1964 • XI • 1

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

XI. LETNIK — 1. ŠTEVILKA

IZDAJA DRUŠTVO MATEMATIKOV IN FIZIKOV SRS

LJUBLJANA, JUNIJ 1964

VSEBINA

Članki Stran

O kategorijah in funktorjih (I. Vidav) 1

Nevtrino v astrofiziki (J. Strnad) 13

Fizikalne metode za napovedovanje potresov (I. Levstek) 18

Novice

Še en model za osnovne delce (J. Strnad) 23

Odkritje delca Ω^- (J. Strnad) 26

Pirolizni grafit — najbolj anizotropna snov (B. Lavrenčič) 28

Šola

Katodni oscilograf pri šolskem pouku (F. Kvaternik) 31

Domače vesti

Republiško tekmovanje v matematiki (S. Uršič) 43

Republiško tekmovanje v fiziki (F. Ahlin) 45

Iz fizike so diplomirali 48

CONTENTS

Articles Page

On Categories and Functors (I. Vidav) 1

The Neutrino in Astrophysics (J. Strnad) 13

Physical Methods for Earthquake Prediction (I. Levstek) 18

News

Another Model for Fundamental Particles (J. Strnad) 23

The Ω^- particle (J. Strnad) 26

Pyrolitic Graphite (B. Lavrenčič) 28

School 31

Home News 43

O KATEGORIJAH IN FUNKTORJIH

IVAN VIDAV

Zadnjih dobrih deset let srečujemo v matematični literaturi vse bolj pogosto dva nova pojma, ki sta tesno povezana: to sta pojma kategorije in funktorja. Zrastla sta v algebri in topologiji, kjer igrata posebno pomembno vlogo. V topologiji se je dal marsikateri težek problem rešiti s konstrukcijo primernega funktorja. Homološka algebra pa študira funktorje na podoben način kakor klasična analiza funkcije.

S kategorijami in funktorji se bomo laže seznanili, če si bomo najprej ogledali pojma ploščine in prostornine. Ta dva pojma namreč nekoliko spominjata na vlogo funktorjev v topologiji in z njima rešujemo nekatere naloge iz elementarne geometrije podobno kakor probleme iz topologije.

1. Trikotnik ABC razrežimo na manjše trikotnike in odstranimo nekaj delnih trikotnikov! Iz preostalih trikotnikov prav gotovo ne bomo mogli več sestaviti trikotnika, ki bi bil skladen prvotnemu trikotniku ABC. Toda zakaj ne? Odgovor na to vprašanje je lakeh: zato ne, ker je skupna ploščina vseh preostalih delnih trikotnikov očitno manjša od ploščine trikotnika ABC.

Pojma ploščine in prostornine sta najbrž toliko stara kolikor naša civilizacija. Pa se skušajmo vživeti v položaj, da teh pojmov ne poznamo, pač pa nam je sicer znana elementarna geometrija, tako da vemo, kaj je trikotnik, mnogokotnik, polieder, skladnost likov itd. Mislim, da bi bili v precejšnji zadregi, če bi hoteli dokazati, da iz delnih trikotnikov ne moremo več sestaviti celega trikotnika. Zakaj vsak trikotnik lahko razdelimo na neskončno različnih načinov in nimamo pregleda, kakšni liki se dajo sestaviti iz delov. Verjetno bi morali pri reševanju te naloge odkriti pojem ploščine, če ga ne bi že od prej poznali.

Oglejmo si zdaj natančneje ta pojem! Opravka imamo z določenimi geometrijskimi predmeti, namreč mnogokotniki. Ploščina mnogokotnika je neko pozitivno število. Ker pripada vsakemu mnogokotniku določena ploščina, je ploščina pravzaprav funkcija; njeno definicijsko območje je množica vseh mnogokotnikov, funkcijske vrednosti pa so števila. Ta funkcija ima te dve osnovni lastnosti:

1. Če razrežemo kak mnogokotnik M na dva mnogokotnika M_1 in M_2, je njegova ploščina $p\,(M)$ enaka vsoti ploščin obeh delov $p\,(M_1)$ in $p\,(M_2)$:

$$p\,(M) = p\,(M_1) + p\,(M_2) \tag{1}$$

2. Sklada mnogokotnika M in M' imata isto ploščino:

$$p\,(M') = p\,(M), \text{ če je } M' \cong M. \tag{2}$$

Običajno določimo ploščino najprej za pravokotnike, nato za trikotnike in poljubne mnogokotnike. Z integralom in teorijo mere pa določamo ploščine

še nekim splošnejšim likom. Vidimo torej, da se ukvarjamo z definicijo in računanjem ploščine od elementarne geometrije do sodobne matematike. Toda kakor hitro se nam je posrečilo na kakršen koli način definirati, pa čeprav samo za trikotnike, tako funkcijo $p\,(M)$, ki je pozitivna in ustreza pogojema (1) in (2), smo s tem že rešili v začetku zastavljeno nalogo.

Imenujmo zdaj vsako funkcijo $p\,(M)$, ki je definirana za vse mnogokotnike M in ustreza enačbama (1) in (2), ploščino mnogokotnika. Tu ne zahtevamo več, da bi bilo število $p\,(M)$ pozitivno. Ker sta enačbi (1) in (2) homogeni, zadošča tema enačbama hkrati s $p\,(M)$ tudi funkcija $p'\,(M) = kp\,(M)$, pri čemer je k poljubna konstanta. Toda funkciji $p\,(M)$ in $p'\,(M)$ nista v bistvu različni, le enoti za ploščino sta drugače izbrani. Dva mnogokotnika M_1 in M_2 z isto ploščino p se ujemata tudi v ploščini p', zakaj iz $p\,(M_1) = p\,(M_2)$ sledi $p'\,(M_1) = p'\,(M_2)$, ker je $p'\,(\mathrm{M}) = kp\,(M)$. Dve ploščini p in p' bi imenovali bistveno različni, če bi eksistirala taka mnogokotnika M_1 in M_2, ki se ujemata v prvi ploščini, v drugi pa ne. Velja pa tole: Dana sta dva trikotnika z isto navadno ploščino. V tem primeru lahko enega izmed njih razrežemo na manjše trikotnike tako, da se da iz njih sestaviti drugi trikotnik. Dokaz, da je to res, ni posebno težek. Pravimo, da sta trikotnika z isto navadno ploščino enaka po razdelitvi. Od tod pa sklepamo, da imata dva taka trikotnika enako tudi vsako drugo ploščino p'. Zato je vsaka druga ploščina funkcija navadne ploščine $p\,(\mathrm{M})$ in ni bistveno od nje različna.

Prostornina poliedra P, označimo jo z $v\,(P)$, je neka funkcija, ki je definirana za vse poliedre. Ustreza enačbama: 1. $v\,(P) = v\,(P_1) + v\,(P_2)$ in 2. $v\,(P') = v\,(P)$, ki sta podobni enačbama (1) in (2). V prvi pomeni P polieder, ki sestoji iz poliedrov P_1 in P_2. V drugi pa sta poliedra P in P' skladna. Vemo, da eksistira običajna prostornina, ki je za vsak polieder pozitivna. Če torej razrežemo kak polieder na manjše kose — poliedre in vzamemo proč kak kos, ne bomo mogli iz preostalih delov sestaviti poliedra, ki bi bil skladen prvotnemu.

Izkaže pa se, da eksistirajo pri poliedrih še druge prostornine, namreč takšne, ki se bistveno razlikujejo od navadne prostornine. Seveda imenujemo prostornino vsako funkcijo $v\,(P)$, ki ustreza enačbama iz prejšnjega odstavka. Da eksistirajo take »patološke« prostornine, so matematiki odkrili šele pred dobrimi petdesetimi leti, navadni pojem prostornine pa je znan že, od kar ljudje pomnijo.

Vemo samo za obstoj patoloških prostornin. Ne poznamo pa nobene metode, s katero bi mogli, vsaj v principu, določiti kako patološko prostornino za vsak polieder. Toda že obstoj take prostornine zagotavlja, da eksistirata vsaj dva poliedra z enako navadno prostornino in različno patološko prostornino. Če razrežemo enega izmed teh poliedrov na manjše dele, ne bomo mogli nikoli sestaviti iz teh delov drugega poliedra. Ta poliedra torej nista po razdelitvi enaka, čeprav imata isto navadno prostornino. Primer za to sta kocka in pravilni tetraeder, ki si nista nikoli po razdelitvi enaka.*

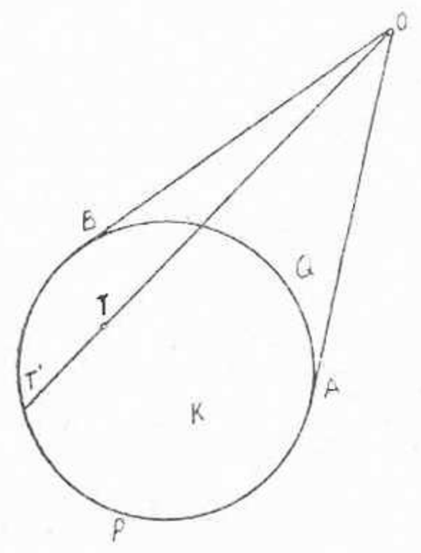
Vidimo, da je skupen način reševanja omenjenih geometrijskih problemov tale: Neka naloga ni rešljiva zato, ker bi morala imeti, če bi bila rešljiva, dva lika isto ploščino, v resnici pa imata različno ploščino. Pri podobnih nalogah s telesi vzamemo prostornino. Tu pa eksistirajo, poleg navadne, tudi patološke prostornine. Če bi bila neka naloga rešljiva, bi se morali dve telesi ujemati

* Glej članek N. Prijatelja, O enakosti poliedrov. OMF V (1957), str. 58—62.

v vseh prostorninah, tudi v patoloških. Problem je globlji, če se dve telesi sicer ujemata v navadni prostornini, eksistira pa neka patološka prostornina, v kateri se ne ujemata.

2. Dana je krožna plošča K (sl. 1). To ploščo lahko na razne načine upodobimo vase. Pri taki upodobitvi pripada vsaki točki T v notranjosti ali na robu kroga K neka točka T', ki tudi leži v notranjosti ali na robu. Posebno zanimive so zvezne preslikave ali transformacije. Pri taki transformaciji se dve bližnji točki preslikata v dve bližnji točki. Identična preslikava, pri kateri se vsaka točka preslika vase, je že primer zvezne transformacije. Drug tak primer dobimo, če iz neke zunanje točke O projiciramo vse točke kroga K na rob APB. Točke na loku APB se pri tej preslikavi ohranjajo.

Zastavimo si zdaj tole vprašanje: Ali eksistira taka zvezna tranformacija, ki preslika vse notranje točke kroga K na rob kroga, točke na robu pa ostanejo na svojem mestu? Pri projiciranju iz točke O preidejo res vse notranje točke na rob, točke na loku APB se tudi ohranjajo, točke na komplementarnem loku AQB pa se ne ohranjajo, temveč se projicirajo na lok APB. Če se v to vprašanje nekoliko vživimo, dobimo kmalu občutek, da take preslikave ni. Mislimo si, da imamo okroglo gumijasto membrano, ki je pritrjena na robu. Ne moremo te membrane tako deformirati, da ostane ves čas pritrjena na robu in da je na koncu vsa stisnjena na rob. Seveda, če bi jo pretrgali, bi to šlo, toda to ne bi bila več zvezna deformacija.* S tem pa nismo še matematično neoporečno dokazali, da ne eksistira zvezna transformacija, ki prevede vsako notranjo točko kroga K na rob, robne točke pa ohranja.



Slika 1

Proučevanje zveznih transformacij sodi v posebno panogo matematike, v topologijo. Krog K je topološki prostor. Obravnavamo pa vprašanje, ali eksistira zvezna preslikava tega prostora vase z določenimi lastnostmi. Vzemimo zdaj dva poljubna topološka prostora X in Y ter neko zvezno transformacijo prostora X v prostor Y! Kaj je topološki prostor, tega tu ne bom razlagal. Bralcu, ki ne pozna tega pojma, naj pomeni topološki prostor kak takle geometrijski lik: premica, krožnica, krožna ali eliptična plošča, krogelna površina, notranjost krogle, ves navaden tridimenzionalni prostor itd. Možnosti je zelo veliko. Zvezna preslikava je zvezna v navadnem smislu: sosednje točke prostora X se preslikajo v sosednje točke prostora Y.

Denimo, da eksistira taka transformacija f prostora X v prostor Y, ki je povratno enolična, kar pomeni, da je vsaka točka prostora Y slika ene in le ene točke prostora X. Tedaj eksistira tudi obratna prislikava f^{-1} prostora Y na prostor X. Nadalje naj bosta preslikava f in njen obrat f^{-1} zvezni transformaciji. V tem primeru imenujemo prostora X in Y homeomorfna. Krožna plošča in eliptična plošča sta na primer homeomorfna prostora, krožna plošča in kolobar pa ne. Povratno enolično in v obeh smereh zvezno preslikavo imenujemo topo-

---

* Obstoj zvezne deformacije pomeni pravzaprav nekaj več kakor obstoj zvezne preslikave. Dana je zvezna preslikava $T' = f(T)$. Zvezna deformacija je enoparametrična družina preslikav $g(T, t)$, ki je zvezno odvisna od točke T in parametra t za $0 \leqq t \leqq 1$. Pri $t = 0$ je $g(T, 0) = T$, pri $t = 1$ pa $g(T, 1) = f(T) = T'$. Točka $g(T, t)$ je seveda ves čas v notranjosti ali na robu plošče. Ko gre parameter t od 0 do 1, potuje torej slika $g(T, t)$ zvezno od začetne točke T do končne točke T'. Pri krožni plošči eksistira taka zvezna deformacija $g(T, t)$ za vsako zvezno preslikavo $f(T)$.

loško transformacijo. Topološka transformacija prevede vsak prostor v homeomorfen prostor. Topologijo zanimajo predvsem tiste lastnosti, ki se ohranjajo pri poljubni topološki transformaciji. Primer za topološko lastnost je dimenzija prostora. Dva prostora z različno dimenzijo nista nikoli homeomorfna, npr. krožnica in krogelna površina.

Naj bosta X in Y poljubna topološka prostora. V splošnem lahko na nešteto načinov zvezno upodobimo prostor X v prostor Y. Te preslikave bomo označili s črkami f, g, h itd. in pisali $f: X \to Y$, kar pomeni, da f upodobi prostor X v prostor Y. Množico vseh zveznih preslikav prostora X v prostor Y bomo zaznamovali s Hom (X, Y). Torej:

Hom (X, Y) = množica vseh zveznih preslikav prostora X v prostor Y.

Vzemimo tri prostore X, Y, Z. Izberimo v množici Hom (X, Y) kak element f, v množici Hom (Y, Z) pa kak element g! Element f pomeni zvezno transformacijo prostora X v prostor Y. Poljubni točki $x \in X$ pripada potem točka $y = f(x)$ kot slika v prostoru Y. Ker je g zvezna transformacija prostora Y v Z, lahko dobljeno točko $y \in Y$ upodobimo v neko točko $z \in Z$, pri čemer je $z = g(y)$. Tako smo našli neko preslikavo prostora X v Z, ki je sestavljena iz preslikave f prostora X v Y in preslikave g prostora Y v Z. Sestavljeno transformacijo označimo z $g \circ f$. Poljubno točko $x \in X$ preslika $g \circ f$ v točko $z = (g \circ f)(x) = g[f(x)]$. Ker je transformacija $g \circ f$ očitno zvezna, pomeni neki element množice Hom (X, Z), ki vsebuje vse zvezne transformacije prostora X v prostor Z. Spoznali smo torej: Med elementi množice Hom (X, Y) in množice Hom (Y, Z) eksistrira neka binarna operacija. Ta operacija priredi vsakemu paru f, g, pri čemer je f element iz množice Hom (X, Y) in g element iz množice Hom (Y, Z), kompozitum ali produkt $g \circ f$, ki je element množice Hom (X, Z). Naj poudarimo, da eksistira ta binarna operacija med elementi množic Hom (X, Y) in Hom (T, Z) le v primeru, če sta prostora Y in T enaka, če sta različna, pa ne. Zato pri tej operaciji ne moremo govoriti o komutativnostnem zakonu. Zakaj produkt $f \circ g$ bi pomenil operacijo elementov množice Hom (Y, Z) z elementi množice Hom (X, Y), ta pa je definirana le v primeru, če je $Z = X$. Pač pa velja zakon asociativnosti

$$h \circ (g \circ f) = (h \circ g) \circ f \tag{3}$$

Res! Naj bodo f, g in h tele zvezne preslikave:

$$f: X \to Y, \quad g: Y \to Z, \quad h: Z \to T$$

Postavimo $y = f(x)$, $z = g(y)$ in $t = h(z)$. Potem je točka y v prostoru Y, točka z v prostoru Z in točka t v prostoru T. Leva in desna stran enačbe (3) pomenita neko preslikavo prostora X v T in obe preslikata točko x v točko t. Ker je bila točka $x \in X$ poljubna, sta obe preslikavi enaki. Asociativnostni zakon velja splošno pri vseh preslikavah, ne samo pri zveznih.

Množico Hom (X, X) sestavljajo zvezne transformacije prostora X vase. Med njimi je identična transformacija $i_X(x) = x$ za vsako točko $x \in X$. Očitno veljata enačbi $f \circ i_X = f$ in $i_X \circ g = g$, če pomeni f poljuben element množice Hom (X, Y), g pa poljuben element množice Hom (Y, X).

Tako smo se srečali z neko strukturo, ki ji pravimo *kategorija*. Objekti te kategorije so topološki prostori. Poljubno izbranima topološkima prostoroma X in Y pripada neka množica Hom (X, Y). To množico sestavljajo vse zvezne transformacije prostora X v prostor Y. Med elementi množic Hom (X, Y) in Hom (Y, Z) pa eksistira neka binarna operacija, ki priredi transformacijama f in g kompozitum $g \circ f$.

