

IZDAJA DRUŠTVO MATEMATIKOV, FIZIKOV IN ASTRONOMOV SLOVENIJE

ISSN 0473-7466

ODPISANO

2004

Letnik 51

1

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO



OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

Glasilo Društva matematikov, fizikov in astronomov Slovenije
Ljubljana, JANUAR 2004, letnik 51, številka 1, strani 1–32

Naslov uredništva: DMFA-založništvo, Jadranska ul. 19, p. p. 2964, 1001 Ljubljana.
Spletna stran: <http://www.fmf.uni-lj.si/~zaloznistvo/omf/> **Telefon:** (01) 4766 553, 4232 460. **Telefaks:** (01) 2517281. **Transakcijski račun:** 03100–1000018787. **Devizna nakazila:** SKB banka d. d., Ajdovščina 4, 1513 Ljubljana. **SWIFT:** SKBAS12X. **IBAN:** SI56 0310 0100 0018 787.

Uredniški odbor: Mirko Dobovišek (glavni urednik), Roman Drnovšek (urednik za matematiko in odgovorni urednik), Marko Zgonik (urednik za fiziko), Nada Razpet (novice), Pavle Saksida (nove knjige), Marjan Jerman (tehnični urednik).

Jezikovno pregledal Janez Juvan, računalniško oblikoval Martin Zemljič. Natisnjeno v Tiskarni KURIR v nakladi 1450 izvodov.

Člani društva prejema Obzornik brezplačno. Celoletna članarina je 5000 SIT, za študente 2500 SIT. Naročnina za ustanove je 8000 SIT, za tujino 30 EUR. Posamezna številka za člane je 1.000 SIT, stare številke 520 SIT.

DMFA je včlanjeno v Evropsko matematično društvo (EMS), v Mednarodno matematično unijo (IMU), v Evropsko fizikalno društvo (EPS) in v Mednarodno združenje za čisto in uporabno fiziko (IUPAP). DMFA ima pogodbo o recipročnosti z Ameriškim matematičnim društvom (AMS).

Revija izhaja praviloma vsak drugi mesec. Sofinancira jo Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport.

© 2004 DMFA Slovenije – 1577

Poštšina plačana na pošti 1102 Ljubljana.

NAVODILA SODELAVCEM OBZORNIKA ZA ODDAJO PRISPEVKOV

Obzornik za matematiko in fiziko objavlja znanstvene in strokovne članke iz matematike, fizike in astronomije, včasih tudi kak prevod. Poleg člankov objavlja prikaze novih knjig s teh področij, poročila o dejavnosti Društva matematikov, fizikov in astronomov Slovenije in vesti o drugih pomembnih dogodkih v okviru omenjenih znanstvenih ved. Prispevki naj bodo zanimivi in razumljivi širšemu krogu bralcev, diplomantov iz omenjenih strok.

Članek naj vsebuje naslov, ime avtorja (oz. avtorjev), sedež institucije, kjer avtor(ji) dela(jo), izvleček v slovenskem jeziku, naslov in izvleček v angleškem jeziku, klasifikacijo (MSC oziroma PACS) in citirano literaturo. Slike in tabele, ki naj bodo oštevilčene, morajo imeti dovolj izčrpen opis, da jih lahko večinoma razumemo ločeno od besedila. Avtorji člankov, ki želijo objaviti slike iz drugih virov, si morajo za to sami priskrbeti dovoljenje (copyright). Prispevki morajo biti poslani v dvojniku, natisnjeni enostransko na belem papirju formata A4. Zaželena velikost črk je vsaj 12 pt, razmik med vrsticami pa vsaj 18 pt.

Prispevke pošljite odgovornemu uredniku ali uredniku za matematiko oziroma fiziko na zgoraj napisani naslov uredništva. Vsak članek se praviloma pošlje vsaj enemu anonimnemu recenzentu, ki mora predvsem natančno oceniti, kako je obravnavana tema predstavljena, manj pomembna pa je originalnost (in pri matematičnih člankih splošnost) rezultatov. Če je prispevek sprejet v objavo in če je besedilo napisano z računalnikom, potem urednik prosi avtorja za izvorno datoteko. Le-te naj bodo praviloma napisane v eni od standardnih različic urejevalnikov $\text{\TeX}$ oziroma $\text{\LaTeX}$, kar bo olajšalo uredniški postopek.



TEKOČEKRYSTALNI ELASTOMERI

MIHA RAVNIK

PACS: 61.30.Vx

Tekočekristalni elastomeri (TKE) so snovi, ki združujejo lastnosti klasičnih elastomerov in tekočih kristalov. Ločimo smektične in nematske TKE. Fazni prehod TKE iz nematske v izotropno fazo se kaže kot zelo obetaven za uporabo pri izdelavi umetnih mišic.

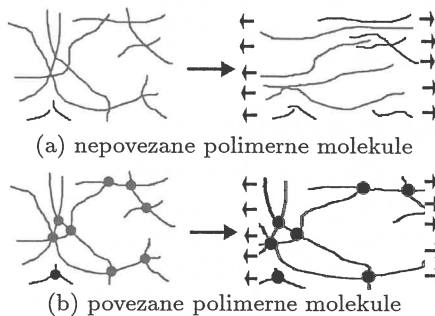
LIQUID-CRYSTALLINE ELASTOMERS

Liquid-crystalline elastomers (LCEs) are materials with combined properties of classical elastomers (rubbers) and liquid crystals. Smectic and nematic LCEs can be found. Phase transition of LCEs from nematic to isotropic phase is very prospective for use in artificial muscles.

1. Uvod

Skozi celotno zgodovino ljudje izdelujemo nova orodja in stroje, ki nam pomagajo pri vedno bolj zapletenih delovnih operacijah: od gradnje podmorskih tunelov do izdelave vesoljskih plovil. Ni pa nam še uspelo izdelati uporabnega nadomestka za naše lastne mišice. Množica raziskovalcev in inženirjev zato išče ustrezni material, ki bi ga na razmeroma enostaven način lahko krmilili in bi hkrati imel podobne lastnosti kot naravne mišice. V zadnjem času se kot izredno perspektivni kažejo tekočekristalni elastomeri (TKE). Prve objave o TKE so stare približno deset let, tako da so to še razmeroma „mladi“ materiali. TKE so, kot že ime namiguje, snovi, ki združujejo lastnosti navadnih tekočih kristalov in klasičnih elastomerov [1], [2], [3], [4].

Slika 1. Shematska slika deformacije elastomera, če nanj delujemo z zunanjo silo za nepovezane in povezane polimerne molekule. (a) Polimerne molekule niso povezane; ob deformaciji se uredijo v smeri delovanja sile, vendar se ob tem „razpletejo“. (b) Polimerne molekule so povezane s povezovalnimi skupinami; ob deformaciji se uredijo, vendar ostanejo povezane.



Elastomeri, bolj znani pod imenom gume, so mikroskopsko gledano mreže naključno prepletenih polimernih verig, ki so med seboj povezane z različnimi povezovalnimi skupinami oz. elementi. Povezovalne skupine oz. elementi so bistveni za elastično obnašanje elastomerov, ker preprečujejo, da bi se polimerne molekule ob deformaciji enostavno „razpletle“. Deformacija elastomera ob delovanju zunanje natezne sile je predstavljena na sliki 1.

Glavna lastnost elastomerov je, da se na zunanjo silo odzovejo z reverzibilno, delno reverzibilno ali ireverzibilno deformacijo mrežnih verig (odvisno od velikosti zunanje sile) in pri tem preidejo iz popolnoma neurejenega izotropnega ravnovesnega stanja, torej stanja z minimalno prosto energijo, v bolj urejeno stanje, v katerem se prosta energija poveča, snov pa postane anizotropna. Prav ta lastnost spremembe proste energije ob deformaciji postavlja elastomere med trdne snovi, čeprav imajo na mikroskopskem nivoju tipične lastnosti tekočine, kot so gibljivost, fluidnost in neurejenost [1].

Tekoči kristali so v primerjavi z elastomeri snovi, za katere so poleg osnovnih treh faz (trdna, tekoča in plinasta) značilne še dodatne mezofaze, ki so posledica delnega pozicijskega urejanja snovi ali pa orientacijskega urejanja molekul [5]. Pojavljajo se v snoveh, zgrajenih iz podolgovatih oz. ploščatih molekul. Če so pri tem gradniki urejeni v plasti, ki so naložene druga na drugo z dobro določenim razmikom, govorimo o smektičnih tekočih kristalih. Če pa so gradniki le preferenčno orientirani vzdolž neke osi, obenem pa izotropno porazdeljeni po prostoru, govorimo o nematskih tekočih kristalih.

Že sam obstoj materialov, ki združujejo red tekočih kristalov in nered elastomerov, obljublja nove pojave in nove lastnosti. V članku bomo predstavili nekatere lastnosti nematskih TKE, kot so odziv na spremembo temperature, odziv na zunanjo silo oziroma napetost, optične lastnosti in posebno lastnost nematskih TKE – mehko elastičnost. Smektične TKE bomo samo omenili.

2. Osnovne lastnosti elastomerov in tekočih kristalov

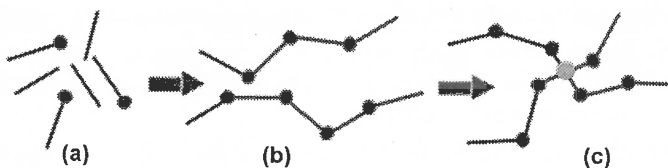
Lastnosti tekočokristalnih elastomerov so neposredno povezane z makroskopskimi lastnostmi polimerne strukture elastomera in mikroskopskim tekočokristalnim redom, zato bomo v naslednjem oddelku ločeno predstavili osnovne mikroskopske in makroskopske lastnosti elastomerov in tekočih kristalov.

2.1 Elastomeri

Elastomer je makromolekulski material, ki se po prenehanju delovanja zunanje sile hitro vrne v približno začetne dimenzije in obliko. Za gumo, kot tipičnega predstavnika elastomerov, velja dogovor, da se mora pri sobni temperaturi (20–27°C), če smo jo držali eno minuto raztegnjeno na dvakratno začetno dolžino, v manj kot eni minuti skrčiti na vsaj 1,5-kratno začetno dolžino [6]. Temu pogoju tipični elastomeri brez težav zadostijo, saj so ob podobnih pogojih časi, v katerih se snov vrne v približno začetno stanje, praviloma dosti krajši (~ ms).

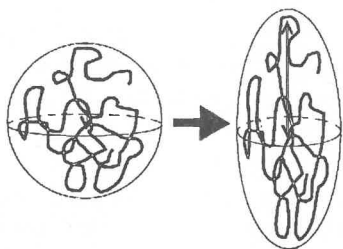
Tipični elastomeri so: naravna guma, neopren, hypalon, izoprenska guma in silikoni. Osnovni gradniki elastomerov, ki jih imenujemo monomeri, so večinoma lahki ogljikovodiki ali silikoni. Če v monomeru katerega izmed

vodikov, vezanih na ogljik oz. silicij, zamenjamo z reaktivnim elementom ali skupino (npr. s halogenim elementom, karboksilno ali aldehydno skupino), le-te skupine med seboj tvorijo vezi in tako povežejo monomere v polimer. Polimerne verige se lahko direktno, običajno pa prek nekega vezavnega elementa (npr. žvepla) ali manjše molekule vežejo druga na drugo. Tako dobimo elastomer. Shema procesa nastajanja elastomera je predstavljena na sliki 2.

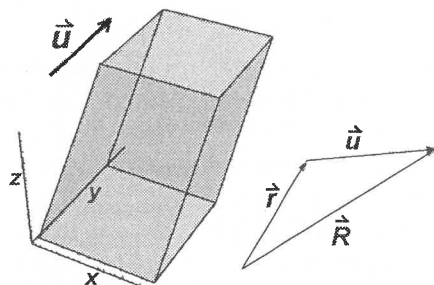


Slika 2. Shematska slika nastanka elastomera. (a) monomeri, (b) polimerne verige, sestavljene iz množice monomerov, (c) elastomer, sestavljen iz polimernih verig, povezanih z vezavnimi skupinami.

Entropijo oziroma prosto energijo elastomerov vpeljemo neposredno v povezavi z obliko polimernih molekul in načinom povezave med posameznimi molekulami. Deli polimernih molekul so v termičnem ravnovesju popolnoma izotropno orientirani, zato je v grobem približku prostor, ki ga zavzema posamična polimerna molekula, kar sferičen. Entropija je tako maksimalna, prosta energija (delo, ki ga molekula lahko opravi) pa posledično minimalna. Če pa v elastomerno mrežo vezano polimerno molekulo poskušamo raztegniti v izbrani smeri, moramo zaradi elastičnih sil med povezovalnimi skupinami in drugimi molekulami opraviti delo. Pri raztezanju v materialu porušimo izotropnost (posamična molekula ni več „sferična”), saj se pojavi preferenčna smer v smeri delovanja deformacijske sile. Polimerne molekule se tako orientirajo vzdolž smeri delovanja deformacijske sile in urejenost materiala se poveča. „Volumen”, ki ga posamezna molekula po deformaciji zavzema, ostane praviloma enak, saj med deli polimerne molekule prevladuje sterična interakcija. Entropija elastomerov se torej ob ustrezni deformaciji zmanjša, kar je njihova tipična lastnost. Shematska slika deformacije je predstavljena na sliki 3.



Slika 3. Shematska slika deformacije polimerne molekule.



Slika 4. Shematska slika deformacije kosa snovi.

