresory, jeřáby, materiály
- námořní elektronika, navigace, určování polohy, měřicí a kontrolní přístroje
- námořní komunikace a software
- lodní nábytek, obložení, dekorace, osvětlení, podlahy, kuchyně, nádobí, porcelán a nápojové sklo
- bezpečnost, záchrana, přežití, plovací vesty, alarmové systémy
- zásobování na volném moři a u pobřeží

- zařízení údržby, chemikálie, povrchové úpravy, povlaky, barvy
- přístavní služby
- klasifikace, lodní management, konzultace
- publikační činnost a další servisní obory

V současnosti má Norská veletržní správa již vyprodáno 80 % výstavní plochy. Národními expozicemi se letos budou prezentovat např. Čína, Dánsko, Finsko, Francie, Holandsko, Japonsko, Kanada, Korea, Německo, Norsko, Polsko, Rusko, Singapur, Španělsko, Švédsko, USA a Velká Británie. Ve společné expozici na ploše asi 140 m² se představí také Česká republika.

Českým vystavovatelům poskytuje Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO) finanční příspěvek na nájemné za výstavní plochu. České firmy s více než 250 zaměstnanci obdrží od MPO příspěvek ve výši 50 % na krytí nájmu čisté výstavní plochy až do výše 100 000 Kč. Malým a středním podnikům s méně než 250 zaměstnanci uhradí MPO 100 % nájmu čisté výstavní plochy, opět do výše 100 000 Kč.

Náborem českých vystavovatelů a organizací české oficiální účasti na výstavě NOR-SHIPPING byla Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR pověřena agentura Progres Partners Advertising s.r.o., Opletalova 55, 110 00 Praha 1, PhDr. Jindřich Jirásek, tel.: 224 236 506, fax: 224 218 312, e-mail: info@ppa.cz, www.ppa.cz. Uvedená agentura poskytuje veškeré informace týkající se možnosti v Oslu vystavovat. (jpe)

CONTENTS

Editorial (K. Jungwirth)	3
World Year of Physics started in Paris (M. Libra)	3
40 years of the Joint Laboratory of Physics of Palacky University and Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic in Olomouc (M. Hrabovský)	4
Electron beam welding application in the instrument technique (M. Hrabovský, M. Kopřiva, R. Kubínek)	5
This contributed paper informs about the use of electron beam welding of beryllium bronzes in vacuum thermally treated by precipitation hardening and their revealed parameters – extension strength, changes of microhardness of welded zones and microstructures. Structural variations are documented in microphotographies.	
SPIE/CS - a society of Czech optics informs	26
Prof. Ing. Miroslav Kopřiva, CSc. in his eighties (L. Dvořák, M. Hrabovský)	31
Up to 100 thousand CZK for Czech companies (jpe)	31

ANOTACE

Návrh systému ultratenkých zrcadel pro LIDAR (M. Pech, M. Hrabovský, P. Schovánek, M. Palatka, L. Nožka, D. Mandát, J. Řídký)	8
Pro atmosférický LIDAR, určený pro měření atmosférického absorpčního koeficientu, je vhodné užít nezobrazovacího optického systému s použitím ultratenkých zrcadel z materiálu SIMAX. Pro tento optický systém můžeme úspěšně využít dobrých zkušeností s výrobou a aplikací zrcadel tohoto typu z projektů zabývajících se detekcí vysoko-energetických částic z vesmíru.	
Český příspěvek v projektu AIRFLY (L. Nožka, P. Schovánek, M. Palatka, M. Hrabovský, J. Řídký, V. Vacek, M. Boháčová, M. Pech, M. Doubrava, D. Mandát)	11
Cílem projektu AIRFLY je napodobit a proměřit proces fluorescenční a Čerenkovské emise vznikající dopadem kosmického záření na molekuly dusíku ve vyšších vrstvách atmosféry. Bylo navrženo několik uspořádání pro měření fluorescenčního a Čerenkovského světla. V tomto článku uveřejňujeme ty, které byly navrženy Českou skupinou spolupracující na tomto projektu	

