

2009

Letnik 56

1

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO



OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

Glasilo Društva matematikov, fizikov in astronomov Slovenije
Ljubljana, JANUAR 2009, letnik 56, številka 1, strani 1–40

Naslov uredništva: DMFA–založništvo, Jadranska ulica 19, p. p. 2964, 1001 Ljubljana
Telefon: (01) 4766 553, 4232 460 **Telefaks:** (01) 4232 460, 2517 281 **Elektronska pošta:** Zaloznistvo@dmfa.si **Internet:** <http://www.obzornik.si/> **Transakcijski račun:** 03100–1000018787 **Devizna nakazila:** SKB banka d.d., Ajdovščina 4, 1513 Ljubljana **SWIFT (BIC):** SKBASI2X **IBAN:** SI56 0310 0100 0018 787

Uredniški odbor: Mirko Dobovišek (glavni urednik), Sašo Strle (urednik za matematiko in odgovorni urednik), Aleš Mohorič (urednik za fiziko), Irena Drevenšek Olenik, Damjan Kobal, Peter Legiša, Petar Pavešić, Nada Razpet, Peter Šemrl, Vladimir Bensa (tehnični urednik).

Jezikovno pregledal Janez Juvan.

Natisnila Tiskarna RAZVEDRILO v nakladi 1250 izvodov.

Člani društva prejemajo Obzornik brezplačno. Celoletna članarina znaša 21 EUR, za druge družinske člane in študente pa 10,50 EUR. Naročnina za ustanove je 33,38 EUR, za tujino 30 EUR. Posamezna številka za člane stane 4,18 EUR, stare številke 2,17 EUR.

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. Sofinancirata jo Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije ter Ministrstvo za šolstvo in šport.

© 2009 DMFA Slovenije – 1744

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana

NAVODILA SODELAVCEM OBZORNIKA ZA ODDAJO PRISPEVKOV

Revija Obzornik za matematiko in fiziko objavlja izvirne 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 ter 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 tudi ločeno od besedila. Avtorji člankov, ki želijo objaviti slike iz drugih virov, si morajo za to sami priskrbeti dovoljenje (copyright). Prispevki so lahko oddani v računalniški datoteki PDF ali pa natisnjeni enostransko na belem papirju formata A4. Zaželen velikost črk je 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 dvema anonimnima recenzentoma, ki morata 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, potem urednik prosi avtorja še za izvirne računalniške datoteke. Le-te naj bodo praviloma napisane v eni od standardnih različic urejevalnikov $\text{\TeX}$ oziroma $\text{\LaTeX}$, kar bo olajšalo uredniški postopek.

Avtor se z oddajo članka strinja tudi z njegovo kasnejšo objavo v elektronski obliki na internetu.

FUNDAMENTALNA GRUPA IN koH -PROSTORI

ALEKSANDRA FRANC

Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko

Ljubljana

Math. Subj. Class. (2000): 55M30, 55Q05

V članku pokažemo, da je fundamentalna grupa koH -prostora prosta. Najprej ponovimo potrebne algebraične definicije in predstavimo pojem fundamentalne grupe. V osrednjem razdelku definiramo koH -prostore in dokažemo zgornjo trditev, na koncu pa predstavimo povezavo z nekaterimi nedavnimi rezultati o fundamentalni grupi mnogoterosti.

FUNDAMENTAL GROUP AND coH -SPACES

After a quick revision of necessary algebraic definitions we explain the concept of the fundamental group in some detail. In the main section we define coH -spaces and prove that the fundamental group of a coH -space is free. Finally, we present some recent results concerning the fundamental groups of manifolds.

1. Uvod

Realne funkcije lahko seštevamo, odštevamo, množimo, itd. Splošneje, na funkcijah, ki slikajo v množico z neko algebraično strukturo, lahko definiramo operacijo po točkah. Tako na primer množico funkcij iz topološkega prostora X v grupo G opremimo s strukturo grupe.

Težje si je predstavljati, kako množico preslikav iz nekega prostora C v prostor X na naraven način opremiti s strukturo grupe. Videli bomo, kako množico preslikav iz krožnice v poljuben prostor X opremimo s strukturo grupe, če pri tem enačimo preslikave, ki so homotopne. Prostorom te vrste pravimo koH -grupe in so osnovni gradniki za konstrukcijo bolj zapletenih prostorov. Pojem koH -prostora je nekoliko splošnejši: ne zahtevamo, da je naša množica funkcij grupa, želimo le, da je opremljena z asociativno operacijo.

Ena od osnovnih lastnosti koH -prostorov je, da imajo prosto fundamentalno grupo. V članku bomo najprej predstavili potrebno algebraično ozadje in pojem fundamentalne grupe, potem pa bomo definirali koH -prostor in dokazali to trditev. Definicijo koH -prostora bomo nato posplošili, kar nas bo pripeljalo do Whiteheadove definicije Lusternik-Schnirelmannove kategorije (pri koH -prostorih je namreč ta enaka 1). Seznanili se bomo tudi z novjšimi rezultati, ki odgovarjajo na vprašanje, kaj lahko povemo o fundamentalni

grupi prostorov z večjo LS kategorijo (zanimivi so še prostori z LS kategorijo 2 ali 3).

2. Nekaj algebre

V osrednjem delu članka bomo potrebovali pojme proste grupe, prostega produkta grup in prezentacije grupe. Pri slednji gre za opis grupe s podajanjem množice generatorjev in množice relacij med njimi. Kadar teh relacij ni, je grupa prosta. Podobno v prostem produktu poljubnih grup ni relacij med elementi iz različnih faktorjev. Lotimo se bolj formalnega opisa.

Naj bo $M \neq \emptyset$ poljubna neprazna množica. Označimo z M^{-1} množico formalnih inverzov $M^{-1} = \{x^{-1} \mid x \in M\}$ in naj velja $(x^{-1})^{-1} = x$ za vse $x \in M \cup M^{-1}$.

Elemente $M \cup M^{-1}$ razglasimo za *abecedo*. Oglejmo si množico vseh končnih *besed*, ki jih lahko tvorimo v tej abecedi. Če na primer naša abeceda vsebuje črke a , b in c , so $abaa^{-1}$, cc^{-1} in $abcabc$ besede. Najprej se dogovorimo, da bomo vse besede zapisali karseda enostavno. Besedo, ki ne vsebuje nobenih črk, označimo z ε in jo imenujmo *prazna beseda*. Kadarkoli se v besedi pojavi par aa^{-1} ali pa $a^{-1}a$, ga zamenjajmo z ε , pare oblike εa ali $a\varepsilon$ pa z a . Postopku, s katerim poljubno besedo karseda poenostavimo, pravimo *redukcija*. Če reduciramo besede iz zgornjega primera, dobimo ab , ε in $abcabc$.

Označimo množico vseh reduciranih besed (vključno s prazno besedo) z M^* . Na M^* lahko vpeljemo operacijo $M^* \times M^* \rightarrow M^*$ takole: dani besedi staknemo, nato pa po potrebi dobljeno besedo še reduciramo. Na primer:

$$\begin{aligned} ab \cdot cb^{-1} &\mapsto abcb^{-1}, \\ aaabc \cdot c^{-1}a &\mapsto aaaba, \\ ab \cdot b^{-1}a^{-1} &\mapsto \varepsilon. \end{aligned}$$

Izkaže se, da je M^* za tako definirano operacijo stikanja in redukcije besed grupa. Stik dveh besed je spet beseda. Enota je prazna beseda ε , inverz dane besede pa dobimo tako, da vse njene črke zamenjamo z njihovimi inverzi in obrnemo vrstni red, na primer:

$$(ab^{-1}c)^{-1} = c^{-1}ba^{-1}.$$

Omenimo še, da je zaradi krajsanja dokaz asociativnosti težaven.

Definicija 1. Množica M^* z operacijo stikanja in redukcije je *prosta grupa* nad množico M . Pravimo, da je M^* *prosto generirana* z M in pišemo $M^* = F_M$.

Primer 1. Naj bo $M = \{a\}$ množica z enim elementom. Potem je

$$M^* = \{\varepsilon, a, a^{-1}, aa, a^{-1}a^{-1}, aaa, a^{-1}a^{-1}a^{-1}, \dots\}.$$

Če pišemo

$$\underbrace{a \dots a}_n = a^n \quad \text{in} \quad \underbrace{a^{-1} \dots a^{-1}}_n = a^{-n},$$

potem je operacija stikanja in redukcije na M^* podana z $a^m \cdot a^n = a^{m+n}$, $m, n \in \mathbb{Z}$, in prosta grupa nad M je izomorfna grupi $\mathbb{Z}$ za seštevanje.

Oglejmo si še eno sorodno konstrukcijo. Naj bosta dani grupi G_1 in G_2 in tvorimo besede $x_1x_2 \dots x_n$, v katerih je vsaka od črk iz ene od grup G_i , $i = 1, 2$. Če nobeni dve zaporedni črki nista iz iste grupe, pravimo, da je beseda reducirana. Kadar obstaja par zaporednih črk $x_j, x_{j+1} \in G_i$, ju lahko v G_i zmnožimo v eno samo črko. Tako lahko iz poljubne besede napravimo reducirano. Na množico $G_1 * G_2$ reduciranih besed podobno kot zgoraj vpeljemo operacijo stikanja z redukcijo in dobimo grupo.

Definicija 2. Množica $G_1 * G_2$ z operacijo stikanja in redukcije je *prosti produkt* grup G_1 in G_2 .

Primer 2. Naj bosta $G_1 = F_{\{a\}}$ in $G_2 = F_{\{b\}}$ prosti grupi, generirani z a oziroma b . Potem lahko vsak netrivialni element prostega produkta $G_1 * G_2$ zapišemo v obliki

$$\begin{array}{lll} a^{n_1}b^{m_1}a^{n_2}b^{m_2} \dots a^{n_k}b^{m_k} & \text{ali} & b^{m_1}a^{n_2}b^{m_2} \dots a^{n_k}b^{m_k} \quad \text{ali} \\ a^{n_1}b^{m_1}a^{n_2}b^{m_2} \dots a^{n_k} & \text{ali} & b^{m_1}a^{n_2}b^{m_2} \dots a^{n_k}. \end{array}$$

Vidimo, da je v tem primeru prosti produkt $G_1 * G_2$ grupa, ki je prosto generirana z a in b , $F_{\{a\}} * F_{\{b\}} = F_{\{a,b\}}$.

V primeru prostega produkta prostih grup smo znali poiskati tako množico M , da je bila $G_1 * G_2$ prosta grupa nad M (res, za poljubni neprazni disjunktni množici M_1 in M_2 je $F_{M_1} * F_{M_2} = F_{M_1 \cup M_2}$). V splošnem pa take množice ne moremo najti.

Definicija 3. Grupa G je *prosta*, če obstaja kakšna množica M , da je $G = F_M$ prosta grupa nad M .

Primer 3. Naj bo $(\mathbb{Z}_2, +)$ grupa ostankov pri deljenju z 2: $\mathbb{Z}_2 = \{0, 1\}$, operacija pa je podana z $0 + 0 = 1 + 1 = 0$ in $1 + 0 = 0 + 1 = 1$. Naj bo M neprazna množica in $a \in M$ poljuben element. Potem je grupa $F_{\{a\}}$ neskončna podgrupa proste grupe nad M , torej je tudi prosta grupa nad M neskončna. Grupa $\mathbb{Z}_2$ je končna, torej ni prosta. Splošneje, nobena končna grupa ni prosta.

Za poljubno grupo G pa obstaja kakšna podmnožica $M \subset G$, za katero velja, da lahko vsak element iz G zapišemo (morda na več različnih načinov) kot produkt elementov iz M (na primer kar $M = G$). Pravimo, da je M množica *generatorjev* grupe G .

Trditev 1. Preslikava $f: F_M \rightarrow G$, ki vsaki besedi nad M priredi tisti element grupe G , ki ga dobimo, če v G zmnožimo črke te besede (posebej: prazni besedi priredi enoto), je surjektivni homomorfizem. Vsaka grupa je torej homomorfna slika neke proste grupe. Jedro $\ker f$ je podgrupa edinka v F_M in G je izomorfna faktorski grupi $F_M / \ker f$.

Jedro $\ker f$ je generirano z neko množico $R \subset F_M$. Pišemo $G = \langle M | R \rangle$ in pravimo, da je grupa G podana z *generatorji in relacijami*, $\langle M | R \rangle$ pa imenujemo *prezentacija* grupe G .

Primer 4. Prosta grupa F_M ima prezentacijo $\langle M | \emptyset \rangle =: \langle M \rangle$. Med elementi proste grupe torej ni relacij. Posebej, $\mathbb{Z} \cong \langle a \rangle$.

Primer 5. Grupa $(\mathbb{Z}_2, +)$ je izomorfna $\langle a | a^2 \rangle$. Splošneje, grupa ostankov $(\mathbb{Z}_n, +)$ je izomorfna $\langle a | a^n \rangle$.

Primer 6. Kartezični produkt dveh grup ni niti prosti produkt niti prosta grupa. Elementi $G \times H$ so (urejeni) pari (g, h) , kjer je $g \in G$ in $h \in H$. Operacija je definirana po komponentah: $(g, h) \cdot (g', h') = (gg', hh')$. Naj e_A označuje enoto v grupi A . Potem je

$$(g, e_H) \cdot (e_G, h) = (g, h) = (e_G, h) \cdot (g, e_H).$$

Vsak element oblike (g, e_H) komutira z vsakim elementom oblike (e_G, h) , zato imamo med elementi kartezičnega produkta relacije

$$(g, e_H)(e_G, h)(g, e_H)^{-1}(e_G, h)^{-1} = e_{G \times H}.$$

Taka grupa torej ni prosta.

Vsaka grupa ima več različnih prezentacij. Če obstaja kakšna prezentacija $G = \langle M|R \rangle$, ki ima končno množico generatorjev M , pravimo, da je grupa G *končno generirana*. Če obstaja prezentacija, v kateri sta množici M in R obe končni, pravimo, da je grupa G *končno prezentirana*.

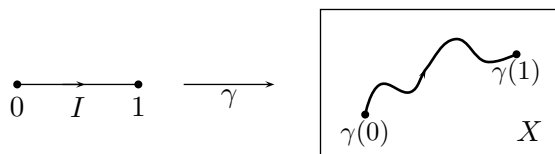
V dokazu našega glavnega izreka bomo potrebovali še naslednje dejstvo:

Izrek 2 (Nielsen-Schreier). *Podgrupa proste grupe je prosta.*

3. Fundamentalna grupa

V tem razdelku definiramo fundamentalno grupo (topološkega) prostora in predstavimo tiste lastnosti, ki jih potrebujemo v nadaljevanju. Bralci, ki ste s tem pojmom že seznanjeni, lahko ta del preskočite, tistim, ki bi o fundamentalni grupi želeli izvedeti kaj več, pa v branje priporočamo članek [3] ali pa prvo poglavje [4]. Pod pojmom prostor bomo vedno razumeli topološki prostor (množico, opremljeno s topologijo).

Pot je zvezna preslikava $\gamma: I \rightarrow X$ iz intervala $I = [0, 1]$ v prostor X (slika 1). Točko $\gamma(0)$ imenujemo *začetna*, točko $\gamma(1)$ pa *končna točka* poti γ . Pot, pri kateri sta začetna in končna točka isti, imenujemo *zanka*. V prostoru X izberemo točko x_0 , jo razglasimo za *izhodišče* in množico vseh zank, ki se začnejo in končajo v x_0 , sugestivno označimo z $\Omega(X, x_0)$.



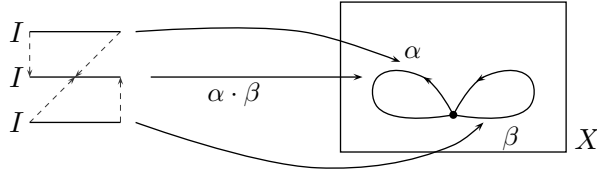
Slika 1. Pot v prostoru X je zvezna preslikava $\gamma: I \rightarrow X$.

Na $\Omega(X, x_0)$ imamo naravno operacijo *stikanja zank*. Ker smo se omejili le na poti, ki se začnejo in končajo v točki x_0 , lahko za poljubni dve zanki α in β definiramo njun *stik* kot tisto zanko, ki najprej poteka po α , nato pa še po β , oziroma s formulo $(\alpha \cdot \beta): [0, 1] \rightarrow X$,

$$(\alpha \cdot \beta)(t) = \begin{cases} \alpha(2t), & 0 \leq t \leq \frac{1}{2}, \\ \beta(2t - 1), & \frac{1}{2} \leq t \leq 1. \end{cases}$$

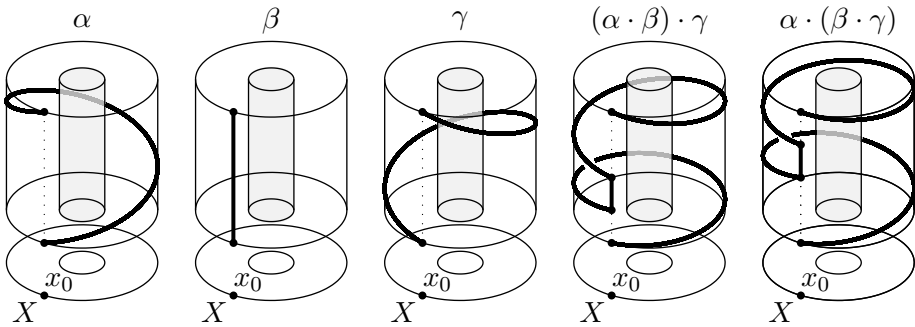
Stik zank α in β je torej tista zanka, pri kateri v prvi polovici časovnega intervala prehodimo α , nato pa v drugi polovici še β (slika 2). Seveda se moramo zato po α in β premikati dvakrat hitreje.