V kontinuumski teoriji elastomer, podobno kot druge elastične trdne snovi, obravnavamo kot zvezen izotropen medij, katerega deformacijo opišemo z vektorskim poljem premikov. V Lagrangeevi sliki je vektor premika izražen z naborom koordinat še nedeformiranega medija. Velja [7]:

$$R_i(x_k) = x_i + u_i(x_k), \quad (1)$$

kjer je x_i komponenta radij vektorja $\vec{r}$ do opazovanega dela medija pred deformacijo, R_i komponenta radij vektorja $\vec{R}$ do opazovanega dela po deformaciji in u_i komponenta vektorja premika $\vec{u}$. Shematska slika deformacije kosa snovi je predstavljena na sliki 4.

Za obravnavo kinematike deformacije uvedemo tenzor deformacije u_{ik} kot [7]:

$$u_{ik} = \frac{1}{2} \left(\underbrace{\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i}}_{\text{linearni del}} + \underbrace{\frac{\partial u_l}{\partial x_i} \frac{\partial u_l}{\partial x_k}}_{\text{nelinearni del}} \right). \quad (2)$$

V okviru linearnih deformacij upoštevamo le linearni del tenzorja deformacije. Diagonalni elementi tenzorja deformacije predstavljajo relativne raztezke v smeri baznih vektorjev, izvendagonalni elementi pa so sorazmerni kosinusom kotov med osmi, ki so bile pred deformacijo med seboj pravokotne. Sled tenzorja deformacije $\text{Tr}(u_{ik})$ ustreza relativni spremembi volumna obravnavanega kosa snovi.

Za fenomenološki opis snovi uvedemo gostoto proste energije f , ki predstavlja največje možno razpoložljivo delo, ki ga lahko pri konstantni temperaturi opravi deformirana snov, na enoto volumna. Gostota proste energije f je v splošnem funkcija skalarnih invariant tenzorja deformacije in je odvisna od lastnosti ter simetrij obravnavane snovi. Za izotropno in homogeno snov velja v okviru linearne odvisnosti med napetostjo in deformacijo v snovi:

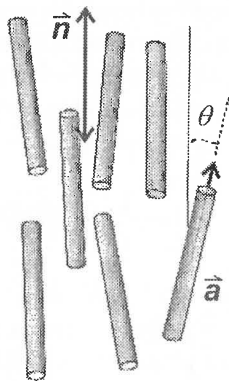
$$f(u_{ik}) = f_0 + \frac{1}{2} \kappa \text{Tr}^2(u_{ik}) + \mu \text{Tr}(U_{ik}^2), \quad (3)$$

kjer sta κ in μ snovni Lamjevi konstanti (neposredno sta povezani z Youngovim modulom in Poissonovim številom), f_0 pa je konstanta. Za gume je tipično $\kappa \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ N/m}^2$ in $\mu \sim 10^{-3} \text{ N/m}^2$.

V primeru nelinearnih deformacij (veliki relativni raztezki) moramo enačbo (3) dopolniti še s tretjo skalarno invarianto tenzorja deformacije ($\det u_{ik}$) ter upoštevati tudi nelinearni del tenzorja deformacije (Mooney-Rivlinov model). V nelinearnem opisu postanejo tudi „konstante snovi“ (analogi Lamjevih konstant) funkcije tenzorja deformacije [8].

2.2 Tekoči kristali

Glavni količini, ki določata lastnosti in tip tekočih kristalov (TK), sta pozicijski red težišč posameznih molekul in orientacijski red med molekulami [5]. TK molekule običajno lahko opišemo kot rotacijske elipsoide ploščate ali v večini materialov podolgovate oblike. Za opis orientacijskega reda tekočih kristalov uvedemo enotski vektor $\vec{a}$, imenujemo ga *molekularni direktor*, ki kaže v smeri simetrijske osi molekule. Osnovna lastnost večine tekočekristalnih faz je, da so stanja z $\vec{a}$ in $-\vec{a}$ neločljiva, govorimo o $\vec{a} \rightarrow -\vec{a}$ simetriji. Shematska slika nematskih TK je predstavljena na sliki 5.



Slika 5. Shematska slika nematskih TK

V večini tekočekristalnih faz (pravi nematiki, smektiki A) obstaja neka preferenčna os v prostoru, vzdolž katere so molekule pretežno orientirane, za preostale (holesteriki, smektiki C*) pa preferenčna os obstaja lokalno, praviloma po plasteh. Enotski vektor $\vec{n}$ v smeri preferenčne osi imenujemo *direktor*. Kot merilo urejenosti molekularnih direktorjev vzdolž $\vec{n}$ uvedemo kvadrupolni moment S :

$$S = \frac{1}{2} \langle (3 \cos^2 \Theta - 1) \rangle = \int g(\Theta) \frac{1}{2} (3 \cos^2 \Theta - 1) d\Omega \quad (4)$$

kjer je Θ kot med $\vec{a}$ in $\vec{n}$, $g(\Theta)$ porazdelitev molekularnih direktorjev po kotu Θ in $d\Omega$ diferencial prostorskega kota. Če so vse molekule orientiranih vzdolž smeri direktorja $\vec{n}$ ($\Theta = 0$ ali $\Theta = \pi$), velja $S = 1$, če pa je orientacija molekul popolnoma izotropna, sledi $S = 0$. Opazimo, da enačba 4 res zadošča $\vec{a} \rightarrow -\vec{a}$ simetriji; orientaciji s kotoma Θ in $(\pi - \Theta)$ sta v enačbi 4 enakovredni ($\cos^2 \Theta = \cos^2(\pi - \Theta)$).

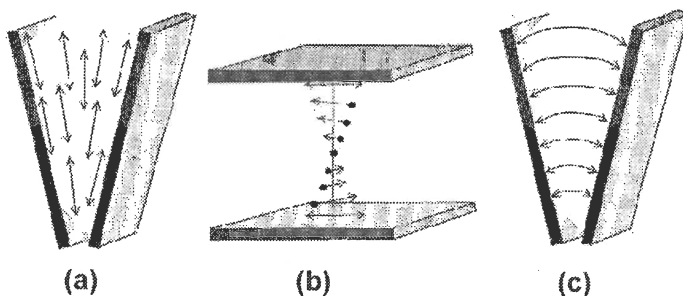
Kadar porazdelitve molekularnih direktorjev ne moremo obravnavati kot rotacijsko simetrične glede na direktor ali pa ko so TK molekule močno nesimetrične, je opis s skalarnim kvadrupolnim momentom nezadosten in moramo uvesti tenzor kvadrupolnega momenta, ki je v splošnem četrtega ranga [5].

Za večino tekočih kristalov pa je mikroskopski opis, kjer bi upoštevali gibljivost ustreznih delov molekul, preveč zahteven, zato snov opišemo z enim efektivnim tenzorskim parametrom, ki ustreza makroskopskemu parametru. Uvedemo tenzor ureditvenega parametra, ki je po dogovoru največkrat vezan na tenzor magnetne susceptibilnosti. V splošnem bi lahko nastopala tudi druga količina, npr. dielektrični tenzor. Omeniti velja, da je zveza med mikroskopskim in makroskopskim opisom neposredna, saj lahko iz mikroskopske slike preidemo direktno v makroskopsko.

Podobno kot pri elastomerih za fenomenološko obravnavo deformacij v TK uvedemo gostoto proste energije, ki jo zapišemo kot vsoto kvadratnih invariant, sestavljenih iz različnih krajevnih odvodov direktorskega polja $\vec{n}(\vec{r})$. Vsako prostorsko nehomogenost $\vec{n}(\vec{r})$ lahko opišemo s tremi osnovnimi tipi deformacij: pahljačo, zasukom in upogibom (glej sliko 6). Če je deformacija blaga, zapišemo gostoto proste enegije f (Frankova prosta energija) kot [9]:

$$f = \frac{1}{2}K_1(\div(\vec{n}))^2 + \frac{1}{2}K_2(\vec{n} * \text{rot}(\vec{n}))^2 + \frac{1}{2}K_3(\vec{n} \times \text{rot}(\vec{n}))^2, \quad (5)$$

kjer so K_1, K_2, K_3 konstante, ki določajo pahljačo, zasuk in upogib direktorskega polja. Trije osnovni načini deformacije direktorskega polja v prostoru so prikazani na sliki 6.



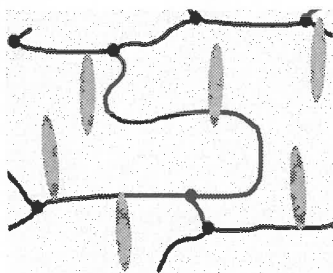
Slika 6. Trije osnovni načini spreminjanja direktorja v prostoru: (a) pahljača, (b) zasuk, (c) upogib.

V enačbi 5 opazimo, da je f kvadratna forma za tri različne načine spreminjanja $\vec{n}(\vec{r})$ in da ustreza osnovni simetriji inverzije direktorja $\vec{n} \rightarrow -\vec{n}$. Tipične velikosti konstant K_i ($i = 1, 2, 3$) so $\sim 10^{-12}$ N in so v grobem določene s termično energijo ($k_B T$) ter velikostjo TK molekule. Vrednosti K_i so sorazmerne S^2 , kjer je S skalarna vrednost kvadrupolnega momenta. Opazimo, da je v izotropni tekočerkristalni fazi ($S = 0$) prosta energija minimalna.

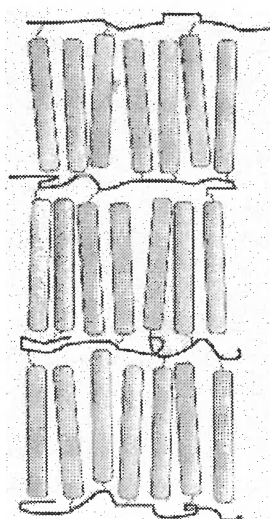
Za uporabo TK je pomemben njihov odziv na zunanje električno polje $\vec{E}$. TK molekule praviloma nimajo lastnih električnih dipolnih momentov, vendar pa se ob vključitvi zunanjega polja pojavi inducirani dipol (pride do ločitve težišč pozitivnega oz. negativnega naboja), na katerega začne delovati Lorentzova sila, ki poskuša $\vec{n}$ obrniti v smeri $\vec{E}$. Tehnološko pomemben je zlasti t.i. Freederickszov prehod, ki ga izkoriščajo vsi tekočerkristalni preklopniki, ko je zunanje električno polje pravokotno na začetno orientacijo direktorja. Pri Freederickszovem prehodu pride do izrazite rotacije direktorja v smeri zunanjega polja šele pri neki kritični jakosti električnega polja. Videli bomo, da je Freederickszov prehod v TK popolnoma analogen z mehansko napetostjo povzročeni rotaciji direktorja v TKE.

3. Tekočekristalni elastomeri (LC elastomeri)

Elastične lastnosti elastomerov in anizotropija tekočih kristalov se skupaj izražajo v lastnostih TKE. Ker gre pri tem za dolge in razvejene molekule, le posamezni njihovi deli (imenujemo jih mezogenske skupine) vzdržujejo tekočekristalni red. Makroskopske lastnosti (oblika, deformacija), ki jih določa predvsem elastomerna mreža, so tako povezane z mikroskopskimi tekočekristalnimi lastnostmi mezogenskih delov, kot so orientacija, pozicijski red in smektično urejanje v plasti.



Slika 7. Shematska slika nematskega TKE, ko je mezogenska skupina vezana kot stranska veriga.



Slika 8. Shematska slika smektičnega TKE (desno).

V nadaljevanju se bomo omejili na opis nematskih TKE, saj se prav ti kažejo kot najbolj perspektivni za tehnološko uporabo in so zato tudi najbolj raziskani. Poznana sta dva osnovna tipa nematskih TKE. V prvem so mezogenske skupine vezane zaporedno v glavno polimerno verigo, v drugem pa so mezogenske skupine vezane kot stranske verige. Smektični TKE imajo dodatno notranjo strukturo, in sicer dobro določen razmik med posameznimi plastmi mezogenskih skupin, zato je obnašanje snovi v smeri pravokotno na plasti v grobem podobno obnašanju trdne snovi. Shematski sliki nematskega in smektičnega TKE sta predstavljeni na slikah 7 in 8.

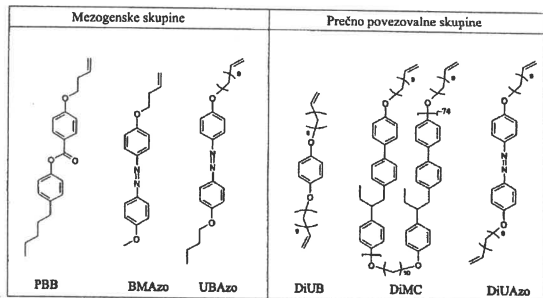
3.1 Nematski tekočekristalni elastomeri

Molekula nematskih TK elastomerov je sestavljena iz treh osnovnih delov: iz silicijeve oziroma ogljikove glavne verige (backbone), mezogenskih skupin (mesogenic groups) ter prečno povezovalnih skupin (cross-linker units) [3]. Na preostalih prostih mestih je večinoma vezan vodik. Nekaj tipičnih mezogenskih in prečno povezovalnih skupin je predstavljenih na sliki 9.

Ker nematski TKE nimajo plastne urejenosti, prečno povezovalne skupine delujejo v poljubnih smereh, kar pomembno vpliva na lastnosti snovi,

kot so odziv na UV svetlobo in mehanske vplive. Ločimo primere, ko se prečno povezovalna skupina obnaša kot gibljiva (npr. DiUB), kot toga paličica (npr. DiUAzo) ali pa kot več zaporedno vezanih togih paličic (npr. DiMC). Gibljive prečno povezovalne skupine minimalno vplivajo na mezogenske lastnosti nematskih elastomerov, medtem ko paličaste ali večpaličaste skupine lahko s svojo togostjo celo onemogočijo tvorbo nematskega reda.