Simulace laserového svařování kruhových svarů metodou konečných prvků (R. Čtvrtlík, H. Chmelíčková, M. Havelková)

14

V současné době se modelování fyzikálních procesů metodou konečných prvků (FEM) využívá téměř ve všech oblastech vědy a aplikovaného výzkumu v průmyslu. V naší práci bylo použito FEM pro simulaci procesu laserového svařování osových kruhových svarů. Následný experiment proběhl pomocí pulsního Nd:YAG laseru, kdy byl ověřen vliv hlavních parametrů procesu na kvalitu svaru nízkouhlíkové oceli.

Vliv vlhkosti vzduchu na spektrální odezvu holografického interferenčního filtru zaznamenaného do dichromované želatiny (P. Šmíd, H. Hiklová)

17

Dichromovaná želatina je materiál vhodný pro záznam hologramů objemového typu. Avšak její citlivost na vzdušnou vlhkost způsobuje komplikace s udržením konstantních vlastností zaznamenaného hologramu. Aby se mohlo demonstrovat toto chování, je zaznamenan holografický interferenční filtr a vyšetřován pomocí spektrometru. Zjišťují se spektrální propustnosti filtru v závislosti na čase uplynulém od okamžiku konce procesu vyvolání filtru.

Souhrn experimentálních výsledků dosažených v laboratoři fotonové optiky (J. Soubusta, O. Haderka, J. Peřina Jr., M. Hendrych, M. Hamar, R. Myška, P. Pavlíček, V. Urbášek, M. Dušek, R. Filip, J. Fiurášek, P. Trojek, A. Černoch, M. Gavenda, M. Ježek)

20

Tento článek popisuje desetiletou historii laboratoře fotonové optiky v Olomouci.

Srovnání měření tvaru implantátu kloubní jamky pomocí profilometrie a topografie (D. Mandát, L. Nožka, M. Hrabovský, T. Rössler)

23

Článek je věnován dvěma optickým metodám měření, které jsou ve Společné laboratoři vyvíjeny. Jedná se o 3D skenovací profilometrii a jednoprojektorová moiré topografii, které jsou určeny pro bezkontaktní měření tvaru povrchu předmětů. Ačkoliv je cíl obou metod stejný, cesta k dosažení výsledku je diametrálně odlišná. Obě metody byly aplikovány na stejný problém – měření tvaru implantátu kloubní jamky. Tato skutečnost umožňuje provést srovnání vlastností metod.

Analýza korelovaných fotonových párů pomocí masivně multikanálového detektoru (O. Haderka, M. Hamar, J. Peřina Jr.)

27

Intenzifikovaná CCD kamera je využita jako detektor pro analýzu korelovaných fotonových párů generovaných v procesu spontánní sestupné parametrické konverze. Kamera se svými detekčními body představuje masivní multikanálový detektor počtu fotonů, který umožnil měřit fotopulzní statistiku v signálovém a jalovém polích. Omezená kvantová detekční účinnost, šumy i možná ztráta jednoho nebo i obou fotonů z páru byly vzaty do úvahy. Sdružené fotopulzní rozdělení pro signálový a jalový svazky bylo určeno pomocí algoritmu maximální věrohodnosti. Prostorové rozlišení kamery umožnilo studovat prostorové vlastnosti korelací fotonů v páru. Plocha charakterizující prostorové korelace fotonů v páru byla určena.

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

2004

Ročník XXXXIX

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.

Tiskne TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov

Odpovědný zástupce vydavatele: Jan Řídký, CSc.

Šéfredaktor: dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce: Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, tel. 581 242 151, 581 241 111, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222

REDAKČNÍ RADA:

Předseda: RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, a. s., Přerov, **členové:** RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, RNDr. 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, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, a. s., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, 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 Moores 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.