3. Preidimo zdaj od topologije k algebri! Eden izmed osnovnih algebrajskih pojmov je grupa. Ponovimo definicijo tega pojma! Dana je neka množica G in v njej neka binarna operacija, po kateri pripada vsakemu urejenemu paru x, y elementov iz množice G neki element, ki ga označimo z xy in imenujemo produkt elementov x in y. Produkt xy je zmerom v množici G. Ta operacija naj ustreza temle trem pogojem:

a) Velja zakon asociativnosti, tako da je $(xy)\, z = x\, (yz)$.

b) V G eksistira enota e, to je tak element, da je $ex = xe = x$ za vsak x iz G.

c) Vsakemu elementu $x \in G$ pripada inverzni element x^{-1}, to je tak element, da je $xx^{-1} = x^{-1} x = e$.

Če so vsi našteti pogoji izpolnjeni, pravimo, da je množica G za to binarno operacijo grupa.

Primeri grup: 1. Množica pozitivnih racionalnih števil, pri čemer je binarna operacija množenje števil. 2. Množica vseh kompleksnih števil z absolutno vrednostjo 1, pri čemer je binarna operacija spet množenje. 3. Vse permutacije z n elementi, pri čemer je binarna operacija komponiranje permutacij. Prvi dve grupi sta komutativni, ker velja za množenje števil zakon komutativnosti: $xy = yx$. Permutacijska grupa ni komutativna, če je $n \geqq 3$. Prvi dve grupi imata neskončno elementov, zadnja končno število, namreč $n!$.

Naj bosta dani grupi G in G'. Taka upodobitev grupe G v grupo G', pri kateri se preslika produkt poljubnih elementov grupe G v produkt ustreznih elementov grupe G', imenujemo homomorfizem. Zaznamujmo to preslikavo z f, tako, da je slika elementa x enaka $f(x)$. Tu je element x v grupi G, slika $f(x)$ pa v grupi G'. Slika produkta xy je enaka $f(xy)$, produkt slik pa $f(x)\, f(y)$. Preslikava f je torej homomorfizem, če velja za vsak par x, y elementov grupe G enačba

$$f(xy) = f(x)\, f(y) \tag{4}$$

Preslikajmo vse elemente grupe G v element e', ki je enota v grupi G'! Ta preslikava je očitno homomorfizem. Imenujemo ga trivialni homomorfizem. Od tod sklepamo, da eksistira vsaj en homomorfizem grupe G v grupo G' pri poljubno izbranih grupah G in G'. Zaznamujmo s Hom (G, G') množico vseh homomorfizmov grupe G v G'! Množica Hom (G, G') torej nikoli ni prazna.

Posebno se odlikuje homomorfizem, ki je povratno enoličen. V tem primeru je vsak element grupe G' slika enega in samo enega elementa grupe G. Tak homomorfizem imenujemo izomorfizem, grupi G in G' pa izomorfni. Izomorfni grupi sta v abstraktnem smislu enaki. Poljubno izbrani grupi G in G' seveda v splošnem nista izomorfni.

Grupi G in G' se smeta ujemati. Če je $G' = G$, imenujemo izomorfno upodobitev grupe G nase avtomorfizem. Identična preslikava i, pri kateri je $i(x) = x$ za vsak $x \in G$, je že primer za avtomorfizem.

Naj bodo G, G', G'' tri poljubne grupe. Vzemimo kak element f iz množice $\mathrm{Hom}(G, G')$ in kak element g iz množice $\mathrm{Hom}(G', G'')$! Ker je f homomorfizem grupe G v grupo G', pomeni $x' = f(x)$ neki element grupe G'. Po drugi strani je g homomorfizem grupe G' v grupo G'' in je zato $x'' = g(x')$ neki element grupe G''. Preslikava, ki prevede element $x \in G$ v element $x'' = g[f(x)]$, je kompozitum $g \circ f$ homomorfizmov f in g. Hitro ugotovimo, da je ta kompozitum $h = g \circ f$ tudi homomorfizem. Vzemimo namreč v G poljubna elementa x in y! Postavimo $x' = f(x)$, $y' = f(y)$! Potem je $h(x) = (g \circ f)(x) = g(x')$ in $h(y) = (g \circ f)(y) = g(y')$. Ker je f homomorfizem, imamo $f(xy) = f(x) f(y) = x' y'$. Kompozitum $h = g \circ f$ preslika produkt xy v element $h(xy) = g[f(xy)] = g(x' y') = g(x') g(y') = h(x) h(y)$. Ta enačba pove, da je $h = g \circ f$ homomorfizem. Torej je $g \circ f$ element množice $\mathrm{Hom}(G, G'')$. Spet smo našli binarno operacijo, po kateri pripada vsakemu paru f, g homomorfizmov — tu je f element iz množice $\mathrm{Hom}(G, G')$ in g element iz množice $\mathrm{Hom}(G', G'')$ — kompozitum $g \circ f$, ki je v množici $\mathrm{Hom}(G, G'')$. Za komponiranje homomorfizmov velja, kakor pri vseh transformacijah, zakon asociativnosti (3).

Identični avtomorfizem i_G grupe G ustreza pogojema $f \circ i_G = f$ in $i_G \circ g = g$ za vsak element f iz množice $\mathrm{Hom}(G, G')$ in za vsak element g iz množice $\mathrm{Hom}(G', G)$.

Tako smo našli drugo kategorijo: Objekti te kategorije so grupe. Poljubno izbranima grupama G in G' pripada neka množica $\mathrm{Hom}(G, G')$, ki jo sestavljajo vsi homomorfizmi grupe G v grupo G'. Med elementi množic $\mathrm{Hom}(G, G')$ in $\mathrm{Hom}(G', G'')$ eksistira neka binarna operacija, namreč komponiranje homomorfizmov. Kompozitum $g \circ f$ je element množice $\mathrm{Hom}(G, G'')$.

Doslej smo obravnavali poljubne grupe. Če je grupa komutativna, če je torej $xy = yx$ za vse elemente x, y iz grupe G, imenujemo grupo G Abelovo. Dostikrat pišemo Abelovo grupo aditivno, to se pravi, da zaznamujemo kompozitum elementov x in y z $x + y$ in ga imenujemo vsota. Namesto enote e je zdaj element 0, namesto inverznega elementa x^{-1} pa nasprotni element $-x$. Potem velja za vsak x iz grupe G, da je $x + 0 = x$ in $x + (-x) = 0$. Če je f homomorfizem aditivne grupe G v aditivno grupo G', je izpolnjena za vsak par x, y iz G enačba

$$f(x + y) = f(x) + f(y) \tag{5}$$

Pri trivialnem homomorfizmu pripada vsem elementom grupe G kot slika element nič grupe G'.

Oglejmo si nekoliko podrobneje množico $\mathrm{Hom}(G, G')$ vseh homomorfizmov aditivno pisane Abelove grupe G v aditivno pisano Abelovo grupo G'! Ta množica je namreč spet komutativna grupa. Naj bosta f in g poljubna elementa iz $\mathrm{Hom}(G, G')$, torej homomorfizma. Če je x kak element iz G, preslika f ta element v $f(x)$, g pa v $g(x)$. Sliki $f(x)$ in $g(x)$ sta elementa grupe G'. Zato je tudi vsota $f(x) + g(x)$ element v G'. Tako lahko priredimo vsakemu elementu x grupe G vsoto $f(x) + g(x)$ kot sliko v grupi G'. To preslikavo imenujemo vsoto homomorfizmov f in g in jo označimo z $f + g = h$. Torej je $h(x) = (f + g)(x) = f(x) + g(x)$. Vsota $h = f + g$ je spet homomorfizem. Res, po definiciji preslikave h je

$$h(x + y) = f(x + y) + g(x + y)$$

Ker sta f in g homomorfizma, velja $f(x+y) = f(x) + f(y)$ in $g(x+y) = g(x) + g(y)$. Zato je

$$h(x+y) = f(x) + f(y) + g(x) + g(y) = h(x) + h(y)$$

S tem smo dokazali, da je vsota $h = f + g$ homomorfizem grupe G v grupo G', torej $f + g \in \mathrm{Hom}(G, G')$. Takoj vidimo, da veljata za seštevanje homomorfizmov zakona komutativnosti in asociativnosti. Vlogo elementa nič igra tu trivialni homomorfizem, ki preslika vsak element grupe G v element 0 grupe G'. Nasprotni homomorfizem $-f$ pa je homomorfizem, ki preslika element $x \in G$ v element $-f(x)$, tj. v nasproti element slike $f(x)$. Torej je množica $\mathrm{Hom}(G, G')$ res komutativna grupa.

Abelove grupe, ki jih po navadi pišemo aditivno, nam dajo spet kategorijo. Objekti te kategorije so posamezne komutativne grupe, množica $\mathrm{Hom}(G, G')$ pa sestoji iz vseh homomorfizmov grupe G v grupo G'. Ta množica je tudi neka komutativna grupa.

4. Spoznali smo že nekaj primerov kategorij. Postavimo zdaj splošno definicijo tega pojma:

Kategorijo $\mathfrak{K}$ določajo tile podatki:

I. *Objekti neke določene vrste.*

Zaznamovali jih bomo z velikimi latinskimi črkami A, B, X, Y itd. Pomen teh objektov je seveda od kategorije do kategorije različen.

II. *Vsakemu urejenemu paru X, Y objektov kategorije $\mathfrak{K}$ pripada neka množica, ki jo označimo s $\mathrm{Hom}(X, Y)$.*

Elemente te množice imenujemo morfizme. To, da je f element v množici $\mathrm{Hom}(X, Y)$, zapišemo pogosto tudi v obliki $f\colon X \to Y$ in pravimo, da je f morfizem objekta X v objekt Y. Množici $\mathrm{Hom}(X, Y)$ in $\mathrm{Hom}(Y, X)$ sta v splošnem različni, če je $X \neq Y$.

III. *Naj bodo X, Y, Z poljubni objekti kategorije $\mathfrak{K}$. Med elementi množic $\mathrm{Hom}(X, Y)$ in $\mathrm{Hom}(Y, Z)$ eksistira neka binarna operacija.* Če je $f\colon X \to Y$ kak morfizem objekta X v objekt Y in $g\colon Y \to Z$ kak morfizem objekta Y v Z, priredi ta operacija paru f, g natančno določen element $g \circ f$, ki je v množici $\mathrm{Hom}(X, Z)$ in pomeni zato morfizem objekta X v objekt Z. Morfizem $g \circ f$ je kompozitum morfizmov f in g. Kompozitum morfizmov naj ustreza dvema pogojema:

a) V množici $\mathrm{Hom}(X, X)$ eksistira tak element i_X (identični morfizem), da je $f \circ i_X = f$ za vsak morfizem $f\colon X \to Y$ in $i_X \circ g = g$ za vsak morfizem $g\colon Y \to X$.

b) Velja asociativnostni zakon

$$h \circ (g \circ f) = (h \circ g) \circ f$$

vselej, kadar ima ta enačba pomen. Če je npr. $f\colon X \to Y$, $g\colon Y \to Z$ in $h\colon Z \to T$, je kompozitum $h \circ (g \circ f)$ v množici $\mathrm{Hom}(X, T)$.

Če so pogoji I, II in III izpolnjeni, govorimo o kategoriji danih objektov in ustreznih morfizmov. Doslej smo spoznali tri kategorije. Prva je bila kategorija topoloških prostorov in zveznih preslikav. V kategoriji grup so bili objekti grupe, morfizmi pa homomorfizmi ene grupe v drugo. Tretja je bila kategorija Abelovih grup, njeni objekti so bili (aditivno pisane) komutativne grupe.

Po navadi ne moremo združiti vseh objektov dane kategorije v množico. Množica vseh grup spominja namreč na množico vseh množic, ki je privedla na razna protislovja. Ker moremo uvesti v vsaki množici strukturo grupe, lahko rečemo, da je množica vseh grup ravno tako obsežna kakor množica vseh množic in zato protisloven pojem. Isto velja za množico vseh topoloških prostorov. Posamezne grupe oziroma topološki prostori pa so dobro definirani objekti in prav tako množica homomorfizmov med dvema danima grupama ali množica zveznih preslikav med dvema danima topološkima prostoroma. Zato je kategorija dobro definirana matematična struktura, čeprav včasih ne moremo združiti vseh objektov kake kategorije v množico, ker bi morda dobili protisloven pojem.

5. V prejšnjem razdelku smo se seznanili s kategorijami. Oglejmo si zdaj pojem *funktorja!*

Dani sta kategoriji $\mathfrak{K}$ in $\mathfrak{K}'$. Objekte prve bomo označili z X, Y itd., objekte druge za z X', Y' itd. *Funktor F je najprej predpis, po katerem pripada vsakemu objektu X kategorije $\mathfrak{K}$ neki natanko določen objekt X' kategorije $\mathfrak{K}'$.* Zvezo med ustreznima objektoma X in X' pišimo v obliki

$$X' = F(X) \tag{6}$$

Vzemimo v kategoriji $\mathfrak{K}$ poljubna objekta X in Y. Naj bo f kak element množice Hom (X, Y), torej morfizem objekta X v objekt Y. *Funktor F priredi nadalje vsakemu takemu morfizmu $f: X \to Y$ neki morfizem $f' = F(f)$ objekta $F(X)$ v objekt $F(Y)$:*

$$F(f) : F(X) \to F(Y) \tag{7}$$

Pri tem morata biti izpolnjena pogoja:

a) *Funktor F preslika identični morfizem i_X objekta X v identični morfizem $i_{X'}$ objekta $X' = F(X)$.*

b) *Če sta $f: X \to Y$ in $g: Y \to Z$ dva morfizma in $g \circ f: X \to Z$ njun kompozitum, je*

$$F(g \circ f) = F(g) \circ F(f) \tag{8}$$

S temi predpisi smo pravzaprav definirali *kovariantni funktor.*

Kontravariantni funktor F pa je določen takole: Spet pripada vsakemu objektu X kategorije $\mathfrak{K}$ neki objekt $X' = F(X)$ kategorije $\mathfrak{K}'$ Vsakemu morfizmu $f: X \to Y$ pa priredi kontravariantni funktor neki morfizem objekta $F(Y)$ v objekt $F(X)$. Iz $f: X \to Y$ sledi torej $F(f) : F(Y) \to F(X)$, tako da kontravariantni funktor obrne puščice morfizmov. Temu ustrezno prevede kompozitum $g \circ f$ v kompozitum $F(f) \circ F(g)$, torej

$$F(g \circ f) = F(f) \circ F(g) \tag{8*}$$

Poiščimo kak preprost primer za funktor! Izberimo si neko aditivno pisano Abelovo grupo A! Spoznali smo, da je za vsako komutativno grupo X množica $\mathrm{Hom}\,(A, X)$ vseh homomorfizmov grupe A v grupo X spet komutativna grupa. Postavimo zdaj

$$F\,(X) = \mathrm{Hom}\,(A, X)$$

Po tem predpisu pripada komutativni grupi X objekt $\mathrm{Hom}\,(A, X)$, ki je spet neka komutativna grupa.

Naj bo $f\colon X \to Y$ kak homomorfizem grupe X v grupo Y. Vzemimo poljuben element φ iz množice $\mathrm{Hom}\,(A, X)$! To je homomorfizem grupe A v grupo X. Kompozitum $f \circ \varphi$ pa je homomorfizem grupe A v grupo Y in je zato element množice $\mathrm{Hom}\,(A, Y)$. Pri izbranem f pripada tedaj vsakemu elementu φ iz možice $\mathrm{Hom}\,(A, X)$ element $f'\,(\varphi) = f \circ \varphi$ v množici $\mathrm{Hom}\,(A, Y)$. Imamo torej neko preslikavo grupe $F\,(X) = \mathrm{Hom}\,(A, X)$ v grupo $F\,(Y) = \mathrm{Hom}\,(A, Y)$. Preslikava $f'\,(\varphi) = f \circ \varphi$ je homomorfizem. Vzemimo namreč homomorfizma φ in ψ iz množice $\mathrm{Hom}\,(A, X)$! Po našem predpisu jima ustrezata v množici $\mathrm{Hom}\,(A, Y)$ homomorfizma $f'\,(\varphi) = f \circ \varphi$ in $f'\,(\psi) = f \circ \psi$, vsoti $\varphi + \psi$ pa pripada homomorfizem $f'\,(\varphi + \psi) = f \circ (\varphi + \psi)$. Izberimo poljuben element x v grupi A! Po definiciji komponiranja preslikav in vsote homomorfizmov imamo

$$[f \circ (\varphi + \psi]\,(x) = f\,[(\varphi + \psi)\,(x)] = f\,[\varphi\,(x) + \psi\,(x)] = f\,[\varphi\,(x)] + f\,[\psi\,(x)]$$

Desna stran je enaka $(f \circ \varphi)\,(x) + (f \circ \psi)\,(x)$. Torej je $f \circ (\varphi + \psi) = f \circ \varphi + f \circ \psi$ ali $f'\,(\varphi + \psi) = f'\,(\varphi) + f'\,(\psi)$. Zato je preslikava $f'\,(\varphi) = f \circ \varphi$ homomorfizem grupe $\mathrm{Hom}\,(A, X)$ v grupo $\mathrm{Hom}\,(A, Y)$. To preslikavo, ki jo določa homomorfizem f objekta X v objekt Y, zaznamujmo z $F\,(f)$!

Naj bo i_X identični avtomorfizem grupe X, tako da je $i_X\,(x) = x$ za vsak $x \in X$. Takoj vidimo, da je $F\,(i_X)$ identični avtomorfizem grupe $F\,(X) = \mathrm{Hom}\,(A, X)$. Naj bo f homomorfizem grupe X v grupo Y in g homomorfizem grupe Y v grupo Z, tako da je $F\,(f)$ homomorfizem grupe $\mathrm{Hom}\,(A, X)$ v grupo $\mathrm{Hom}\,(A, Y)$ in $F\,(g)$ homomorfizem grupe $\mathrm{Hom}\,(A, Y)$ v grupo $\mathrm{Hom}\,(A, Z)$. Brez težave se da ugotoviti, da je kompozitum $F\,(g) \circ F\,(f)$ enak sliki $F\,(g \circ f)$, tedaj $F\,(g \circ f) = F\,(g) \circ F\,(f)$. S tem smo dokazali, da je $F\,(X) = \mathrm{Hom}\,(A, X)$ kovarianten funktor, ki preslika kategorijo komutativnih grup v isto kategorijo. Ta funktor je odvisen od grupe A, tako da dobimo s spreminjanjem grupe A še razne funktorje.