Slika 9. Primeri nekaterih mezo-genskih in prečno povezovalnih skupin. Osnovni gradnik je SiH. PBB, 4-pentilfenil-4'-(4-butenoksi)benzoat; BMAzo, [4-(4-butenoksi)-4'-metiloksi]azobenzen; UBAzo, [4-(4-butenoksi)-4'-metiloksi]azobenzen; DiUB, di-1,4-(11-undecenoksi)benzen; DiMC, α -4-[1-(4'-11-undecenoksibifenil)-2-fenil]butil- ω -(11-undecenoksi) poli-[1-(4-oksidecametenoksi)-bifenil-2-fenil]butil; DiUAzo, di-[4-(11-undecenoksi)]azobenzen.



Nematske TKE delimo tudi na monodomske in večdomske. Za monodomski vzorec je značilno, da imajo molekularni direktorji mezogenskih skupin enako preferenčno smer po celotnem vzorcu, v večdomskem vzorcu pa samo v posameznem delu vzorca-domeni. Nematski TKE so praviloma večdomski. Monodomski vzorec lahko dobimo iz večdomskega, če deformiran (napet) večdomski vzorec ohlajamo iz izotropne v nematsko fazo.

3.1.1 Termomehanske lastnosti

Dolžina v smeri direktorja vzorca nematskega tekočerkristalnega elastomera z višanjem temperature počasi pada vse do temperature faznega prehoda iz nematske (N) v izotropno (Iso) fazo, kjer hitro, v temperaturnem intervalu ~ 10 K, pade na končno dolžino v izotropni fazi [3]. Shematsko je prehod prikazan na sliki 10.

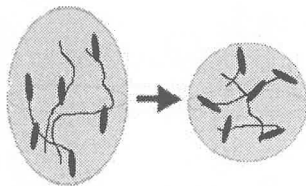
Obnašanje v bližini faznega prehoda je kritično in ga lahko za monodomske vzorce opišemo kot:

$$\lambda = 1 + \alpha|1 - T/T_{ni}|^{\xi}, \quad (6)$$

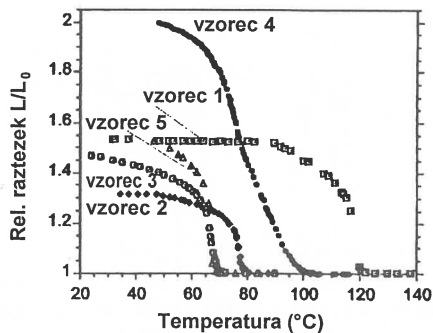
kjer je $\lambda = L/L_0$, L dolžina vzorca TKE vzdolž nematske osi pri temperaturi T , L_0 dolžina vzorca TKE v izotropni fazi vzdolž iste „nematske“ osi, α koeficient, ki nam opisuje anizotropnost snovi, ξ kritični eksponent in T_{ni} temperatura faznega prehoda iz nematske v izotropno fazo.

Ta fenomenološki opis se dobro sklada s teoretično predvideno odvisnostjo v modelu ravnovesnih nematskih polimernih mrež [3], za katerega velja:

$$\lambda = 1 + aS(T), \quad (7)$$



Slika 10. Shematska slika prehoda vzorca TK elastomera iz nematske v izotropno fazo



Slika 11. Odvisnost razmerij dolžine nematskega TKE vzdolž nematske osi in dolžine nematskega TKE v izotropni fazi vzdolž iste osi od temperature za različne vzorce.

kjer je a v neposredni zvezi z α in meri anizotropnost snovi ($\sim 0,08 < a < \sim 3$). Večji kot je a , bolj je snov anizotropna.

Odvisnosti relativnega raztežka λ od temperature, izmerjene za nekaj različnih nematskih TKE [3], so predstavljene na sliki 11. Vzorci se med seboj razlikujejo po koncentracijah in tipih mezogenskih (PBB, BMAzo, UBAzo) ter prečno povezovalnih skupin (DiUB, DiUAzo, DiMC) [3]. Parametra α in ξ (glej enačbo 6) sta za vzorce, predstavljene na sliki 11 enaka $\alpha \sim 0,6$ in $\xi \sim 0,2$.

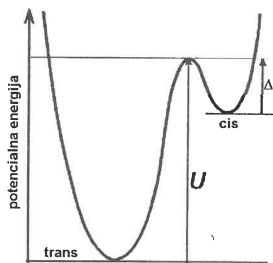
3.1.2 Optične lastnosti in mehanski odziv na osvetljevanje z UV svetlobo

Nematski TKE so v nematski fazi (N) dvolomni. Optična os je vzporedna s preferenčno smerjo orientacije direktorjev. Ob prehodu večine nematskih TKE v izotropno fazo (Iso) dvolomnost skoraj popolnoma izgine, v nematskih TKE s pravo izotropno fazo pa dvolomnost izgine popolnoma.

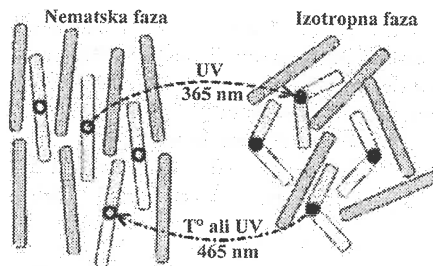
Posebej zanimivo je obnašanje nematskih TKE, ki imajo na prečno povezovalnih in mezogenskih skupinah fotoaktivna mesta. Tipični predstavnik je dvojna vez med dušikovima atomoma $N=N$ (glej sliko 9). Če molekulo z $N=N$ vezjo osvetlimo z UV svetlobo primerne valovne dolžine, lahko dosežemo anizotropno orientacijo vezi v prostoru. Osvetljevanje povzroči izomerizacijo (prehod iz cis konformacije v trans konformacijo in obratno) mezogenskih in/ali prečno povezovalnih skupin. Ker oba izomera nista enako energijsko ugodna, lahko prehod molekule iz ene v drugo konformacijo modeliramo s potencialom dveh različno visokih potencialnih jam (glej sliko 12). Orientacija cis je nestabilna (termične fluktuacije) in jo moramo ves čas vzdrževati.

Sprememba strukture močno vpliva na nematski tekočekristalni red, saj se palicaste mezogenske skupine pri prehodu iz trans v cis izomer „zlomijo“ in tako onemogočajo vzpostavitev nematskega reda (glej sliko 13). Posledica izomerizacije je, da se material skrči v smeri začetne orientacije direktorja.

Ob osvetljevanju z UV svetlobo dolžina vzorca L približno eksponentno



Slika 12. Shematska slika potencialne energije fotoaktivnega mesta v odvisnosti od orientacije vezi (izomerizacije).

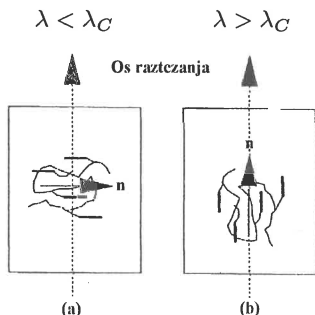


Slika 13. Shematska slika dogajanja ob osvetlitvi izbranega fotoaktivnega nematika (ima eno N=N vez) z UV svetlobo.

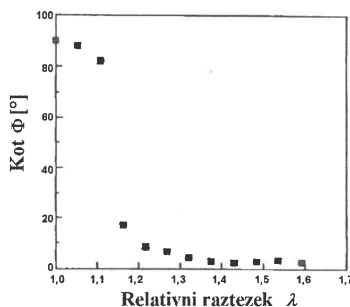
pojema s časom proti konstantni vrednosti, ki je odvisna od koncentracije fotoaktivnih skupin. Če je koncentracija fotoaktivnih skupin dovolj velika, lahko dosežemo celo izotropno stanje [3].

3.1.3 Deformacije in orientacijski red – mehka elastičnost

Odvisnost zasuka ϕ direktorja, če na nematski TKE deluje natezna sila v smeri pravokotno na začetno orientacijo direktorja, je nezvezna in kaže na fazni prehod [10]. To pomeni, da obstaja kritična vrednost relativnega raztezka λ_c , pri kateri se direktor obrne za $\pi/2$. Potek faznega prehoda je shematsko predstavljen na sliki 14, izmerjena odvisnost $\phi(\lambda)$ za vzorec (4-cianofenil 4'-(6-heksiloksiakrilat) benzoat s 6 % hidroksietilakrilata) pa na sliki 15. Za ta material je $\lambda_c \sim 1,15$.



Slika 14. Shematska slika faznega prehoda ob delovanju sile pravokotno na začetno smer direktorja.



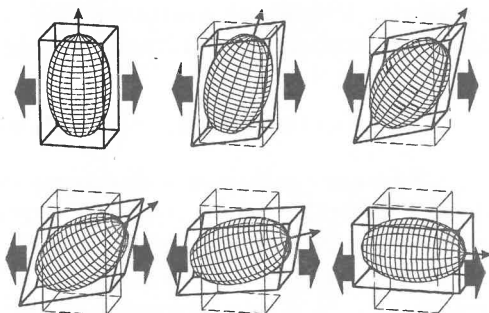
Slika 15. Odvisnost kota Φ med smerjo direktorja in smerjo zunanje sile od relativnega raztezka λ [10].

Opisani pojav je analogen Freederickszovemu prehodu v klasičnih tekočih kristalih. V primeru TKE reorientacijo direktorja povzročimo z zunanjim mehanskim poljem, v nematskih TK pa je enako obnašanje posledica vpliva zunanjega električnega polja.

Posebna lastnost, ki se pojavlja le v določenih TKE, je „mehka elastičnost”. O njej govorimo takrat, ko lahko pride do rotacije direktorja tudi brez spremembe proste energije [9]. Makroskopsko se „mehka” rotacija

direktorja kaže v spreminjanju oblike vzorca skladno z rotacijo direktorja; oblika vzorca je neposredno vezana na mikroskopsko orientacijo anizotropnih TKE molekul [1]. V nematskem TKE je pojav „mehkosti“ možen, če ima material poleg nematske tudi pravo izotropno fazo. Obstoje le-te je neposredno odvisen od lastnosti prečno povezovalnih skupin, saj v primeru togih povezovalnih skupin pojav mehke elastičnosti izgine.

Slika 16. Shematske slika z zunanjo silo povzročene „mehke“ rotacije molekule nematskega TKE, ko se hkrati z mezogenskimi skupinami nematske TKE molekule vrti tudi okolica.



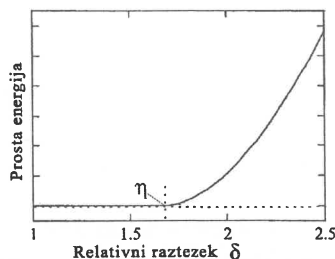
Mehko elastičnost lahko obravnavamo z modelom Warnerja in Terentjeva (W–T) [9], ki opisuje odvisnost proste energije nematskega TKE od orientacije direktorja, če nanj delujemo s silo v smeri pravokotno na začetno smer direktorja. Karakteristični volumen molekule nematskega TKE aproksimiramo s podolgovatim rotacijskim elipsoidom in predpostavimo, da se ob deformaciji hkrati z vrtenjem mezogenskih skupin vrti tudi okolica, torej elastomerna mreža, in s tem kompenzira elastične sile, ki se pojavijo v povezovalnih skupinah. Shematsko je ta proces predstavljen na sliki 16.

Glavna količina, ki nastopa v opisu mehke elastičnosti, je ekscentričnost elipsoida, ki predstavlja nematsko TKE molekulo:

$$\eta = \frac{a}{b}, \quad (8)$$

kjer je a dolžina daljše osi, b pa dolžina krajše osi rotacijskega elipsoida.

Slika 17. Odvisnost proste energije od relativnega raztezka δ v smeri delovanja zunanje sile.



Pri mehki elastičnosti obstaja kritična vrednost relativnega raztezka δ v smeri delovanja zunanje sile, ko mehka elastičnost izgine. Kritična vrednost δ je ravno enaka ekscentričnosti η . Obstoje kritične vrednosti relativnega raztezka znamo razložiti tudi kvalitativno. Če si predstavljamo snov v okviru W–T modela (glej sliko 16), opazimo, da se mezogenske skupine posamezne molekule nematskega TKE skupaj s svojo okolico lahko zavrtijo največ za 90° glede na začetno smer, ko direktor že začne kazati v

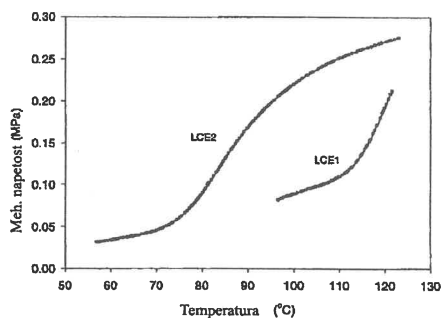
smeri delovanja zunanje sile. Dokler nematske TKE molekule in njihova okolica z rotacijo v smer delovanja zunanje sile še lahko kompenzirajo vsiljeno deformacijo, je prosta energija konstantna. Ko pa deformacija preseže kritično vrednost (direktor je že orientiran vzdolž smeri delovanja deformacijske sile), so nematske TKE molekule in njihova okolica že „maksimalno“ orientirane v smer delovanja zunanje sile in material se začne obnašati kot klasičen elastomer; prosta energija začne z nadaljnjim večanjem zunanje sile naraščati. Odvisnost proste energije od relativnega raztezka vzdolž smeri delovanja zunanje sile za izbran η je predstavljena na sliki 17.