Autorský rejstřík 2004

Aubrecht I.	6/174	Heroutová	J. 1/27	Kolíbal M.	9/262
Autrata R.	4/112	Hiklová H.	10/298	Kollárová V.	1/6
Bábor P.	9/262, 265	Hlubina P.	1/3, 3/73	Kolman P.	9/248
Baby V.	11-12/326	Hofreiter M.	5/154	Kopčok M.	1/29
Bartl J.	7-8/213, 11-12/334, 336	Holý S.	5/142	Kostelník P.	9/265
Benešová M.	9/242	Hon P.	1/20	Král P.	7-8/218
Bernard J.	5/133	Horiňák P.	2/52, 3/92, 4/114, 128, 6/179, 181,	Kraus M.	5/154
Bican P.	2/42		7-8/207, 10/315,	Krupičková Z.	1/22
Bíla J.	5/134		11-12/333, 348, 349, 353	Křesálek V.	3/78
Bonaventurová				Kučerová E.	6/194, 10/314
Zrzavecká O.	9/260	Hostounský Z.	7-8/199	Kůr J.	9/271
Brandejsová E.	9/260	Hošek J.	5/146	Kvapil J.	7-8/211
Brázdilová J.	10/283	Hrabovský M.	6/191	Kwong W. C.	11-12/326
Brès C. S.	11-12/326	Humlíček J.	9/260	Lachnit F.	1/18
Brezina I.	3/94, 5/153, 159, 9/279, 11-12/354	Chmelíčková H.	10/302	Lazar J.	3/88
		Chmelík R.	9/248	Lejček L.	6/167
Buchta Z. 3	/88	Jacko V.	11-12/334, 336	Létal P.	6/163
Cao J.	7-8/231	Jakubík P.	2/35, 3/67, 4/115, 6/184, 7-8/202	Libra M.	2/42, 3/72, 5/159
Čandík M.	3/83, 4/121, 7-8/218	Jedlička M. (jpe)	1/25	Liška M.	9/235, 242
Čechal J.	9/260, 265		7-8/226, 227, 9/269, 10/311, 312, 11-12/354	Mach J.	9/265
Číp O.	3/88			Martínek Z.	1/23, 2/44, 3/85, 4/124, 6/187, 7-8/223, 9/277, 10/313, 11-12/350
Dado M.	2/50, 4/109	Jiráček M.	1/10, 2/47	Martynkien T.	1/3
Dostál J.	10/285	Kadleček	B. 1/18	Matoušek V.	3/88
Držík M.	11-12/320	Kaiser J.	9/235	Matoušková R.	4/126
Dudžák J.	1/29	Kalina J.	3/92	Matula V.	4/128
Faenov A.	9/235	Kameš J.	1/18	Mazalová J.	4/128
Ferbas P.	10/305	Kárník L.	2/59	Medřík T.	7-8/211
Garen W.	5/146	Keprt J.	10/298	Mesároš V.	11-12/343
Glesk I.	11-12/326	Kittler M.	5/151	Mikulecký I.	3/94
Hain M.	11-12/334, 336	Knop J.	7-8/231	Miler M.	1/22, 5/157, 6/174
Haumer Z.	4/127, 5/150, 6/190				