Naj bo spet A dana komutativna grupa. Postavimo $F\,(X) = \mathrm{Hom}\,(X, A)$! Vsaki komutativni grupi X pripada komutativna grupa $\mathrm{Hom}\,(X, A)$. Podobno kakor prej dokažemo, da je $F\,(X)$ kontravarianten funktor, definiran na kategoriji komutativnih grup.

6. Najprej smo spoznali kategorijo topoloških prostorov. Zastavimo si vprašanje, kaj pomeni funktor F, ki preslika to kategorijo v kategorijo grup (v kategorijo vseh grup ali v kategorijo Abelovih grup). Tak funktor priredi vsakemu topološkemu prostoru X neko grupo $F\,(X)$. Če je f poljubna zvezna upodobitev prostora X v prostor Y, je $F\,(f)$ neki morfizem objekta $F\,(X)$ v objekt $F\,(Y)$. Toda objekta $F\,(X)$ in $F\,(Y)$ sta grupi. Zato pomeni $F\,(f)$ neki homomorfizem grupe $F\,(X)$ v grupo $F\,(Y)$.

Naj bosta prostora X in Y homeomorfna. Kaj lahko trdimo za ustrezni grupi $F\,(X)$ in $F\,(Y)$? Med prostoroma X in Y eksistira neka topološka trans-

formacija, to je taka zvezna upodobitev $f\colon X \to Y$, pri kateri je tudi inverzna upodobitev $f^{-1}\colon Y \to X$ enolična in zvezna. Zato veljata enačbi $f^{-1} \circ f = i_X$ in $f \circ f^{-1} = i_Y$, kjer sta i_X in i_Y identični transformaciji prostorov X in Y. Po definiciji funktorja je potem

$$F(f^{-1}) \circ F(f) = F(i_X) \quad \text{in} \quad F(f) \circ F(f^{-1}) = F(i_Y) \tag{9}$$

Toda zaradi lastnosti a) je $F(i_X)$ identični avtomorfizem grupe $F(X)$, $F(i_Y)$ pa identični avtomorfizem grupe $F(Y)$. Iz enačbe (9) sklepamo zdaj, da je $F(f)$ povratno enolični homomorfizem grupe $F(X)$ na grupo $F(Y)$, $F(f^{-1})$ pa seveda obratni homomorfizem grupe $F(Y)$ na grupo $F(X)$. Torej priredi naš funktor F homeomorfnim prostorom izomorfne grupe.

Eden izmed pomembnih problemov v topologiji je tale: Dana sta dva prostora X in Y. Kako naj spoznamo, če sta ta prostora homeomorfna? Recimo, da imamo neki funktor F, ki preslika kategorijo topoloških prostorov v kategorijo grup. Izračunajmo grupi $F(X)$ in $F(Y)$! Če ugotovimo, da ti dve grupi nista izomorfni, potem tudi prostora X in Y nista homeomorfna. Vidimo, da nam tak funktor omogoča prevesti topološke probleme na algebrajske probleme. Dognati, ali sta dve grupi izomorfni, je namreč algebrajski problem. Algebrajske probleme pa smatramo za lažje kakor topološke. Pomislimo samo na analitično geometrijo, ki nam tudi omogoča prevesti geometrijske probleme na algebrajske!

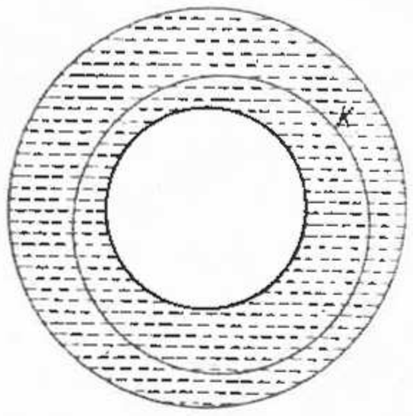
Med ploščino in prostornino na eni ter med našim pravkar opisanim funktorjem na drugi strani je neka podobnost. Prostornina je funkcija, ki priredi vsakemu poliedru neko število, funktor pa priredi vsakemu topološkemu prostoru neko grupo. Skladnim poliedrom pripada ista prostornina, homoeomorfnim prostorom pa izomorfne grupe, ki so v abstraktnem smislu med seboj enake.

Toda nismo še odgovorili na vprašanje, če sploh eksistirajo funktorji, ki preslikajo kategorijo topoloških prostorov v kategorijo grup. No, trivialen primer takega funktorja dobimo, če priredimo vsakemu topološkemu prostoru X grupo, ki sestoji samo iz enote (oziroma elementa 0, če je aditivna). Vsaki zvezni preslikavi prostorov pa seveda ustreza upodobitev te enote vase. Takoj vidimo, da smo s tem predpisom definirali funktor, kakršnega iščemo. Ker priredi vsakemu prostoru isto grupo, si seveda z njim ne bomo mogli prav nič pomagati pri nobeni nalogi iz topologije. Pač pa nam ta primer pove, da dva prostora nista nujno homoemorfna, če jima kak funktor priredi isto ali izomorfno grupo.

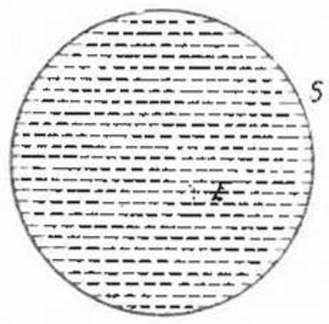
Pravkar navedeni funktor je trivialen. Naj samo navedem, da eksistirajo tudi netrivialni funktorji. Po navadi jih najprej definirajo za kako manjšo kategorijo topoloških prostorov, potem pa razširjajo definicijo na obsežnejše kategorije. Podobno ravnamo pri ploščini, ki jo tudi najprej definiramo za preproste like, z integralnim računom pa jo npr. razširimo na splošnejše like. Posebno pomemben je funktor, ki priredi prostoru X njegovo fundamentalno ali prvo homotopijsko grupo $\pi_1(X)$. To grupo je odkril že H. Poincaré. Kaj je fundamentalna grupa, se ne da povedati z nekaj besedami. Samo to naj omenim, da je fundamentalna grupa krožne plošče trivialna, tj. sestoji le iz enote, pri kolobarju in krožnici pa je neskončna ciklična grupa, ki je izomorfna aditivni grupi celih števil. Fundamentalna grupa je trivialna za vse prostore, ki so enostavno sovisni. To je pravzaprav definicija enostavno sovisnih prostorov. Pove pa ta definicija to, da so enostavno sovisni prostori tisti, v katerih se da vsaka sklenjena krivulja zvezno deformirati v eno točko. (To očitno velja za

krožno ploščo.) Kolobar pa ni enostavno sovisen, ker npr. krožnice K na sliki 2 ne moremo skrčiti v točko tako, da bi jo ves čas deformirali po notranjosti kolobarja. Zato fundamentalna grupa kolobarja ni trivialna.

Zgledi za funktorje, ki prirejajo topološkim prostorom komutativne grupe, so tako imenovane homologijske in kohomologijske grupe $H_n(X)$ in $H^n(X)$. (Fundamentalna grupa pa ni zmerom komutativna.) Definicijo, lastnosti in računanje teh grup (oz. funktorjev) za posamezne tipe prostorov študira panoga topologije, ki se imenuje algebrajska topologija. Tudi ti funktorji so bili prvotno definirani za manjšo kategorijo prostorov, namreč za prostore, ki se dajo triangulirati, potem pa so jih razširili na obsežnejše kategorije prostorov.



Slika 2



Slika 3

Na svoj, v začetku postavljeni problem smo med tem skoraj povsem pozabili in zdi se, da smo se od njega tako oddaljili, kolikor smo se le mogli. Toda to je le videz. Imenujmo S rob krožne plošče E (sl. 3)! Denimo, da eksistira taka zvezna preslikava f, ki preslika vsako notranjo točko plošče E na rob S, točke na tem robu pa ohranja. Krožna plošča E in krožnica S sta topološka prostora. Vsaka točka na krožnici S je obenem točka krožne plošče E. Imenujmo $i\colon S \to E$ preslikavo, ki priredi vsaki točki x na skrožnici S prav to točko x, toda kot točko plošče E. Torej je $i(x) = x$ za $x \in S$. Od prej pa imamo preslikavo f, ki upodobi vsako točko plošče E na rob S. Oglejmo si zdaj tale diagram prostorov in upodobitev!

$$S \xrightarrow{i} E \xrightarrow{f} S \tag{10}$$

Sestavljena upodobitev $f \circ i$ je identična upodobitev krožnice S. Res, vsako točko x na robu S ohranjata i in f.

Naj bo F kak funktor, ki preslika kategorijo topoloških prostorov v kategorijo grup. Krožnici S in plošči E ustrezata grupi $F(S)$ in $F(E)$, upodobitvama i in f pa homomorfizma $F(i)$ in $F(f)$. Zaradi lastnosti (7) funktorjev se spremeni diagram (10) v diagram

$$F(S) \xrightarrow{F(i)} F(E) \xrightarrow{F(f)} F(S) \tag{10*}$$

Kompozitum homomorfizmov $F(i)$ in $F(f)$ je enak $F(f \circ i)$. Ker je $f \circ i$ identična preslikava, je $F(f \circ i)$ identični avtomorfizem. Zato je kompozitum $F(f) \circ F(i)$ identični avtomorfizem, ki preslika vsak element grupe $F(S)$ vase.

Če se nam posreči dobiti tak funktor F, da sestoji grupa $F(E)$ samo iz enote, grupa $F(S)$ pa vsebuje še druge elemente, je diagram (10*) protisloven. Vzemimo namreč v grupi $F(S)$ kak element, ki ni enota! Tega preslika homomorfizem $F(i)$ v enoto grupe $F(E)$, saj v $F(E)$ sploh ni drugega elementa. Toda

pri vsakem homomorfizmu pripada enoti enota. Zato preslika homomorfizem $F(f)$ enoto grupe $F(E)$ v enoto grupe $F(S)$. Od tod sledi, da kompozitum $F(f) \circ F(i)$ prevede vsak element grupe $F(S)$ v enoto in ni identični avtomorfizem, kar bi moral biti. Protislovnost diagrama (10*) dokazuje, da ne eksistira zvezna preslikava f, ki bi spravila vse notranje točke krožne plošče E na rob, robne točke pa bi ohranjala.

Nazadnje gre še za to, da poiščemo funktor F, ki priredi krožni plošči E trivialno in krožnici S netrivialno grupo. No, tak je funktor $\pi_1(X)$, kjer pomeni $\pi_1(X)$ fundamentalno grupo prostora X. Saj smo že omenili, da je fundamentalna grupa pri krožni plošči enota, pri krožnici S pa neskončna ciklična grupa. S tem smo našo nalogo popolnoma rešili.

Navedel sem le en problem, ki bi ga seveda mogli rešiti tudi brez pojmov kategorije in funktorja. Toda teorija funktorjev omogoča, da rešujemo razne probleme algebrajske topologije z enotnega vidika. Podobno namreč dokažemo, da ni zvezne transformacije, ki bi preslikala notranje točke na rob krogle, robne točke pa bi ohranjala. In sicer velja to za krogle v vseh dimenzijah. Je pa še nešteto drugih, težjih problemov. Seveda, čim globlji je kak problem, tem bolj zamotan funktor potrebujemo, če želimo rešiti problem. Podobno je bilo pri nalogah, ki smo jih omenili v prvem razdelku. Z navadno prostornino ne moremo dokazati, da kocka ni enaka po razdelitvi pravilnemu tetraedru, pomagati si moramo s patološkimi prostorninami.

Na koncu še tole: Pri vseh navedenih problemih je bilo treba dokazati, da nekaj ni mogoče oziroma, da nekaj ne eksistira. Spoznali pa smo, da ne eksistira zato, ker se mora nekaj ohranjati: ploščina, prostornina ali fundamentalna grupa itd. Podobno je v fiziki, kjer tudi nekateri procesi niso mogoči, ker se mora nekaj ohranjati: impulz, energija, parnost ali čudnost delcev itd.

NEVTRINO V ASTROFIZIKI

JANEZ STRNAD

Bralci »Obzornika« so lahko zasledovali, kako so postopno postajale znane lastnosti nevtrina.[1–3] Ta osnovni delec brez mase in s spinom $\frac{1}{2}$ so napovedali za razlago razpada β.[1] Dolgo pa je trajalo, preden se je posrečilo nevtrino dokazati s poskusom.[2] Še ni deset let od tega, kar so ugotovili, da kaže nevtrinov spin v nasprotno smer od smeri gibanja in spin njegovega antidelca, to je antinevtrina, v smer gibanja. Naposled so se še prepričali, da obstoji dvoje različnih vrst nevtrinov.[3] Elektronski nevtrino (ν_e) in elektronski antinevtrino ($\bar{\nu}_e$) nastaneta npr. pri razpadu β:

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e, \qquad n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e,$$

pri nekaterih razpadih mezonov:

$$\pi^+ \text{ ali } K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e, \qquad \pi^- \text{ ali } K^- \rightarrow \pi^0 + e^- + \bar{\nu}_e$$

in delca Λ:

$$\Lambda \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

zmeraj v zvezi s pozitivnim in negativnim elektronom.

Mionski nevtrino (ν_μ) in mionski antinevtrino ($\bar{\nu}_\mu$) nastaneta npr. pri nekaterih razpadih mezonov:

$$\pi^+ \text{ ali } K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \qquad \pi^- \text{ ali } K^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

in

$$K^+ \rightarrow \pi^0 + \mu^+ + \nu_\mu, \qquad K^- \rightarrow \pi^0 + \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

ter pri zajetju miona na protonu:

$$\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$$

zmeraj skupaj s pozitivnim in negativnih mionom.

Obe vrsti nevtrinov skupaj nastaneta pri razpadu miona:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu, \qquad \mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu.$$

Za zdaj še ne poznajo bistva razlike med elektronskim in mionskim nevtrinom. Eksperimentalno ugotovljeno dejstvo pa upoštevajo z novima kvantnima številoma: elektronskim leptonskim številom, ki je 1 (ν_e in e^-), —1 ($\bar{\nu}$ in e^+) ali 0 (ν_μ, $\bar{\nu}_\mu$, μ^-, μ^+) in mionskim leptonskim številom, ki je 1 (ν_μ in μ^-), —1 ($\bar{\nu}_\mu$ in μ^+) ali 0 (ν_e, $\bar{\nu}_e$, e^-, e^+). Posebej velja ohranitveni zakon za elektronsko leptonsko število in posebej ohranitveni zakon za mionsko leptonsko število.

Nevtrino je z drugimi osnovnimi delci v šibki interakciji, ki je okoli 10^{12}-krat šibkejša od znane elektromagnetne, in je v podrobnostih še neraziskana.[4] Nevtrino je edini osnovni delec, ki je z drugimi delci samo v šibki

interakciji. — Interakcija med elektronskimi nevtrini in mioni ter interakcija med mionskimi nevtrini in elektroni je še dosti šibkejša.

Nevtrino torej zelo nerad sodeluje z drugimi delci, zaradi česar ga je bilo zelo težavno dokazati. Razdalja, ki jo v povprečju preleti nevtrino, ne da bi sodeloval z drugimi delci, meri v železu okoli 10^{16} km, kar je približno stomilijonkratna razdalja Zemlja—Sonce. Na prvi pogled bi sodili, da tak delec ne more igrati pomembne vloge pri makroskopskih pojavih. Vendar je hitro pri roki zgled, ki nas prepriča o nasprotnem: pri jedrskem reaktorju za 100 MW gre z nevtrini v izgubo moč 10 MW. Že dalj časa je znano, da ima nevtrino neko vlogo v astrofiziki.[5] Šele pred kratkim pa so zaslutili, kako važna utegne biti vloga nevtrina v življenju zvezd.[6] Čeprav nekateri problemi niso niti kvalitativno razčiščeni, dandanes mnogo razglabljajo o tem.

Razmeroma hladne zvezde, kot npr. naše Sonce, pri katerih temperatura v središču ne presega 20 milijonov stopinj, živijo od energije jedrskih reakcij vodikove verige[6, 7]

$$\text{I.}\quad p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e, \tag{1}$$
$$d + p \rightarrow He^3 + h\nu,$$
$$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + 2\,p;$$

$$\text{II.}\quad He^3 + He^4 \rightarrow Be^7 + h\nu,$$
$$Be^7 + e^- \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow Li^7 + \nu_e \qquad (2\,a) \\ \rightarrow Li^{7*} + \nu_e,\ Li^{7*} \rightarrow Li^7 + h\nu, \qquad (2\,b) \end{array} \right.$$
$$Li^7 + p \rightarrow 2\,He^4;$$

$$\text{III.}\quad Be^7 + p \rightarrow B^8 + h\nu,$$
$$B^8 \rightarrow Be^{8*} + e^+ + \nu_e, \tag{3}$$
$$Be^{8*} \rightarrow 2\,He^4.$$

Pri zvezdah, pri katerih je temperatura v središču nekaj milijonov stopinj višja, pride, posebno v neposredni okolici njihovega središča, tudi do reakcij ogljikodušikove verige[6, 7]

$$C^{12} + p \rightarrow N^{13} + h\nu,$$
$$N^{13} \rightarrow C^{13} + e^+ + \nu_e, \tag{4}$$
$$C^{13} + p \rightarrow N^{14} + h\nu,$$
$$N^{14} + p \rightarrow O^{15} + h\nu,$$
$$O^{15} \rightarrow N^{15} + e^+ + \nu_e, \tag{5}$$
$$N^{15} + p \rightarrow C^{12} + He^4.$$

O deležu te ali one verige v energijski preskrbi posameznih zvezd še ne vedo dosti. Še manj vedo o deležu skupin reakcij I, II in III vodikove verige. Pri nekaterih navedenih reakcijah nastanejo nevtrini (ν_e), medtem ko antinevtrini ne nastanejo. Spektri nastalih nevtrinov se od reakcije do reakcije med seboj razlikujejo. Spektrum nevtrinov pri reakcijah (1), (3), (4), (5) je zvezen, pri čemer so maksimalne energije po vrsti 0,4 MeV; 14 MeV; 1,2 MeV; 1,7 MeV. Spektrum nevtrinov, ki nastanejo pri zajetju elektrona v Be^7, pa je črtast in je energija nevtrinov 0,9 MeV, (2), če vodi prehod v osnovno stanje Li^7, ter 0,4 MeV (2b), če vodi prehod v vzbujeno stanje Li^{7*}.