4. Uporaba tekočokristalnih elastomerov – umetne mišice

„Naravne“ mišice so anizotropna snov, ki se lahko razteza oziroma krči vzdolž mišičnih vlaken. Osnovni parametri, ki omejujejo obseg delovanja mišice, so maksimalni skrček, maksimalna mehanska napetost in maksimalna frekvenca krčenja oziroma raztezanja. Vrednosti za tipično „naravno“ mišico so $\sim 25\%$ za maksimalni skrček, ~ 350 kPa za maksimalno napetost in $\sim 5\text{--}10$ Hz za največjo frekvenco odziva.

Ker izdelava umetnih mišic ponuja velike možnosti za tehnološko uporabo, obstaja v svetu veliko zanimanje za tovrstne raziskave. Izmed številnih ustreznih materialov se kot zelo perspektivni kažejo tudi TKE. Zaradi relativno velike makroskopske spremembe dolžine materiala ob faznem prehodu iz nematske v izotropno fazo imajo največje možnosti nematski TKE. Dosežemo lahko raztezke $\sim 35\text{--}45\%$. Nematski TKE torej glede na skrčke oziroma raztezke dosegajo naravne mišice

Slika 18. Odvisnost mehanske napetosti od temperature pri konstantnem relativnem raztezk 5 % za dva različna nematska TKE.



Za določitev maksimalnega možnega mehanskega pritiska, ki bi ga umetna mišica lahko izvajala, moramo poznati odvisnost napetosti materiala v odvisnosti od temperature pri konstantnem raztezk. Za dva primera nematskih TKE [11] je ta odvisnost predstavljena na sliki 18. Opazimo, da je pritisk, ki ga izvaja merjeni nematik LCE2, pri temperaturi faznega prehoda iz nematske v izotropno fazo ($\sim 100^\circ\text{C}$) enak ~ 200 kPa, kar je popolnoma primerljivo z naravnimi mišicami.

Podobno velja tudi za frekvenčno odzivnost nematskega elastomera [11]. Meritve namreč kažejo, da spremembam na skali nekaj Hz nematski TKE material popolnoma sledi in se ob tem obnaša reverzibilno (zakasnitveni efekti so zanemarljivi). Nematski TKE torej izpolnjujejo osnovne pogoje za izdelavo umetne mišice.

5. Sklep

Opisani pojavi in lastnosti kažejo na popolnoma nov tip materialov, ki združujejo neurejenost navadnih elastomerov in orientacijski red TK. Ta posebna kombinacija vodi do številnih novih lastnosti, od napetostno povzročenih faznih prehodov, do regulacije tekočerkristalnega reda z UV svetlobo. Širok obseg področja in številni še nepojasneni pojavi odpirajo pot mnogim novim raziskavam in teoretičnim modelom, posledično pa tudi morebitni uporabi v industriji in medicini.

Omeniti velja, da se poleg nematskih TKE kot potencialno zanimivi za izdelavo umetnih mišic kažejo tudi drugi materiali, kot so: elektroaktivni polimeri, prevodni polimeri in piezoelektriki. Od naštetih so najbolj perspektivni elektroaktivni polimeri, saj je njihova glavna lastnost, da lahko raztezanje „krmilimo“ z zunanjim električnim poljem oziroma napetostjo [12]. Tudi elektroaktivni elastomeri so podobno kot TKE zmožni velikih relativnih raztezkov ($\sim 300\%$) in zadostnih mehanskih napetosti, da bi lahko nadomestili naravno mišico.

Zahvala

Članek je nastal kot nadaljevanje seminarja pri predmetu Seminar II. Zahvaljujem se prof. dr. Slobodanu Žumru za mentorstvo, veliko strokovno pomoč in splošno spodbudo.

LITERATURA

- [1] P. I. C. Teixeira, M. Warner, Phys. Rev. E **60**, 603 (1999).
- [2] R. Stannarius, R. Köhler, U. Dietrich, M. Lösche, C. Tolksdorf, R. Zentel, Phys. Rev. E, **65**, 041707 (2002).
- [3] P. M. Hogan, A. R. Tajbakhsh, E. M. Terentjev, Phys. Rev. E, **65**, 041720 (2002).
- [4] C.-C. Chang, L.-C. Chien, R. B. Meyer, Phys. Rev. E **55**, 534 (1996).
- [5] P. G. de Gennes, *The Physics of Liquid Crystals*, Oxford University Press, 1974.
- [6] C. A. Harper, ed., *Handbook of Plastics, Elastomers and Composites*, 3rd Edition, McGraw-Hill Company, 1996.
- [7] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, *Theory of Elasticity*, 3rd Edition, Pergamon Press, 1986.
- [8] Y. B. Fu, R. W. Ogden (Eds.), *Nonlinear Elasticity: Theory and Applications*, Cambridge University Press, 2001.
- [9] M. Warner, E. M. Terentjev, *Liquid Crystal Elastomers*, Oxford University Press, 2003.
- [10] G. R. Mitchell, F. J. Davis, W. Guo, Phys. Rev. Lett. **71**, 2947 (1993).
- [11] D. L. Thomsen III, P. Keller, J. Naciri, R. Pink, H. Jeon, D. Shenoy, B. R. Ratna, Macromolecules **34**, 5868–5875 (2001).
- [12] S. Ashley, *Artificial Muscles*, Scientific American, October, 35–41 (2003).

NOVA ČASTNA ČLANA DMFA SLOVENIJE

Nova častna člana DMFA Slovenije sta postala akademik prof. dr. Robert Blinc in prof. dr. Mitja Rosina.

Robert Blinc, akademik in redni profesor fizike, se je rodil 31. oktobra 1933 v Ljubljani. Diplomiral in doktoriral je na Univerzi v Ljubljani. Podoktorsko izpopolnjevanje je končal v ZDA na Massachusetts Institute of Technology (MIT). Po vrnitvi je dr. Blinc postal znanstveni sodelavec na Institutu Jožef Stefan v Ljubljani in docent na FNT Univerze v Ljubljani. Leta 1970 je bil izvoljen za rednega profesorja fizike na Univerzi v Ljubljani. Redni član Slovenske akademije znanosti in umetnosti je od 1976 dalje.

Profesor Blinc je kmalu po diplomi z nekaj mladimi sodelavci postavil na Institutu Jožef Stefan laboratorij za jedrsko magnetno resonanco (NMR), ki je postal eden od najpomembnejših evropskih in svetovnih centrov za raziskave strukturnih prehodov v urejeni in delno urejeni kondenzirani snovi. Je ustanovitelj tako imenovane ljubljanske šole magnetne resonance. Med njegovimi najpomembnejšimi znanstvenimi dosežki je treba omeniti model ferroelektrikov z vodikovimi vezmi, ki ga nekateri avtorji v literaturi označujejo kot Blinc-de Gennesov model. Prav tako je poznan Blinc-Pincusov mehanizem spin mrežne relaksacije nematskih tekočih kristalov zaradi kolektivnih fluktuacij parametrov nematskega reda. Med drugimi pomembnimi dosežki je treba posebej omeniti detekcije solitonov in fazonov v inkomenzurabilnih kristalih z jedrsko magnetno resonanco in vpeljavo metod NMR za določanje Edwards-Andersonovega parametra steklastega reda v protonskih in devteronskih steklih ter relaksorjih. Za ta parameter je pred tem veljalo, da ni direktno merljiva količina. Rezultat njegovega dela je tudi vrsta novih spektroskopskih metod, ki so med drugim omogočile določanje strukture aminokislin in nukleonskih kislin, pa tudi vzgojo novih vrst rastlin z boljšimi lastnostmi za prehrano ter hitro karakterizacijo kvalitet gradbenih materialov. Skupaj z Boštjanom Žekšem je kot prvi predvidel obstoj Goldstonovega načina nihanja v ferroelektričnih tekočih kristalih. Z Rašom Pircem je za opis protonskih in devteronskih stekel uvedel stohastični Isingov model z ključnimi interakcijami in ključnimi polji za opis relaksorskih ferroelektrikov.

Profesor Blinc je objavil več kot 600 člankov v mednarodnih strokovnih revijah s področja fizike kondenzirane materije, ki so bili po podatkih SCI citirani več kot 12.000-krat. Posebej viden rezultat njegovih raziskav je monografija *Soft Modes in Ferroelectrics and Antiferroelectrics*, North-

-Holland, Amsterdam 1974, ki jo je objavil skupaj z Boštjanom Žekšem. Razširjena izdaja je izšla v ruščini leta 1975 z naslovom *Segnetoelektriki i antisegetoelektriki – dinamika rešetki*, MIR, Moskva 1975, in bila prevedena v kitajščino 1982 (Šanghaj). Knjiga spada med 600 najbolj citiranih znanstvenih knjig na svetu. Skupaj z Igorjem Muševičem in Boštjanom Žekšem je leta 2000 objavil monografijo *The Physics of Ferroelectric and Antiferroelectric Liquid Crystals*, ki ima več kot 600 strani in je izšla pri založbi World Scientific. Skupaj z A. P. Levanyukom je bil urednik knjige v dveh delih *Incommensurate Phases in Dielectrics*, 1. *Fundamentals*, 2. *Materials*, North-Holland, Amsterdam 1986. S samostojnimi poglavji je sodeloval še pri osmih strokovnih monografijah, ki so jih izdale mednarodne založbe. Na več kot 100 mednarodnih strokovnih kongresih je imel vabljen predavanja. Poleg tega je imel tudi množico predavanj na praktično vseh pomembnejših univerzah po svetu.

Profesor Robert Blinc je na Oddelku za fiziko FMF in pred tem na FNT skozi vsa leta predaval ključne predmete na dodiplomskem in podiplomskem študiju. Bil je mentor 35 doktorandom, 25 magistrandom in 67 diplomantom.

Gostujoči profesor je bil na University of Washington, Seattle (1965/66, 1968/69), na ETH Zürich (1975, 1982, 1986, 1989, 1990), na University Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazilija (1977–1979), na Universität Wien na Dunaju (1988 in 1994) ter krajši čas na vrsti drugih institucij. Od leta 1987 je nazivni profesor Univerze v Utahu v Salt Lake Cityu v ZDA. Prejel je nagrado ISMAR Mednarodne unije za magnetne resonance (1977), nagrado AVNOJ (1978) in dvakrat Kidričevo nagrado (1961 in 1975); leta 1991 je postal ambasador Republike Slovenije v znanosti. Leta 1999 je prejel častni doktorat Univerze v Bukarešti. V letu 2000 je Institute for Scientific Information (ISI) profesorju Blincu podelil priznanje za slovenskega znanstvenika z največ citati v obdobju 25-letnega obstoja ISI. Leta 2001 je skupaj s sodelavci prejel državno nagrado za patente in iznajdbe RS. Istega leta je prejel tudi spominsko medaljo *Anatoly Nikolajevič Podgornij* Mednarodne inženirske akademije IAE in akademije Ukrajine ter zlati znak predsedstva Ruske inženirske akademije. Leta 2002 je prejel najvišje državno odlikovanje in zlati častni znak svobode Republike Slovenije.

Profesor Blinc je bil predsednik Mednarodnega združenja za magnetno resonanco AMPERE (1988–1994), član izvršilnega odbora Mednarodne unije za magnetne resonance ISMAR; predsednik Evropskega sveta za raziskave feroelektrikov (od leta 1991 do leta 1999) in član komisije za fiziko trdne snovi International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) (1988–1992 in od 2002 do 2006). Bil je ekspert Mednarodne agencije za atomsko energijo (IAEA) v Braziliji, na Kubi in na Tajskem. Je član Saške akademije znanosti v Leipzigu, Atenske akademije znanosti v Atenah, član Evropske akademije znanosti in umetnosti v Salzburgu, član Evropske akademije v

Londonu, član Hrvaške akademije znanosti, Poljske akademije znanosti in mednarodne inženirske akademije v Moskvi.

Profesor Blinc je tudi član uredniških odborov mednarodnih strokovnih revij *Ferroelectrics*, *Ferroelectris Letters*, *Chemical Physics*, *PHYSICA* (Section B), *Phase Transitions*, *Solid State Nuclear Magnetic Resonance*, *Molecular Physics Reports*, *Molecular Crystals and Liquid Crystals in Bulletin of Magnetic Resonance*.

Ob vsem tem ne gre pozabiti na pomoč profesorja Blinca društvu. Če je le utegnil, je predaval na izobraževalnih seminarjih za profesorje fizike, predaval na poletnih šolah mladih fizikov, pomagal pri pripravi novih seminarjev, tako z nasveti kot z gradivi, odprl vrata marsikaterega laboratorija mladim fizikom s poletnih šol in spodbujal člane k predstavitvi lastnih metod dela pri poučevanju fizike, predvsem pa nas navduševal z znanjem in s svojo skromnostjo in prijaznostjo.