Motka V.	3/93	Preinbergs M.	1/27	Tichopádek P.	9/260
Navrátil M.	3/78	Prucnal P. R.	11-12/326	Tlapák M.	5/134
Navrátil K.	9/260	Průša S.	9/262	Tomanec O.	9/265
Nebojsa A.	9/260	Příbyl P.	11-12/353	Tománek P.	6/163,
Neděla V.	4/112	Raevová N.	7-8/229, 230		9/242,
Nenáhlo Č.	6/173, 177	Reale A.	9/235		245
Novák J.	11-12/354	Reale L.	9/235	Tomassetti G.	9/235
Novohradský I.	3/91	Red.	6/obálka	Tucci A.	9/235
Novotný R.	10/302	Ritucci A.	9/235	Tůma Z.	6/194
Ohlídal M.	9/251	Růžička T. 1	0/308	Turek I.	11-12/339
Odrobiňák R.	2/50, 4/109	Senderáková D.	6/obálka,	Uhlíř I.	10/308
Otevřelová D.	9/245		11-12/343, 348	Urbanczyk W.	1/3
Pala J.	1/28, 6/174	Schauer G. O.	11-12/349	Urbánek M.	9/260
Páleníková K.	9/251	Skála J.	4/104	Václavík P.	5/151
Pálka J.	3/81	Spanò L.	9/235	Václavíková E.	9/276
Papežová S.	5/142	Spousta J.	9/265	Vašina M.	10/292
Peřina J.	4/99	Střítecký M.	11-12/352	Vojtek P.	1/29
Peřina J. Jr.	10/302	Študenovský K.	5/138	Vlček J.	5/142
Petrů F.	3/88	Šeděnková J.	10/296	Voborný S.	9/265
Pikuz T.	9/235	Šída V.	6/193	Volf J.	5/142
Pokorná H.	4/126	Šikola T.	9/260, 262, 265	Xu Lei	11-12/326
Poliščuk R.	9/238	Šindelář V.	2/53	Zahálka P.	9/256
Poma A.	9/235	Šmíd P.	10/298	Zapletalová Z.	10/302
Pospíšil	J. 2/35, 3/67,	Štrba A.	11-12/319, 343	Zelinka I.	10/286
	4/115, 6/184,	Tarjányi N.	11-12/339	Zítek P.	5/131
	7-8/202	Tesařík B.	2/63, 3/94, 6/195,	Želinská J.	7-8/213
Poulek V.	2/42, 3/72		9/279	Žižka Z.	7-8/199

Věcný rejstřík 2004

1. OPTIKA

Měření disperze dvojlomu v optických vláknech s eliptickým jádrem s využitím spektrální interferometrie v bílém světle	1/3
Úprava elektrického astigmatického svazku	1/6
9. mezinárodní symposium o optické a mikrovlnné technice v Ostravě	1/22
Konference Diffractive Optics 2003 v Oxfordu	1/28
Samodifrakcia na laserem indukovaných dynamických mřížkách jako nástroj na meranie doby termalizácie	1/29
Informační aspekty jevů v digitálních elektronických zobrazovacích soustavách	2/35, 3/67, 4/115, 6/184, 7-8/202
Měření efektivních tlouštěk optických prvků známé disperze s využitím spektrální interferometrie v bílém světle	3/73
Metody přímého měření indexu lomu vzduchu založené na laserové interferometrii s vysokým rozlišením	3/88
Kvantová interference	4/99
Plne-optická konverzia vlnových délek	4/109
Digitální vodotisk založen na rozkladu obrazu do bitových rovin	4/121
Optická metoda měření prostorového rozložení hustoty uvnitř kavitační bubliny	5/146
Malý optický optimační program	5/151
Lokální optické vláknové sondy pro mikroskop pracující v blízkém poli	6/163
Optatec 2004 – 7. mezinárodní veletrh pro optické technologie, komponenty, systémy a výrobu	6/192
Výpočet odrazivosti čela vlnovodu mělce vnořeného do polovodičového materiálu	9/245
Možnosti optického profilometru Micro-Prof FRT při 3D hodnocení kvality povrchu	9/251
In situ analýza tenkých vrstev PMPSi pomocí spektroskopické elipsometrie	9/260
Faradayův jev v optickém vlákně	10/305
Návrh a experimentálna demonstrácia nekoherenčného optického CDMA systému na báze rýchle frekvenčne sa meniacich v čase sa posúvajúcich kódov	11-12/326