Vendar pa stikanje zank ni asociativno. Zanka $(\alpha \cdot \beta) \cdot \gamma$ ni enaka zanki $\alpha \cdot (\beta \cdot \gamma)$. Obe sicer opišeta isto krivuljo, a sta različno parametrizirani:



Slika 2. Stikanje zank

enkrat se v prvi polovici časa pomaknemo po $\alpha \cdot \beta$ (po vsaki od teh dveh torej v $\frac{1}{4}$ celotnega časa) in v drugi polovici po γ , drugač pa prvo polovico časa porabimo za zanko α in v preostali polovici pretečemo $\beta \cdot \gamma$ (spet za vsako porabimo $\frac{1}{4}$ časa). Asociativnost torej velja le do reparametrizacije natančno. Primer zank, pri katerih sta stika $(\alpha \cdot \beta) \cdot \gamma$ in $\alpha \cdot (\beta \cdot \gamma)$ različna, je prikazan na sliki 3. Tu so α , β in γ zanke v S^1 , vendar smo zaradi preglednosti na sliko dodali še dodatno dimenzijo, ki pomeni časovni interval.

Slika 3. Stika $(\alpha \cdot \beta) \cdot \gamma$ in $\alpha \cdot (\beta \cdot \gamma)$ nista enaka.

Zatakne se tudi, ko želimo najti nevtralni element. Poskusimo s konstantno zanko

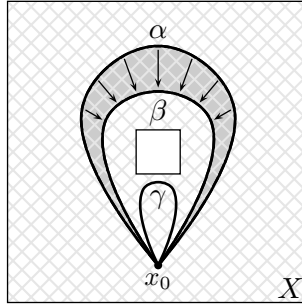
$$c_{x_0}: I \rightarrow X, \quad t \mapsto x_0,$$

ki ves čas miruje v izhodišču. Ko poljubno zanko α staknemo s c_{x_0} , dobimo zanko, ki je v prvi polovici časa enaka α in v drugi polovici miruje v izhodišču, vendar lahko s pomočjo reparametrizacij čas mirovanja skrajšujemo in nazadnje ostane le še α (glej sliko 5). Če dopuščamo reparametrizacijo, je torej konstantna zanka desna enota in podoben premislek pokaže, da je tudi leva enota.

Kako pa je z inverzi? Za dano zanko α želimo najti tako zanko $\bar{\alpha}$, da bomo njun stik lahko nekako povezali s konstantno zanko. Hitro opazimo, da tu reparametrizacija ne zadošča. Ne želimo namreč zgolj spreminjati

hitrosti, s katero prehodimo α in $\bar{\alpha}$, temveč sploh ne želimo zapustiti izhodišča.

Naše pogoje zato še nekoliko omilimo in zahtevamo, da veljajo le do homotopije natančno: dve zanki štejemo za enaki, kadar lahko znotraj prostora X sliko prve zvezno preoblikujemo v sliko druge (slika 4).



Slika 4. V tem prostoru z luknjo sta zanki α in β homotopni, α in γ pa ne.

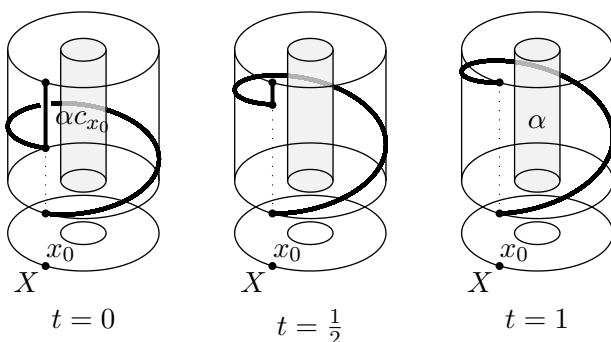
Za zvezni preslikavi $f, g: A \rightarrow X$ pravimo, da sta *homotopni*, če obstaja zvezna preslikava $H: A \times I \rightarrow X$, za katero je $H(a, 0) = f(a)$ in $H(a, 1) = g(a)$ za vse $a \in A$. Preslikavo H imenujemo *homotopija* med preslikavama f in g in pišemo $H: f \simeq g$ ali pa kar $f \simeq g$. Pri vsakem $t \in I$ je tako s predpisom $f_t(a) = H(a, t)$ podana zvezna preslikava $A \rightarrow X$. Ko t teče od 0 do 1, preslikava f_t zvezno deformira f v g (potek te deformacije med α in β je na sliki 4 nakazan s puščicami).

Kadar sta (A, a_0) in (X, x_0) prostora z izhodiščem, zahtevamo, da slikata f in g točko a_0 v točko x_0 . Če za homotopijo $H: f \simeq g$ velja še $H(a_0, t) = x_0$ za vse $t \in I$, pravimo, da sta f in g homotopni *rel izhodišče*, oziroma da homotopija H v izhodišču miruje.

V primeru poti je $A = I$, torej je homotopija dveh poti zvezna preslikava kvadrata v prostor, ki njegov spodnji rob preslika v prvo in zgornji rob v drugo pot. Pri homotopiji, ki naj v izhodišču miruje, zahtevamo še, da se levi rob kvadrata preslika v izhodišče. Če namesto poti gledamo zanke, se v izhodišče preslika tudi desni rob kvadrata. Na sliki 4 sliki kvadrata ustreza temno senčeno območje.

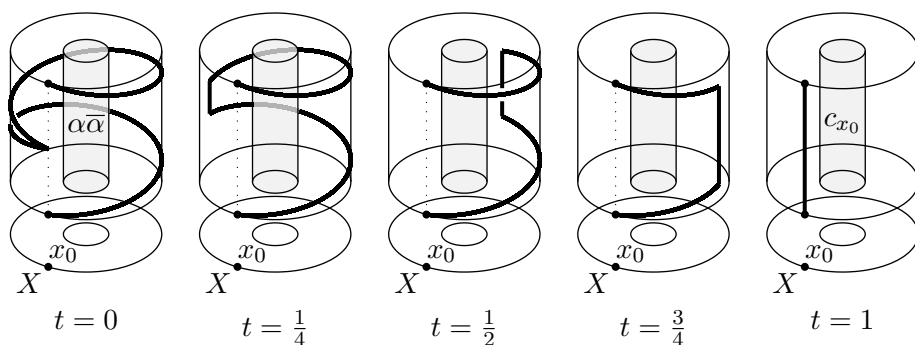
Lahko je videti, da je homotopnost zank ekvivalenčna relacija. Na kvocienčni množici $\Omega(X, x_0)/\simeq$ vseh homotopskih razredov zank v X z izhodiščem x_0 lahko torej definiramo operacijo

$$[\alpha][\beta] = [\alpha \cdot \beta],$$

Slika 5. Zanka αc_{x_0} je homotopna α .

ki paru homotopskih razredov zank priredi razred, ki pripada njunemu stiku. Za tako definirano operacijo postane kvocientna množica grupa, ki jo označimo s $\pi_1(X, x_0)$ in jo imenujemo *fundamentalna grupa* prostora (X, x_0) .

Enota v $\pi_1(X, x_0)$ je homotopski razred konstantne zanke $[c_{x_0}]$, inverz razreda $[\alpha]$ pa predstavlja zanka $\bar{\alpha}$, podana z $\bar{\alpha}(t) = \alpha(1 - t)$ (po zanki α se sprehodimo v nasprotni smeri). Homotopija med $\alpha \cdot c_{x_0}$ in α je podana z družino reparametrizacij, ki smo jo opisali zgoraj (slika 5), homotopijo med $\alpha \cdot \bar{\alpha}$ in c_{x_0} pa dobimo tako, da se sprehajamo po vedno krajših delih poti α in $\bar{\alpha}$, dokler se nazadnje nikamor ne premaknemo (slika 6).

Slika 6. Zanka $\alpha \bar{\alpha}$ je homotopna konstantni zanki c_{x_0} .

Če je X povezan s potmi (med poljubnima dvema točkama iz X obstaja vsaj ena pot), večkrat pišemo kar $\pi_1(X)$. Kadar obstaja pot med točkama $x_0, x_1 \in X$, sta namreč grupi $\pi_1(X, x_0)$ in $\pi_1(X, x_1)$ izomorfni.

Primer 7. Če obstaja homotopija $H: X \times I \rightarrow X$ med identiteto $\text{id}_X: X \rightarrow X$ in konstantno preslikavo $x \mapsto a$ za neki $a \in X$, pravimo, da je prostor X *kontraktibilen*. Tedaj obstaja homotopija med identiteto in poljubno

konstantno preslikavo (posebej med id_X in $x \mapsto x_0$). V takem prostoru lahko poljubno zanko α skrčimo v točko. Homotopijo med α in konstantno zanko dobimo kot kompozitum $H \circ (\alpha, \text{id}_I): I \times I \rightarrow X$. Kadar je prostor X kontraktibilen, imamo torej en sam homotopski razred zank in je grupa $\pi_1(X, x_0)$ trivialna.

Primer 8. Krožnica S^1 ima netrivialno fundamentalno grupo. Če si S^1 predstavljamo kot enotsko krožnico v $\mathbb{C}$, potem je za poljubno celo število n s predpisom

$$\omega_n: I \rightarrow S^1, \quad t \mapsto e^{2\pi i n t},$$

podana zanka, ki se n -krat navije na S^1 (pri zankah α , β in γ s slike 3 je zaporedoma $n = 1$, $n = 0$ in $n = -1$). Ni težko verjeti, da zanke ω_1 , ki se enkrat navije na krožnico, ne moremo zvezno deformirati do trivialne zanke ω_0 , ki miruje v izhodišču $1 \in S^1$. Še več: zanki ω_n in ω_m sta homotopni natanko tedaj, ko je $m = n$, poleg tega pa je poljubna zanka v S^1 homotopna ω_n za neko (točno določeno) celo število n . Tako ugotovimo, da je $\pi_1(S^1, 1) \cong \mathbb{Z}$. Formalni dokaz te trditve je običajno eden prvih, s katerimi se srečamo pri študiju algebraične topologije.

Predpis, ki topološkemu prostoru priredi njegovo fundamentalno grupo, ima naslednjo pomembno lastnost: zvezna preslikava $\varphi: (X, x_0) \rightarrow (Y, y_0)$ inducira homomorfizem grup

$$\varphi_\#: \pi_1(X, x_0) \rightarrow \pi_1(Y, y_0),$$

podan s predpisom

$$\varphi_\#([\alpha]) = [\varphi \circ \alpha].$$

Če sta $\varphi, \psi: X \rightarrow Y$ homotopni preslikavi, sta inducirana homomorfizma $\varphi_\#$ in $\psi_\#$ enaka. Vedno velja tudi $(\varphi \circ \psi)_\# = \varphi_\# \circ \psi_\#$, identiteta $\text{id}_X: X \rightarrow X$ pa inducira identiteto na $\pi_1(X)$. Temu pravimo *funktorialnost*.

Obstajajo izreki, ki nam povedo, kakšna je fundamentalna grupa prostora, če ga znamo nekako sestaviti iz enostavnejših kosov, katerih fundamentalne grupe poznamo. Če je na primer $g: I \rightarrow X$ zanka v X in $h: I \rightarrow Y$ zanka v Y , potem je preslikava $(g, h): I \rightarrow X \times Y$ zanka v $X \times Y$. Obratno, vsaki poti $I \rightarrow X \times Y$ pripada par poti (g, h) , kjer je $g: I \rightarrow X$ pot v X in $h: I \rightarrow Y$ pot v Y . Če sta $\text{pr}_X: X \times Y \rightarrow X$ in $\text{pr}_Y: X \times Y \rightarrow Y$ projekciji, sta namreč poti g in h določeni s predpisom $g = \text{pr}_X \circ f$ in $h = \text{pr}_Y \circ f$. Enako iz homotopije H med zankama f_1 in f_2 v $X \times Y$ dobimo homotopiji $\text{pr}_X \circ H$ med pripadajočima zankama g_1 in g_2 v X ter $\text{pr}_Y \circ H$ med h_1 in h_2 v Y . Od tod ni več daleč do naslednjega izreka (glej [4], str. 34):

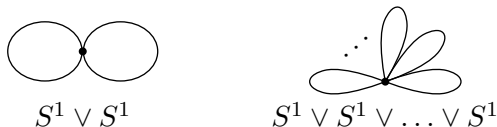
Trditev 3. Če sta prostora X in Y povezana s potmi, potem je

$$\pi_1(X \times Y) \cong \pi_1(X) \times \pi_1(Y).$$

Oglejmo si še primer, ko dana prostora (X, x_0) in (Y, y_0) zlepimo v nov prostor tako, da identificiramo izhodišči x_0 in y_0 . Dobljeni prostor imenujemo šop prostorov X in Y in ga običajno podamo kot podprostor produkta $X \times Y$:

$$X \vee Y = \{(x, y) \in X \times Y \mid x = x_0 \text{ ali } y = y_0\}.$$

Primer 9. Šop dveh krožnic $S^1 \vee S^1$ običajno imenujemo *osmica*. Induktivno lahko tvorimo tudi šop večjega števila prostorov. Če imamo v šopu več krožnic, dobimo prostor, ki res spominja na šopek (slika 7).



Slika 7. Osmica (šop dveh krožnic) in šop več krožnic

Trditev 4. Fundamentalna grupa šopa je prosti produkt fundamentalnih grup faktorjev:

$$\pi_1(X \vee Y) = \pi_1(X) * \pi_1(Y).$$

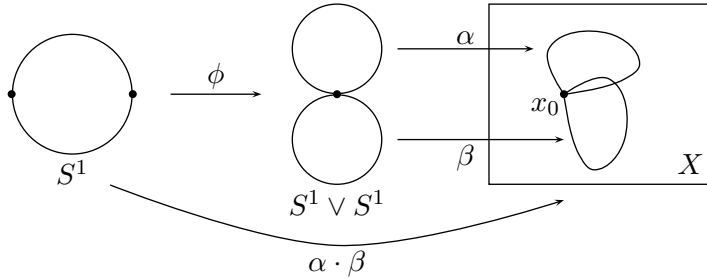
Fundamentalna grupa šopa dveh prostorov je torej v splošnem bolj zapletena kot fundamentalna grupa produkta. Slednja je preprostejša, ker je vsaka zanka v produktu določena s po eno zanko iz vsakega faktorja in ti zanki sta med seboj neodvisni. Zanka v šopu $X \vee Y$ je sestavljena iz več odsekov, od katerih poljubna sosednja ležita v različnih prostorih. Opišemo jo torej lahko z zaporedjem zank $\alpha_1, \beta_1, \dots, \alpha_n, \beta_n$, pri čemer zanke α_i ležijo v X , zanke β_i pa v Y (pri tem lahko kakšno na začetku ali na koncu izpustimo, ne smemo pa spreminjati vrstnega reda). To nas takoj spomni na konstrukcijo proste grupe – vsaki zanki ustreza neka beseda. Zgornji rezultat nas torej ne preseneča.

4. O koH-prostorih

Poti smo definirali kot zvezne preslikave intervala v prostor, potem pa smo se takoj omejili na zanke. Ker smo vsakič zahtevali, da se začetna in

končna točka intervala preslikata v isto točko, ju lahko že pred tem identificiramo in zanke definiramo kot zvezne preslikave krožnice v prostor. Kako pa v tem primeru opišemo stikanje?

Naj bosta $\alpha, \beta: (S^1, 1) \rightarrow (X, x_0)$ zvezni preslikavi krožnice v prostor. Pri definiciji z intervali smo dobili stik z lepljenjem dveh kopij intervala tako, da se je končna točka prvega ujela z začetno točko drugega. Rezultat je bil spet interval (sicer nekoliko daljši, a smo si nato pomagali še z reparametrizacijo), zato smo v tem lahko prepoznali novo pot (slika 2). Na tem intervalu so se v isto točko preslikale točke 0, 1 in $\frac{1}{2}$. Če te točke identificiramo, dobimo šop dveh krožnic. Prvo moramo preslikati z α , drugo pa z β . Ker želimo preslikavo iz S^1 , vse skupaj še predkomponiramo s preslikavo $\phi: S^1 \rightarrow S^1 \vee S^1$, ki identificira točki 1 in -1 (slika 8). Kompozitum $(\alpha \vee \beta)\phi: S^1 \rightarrow X$ je zanka, ki ustreza stiku $\alpha \cdot \beta$.