Prof. dr. Mitja Rosina je začel z raziskovalnim delom na področju teorijske fizike jedra pred skoraj štiridesetimi leti. Prispeval je k raziskavam strukture veleresonanc pri fotonuklearnih reakcijah. Razširil je metode ekscitacij delec-luknja s primesmi dveh delcev in dveh lukenj ter s tem rešil problem strukture dipolne veleresonance. Posvetil se je konceptualnim problemom kvantne mehanike v fiziki jedra in hadronski fiziki, to je razumevanju pojava kolektivnih koherentnih stanj pri atomskih jedrih in pri mezon-skih oblakih v hadronih ter kvantnomehanskih tokovnic v jedrih in hadronih. Soustvarjal je nove metode za reševanje problema več teles, in sicer rodovne koordinate za opis in izračun nizkoležečih stanj atomskih jeder in za trke nukleona v modelu s kvarki, projekcijo dobrih kvantnih števil za deformirana jedra in za mezonski oblak v nukleonu, variacijsko metodo za gostotne matrike (sklop izrekov, ki jih je dokazal v zvezi s pogoji, ki jim morajo gostotne matrike zadostiti, nosi njegovo ime). Razvoj metode gostotnih matrik je uspešno uporabil za direktni variacijski račun stanj atomskih jeder. Razvijal in uporabil je metodo hermitskih operatorjev za vzbujanje stanja delec-luknja, prav tako za izračun in razumevanje vzbujenih stanj atomskih jeder. Skupno s sodelavci je opazil nenavadno obnašanje atomskih jeder in molekul z lepo izraženimi rotacijskimi spektri tedaj, kadar so v koherentnih rotacijskih stanjih. Posebej pomembno pionirsko delo je skupaj s sodelavci opravil pri študiju jedrske sile, ki je posledica barvne sile med kvarki iz obeh gruč, ki tvorita nukleone. To delo je vodilo tudi do uspešnih prvih predlogov (prvih v svetovnem merilu) za opis dibarionskih resonanc, ki jih lahko tvorita gruči kvarkov, ter napovedi leg takih resonanc, ki nastajajo pri trkih devterona ob atomskih jedrih. Nadaljevanje tega dela je vodilo do študija vloge mezonskega oblaka v nukleonu pri statičnih in dinamičnih lastnostih nukleona. Pri tem je njegova posebna zasluga vpeljava metode za projekcijo dobrih kvantnih števil pri variacijski metodi iskanja rešitev za

nukleon. Posebno pozornost je posvetil študiju primerjav različnih predlogov za opis hadronov kot gruč kvarikov ter oblaka kvarikov in antikvarikov in gluonskega oblaka. Zanimali so ga uporabnost in konsistentnost modelov, povezava modelov s kromodinamskimi izračuni na mreži ter fazni prehod med jedrsko snovjo in kvarikovskim plinom. Ob tem pa konkretne napovedi, kot so število pionov v nukleonu, narava mezona sigma ter vezana stanja dveh težkih mezonov. Skupaj s sodelavci je študiral sipanje mezona na mezonu v kromodielektričnem modelu in modelu z residualno interakcijo take vrste, kot ga predlaga model Nambuja in Jona-Lasinia, pa tudi hadrone kot solitone ter konstituentni kvark kot soliton v nelinearnem sigma modelu.

Profesor Rosina ima smisel za timsko delo in je uspešno uvažal mlade v težavno in aktualno problematiko. Sodeloval je z raziskovalnimi skupinami v tujini, kot so Kingston, Seattle, Heidelberg, Coimbra, Trst, Davis, Antwerpen, ter pri tem iskal primerjavo med različnimi predlogi modelov.

Uspešen je bil tudi kot pedagog. Formiral je predmet *Jedro in osnovni delci* in ga s krajšimi presledki predaval od 1964 do 2000 in zanj napisal tudi skripta *Jedrska fizika*. Kot vodja podiplomskega študija v letih od 1965 do 1975 je dosegel, da je bil na Oddelku za fiziko podiplomski študij obravnavan enakovredno z dodiplomskim, saj so se obveznosti predavateljev štete enakovredno s predavanji na dodiplomskem študiju. Predavanja so bila zato redna in kvalitetna. Na podiplomskem študiju je predaval *Teorijo jedra in osnovnih delcev* in jo zastavil dovolj široko, tako da so bila predavanja zanimiva za slušatelje atomske, jedrske in delčne fizike. Višjo kvantno mehaniko je predstavil privlačno in razumljivo, zlasti uvod v Feynmanove grafe. Napisana skripta dajejo prikladen in poenostavljen uvod v teorijo polja. Predaval pa je tudi številne druge predmete na dodiplomskem študiju fizike: Fiziko I, Toploto, Elektromagnetno polje, Optiko, Kvantno mehaniko I, Kvantno mehaniko II.

Profesorji fizike se ga spominjamo tudi s predavanj za doizobraževanje, kjer je znal pritegniti pozornost s svojimi zavzetimi in nenavadnimi predavanji, pa tudi organiziranimi izleti, kot so ogled nekaterih inštitutov v Trstu, ogled Sončevega mrka in še kaj. Rad je predaval tudi na poletnih šolah mladih fizikov, kjer je zaradi zanimivih in mladim primernih tem marsikoga navdušil za kasnejši študij fizike in drugih naravoslovnih ved.

Prejel je nagrado Borisa Kidriča (v skupini sedmih, za delo Jedrska absorpcija žarkov gama v Al, Si, P, S in Ca), nagrado Sklada Borisa Kidriča (s tremi sodelavci, za delo Nov pristop h kolektivnim stanjem preko stanj delec-luknja, Metoda generatorske koordinate za vezana stanja jeder in za reakcije) ter nagrado Sklada Borisa Kidriča (s tremi sodelavci, za delo Raziskave interakcije med nukleonoma in dibarionske resonance v kvarikovskem modelu).

Poudariti pa je treba tudi zavzeto delo profesorja Rosine v društvu. Tri leta, od oktobra 1987 do oktobra 1990, je bil predsednik DMFA Slovenije,

kjer je s svojim zavzetim delom dajal zgled tudi drugim članom društva. Pripravo Jugoslovanskega kongresa je sprejel z vso resnostjo, vendar je izpeljavo preprečil razpad Jugoslavije. Mitja Rosina je med tistimi, ki so se zavzemali za enotnost društva in si je prizadeval, da se društvo ni razdelilo na tri dele. Že osem let je član nadzornega odbora DMFA ter bil šest let član komisije, ki je predlagala kandidate za častne člane društva. S svojimi prispevki je popestril marsikatero strokovno srečanje DMFA.

*Martin Čopič, Norma Mankoč Borštnik,
Nada Razpet, Zvonko Trontelj in Slobodan Žumer*

DOBITNIKI PRIZNANJ DMFA SLOVENIJE

Priznanja DMFA Slovenije so prejeli: Gimnazija Gian Rinaldo Carli Koper, Matjaž Babič, Dušanka Colnar, Marjeta Marovt, Nada Marčič in Marijan Prosen.

Gimnazijo Gian Rinaldo Carli Koper je leta 1612 ustanovil Kolegij Plemičev. Od leta 1992 jo poznamo kot splošno Gimnazijo Gian Rinaldo Carli Koper. Tu so se šolali: violinist Tartini, pisatelj Tomizza, ekonomist Carli, zdravnik Santorio, pisatelj Mayer in drugi. Bogata zgodovina šole se izpričuje v šolski knjižnici in muzeju starih didaktičnih pripomočkov nekdanjega naravoslovnega laboratorija. V 21 razstavnih omarah je urejenih več kot 300 starih didaktičnih pripomočkov, katerih izvor sega v obdobje od leta 1700 do 1940. Šolski muzej se še dopolnjuje, saj od leta 1994 dalje dijaki pod vodstvom mentorice, profesorice fizike Loredane Sabaz, pripravljajo in zaključujejo nekatera dela pri projektu *Šolski muzej Gimnazije G. R. Carli Koper*.

Gimnazija Gian Rinaldo Carli z uspehom nadaljuje z mednarodnimi, državnimi in področnimi projekti, ki prispevajo k izboljšanju kvalitete poučevanja različnih predmetov. Naj omenimo le tiste s področja naravoslovja, fizike in matematike: projekt SAW (Science Across the World), Socrates Comenius 1 – šole partnerice (Poraba energije v Evropi, Energija in varstvo okolja) projekt SEMEP (South Eastern Mediterranean Sea Project).

V sklopu evropskih projektov učitelji na šoli niso le pripravili različnih didaktičnih gradiv, ampak marsikatera gradiva drugih udeležencev projektov tudi preizkusili in jih kritično ovrednotili. V goste so sprejemali tuje predavatelje, pa tudi sami odhajali v tujino predavat na druge šole. Svoje izkušnje so učitelji objavili v člankih v različnih specialističnih revijah oziroma jih predstavili na strokovnih srečanjih, v študijskih skupinah, konferencah in seminarjih.

Šola organizira in spodbuja dijake, da sodelujejo na področnih, regijskih in državnih tekmovanjih iz logike, matematike in fizike. Dva dijaka sta tudi

obiskovala priprave za olimpijado iz matematike v Ljubljani. V šolskem letu 2002/2003 je šest dijakov obiskalo tečaj kombinatorike na Fakulteti za matematiko Univerze v Trstu. Da je delo z dijaki dobro, potrjuje tudi izbira kasnejšega študija, saj veliko dijakov nadaljuje študij matematike, fizike, tehničnih ved in računalništva.

Delo **mag. Matjaža Babiča**, univ. dipl. inž. fizike, dolgoletnega predstavnika fizikov, ki se ukvarjajo z uporabo fizike pri Društvu matematikov, fizikov in astronomov Slovenije, je tesno povezano z oživitvijo srečanj teh fizikov leta 1997. Zadnji simpozij pred tem je bil daljnega leta 1987 na jugoslovanskem srečanju v Sarajevu.

Potrebo po ponovni oživitvi takih srečanj so fiziki, ki so zaposleni v industriji, občutili že kmalu po osamosvojitvi. Vpeljava tržnega gospodarstva je vplivala na zaprtje raziskovalnih laboratorijev, tudi splošni pogoji za delo fizikov v industriji so se poslabšali.

Matjaž Babič je bil tisti, ki je zbral pogum in se lotil organizacije srečanja leta 1997 v Topolšici. Zbiranje podatkov o zaposlenih fizikih v industriji, animiranje fizikov za prijavo na srečanje, spodbujanje za aktivno udeležbo s posterji in kratkimi predstavitvami, urejanje biltenov in pošiljanje sporočil terja veliko samodiscipline in prostega časa.

Seveda je bilo vse to urejeno poleg rednega dela v laboratorijih tovarne ISKRAEMECO, d. d., v Kranju, kjer se Matjaž Babič zelo uspešno ukvarja z različnimi aplikacijami fizike.

Da je bilo delo dobro zastavljeno in da je pri vsem tem Matjaž zelo uspešen, kaže tudi povečanje udeležbe fizikov na teh srečanjih, veliko število prijavljenih predstavitev in posterjev ter povečano zanimanje tako študentov fizike kot mladih raziskovalcev.

Dušanka Colnar in Marjeta Marovt delujeta na šoli kot dobro usklajen par. Medsebojno se dopolnjujeta in usklajujeta ter s skupnimi močmi prispevata k izboljšanju življenja in dela na šoli, zato naj bo tudi obrazložitev skupna.

Obe poučujeta matematiko in fiziko na osnovni šoli Frana Kocbeka v Gornjem Gradu. Marjeta Marovt je leta 1977 začela učiti na OŠ dr. Jožeta Potrča v Ljubljani in nato v septembru istega leta nadaljevala na OŠ Frana Kocbeka v Gornjem Gradu. Dušanka Colnar pa poučuje na tej šoli od leta 1982 dalje. Njune priprave na pouk so premišljene in temeljite, metode dela pa zelo pestre in učinkovite. K aktivnemu delu v razredu znata pritegniti vse učence, ne le tiste, ki jih matematika in fizika zanimata. Posebno pozornost namenjata nadarjenim učencem in izvajata dodatni pouk matematike in vodita fizikalni krožek, Marjeta Marovt pa še krožek logike. Njuni učenci se vsako leto uvrstijo na regijsko in na državno tekmovanje iz matematike, fizike ali logike.

Sta odlični organizatoriki tekmovanj. Petkrat sta organizirali področno tekmovanja za srebrno Vegovo priznanje, leta 2001 pa področno tekmovanja v znanju logike. Prav tako vsako leto sodelujeta v ocenjevalnih komisijah na šolskih in področnih tekmovanjih iz matematike, fizike in logike. Leta 2000 sta sodelovali v organizacijskem odboru za izvedbo državnega tekmovanja za zlato Vegovo priznanje za celjsko regijo. Posebej sta se izkazali pri organizaciji področnega tekmovanja za srebrno Stefanovo priznanje, ki sta ga izvedli istega leta.

Dušanika Colnar od leta 1999 uspešno vodi študijsko skupino za fiziko, v katero so vključeni učitelji in učiteljice fizike osnovnih šol iz Velenja, Šoštanja in celotne Zgornje Savinjske doline. Sodeluje na sestankih vodij študijskih skupin in pomaga pri izbiri nalog za šolska tekmovanja iz fizike.

Marjeta Marovt je v letih 1978 do 1983 vodila aktiv učiteljev matematike Zgornje Savinjske doline. S svojim znanjem in delom je pritegnila udeležence in poskrbela za redno in učinkovito delovanje aktiva.

Leta 2002 sta obe sodelovali s člani celjske podružnice DMFA pri izvedbi odkritja spominske plošče, posvečeni 150-letnici rojstva matematika Blaža Matka ter sestavili in oblikovali zloženko o njegovem življenju in delu.

Nada Marčič je profesorica matematike in višja svetovalka za matematiko. Na Srednji lesarski šoli v Ljubljani je od leta 1974 do leta 1987 poučevala matematiko in računalništvo. Leta 1987 je postala članica Predmetne skupine za matematiko na Zavodu Republike Slovenije za šolstvo. Nekaj let je bila tudi vodja skupine. Sodeluje v delovni skupini za pripravo nalog zunanjega preverjanja znanja iz matematike za osemletno osnovno šolo in za vrednotenje izdelkov učencev. S sodelavci je pripravila zbirko preizkusov znanja za skupinsko preverjanje znanja učencev 8. razreda osnovne šole z rešitvami. Je soavtorica publikacije Matematika – zbirka nalog za pregledno ponovitev osnovnošolskega programa. Skupaj s sodelavci je izdala priročnik za učitelje *Uporaba programa Cabri*. Od začetka izhajanja revije *Matematika v šoli*, leta 1992, je članica uredniškega odbora. Prvih šest let je bila glavna urednica revije, odtlej pa je odgovorna urednica.