Laserový merací systém pre rýchle meranie funkčných geometrických parametrov komutátorových teliesok elektromotorov	11-12/334
Optické nedeštruktívne metódy testovania artefaktov kultúrneho dedičstva	11-12/336
Interferenčné zobrazenie fotorefraktívnych záznamov v tenkých vzorkách kryštálov LiNbO ₃	11-12/339

2. MĚŘÍCÍ TECHNIKA

Měření disperze dvojlomu v optických vláknech s eliptickým jádrem s využitím spektrální interferometrie v bílém světle	1/3
Samodifrakcia na laserem indukovaných dynamických mřížkách jako nástroj na meranie doby termalizácie	1/29
Úhly a jejich aplikace	2/53
Měření efektivních tlouštěk optických prvků známé disperze s využitím spektrální interferometrie v bílém světle	3/73
Bezdotykové měření teploty pomocí termočlávkové baterie	3/81
Porovnání výpočtů metody nejmenších čtverců a zobecněné metody nejmenších čtverců v aproximaci naměřených dat	3/83
Metody přímého měření indexu lomu vzduchu založené na laserové interferometrii s vysokým rozlišením	3/88
Stolek y, z, r _y , r _z pro fotometrii a radiometrii	5/138
Měřicí systém pro měření rozložení statických a dynamických tlaků s užitím v biomechanice	5/142
Optická metoda měření prostorového rozložení hustoty uvnitř kavitační bubliny	5/146
13. mezinárodní seminář „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“	5/153
Laboratorní model „Kolejové vozítko na nakloněné rovině“	5/154
Lokální optické vláknové sondy pro mikroskop pracující v blízkém poli	6/163
Vytváření fázových elementů záznamem sekvence binárních obrazců z prostorového modulátoru světla a jejich testování	6/174

Vliv teploty prostředí na výsledky měření	6/177
Svetelné normály	6/179
Fotometrické integrátory	6/181
Meranie rovinnnej osvetlenosti pri rôznych experimentoch	7-8/207
Využití synchrotronového záření 8,3-35 keV stanicí SYRMEP synchrotronu Elettra Trieste k mapování akumulace kovů v rostlinách	9/235
Vliv vzdálenosti hrot sondy-vzorek na rozlišovací schopnost rastrovacího optického mikroskopu v blízkém poli	9/242
Výpočet odrazivosti čela vlnovodu mělce vnořeného do polovodičového materiálu	9/245
Transmisní holografický mikroskop pro polychromatické světlo: návrh optické soustavy a vlastnosti zobrazení	9/248
Možnosti optického profilometru Micro-Prof FRT při 3D hodnocení kvality povrchu	9/251
Dotknout se neviditelného	9/256
Použití rozptylu iontů pro určení struktury povrchů	9/262
Aplikace komplexní UHV aparatury ke studiu nízkoteplotního růstu ultratenkých gallium-nitridových vrstev	9/265
Trendy provozní strojírenské metrologie	9/271
Věnujte trochu času – a získáte čas!	9/274
Dynamické chování indukčnostního snímače s vakuovým odstavováním	10/308
Využitie laserových a optických metód pri charakterizovaní mikroelektronických komponentov	11-12/320
Laserový merací systém pre rýchle meranie funkčných geometrických parametrov komutátorových teliesok elektromotorov	11-12/334

3. TECHNOLOGIE

Novinka: miniaturní ventilové terminály CPV-SC a CPA-SC	4/127
Stolek y , z , r_y , r_z pro fotometrii a radiometrii	5/138
Tlakový spínač nové generace	5/150
Monitory a televizní obrazovky s kapalnými krystaly	6/167
Vytváření fázových elementů záznamem sekvence binárních obrazců z prostorového modulátoru světla a jejich testování	6/174
Jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu – řady D a D-Micro	6/190
Optatec 2004 – 7. mezinárodní veletrh pro optické technologie, komponenty, systémy a výrobu	6/192
Saint-Gobain Advanced Ceramics, s. r. o., Turnov	6/193
Barevné vidění při měření tloušťky mazacího filmu	9/238
In situ analýza tenkých vrstev PMPSi pomocí spektroskopické elipsometrie	9/260
Použití rozptylu iontů pro určení struktury povrchů	9/262
Aplikace komplexní UHV aparatury ke studiu nízkoteplotního růstu ultratenkých gallium-nitridových vrstev	9/265
Plasty a kaučuk pro všechny obory	9/269
Věnujte trochu času – a získáte čas!	9/274
Fyzikální vlastnosti kapalin	10/292
IFM – odborný veletrh průmyslu	10/315