Slika 8. Stikanje zank $(S^1, 1) \rightarrow (X, x_0)$

Naj bodo X topološki prostor, $\Delta: X \rightarrow X \times X$ preslikava, podana s predpisom $x \mapsto (x, x)$, in $J: X \vee X \rightarrow X \times X$ inkluzija. Kadar obstaja zvezna preslikava $\phi: X \rightarrow X \vee X$, za katero je $J\phi \simeq \Delta$, je X koH-prostor. Pravimo, da *do homotopije natančno komutira diagram*

$$\begin{array}{ccc} X & \xrightarrow{\phi} & X \vee X \\ & \searrow \Delta & \downarrow J \\ & & X \times X \end{array}$$

(Obstoj preslikave ϕ ni odvisen od izbire točk, v katerih staknemo dve kopiji prostora $X \vee X \vee X$.)

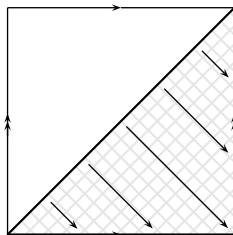
Primer 10. Naj bo $X = S^1 = \{e^{i\vartheta} \mid \vartheta \in [0, 2\pi]\}$ kompleksna krožnica. Šop dveh krožnic podajmo kot

$$S^1 \vee S^1 = \{(e^{i\xi}, 1) \mid \xi \in [0, 2\pi]\} \cup \{(1, e^{i\psi}) \mid \psi \in [0, 2\pi]\}.$$

Preslikava $\phi: S^1 \rightarrow S^1 \vee S^1$ naj bo podana s

$$\phi(e^{i\vartheta}) = \begin{cases} (e^{2i\vartheta}, 1), & \vartheta \in [0, \pi], \\ (1, e^{2i(\vartheta-\pi)}), & \vartheta \in [\pi, 2\pi]. \end{cases}$$

Potem je $J\phi(e^{i\vartheta}) = (e^{2i\vartheta}, 1)$ za $\vartheta \in [0, \pi]$ in $J\phi(e^{i\vartheta}) = (1, e^{2i(\vartheta-\pi)})$ za $\vartheta \in [\pi, 2\pi]$. Po drugi strani je $\Delta(e^{i\vartheta}) = (e^{i\vartheta}, e^{i\vartheta})$. Očitno $J\phi \neq \Delta$. Obstaja pa homotopija $H: S^1 \times I \rightarrow S^1 \times S^1$, za katero je $H|_{S^1 \times \{0\}} = J\phi$ in $H|_{S^1 \times \{1\}} = \Delta$. Ker je torej $J\phi \simeq \Delta$, je S^1 koH-prostor. Homotopijo H si najlažje predstavljamo, če torus $S^1 \times S^1$ predstavimo kot kvadrat, v katerem zlepimo para nasprotnih stranic. Slika preslikave Δ je ena od diagonal kvadrata, slika preslikave $J\phi$ pa par nevzporednih stranic (slika 9). Homotopijo dobimo tako, da diagonalo potisnemo na stranici.



Slika 9. Sled homotopije $H: S^1 \times I \rightarrow S^1 \times S^1$ med $J\phi$ in Δ

Zdaj lahko končno formuliramo in dokažemo našo glavno trditev:

Trditev 5. *Naj bo X ko-H prostor. Potem je grupa $\pi_1(X)$ prosta.*

Dokaz. Začnimo s homotopsko komutativnim diagramom

$$\begin{array}{ccc} X & \xrightarrow{\phi} & X \vee X \\ & \searrow \Delta & \downarrow J \\ & & X \times X \end{array}$$

iz definicije koH-prostora. Vemo tudi, da je $\pi_1(X \vee X) = \pi_1(X) * \pi_1(X)$ in $\pi_1(X \times X) = \pi_1(X) \times \pi_1(X)$. Od tod zaradi funktorialnosti sledi, da komutira tudi diagram

$$\begin{array}{ccc} \pi_1(X) & \xrightarrow{\phi_{\#}} & \pi_1(X) * \pi_1(X) \\ & \searrow \Delta_{\#} & \downarrow J_{\#} \\ & & \pi_1(X) \times \pi_1(X) \end{array}$$

torej je $J_{\#} \circ \phi_{\#} = \Delta_{\#}$. Inducirana preslikava $\Delta_{\#}$ je spet diagonalna (le da tokrat na $\pi_1(X)$ in ne na X), ker slika $a \in \pi_1(X)$ v par $(a, a) \in \pi_1(X) \times \pi_1(X)$.

Seveda je diagonalna $\Delta_{\#}$ injektivna, zato je tudi $\phi_{\#}$ injektivna. Poleg tega je $J_{\#}(\text{im } \phi_{\#}) = \text{im}(J_{\#} \circ \phi_{\#}) = \text{im } \Delta_{\#}$, od koder sklepamo, da je $\text{im } \phi_{\#} \subset J_{\#}^{-1}(\text{im } \Delta_{\#})$.

Naj bo

$$F := J_{\#}^{-1}(\text{im } \Delta_{\#}) \subset \pi_1(X) * \pi_1(X).$$

Pravkar smo videli, da je $\text{im } \phi_{\#} \subset F$ in lahko na $\pi_1(X)$ gledamo kot na podgrupo grupe F . Zadostuje torej, če pokažemo, da je grupa F prosta, ker bo tedaj po Nielsen-Schreierjevem izreku (izrek 2) tudi podgrupa $\pi_1(X)$ prosta.

Spomnimo se, da so elementi v prostem produktu $\pi_1(X) * \pi_1(X)$ besede iz elementov $\pi_1(X)$. Ker se lahko isti element $\pi_1(X)$ v besedi pojavi kot element poljubnega od faktorjev, bo pomembno vedeti, katerega imamo v mislih. Za poljuben $a \in \pi_1(X)$ naj $j(a)$ pomeni njegovega predstavnika v prvem faktorju in $j'(a)$ njegovega predstavnika v drugem faktorju. Preslikava $J_{\#}$ torej preslika besedo $j(a_1)j'(b_1) \dots j(a_n)j'(b_n)$ v par $(a_1 \dots a_n, b_1 \dots b_n)$.

Označimo z G podgrupo $\pi_1(X) * \pi_1(X)$, ki je prosto generirana z elementi oblike $j(g)j'(g)$, in pokažimo, da je $F = G$. Seveda je G prosta grupa, zato bo od tod sledilo, da je tudi grupa F prosta.

Ker je $J_{\#}(j(a_1)j'(a_1) \dots j(a_n)j'(a_n)) = (a_1 \dots a_n, a_1 \dots a_n) \in \text{im } \Delta_{\#}$, je $G \subset F$. Dokažimo še, da je $F \subset G$. Če dopuščamo, da je morda prva ali pa zadnja črka besede enaka enoti, lahko vsak element iz $\pi_1(X) * \pi_1(X)$ (in tako tudi vsak element F) zapišemo v obliki $j(a_1)j'(b_1) \dots j(a_k)j'(b_k)$ za neki $k \in \mathbb{N}$. Označimo s F_n množico vseh elementov *dolžine* n iz F , tj. elementov oblike

$$j(a_1)j'(b_1) \dots j(a_n)j'(b_n).$$

Z indukcijo pokažemo, da za vsa naravna števila n velja $F_n \subset G$. Pri $n = 1$ naj bo $x \in F_1 \subset F$ oblike $j(a)j'(b)$. Ker je $J_{\#}(x) = (a, b) \in \text{im } \Delta_{\#}$, je $a = b$ in je $x = j(a)j'(a) \in G$. Predpostavimo zdaj, da velja $F_{n-1} \subset G$, in si oglejmo $x \in F_n$ oblike

$$x = j(a_1)j'(b_1) \dots j(a_n)j'(b_n).$$

Potem je

$$\begin{aligned}
 x &= j(a_1)j'(b_1) \dots j(a_n)j'(b_n) = \\
 &= j(a_1) [j'(a_1)j'(a_1)^{-1}] j'(b_1) \dots j(a_n) [j(b_n)^{-1}j(b_n)] j'(b_n) = \\
 &= [j(a_1)j'(a_1)] j'(a_1)^{-1} j'(b_1) \dots j(a_n)j(b_n)^{-1} [j(b_n)j'(b_n)] = \\
 &= [j(a_1)j'(a_1)] y^{-1} [j(b_n)j'(b_n)],
 \end{aligned}$$

kjer je

$$\begin{aligned}
 y &= j(b_n)j(a_n)^{-1}j'(b_{n-1})^{-1} \dots j(a_3)^{-1}j'(b_2)^{-1}j(a_2)^{-1}j'(b_1)^{-1}j'(a_1) = \\
 &= [j(b_na_n^{-1})j'(b_{n-1})^{-1}] \dots [j(a_3)^{-1}j'(b_2)^{-1}] [j(a_2)^{-1}j'(b_1^{-1}a_1)]
 \end{aligned}$$

neki element F_{n-1} . Po induksijski predpostavki je torej $y \in G$, in ker je G grupa, je tudi $y^{-1} \in G$. Prav tako je $j(a_1)j'(a_1) \in G$ in $j(b_n)j'(b_n) \in G$, zato tudi za x , ki je produkt treh elementov iz G , velja $x \in G$. Pokazali smo, da je $F^\infty := \bigcup_{n=1}^\infty F_n \subset G$. Po drugi strani pa smo zgoraj premislili, da F^∞ generira F , in ker je G grupa, je $F = \langle F^\infty \rangle \subset G$. ■

5. LS kategorija in fundamentalna grupa

Definirajmo *debeli šop* $W^n X$ prostora X kot podprostor vseh tistih točk v n -termem produktu X^n , ki imajo vsaj eno od koordinat enako x_0 . Pri $n = 2$ dobimo šop $X \vee X$, ki se je pojavil v definiciji koH-prostora. Z $\Delta^n: X \rightarrow X^n$ označimo *diagonalno* $x \mapsto (x, \dots, x)$.

Definicija 4. Naj bo X topološki prostor. Najmanjše naravno število n , za katero obstaja zvezna preslikava $\phi: X \rightarrow W^{n+1}X$, zanjo pa do homotopije natančno komutira diagram

$$\begin{array}{ccc}
 X & \xrightarrow{\phi} & W^{n+1}X \\
 & \searrow \Delta^{n+1} & \downarrow i \\
 & & X^{n+1}
 \end{array}$$

imenujemo *Lusternik-Schnirelmannova kategorija (LS kategorija) prostora* X , cat X .

V literaturi lahko najdemo več definicij LS kategorije, ki v splošnem sicer niso ekvivalentne, se pa ujemajo na nekaterih pomembnih razredih topoloških prostorov (glej [5]). Zgoraj smo spoznali Whiteheadovo definicijo.

Za nas bo zanimiva še bolj geometrična definicija, ki pravi, da je $\text{cat } X$ enaka najmanjšemu naravnemu številu n , za katero obstaja pokritje prostora X z $n + 1$ odprtimi množicami, ki so kontraktibilne v X .

Primer 11. Pri $n = 0$ je $W^{n+1}X = W^1X = \{x_0\}$ in $\Delta^1 = \text{id}_X$. Če obstaja preslikava $\phi: X \rightarrow \{x_0\}$, za katero je $i\phi \simeq \text{id}_X$, je id_X homotopna konstanti in je X kontraktibilen. Seveda lahko kontraktibilen prostor pokrijemo že z eno samo odprto kontraktibilno množico, torej je tudi geometrično kategorija kontraktibilnega prostora enaka 0.

V trditvi 5 smo dokazali: Če je $\text{cat } X = 1$, potem je grupa $\pi_1(X)$ prosta. Če je $\text{cat } X = 0$, je X kontraktibilen, zato je grupa $\pi_1(X)$ trivialna. Kaj pa lahko povemo o prostorih z LS kategorijo 2, 3 ali več?

Za poljubno končno prezentirano grupo π lahko konstruiramo Eilenberg-MacLaneov prostor $K(\pi, 1)$, za katerega je $\pi_1(K(\pi, 1)) \cong \pi$. Če se pri konstrukciji ustavimo, ko smo dodali 2-celice, dobimo 2-dimenzionalen CW kompleks K (2-skelet Eilenberg-MacLaneovega prostora $K(\pi, 1)$), v katerem 1-celice ustrezajo generatorjem grupe π , 2-celice pa relacijam. Pri tem velja $\pi_1(K) = \pi$. Iz unije 0-celic, unije 1-celic in unije 2-celic zlahka konstruiramo pokritje iz treh odprtih množic, ki so kontraktibilne v K . Torej je $\text{cat } K \leq 2$. Ta primer nam pove, da našega izreka ne moremo posplošiti na prostore z LS kategorijo 2. Kot smo videli, namreč za poljubno končno prezentirano grupo π obstaja prostor K , za katerega je $\text{cat } K = 2$ in $\pi_1(K) = \pi$.

Nedavno pa so Dranishnikov, Katz in Rudyak v [1] pokazali, da ob nekaj dodatnih predpostavkah velja soroden izrek:

Izrek 6. *Naj bo $n \geq 3$ naravno število in naj bo M sklenjena n -mnogoterost s $\text{cat } M = 2$. Potem je grupa $\pi_1(M)$ prosta.*

V istem članku so tudi pokazali, da pri $\text{cat } M = 3$ analogen izrek ne velja niti za mnogoterosti. Za poljubno končno prezentirano grupo π so konstruirali 4-mnogoterost M , za katero je $\text{cat } M = 3$ in $\pi_1(M) = \pi$.

LITERATURA

- [1] A. N. Dranishnikov, M. G. Katz in Y. B. Rudyak, *Small values of Lusternik-Schnirelmann and Systolic Categories for Manifolds*, arXiv:0805.1527, 2008.
- [2] P. Pavešić, *Lusternik-Schnirelmannova kategorija*, Obzornik mat. fiz. **51** (2004) 2, str. 33–50.
- [3] P. Petek, *Fundamentalna grupa topološkega prostora*, Obzornik mat. fiz. **23** (1976) 1/2, str. 17–26.
- [4] A. Hatcher, *Algebraic Topology*, Cambridge University Press, Cambridge 2002.
- [5] O. Cornea, G. Lupton, J. Oprea in D. Tanré, *Lusternik-Schnirelmann category*, Mathematical Surveys and Monographs 103, American Mathematical Society, Providence 2003.

MIKROFLUIDIČNO VEZJE Z MIKROČRPALKO

BLAŽ KAVČIČ, DUŠAN BABIČ IN IGOR POBERAJ

Fakulteta za matematiko in fiziko

Univerza v Ljubljani

PACS: 47.85.Np, 47.85.L-, 87.85.Uv

Mikrofluidika je interdisciplinarno področje, ki obravnava manipulacijo tekočin v zelo majhnih količinah (nl do al) in obeta miniaturizacijo kemijskih in bioloških procesov ter njihovo integracijo v t. i. *laboratorije na čipu*. Trend je podoben kot v začetku razvoja mikroelektronike, le da je mikrofluidično vezje sestavljeno iz različnih miniaturnih mehan-skih elementov. Med pomembnejše spadajo mikročrpalke za črpanje tekočinskih tokov po kanalih v vezju. V članku je predstavljena izdelava mikročrpalke iz superparamagnetnih koloidnih kroglic, ki ima možnost individualnega nadzora hitrosti in smeri črpanja.

MICROFLUIDIC CIRCUIT WITH A MICROPUMP

Microfluidics is an interdisciplinary field dealing with manipulation of small volumes of liquids (nl to al) and promising miniaturization of chemical and biological processes and their integration into *laboratories-on-chips*. The trend is similar to the early stage of development of microelectronics, only that the circuits are assembled from miniature mechanical elements. Among the more important components in the circuits are micro-pumps used to pump liquid currents through the circuit channels. This article presents an experimental implementation of a micropump assembled from superparamagnetic colloidal spheres, with the possibility to control pumping speed and direction of each individual pump.

1. Uvod

Mikrofluidika je interdisciplinarno področje, ki se ukvarja z izdelavo miniaturnih vezij za manipulacijo majhnih volumnov tekočin, ki so tipično reda nanolitrov do atolitrov (10^{-9} do 10^{-18} litra) [1]. Področje obeta miniaturizacijo in s tem povezan napredek pri številnih kemijskih in bioloških procesih na podoben način, kot je hiter razvoj na področju elektronike prinesla mikroelektronika. Razvoj gre v smeri t. i. laboratorija na čipu (ang. *lab-on-a-chip*), torej miniaturizacije različnih procesov, ki se v laboratorijih danes izvajajo na makroskopskih skalah [2]. Možni primeri uporabe mikrofluidike so v kemiji, fiziki, biologiji in medicini, na primer v analizi DNK in celični analizi, biosenzorjih in senzorjih kemikalij, sintezi čistih snovi, filtriranju, separaciji ter pri diagnostičnih in presejalnih testih.