Dolgo vrsto let je članica državne tekmovalne komisije za tekmovanja osnovnošolcev za Vegova priznanja. Kmalu po uvedbi matematičnega tekmovanja dijakov srednjih tehniških in strokovnih šol pa se je vključila tudi v delo državne tekmovalne komisije tega tekmovanja. Vsako leto sodeluje pri pripravi nalog tekmovanja Evropski matematični kenguru. Je koordinatorica matematičnih tekmovanj v okviru Zavoda Republike Slovenije za šolstvo. S svojo nesebično pomočjo, skrbnostjo in prizadevnostjo je dosegla, da je sodelovanje Zavoda z Društvom matematikov, fizikov in astronomov Slovenije pri organizaciji matematičnih tekmovanj zgledno.

Marijan Prosen je univerzitetni diplomirani astronom v pokoju. Bil je profesor matematike in fizike. Je učitelj svetnik. Delal je kot strokovni sodelavec za astronomijo na Astronomsko-geofizikalnem observatoriju (AGO), kot pedagoški svetovalec – urednik matematičnih in fizikalnih učbenikov na Zavodu za šolstvo, učil je na osnovni in srednji šoli. Za svoje pedagoško in strokovno delo je prejel red dela s srebrnim vencem, Levstikovo nagrado (za knjigo *Utrinki iz astronomije*), zlato značko Prirodoslovnega društva Slovenije in nekaj drugih pohval in priznanj.

Poleg zelo uspešnega pedagoškega dela neposredno v razredu in tudi zunaj šole se je posvetil pisanju učbenikov in priročnikov za osnovno in srednjo šolo (okoli 25), v glavnem pa popularizaciji astronomije, tako s pisanjem člankov (več kot 1000) kot tudi s poljudnimi predavanji in strokovnimi delavnicami (okoli 300). Njegova bibliografija obsega 66 enot – publikacij (knjig, brošur, pomembnih strokovnih listov).

Sodeloval je pri projektu TEMPUS – pouk in razvoj začetnega naravoslovja v sklopu Pedagoške fakultete v Ljubljani in Zavoda za šolstvo Republike Slovenije (1990–92). V letih 1967–72 je bil vodja Astronomске terminološke komisije pri DMFA Slovenije.

Širši javnosti je predstavil številne naše astronome, med drugim Perlaha, Pergerja in Hallersteina. Bil je soustanovitelj Preseka, Spike in Astronomskega društva Javornik. V Enciklopediji Slovenije je napisal zgodovino slovenske astronomije, z gesli iz astronomije je sodeloval pri novem Slovenskem velikem leksikonu. Poleg Obzornika za matematiko in fiziko (44 prispevkov) in Preseka (130) piše še v številne druge slovenske revije. Vrsto let sodeluje na strokovnih srečanjih DMFA z vsaj enim prispevkom. Člani društva pa se ga gotovo najbolj spominjamo po nočnih ogledih zvezdnega neba na strokovnih srečanjih in njegovih slikovitih razlag ob soju baterije.

Na podlagi predlogov sestavila *Nada Razpet*

STROKOVNO SREČANJE IN 55. OBČNI ZBOR DMFA SLOVENIJE

Strokovno srečanje

Dolgo smo premišljevali, na koncu pa smo se le odločili, da bo srečanje v Bohinju. Kljub slabim vremenskim obetom se je preddverje hotela v petek, 7. novembra 2003 zjutraj hitro polnilo. Bohinjci so nam pripravili prijetno dobrodošlico in že zjutraj smo začeli s predavanji v polnih dvoranh.

Delali smo v treh skupinah. Fiziki so imeli srečanje o uporabi fizike, matematiki pa so se razdelili v dve skupini. Profesorji matematike osnovnih šol so imeli burno debato ob predavanju Marije Kavkler, ki je govorila

o izkušnjah z otroki s posebnimi potrebami pri učenju matematike, Zlatan Magajna je govoril o mejah problemskega znanja, Mara Cotič o matematičnih problemih in uporabi geoplošče. Po kosilu je Amalija Žakelj govorila o pomenu problemskih situacij pri pouku, Matjaž Željko o vzorcih in zaporedjih, Izidor Hafner o poliedrih in mreži, didaktične igre pri pouku matematike pa je predstavila skupina avtoric: Nataša Centa, Biserka Bavdek in Maja Rakun Beber.

Profesorji srednjih šol so pričeli s predavanjem Zlatana Magajne o mejah problemskega znanja in nadaljevali z Marijo Kavkler, ki je govorila o mladostnikih s posebnimi potrebami in problemih pri učenju matematike. Po kosilu je Marko Razpet govoril o številu lihih multinomskih koeficientov, Matjaž Željko o vzorcih in zaporedjih, Janez Strnad o učnem načrtu za fiziko v gimnazijah in Lucijana Kračun o igrivem utrjevanju.

Popoldanski del se je končal s predstavitvijo nove urednice Preseka Maje Klavžar. Predstavila nam je svoj pogled na obliko in vsebino Preseka, nekaj predlogov pa so posredovali tudi udeleženci.

Večer smo končali s kratkim zabavnim programom. Nekateri so ob zvokih harmonike tudi zaplesali. Živahno je bilo ob mizah, kjer so se udeleženci pogovarjali, preizkusili nekaj novih iger in si pripovedovali šale.

V soboto smo pričeli z vabljenimi predavanji za vse udeležence. Dragan Marušič je prikazal simetrije skozi preplet grup in grafov, Bojan Mohar je govoril o vložitvi grafov v sklenjene ploskve in Dragan Mihailović o kvantnih efektih v nanožicah. Vsi predavatelji so dokazali, da se da tudi zahtevno raziskovalno delo predstaviti tako, da je razumljivo širšemu občinstvu.

Po občnem zboru smo nadaljevali v dveh skupinah. Osnovnošolski profesorji so pričeli s predavanjem Nade Razpet o preoblikovanju in rezanju likov, nadaljeval je Darjo Felda s sorazmerji in na koncu je sledil še pogovor o seminarskih nalogah.

Profesorjem srednjih šol je Dušan Modic predstavil seznam trikotniških konstrukcij, Marijan Prosen je govoril o Hallersteinu in zvezdah, Nada Razpet pa o preoblikovanju in rezanju likov.

Da smo teme tokrat zares dobro izbrali, kaže podatek, da so udeleženci zdržali do konca in da je bila udeležba številčna, saj je bilo srednješolskih profesorjev okrog 70, osnovnošolskih pa skoraj 50.

Tokrat nismo pripravili posebnega programa za profesorje fizike. Pričakovali smo, da jih bodo pritegnile teme s srečanja o uporabni fiziki. Žal pa ni bilo tako. Videti je, da je potrebno seminar prijaviti (točke), sicer profesorji fizike nimajo možnosti, da bi prišli na taka srečanja.

Občni zbor

V delovno predsedstvo so bili izvoljeni: predsednik Zvonko Trontelj, Marija Cerkovnik, Karel Šmigoc in zapisnikar Janez Krušič. Za overovatelja zapisnika pa sta bila izbrana Milan Hladnik in Mitja Rosina.

Na začetku smo se spomnili umrlih članov DMFA Slovenije. Peter Petek nas je še enkrat spomnil na pokojnega častnega člana Nika Prijatelja, Zvonko Trontelj pa na preminule fizike: Milana Osredkarja, Gvida Preglja in Milana Pintarja.

Sledil je svečani del. Za nova častna člana društva sta bila imenovana Robert Blinc in Mitja Rosina. Utemeljitev sta prebrala Zvonko Trontelj in Milan Hladnik. Društvena priznanja za delo z mladimi so prejeli: Matjaž Babič, Dušanka Colnar, Nada Marčič, Marjeta Marovt in Marijan Prosen. Posebno zahvalo je prejela tudi Gimnazija Gian Rinaldo Carli Koper – Capodistria.

Vsa poročila so bila objavljena v biltenu, zato je delo dobro steklo. Zvonko Trontelj je povabil vse člane k sodelovanju ob praznovanju mednarodnega leta fizike 2005. Darjo Felda je povabil člane k sodelovanju pri organizaciji mednarodne matematične olimpijade 2006, Peter Legiša pa k aktivnemu sodelovanju na prihodnjem strokovnem srečanju, kjer bomo govorili o delu z zelo nadarjenimi mladostniki.

Sprejeta sta bila **dva sklepa**:

1. Prijavnina za tekmovanja iz matematike in fizike, ki jih v letu 2004 organizira DMFA, je za tekmovanja na prvem nivoju 200 SIT na tekmovalca.
2. Spremenita se 18. in 37. člen Pravilnika o tekmovanjih osnovnošolcev v znanju matematike za Vegova priznanja tako, da bo lahko število podeljenih priznanj doseglo zgornjo mejo, ki jo določajo smernice MŠZŠ.

Poročilo nadzornega odbora je prebral Mitja Rosina. Nadzorni odbor je ugotovil pravilnost poslovanja DMFA Slovenije.

Občni zbor je sprejel poročilo nadzornega odbora in na njuni želji razrešil dosedanja člana UO Majo Manohin in Mihaela Permana. Predsednik Peter Petek se je obema zahvalil za dosedanje delo.

Za nova člana UO je občni zbor soglasno izvolil Renato Dužič z Osnovne šole Vrhovci (Ljubljana) za sekretarko za pedagoško dejavnost (fizika) in Pavleta Saksido s Fakultete za matematiko in fiziko v Ljubljani za sekretarja komisije za uporabno matematiko.

Občni zbor se je končal ob 13.00.

Namesto zaključka

Bohinjci so dokazali, da so dobri gostitelji. V hotelu smo se izvrstno počutili, osebje je poskrbelo za dobro razpoloženje tako z okrasitvijo kot s prehrano. Posebna zahvala gre tudi ravnateljici, pomočnici ravnateljice in aktivu matematikov z osnovne šole dr. Janez Mencinger v Bohinjski Bistrici, ki so posodili grafoskope in bili pripravljeni ob težavah priskočiti na pomoč. Projektorje za prenos slike z računalnikov smo si sposodili na Fakulteti za matematiko in fiziko in Gimnaziji Bežigrad. Za Bilten in razstavo knjig je

poskrbelo Založništvo DMFA, tretjo knjigo iz serije prenovljenih učbenikov Ivana Kuščerja in Antona Moljka pa je razstavila DZS. Zahvaljujemo se tudi vsem predavateljem in udeležencem, saj brez njih srečanje ne bi bilo uspešno. Vidimo se na 56. srečanju.

Nada Razpet

Profesor Peter Gosar – osemdesetletnik

Nedavno je praznoval svojo osemdesetletnico akademik prof. dr. Peter Gosar.

Peter Gosar je bil rojen 15. oktobra 1923 v Ljubljani. Po končani klasični gimnaziji je študiral fiziko na Univerzi v Ljubljani in diplomiral leta 1951 iz predmetne skupine fizika in matematika. Leta 1956 je na Univerzi v Ljubljani obranil tudi doktorsko disertacijo o razširjanju svetlobe v optično nehomogenem sredstvu.

Po diplomi je bil v letih 1953–57 najprej zaposlen v laboratoriju za polprevodnike pri Inštitutu za elektroizveze v Ljubljani, leta 1957 je postal sodelavec Nuklearnega inštituta Jožef Stefan. Leta 1963 je začel predavati predmet Fizika trdne snovi na Matematično-fizikalnem oddelku Fakultete za naravoslovje in tehnologijo v Ljubljani, kjer je bil leta 1966 izvoljen v naziv izrednega profesorja in leta 1971 v naziv rednega profesorja. Na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo je bil zaposlen od leta 1960 do upokojitve v letu 1993.

Profesor Gosar je v našem prostoru začetnik in mentor teoretičnih raziskav trdnih snovi. Te so bile predmet njegovega znanstvenega dela po začetnem obdobju, v katerem je raziskoval zlasti površinske lastnosti silicija, lateralni fotoefekt in silicijeve sončne celice. Kot teoretik se je sprva lotil odprtih vprašanj fizike polprevodnikov, kot so Zenerjev pojav in prevodnost primesi v kristalih. Zlasti odmevni so bile njegovi teoretični prispevki, kjer je obravnaval različne transportne in dinamične probleme v trdnih snoveh: (a) protonsko prevodnost v ledu, kjer je uvedel ionske energijske pasove, (b) dinamični in statični odziv paraelastičnih centrov, (c) gibljivost elektronov v molekulskih in neurejenih kristalih, (d) gibanje majhnih polaronov, (e) notranje trenje in relaksacijo trdnih snovi in (f) korelirano preskakovanje elektronov. Rezultate svojih raziskav je prikazal v več kot 50 znanstvenih člankih, objavljenih v uglednih mednarodnih strokovnih revijah. Pri svojem delu je sledil hitremu razvoju in uporabi teoretičnih metod



kvantne mehanike in statistične fizike pri raziskavah trdnih snovi v svetu in k temu tudi sam prispeval. Zlasti velja to za metodo Greenovih in odzivnih funkcij pri obravnavi kvantne dinamike, ki jo je med prvimi uporabil za obravnavo problemov paraelastičnih centrov, majhnih polaronov in neurejenih snovi. Prof. Gosar ni zanemarjal širjenja znanja o fiziki trdne snovi v širšem krogu fizikov, kar kaže več kot 20 prispevkov v domačih strokovnih revijah.

Profesor Gosar je znanstveno deloval tudi v več tujih laboratorijih: 1958/59 v Laboratoire de Magnetisme et de Physique du Solide v Bellevue, Francija, 1964 na Univerzi Severne Karoline, Chapel Hill, ZDA, 1972/73 v Laboratoire de Spectrometrie Physique, Universite I, Grenoble, Francija. Sodeloval je na številnih mednarodnih in domačih strokovnih srečanjih, večkrat z vabljenimi in uvodnimi predavanji.