Pri zvezdah, ki žive na račun opisanih reakcij, odnesejo nevtrini okoli 1/20 oddane svetlobne energije. S Sonca prihaja na Zemljo tok nevtrinov

z gostoto energijskega toka nekaj 10 W/m², medtem ko je gostota svetlobnega toka okoli 1,35 kW/m². Privlačna je misel, da bi z registracijo sončnih nevtrinov in z določitvijo njihovega spektra ugotovili deleže reakcij, pri katerih nastanejo nevtrini. Dobljeni podatki bi veljali tudi za središče Sonca, od koder nevtrini prav tako neovirani prihajajo na Zemljo kot s površine Sonca.

Bolj raznovrstne so možnosti za nastanek nevtrinov in antinevtrinov v znatno toplejših zvezdah. V teh zvezdah se dogajajo reakcije, ki jih v laboratoriju še ni uspelo opazovati. Teorija napoveduje sipanje nevtrina na elektronu:

$$\nu_e + e^{\pm} \rightarrow \nu_e' + e^{\pm\prime} \quad \text{ali} \quad \bar{\nu}_e + e^{\pm} \rightarrow \bar{\nu}_e' + e^{\pm\prime}. \tag{6}$$

Presek za sipanje ima seveda podobno velikostno stopnjo kot pri drugih reakcijah, ki potekajo po šibki interakciji. Izračunali so, da meri ta presek pri nevtrinih z energijo 1 GeV okoli 10^{-17} barna in da z naraščajočo energijo precej hitro narašča. Z znanim pravilom, da lahko pri reakcijah med osnovnimi delci prenesemo delec na drugo stran enačbe, če ga obenem spremenimo v antidelec, pridemo še do drugega možnega pojava:

$$e^+ + e^- \rightarrow \bar{\nu}_e + \nu_e. \tag{7}$$

Celo namesto fotona se lahko izseva nevtrinski par. Lahko si namreč mislimo, da foton ($h\nu$) najprej rodi virtualni elektronski par, ki dalje reagira po enačbi (7). Za tvorbo nevtrinskega para imamo poleg »nevtrinske anihilacije« elektronskega para (7) še tele možnosti: »nevtrinsko zavorno sevanje« v električnem polju jedra X z nabojem Z

$$e^- + X_z \rightarrow e^{-\prime} + X_z' + \nu_e + \bar{\nu}_e \tag{8}$$

ter »fotonevtrinoefekt« na elektronu

$$h\nu + e^- \rightarrow e^{-\prime} + \nu_e + \bar{\nu}_e \tag{9a}$$

in »fotonevtrinoefekt« na jedru X

$$h\nu + X_z \rightarrow X_z' + \nu_e + \bar{\nu}_e. \tag{9b}$$

Ti pojavi so zares izredno malo verjetni. Zaradi nekega razloga pa so vendarle zelo važni: presek za tvorbo nevtrinskega para (7) do (9) je tem večji, čim večji je naboj jedra, prav tako pa je tudi presek za absorpcijo fotona tem večji, čim večji je naboj. Višja temperatura zvezd je v zvezi z večjo koncentracijo težjih jeder in z večjo gostoto v središču zvezde. Zato je tedaj nevtrinski tok, ki izhaja iz zvezde, velik, medtem ko je svetlobni tok, ki izhaja iz zvezde, majhen. Kajti skoraj vsak nevtrino, ki nastane, neovirano zapusti zvezdo, skoraj vsak foton pa se absorbira.

Pri zvezdah z neko srednjo gostoto v središču (npr. okoli 2.10^3 g/cm³) postaneta pri temperaturi kakih 70 milijonov stopinj (v središču) nevtrinski tok in svetlobni tok s površine približno enako velika (računano za povprečni naboj jedra 12). Pri nadaljnjem porastu gostote in temperature postane izhajajoči nevtrinski tok dosti večji. Pri gostotah okoli 10^4 g/cm³ nastane večina nevtrinov pri nevtrinskem zavornem sevanju (8), če je temperatura pod 70 milijonov stopinj; pri fotonevtrinoefektih (9a) in (9b), če je temperatura med 70 in 350 milijonov stopinj; ter pri nevtrinski anihilaciji (7), če je temperatura nad 350 milijonov stopinj. Značilno je, da nastanejo pri vseh nazadnje opisanih

pojavih nevtrinski pari, to se pravi, da istočasno nastaneta nevtrino in antinevtrino.

Pri drugem pojavu, ki so ga napovedali že pred poldrugim desetletjem*, pa nastaneta nevtrino in antinevtrino drug za drugim[5]. Najprej jedro zajame elektron in izseva nevtrino

$$e^- + X_z \rightarrow X_{z-1} + \nu_e, \tag{10a}$$

nato pa nastalo jedro radioaktivno razpade in odda antinevtrino

$$X_{z-1} \rightarrow X_z + e^- + \bar{\nu}_e. \tag{10b}$$

Za razliko od prejšnjih pojavov poteka ta pojav samo pri dovolj veliki energiji elektronov. Energijski prag za reakcijo (10) se od elementa do elementa močno spreminja, kar pomeni, da je vloga tega pojava zelo odvisna od kemičnega sestava zvezde. Le-ta pa je v podrobnostih tako malo znan, da je izredno težko preceniti, kolikšen delež nevtrinskega toka prispeva pojav (10) pri posamezni zvezdi.

Potem ko smo našteli nekaj možnosti za nastanek nevtrinov v zvezdah**, si oglejmo še dejanske možnosti za zaznavanje teh nevtrinov na Zemlji! Za zdaj se zdi izvedljivo merjenje nevtrinov s Sonca, medtem ko se zdi opazovanje drugih zvezd z nevtrinskimi teleskopi neizvedljivo. To je prav malo razveseljivo, če pomislimo, da bi morda edino na ta način lahko ugotovili obstoj antizvezd. Medtem ko so zvezde sestavljene iz nukleonov in elektronov, naj bi bile antizvezde sestavljene iz antinukleonov in pozitronov. Antizvezdo na podobni razvojni stopnji kot naše Sonce bi bilo načelno možno ugotoviti: medtem ko oddaja zvezda (Sonce) same nevtrine, bi morala antizvezda oddajati same antinevtrine, ki jih je možno razlikovati od nevtrinov. S fotoni to seveda ne gre, fotoni z antizvezd so prav taki kot fotoni z zvezd (foton je sam sebi intidelec).

Tudi druge možnosti, ki jih skriva nevtrinska astronomija[8,9], so mikavne. Preučevanje nevtrinov lahko doprinese tudi k pojasnitvi razvoja vsemirja. V nekem modelu za vsemirje nastopa kritična povprečna gostota energije v vsemirju, ki ima vrednost okoli 0,01 MeV/cm³. (Pri tej je treba upoštevati energijo fotonov ter kinetično in mirovno energijo delcev, v glavnem nukleonov.) Če bi bila povprečna gostota energije manjša od kritične vrednosti, bi se vsemirje razpenjalo brez konca, če pa bi bila večja, bi sledilo obdobju razpenjanja obdobje krčenja. Povprečna gostota mirovne energije nukleonov ima po oceni velikostno stopnjo 0,01 MeV/cm³, tako da s tem podatkom ni mogoče izključiti katere koli od navedenih možnosti. Če pa bi se pokazalo, da je povprečna gostota energije nevtrinov dosti večja (fotoni prispevajo tako malo, da jih ni treba upoštevati), bi to govorilo za drugo možnost. Obdelava merjenj s kozmičnimi žarki globoko pod zemljo — merjenja so izvršili že pred leti, le obdelava je nova — je pokazala, da je za nevtrine z energijo nad gigaelektronvoltom povprečna gostota energije vsaj okoli tisočkrat manjša od povprečne gostote mirovne energije nukleonov. Ni znano, kako je z gostoto energije za nevtrine pri nižjih energijah. Vendar prevladuje mnenje, da njihov prispevek ni znaten. Zaradi tega še ni bilo možno sprejeti dokončne odločitve.

---

* Ta pojav sta Gamow in Schoenberg imenovala pojav urca.[5]

** V sorazmerno lahkih zvezdah pri reakcijah med protoni in drugimi lahkimi jedri in pri pojavu urca nastajajo samo elektronski nevtrini. Pri višjih temperaturah in večjih gostotah pa nastanejo lahko poleg parov elektronskih nevtrinov še pari mionskih nevtrinov. Tu smo se omejili le na nastanek parov elektronskih nevtrinov, ker so reakcije, pri katerih nastanejo pari mionskih nevtrinov, čisto podobne. Glej npr. H.-Y. Chiu: Supernovae, Neutrinos, and Neutron Stars. Ann. Phys. **26**, 364 (1964).

Na koncu si oglejmo še reakcije, ki bi bile uporabne za zaznavanje nevtrinov! Pri nevtrinih z energijami nad gigaelektronvoltom je več takih reakcij: od tvorbe elektrona pri neprožnem sipanju nevtrina na nevtronu ($n + \nu_e \rightarrow p + e^-$) do tvorbe nevtrinskih zvezd. Pri tem reakcijskih produktov zaradi velike energije ni težko ugotoviti npr. v iskrnih celicah.[3] Nekoliko drugače je pri nevtrinih z energijo okoli megaeletronvolta. V tem primeru ni možno zaznavati reakcijskih produktov naravnost in je treba upoštevati, da so nevtroni vezani v atomskih jedrih. Uporabna je npr. reakcija

$$Cl^{37} + \nu_e \rightarrow Ar^{37} + e^-.$$

Pri tem izpostavijo rezervoar z veliko količino tetraklorogljika (CCl_4) toku nevtrinov in končno iz tekočine izločijo nastali radioaktivni argon.[2] Tetraklorogljik je cenena tekočina in izločanje argona ni posebno težavno. Vendar mora imeti nevtrino večjo energijo kot okoli 0,8 MeV, če naj sproži reakcijo. To pomeni, da bo možno ugotoviti z omenjeno reakcijo le tiste nevtrine s Sonca, ki izvirajo od reakcij (2 a) in (3), ne pa tistih od reakcij (1) in (2 b).

Za zdaj še ne poznajo načina za zaznavanje nevtrinov z energijo precej pod megaelektronvoltom. Razumemo tudi, kakšne so težave pri nevtrinskem teleskopu. Pri tem bi bilo treba ugotoviti namreč še smer, iz katere je prišel nevtrino. To pomeni, da bi bilo treba ugotoviti smeri, v katerih so odleteli reakcijski produkti. Medtem ko to ni brezizgledno pri nevtrinih z energijo nad gigaelektronvoltom, je pri manjših energijah nevtrinov malo upanja na uspeh.

Poročajo tudi že o prvih predhodnih rezultatih pri zaznavanju nevtrinov z energijo nekaj MeV.[10] F. Reines, ki je prvi eksperimentalno dokazal nevtrino[2], meri v nekem 3200 m globokem južnoafriškem rudniku zlata. S tem želi zmanjšati ozadje kozmičnih žarkov. O njegovih rezultatih ni še nič znanega, pač pa je njegov nekdanji sodelavec C. L. Cowan že postregel s prvimi rezultati, do katerih je prišel v neki podzemeljski votlini blizu Washingtona. Ugotovil je povečanje števila registriranih nevtrinov, kadar je Rimska cesta v zenitu. Opazil je tudi zelo veliko število nevtrinov, za katere se zdi, da prihajajo iz predela, kjer je galaksija M-82. Menijo, da je v središču galaksije prišlo do katastrofalne verižne eksplozije supernov. Najbolj nenavaden pa je namig, da je verjetnost za interakcijo nevtrina z drugimi delci dosti večja, kot so sprva mislili. Vendar še nobeden od teh rezultatov ni preverjen. Na dokončne rezultate bo treba verjetno počakati leto ali dve. Ni pa izključeno, da bodo le-ti skrivali kako presenečenje.

Literatura:

[1] M. Švikaršič: Nevtrino. Obz. mat. fiz. **4,** 20 (1955).
[2] B. Čujec: Eksperimentalno odkritje nevtrina. Obz. mat. fiz. **5,** 67 (1956).
[3] J. Strnad: Dvoje različnih vrst nevtrinov. Obz. mat. fiz. **9,** 186 (1962).
[4] V. F. Weisskopf: Pomen raziskovanja osnovnih delcev za razvoj moderne fizike, prevod. Obz. mat. fiz. **10,** 116 (1963).
[5] G. Gamow, M. Schoenberg: The Possible Role of Neutrinos in Stellar Evolution. Phys. Rev. **58,** 1117 (1940); Neutrino Theory of Stellar Collapse. Phys. Rev. **59,** 539 (1941).
[6] B.Pontecorvo: Neutrino i ego rolj v astrofizike. Uspehi fiz. nauk **79,** 3 (1963); prevod v Fortschr. d. Phys. **11,** 503 (1963).
[7] M. Kregar, B. Povh: Jedrske reakcije v zvezdah. Obz. mat. fiz. **8,** 72 (1961).
[8] P. Morrison: Neutrino Astronomy. Sci. American **207,** No. 2, 90 (1962).
[9] H. Y. Chiu: Neutrino Astronomy. Int. Science and Technology 26 (No. 8), 1962.
[10] G. Weiss: Neutrino-Astronomie. Phys. Blätter **27,** 162 (1964).

FIZIKALNE METODE ZA NAPOVEDOVANJE POTRESOV

IGOR LEVSTEK

Nuklearni inštitut J. Stefan

Potres zamaje zemljo, ko se v zemeljskih kameninah hipoma sprosti akumulirani pritisk. Seizmologi proučujejo valove, ki se razširjajo navzven v vse smeri, in sklepajo, kaj se je zgodilo. Natančneje: kje v notranjosti zemlje je prišlo do potresa, kako se valovi razširjajo skozi razne zemeljske plasti, koliko energije se je sprostilo in, po možnosti, smer gibanja samega preloma (ta ni zmeraj viden na površini). Desetletja seizmološkega dela pa so dala zelo malo indikacij, kaj se zgodi neposredno pred potresi, zakaj pride do njih in kje. Pojavljajo se iznenada in brez reda in to je osnovna težava, ki nanjo zadenejo raziskave sistema za napovedovanje potresov. Edino, kar danes napovemo, je velika verjetnost, da bo naslednji potres kje na seizmično aktivnih pasovih zemlje. Dva taka pasova sta. V povprečnem letu se bo 75 % seizmične energije sprostilo ob obalah Pacifika: od otokov južno od Nove Zelandije, preko Filipinov, Japonske, Aleutov in Zahodne obale obeh Amerik. Nadaljnjih 20 % ali več energije se sprosti na drugem glavnem pasu, ki se vije od Indonezije skozi Burmo, preko Himalaje, Irana do Sredozemlja in Azorov. Razen obeh pasov so področja z večjo ali manjšo verjetnostjo za potres (dolina Vardarja, Litijska kotlina in številna druga).

Komaj kaj več kot statistiko potresov je uspelo doslej napraviti geofizikom pri seizmičnih napovedih, ki terjajo nedvoumne odgovore: čas, kraj in jakost potresa. Ne da bi se spuščali v razpravo, kakšne ekonomske, socialne in politične probleme bi imelo napovedovanje potresov, se seznanimo, kakšni so seizmični efekti in kakšne so današnje metode za odkrivanje teh efektov.[1]

Energija potresa in napetosti v kameninah

Povprečna energija, ki se sprosti ob potresih, je enaka energiji tisoč atomskih bomb, vsaka po 15 kiloton. Ta energija se večinoma potroši v nekaj minutah, zato je moč potresa ogromna, skoraj 10^{15} wattov.

Večji del energije elastičnih valov, ki se rajširjajo, celo pri največjih potresih, odnašajo valovi z valovno dolžino ne več kot nekaj deset kilometrov. To pomeni, da večina elastičnih napetosti izvira iz jedra istega premera. Energija mora biti torej nakopičena dokaj koncentrirano, vsaj neposredno pred potresom. Ocena za velikostni razred napetosti bi bila potemtakem 100 kp/cm², akumulacijski premer pa milijon kubičnih kilometrov okrog žarišča.

Vsi resni poskusi, kako najti metodo napovedovanja, se naslanjajo na dejstvo, da morajo biti potresne preindikacije lokalni fenomeni, ki jih elastične napetosti v zemeljski skorji bodisi direktno, bodisi indirektno povzroče. Ni otipljivega razloga, da ne bi ob toliki prej nakopičeni energiji mogli z današnjo geofizikalno tehniko odkriti vsaj nekaterih seizmoloških efektov, če pustimo za sedaj še vnemar napovedovanje samo.

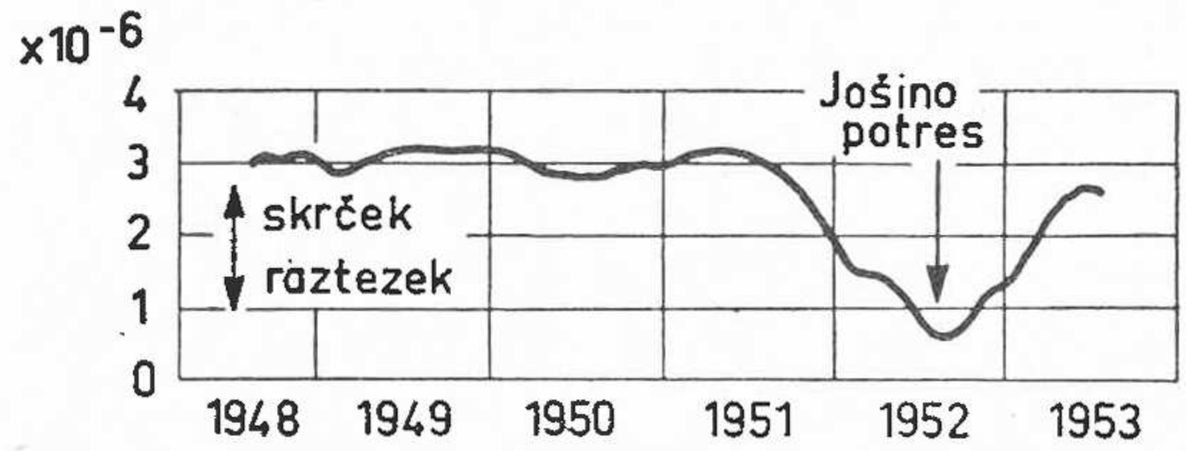
---

[1] F. D. Stacey, New Scientist, No. 373, Jan. 1964.