4. LASEROVÁ TECHNIKA, HOLOGRAFIE, MIKROSKOPIE

Samodifrakcia na laserom indukovaných dynamických mriežkach ako nástroj na meranie doby termalizácie	1/29
Návrh obvodu obnovy taktu pre plne-optickú 3R regeneráciu	2/50
Metody přímého měření indexu lomu vzduchu založené na laserové interferometrii s vysokým rozlišením	3/88
Laserový systém PALS	4/104
Metody elektronové mikroskopie pro pozorování vzorků obsahujících vodu	4/112
Stephen Benton, jeden z průkopníků holografie, zemřel	5/157
Lokální optické vláknové sondy pro mikroskop pracující v blízkém poli	6/163

RCH- a ARC-mikroskopie – nové kontrastní metody	7-8/199
Reflexní hologramy na deskách SLAVICH PFG-03C a PFG-03M	7-8/211
Analýza umeleckých a historických pamiatok UV mikroskopiou	7-8/213
Vliv vzdálenosti hrot sondy-vzorek na rozlišovací schopnost rastrovacího optického mikroskopu v blízkém poli	9/242
Transmisní holografický mikroskop pro polychromatické světlo: návrh optické soustavy a vlastnosti zobrazení	9/248
Využitie dichromovanej želatiny pro optický záznam hologramů	10/298
Zapečetění otevřených dentinových tubulů zářením Nd:YAG laseru	10/302
Využitie laserových a optických metód pri charakterizovaní mikroelektronických komponentov	11-12/320
Laserový merací systém pre rýchle meranie funkčných geometrických parametrov komutátorových teliesok elektromotorov	11-12/334
Koherencia žiarenia laserového diódového modulu	11-12/343

5. OČNÍ OPTIKA

6. FOTO-KINO-VIDEO

Panoramatická fotografie na film	1/10
Digitální panoramatická fotografie	2/47
Využití digitálního fotoaparátu pro sledování stavu síťovací reakce biopolymerů	3/78
Digitální vodotisk založen na rozkladu obrazu do bitových rovin	4/121
Některé vlastnosti vodotisku digitálních obrazů založeného na diskretní kosinové transformaci	7-8/218
Interferenčné zobrazenie fotorefraktívnych záznamov v tenkých vzorkách kryštálov LiNbO ₃	11-12/339

7. SVĚTELNÁ TECHNIKA

Systémy předního osvětlení automobilů	1/18
1. mezinárodní veletrh elektroinstalací a osvětlovací techniky 20. – 24. 4. 2004, Brno – výstaviště, Česká republika	1/22
Vysoce úsporné světelné zdroje v ostrovních fotovoltaických solárních systémech	2/42
Světelné zdroje nové generace pro automobilová svítidla	3/72
Osvetlenie vonkajších priestorov	3/92
Inšpirujúce dni v Nitre	4/114
Zjednodušený přehled preukazovania zhody při svietidlách	4/128
Svetelné normály	6/179
Fotometrické integrátory	6/181
Meranie rovinnnej osvetlenosti pri rôznych experimentoch	7-8/207
Zasadanie pracovnej skupiny č. 8 INTERELEKTRO v Bratislave	10/315
Kurz osvetľovacej techniky v Ostrave	11-12/333
Progresívna perspektíva firmy SLI na trhoch východnej Európy	11-12/349