Za raziskave protonske prevodnosti je prejel profesor Gosar leta 1964 Kidričevo nagrado, leta 1994 pa za življenjsko delo na področju teoretične fizike tudi državno nagrado Republike Slovenije za znanstveno-raziskovalno delo. Slovenska akademija znanosti in umetnosti ga je leta 1969 izvolila za svojega dopisnega, leta 1976 pa za rednega člana. Za svoje delo je bil leta 1980 odlikovan z Redom dela z zlatim vencem. Univerza v Ljubljani mu je leta 1994 podelila naziv zaslužnega profesorja, Institut Jožef Stefan pa naziv zaslužnega znanstvenika.

Izreden je vpliv, ki ga je imela pedagoška dejavnost profesorja Gosarja. Na Oddelku za fiziko Fakultete za naravoslovje in tehnologijo je predaval izmenoma skoraj vse predmete teoretične fizike, v okviru dodiplomskega študija zlasti Fiziko trdne snovi, Mehaniko kontinuumov, Kvantno mehaniko ter Kvantno optiko v okviru podiplomskega študija. Njegova predavanja so veljala med študenti in profesorji za vzor dobrih predavanj. Cenjena so bila kot izjemno dobro pripravljena in kljub zahtevnosti kot razumljiva in zanimiva. V zadnjem desetletju pedagoške dejavnosti prof. Gosarja je bila ključna njegova vloga kot predsednika komisije in glavnega izpraševalca pri diplomskih in magistrskih izpitih. Ravno tako so bila ves čas neprecenljiva njegova pretehtana mnenja pri usmerjanju pedagoškega dela in pri kadrovske vprašanjih na Oddelku za fiziko in tudi širše. Profesor Gosar je bil mentor pri štirih doktorskih delih in pri večjem številu magistrskih in diplomskih del.

Peter Gosar je ob svojem raziskovalnem in pedagoškem delu prevzemal vrsto drugih odgovornih nalog. Poleg več vodstvenih funkcij na Institutu Jožef Stefan, kjer je bil nazadnje leta 1980–82 tudi predsednik Znanstvenega sveta, je bil v letih 1971–72 in 1973–75 predstojnik Oddelka za fiziko FNT. V letih 1970–71 je bil predsednik Društva matematikov, fizikov in astronomov. Bil je član komisije za Kidričeve nagrade, član predsedstva Raziskovalne skupnosti in več let tudi predsednik njene področne komisije za matematično-fizikalne vede. Od leta 1994 je tudi častni član Društva matema-

tikov, fizikov in astronomov.

Peter Gosar se je s svojim delom izkazal kot izjemen znanstvenik, mentor in voditelj mladim raziskovalnim rodovom, bil je izredno cenjen in uspešen predavatelj in pedagog. Upravičeno velja za enega stebrov slovenske fizikalne šole zadnjih desetletij.

Naj ob tej priložnosti vsi slovenski fiziki zaželimo jubилantu čim več trdnega zdravja in zadovoljstva.

Peter Prelovšek in Raša Pirc

Seznam diplomantov višješolskega, univerzitetnega in podiplomskega študija ter doktorandov iz matematike in fizike v letu 2002*

Pedagoška fakulteta – Maribor

Univerzitetni študij

Matematika

- | | |
|-----------------------|---|
| 74. Helena Bezgovšek | Moduli nad glavnimi kolobarji |
| 75. Tadej Blatnik | Grafovski pokritja |
| 76. Tatjana Cirer | Ocene korenov algebrskih enačb |
| 77. Nina Cverlin | Linearni algoritmi za iskanje centra in absolutnega centra na kaktusovih grafih |
| 77. Lovro Dretnik | Gersgorinovi diski in Cassinijevi ovali |
| 79. Helena Ferik | Dendriti |
| 80. Tatjana Golob | Teorija Markova o aproksimacijah realnih števil |
| 81. Maja Hladnik | Konveksne podmnožice evklidskih prostorov |
| 82. Natalija Horvat | Drazinov inverz |
| 83. Helena Jus | Eksponentna funkcija matrike |
| 84. Nevenka Kamenik | Pellova enačba $x^2 - Dy^2 = N$ |
| 85. Gregor Kopinč | Razširitve holomorfnih funkcij |
| 86. Helena Kos | Primitivni koreni |
| 87. Katja Kotnik Orož | Zaporedja za ugotavljanje celoštevilčnosti |
| 88. Danijela Kuhar | Shanksov algoritem za računanje verižnega lomka $\log_b a$ |
| 89. Mitja Pranjic | Sumabilnost divergentnih vrst |
| 90. Dragan Raičević | Algebrski zaprti polja |
| 91. Danijela Rupreht | Linearno programiranje in transportni problem |
| 92. Simon Špacapan | Pontrjaginova dualnost v teoriji topoloških grup |
| 93. Sandra Vajcer | Wedderburnov izrek o končnih obsekih |
| 94. Simona Zupan | Lokacije lastnih vrednosti |

Fizika

- | | |
|---------------------|---|
| 15. Matej Forjan | Transport ionov v nematični tekoči kristalni celici |
| 16. Matjaž Perc | Analiza atraktorjev in prepoznavanje kaosa |
| 17. Zoran Raičević | Nelinearni valovi |
| 18. Nataša Ravnikar | Šport in fizika v srednji šoli |
| 19. Matej Sužnik | Modeliranje temperaturnega polja za različne vrste zemeljskih površin |

* Seznam diplomantov iz leta 2001 je bil objavljen v Obzorniku mat. fiz. 49 (2002) 6.

20. Milan Svetec Anihilacija nematičnih točkovnih defektov v cilindrični kapi-lari.

Matematika in fizika

122. Marija Mira Ambruš Ekspanzije grafov
 123. Slavko Buček Sredine
 124. Samo Dreo Tretji Hilbertov problem
 125. Nevenka Jakopič-
 Pijanmanov Končni avtomati
 126. Ana Kodelja Modularna aritmetika
 127. Damjan Pihler Centri in absolutni centri grafov
 128. Marko Pongračič Magnusov efekt
 129. Lidija Vajngerl Fizika letenja

Matematika – proizvodno tehnična vzgoja

29. Vesna Bogovič Koncipiranje vsebin za fotografsko dejavnost in evalvacija te dejavnosti
 30. Marta Pavlin Koncipiranje vsebin za fotografsko dejavnost in evalvacija te dejavnosti
 31. Špela Pečnik Eksponentna funkcija in eksponentna rast
 32. Evgenija Peternel Sestavljanje matematičnih ugank
 33. Mateja Slana Preizkušanje fizikalnih in mehanskih lastnosti gradiv in eval-viranje protokolov za vaje
 34. Simona Sobotič Smithov dokaz izreka o dveh kvadratih
 35. Petra Strnad Stohastičen model širjenja razpoke v korenu zoba zobnika
 36. Apolonija Šetina Sangaku naloge o trikotnikih in krožnicah
 37. Vanja Uranjek Gradivo pri tehniki in tehnologiji – les
 38. Nataša Vidonja Primeri iz analize, zgrajeni s pomočjo funkcije $\sin \frac{1}{x}$

Proizvodno tehnična vzgoja – fizika

22. Branko Bezec Analiza preverjanja znanja fizike z nacionalnimi preizkusi
 23. Robert Murko Energija morja
 24. Samo Zanjkovč Magnetno polje krožne točkovne zanke
 25. Dejan Zupanc Kartogram kot pripomoček za medpredmetno načrtovanje in povezovanje tehnično naravoslovnih in drugih predmetov

Geografija in matematika

2. Mateja Petrič Prostorska predstava pri pouku geografije

Kemija in matematika

8. Stanka Drobnak Metodika kemijskega računstva v kurikularno prenovljenih programih
 9. Marija Kodrin Metodika kemijskega računstva v kurikularno prenovljenih programih
 10. Alenka Lah Metode kurikularno prenovljenih srednješolskih programov
 11. Nataša Sajovec Karakterizacija hiperkock
 12. Monika Šket Multimedijske didaktične enote kurikularno prenovljenih sre-dnješolskih kemijskih programov

Biologija in matematika

7. Iva Kociper Nekaj matematičnih pristopov k molekularni biologiji
 8. Anita Mlinarič Gojenje in urejanje zbirke uporabnih rastlin

9. Bernardka Novosel Biometrija ploščkov iz skupine *Trogulus gr. tricarinatus* (Arachnida: Opiliones: Trogulidae)

Matematika in zgodovina

1. Nina Kokol Gospodarstvo Starega Rima

Matematika in teologija

4. Marija Brest Dinamično programiranje
5. Andreja Roškar Aritmetične lastnosti korenov enot

Angleški jezik s književnostjo in matematika

3. Mateja Horvat Graham Greene: A Catholic Novelist
Kromatični polinom grafa

Nemški jezik s knjiž. in matematika

1. Bojana Čolnik Geometrijske konstrukcije s palčkami

Podiplomski študij

Magistrski študij – matematika

13. Maja Fošner Neasociativne strukture v algebrah in superalgebrah
14. Lucijana Kračun Zasnavljanje geometrije s pomočjo zrcaljenj

Magistrski študij – fizika

1. Vladimir Grubelnik Matematično modeliranje enostavnih in kompleksnih oscilirajočih sistemov

Doktorati – matematika

6. Rok Strašek Ocene norm algebraičnih operatorjev v neasociativnih praalgebrah
7. Alenka Lipovec Podgrafi kartezičnih produktov grafov

Pedagoška fakulteta – Ljubljana

Univerzitetni študij

Matematika in fizika

191. Anka Bertoncelj Demonstracija sončnega zahoda in mavrice
192. Ambroš Demšar Uporaba biomase za ogrevanje: projekti iz fizike in ekologije
193. Nataša Umek Plankar Strah pred matematiko
194. Marja Kranjc Končna polja in linearna algebra
195. Andrej Rutar Opazovanje mrka geostacionarnega satelita
196. Darja Potočnik Analiza dreves z računalniškim programom MAGMA
197. Maja Harter Poskusi s kartezijskim plavcem
198. Helena Erika Rojc Astronomija v koledarju Majev
199. Tonja Motnik Augustin-Luis Cauchy
200. Danijela Pezdirc Manj uspešen učenec pri nivojskem pouku matematike
201. Špela Erjavec Določanje položaja severnega nebesnega pola
202. Marjeta Jesenko Uporaba videokamere pri poskusih iz kinematike
203. Marko Havle Dvodelni grafi in njihove metrične lastnosti
204. Martina Zorč Normalne enačbe
205. Bojan Bric Dinamika linearnih preslikav
206. Maja Mehle Določanje strukture končne abelske grupe iz seznama redov njenih elementov

Matematika in računalništvo

- | | |
|-------------------|---|
| 3. Dominika Gorup | Izdelava izobraževalnega gradiva za področje matematike z uporabo spletnih tehnologij |
| 4. Polona Mlinar | Uporaba računalnika pri pouku v osnovni šoli |
| 5. Janja Košič | Latinski kvadrati |
| 6. Tina Tomšič | Spletna aplikacija za učenje algoritmov za sortiranje |
| 7. Maruška Dežman | Bernoullijeva števila |

Matematika in tehnika

- | | |
|-----------------------|---|
| 97. Alenka Kogoj | Projektni tehnični dnevi v bodoči devetletki. Umetno livarstvo: „od ideje do izdelka” |
| 98. Darja Strah | Nekatere invariante vozlov |
| 99. Miha Bašelj | Projektni tehnični dnevi v devetletki. Ure skozi čas: „od ideje do izdelka” |
| 100. Uroš Komel | Projektni tehnični dnevi v devetletki. Izdelki iz odpadne embalaže: „od ideje do izdelka” |
| 101. Marjan Kordiš | Konveksne funkcije, aproksimacija in separacija |
| 102. Špelca Bertonec | Newtonova metoda za kubično enačbo |
| 103. Jana Skube | p -adična števila |
| 104. Andreja Marucelj | Matematično delo Jurija Vege |
| 105. Peter Malavašič | Informatika v šoli. Uporaba Lotus Notes R5 za sprotno spremljanje učnega procesa |
| 106. Tina Klavs | Pomen pripomočkov pri razmišljanju učencev o geometrijskih preslikavah |

Fizika in tehnika

- | | |
|------------------------|---|
| 24. Jože Štrukelj | Projektni tehnični dnevi v devetletki. Modelna izdelava plovil, letal in raket: „od ideje do izdelka” |
| 25. Tomaž Mavrič | Kepplerjeva obravnava Jupitrovih lun |
| 26. Žiga Lebar | Projektni tehnični dnevi v devetletki. Izdelava lutk: „od ideje do izdelka” |
| 27. Martin Pišlar | Integrirana uporaba računalnika pri pouku kinematike v osnovni šoli |
| 28. Julijana Stankovič | Projektno učno delo pri pouku tehnike in tehnologije v šestem razredu devetletke |
| 29. Tomi Brečko | Obravnava ionizirajočega sevanja v šoli |
| 30. Jaka Banko | Demonstracijski prikaz energijskih pretvorb pri valovanju |
| 31. Damjan Gašparič | Uporaba računalnika pri izbirnih vsebinah iz astronomije |
| 32. Luka Bole | Energija vetra – šolski projekt |

Kemija in fizika

- | | |
|-----------------|------|
| 27. Mojca Rutar | Veme |
|-----------------|------|

Izredni študij

- | | |
|----------------------|---|
| 1. Nevenka Baskar | Dr. Franc Močnik in geometrija v šoli |
| 2. Darja Brezovar | Raziskava TIMSS in sprememba v osnovnošolskem pouku geometrije |
| 3. Majda Kovačec | Zunanja diferenciacija pri pouku matematike |
| 4. Marija Narat | Tehniški dnevi v devetletki. Projektno učno delo „od ideje do izdelka”. Izdelki iz usnja |
| 5. Aleksandra Ristič | Razširitev matematičnega problema |
| 6. Zdenka Šoln | Projektni tehnični dnevi v devetletki. Umetne mase in izdelki iz moosgummija: „od ideje do izdelka” |