Pri pritisku 100 kp/cm² se kamenine elastično deformirajo, in sicer je relativni pomik 10^{-4}. Geodetska merjenja bi morala to deformacijo — v principu — zaznati, saj se pritiski akumulirajo na površinah premera več deset kilometrov. Na več krajih, še posebej v Kaliforniji, pa niso dala večletna direktna merjenja nobenih otipljivih rezultatov. Nekaj razlogov za to je očitnih.

Ne moremo pričakovati, da se bodo tla pomikala vztrajno in kontinuirno, dokler ne bi bila dosežena točka preloma; če bi bilo to res, bi se potresi pojavljali v rednih intervalih. Nasprotno, proces kontrole je strogo nelinearen, saj se glavni pomik pojavi v razmeroma kratkem časovnem intervalu pred potresom.

Nadalje je hud problem direktnih meritev deformacij to, da se plasti pod silnim pritiskom stiskajo in širijo na razdalji nekaj kilometrov. Rezultirajoči pomiki so zato majhni in s klasičnimi geodetskimi instrumenti skoraj da



Sl. 1. Spremembe v površinskem raztezku. Merili so jih v observatoriju, 90 km oddaljenem od epicentra potresa pri Jošinu (K. Sassa in E. Nishimura, Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University).

nezaznavni. Izboljšavo bodo prav gotovo prinesli novi merilci razdalj, predvsem optični radar.

Več uspeha si lahko obetamo od meritev površinskih premikov, če jih merimo na enem mestu. Na Japonskem v skalo izsekajo votlino, pritrdijo na steno posebno prirejene žične upore, razporejene v mrežo in jim merijo električno upornost. Ko se zaradi pritiska okolice deformira votlina, je sprememba upornosti indikator seizmičnih pomikov. Zelo ohrabrujoči zapis tega merilca kaže slika 1.

Mogoče bi dala še boljše rezultate primerjalna meritev: dolžino neobtežene kremenove nitke primerjamo z linearnim raztezkom votline; razlike bi ugotavljali z mikroskopom ali električno.

Druga manifestacija površinskih pomikov, ki jo lahko merimo, je nagib tal. Te vrste meritev ne pridejo v poštev tam, kjer so pritiski preproste horizontalne strižne napetosti, kot je to primer v Kaliforniji; toda na Japonskem so zabeležili karakteristične spremembe v nagibu tal pred in po potresu. Merimo jih s primerjanjem, kjer je merilo nivo vode v dolgi cevi. Na vektorskem diagramu, kjer na ordinato nekaj mesecev nanašamo spremembo nagiba v smeri sever-jug, na absciso pa v smeri vzhod-zahod, dobimo značilne, črki S podobne diagrame. (Glej sliko 2!)

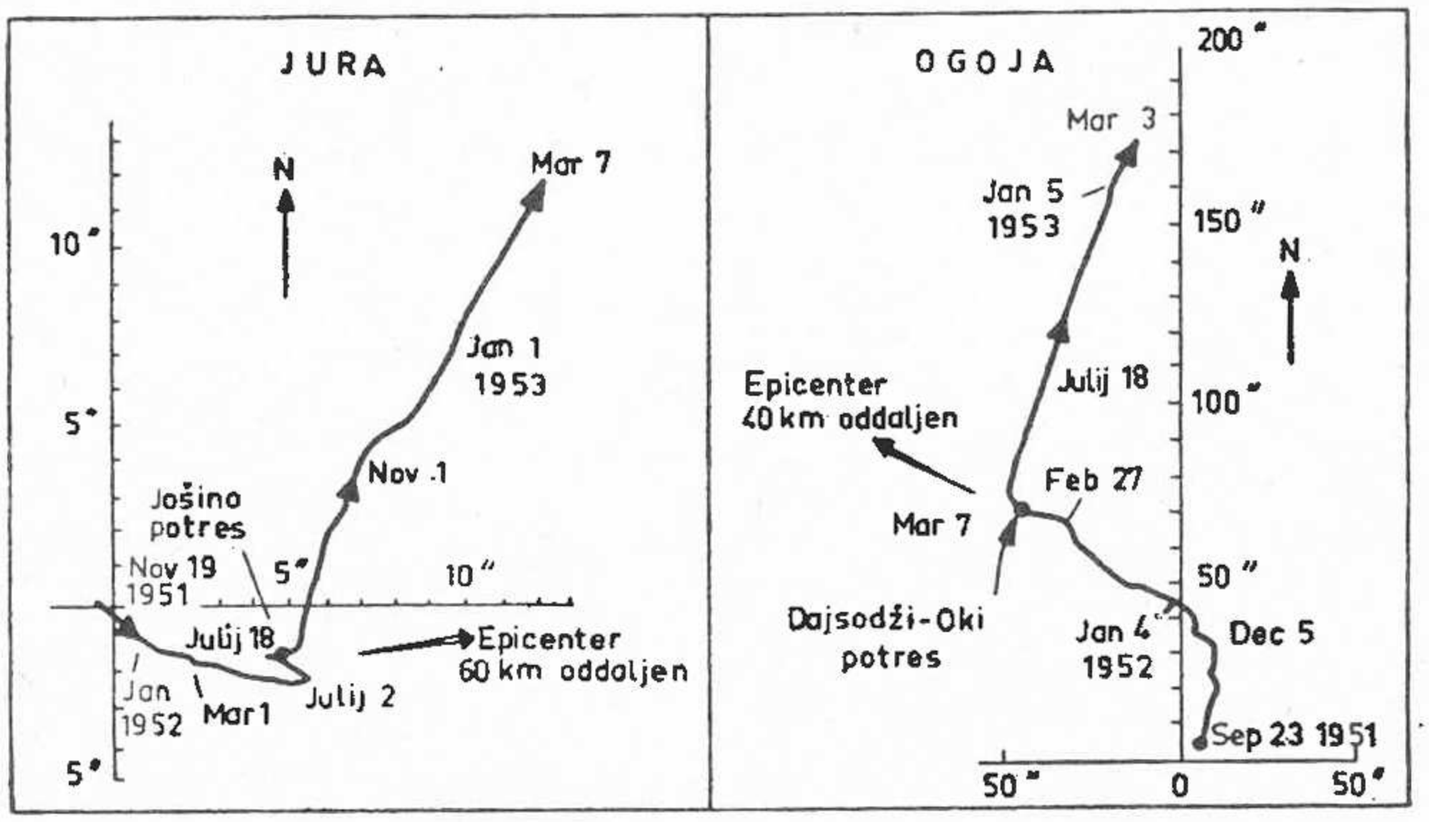
Podrobnejša analiza diagrama je pokazala, da v času potresa dobimo »fino strukturo« krivulje, tudi v obliki črke S, kar bi bil neposredni znak potresa.

Vsi instrumenti, ki so jih razvili za direktno opazovanje zemeljskih pomikov in nagibov, so zelo občutljivi za zunanje motnje, temperaturne spremembe in večkrat tudi zataje. Principialna težava je tudi, da navedene meritve

ne morejo razlikovati elastičnih pomikov od trajnih deformacij. Skrajno težko je potem sklepati, ali je merjeni pomik elastičen in gre torej na rovaš pritiskov, ki jih moremo izračunati.

Posredna opazovanja seizmičnih pomikov

Večje potrese na površini vedno spremljajo spremembe v pritiskih, ki — vse kaže — segajo nekaj deset kilometrov pod zemeljsko površino. Le v rudnikih imamo možnost prodreti tako globoko, zatorej so indirektne metode opazovanja seizmičnih premikov slej ko prej zelo pomembne.



Sl. 2. Vektorski diagram postopnih sprememb nagiba tal, kot sta jih merila v dveh japonskih observatorijih Sassa in Nishimura.

Zdi se, da so od indirektnih metod tri vredne nadaljnjih proučevanj. Na zemeljski površini lahko opazujemo, kakšen vpliv imajo seizmični pritiski na hitrost razširjanja zvočnih valov, na električno prevodnost in na geomagnetno polje.

Na kratko bomo omenili prva dva efekta, dalj se bomo ustavili pri tretjem.

Hitrost zvoka se zaznavno spremeni, če potuje zvočni val skozi plasti, ki so pod pritiskom. Na Japonskem pripravljajo obširne zadevne meritve.

Meritve električne prevodnosti v zemeljskih plasteh so razmeroma preproste. Prav gotovo se ta spreminja ob seizmičnih premikih. Korekcije zaradi meteoroloških vplivov ne bi smele biti nepremostljiv problem.

Največ upanja pa daje od indirektnih metod proučevanje vpliva seizmičnih efektov na zemeljski magnetizem.

Proučevanje vpliva seizmičnih efektov na geomagnetno polje

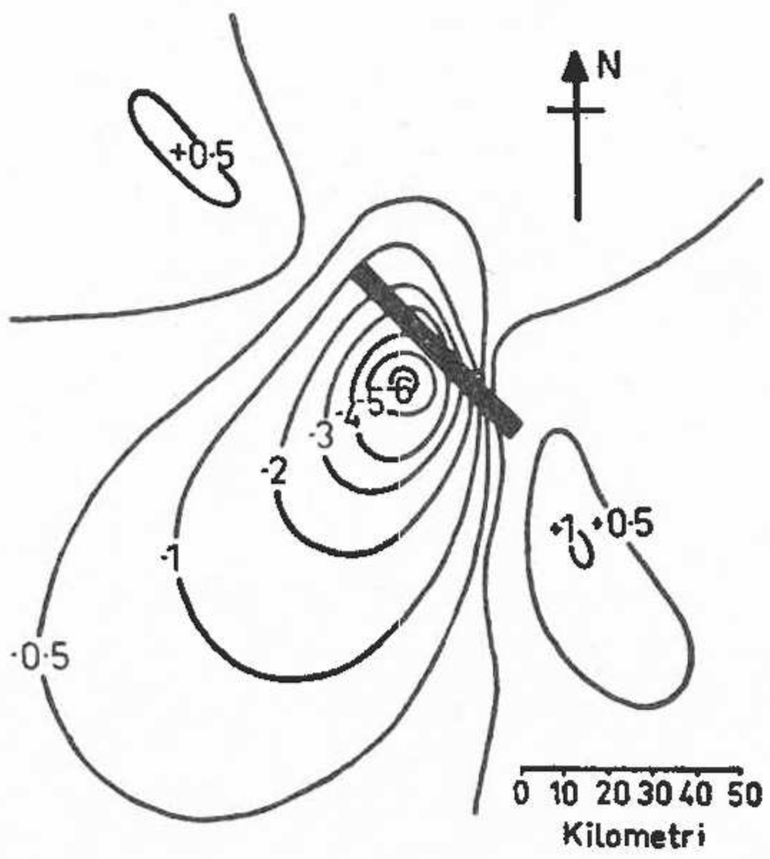
O obstoju vzročne zveze med geomagnetnimi motnjami in seizmično aktivnostjo domnevajo že skoraj stoletje nazaj.

Prvo resnejšo teorijo o vzroku sprememb zemeljskega magnetnega polja po potresu sta objavila Y. Kato in A. Takagi.[2] Njuna domneva je, da gredo seizmo-magnetni efekti na račun toplote, ki se sprosti ob potresu. Lokalni dvig izoterme, ki povezuje Curieove točke (tj. zmanjšuje globine, kjer je temperatura dominantnega magnetnega materiala [magnetita] enaka Curieovi točki), demagnetizira namreč določen volumen zemeljskih kamenin in povzroči spre-

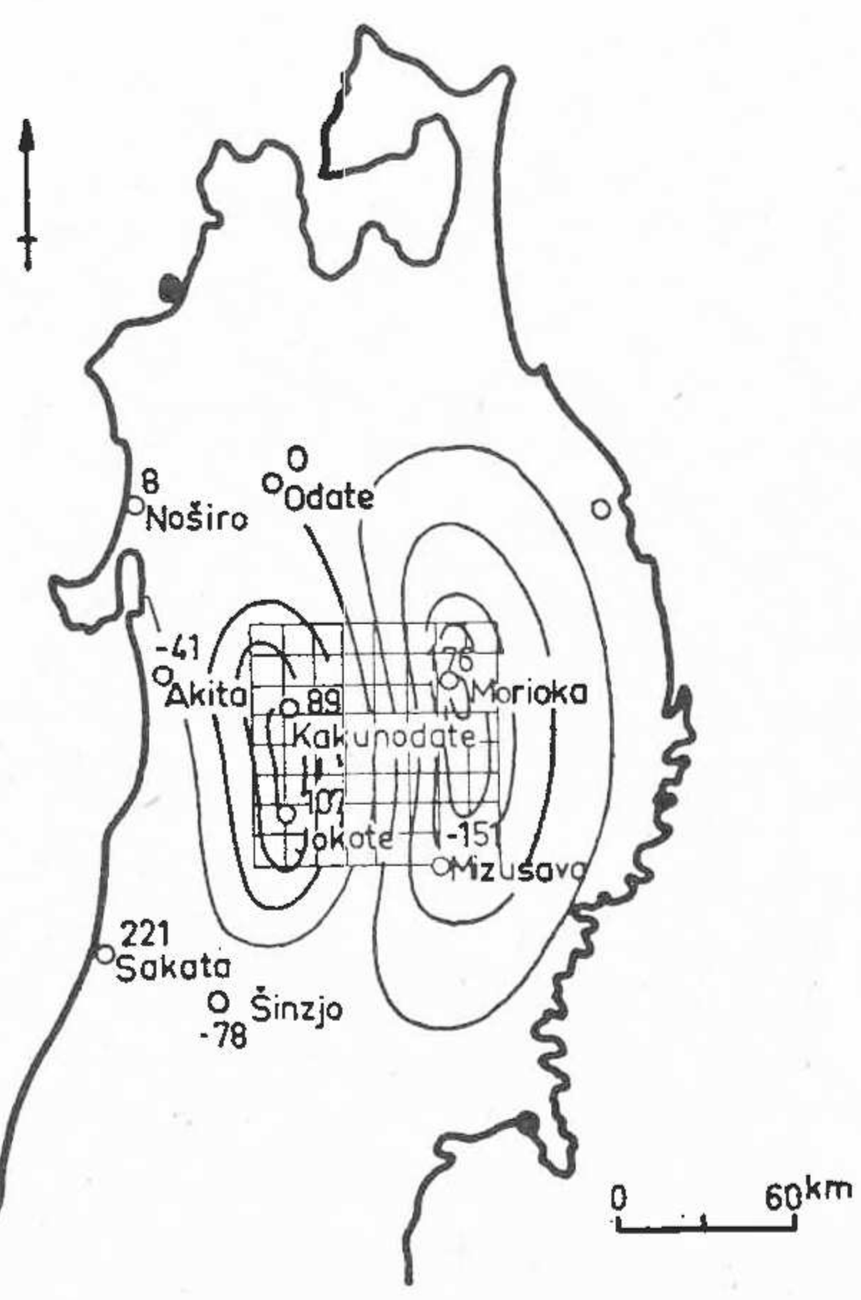
[2] Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophysics, 5, 67, 1953.

membo polja na površini. Toda podrobnejša analiza je kasneje pokazala, da je gibanje izoterm ob potresu bolj hitro, kot to dovoljuje termična difuzija v zemeljskih plasteh.

Sprostitev toplote kot pojasnitev geomagnetnih motenj ob potresu potemtakem ni sprejemljiva razlaga, toda začasna veljavna te teorije je vse do leta 1962 potiskala v ozadje raziskave piezomagnetnih lastnosti kamenin (reverzibilna odvisnost magnetizacije od zunanjega pritiska) in povezovanje seizmomagnetnih efektov s piezomagnetizmom.



Sl. 3. Spremembe v absolutni vrednosti magnetnega polja zaradi akumuliranih pritiskov vzdolž potresnega preloma, kot jih da račun F. D. Staceya. Prelom gre v smeri severozahod—jugovzhod, »aktivna« površina je naznačena s pravokotnikom. Pritiski naj bi bili preproste, horizontalne strižne napetosti, kamenina naj bi bila na južnozahodni strani preloma magnetna, na severovzhodni strani nemagnetna; magnetna deklinacija je 65°; skratka, vsi izhodiščni podatki ustrezajo meritvam ob potresu v kraju San Andreas v Kaliforniji. Številke ob magnetnicah povedo spremembo polja v gamah (10^{-5} gaussa), če je maksimalni pritisk v prelomu 100 kp/cm² in je vrednost magnetizacije kamenine 1 A/m v smeri magnetnega meridiana.



Sl. 4. Spremembe v vertikalni komponenti magnetnega polja, kot so jih izmerili pred potresom v Riku-U na Japonskem (Y. Kato, A. Takagi, Science Reports of Tohoku University).