Miniaturizacija prinaša številne prednosti. Na majhnih velikostnih skalah so reakcije veliko hitrejše, zato se trajanje meritev skrajša, nadzor reakcij pa je lažji in natančnejši, saj se sistem hitreje odzove na spremembe, na

primer na dodajanje reagenta. Občutljivost in ločljivost mikroanalitičnih metod sta zato boljši, kar so med prvimi izkoristili pri visokotlačni kromatografiji tekočin in kapilarni elektroforezi [1]. Prav tako je pomembno, da lahko za reakcije uporabimo zelo majhne količine reagentov, saj to omogoča izvajanje analiz tudi na vzorcih v zelo majhnih količinah. Pri ravnanju z nevarnimi snovmi se zmanjša tveganje in obseg potencialnih nesreč, količine nastalih odpadnih produktov pri reakcijah pa so veliko manjše, kar zniža stroške in obremenitve okolja. Majhnost mikrofluidičnih vezij se izraža v prenosljivosti in nižji ceni, zaradi česar je mogoče močno poceniti, poenostaviti in miniaturizirati določene diagnostične metode, kjer je potrebna obdelava velikih količin vzorcev, kar danes opravljajo veliki in dragi robotski sistemi [3].

Mikrofluidično vezje običajno meri do nekaj kvadratnih centimetrov, sestavlja pa ga topološka mikrostruktura iz različnih elementov, kot so mini-aturni kanali, komore, ventili, razvejišča ipd. Topološka struktura je lahko kombinirana še z drugimi elementi, na primer z elektrodami. Predlagani in v praksi prikazani so bili že številni načini uporabe mikrofluidičnih vezij, kot so filtrirni sistemi, biosenzorji, senzorji kemikalij in koncentracij, genetska analiza, sinteza organskih snovi, separacija, masna spektrometrija in drugi [1, 2]. Določena vezja se predvsem v laboratorijih že redno uporabljajo. Največji tržni uspeh je do sedaj uporaba mikrofluidike doživela v brizgalnih tiskalnikih [1].

Čeprav raziskave na tem področju potekajo že več kot 20 let, je uporaba mikrofluidike v laboratorijskih procesih še vedno v začetni fazi. Težave so tako pri odločitvah, katere že obstoječe procese sploh miniaturizirati, kot pri sami izpeljavi vseh korakov razvoja, od izbire materialov do postopka izdelave in umestitve na trg. Eden od problemov je črpanje tekočin po mikrofluidičnih vezjih, kar se danes večinoma izvaja z zunanjimi makroskopskimi črpalkami, od koder so različne vrste tekočin do vezij speljane po cevkah. Metoda je zaradi velikosti takšnih črpalk v primerjavi z velikostjo vezij nepraktična, bolj primerne bi bile miniaturne črpalke v samih vezjih. Tu se pojavi tako vprašanje načina izdelave in sestavljanja zelo majhnih črpalnih elementov kot tudi prenos energije za pogon črpalke na tako majhne velikostne skale.

Primer mikročrpalke je leta 2006 predstavila skupina Clemensa Bechingerja z Univerze v Stuttgartu, kjer so iz treh kroglastih superparamagnetnih koloidnih delcev v krožečem zunanjem magnetnem polju sestavili črpalni rotor velikosti okoli 10 μm [4]. Krožeče magnetno polje med superparamagnetnimi koloidnimi kroglicami inducira privlačno interakcijo, zato se te

zberejo v skupek, ki se začne vrteti. Ob primerni topološki zasnovi kanalov takšen rotor po kanalu poganja tok tekočine, katerega smer in velikost sta odvisni od smeri in hitrosti vrtenja rotorja oziroma zunanjega magnetnega polja. Majhnost rotorjev teoretično omogoča površinsko gostoto več tisoč črpalk na kvadratni centimeter mikrofluidičnega vezja [4].

Pri velikem številu mikročrpalk v enem samem vezju se pojavi potreba po nadzoru posameznih črpalk. Ker vse mikročrpalke v vezju poganja isto zunanje magnetno polje, lahko poženemo, upočasnimo ali obrnemo tekočinski tok le v vseh hkrati, nadzor posamezne pa ni mogoč. Omenjena demonstracija črpanja toka v mikrofluidičnem vezju te težave ni odpravila, zato smo zgoraj opisano zasnovo črpalke nadgradili z možnostjo dodatnega nadzora nad posameznim rotorjem.

2. Princip delovanja magnetne mikročrpalke

Eden od načinov izdelave mikročrpalke je uporaba superparamagnetnih koloidnih kroglic in ustreznega zunanjega magnetnega polja, v katerem se kroglice sestavijo v vrteč skupek, ki poganja tekočinski tok. Superparamagnetne koloidne kroglice so majhne polimerne kroglice z velikostjo reda 1 μm , v katerih so razpršeni superparamagnetni nanodelci, običajno $\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$ velikosti približno 10 nm. Kadar ni zunanjih magnetnih polj, je takšna kroglica magnetno nevtralna. Če vklopimo zunanje polje z gostoto $\mathbf{B}$, pa se dipolni momenti superparamagnetnih nanodelcev v kroglici poravnajo s poljem in s tem v njej inducirajo magnetni dipolni moment

$$\mathbf{m} = \frac{4\pi R^3 \chi}{3\mu_0} \mathbf{B}, \quad (1)$$

kjer je R polmer koloidne kroglice, χ njena magnetna susceptibilnost in μ_0 induksijska konstanta. Če takšno kroglico z magnetnim dipolnim momentom $\mathbf{m}_1$ obravnavamo kot točkast dipol, lahko magnetno polje $\mathbf{B}_1(\mathbf{r})$, ki ga ustvarja, zapišemo kot

$$\mathbf{B}_1(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3\mathbf{r}(\mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{r}) - r^2 \mathbf{m}_1}{r^5}. \quad (2)$$

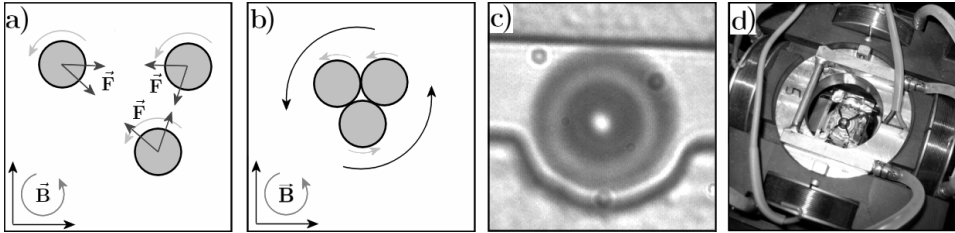
Če v magnetno polje prve kroglice postavimo drugo z magnetnim dipolnim momentom $\mathbf{m}_2$, je interakcijska energija med njima enaka skalarnemu produktu magnetnega momenta druge kroglice z magnetnim poljem prve:

$$E_{INT} = -\mathbf{m}_2 \cdot \mathbf{B}_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{(\mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{m}_2)}{r^3} - \frac{3(\mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{r})(\mathbf{m}_2 \cdot \mathbf{r})}{r^5} \right). \quad (3)$$

Če je gibanje kroglic omejeno na ravnino, v kateri kroži zunanje magnetno polje, se gornji izraz za interakcijsko energijo poenostavi v

$$\langle E_{INT} \rangle = -\frac{\mu_0}{8\pi} \frac{m_1 m_2}{r^3}. \quad (4)$$

Interakcija med kroglicama je izotropna in v povprečju privlačna, kar pomeni, da se superparamagnetne koloidne kroglice med seboj privlačijo in sprimejo v skupke. Orientacija magnetizacije nanodelcev v posamezni kroglici in s tem smer dipolnega momenta celotne kroglice nekoliko zaostaja za zunanjim poljem, zaradi česar nanje deluje magnetni navor $\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$, ki kroglico zavrti okoli lastne osi. Zaradi tega se superparamagnetna koloidna kroglica v krožečem zunanjem magnetnem polju vrti okoli iste osi kot zunanje polje, kar je mogoče opazovati pod mikroskopom. Magnetni navor deluje tudi na skupek večih kroglic, zato se tak skupek prav tako vrti.



Slika 1. (a) Ko v ravnini tanke mikroskopske celice vklopimo krožeče zunanje magnetno polje, se začnejo posamezne superparamagnetne kroglice vrteti, med njimi pa delujejo privlačne sile. (b) Ko se sprimejo v skupek, se še vedno vrtijo posamezno in v skupku kot celoti. (c) Primer hitro vrtečega skupka iz superparamagnetnih koloidnih kroglic velikosti $4,4 \mu\text{m}$ – pogled od zgoraj. (d) Magnetna pinceta, uporabljena za ustvarjanje magnetnih polj v vzorcu.

Če vzamemo tri superparamagnetne koloidne kroglice v tanki mikroskopski celici in vklopimo v ravnini krožeče magnetno polje torej dobimo rotor, katerega strukturo zagotavlja privlačna interakcija med koloidnimi kroglicami. Zaradi magnetnega navora se rotor vrti v smeri kroženja polja, kot je skicirano na sliki 1, in s tem poganja tekočinski tok. Na ta način je izveden prenos energije za pogon črpalke na mikroskopsko skalo. Krožeče magnetno polje za potrebe poskusov smo ustvarili z *magnetno pinceto* (slika 1 (d)).

Na majhnih velikostnih skalah obnašanje tekočinskih tokov ni vedno intuitivno, ker so tokovi običajno laminarni. Za tekočinske tokove pri naših poskusih je bila tipična dimenzija kanala $L = 10 \mu\text{m}$, hitrost toka reda $v = 1 \mu\text{m/s}$, viskoznost vode pa je okoli 10^{-3}Ns/m^2 . Reynoldsovo število

$Re = \rho v L / \eta$ je v tem primeru reda 10^{-5} , kar pomeni, da so bili tokovi globoko v laminarnem režimu in smo lahko vztrajnostne sile v njih zanemarili. Prav tako je bila debelina dvodimenzionalne celice manj kot $10\mu\text{m}$, zato lahko vpliv višinskih razlik med posameznimi deli tekočine zanemarimo. Za tekočinski tok v eksperimentalnem sistemu lahko zato zapišemo poenostavljeno Navier-Stokesovo enačbo

$$-\nabla p + \eta \nabla^2 \mathbf{v} = 0, \quad (5)$$

kjer je p tlak v tekočini, η viskoznost in $\mathbf{v}$ hitrost tekočine. Gornja enačba je od časa neodvisna, iz česar po Purcellovem teoremu (t. i. *scallop theorem* [5]) sledi, da mora biti črpalka zasnovana asimetrično, da pri vrtenju rotorja lahko poganja tok tekočine po kanalu.

Zgoraj opisan pogon črpalke omogoča vzporedno delovanje večih črpalk, saj lahko z istim zunanjim magnetnim poljem hkrati poganjamo veliko število črpalk v enem mikrofluidičnem vezju. Njegova glavna pomanjkljivost je, da lahko poženemo, ustavimo ali obrnemo tekočinski tok le v vseh črpalkah hkrati. Za nadzor nad posamezno črpalko je treba poiskati način za vpliv na vrtenje posameznega rotorja in s tem omogočiti nadzor nad delovanjem posamezne črpalke v vezju.

Ena izmed možnosti je uporaba dielektroforetske sile, ki deluje na dielektrična telesa v nehomogenem električnem polju. Takšno polje lahko ustvarimo z elektrodami. Na kroglasto telo v nekem sredstvu v nehomogenem izmeničnem električnem polju s frekvenco ω deluje dielektroforetska sila, katere časovno povprečena vrednost je

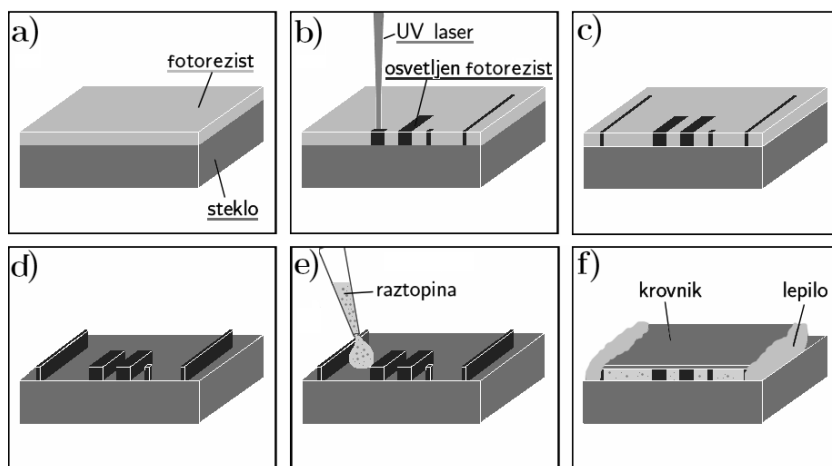
$$\langle \mathbf{F}_{DEP}(\mathbf{r}_0, \omega) \rangle = 2\pi\epsilon_1 R^3 \operatorname{Re} \frac{\epsilon_2(\omega) - \epsilon_1(\omega)}{\epsilon_2(\omega) + 2\epsilon_1(\omega)} \nabla [\mathbf{E}_{RMS}(\mathbf{r}_0)^2]. \quad (6)$$

Tu so R polmer telesa, $\mathbf{E}$ električno polje, $\epsilon_{1,2}(\omega) = \epsilon_{1,2} - i\sigma_{1,2}/\omega$ kompleksni dielektričnosti sredstva in telesa, ter $\sigma_{1,2}$ prevodnosti obeh snovi. Velikost in smer sile sta odvisni od frekvence električnega polja, od kompleksnih dielektričnosti sredstva in telesa v njem ter od velikosti gradienta polja.

Dielektroforetsko silo smo uporabili za nadzor posameznega rotorja tako, da smo črpalko opremili z dvema paroma mikroelektrod, na katere smo priklopili izmenično napetost. V bližini elektrod je električno polje močno nehomogeno, zato na delce v bližini deluje dielektroforetska sila, s katero lahko vplivamo na rotor in s tem spreminjamo njegovo hitrost ali položaj v črpalni komori.

3. Izvedba poskusa

Topološke mikrostrukture za potrebe poskusov smo izdelali v $6\ \mu\text{m}$ debel sloj fotorezista, ki je bil nanesen na standardno mikroskopsko objektno steklo. Fotorezist smo osvetlili na sistemu za direktno lasersko osvetljevanje, ki uporablja ultravijolični laserski snop z valovno dolžino $\lambda = 375\ \text{nm}$. Sistem s pomočjo akustooptičnih deflektorjev in računalnika natančno nadzoruje položaj in intenziteto laserskega snopa, kar omogoča izris oziroma izdelavo struktur z ločljivostjo pod $1\ \mu\text{m}$.



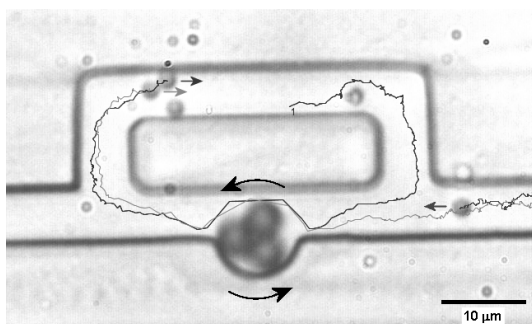
Slika 2. Postopek izdelave mikrofluidične celice. Debeline različnih slojev na skicah niso v merilu. (a) Nanos fotorezista na objektno steklo. (b) Osvetljevanje fotorezista z UV laserjem. (c) Segrevanje vzorca, ki konča proces polimerizacije fotorezista. (d) Odstranitev (jedkanje) odvečnega fotorezista; na steklu ostane le mikrostruktura. (e) Polnjenje strukture s koloidno suspenzijo. (f) Zatesnitev strukture; celica je s tem pripravljena za meritve.

Za izdelavo rotorja črpalke smo uporabili suspenzijo vode in superparamagnetnih koloidnih kroglic s premerom $2R = 4,4\ \mu\text{m}$ in susceptibilnostjo 1,6 v zunanjem magnetnem polju z gostoto okoli 3 mT. Iz enačbe (1) lahko ocenimo magnetni dipolni moment posamezne kroglice, ki znaša okoli $10^{-13}\ \text{Am}^2$. Maksimalna interakcijska energija med parom kroglic je po (4) okoli 100 eV (4000 kT), največja sila pa reda 10 pN. Za opazovanje tekočinskega toka smo v suspenzijo dodali še nemagnetne koloidne kroglice iz SiO_2 s premerom $2,3\ \mu\text{m}$.

Izdelana mikrostruktura je bila sestavljena iz $6\ \mu\text{m}$ širokih dovodnih kanalov in krožnega kanala z $10\ \mu\text{m}$ široko komoro z rotorjem črpalke. Strukturo smo napolnili s pripravljeno suspenzijo, jo pokrili s krovnim steklom in

zatesnili, s čimer je bila mikroskopska celica pripravljena za poskus. Celoten postopek izdelave mikrofluidične celice (vezja) je skiciran na sliki 2.