- | | |
|-----------------------|--|
| 7. Alenka Valenčič | Obravnava učencev z učnimi težavami pri matematiki |
| 8. Marija Zore Krivec | Bifurkacije |

Fakulteta za matematiko in fiziko

Višješolski študij

Matematika – uporabna smer

- | | |
|----------------------|--|
| 336. Svetlana Šaljić | Računalniško orodje za delo z grafi |
| 337. Jana Perko | Programski jezik Pascal in naloge z osnovnošolskih računalniških tekmovanj |
| 338. Zoran Šinigoj | Problem razpoznavanja vzorcev v besedilih |
| 339. Mateja Budin | Mandelbrotova in Juliajeve množice |
| 340. Žiga Krofi | Reševanje diferencialnih enačb v dinamiki gradbenih konstrukcij |
| 341. Boris Vatovec | Reševanje diferencialnih enačb z metodo Runge-Kutta |

Visokošolski strokovni študij

Praktična matematika

- | | |
|----------------------|---|
| 5. Tomaž Majerhold | Analitično raziskovanje loma ravninskega akustičnega vala, ko zadane elipsoid |
| 6. Mojca Murovec | Rimske številke |
| 7. Irena Verdinek | Izdelava animacij s pomočjo Flasha |
| 8. Uroš-Jože Kralj | Uporaba teorije iger v modelu on-line trgovanja |
| 9. Jurij Rici | Iskanje praštevilskih vrzeli |
| 10. Andreja Valentan | Analiza mobilnega klica |
| 11. Mirnesa Klisura | Večrazsežnostni pogled na podatke |
| 12. Janez Košir | Gauss-Krügerjeve koordinate |
| 13. Simona Brejc | Kako iz labirinta |
| 14. Igor Rozman | Celoštevilsko programiranje |
| 15. Martin Kecelj | Navzgor omejeni problemi razvoja po omrežjih |

Fizikalna merilna tehnika

- | | |
|---------------------|--|
| 2. Rudi Janežič | Razvoj zobozdravstvenega ročnika |
| 3. Mitja Kozamernik | Merilna negotovost s poudarkom na meritvah z dinamometri |
| 4. David Jezeršek | Umeritve merilnega sistema za termoluminiscenčno dozimetrijo |
| 5. Erik Zupanič | Eksperimentalna metoda za analizo dinamičnega odziva optooptičnih modulatorjev |
| 6. Simon Grašič | Meritve kvalitete prenosa govora v IP telefoniji |

Univerzitetni študij

Matematika – pedagoška smer

- | | |
|-------------------------------|---|
| 541. Klementina Rednak Mežnar | Posebne točke v trikotniku in hiperbola Ludwiga Kieperta |
| 542. Marja Benigar | Heronova formula |
| 543. Lucija Filipčič | Simultana diagonalizacija para komutirajočih normalnih matrik |
| 544. Jana Koren | Hiperbolična ravnina |
| 545. Nataša Ivanušič | Steinerjave verige krožnic |
| 546. Boro Nikić | Majorizacija in dvojno stohastične matrike |
| 547. Branko Čas | Numerični zaklad linearnega operatorja |
| 548. Mirjana Zeman | Poncelotove krivulje |

549. Dragica Novak	Riemannove ploskve, holomorfni diferenciali in Riemann-Rochov izrek
550. Marko Koselj	Primeri uporabe navadnih diferencialnih enačb
551. Simona Ipša	Pozitivni operatorji na sladolednih stožcih
552. Katarina Kralj	Povprečna razdalja v metričnih prostorih
553. Maja Arh	Sebi adjungirane matrike glede na nedefinitni skalarni produkt
554. Deja Kačič	Matematična indukcija
555. Neva Ećimović	Trikotniki v kompleksni ravnini
556. Janja Blaško	Tlakovanje večkotnikov s ploščinsko enakimi trikotniki

Matematika – uporabna smer

598. Sanja Fidler	Analiza neodvisnih komponent
599. Mario Medved	Metodi hitrega širjenja in nivojskih množic pri gibanju meje med območji
600. Vanja Seničar	Sheme za deljenje skrivnosti
601. Marjetka Kranjc	Subdivizijske sheme
602. Špela Simončič	Uporaba martingalov v zavarovalništvu
603. Dejan Tušar	Petrijeve mreže in baze podatkov
604. Matevž Kovačič	Izdelava tretje normalne forme baze podatkov
605. Tea Robič	Genetski algoritem za problem urnika
606. Boštjan Pirkovič	Risanje grafov s hitrimi hierarhičnimi metodami
607. Matjaž Košak	Sledenje napak pri razvoju in uporabi programske opreme
608. Varja Hostnik	Preštevanje sprehodov po ravnini

Matematika – teoretična smer

80. Mitja Pirc	Diferenciacija v socialni politiki znotraj EU vodi k večji blaginji
81. Dejan Kolarič	Holomorfne preslikave s $\mathbb{C}^n$ v $\mathbb{C}^n$
82. Sašo Živanović	Kvantifikacija v naravnem človeškem jeziku
83. Andrej Vodopivec	Krožno pretočno število grafa
84. Urban Perko	Negibne točke v funkcionalni analizi
85. Primož Šparl	Neskončni visoko ločno tranzitivni digrafi in univerzalni krovni digrafi
86. Peter-Marijan Kink	Stohastična optimalna kontrola

Matematika – smer računalništvo z matematiko

11. Klemen Bajec	Močnik: orodje za izdelavo sodejnih omrežnih izobraževalnih sestavkov
------------------	---

Fizika – pedagoška smer

149. Fanc Peterlin	Interferenčni poskusi z ultrazvokom
150. Sebastjan Mozetič	Kapilarna sila med dvema ukrivljenima ploskvama
151. Nada Žonta	Vrtinčni tokovi pri pouku fizike
152. Kristina Suhadolnik	Plimovanje
153. Luka Vidic	Neklasična in klasična krila

Fizika

826. Emil Polajnar	Van der Waals-Lifšicove sile v mnogoslojnih sistemih
827. Petra Tomše	Prekrivalne dvojnice in druge spremenljive zvezde odkrite v PIKA bazi

828. Urtzi Jauregi Simulations of stellar photospheres with Kurucz models: analysis of a model grid and of line formation depth: a preliminary study of the peculiar variable V838 Moon
829. Marjan Slatinek Dinamika defektov v nematskih tekočih kristalih: tenzorski opis
830. Primož Kušar Sistematične meritve elektronske relaksacije v $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$
831. Matej Marinč Kolaps samointeragirajočega elastičnega polimera
832. Rok Žitko Elektronska transmitivnost nanoskopskih žičk in obročev, opisanih z modeli močno koreliranih elektronov
833. Aleš Stanič Fluoroscenčni razpadi singletnih stanj $1snp$ v heliju
834. Igor Verstovšek Sekundarni pojavi v prasevanju
835. Urban Bitenc Meritve razvejitvenega razmerja $Br(D^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu)$ z detektorjem BELLE
836. Saša Fratina Študij vpliva omejene geometrije na urejanje nematskega tekočega kristala z metodo elektronske paramagnetne resonance
837. Rihard Hudej Določanje velikosti kovinskih skupkov z rentgensko absorpcijsko metodo EXAFS
838. Luka Grasselli Kolikšno razmerje signala proti šumu v spektralnih črtah je potrebno za uspešno ločevanje ukrivljenih od ravnih akrecijskih diskov okoli Schwarzschildovih črnih lukenj
839. Anka Petrovč Potencialno obtekanje osnosimetrične ovire v cevi
840. Aleš Štampfl Vpliv svetlobe na akcijski potencial pri Chari corallini
841. Ferenc Király Vpliv dipolne interakcije na magnetno anizotropijo nanoskupkov
842. Igor Križnar Optimizacija tira elektronov v shranjevalnem obroču ANKA
843. Rok Šabjan Meritve asimetrije naprej-nazaj pri razpadih Z^0 v kvarkovski par $b\bar{b}$
844. Primož Kajdič Primerjava opazovanih lastnosti $L\alpha$ in $H\beta$ črte v aktivnih galaktičnih jedrih

Meteorologija

80. Robert Lesar Določanje turbulentne difuzivnosti s pomočjo podatkov ekološkega informacijskega sistema NE Krško
81. Blaž Kurnik Primerjava različnih metod za izračun referenčne evapotranspiracije v Sloveniji
82. Gregor Skok Merjenje količin padavin s satelita TRMM

Podiplomski študij

Specialistični študij – matematično izobraževanje

13. Eva Zupan

Magistrski študij matematike – izobraževalna smer

26. Darja Delač Felda Formalne potenčne vrste logaritemskega tipa

Magistrski študij matematike – raziskovalna smer

110. Janez Povh Semidefinitno programiranje in kombnatorična optimizacija
111. Štefko Miklavič Razdaljno-regularni grafi majhnega premera
112. Jaka Smrekar O fantomskih preslikavah
113. Helena Šmigoc Spekter nenegativnih matrik
114. Karin Cvetko Polgrupe matrik
Rasmussen

- | | |
|---------------------|---|
| 115. Primož Moravec | Engelovi pogoji na grupah |
| 116. Gašper Jaklič | Dimenzija prostora zlepkov nad triangulacijami |
| 117. Iztok Kavkler | Polinomske omejeni operatorji |
| 118. Mateja Raič | Realizacija kohomološke algebre |
| 119. Petra Grošelj | Markovski kontrolni procesi in stohastične igre z ničelno vsoto |
| 120. Dejan Velušček | Stopnje obsegov |

Magistrski študij fizike

- | | |
|---------------------|--|
| 187. Matjaž Vencelj | Vzbujena stanja v jedru ^{98}Ag |
| 188. Mirjam Pirc | Uporaba videotehnike pri fizikalnih poskusih |
| 189. Sonja Jejčič | Spektroskopija in dopplersko zaznavanje gibanja Sonca |
| 190. Aleš Fajmut | Matematični model oscilacij koncentracije kalcija v celici |

Doktorati – matematika

- | | |
|-------------------|--|
| 68. Arjana Žitnik | Eulerjevi prehodi s predpisanimi zavoji |
| 69. Janko Bračič | Algebre z ločljivim spektrom in Banachovimi moduli nad njimi |
| 70. Gašper Fijavž | Grafovski minorji in povezanost |
| 71. David Dolžan | Končni asociativni kolobarji z enico |
| 72. Emil Žagar | Zlepki in interpolacija krivulj |

Doktorati – fizika

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 245. Andreja Gomboc | Rapid luminosity changes due to interaction with a black hole |
| 246. Klemen Kočever | Študij mejnih plasti tekočih kristalov na trdni snovi |
| 247. Gregor Veble | Študije v kvantnem kaosu |
| 248. Mojca Vilfan | Influence of surface properties on the fluctuation spectrum in a liquid crystal |
| 249. Andreja Šarlah | Effect of the confining substrates on nematic order-fluctuations in liquid crystals |
| 250. Fahimeh Karimi Pour Haddadan | Fluctuation-induced force in nematics in external and internal fields |
| 251. Nina Jug | Študij površinskih struktur trihalkogenidov prehodnih kovin in njihovega vpliva na nukleacijo kovinskih depozitov |
| 252. Lea Spindler | Self-assembly of deoxyquanosine 5-monophosphate in aqueous solutions |
| 253. Daša Grabec | Raziskava povezave med obliko celice in fizikalnimi lastnostmi notranjih celičnih struktur |
| 254. Gregor Skačej | Modeling of strongly confined liquid-crystalline systems |
| 255. Kristjan Haule | Diagrammatic theory of strongly correlated electron systems |
| 256. Primož Peterlin | Oblika fosfolipidnega mehurčka v izmeničnem električnem polju |

Doktorati – jedrska tehnika

- | | |
|--------------------|---|
| 257. Andrej Horvat | Modeliranje turbulentne naravne konvekcije v kapljevini z notranjo generacijo toplote z metodo velikih vrtincev |
| 258. Tim Vidmar | Merjenje in modeliranje umeritvene krivulje izkoristka v spektrometriji gama |

Doktorati – meteorologija

- | | |
|----------------------|--|
| 259. Gregor Gregorič | Asimilacija radarskih meritev globoke konvekcije v numerični model v mezo- β skali |
|----------------------|--|

R 177/04

OBZORNIK ZA MATEMATIKO

LJUBLJANA, JANUAR 2002

Letnik 51, številka 1



100001589,1

ISSN 0473-7466, UDK 51 + 4

COBISS

ODPISANO

VSEBINA

Članki	Strani
Tekočekristalni elastomeri, Miha Ravnik	1–13
Vesti	
Nova častna člana DMFA Slovenije, Martin Čopič, Norma Mankoč Borštnik, Nada Razpet, Zvonko Trontelj in Slobodan Žumer	14–18
Dobitniki priznanj DMFA Slovenije, Nada Razpet	18–21
Strokovno srečanje in 55. občni zbor DMFA Slovenije, Nada Razpet	21–24
Profesor Peter Gosar – osemdesetletnik, Peter Prelovšek in Raša Pirc . .	24–26
Seznam diplomantov višješolskega, univerzitetnega in podiplomskega študija ter doktorandov iz matematike in fizike v letu 2002	26–III

CONTENTS

Articles	Pages
Liquid-Crystalline Elastomers, Miha Ravnik	1–13
News	14–III

Na naslovnici je fotografija *Led in bršljan*, ki jo je posnel Štefan Rutar iz Planine pri Cerknem.