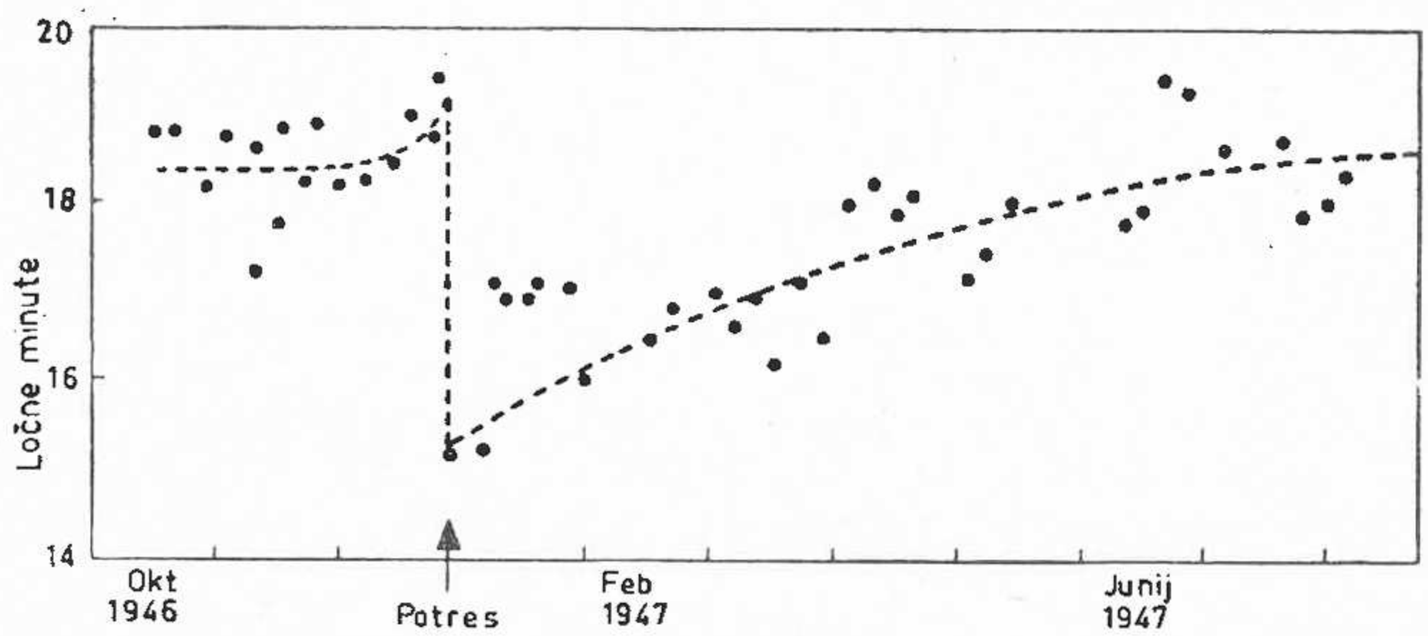
Prve piezomagnetne poskuse je napravil A. G. Kalašnikov, nadaljeval pa S. P. Kapica[3]. Rezultat teh meritev je bil, da se susceptibilnost kamenine v aksialni smeri pritiska zmanjša (relativna sprememba je od 0,8 do $1{,}4.10^{-4}$ pri spremembi pritiska 1 kp/cm²), poveča pa se v tangencialni smeri pritiska (za približno polovico te vrednosti). Kasneje je F. D. Stacey teorijsko obdelal piezomagnetne lastnosti kamenin in dobil enak rezultat.[4]

Iz navedenih podatkov lahko sklepamo dvoje. Seizmični premiki in s tem v zvezi akumulacije velikih pritiskov povzroče: 1. spremembo absolutne vrednosti in 2. spremembo deklinacije geomagnetnega polja na površini zemlje.

[3] Akad. Nauk SSSR, Izv. Ser. Geofiz., 6, 489, 1955.
[4] Phil. Mag., 7, 551, 1962.

Kakšne spremembe polja pred potresom in ob njem ustrezajo spremembi magnetizacije, je odvisno od remanentnega magnetizma kamenin na potresnem področju, od oblike plasti in porazdelitve pritiskov v plasteh ter predvsem od velikosti sproščene energije.

Že Kališnikov je prvi računal mogočo velikost seizmomagnetnega efekta. Predpostavil pa je neadekvatno geometrijo porazdelitve pritiskov in dobil nič kaj obetajočo oceno motnje: 0,5 gama ($0{,}5.10^{-5}$ G). Rezultat se ne ujema z meritvami, niti se ne da efekt ločiti od geomagnetnega »šuma« (zemeljsko polje variira do 5 gama ali več v pol ure). Stacey je teorijo zemeljskega magnetizma izpopolnil[5] in njegovi računi seizmo-magnetnega efekta[6] se kvalitativno lepo ujemajo z dosedanjimi meritvami sprememb zemeljskega polja na potresnih področjih, kot je to razvidno s slik 3 in 4.



Sl. 5. »Anomalne« spremembe v razliki vrednosti magnetne deklinacije. Merili so jo v dveh japonskih observatorijih (Katsuura in Kakioka) med potresom v kraju Imajči (Y. Kato, S. Utasiro, Science Reports of Tohoku University).

Pri maksimalnem pritisku 100 kp/cm² lahko pričakujemo glede na piezomagnetne meritve, da se inducirana magnetizacija spremeni za 1 %. Iz teh podatkov je Stacey izračunal velikost spremembe absolutne vrednosti zemeljskega polja in dobil rezultat: 10 do 100 gama na področjih, kjer je remanentna magnetizacija kamenin povprečne vrednosti (1 do 10 A/m).

Te spremembe se lahko pojavijo nekaj mesecev pred potresom in jih moremo s protonskim magnetometrom (z natančnostjo meritve npr. 0,5 gama) brez težav zaznati. Še več, enkratna tedenska premeritev terena na potresnem področju z dvojnim magnetometrom, ki ga sestavljajo eden ali več prenosnih magnetometrov in en stacionaren magnetometer za primerjavo, je dovolj, da indiciramo akumulacijske premike in določimo epicenter s precejšnjo natančnostjo.

Direktna opazovanja časovnih sprememb zemeljskega polja na potresnem področju so za sedaj še redka. Na sliki 5 vidimo lep primer spremembe deklinacije pred potresom in po njem.

Po navedenih ugotovitvah moremo zaključiti takole: Ne glede na to, da do sedaj še ni bil napovedan noben potres, nam daje današnja teorija seizmomagnetnih efektov že danes trdna izhodišča za ugotavljanje seizmičnih premikov, hkrati pa obeta, da bomo dobili v prihodnosti odgovore na bistvena vprašanja. Potrebnih pa bo še mnogo meritev po vsem svetu, ne samo na Japonskem.

---

[5] Advanc. Phys., 12, 45, 1963.
[6] Geomagnetica — Lisbon: Servico Meteorologico Nacional, 109, 1962.

NOVICE

ŠE EN MODEL ZA OSNOVNE DELCE

Pomislimo za hip, da ne poznamo zgradbe vodikovega atoma. Dokler ne bi ugotovili, da ga sestavljata proton in elektron, ki ju veže električna sila, bi sicer lahko določili energije posameznih stanj in bi stanjem lahko pripisali nekatera kvantna števila, ne bi pa mogli postaviti zadovoljive teorije. Zdi se, da je danes položaj pri osnovnih delcih v grobem podoben: nekatere lastnosti so sicer znane, ni pa enotne teorije za osnovne delce. Primera z vodikovim atomom seveda nekoliko šepa, morda pa namiguje, da je izhod iz zagate v preučevanju notranje zgradbe osnovnih delcev.

Zagovorniki takega sklepanja se sklicujejo na več dejstev.[1] S sipanjem hitrih elektronov so ugotovili končne razsežnosti in neko notranjo zgradbo pri protonu in nevtronu.[2] Nekatere od matematičnih težav,[3] ki so v zvezi s točkasto predstavo za delce (ta naj bi bila le prvi približek), bi odpadle pri končnih razsežnostih delcev: nukleoni naj bi imeli npr. radij okoli 0,6 f ($1\ \mathrm{f} = 10^{-15}\ \mathrm{m}$). Nadalje bi notranja zgradba in z njo povezane nove prostostne stopnje utegnile biti ključ do transformacij v prostoru in času, ki ustrezajo nekaterim ohranitvenim zakonom.[3–5]

Znano je namreč, da je vsak ohranitveni zakon povezan z invariantnostjo enačb gibanja proti določeni transformaciji. Ohranitev gibalne količine je v zvezi z invariantnostjo proti premiku koordinatnega sistema, ohranitev vrtilne količine z invariantnostjo proti zasuku koordinatnega sistema, ohranitev energije z invariantnostjo proti izbiri časovnega začetka. Pri ohranitvi naboja, barionskega in leptonskega števila ter čudnosti (zadnja velja samo pri močni interakciji) pa ne poznajo teh transformacij v prostoru in času. Pomagali so si tako, da so k takemu ohranitvenemu zakonu konstruirali transformacijo v nekem abstraktnem prostoru, ki ni imel zveze z navadnim prostorom in časom. Ohranitev naboja so npr. spravili v zvezo z invariantnostjo enačb gibanja proti zavrtitvi v izospinskem prostoru. Tak postopek ni povsem zadovoljiv, zato bi hoteli spoznati ustrezne transformacije v prostoru in času. Te bi bile vsekakor v zvezi z novimi prostostnimi stopnjami (v prostoru in času), s čimer bi delci dobili končne razsežnosti in notranjo zgradbo.

Težava je v tem, da za zdaj niti približno ne vedo, kaj naj pomenijo nove prostostne stopnje. Zato so morali pri novem modelu ubrati nekako srednjo pot: ne da bi v podrobnostih poznali notranjo zgradbo, so poskusili poiskati operatorje (in kvantna števila) ter zveze med njimi pri načelni predpostavki, da imajo delci notranjo zgradbo.[1] Oblika končnega rezultata je v bistvu podobna obliki pri nekaterih drugih modelih, npr. pri unitarni simetriji,[4] le da v pričujočem primeru matematično odraža notranjo zgradbo in je zato pot morda bolj dosledna.

Ta pot je preveč abstraktna in zapletena, da bi jo lahko opisali na tem mestu. Navedli bomo samo nekatere predpostavke in zaključke v kar se da preprosti obliki. — Za opis gibanja delca s končnimi razsežnostmi vpeljemo navadno dva koordinatna sistema z izhodiščema v težišču. Osi prvega koordinatnega sistema ohranijo svoje smeri v prostoru, medtem ko so osi drugega sistema togo povezane z delcem. Kadar ni zunanjih sil, je gibanje drugega sistema, to je notranje gibanje, neodvisno od gibanja prvega, to je gibanja delca kot celote. Notranje gibanje opišemo torej, če za vsak trenutek povemo medsebojno lego obeh koordinatnih sistemov. To storimo s tremi parametri, po

navadi s tremi Eulerjevimi koti. Pokaže se, da ustrezata v kvantni mehaniki trem parametrom (Eulerjevim kotom) dva (vektorska) operatorja vrtilne količine (**J** in **J**′). Iz njunih šestih komponent lahko sestavimo tri operatorje, ki med seboj komutirajo (J^2, J_z, J_z'). Vsako stanje je pri tem enolično določeno s trojico pripadajočih lastnih vrednosti ($l\,(l+1)$, m, m').*

Vse to je veljalo pri nerelativističnem opisu. Razsežnosti osnovnih delcev pa so tako majhne in energije tako velike, da je potreben opis v okviru teorije relativnosti. Pri tej je treba preiti od običajnega tridimenzionalnega prostora k štiridimenzionalnemu, pri katerem je četrta dimenzija čas. Zato moramo namesto dveh tridimenzionalnih koordinatnih sistemov vpeljati dva štiridimenzionalna. Pri tem ne gre brez težav, ki pa jih je možno obiti. Končno se pokaže, da je tudi tu možen podoben postopek kot pri nerelativističnem približku, le število parametrov je večje.

Notranje gibanje je določeno z medsebojno lego obeh štiridimenzionalnih sistemov s skupnim izhodiščem, ki je podana s šestimi parametri. Podvoji se tudi število ustreznih vektorskih operatorjev ($\mathbf{J}^+$, $\mathbf{J}^-$; $\mathbf{J}^{+\prime}$, $\mathbf{J}^{-\prime}$) in število njihovih komponent, ki komutirajo med seboj (J^{+2}, $J^+{}_z$, $J^+{}_z'$; J^{-2}, $J^-{}_z$, $J^-{}_z'$). Lastne vrednosti teh šestih operatorjev enolično določajo vsako stanje. Vendar se pokaže, da tak način označevanja stanj ni primeren. Zato vpeljejo nov operator $\mathbf{S}' = \mathbf{J}^{+\prime} + \mathbf{J}^{-\prime}$ in novo šestorico operatorjev, ki med seboj komutirajo (J^{+2}, $J^+{}_z$, J^{-2}, $J^-{}_z$, S'^2, S'_z), ter označujejo stanja z lastnimi vrednostmi teh operatorjev ($l^+\,(l^+ + 1)$, m^+, $l^-\,(l^- + 1)$, m^-, $s'\,(s' + 1)$, m'). Pri tem zavzameta lahko l^+ in l^- vsa pozitivna cela in polcela števila: $l^\pm = 0, \frac{1}{2}, 1 \ldots$. m^+ in m^- sta lahko katerokoli izmed števil $-l^\pm, -l^\pm + 1, \ldots l^\pm$. s' je lahko katerokoli izmed števil $|l^+ - l^-|, |l^+ - l^-| + 1, \ldots l^+ + l^-$ in m' katerokoli izmed števil $-s', -s' + 1, \ldots s'$.

Pomen računa spoznamo, ko se posreči povezati nekatere navedene operatorje z znanimi operatorji. Ustrezne zveze veljajo potem tudi med lastnimi vrednostmi obojih operatorjev. Tako je m' v zvezi z barionskim številom B ($m' = -\frac{1}{2}B$), m^+ v zvezi s tretjo komponento izospina I_z ($m^+ = I_z$) in m^- v zvezi s čudnostjo S ($m^- = \frac{1}{2}S$). Iz računa neprisiljeno sledi znana zveza $e = m^+ + m^- - m' = I_z + \frac{1}{2}S + \frac{1}{2}B$.[5] Zdaj ni več težko izenačiti nekaterih od nastopajočih stanj z znanimi osnovnimi delci. Ti so navedeni v tabeli. (Antidelce dobimo, če spremenimo znak zadnji trojici kvantnih števil.)

Model vsebuje nekatere posebnosti, ki jih drugi modeli ne vsebujejo. Izospin in čudnost, ki so ju doslej navajali le pri delcih v močni interakciji,[5] sta tu razširjena tudi na leptone. Nastopata dve vrsti nevtrinov, kar so potrdili s poskusom.[6] Število stanj, to je število osnovnih delcev, ni omejeno, saj lahko zavzameta l^+ in l^- tudi večje vrednosti od 1. S tem je dana možnost, da razširijo model na novo odkrite resonance.[7] Model ne vsebuje delca Λ, napoveduje pa celo za $l^+ = \frac{1}{2}$, $l^- = 1$ ter za $l^+ = 1$, $l^- = \frac{1}{2}$ dublet in triplet doslej neznanih delcev z nabojem 2. Spin ne nastopa v modelu. Za zdaj še ni znano, kakšen naj bi bil nazoren pomen novih treh kvantnih števil l^+, l^- in s'.** Matematična zgradba pa je očitna: če ustrezajo m^+, m^- in m' projekcijam operatorjev z lastnostmi vrtilne količine, ustrezajo l^+, l^- in s' njihovim absolutnim vrednostim.

---

* To je znano tudi iz kvantne teorije za simetrično vrtavko (npr. A. S. Davidov: Kvantovaja mehanika, Moskva 1963, s. 184).

** Vsiljuje se misel, da je l^+ ali l^- ali kakšna kombinacija mogoče v zvezi z relativno vrtilno količino virtualno izsevanega kvanta polja (npr. mezona) in golega delca (npr. golega nukleona).[7]

Delec		l^+	l^-	s'	m^+	m^-	m'
e^-		$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$
ν_e					$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$
μ^-		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
ν_μ					0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
π^+		1	0	1	1	0	0
π°					0	0	0
π^-					-1	0	0
K^-		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
K^+					$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\overline{K}^\circ$					$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
K°					$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
p		$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$
n					$-\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$
Ξ°		$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	-1	$-\frac{1}{2}$
Ξ^+					$-\frac{1}{2}$	-1	$-\frac{1}{2}$
Σ^+		1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$
Σ°					0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$
Σ^-					-1	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$

Model so s precej zapletenimi matematičnimi posegi razširili tudi na interakcije med delci.[8] Vanj so vgradili spin in pojasnili težavo z delcem Λ. Model še nadalje razvijajo. Tako kot pri drugih modelih, pa tudi o tem še ni mogoče izreči dokončne sodbe. Kaže, da ima novi model eno prednost: zelo širok je in vsebuje nekatere druge modele kot posebne primere.

J. Strnad

Literatura:

[1] L. de Broglie, D. Bohm, P. Hillion, F. Halbwachs, T. Takabayasi, J. Vigier: Rotator Model of Elementary Particles Considered as Relativistic Extended Structures in Minkowski Space. Phys. Rev. **129**, 438 (1963).

[2] Elektromagnetna struktura nukleona. Obz. mat. fiz. **8**, 120 (1961).

[3] W. F. Weisskopf: Pomen raziskovanja osnovnih delcev za razvoj moderne fizike, prevod. Obz. mat. fiz. **10**, 116 (1963).

[4] Mezoni in barioni. Obz. mat. fiz. **10**, 159 (1963).

[5] M. Gell-Mann, E. P. Rosenbaum: Osnovni delci, prevod. Obz. mat. fiz. **7**, 62 (1960).

[6] Dvoje različnih vrst nevtrinov. Obz. mat. fiz. **9**, 186 (1962).