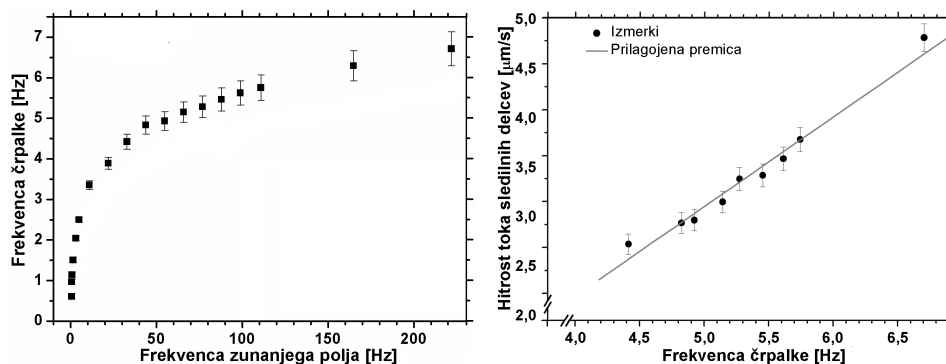
V bližino zaobljene komore smo z *lasersko pinceto* [6] pripeljali nekaj superparamagnetnih koloidnih kroglic, ki so se v vrtečem zunanem magnetnem polju sprijele v rotor. Pri izbrani geometriji kanalov in komore ter pri vrtenju rotorja v nasprotni smeri urinega kazalca (slika 3) je črpalka pogajala tok tekočine po krožnem kanalu v smeri puščice. Na sliki so označene tudi poti gibanja nemagnetnih koloidnih kroglic, na podlagi katerih smo opazovali vodni tok po kanalih. Dobro so vidne Brownove fluktuacije kroglic, naložene na gibanje v vzdolžni smeri.



Slika 3. Pogled od zgoraj na strukturo kanalov s širino in globino $6\ \mu\text{m}$. V nekoliko širši komori je vrteč rotor iz superparamagnetnih koloidnih kroglic premera $4,4\ \mu\text{m}$, ki poganja tok tekočine po kanalih. Tok je nakazan s puščicami in potmi (lomljene črte) manjših nemagnetnih kroglic.

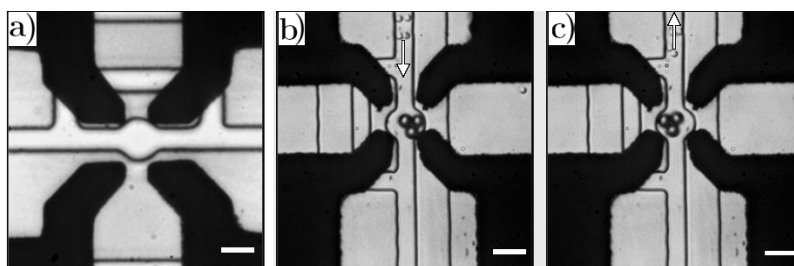
Hitrost toka tekočine smo ocenili iz hitrosti gibanja nemagnetnih kroglic. Izmerili smo, da hitrost narašča linearno s frekvenco rotorja, največje dosežene hitrosti so bile do $5\ \mu\text{m/s}$. Odvisnost frekvence rotorja od frekvence zunanega magnetnega polja in odvisnost hitrosti sledilnih kroglic od frekvence rotorja prikazuje slika 4.

Za izdelavo črpalke z mikroelektrodami smo uporabili mikroskopsko objektivo steklo z naporjeno tanko plastjo kroma, nanj nanесли fotorezist in izdelali mikrostrukturo v obliki štirih elektrod. Po jedkanju odvečnega fotorezista smo z jedkanjem odstranili odvečni krom ter preostalo strukturo iz fotorezista, tako da je na steklu ostala le tanka mikrostruktura iz kroma. Nanesli smo še drugi sloj fotorezista in izdelali ustrezno topološko strukturo kanalov. Tako smo dobili dvoplasten sistem kanalov in elektrod. Zasnova kanalov je ostala skoraj enaka, le da je bila črpalna komora simetrično zaobljena in opremljena z elektrodami. Izdelana struktura je prikazana na sliki 5 (a).



Slika 4. Levo: frekvenca vrtenja rotorja v odvisnosti od frekvenca zunanjega magnetnega polja. Desno: hitrost toka sledilnih nemagnetnih kroglic v odvisnosti od frekvenca rotorja črpalke.

Z vklopom izmenične napetosti na elektrodah začne na rotor delovati dielektroforetska sila. V primeru, prikazanem na sliki 5 (b), se rotor vrti ob desni steni črpalne komore v smer, nasprotno smeri urinega kazalca, ter s tem črpa tok tekočine v smer, ki je označena s puščico. S spremembo predznaka napetosti na elektrodah se rotor premakne na nasprotno stran črpalne komore, zaradi česar se smer toka obrne (slika 5 (c)).



Slika 5. (a) Pogled od zgoraj na strukturo kanalov, narejenih v plast fotorezista, pod katero je tanka struktura iz kroma (črna barva). (b) Ko se zunanje magnetno polje v ravnini kanala vrti v smer, nasprotno smeri urinega kazalca, rotor ustvarja tok tekočine v smeri, označeni s puščico. (c) Če rotor pri istih pogojih s spremembo predznaka napetosti na elektrodah premaknemo na nasprotno stran črpalne komore, se smer toka obrne. Bela črtica na slikah ustreza dolžini 10 μm .

S spreminjanjem predznaka napetosti na obeh parih elektrod torej lahko spreminjamo smer tekočinskega toka, s spreminjanjem velikosti napetosti pa je možno rotor upočasniti ali ustaviti in tako zvezno uravnavati pretok tekočine skozi črpalko. Zunanje magnetno polje, ki poganja črpalko, pri tem

ostane nespremenjeno.

4. Sklep

Prikazali smo, da je mogoče izdelati preprosto mikrofluidično črpalko, ki je sestavljena iz superparamagnetnih koloidnih kroglic. Zunanje magnetno polje zagotavlja trdnost rotorja in črpalko hkrati poganja ter s tem omogoča prenos energije za pogon črpalke na mikroskopsko skalo. Rotor črpalke se v magnetnem polju sestavi sam. Hitrost in smer črpanja tekočinskega toka sta odvisni od gostote, hitrosti in smeri vrtenja zunanjega magnetnega polja.

Kadar pa imamo v enem mikrofluidičnem vezju večje število podobnih črpalk, ki jih poganja isto zunanje magnetno polje, lahko smeri in hitrosti vrtenja rotorjev s poljem spreminjamo le v vseh črpalkah v vezju hkrati. Zato je pomembno, da ima posamezna črpalka v vezju dodatno možnost individualnega nadzora nad rotorjem in s tem tudi nad hitrostjo in smerjo toka tekočine skozi posamezno črpalko. Z uporabo dielektroforetske sile v nehomogenem električnem polju elektrod smo omogočili in v praksi prvič prikazali nadzor tako smeri kot tudi hitrosti črpanja posameznih črpalk, ki jih poganja isto zunanje magnetno polje.

Zahvala

Opisano delo je bilo narejeno v Laboratoriju za eksperimentalno fiziko mehke snovi na Oddelku za fiziko na Fakulteti za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani. Zahvaljujemo se Natanu Ostermanu za pomoč in številne praktične nasvete, Urošu Jorgačevskemu za izdelavo mehanskih delov, dr. Petru Panjanu iz odseka F3 Instituta Jožef Stefan za napajanje tankih slojev kroma na steklo ter dr. Mojci Vilfan iz odseka F7 za nasvete pri delu.

LITERATURA

- [1] G. M. Whitesides, *The origins and the future of microfluidics*, Nature **442** (2006), str. 368–373.
- [2] T. M. Squires in S. R. Quake, *Microfluidics: Fluid physics at the nanoliter scale*, Rev. Mod. Phys. **77** (2005) 3, str. 977–1026.
- [3] J. W. Hong in S. R. Quake, *Integrated nanoliter systems*, Nature Biotechnol. **21** (2003), str. 1179–1183.
- [4] S. Bleil, D. W. M. Marr in C. Bechinger, *Field-mediated self-assembly and actuation of highly parallel microfluidic devices*, Appl. Phys. Lett. **88** (2006), 263515.
- [5] E. M. Purcell, *Life at low Reynolds number*, Am. J. Phys. **45** (1977) 1, str. 3–11.
- [6] A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm in S. Chu, *Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles*, Opt. Lett. **11** (1986) 5, str. 288.

ZOISOVE NAGRADE IN PRIZNANJA ZA ZNANSTVENORAZISKOVALNO DELO V LETU 2008

V Cankarjevem domu v Ljubljani so 24. 11. 2008 slavnostno podelili najvišje državne nagrade za znanstvenoraziskovalne in razvojne dejavnosti za leto 2008. Med letošnjimi nagrajenci so bili tudi trije slovenski fiziki. Akademik **Robert Blinc**, zaslužni profesor na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in častni doktor Univerze v Ljubljani, je prejel Zoisovo nagrado za življenjsko delo na področju fizike trdne snovi. **Peter Križan**, redni profesor na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in znanstveni svetnik na Institutu Jožef Stefan, je prejel Zoisovo nagrado za vrhunske dosežke na področju fizike osnovnih delcev. **Denis Arčon**, docent na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani ter znanstveni sodelavec Instituta Jožef Stefan, pa je prejel Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju fizike trdne snovi. Povzemimo uradne utemeljitve Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo.



Slika 1. Akademik prof. Robert Blinc

Akademik prof. dr. **Robert Blinc** je naš vodilni strokovnjak na področju fizike kondenzirane snovi. Osrednja tematika njegovega raziskovalnega dela je uporaba metode jedrske magnetne resonance pri študiju faznih prehodov. Kot se je v svetu usmeritev raziskav premikala od popolnoma urejenih sistemov (kristalov) prek delno neurejenih kristalov in tekočih kristalov do tekočin in kondenziranih snovi z zamrznjenim neredom, se je premikala tudi raziskovalna usmeritev dr. Blinca od reda proti neredu, osnovna raziskovalna metoda pa ostaja jedrska magnetna resonanca. Prve pomembne in odmevne študije so bile posvečene analizi vodikove vezi v kristalih, potem pa je s sodelavci prešel na feroelektrične kristale, tekoče kristale, protonska in devteronska stekla, na organske feromagnetne, itd. Na teh področjih je dr. Blinc objavil ogromno število zelo odmevnih člankov (več kot 650 člankov in več kot 14 000 citatov), veliko tudi v najuglednejših svetovnih

revijah, ter nekaj pomembnih knjig, med njimi dve obsežni monografiji izdani v tujini, s prevodi iz angleščine v druge jezike. Naravna posledica tega je ogromno število (več kot 110) vabljenih predavanj na velikih mednarodnih znanstvenih srečanjih ter zelo aktivno sodelovanje v mednarodnih strokovnih organizacijah in v vrsti mednarodnih projektov. Zaradi potrebe po celovitem obravnavanju problemov se je v laboratoriju dr. Blinca poleg jedrske magnetne resonance razvilo še mnogo komplementarnih eksperimentalnih metod. Nastal je laboratorij, ki mu ga ni para v tem delu Evrope, je pa tudi svetovno konkurenčen ter aplikativno uspešen. Dr. Blinc je vzgajal 35 doktorjev znanosti na področjih svojega delovanja in zgradil uspešno raziskovalno skupino, ki se ponekod imenuje ljubljanska šola fizike.



Slika 2. Prof. Peter Križan v laboratoriju na Institutu Jožef Stefan

Prof. dr. **Peter Križan** že več kot dve desetletji raziskuje lastnosti mezonov B . Prav njegov mednarodni ugled, ki si ga je pridobil z načrtovanjem tovrstnih raziskav, mu je omogočil, da se je s skupino slovenskih raziskovalcev leta 2001 priključil skupini BELLE na asimetričnem trkalniku elektronov in pozitronov v laboratoriju KEK na Japonskem. V kratkem času se je pod njegovim vodstvom slovenska skupina uveljavila v mednarodni skupini, v kateri je danes 380 znanstvenikov iz 55 institucij. V skupini je prevzel pomembne dolžnosti in je od leta 2002 član njenega ožjega vodstva. Znanstveno delo profesorja Križana in njegovih sodelavcev zajema meritve kršitve simetrije CP med mešanjem nevtralnih mezonov B , meritve direktne kršitve simetrije CP v razpadih mezonov B , meritve velikosti matričnih elementov $|V_{cb}|$ in $|V_{ub}|$ prek semileptonskih razpadov mezonov B ter meritve

redkih razpadov mezonov B . Znanstveni izsledki pomenijo nova dognanja pri razumevanju asimetrije med snovjo in antisnovjo v vesolju, zato ni čudno, da so izsledki raziskav objavljeni v najuglednejših znanstvenih revijah. Še več, skupina BELLE je veliko prispevala k eksperimentalni potrditvi teoretičnega modela asimetrije, za katerega je bila letos podeljena Nobelova nagrada za fiziko. Znanstveni dosežki profesorja Križana so velik prispevek slovenske znanosti v zakladnico svetovnega znanja ter so pripomogli k uveljavitvi slovenske znanosti in slovenske eksperimentalne fizike delcev v mednarodnem prostoru.



Slika 3. Doc. Denis Arčon (na sliki desno) med odmorom na mednarodnem znanstvenem srečanju

Doc. dr. **Denis Arčon** je v zadnjem obdobju proučeval lastnosti fulerenov. Te snovi, zgrajene iz molekul C_{60} , so lahko odvisno od dopiranja po eni strani kovine oziroma superprevodniki, po drugi pa izolatorji, ki pri nizkih temperaturah dobijo magnetne lastnosti. Za izolator TDAE- C_{60} je dr. Arčon z meritvami z mionsko spinsko relaksacijo in feromagnetno resonanco pokazal, da je pri nizkih temperaturah feromagneten. Prav tako je za $(CH_3NH_2)K_3C_{60}$ z metodo elektronske paramagnetne resonance pokazal, da je izolator in ne kovina ter da preide pri nizkih temperaturah v antiferomagnetno stanje. Te nove eksperimentalne izsledke je dr. Arčon tudi pojasnil in s tem bistveno pripomogel k razumevanju fizike dopiranih fullerenov. Ta dela so bila objavljena v osmih člankih v najuglednejših znanstvenih časopisih in so naletela na velik mednarodni odziv. Celotna bibliografija dr. Arčona, ki je s temi deli tesno povezana, zajema 107 člankov, ki so bili do zdaj navedeni skoraj 900-krat.

Vsem trem nagrajencem iskreno čestitamo.

Uredništvo

MATEMATIČNE NOVICE

Matematik – najboljši poklic?

Na internetnem portalu [1], namenjenemu iskanju zaposlitev v ZDA, najdemo seznam najboljših oziroma najslabših poklicev, ki je zbudil pozornost tudi v nekaterih uglednih množičnih medijih. Seveda je vsako tako razvrščanje nezanesljivo. Tokrat avtorji razložijo tudi metodologijo. Velik poudarek je bil dan tveganjem in stresu na delovnem mestu. Kakorkoli že, po tej listi so na trinajst najboljših mestih (ameriško metodologijo sem poskušal približati našim razmeram): matematik, aktuar, statistik, biolog, računalniški inženir – razvijalec programske opreme, računalniški inženir – analitik, zgodovinar, sociolog, industrijski oblikovalec (ta poklic v ZDA zahteva tudi nekaj tehničnega znanja), računovodja, ekonomist – analitik, filozof, fizik. Na petnajstem mestu je meteorolog, na dvajsetem astronom. Seznam kaže na to, da v ZDA primanjkuje in bo primanjkovalo strokovnjakov določenih profilov, predvsem na naravoslovno-tehničnem področju, pa tudi – presenetljivo – na nekaterih humanističnih področjih.

Kot nekakšno protiutež omenimo tudi seznam [2] deset poklicev v ZDA, ki človeku prinašajo *največje zadovoljstvo*. Na desetem mestu so inženirji v operativi, sicer pa na tem seznamu ni prej omenjenih poklicev. (Na njem je sicer več zaposlitev, ki zahtevajo posebno nadarjenost ali usmeritev in zanje je včasih težje najti delovno mesto.) Najmanj zadovoljni s svojim poklicem so krovci. Študijo je izvedel *Center za raziskavo javnega mnenja na Univerzi v Chicagu*, ki je meril tudi občutenje sreče pri zaposlenih. Na sedmem mestu *najbolj srečnih* so „znanstveni tehniki“ (kamor bi spadali recimo diplomanti naše *Fizikalne merilne tehnike*) in na devetem mestu inženirji v industriji.

Ali je matematika platonistični objekt ali socialni konstrukt?

Zanimiva razprava na to temo v zadnji številki revije *EMS Newsletter* [3] bo verjetno pritegnila tudi tiste, ki jih filozofija sicer ne zanima. Dva odlična matematika zagovarjata različne poglede in oba imata svoj prav, predvsem pa povesta marsikaj zanimivega. To je nadaljevanje debate iz prejšnjih števil glasila Evropskega matematičnega društva.

Kongres mladih matematikov srednješolcev

V pravkar omenjeni reviji [3] najdemo poročilo o osmem kongresu mladih matematikov srednješolcev (*Junior mathematical congress*), ki je bil poleti 2008 v nemškem mestu Jena. Udeleženci so predstavili svoje raziskovalne naloge. Naslednja kongresa bosta 2010 v bolgarskem mestu Ruse ob Donavi in 2012 v Edinburghu na Škotskem. Kljub pozivu k udeležbi pa žal ni naslovov organizatorjev; verjetno se bodo še pojavili, morda na novi spletni strani Evropskega matematičnega društva [4].

Mimogrede, v isti reviji [3] najdemo še analizo kit in drugih vzorcev v pletenju in kvačkanju.