8. VAKUOVÁ A KRYOGENNÍ TECHNIKA

9. OPTOELEKTRONIKA, NOKTOVIZE

Informační aspekty jevů v digitálních elektronických zobrazovacích soustavách	2/35, 3/67, 4/115, 6/184, 7-8/202
Návrh obvodu obnovy taktu pro plne-optickú 3R regeneráciu	2/50
Digitální vodotisk založen na rozkladu obrazu do bitových rovin	4/121
Monitory a televizní obrazovky s kapalnými krystaly	6/167

10. ZDRAVOTNICKÁ TECHNIKA

MEDICA oživuje trh: Inovace přinášejí zvýšenou účinnost a kvalitu do péče o pacienty	1/27
--	------

Konstrukce manipulačních nástaveb servisních robotů pro obsluhu pacientů	2/59
Zapečetění otevřených dentinových tubulů zářením Nd:YAG laseru	10/302
11. JUBILEA A VÝROČÍ	
Vzpomínání na začátky katedry Jemné mechaniky a optiky	1/20
Ústav přístrojové a řídicí techniky – ohlédnutí ke 140. výročí Fakulty strojní ČVUT	5/131
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně	10/283
Stručné dějiny Fakulty technologické	10/285
12. VELETRHY, VÝSTAVY, KONFERENCE	
9. mezinárodní symposium o optické a mikrovlnné technice v Ostravě	1/22
1. mezinárodní veletrh elektroinstalací a osvětlovací techniky 20. – 24. 4. 2004, Brno – výstaviště, Česká republika	1/22
Vzpomínka na 5. kongres ICO ve Stockholmu 1959	1/25
Nárůst vystavovatelů na veletrhu REHACare International 2003	1/27
MEDICA oživuje trh: Inovace přináší zvýšenou účinnost a kvalitu do péče o pacienty	1/27
Konference Diffractive Optics 2003 v Oxfordu	1/28
Veľtrh ELO SYS	2/52
HANNOVER MESSE 2004	3/77
Ohlédnutí Dioptry za veletrhem OPTA 2004	3/92
SHOT Show 2004	3/93
INTERKAMA+ HANNOVER 2004	3/95
Inšpirujúce dni v Nitre	4/114
Veľtrh Aqua-therm	4/114
MACH 2004 – 3. veletrh strojírenské techniky	4/126
Veľtrh MACH 2004	6/173
Optatec 2004 – 7. mezinárodní veletrh pro optické technologie, komponenty, systémy a výrobu	6/192
Elektrotechnika 2004 – 11. mezinárodní elektrotechnický veletrh	6/193
XIV. slovensko-česko-polská optická konference	6/obálka
Také optici a mechanici jsou sběratelé	7-8/226
Nejvýznamnější technické veletrhy konané ve 2. pololetí 2004	7-8/227
Kryté výstavní plochy téměř vyprodány	7-8/229
Soutěž o Zlaté medaile MSV a IMT 2004	7-8/230
Glasstec 2004	7-8/231
Oznámení	7-8/231
Z výstav	9/241
Odborný veletrh automatizační techniky	9/269
Výstava GLASSMAN EUROPE 2005	9/273
Věnujte trochu času – a získáte čas!	9/274
Pozvánka na MSV a Automatizaci 2004	9/275
Metal Working China 2004	9/276
Veľtrh AQUA-THERM v Praze na vysoké úrovni	10/311
Po dvou letech opět ELECTRONICA 2004	10/312
Mikrotechnika na veletrzích MEDICA a ComPaMED	10/312
Zasadanie pracovnej skupiny č. 8 INTERELEKTRO v Bratislave	10/315
IFM – odborný veletrh průmyslu	10/315
14. slovensko-česko-polská optická konferencia „Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics“ sa skončila	11-12/319
Autosalón Nitra 2004 – to je aj elektronika v autách	11-12/348
Progresívna perspektíva firmy SLI na trhoch východnej Európy	11-12/349
Chystá se jedenáctá OPTA	11-12/352
Okrúhle, 10. jubileum veľtrhu ELO SYS	11-12/353
Nitranský AQUA-THERM pro celou Evropu	11-12/354