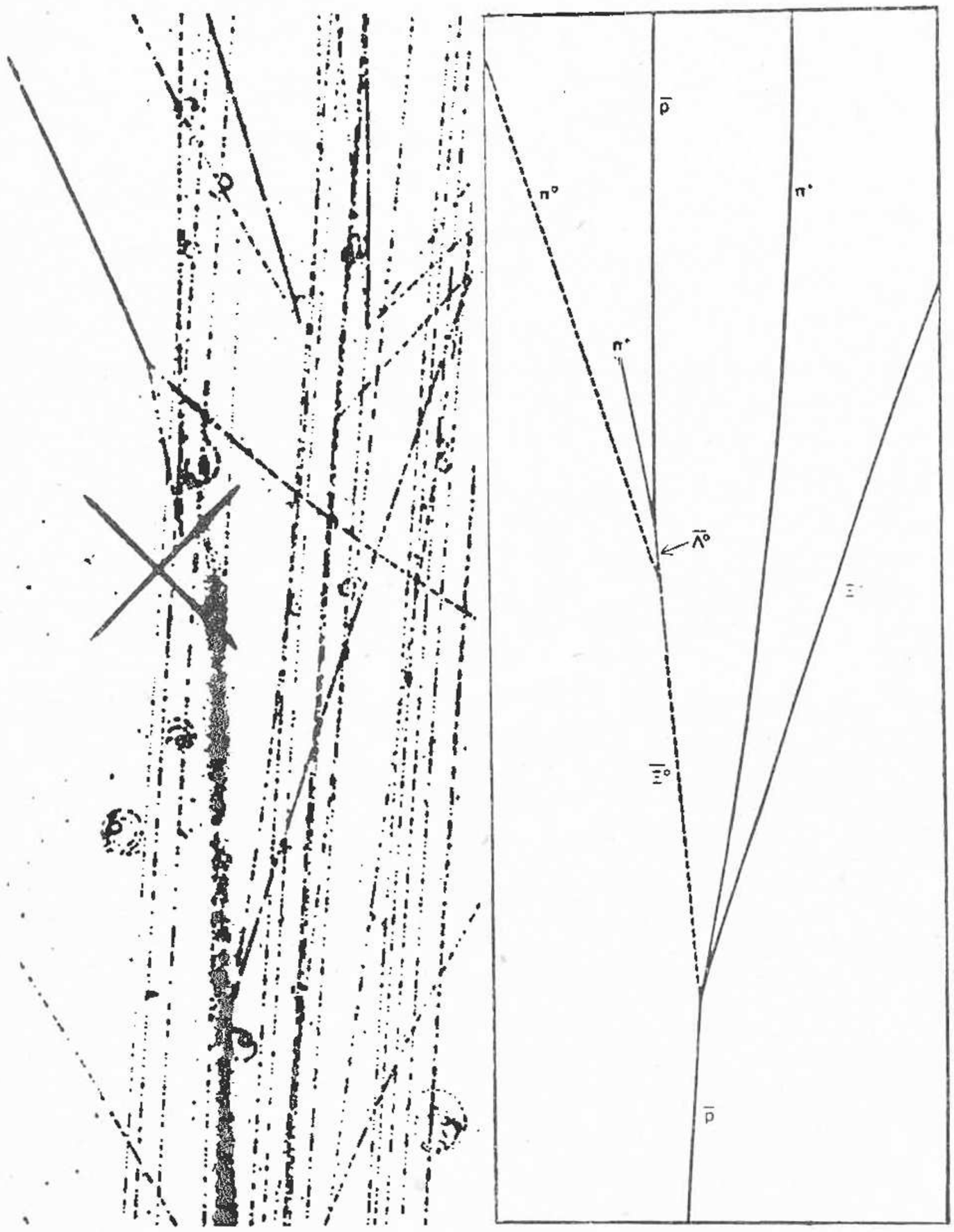
[7] Novi osnovni delci. Obz. mat. fiz. **10**, 22 (1963).

[8] L. de Broglie, F. Halbwachs, P. Hillion, T. Takabayasi, J. Vigier: Space-Time Model of Relativistic Extended Particles in Minkowski Space. II. Free Particle and Interaction Theory. Phys. Rev. **129**, 451 (1963).

ODKRITJE DELCA Ω^-

Ne mine mesec, da ne bi odkrili nekaj novih vzbujenih stanj osnovnih delcev, tako imenovanih resonanc. Poročila o novih resonancah zato nikogar ne presenečajo. Bolj redko so posejana odkritja delcev, ki so stabilni proti razpadu po močni interakciji in žive mnogo dalj kot 10^{-23} s. Tak delec je $\overline{\Xi^0}$ (antiksi nič), ki so ga odkrili lani (sl. 1).[1] Vendar tudi to ni bilo nič posebnega, ker ni nihče dvomil v obstoj tega antidelca, saj je bil njegov delec Ξ^0 že dalj časa znan.

Dosti večjo pozornost je vzbudilo odkritje delca Ω^- letos februarja.[2] (Tega delca, ki spada med hiperone, ne smemo zamenjati z mezonom ω.)

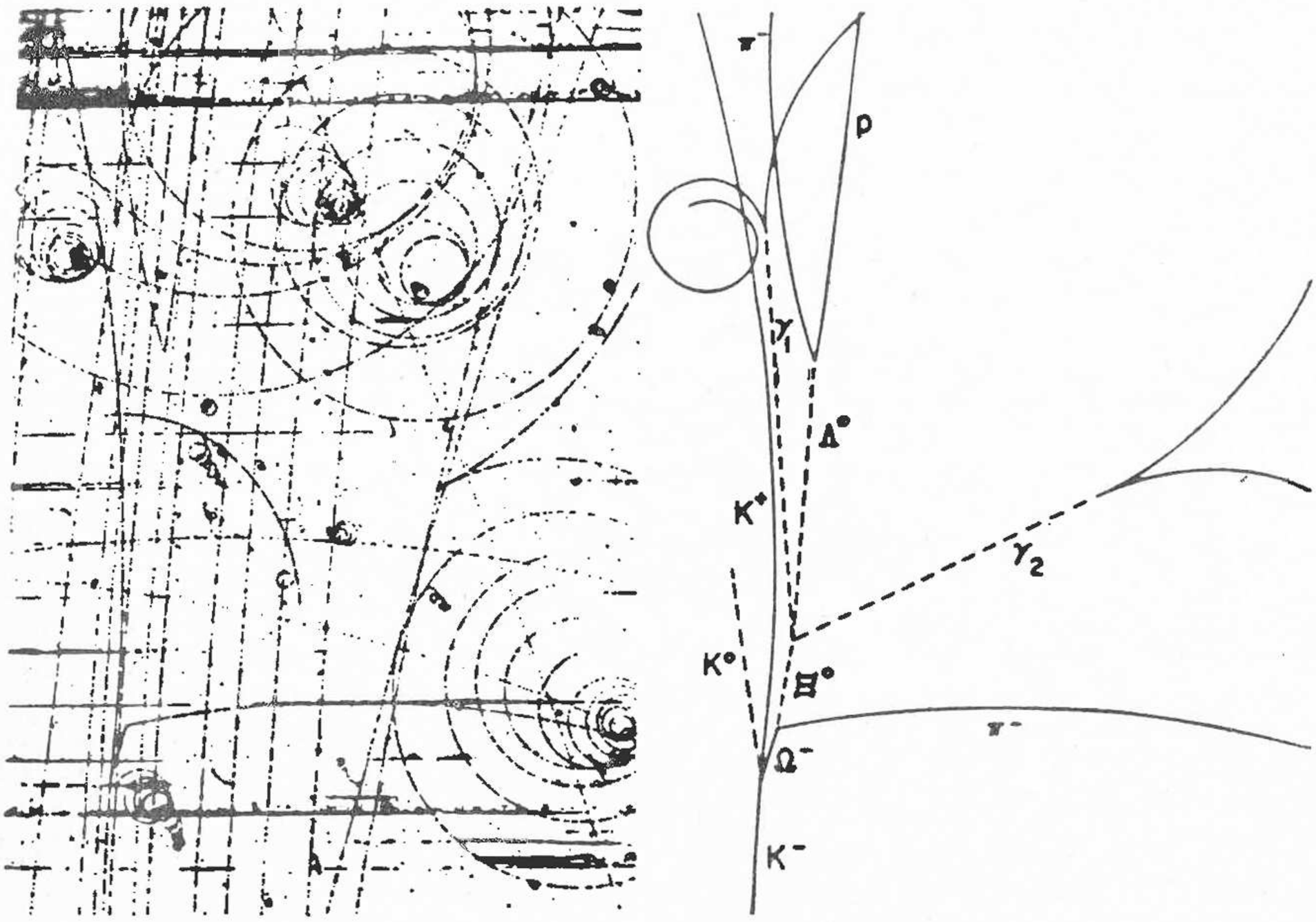


Sl. 1. Fotografija, ki dokazuje obstoj delca $\overline{\Xi^0}$. Delec je nastal v mehurčni celici z vodikom pri reakciji antiprotona s protonom: $p + \overline{p} \longrightarrow \overline{\Xi^0} + \pi^+ + \Xi^0$ in razpadel: $\overline{\Xi^0} \longrightarrow \pi^0 + \overline{\Lambda}$. Delec $\overline{\Lambda}$ pa je razpadel dalje $\overline{\Lambda} \longrightarrow \pi^+ + \overline{p}$. Delec $\overline{\Xi^0}$ sicer ni zapustil vidne sledi, na njegovo pot so sklepali iz vidnih sledi z ohranitvijo energije in gibalne količine.[1]

To odkritje je namreč potrdilo unitarno simetrijo.[3] Do tedaj še niso zapazili manjkajočega člana barionskega dekupleta s spinom $\frac{3}{2}$, z izospinom 0, s hipernabojem —2 (gl. sl. 2 na s. 164)[3], z nabojem —1 in s čudnostjo —3, kot ga je napovedovala unitarna simetrija. Iz zaključka, da je razlika mas med

dvema sosednjima izospinskima multipletoma v dekupletu konstantna, so lahko napovedali maso delca Ω^-. Ker je mirovna energija resonance Δ^* enaka 1,24 GeV, resonance Σ^* enaka 1,39 GeV in resonance Σ^* enaka 1,53, bi morala biti mirovna energija delca Ω^- enaka približno 1,68 GeV. Delec s to mirovno energijo in s čudnostjo —3 bi bil stabilen proti razpadu po močni interakciji in bi imel razpadni čas okoli 10^{-10} s.

Tak delec je zares odkrilo 33 fizikov Brookhavenskega državnega laboratorija pod vodstvom R. P. Shutta. V sinkrotronu so pustili protone zadevati na volframsko tarčo, kjer so poleg drugih delcev rodili mezone K^-. Z odklanjanjem curka nastalih delcev najprej v električnem in nato v magnetnem polju so



Sl. 2. Fotografija, ki kaže nastanek in razpad delca Ω^- v mehurčni celici z vodikom. Opis reakcij glej med besedilom.[2]

izločili vse druge delce in usmerili samo mezone K^- z energijo okoli 5 GeV v dvametrsko mehurčno celico s tekočim vodikom. Celotna naprava, ki je dala v povprečju samo po 4 mezone K^- na sekundo, je bila dolga 130 m. Med stotisočimi fotografijami reakcij, ki so jih v mehurčni celici sprožili mezoni K^-, so doslej naleteli na eno, na kateri je bil z gotovostjo opazen nastanek in razpad delca Ω^- (sl. 2).

Delec Ω^- je nastal pri reakciji

$$K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0.$$

Kratka sled, ki jo je zapustil, priča da je živel samo $0{,}7.10^{-10}$ s, preden je razpadel v negativni pion in delec Ξ^0 (zadnji ni zapustil vidne sledi)

$$\Omega^- \rightarrow \pi^- + \Xi^0 .$$

Nato so se zvrstili razpadi

$$\Xi^0 \to \Lambda + \pi^0, \qquad \Lambda \to \pi^- + p, \qquad \pi^0 \to \gamma_1 + \gamma_2$$

Žarka γ, ki sta nastala pri razpadu nevtralnega piona π^0, sta na koncu tvorila dva elektronska para, katerih zavite sledi se lepo vidijo. Eksperimentalno so določili maso delca Ω^- s (1,686 $\pm$ 0,012) GeV.

S tem odkritjem je zraslo zaupanje v unitarno simetrijo, ki je zagotovo kaj več kot samo eden izmed modelov za osnovne delce v močni interakciji. Njen uspeh pri napovedi delca Ω^- smemo primerjati z uspehom periodne tabele Mendelejeva pri napovedi germanija.

J. Strnad

[1] G. Feinberg, M. Goldhaber: The Conservation Laws of Physics. Sci. American 209, 36, No. 4 (1963).
[2] Alpha to Omega- a Triumph for the Physicists. New Scientist **21**, 523 (1964).
[3] J. Strnad: Mezoni in barioni. Obz. mat. fiz. **10**, 159 (1963).

PIROLIZNI GRAFIT — NAJBOLJ ANIZOTROPNA SNOV

Grafit je kristalna oblika ogljika, ki je štirivalenten element. V njem je vsak atom ogljika s tremi valencami vezan v obroč, ki leži s sosednjimi obroči v isti kristalni ravnini. S preostalo valenco pa se atom ogljika veže z atomom v sosednji ravnini (sl. 1).

Na sliki vidimo zelo veliko razliko med razdaljami omenjenih ravnin in razdaljo atomov ogljika v obroču. To je vzrok za anizotropnost, kakršne ne opazimo pri drugih kristalih. Na žalost pa naravni ali običajni umetno pridobljeni grafit nima popolne kristalne zgradbe, kot smo jo opisali. Idealen monokristal grafita bi imel gostoto 2,26 g/cm^3, medtem ko ima umetni grafit precej manjšo gostoto. Ta razlika je posledica velikega števila nepravilnosti v strukturi naravnega in običajnega umetnega grafita.

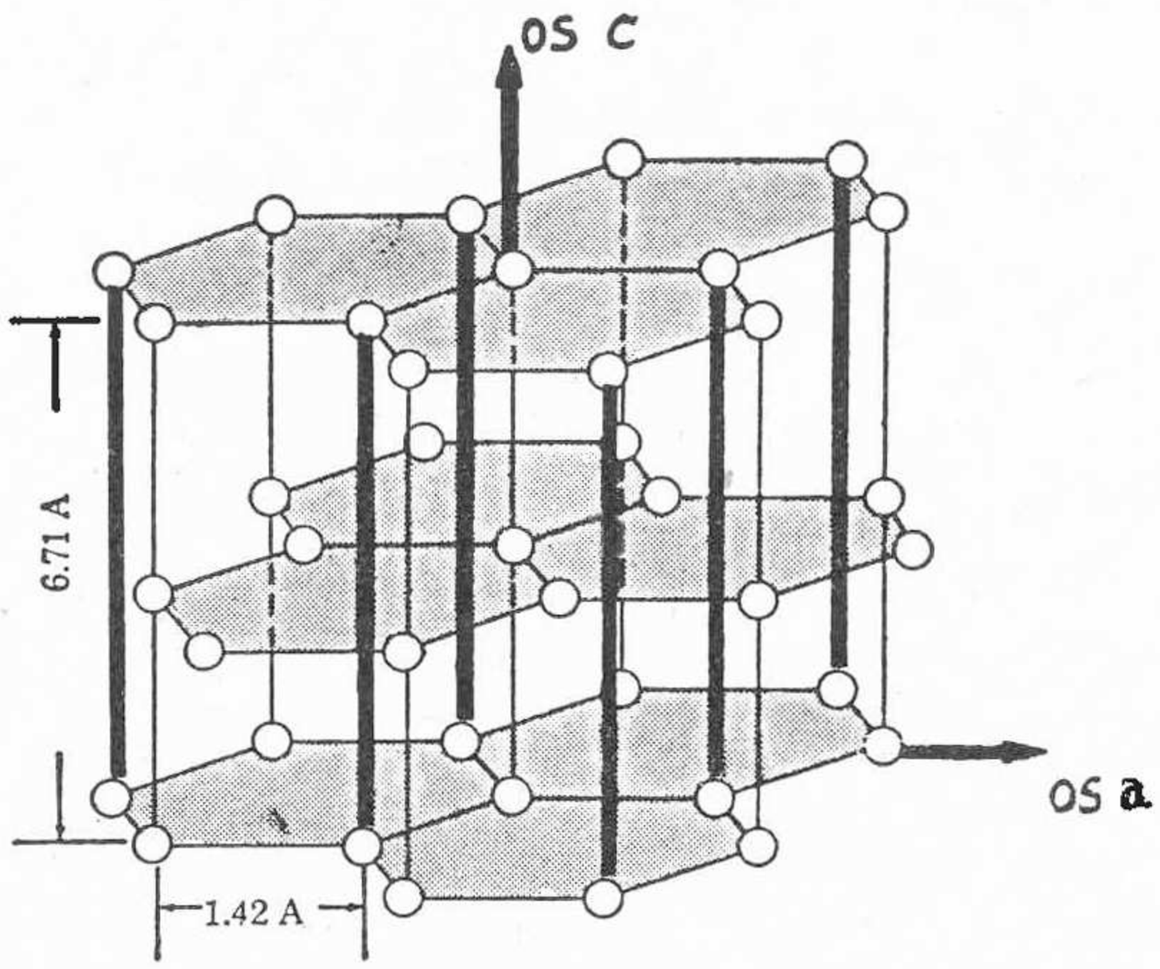
Mnogo raziskovalcev si je prizadevalo, da bi izboljšalo strukturo umetnega grafita. Zadnji dosežek na tem področju je pirolizni grafit, ki ima v najboljšem primeru gostoto 2,22 g/cm^3, in že v veliki meri kaže lastnosti monokristala. Pirolizni grafit dobivajo z razkrajanjem snovi, ki vsebujejo ogljik, pri visokih temperaturah. V kovinsko posodo, v kateri je visok vakuum, uvajajo metan. V posodi je grafitna plošča, ki jo električno ogrejejo do želene temperature. Pri tem poskrbijo za konstantne zunanje pogoje. Pirolizni grafit se nabira v ravnih plasteh tako, da je os c (glej sl. 1) pravokotna na podlago. Plast se izredno počasi debeli. Kristalna struktura tako dobljenega grafita pa še ni mnogo boljša kot pri navadnem grfitu. Izboljšajo jo tako, da pirolizni grafit toplotno obdelajo, to se pravi, da ga segrejejo na 3000^0 do 3500^0 C. S to obdelavo postane struktura mnogo bolj pravilna, s čimer se precej približajo anizotropnosti monokristala.

Pirolizni grafit je izrazito vlaknat, podobno kot druge pirolizno izločene snovi. Za razliko od drugih snovi pa je pri njem urejenost kristalčkov dosegla izredno visoko stopnjo. Zato je ta grafit neprepusten za pline v nasprotju z običajnim grafitom.

Pravilnost ali nepravilnost kristalne strukture ocenimo iz porazdelitve smeri osi c posameznih kristalov po kotih glede na normalo na ravnino izločanja.

Omenjeno porazdelitev za navadni in toplotno obdelani pirolizni grafit, dobljen iz istega kosa, kaže sl. 3. S toplotno obdelavo pa lahko izboljšajo kristalno strukturo samo v eni tretjini celotnega kosa piroliznega grafita.