Digitalna knjižnica matematičnih funkcij in prevajalnik iz $\text{\LaTeX}$ a v XML

Na spletnem naslovu [5] imamo predogled majhnega dela digitalne knjižnice matematičnih funkcij, ki se zgleduje po znanem priročniku za specialne funkcije *Abramowitz-Stegun*, *Handbook of Mathematical Functions*. Posamezna poglavja so na novo napisali strokovnjaki za posamezna področja. Delo naj bi letos izšlo tudi v knjižni obliki. Na gornjem naslovu pa bo prosto dostopno, skupaj s povezavami, ki bodo omogočale računanje in risanje. Gostitelj spletne strani je ameriški National Institute of Standards and Technology. Pri delu nastaja tudi prevajalnik iz $\text{\LaTeX}$ a v spletu prilagojen jezik XML. V še ne dokončni obliki ga lahko preskusimo na [6].

LITERATURA

- [1] *JobsRated.com – A Comprehensive Ranking of 200 Different Jobs*, http://www.careercast.com/jobs/content/ JobsRated_Top200Jobs.
- [2] Tom W. Smith, *Job Satisfaction in the United States*, <http://www.norc.org/nr/rdonlyres/2874b40b-7c50-4f67-a6b2-26bd3b06ea04/0/jobsatisfactionintheunitedstates.pdf>.
- [3] EMS Newsletter December 2008, <http://www.ems-ph.org/journals/newsletter/pdf/2008-12-70.pdf>.
- [4] *The European Mathematical Society*, <http://www.euro-math-soc.eu/>.
- [5] *NIST Digital Library of Mathematical Functions*, <http://dlmf.nist.gov/>.
- [6] *ET_EXML: A LaTeX to XML Converter*, <http://dlmf.nist.gov/LaTeXXML/>.

Peter Legiša

DMFA SLOVENIJE V ZADNJIH DESETIH LETIH

V obdobju zadnjih desetih let so se v življenju društva pokazale nekatere stalnice, ki še danes določajo njegovo delovanje. V tem sestavku jih bom skušal na kratko orisati, kakor jih pač vidim s svojimi skromnimi dveletnimi izkušnjami, ki sem si jih pridobil kot predsednik društva od novembra 2006 do novembra 2008. Brez prebiranja različnih zapisnikov in poročil o delu ter zlasti pogovorov z dolgoletnimi člani društva tega seveda ne bi mogel storiti. Zato se njim in vsem drugim kolegom, ki so mi posredovali pomembne informacije ali me opozorili na napake, za pomoč iskreno zahvaljujem.

1. Razmah tekmovanj

Tekmovanja iz matematike in fizike za osnovnošolce in srednješolce so naša tradicionalna dejavnost, s katero se lahko pohvalimo. V zadnjem desetletju so se kvečjemu še okrepila.

Množičnost in raznovrstnost. Tekmovanja za vse starostne skupine, od najmlajših do študentov, v okviru *mednarodnega matematičnega kenguruja* so se po začetnih pomislekih lepo uveljavila. Zadnja leta dosega udeležba prav neverjetne številke, ki se bližajo številu 90 000 tekmovalcev. Vseh registriranih udeležencev na vseh treh nivojih tekmovanj: šolskem, področnem in državnem pa je več kot 110 000. Poleg tradicionalnih tekmovanj za *Vegovo* in *Stefanovo priznanje* ter tekmovanj srednješolcev v matematiki in fiziki so se pojavile nove kategorije doma (tekmovanje dijakov srednjih tehniških in strokovnih šol v znanju matematike leta 2001, tekmovanje dijakov poklicnih šol v znanju matematike leta 2001, tekmovanje v znanju poslovne matematike za srednje šole leta 2003, različna internetna tekmovanja) in v mednarodnem okviru (*sredozemsko matematično tekmovanje* leta 1998, *srednjeevropska matematična olimpijada* leta 2007). Obetajo pa se še nova mednarodna tekmovanja.

Tekmovalni uspehi. Na tem mestu je vsekakor treba povedati, da so v zadnjem času naši srednješolci posamično ali ekipno na mednarodnih olimpijadah dosegli nekatere najboljše tekmovalne dosežke v zgodovini: ob obilici bronastih medalj in pohval naj omenim tri srebrne kolajne iz matematike (**Irena Majcen** leta 2000, **Gasper Zadnik** leta 2005 in **Matjaž Berčič** leta 2006) ter zlato medaljo iz fizike (**Matija Perne** leta 2002) in dve srebrni medalji iz fizike (**Andrej Košmrli** leta 2001, **Matjaž Payrits** leta 2008). Ekipno so bili matematiki najboljši leta 2006 na olimpijadi v Sloveniji (1 srebrna, 3 bronaste medalje in 2 pohvali) in leta 2007 v Vietnamu (5 bronastih medalj, 1 pohvala), fiziki pa letos v Vietnamu (1 srebrna, 3 bronaste medalje in 1 pohvala v 5-članski ekipi).

Spremljajoče dejavnosti. Najboljše tekmovalce smo vedno skušali primerno nagraditi in motivirati za nadaljnje delo. Poleg intenzivnejših priprav na olimpijade, poletnih šol in raziskovalnih dni, kjer so izvedeli mnogo novega, so se nekateri „kengurujevc“ v letih 2002, 2003 in 2004 udeležili mednarodnih taborov v Franciji, na Madžarskem in v Nemčiji, uvedli smo zaključni nagradni izlet (leta 2005 v Benetke, leta 2006 v Salzburg, leta 2007 na Dunaj in leta 2008 v Verono). Od leta 2003 potekajo skupne podelitve nagrad in priznanj v ljubljanskem Koloseju (edino leta 2004 je bilo v Celju), kamor povabimo uspešne tekmovalce v vseh kategorijah, njihove starše in mentorje, dekane fakultet, predstavnike šolskih oblasti in vsakokratne ministre in jim ob spremljajočem kulturnem programu podelimo zaslužena priznanja skupaj s knjižnimi nagradami, predstavimo olimpijske ekipe ter omogočimo ogled zanimivega filma.

Organizacija. Uspehov seveda ne bi bilo brez dobre organizacije in seveda brez naporov ljudi, ki stojijo za temi tekmovanji (od mentorjev, lokalnih organizatorjev po šolah, tekmovalnih komisij do vodij posameznih tekmovanj). Odločilne so dolgoletne izkušnje in predano delo vodstva tekmovanj, stalna ekipa, trden koncept in premišljena pravila. Za tradicionalna tekmovanja srednješolcev in osnovnošolcev v matematiki in fiziki že ves čas skrbijo **Gregor Dolinar**, **Ciril Dominko**, **Darjo Felda** in **Matjaž Željko** ob mlajših sodelavcih **Klavdiji Mlinšek** (prej **Aleksander Potočnik**), **Sašu Kožuhu** (prej **Jelislava Sakelšek**) in **Ireni Majcen**. **Darjo Felda** vodi tudi sredozemsko matematično tekmovanje, kjer so naloge primerljive s tistimi na

olimpijadi. Tekmovanje iz matematike za srednje tehniške in strokovne šole vodi **Darinka Žižek**, za poklicne šole pa **Dušanka Vrenčur**, tekmovanje v znanju poslovne matematike pa prireja **Darko Rupret**. Poleg tega **Izidor Hafner** že več kot dvajset let pripravlja tekmovanja iz razvedrilne matematike in logike, zadnjih nekaj let so se jim pridružila tudi različna spletna tekmovanja. Podobno dolgo tradicijo ima tudi matematično tekmovanje mest, zanj že ves čas skrbi **Gregor Cigler**.

Poudariti je treba, da smo v zadnjem desetletju na področju tekmovanj dosegli višjo kvaliteto raven in večjo profesionalizacijo dela. Poenostavili in poenotili smo nekatere postopke glede obveščanja, dostopa do nalog za priprave, prijavljanja na tekmovanja, iskanja rezultatov, vlaganja pritožb, tiskanja priznanj itd. Kjer se je le dalo, smo uvedli avtomatizacijo, zmanjšali stroške in standardizirali obrazce; posodobili in poenotili smo grafično podobo priznanj. Vsega tega seveda ne bi bilo brez ustrezne sodobne informacijske in tehnološke podpore, ki jo je bilo treba vzpostaviti in potem tudi vzdrževati, za kar je zaslužen **Matjaž Željko**.

Poleg organizatorskih izkušenj je gotovo pomembno tudi konstruktivno in redno sodelovanje z državnimi organi in v mednarodnih forumih (**Ciril Dominko** je član državnega programskega sveta za tekmovanja v znanju, **Gregor Dolinar** je član dveh visokih mednarodnih svetovalnih odborov, za matematični kenguru in za matematično olimpijado, **Matjaž Željko** je svetovalec za informacijsko tehnologijo pri mednarodni matematični olimpijadi; vzdržuje tudi njeno uradno spletno stran).

Mednarodno odmevne prireditve. V zvezi s tekmovanji naj omenim nekaj pomembnih posameznih dogodkov. Leta 1998 je bila v Ljubljani seja evropske tehnične komisije za mednarodni (takrat še evropski) matematični kenguru, ki jo je v imenu društva organiziral **Gregor Dolinar**. Spomladi leta 2006 smo v Kočevju nekoliko bolj slovesno kot sicer izvedli *50. tekmovanje srednješolcev v matematiki*. In ne nazadnje, istega leta je bila ob večletnih pripravah, nesebičnem osebnem angažiranju številnih posameznikov, materialni pomoči različnih sponzorjev in proračunskem financiranju države v Sloveniji uspešno izvedena *47. mednarodna matematična olimpijada*. Zasluga zanj gre predsedniku organizacijskega odbora in takratnemu predsedniku društva **Zvonku Trontlju**, vodilni ekipi slovenskih matematičnih tekmovanj (**Gregor Dolinar**, **Darjo Felda**, **Matjaž Željko**), ocenjevalcem, ki jih je vodil **Andrej Bauer**, ljudem, ki so pod vodstvom **Klavičije Mlinšek** skrbeli za spremljajoče dejavnosti (ogledi, izleti), ter številnim drugim sodelavcem na vseh nivojih. O vsem dogajanju je bilo izdano zajetno poročilo v angleščini in kratek DVD film. Olimpijada je bila za nas velik organizacijski dosežek, eden največjih v zgodovini društva, in hkrati dobra promocija naše države in našega društva v svetu, za kar smo dobili nekaj laskavih domačih in mednarodnih priznanj.

Težave. Seveda je bilo ob vsem tem tudi nekaj problemov, ki smo jih reševali sproti. V prejšnjih letih nas je občasno pestilo prekrivanje tekmovanj iz različnih predmetov, v zadnjih dveh letih pa smo morali prilagajati vsebino tekmovalnih nalog premakljivemu urniku pri pouku fizike v osnovni šoli. Resnejše težave smo občasno imeli v zvezi s financiranjem tekmovanj. Od leta 2000 dalje smo se morali vsako leto znova prijavljati na javne razpise, s katerimi smo si zagotovili sredstva za izvedbo tekmovanj. Pri tem so bili pogosto precejšnja ovira pozno objavljeni razpisi in kratki roki, zlasti pa pozno nakazovanje denarja z ministrstva (za izvedbo

spomladanskih tekmovanj smo si večkrat morali rezervirati denar vnaprej oziroma si ga sposoditi). Ko smo leta 2002 uvedli obvezne prijavnine za šolska tekmovanja, se je ta problem malce omilil. Ministrstvo je v zadnjih treh letih prav za velika tekmovanja, kot so npr. mednarodne olimpijade, namenjalo premalo sredstev, ki so pokrila stroške zgolj za enega ali dva člana ekipe. Poleg tega ni upoštevalo, da so ta tekmovanja pogosto v oddaljenih krajih našega planeta, s čimer se potni stroški za nas enormno povečajo. Protestirali smo pri ministru, a ni nič zaleгло. Zato smo na državnem nivoju predlagali sprejem novega krovnega pravilnika o tekmovanjih v znanju. S tem v zvezi je bilo precej dela in sestankov, od naših članov se je najbolj angažiral Ciril Dominko. Pravilnik je zdaj sprejet v skladu z našimi zahtevami, pravega učinka pa še ni, a upamo, da se bo tudi to spremenilo na bolje.

2. Oživljena raziskovalna dejavnost

Raziskovanje tako na področju fizike kakor tudi na področju matematike se je na Slovenskem v zadnjem desetletju močno okrepilo, doseglo višji nivo in se uveljavilo tudi v mednarodnem merilu. Čeprav so člani društva tudi številni matematiki in fiziki, ki se ukvarjajo z raziskovanjem in sodelujejo na številnih domačih in tujih specializiranih mednarodnih konferencah, se to morda premalo vidi v delovanju društva. Društveni glavni prispevek raziskovanju je v tem, da s popularizacijo naših ved med mladimi in selekcijo med najboljšimi mladimi tekmovalci skrbi za to, da ne usahneta zanimanje in volja za nadaljnji študij matematike in fizike ter raziskovalno poklicno usmerjenost mladih talentov. Poleg tega daje društvo streho in logistično pomoč nekaterim raziskovalnim skupinam, ki sicer delujejo samostojno, in sodeluje pri različnih akcijah na raziskovalnem področju.

Predstavitve najboljših raziskovalcev. Leta 1998 je takratni predsednik društva **Tomaž Pisanski** ponovno oživil t. i. *matematični kolokvij*, ki je na Oddelku za matematiko in mehaniko FNT (ob četrtkih) deloval že v sedemdesetih letih. Prvi je na obnovljenem kolokviju predaval profesor **Ivan Vidav**, za njim pa so se zvrstili najboljši slovenski in nekateri tuji raziskovalni matematiki. Kolokviji potekajo enkrat na mesec (razen poleti) na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in so tudi kar dobro obiskani. Do konca leta 2008 se je na njih predstavilo okroglo 100 znanstvenikov, povprečno 10 na leto. Fiziki imajo v okviru fakultete podobne kolokvije od leta 1998 (od maja 2007 se imenujejo *ponedeljkovi kolokviji*); doslej je bilo vseh čez 270, povprečno 25 na leto.

Tudi ob vsakoletnih občinih zborih društva so v zadnjih desetih letih vabljeni plenarna predavanja. Našim vrhunskim raziskovalcem na področju matematike in fizike, ki so v preteklem letu prejeli Zoisovo nagrado ali priznanje za vrhunske znanstvene dosežke, kakšno drugo prestižno nagrado na področju znanosti in izobraževanja ali napisali kakšno odmevno knjigo v tujem jeziku, damo možnost, da širši publiki predstavijo delček svojega dela. Doslej so v tem sklopu npr. predavali **Matej Brešar**, **Peter Šemrl**, **Dušan Repovš**, **Tomaž Pisanski**, **Janez Strnad**, **Marko Petkovšek**, **Matjaž Omladič**, **Janez Dolinšek**, **Dragan Marušič**, **Bojan Mohar**, **Janez Bonča**, **Tomaž Košir**, **Janez Mrčun**, **Tomaž Prosen**, **Črt Zupančič**, **Svjetlana Fajfer** in **Sandi Klavžar**.

Raziskovalna srečanja. Vzporedno in neodvisno od društvenih srečanj učiteljev matematike in fizike ob občnih zborih zdaj že celo desetletje, od 1998 dalje, vsako drugo leto potekajo *srečanja fizikov, ki se ukvarjajo z osnovnimi raziskavami*. Organizira jih **Igor Muševič**. Ta srečanja so zelo obiskana, na njih se predstavijo mnogi mladi stažisti raziskovalci in podiplomski študentje, ki poročajo o svojem raziskovalnem delu v zvezi z doktoratom in o drugih raziskavah. Vsako drugo leto pa se srečajo *raziskovalci, ki se ukvarjajo z uporabo fizike v gospodarstvu ali delajo na različnih inštitutih*. Srečanja pripravlja in vodi **Janko Lužnik**. Ta skupina ima že več kot tridesetletno tradicijo, nekaj časa se je srečavala tudi v jugoslovanskem okviru. Fiziki prireajo tudi poleti svoja mednarodna znanstvena srečanja, in sicer v Plemljevi hiši na Bledu. Od leta 1999 se redno sestajata skupina **Norme Mankoč-Borštnik** (o nadstandardnem modelu) in skupina **Bojana Gollija, Mitje Rosine** ter **Simona Širce** (o kvarkih in hadronih), občasno še druge, tudi iz matematike in astronomije.

Junija leta 2004 je bila v Portorožu *10. mednarodna konferenca PIXE 2004 (Particle-induced X-ray Emission and its Analytical Applications)*, kjer je bilo med organizatorji poleg Instituta Jožef Stefan in Oddelka za fiziko FMF uradno tudi DMFA Slovenije.

Raziskovalci na področju matematike v tem času niso bili tako dosledni, vsaj kar se vsakoletnih srečanj v okviru društva tiče. Medtem ko so bili navdušenci za uporabno matematiko v 90-tih letih, do leta 2000, zelo aktivni in so vsako leto predavali v posebni sekciji (ki sta jo vodila **Marko Razpet** in potem **Mihael Perman**), je ta dejavnost zamrla za šest let. Na pobudo **Tomaža Pisanskega** sta jo oživila **Emil Žagar** in **Boštjan Kuzman** z organizacijo *Slovenskega srečanja matematikov raziskovalcev*, v okviru katerega so bili v letih 2007 in 2008 poleg različnih strokovnih in znanstvenih prispevkov predstavljeni tudi nekateri odmevnejši mednarodni dosežki slovenskih avtorjev.