13. SEMINÁŘE, VZDĚLÁVÁNÍ	
Ústav přístrojové a řídicí techniky – ohlédnutí ke 140. výročí Fakulty strojní ČVUT	5/131
Biomedicínské a rehabilitační inženýrství - Magisterský studijní obor na Fakultě strojní ČVUT v Praze	5/133
13. mezinárodní seminář „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“	5/153
Nositel Nobelovy ceny za fyziku prof. James Watson Cronin v České republice	6/191
Nabídka akcí České metrologické společnosti září – prosinec 2004	6/194
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně	10/283
Stručné dějiny Fakulty technologické	10/285
Evoluční řízení časoprostorového deterministického chaosu	10/286
Kurz osvětlovací techniky v Ostravě	11-12/333
Za Katedrou optiky Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave	11-12/348
14. mezinárodní seminář	11-12/353
14. RŮZNÉ	
Dějiny čs. hodinářského průmyslu do roku 1948	1/23, 2/44, 3/85, 4/124, 6/187, 7-8/223, 9/277, 10/313, 11-12/350
Z dílny starých mistrů	2/46, 4/120, 6/obálka, 9/255
Úhly a jejich aplikace	2/53
Představení společnosti PZP KOMPLET a. s.	3/91
SHOT Show 2004	3/93
Stephen Benton, jeden z průkopníků holografie, zemřel	5/157
SPIE/CS – společnost optiků informuje	6/194, 10/314
Také optici a mechanici jsou sběratelé	7-8/226
Evoluční řízení časoprostorového deterministického chaosu	10/286
Moderní variační technologie	10/296
Optické nedeštruktivní metody testování artefaktů kulturního dědictví	11-12/336
15. Z TECHNICKÉ KNIHOVNY	2/63, 3/94, 4/128, 5/159, 6/195, 9/279, 11-12/354
16. VOJENSKÁ TECHNIKA A TECHNOLOGIE (Optika, optoelektronika, přístroje, integrované systémy a technologie)	
17. KONSTRUKCE PŘÍSTROJŮ	
Vysoce úsporné světelné zdroje v ostrovních fotovoltaických solárních systémech	2/42
Konstrukce manipulačních nástaveb servisních robotů pro obsluhu pacientů	2/59
Inženýrské ontologie pro reprezentaci funkcí v konceptuálním navrhování	5/134
Stolek y , z , r_y , r_z pro fotometrii a radiometrii	5/138
Měřicí systém pro měření rozložení statických a dynamických tlaků s užitím v biomechanice	5/142
Optická metoda měření prostorového rozložení hustoty uvnitř kavitační bubliny	5/146
Laboratorní model „Kolejové vozítko na nakloněné rovině“	5/154
Barevné vidění při měření tloušťky mazacího filmu	9/238
Vliv vzdálenosti hrot sondy-vzorek na rozlišovací schopnost rastrovacího optického mikroskopu v blízkém poli	9/242
Transmisní holografický mikroskop pro polychromatické světlo: návrh optické soustavy a vlastnosti zobrazení	9/248
Aplikace komplexní UHV aparatury ke studiu nízkoteplotního růstu ultratenkých gallium-nitridových vrstev	9/265
Dynamické chování indukčnostního snímače s vakuovým odstavováním	10/308
Využití laserových a optických metod při charakterizování mikroelektronických komponentů	11-12/320
Návrh a experimentální demonstrace nekoherenčního optického CDMA systému na bázi rychle frekvenčně sa meniacich v čase sa posúvajúcich kódov	11-12/326
Optické nedeštruktivní metody testování artefaktů kulturního dědictví	11-12/336