Tesnejše mednarodno sodelovanje. Vse od osamosvojitve Slovenije, še zlasti pa v zadnjem desetletju, se krepi povezanost društva s svetom, tako z mednarodnimi organizacijami, kot so *Evropsko matematično društvo (EMS)*, *Evropsko fizikalno društvo (EPS)*, *Mednarodna matematična unija (IMU)*, *Mednarodna unija za čisto in aplikativno fiziko (IUPAP)*, kakor tudi z drugimi društvi. Na društvenem nivoju smo vzpostavili stike z matematičnimi in fizikalnimi društvi sosednjih držav, pa tudi z drugimi, npr. angleškim fizikalnim društvom, španskim kraljevim matematičnim društvom (RSME), s katerim smo leta 2004 sklenili sporazum o vzajemnem priznavanju članstva, tako kot že prej leta 1995 z ameriškim matematičnim društvom (AMS). Občasno smo se pogovarjali še s predstavniki drugih matematičnih društev (npr. s predstavniki srbskega, japonskega, nemškega, kanadskega, češkega, švicarskega društva). Nacionalna komiteja za fiziko in za matematiko sta na mednarodnem področju zelo aktivna. Fizikalni komite je do leta 1998 vodila **Norma Mankoč Borštnik**, nato ga je prevzel **Zvonko Trontelj**, leta 2002 **Žiga Šmit**, leta 2006 pa **Tomaž Podobnik**. Matematičnega je do leta 2004 vodil **Peter Legiša**, po tem letu pa **Tomaž Pisanski**. Pred dobrim letom sta se komiteja preimenovala v *Slovenski odbor za fiziko* in *Slovenski odbor za matematiko*. Naši predstavniki se pogosto udeležujejo mednarodnih sestankov, najbrž pa vse možnosti za večjo sodelovanje DMFA Slovenije vsaj z EMS in EPS še niso izčrpane.

3. Stalna izobraževalna dejavnost

V okviru društva se izobraževalna dejavnost v zadnjem obdobju omejuje v glavnem na *strokovne seminarje* in (občasno) *strokovne ekskurzije*. Vsako leto se izmenjujejo seminarji za učitelje, enkrat je na vrsti matematika, drugič fizika. Udeležba se zlasti pri matematiki zadnja leta povečuje, najbrž tudi zaradi večjega števila profesorjev matematike v osnovni šoli. Poleg tega že nekaj let organiziramo tudi pedagoško usmerjen seminar v okviru vsakoletnega srečanja učiteljev ob obnem zboru društva. Medtem ko so bile prej na sporedu raznovrstne, včasih tudi precej poljubne in heterogene teme, prevladuje v zadnjih letih bolj enotna tematika, npr. *motivacija pri pouku* leta 2007, *preverjanje znanja* leta 2008 itd. Običajno je seminar razdeljen v več skupin glede na stroko in glede na problematiko v osnovni in v srednji šoli. Občasno organiziramo tudi okrogle mize in predstavitve (npr. *o maturi* leta 1999, ko je poleti odstopila področna maturitetna komisija za matematiko, in leta 2005, ko je pogovor vodil Tomaž Pisanski, predsednik maturitetne komisije za matematiko, o tekmovanjih leta 2001, *o Preseku* leta 2003, *o novih bolonjskih študijah matematike in fizike* leta 2007, *o usklajenem izvajanju učnega načrta za matematiko in fiziko v gimnazijah* leta 2008). Pred desetimi leti smo za letna srečanja rezervirali kar tri dni (še četrtek popoldne), vendar se je izkazalo, da učitelji težko manjkajo na šoli toliko časa, zato smo leta 2002 spet prešli na dvodnevna srečanja. Od leta 2000 uspešno opravlja delo sekretarke za pedagoško dejavnost društva **Lucijana Kračun Berc**, profesorica matematike na Gimnaziji Lava v Celju.

Nekajkrat smo organizirali ogledе observatorijev in nočnega neba (npr. leta 2001), povabili naše člane na opazovanje popolnega Sončevega mrka (leta 1999 na Gradiščansko in leta 2006 v Turčijo), maja 2008 pripravili ekskurzijo v Idrijo, kjer smo si ogledali ohranjeno tehniško dediščino, v bližnji prihodnosti pa načrtujemo še ekskurzijo v Trst in okolico z ogledom elektronskega sinhrotrona v Padričah. Poleg tega smo bili vedno odprti tudi do drugih oblik izobraževanja. Ko smo npr. prirejali letna srečanja in občne zборе po različnih krajih Slovenije, smo se radi seznanili tudi s krajevno zgodovino in si ogledali kakšno lokalno znamenitost. Res pa je tega danes manj kot včasih.

Naši člani sodelujejo še pri različnih oblikah strokovnega izobraževanja, ki ne odvisno od društva potekajo na nekaterih fakultetah. Takšno je npr. stalno strokovno izpopolnjevanje učiteljev matematike (vodja **Damjan Kobal**), in učiteljev fizike (vodja **Gorazd Planinšič**) na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Podobno je na drugih fakultetah po Sloveniji. Aktivnost sega tudi na mednarodno področje. Precej razvejeno mednarodno sodelovanje poteka na področju izobraževanja v fiziki (konference in seminarji *GIREP*, različni mednarodni projekti) in nekoliko manj v matematiki.

4. Redna izdajateljska dejavnost

Izdajateljstvo je ena najstarejših dejavnosti društva, saj društveno glasilo *Obzornik za matematiko in fiziko* izhaja od leta 1951, *Presek* od leta 1973 in *Knjižnica Sigma* od leta 1959. Društvo je soudeleženo tudi pri izdajanju nove znanstvene revije *Ars mathematica contemporanea*, za katero sta dala pobudo **Tomaž Pisanski** in **Dragan Marušič**. Pri vseh teh izdajah tesno sodeluje z založbo *DMFA – zalo-*

žništvo, nekdanjo *Komisijo za tisk*. Po odhodu prejšnjega tajnika komisije **Cirila Velkovrha** jo je leta 1992 prevzel in do jeseni 1995 kot predsednik vodil **Mirko Dobovišek**. Na predsedniškem mestu so mu sledili **Bojan Magajna** (do jeseni 1997), **Miran Černe** (do 1999) in **Martin Juvan** (do 2001). Leta 1998 se je komisija formalno preoblikovala v društvo *DMFA – založništvo*. Od leta 2001 jo uspešno vodi **Mirko Dobovišek**, glavni urednik vseh izdaj, ob pomoči različnih uredniških odborov in tehničnih sodelavcev. Poleg omenjene periodike izdaja društvo občasno v svoji režiji ali v sodelovanju z DMFA – založništvom še druge publikacije, biltene srečanj, materiale za seminarje, zbirke tekmovalnih nalog in vrsto drugih priložnostnih publikacij.

V zadnjem obdobju je prišlo do vsebinske in oblikovne prenove glavnih časopisov. Leta 2004 je *Presek* dobil novo grafično podobo, vsebinsko pa je ostal približno enak. Od dolgoletne urednice **Marije Vencelj** je uredništvo prevzela **Maja Klavžar**. Tudi *Obzornik za matematiko in fiziko* je v zadnjem desetletju doživel nekaj uredniških sprememb. Do leta 2000 ga je nadvse uspešno urejal **Boris Lavrič**, od leta 2001 do leta 2005 pa **Roman Drnovšek**. Leta 2005 je na občnem zboru **Peter Šemrl**, ki je za eno leto prevzel urejanje časopisa, predlagal „mehkejši pristop“ do urejanja. *Obzornik* je postal bolj društveno glasilo z več novicami in društvenimi vestmi, s pedagoškimi članki, manj pa je strokovno zahtevnejših prispevkov. Od leta 2007 dalje ga v tem duhu ureja **Sašo Strle**. *Presek* je torej spremenil obliko, *Obzornik* pa vsebino. Zasnova *Knjižnice Sigma* je ostala enaka, kot jo je sredi devetdesetih let preoblikoval **Matjaž Omladič**, ki je še vedno njen odgovorni urednik.

Na žalost je treba omeniti, da je zadnja leta izdajanje mladinske periodike v čedalje večji krizi, ki se kaže v zmanjšani nakladi in posledično pomanjkanju sredstev, potrebnih za nemoteno izdajanje rednih publikacij. Morda je čas za razmislek o alternativnih možnostih.

5. Promocija matematike, fizike in astronomije

Društvo je dolžno promovirati svoje tri znanstvene vede v javnosti. Velik del promocije opravi seveda s popularizacijo matematike in fizike med mladimi. Ta popularizacija zajema tekmovanja, o katerih smo govorili na začetku, poletne šole, namenjene učencem osnovnih šol, ter raziskovalne dneve in delavnice, namenjene dijakom srednjih šol. Poletno šolo mladih matematikov v Bohinju vodi zadnja leta **Klavdija Mlinšek**, prej pa je vrsto let potekala na Bledu pod vodstvom **Aleksandra Potočnika**. Poletno šolo mladih fizikov organizira v Kranjski Gori **Sašo Kožuh**, pred njim je to delala **Jelislava Sakelšek** na Bledu. Raziskovalni dnevi iz matematike tradicionalno potekajo v Ljubljani pod vodstvom **Matjaža Željka** in **Irene Majcen**, raziskovalne dneve iz fizike pa že deset let v Plemljevi hiši na Bledu vodi **Zvonko Jagličič**. Popularizaciji so večinoma namenjene tudi objave v publikacijah, kot so *Knjižnica Sigma* ter časopisi *Presek*, *Obzornik za matematiko in fiziko*, *Matematika v šoli*, *Fizika v šoli*, *Logika in razvedrilna matematika*. Druge promocijske dejavnosti so se pri društvu razvile v zadnjih letih in bodo omenjene posebej.

Sodelovanje pri mednarodnih akcijah. Društvo se dejavno vključuje v nekatere občasne domače in mednarodne akcije za promocijo znanosti. Leto 2000

je bilo razglašeno za *svetovno leto matematike*. Pri društvu smo razpisali natečaj za najboljši plakat na temo matematike, ki bi ga narisali učenci osnovne šole. Bilo je kar nekaj odziva. Posebna komisija, ki jo je vodil **Peter Legiša**, je izbrala in nagradila najboljše prispevke. Le-ti so bili razstavljeni ob občnem zboru v Zrečah. Drugih akcij tedaj nismo izpeljali.

Ce smo bili nekoliko manj uspešni pri realizaciji svetovnega leta matematike 2000 in nismo dovolj izkoristili takratne priložnosti za promocijo matematike v Sloveniji, pa smo to dodobra nadomestili pri naslednji priložnosti. Za odlično izpeljano *svetovno leto fizike 2005* so zaslužni **Jure Bajc**, **Irena Drevenšek-Olenik**, **Primož Ziherl** in drugi kolegi fiziki, ki so pripravili celo kopico dejavnosti od javnih predavanj, radijskih oddaj, različnih domačih in mednarodnih seminarjev, okroglih miz do prenosa svetlobnega signala čez Slovenijo, plakatov o fiziki v vsakdanjem življenju in izdaje Telekomovih kartic s fizikalno vsebino. V javnosti so najbolj odmevale akcije, kot npr. *verižni eksperiment* ali plakati po mestnih avtobusih (kar je bila ideja **Mihe Kosa** in **Hiše eksperimentov**). Nadaljevanje verižnega eksperimenta je sledilo še vsa naslednja leta. Obdržala so se tudi javna poljudna predavanja v okviru cikla *Fizika za vsakogar*, dodatno pa smo pripravili enotedenske razstave fizikalnih naprav in fizikalne poskuse pod imenom *Dnevi fizike* v Tehniškem muzeju Slovenije.

Veliko promocijsko spodbudo za matematiko je seveda pomenila *matematična olimpijada* v Sloveniji leta 2006, saj je ta dogodek pritegnil tudi veliko medijsko pozornost. Upamo, da bodo aktivnosti ob *mednarodnem letu astronomije MLA 2009* prav tako odmevale v javnosti in prispevale k večjemu zanimanju mladine za astronomijo.

Druge promocijske dejavnosti. Lani se je z društvom povezala neformalna skupina *Ženske v fiziki*, ki je izdala zbornik *Fizika, moj poklic* za promocijo fizike med mlado (žensko) populacijo. O ženskah v znanosti poteka mednarodna akcija že od leta 2002, ko je bila v Parizu prva konferenca na to temo. UNESCO in podjetje L'Oreal razpisujeta nagrade in štipendije za znanstvenice, ki so se odlikovale med študijem in raziskovanjem. Tudi DMFA Slovenije se s predlogi občasno vključuje v take akcije. Sodelovanje s *Slovensko znanstveno fundacijo* prav tako poteka že nekaj let. V svetovnem letu fizike 2005 je bil npr. oktobra v Cankarjevem domu v okviru *Festivala znanosti* poseben *Festival fizike*, septembra leta 2008 pa so bili na tem festivalu predstavljeni matematični projekti dijakov, izdelani v okviru *Matematičnega raziskovalnega srečanja MARS'08* pod vodstvom **Boštjana Kuzmana**, ter razstava o delu akademika profesorja Ivana Vidava.

6. Obujena skrb za lastno zgodovino

Med promocijo naših ved in samega društva v javnosti spada tudi ohranjanje tradicije in spomina na naše velike znanstvenike preteklih dob. Lahko bi rekli, da smo konec devetdesetih let prejšnjega in v začetku tega stoletja začeli na novo odkrivati nekatera dejstva o že znanih imenih naše preteklosti, pa tudi kakšno doslej zamolčano ime. Pri tem so se zavzeto trudili številni člani društva in vsak po svoje prispevali k boljšem poznavanju naše zgodovine. Veliko je bilo objavljenega

na spletu, v časopisnih člankih in knjigah. Res pa ostaja naše zgodovinopisno delovanje bolj ali manj samo na amaterski osnovi.

Odkrita spominska obeležja. Nekaj pomembnih matematikov in fizikov preteklih dob je v zadnjem desetletju dobilo svoj spomenik ali spominsko ploščo. Razen pri Matku in Lahu to ni bila zasluga (zgolj) našega društva, smo pa pri vseh navedenih dejanjih aktivno sodelovali.

Leta 1996 in 1997 sta bila postavljena doprsna kipa *Francu Močniku* v Šolskem muzeju v Ljubljani in v Cerknem, leta 1997 tudi *Lavu Čermelju* v Ljubljani. **Dušan Modic** nam je na občnem zboru leta 1999 predstavil pisca učbenikov *Karla Kunca*. Leta 2000 smo mu na rojstni hiši v Novem mestu odkrili spominsko ploščo in uredili nekoliko zanemarjen *Plemljev grob* na ljubljanskih Žalah. Leta 2002 smo vzdali spominsko ploščo drugemu piscu učbenikov, *Blažu Matku*, v Gornjem Gradu. Istega leta je **Tomaž Pisanski** predlagal ustanovitev zgodovinske sekcije, ki je potem intenzivno delala in pripravila *Vegove dneve 2002* (ob 200-letnici Vegove smrti) in v javnosti še bolj odmevne *Vegove dneve 2004* (ob 250-letnici Vegovega rojstva). Obakrat je bilo veliko kulturnih, znanstvenih in protokolarnih prireditiv. Naj na tem mestu zgolj omenim, da je na proslavi v Zagorici v soboto, 20. marca 2004, govoril tedanji predsednik države *dr. Janez Drnovšek* in da je sodelovala tudi Slovenska vojska, ki je v počastitev Vegovega praznika streljala s topovi. V ponedeljek, 22. marca, po koncertu Orkestra Slovenske vojske v filharmoniji pa je bila na Levstikovem trgu v Ljubljani odkrita *spominska plošča* v spomin na Jurija Vego. Leta 2006 je kot rezultat obnovljenega raziskovanja o Vegovem življenju in delu izšel obširen *Vegov zbornik*. Nazadnje smo leta 2005 odkrili *Iva Laha*, pozabljenega in zamolčanega matematika in aktuarja, ter mu na domači hiši v Štrukljevi vasi pri Cerknici vzdali spominsko ploščo. Junija 2009 pa je v načrtu še odkritje spominske plošče v Metliki rojenemu matematiku in piscu učbenikov *Francu Hočevarju*.

Zbiranje podatkov. Profesor **Anton Suhadolc** je več let sistematično zbiral podatke o fizikih in matematikih, ki so delovali na ljubljanski univerzi pred drugo svetovno vojno. Tako je npr. ponovno odkril in slovenski strokovni javnosti v Obzorniku predstavil *Valentina Kušarja*, prvega učitelja fizike slovenskega rodu na ljubljanski univerzi. Uredil in popisal je arhiv profesorja *Josipa Plemlja*, vključno z njegovo obširno zasebno korespondenco. Predvsem pa je zbral zajetno gradivo o drugem rektorju ljubljanske univerze, profesorju *Rihardu Zupančiču*. Drugi člani društva smo leta 2007 sodelovali pri zbiranju podatkov, izdaji zbornika in proslavah 90-letnice rojstva profesorja *Ivana Vidava*. Ker se bomo leta 2009 spomnili šestdeset let delovanja DMFA Slovenije, zbiramo tudi dokumentarno, slikovno in drugo gradivo v zvezi z društvenim življenjem v minulih desetletjih.

Naj še omenim, da je v zadnjih desetih letih precej novih podatkov o *Juriju Vegi*, *Francu Močniku* in drugih starejših fizikih in matematikih na Slovenskem odkril in objavil zgodovinar znanosti **Stanislav Južnič**, o zgodovini naše astronomije ter o slovenskih astronomih pa je pogosto (deloma tudi skupaj z Južničem) pisal **Marijan Prosen**.

Neuspele akcije in zamujene priložnosti. Društvo se je leta 1999 pridružilo pobudi *Pedagoškega inštituta*, da bi državno nagrado za pedagoško delo poimenovali po *Francu Močniku*, o čemer pa slovenskega parlamenta nismo prepričali. Prav tako ni uspela pobuda društva iz leta 2001, da bi *Slovenska akademija znanosti in umetnosti* rehabilitirala *Riharda Zupančiča*. Tako ostaja edini član, ki je bil po drugi svetovni vojni izključen iz SAZU in doslej še ni bil rehabilitiran.

Kakšno pomembno obletnico smo tudi spregledali; leta 2003 se npr. nismo spomnili 250-letnice rojstva *Franca Hočevarja*. Postavitev obeležja temu univerzitetnemu profesorju in piscu učbenikov ostaja tako še naprej naš dolg. Prav tako smo tedaj pozabili na 250-letnico rojstva fizika *Ignaca Klemenčiča*.

Na sodelovanje pri obeležitvi 100-letnice rojstva profesorja *Antona Peterlina*, ki je bil skoraj deset let, do odhoda v tujino, v častnem razsodišču in od leta 1985 dalje častni član društva, DMFA Slovenije formalno ni bilo povabljen, so pa nekateri njegovi člani precej prispevali k izdaji zbornika in k skupni proslavi. Posebej je o Peterlinu spregovoril **Mitja Rosina** na zadnjem občnem zboru društva 8. novembra 2008 in tudi *Obzornik* je v zadnji številki lanskega letnika objavil nekaj prispevkov o življenju in delu velikega znanstvenika.

7. Ožja društvena dejavnost

Društvo vodi upravni odbor, ki se vsak mesec (razen poleti) sestaja na sejah, posluša poročila predsednika in tajnikov komisij in odloča o nujnih tekočih zadevah. Po potrebi ustanovi upravni odbor nove začasne komisije. Vsako leto skliče občni zbor društva, vsaki dve leti se načeloma zamenjajo predsednik in predsedniki nekaterih odborov. V zadnjih desetih letih so se zvrstili naslednji predsedniki društva: **Tomaž Pisanski** 1998–2000, **Martin Čopič** 2000–2001, **Zvonko Trontelj** 2001–2002, **Peter Petek** 2002–2004, **Zvonko Trontelj** 2004–2006, **Milan Hladnik** 2006–2008. Na zadnjem občnem zboru je bil za predsednika izvoljen fizik **Janez Seliger**.

Stalnost pri vodenju. V formalnem pogledu poteka delo zadnjih deset let redno in nemoteno tudi po zaslugi stalne vodstvene ekipe (razen predsednika društva). Poleg že omenjene stalnosti pri vodstvu tekmovanj, nacionalnih komitejev za matematiko in fiziko, komisije za pedagoško dejavnost ter založniške dejavnosti je treba posebej poudariti dolgoletne izkušnje **Nade Razpet**, ki je podpredsednica društva že od leta 1991 in med drugim organizatorica vsakoletnih srečanj, nadalje natančnost in vestnost **Janeza Krušiča**, ki kot tajnik društva od leta 1997 pripravlja materiale za seje in za javne razpise, vodi vso društveno korespondenco in dokumentacijo in sploh skrbi za tekoče in pravilno poslovanje društva, ter ne nazadnje profesionalnost **Andreje Jaklič**, ki tudi že deset let skrbno vodi društveno računovodstvo.

Posodabljanje pravilnikov in obrazcev. DMFA Slovenije se je pred deseti leti registriralo v skladu z novim zakonom o društvih, prilagodilo svoja pravila (statut), ki so se potem iz različnih vzrokov spreminjala še nekajkrat. Istočasno smo pridobili *status društva, ki deluje v javnem interesu*. To naj nam bi pomagalo pri prijavi na različne razpise za državna sredstva. Ta status smo leta 2008 obnovili. Večkrat smo prilagajali pravilnike o tekmovanjih in sprejemali nove (o

varstvu osebnih podatkov, o inventuri, o vodenju financ), prenovili smo žig (leta 2000) in celostno podobo društva (leta 2002). Nemalo zaslug za vse to ima **Matjaž Željko**, ki od leta 1999 skrbi za društveno spletno stran in sploh za vso informacijsko tehnologijo, ki jo premore društvo.

Plemljeva hiša. Vse obdobje smo si prizadevali za dokončno formalno-pravno ureditev lastništva *Plemljeve hiše* na Bledu, ki jo je društvu v oporoki zapustil profesor *Josip Plemelj* z željo, da bi v njej potekala dejavnost, namenjena izobraževanju in raziskovanju v matematiki in fiziki. Vpis v zemljiško knjigo se je dolgo zatal in odlagal zaradi različnih pravnih ovir v zvezi z zemljiškoknjžnim dovolilom Plemljevih dedičev, od katerih je društvo leta 1992 odkupilo preostanek hiše. Šele spomladi leta 2008 nam je dokončno uspelo urediti zadeve.

Leta 2000 smo uvedli računalniški najem in računalniško evidenco zasedenosti hiše. Deloma smo prenovili notranjo opremo v hiši, nabavili televizorje po sobah, priključili internet in tako izboljšali razmere za bivanje. Po letu 2002 upravljamo hišo sami brez Ministrstva za šolstvo in šport. S hotelom *Astoria* smo se dogovorili, da za nas opravlja recepcijsko službo, menjavanje posteljnine in čiščenje prostorov. Za vzdrževanje okolice (košnjo trave v poletnih mesecih) imamo sklenjeno pogodbo, prav tako za varovanje hiše. Na hiši smo opravili nujna zunanja vzdrževalna in investicijska dela, da bi jo zavarovali pred propadanjem, ter na novo uredili dostop in okolico hiše.

Glavne težave izvirajo iz tega, da hiša ni dovolj zasedena in prinaša izgubo, ki jo moramo pokrivati iz drugih virov. Tu nas čaka še veliko dela. V letu 2008 smo imeli tudi probleme zaradi gradnje v soseščini, ki je poleti ovirala dejavnosti v hiši, a smo jih v sodelovanju z *IEDC – Poslovno šolo Bled* zadovoljivo rešili v korist uporabnikov. V prihodnje takih zapletov ne pričakujemo. Upamo celo, da bo hiša odslej lahko še v večji meri služila svojemu namenu.

Plemljeva hiša na Bledu je za društvo vsekakor dragocen (in drag) objekt s čudovito lokacijo, ki pa je potreben nenehnega vzdrževanja. Da bi čim bolj izkoristili njene prednosti, jo moramo napolniti z življenjem, se pravi s stalno društveno dejavnostjo.

Članstvo. Članstvo je dokaj stabilno in se giblje okrog števila 1270. Njegova struktura se je v zadnjih desetih letih nekoliko spremenila, saj je zdaj v njem več osnovnošolskih učiteljev matematike in fizike. Večkrat smo razmišljali, kako pritegniti k delu društva študente, matematike in fizike po podjetjih in ustanovah zunaj šolstva, kakšnega posebnega uspeha pa nismo imeli. Želeli je, da bi bili tudi slovenski astronomi bolj dejavni v okviru društva. Leto 2009, mednarodno leto astronomije, je posebna priložnost tudi za njihovo večjo društveno aktivnost.

Zapustili so nas nekateri zelo aktivni člani in drugi, ki so v zgodovini društva imeli pomembno vlogo: *Anton Moljk* 1998, *Ivan Kuščer* 2000, *Janez Ferbar* 2001, *France Križanič*, *Pavle Zajc* in *Egon Zakrajšek* 2002, *Niko Prijatelj* 2003, *Aleksander Potočnik* in *Sonja Križanič* 2008. Na pomoč so nam priskočili mlajši, čeprav je po drugi strani res, da je med aktivnim članstvom v društvu še vedno precejšen del starejših članov, med njimi so tudi nekateri že upokojeni. Zato ne preseneča podatek, da je bilo v zadnjih dvajsetih letih v društvu izvoljenih dvajset novih častnih članov, medtem ko jih je bilo v vseh prejšnjih štiridesetih letih le deset.

Sodelovanje s sorodnimi društvi in z drugimi institucijami. Tradicionalno imamo tesne stike s *Fakulteto za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani*, kjer ima društvo sedež, ter z *Inštitutom za matematiko, fiziko in mehaniko*. Zelo dobro sodelujemo tudi s *Pedagoško fakulteto Univerze v Ljubljani*, medtem ko so odnosi s *Fakulteto za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru* in s *Fakulteto za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije Univerze na Primorskem* še v povojih, s *Fakulteto za aplikativno naravoslovje Univerze v Novi Gorici* pa jih praktično ni. Vsekakor se je koristno zavedati, da imata matematika in fizika danes v Sloveniji več visokošolskih središč in nista vezani samo na ljubljanski center.

Na lokalnem nivoju ni nobenih težav npr. pri organizaciji šolskih in regijskih tekmovanj, dijaških raziskovalnih nalog iz matematike in fizike ipd. Komunikacija z aktivni matematikov in fizikov na srednjih in osnovnih šolah poteka elektronsko (prijave, obvestila) in klasično.

Delo v podružnicah ni več tako živahno kot pred desetletji. V glavnem delujeta le *celjska* in *mariborska podružnica*. Celjsko podružnico je v tem obdobju dolgo časa vodila **Lucijana Kračun Berc**, mariborsko pa ves čas **Gorazd Lešnjak** (ob asistenci dolgoletne mariborske članice upravnega odbora društva **Zvonke Alt**). Leta 1998 sta se bivša ljubljanska podružnica (*Komisija za tisk* pri DMFA) in bivša koprška podružnica registrirali kot samostojni društvi. Z društvom *DMFA – založništvo* smo hitro našli pravi način sodelovanja v novem formalnem okviru, saj je že prej delovala dokaj samostojno. Z *Društvom matematikov, fizikov in astronomov Koper* pa nimamo več toliko stikov kot pred desetimi leti.

8. Sedanji problemi in bodoče naloge

Ob koncu bi rad namenil nekaj besed še nekaterim problemom, ki sem jih opazil med svojim mandatom v upravnem odboru društva, in nalogam, ki nas še čakajo.

Financiranje. Stalna skrb je financiranje naše redne dejavnosti. Tako za izvedbo tekmovanj kot za različne druge aktivnosti v zvezi s promocijo znanosti, za udeležbo na mednarodnih sestankih in celo za pridobitev sredstev za plačilo našega članstva v mednarodnih organizacijah se moramo vsako leto znova prijavljati na javne razpise, loviti kratke roke, pisati poročila in trepetati, ali bodo naši predlogi sprejeti na javnem razpisu in bomo dobili dovolj sredstev. Ta finančna negotovost je najbrž najhujša mora za vsakogar, ki mora svojo dejavnost načrtovati vnaprej. Doslej smo te probleme sproti dokaj uspešno reševali z dobro organizacijo, izkušnjami, preteklimi referencami in seveda z veliko požrtvovalnostjo sodelavcev, ki pripravljajo programe in sproti poročajo o njihovi realizaciji. Delo pri društvu je sicer prostovoljno in v glavnem ni plačano. Seveda moramo plačati dejanske materialne stroške in naročene storitve, avtorsko delo pa nagradimo takrat, ko je zagotovljen vir sredstev.

Na tem mestu se mi zdi prav opozoriti na to, da nas nekoliko rešuje tudi ugled, ki si ga je društvo v preteklih letih pridobilo v širši javnosti. Tega ugleda nikakor ne smemo zapraviti z nepremišljenimi organizacijskimi ukrepi ali kratkoročnimi rešitvami, h katerim nas včasih silijo zunanje okoliščine ali vladni ukrepi. Mislim, da nam je celo velikost in dvodelna sestava društva (fizika in matematika) včasih prej v korist kot v škodo. S primerno koordinacijo lahko bolje podpremo različne

aktivnosti v organizacijskem, logističnem in celo finančnem smislu (z začasno pre-razporeditvijo sredstev iz drugih virov). Leta 2007 smo npr. lahko pomagali neformalni zvezi slovenskih fizičark pri razpisu za sredstva, namenjena izdaji monografije *Fizika, moj poklic*, in poskrbeli za nekatere stroške v zvezi z organizacijo prvega srečanja matematikov raziskovalcev. Drug primer: leta 2008 je vsako društvo smelo prijaviti samo en program na razpis za promocijo znanosti, v katerem je bila izpostavljena zahteva po interdisciplinarnem povezovanju različnih ved. Društvo je pri prijavi uspelo prav s pestrim programom medsebojno povezanih aktivnosti na področju fizike, matematike in astronomije.

Vrednotenje društvenega dela. Večji problem je z vrednotenjem društvenega dela v širših strokovnih in akademskih krogih. Društveno delo npr. v visokošolskem sistemu napredovanja nič ne šteje, zato je vse težje pridobiti nove (zlasti mlade) sodelavce. Težko je namreč na svoja ramena prevzeti dodatne obveznosti pri društvu in se za nekaj časa odpovedati svojim drugim (za osebno kariero bolj koristnim) prizadevanjem. Podobno velja za učitelje in profesorje na srednjih in osnovnih šolah, saj so povečini preobremenjeni že s svojim rednim delom.

Prihodnje naloge. Kot nujne naloge društva v bližnji prihodnosti vidim zlasti reševanje problematike izdajanja društvenih publikacij, povečanje aktivnosti raziskovalnega in astronomskega dela društva in okrepitev sodelovanja v mednarodnem okviru.

Aktualna ostaja tudi organizacija drugega slovenskega kongresa matematikov in fizikov. Prvi je bil leta 1994 v Cankarjevem domu v Ljubljani, naslednji večkrat napovedan in odložen, v glavnem zaradi nerešenega vprašanja, ali naj se po zgledu nekaterih sorodnih društev v novonastalih državah na ozemlju bivše Jugoslavije tudi naše društvo razdeli na matematični in fizikalni del. Prevladalo je stališče, da bi z razdelitvijo društvo več izgubilo kot pridobilo, zato smo doslej ostali skupaj. Morda bo nekoč treba razmisliti tudi o ločenih društvih, toda za zdaj se zdi smiselna le skupna pot. Večina našega članstva so učitelji in kar precejšnje število med njimi, zlasti učitelji na osnovnih šolah, jih poučuje tako matematiko kot fiziko. Poleg tega se z enotnim društvom izognemo čisto praktičnim organizacijskim problemom in zmanjšamo stroške delovanja. Seveda to ne pomeni, da ne bi mogle posamezne vede delovati v vsebinskem smislu popolnoma samostojno, tako kot v veliki meri delujejo že sedaj.

Velik izziv, ki nas čaka v prihodnje, bo tudi organizacija nekaterih mednarodnih tekmovanj. Za mednarodno olimpijado iz fizike leta 2014 smo že dogovorjeni, vsak čas se bo treba lotiti pripravl. Fiziki razmišljajo tudi o sodelovanju slovenskih srednješolcev na prihodnjih evropskih fizikalnih olimpijadah, za kar se bo najbrž treba kadrovske in organizacijsko okrepiti. Vprašanje organizacije srednjeevropske matematične olimpijade v Sloveniji v prihodnjih desetih letih je za zdaj še odprto. Če bomo še naprej sodelovali na tovrstnih tekmovanjih, jo bomo gotovo morali v kratkem organizirati. Morda je zaradi hitrega razvoja domače raziskovalne dejavnosti na področju matematike in fizike smiselno razmišljati celo o organizaciji evropskega kongresa matematikov ali evropskega kongresa fizikov kdaj v prihodnje.

Milan Hladnik

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

LJUBLJANA, JANUAR 2009

Letnik 56, številka 1

ISSN 0473-7466, UDK 51 + 52 + 53

VSEBINA

Članki	Strani
Fundamentalna grupa in koH-prostori (Aleksandra Franc)	1–15
Mikrofluidično vezje z mikročrpalko (Blaž Kavčič, Dušan Babič in Igor Poberaj)	16–24
Vesti	
Zoisove nagrade in priznanja za znanstvenoraziskovalno delo v letu 2008	25–27
Matematične novice (Peter Legiša)	28–29
DMFA Slovenije v zadnjih desetih letih (Milan Hladnik)	29–III

CONTENTS

Articles	Pages
Fundamental group and coH-spaces (Aleksandra Franc)	1–15
Microfluidic circuit with a micropump (Blaž Kavčič, Dušan Babič and Igor Poberaj)	16–24
News	25–III

Na naslovnici je logotip Mednarodnega leta astronomije 2009, o katerem bomo v prihodnjih številkah Obzornika še pisali. Slovensko nacionalno spletišče je na naslovu <http://www.astronomija2009.si/>.