Meritev električne upornosti v smeri posameznih kristalnih osi tudi precej pove o strukturi. V smeri osi a je specifična upornost velikostnega reda $10^{-6}\ \Omega$m, v smeri osi c pa $5.10^{-3}\ \Omega$m (podatki veljajo za 25° C). Slikovito bi lahko rekli, da je pirolizni grafit v smeri osi a polkovina, v smeri osi c pa polprevodnik. Pri čistem piroliznem grafitu je razmerje obeh upornosti odvisno še od temperature. Če pa grafitu dodajo približno 0,3 % bora, postane upornost skoraj neodvisna od temperature. Izredno zanimiva je tudi lastnost, da je v smeri osi a navadni pirolizni grafit prevodnik tipa p, to se pravi, da prevaja z vrzelmi.



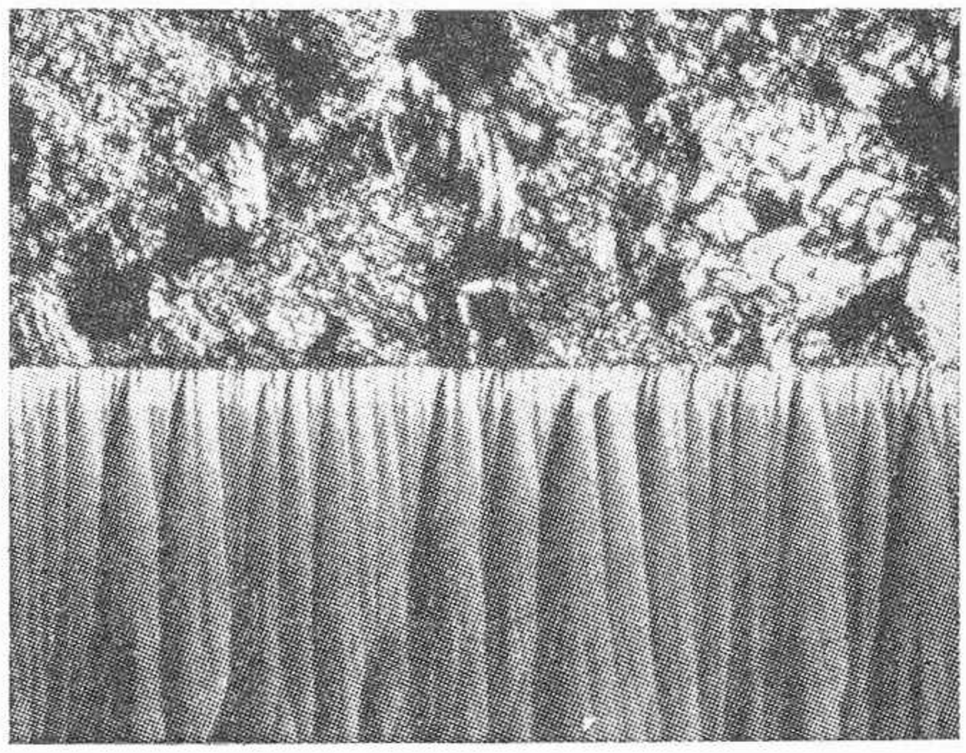
Sl. 1. Kristalna struktura idealnega kristala grafita.

Toplotno obdelani pirolizni grafit pa je v smeri osi a prevodnik tipa n, to se pravi, da prevaja z elektroni. Na tej osnovi se da narediti spoj p—n, ne da bi bilo treba zvariti dva konca. Dva takšna spoja tvorita termočlen, katerega napetost je že pri majhni temperaturni razliki nenavadno velika. Takšen termočlen je uporaben za merjenje temperatur preko 3000° C.

Tudi pri meritvah toplotne prevodnosti v raznih smereh se na podoben način kaže zgradba piroliznega grafita. V smeri osi a prevaja pirolizni grafit toploto 5-krat bolje kot baker (toplotna prevodnost v smeri osi a je 2000 W/mst). V smeri osi c pa je toplotna prevodnost več kot 130-krat manjša (15 W/mst). Medtem ko se toplotna prevodnost za večino keramik pri temperaturah od 2200° C navzgor močno poveča; tega niso opazili pri piroliznem grafitu pri prevajanju v smeri osi c. To pomeni, da je pirolizni grafit od vseh doslej znanih snovi pri visokih temperaturah najboljši izolator.

Tudi po mehanskih lastnostih se pirolizni grafit zelo odlikuje. Za vse druge snovi velja, da meja natezne trdnosti z naraščajočo temperaturo pada. Pri piroliznem grafitu pa ta meja narašča in to celo pri temperaturi okoli 3000° C. Vzrok za to zelo koristno anomalijo še ni zadovoljivo pojasnjen, sklepajo pa, da nastopi zaradi tega, ker se pojavijo pri tvorbi piroliznega grafita iz metana »zamrznjene« mehanske napetosti, ki se uravnovesijo s tistimi napetostmi, do katerih pride pri termičnem raztezanju.

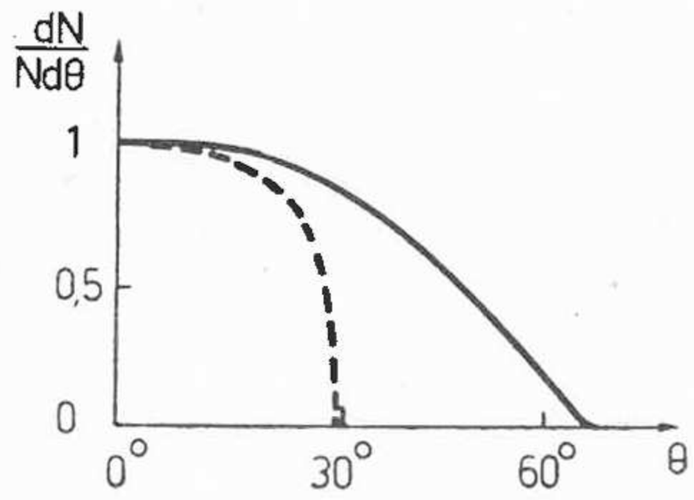
Pirolizni grafit ima še množico drugih imenitnih lastnosti, kot npr. visoko odpornost proti koroziji, sposobnost, da prenese zelo velike nenadne spremembe temperature ipd. Naposled omenimo še slabe lastnosti piroliznega grafita. Sem prištevajo predvsem zelo zapleteno izdelavo. Pirolizni grafit se iz metana izloča tako, da je os *c* pravokotna na podlago. Zato je temperatura na površini, kjer



Sl. 2. Navadni (zgoraj) in pirolizni (spodaj) grafit pod metalografskim mikroskopom.

se izloča grafit, precej nižja, torej debelina izločene plasti izredno počasi narašča. Pri 2150° C se zdebeli plast samo za milimeter na uro. Druga slaba lastnost je za sedaj še zelo visoka cena.

Zaradi opisanih lastnosti je pirolizni grafit izreden material v tehnologiji visokih temperatur. Uporaben je za reaktorsko in raketno tehniko, za toplotne



Sl. 3. Porazdelitev smeri osi *c* po kotih proti normali na podlago za pirolizni grafit neposredno po izločanju (izvlečena krivulja) in za toplotno obdelani pirolizni grafit (črtkana krivulja). Obe porazdelitvi sta normirani k vrednosti 1 pri kotu 0°.

ščite ipd. Mislimo si, da je raketa, ki se spušča skozi atmosfero, po vsej površini obložena z nekaj milimetrov debelo plastjo piroliznega grafita. Osi *c* kristalov naj bodo pravokotne na steno rakete. Če se kjerkoli zaradi trenja v zraku zviša temperatura, se zaradi izredne prevodnosti vzdolž sten takoj izravna. Vsa površina močno seva in se s tem hladi. Prevajanja v prečni smeri pa skoraj ni in se notranjost rakete zato skoraj nič ne segreje.

Borut Lavrenčič

Literatura:

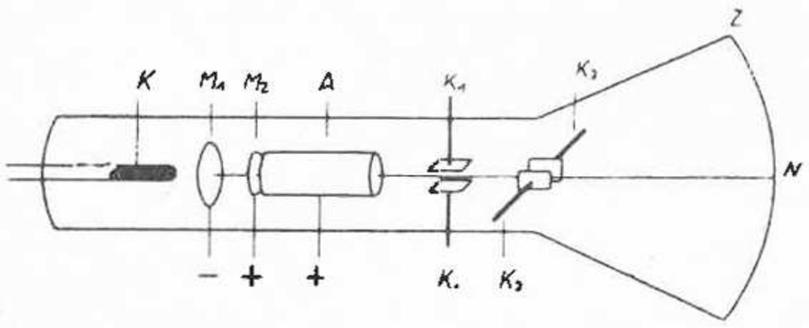
C. Klein: Pyrolytic Graphite, Journal of Science and Technology, No. 8, 60 (1962).
J. Pappis, L. P. Blum: Properties of Pyrolytic Graphite, J. Am. Cer. Soc., 44 (1961).

KATODNI OSCILOGRAF PRI ŠOLSKEM POUKU

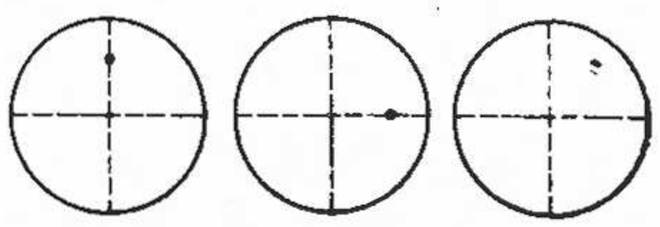
Katodni oscilograf je priprava, ki lahko odlično služi pri demonstraciji številnih pojavov iz elektrike, pa tudi iz drugih področij fizike. V naslednjih odstavkih želim orisati nekaj važnejših poskusov s katodnim oscilografom v šoli. Kadar delamo take poskuse, preden poznajo dijaki osnove elektronike, moramo z nekaj poskusi pokazati, kako oscilograf deluje.

I. Osnovni poskusi

Pri opisu delovanja katodne cevi (sl. 1) je treba učencem razložiti vpliv napetosti na odklonskih kondenzatorjih na lego pike na zaslonu in delovanje prevesnika. To storimo z naslednjimi poskusi:

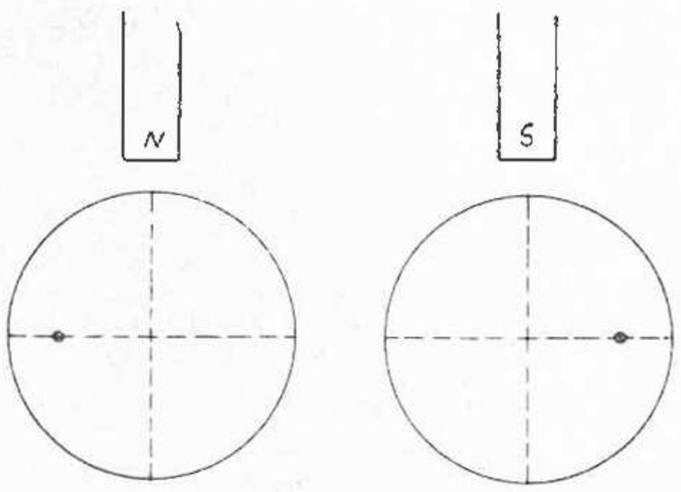


Sl. 1. Katodna cev. K = katoda, M_1 = 1. mreža, M_2 = 2. mreža, A = anoda, K_1 = odklonski kondenzator za vertikalni odklon, K_2 = odklonski kondenzator za vodoravni odklon, Z = zaslon, N = sled neodklonjenega elektronskega curka

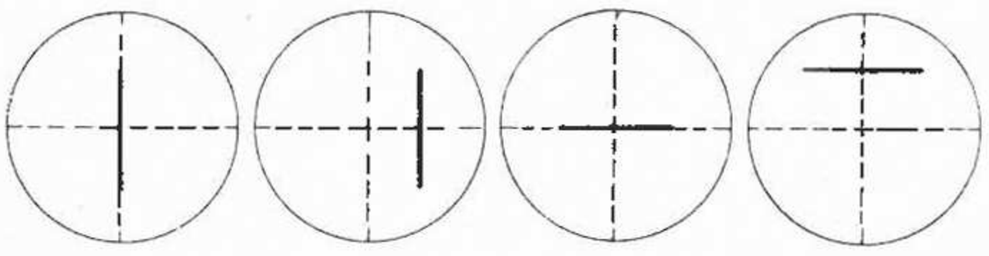


Sl. 2. Odklon pike na zaslonu katodne cevi pod vplivom: a) enosmerne napetosti na vertikalnem odkl. kondenzatorju, b) enosmerne napetosti na horizontalnem odkl. konderzatorju, c) enosmerne napetosti na obeh odkl. kondenzatorjih

1. poskus. Vključimo katodni oscilograf, medtem ko na odklonskih kondenzatorjih ni napetosti: pika je sredi zaslona. Enosmerna napetost na enem odklonskem kondenzatorju premakne piko proti eni izmed plošč, enosmerni napetosti na obeh odklonskih kondenzatorjih pa premakneta piko poševno (sl. 2). Premik je sorazmeren z napetostjo.



Sl. 3. Odklon pike na zaslonu pod vplivom magneta



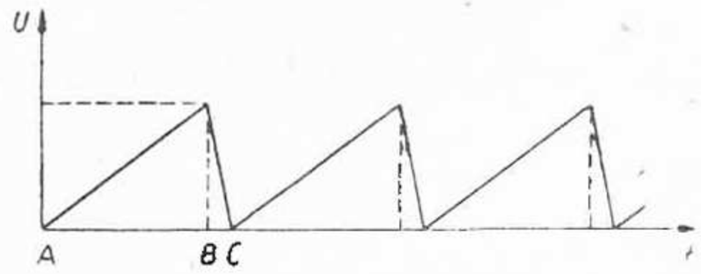
Sl. 4. Izmenična napetost na odkl. kondenzatorju da na zaslonu vert. oz. hor. črto, katere dolžina je enaka $2\,U_0$. Z enosmerno napetostjo na drugem odkl. kondenzatorju lahko črto premaknemo

2. poskus. Piko na zaslonu lahko premaknemo tudi z magnetom, ki ga približamo katodni cevi od strani. (V ta namen je treba katodno cev izvleči iz ohišja!) (Sl. 3.)

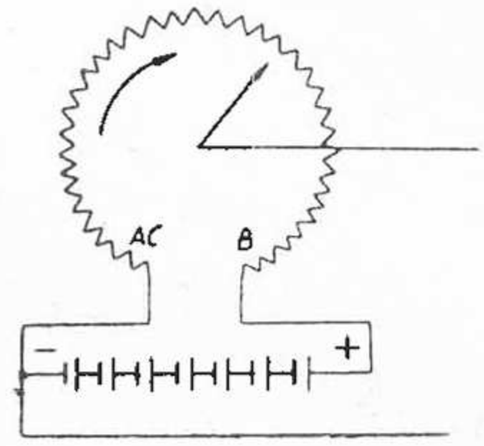
3. *poskus.* Če pritisnemo na en odklonski kondenzator izmenično napetost, se pika premika skladno s spreminjanjem napetosti; če je spreminjanje tako naglo, da oko ne more slediti premiku pike, vidimo na zaslonu vodoravno oz. navpično črto skozi sredino zaslona. Z enosmerno napetostjo na drugem kondenzatorju lahko premaknemo črto navzgor ali navzdol, levo ali desno (sl. 4).

Kadar želimo opazovati časovni potek napetosti, jo damo na vertikalni odklonski kondenzator, na horizontalni kondenzator pa damo prevesno (= žagasto) napetost. Časovni potek prevesne napetosti kaže sl. 5.

Prevesno napetost lahko dobimo na različne načine. Najpreprostejši je *mehanski način* z uporabo potenciometra (sl. 6). Pri tem napetost na odklonskem



Sl. 5. Idealna krivulja prevesne napetosti



Sl. 6. Shema mehanskega prevesnika. Pri vrtenju ročice od A do C gre elektronski curek v eno smer, pri preskoku od C do B pa skoči nazaj

kondenzatorju enakomerno raste in doseže največjo vrednost (enako napetosti baterije) v trenutku, ko je drsnik v točki B. Pri preskoku drsnika od B do A napetost pade na nič, pri nadaljnjem pomiku drsnika pa začne znova rasti. S spreminjanjem hitrosti pomikanja drsnika lahko spreminjamo frekvenco prevesne napetosti. — Taka priprava pa bi bila uporabna le pri majhnih frekvencah.

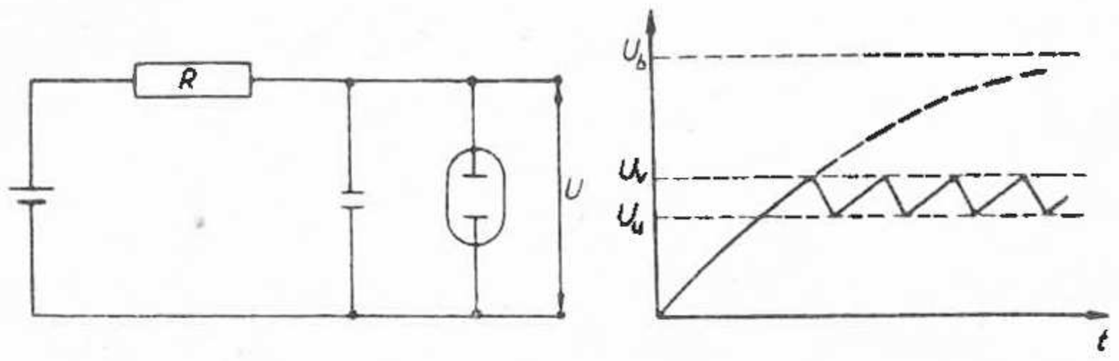
V praksi navadno uporabljamo *kondenzatorski prevesnik* (sl. 7). Kondenzator nabijemo preko velikega upora, potem pa ga s sklenitvijo prekinjala naglo izpraznimo. V celoti sicer v tem primeru ne dobimo linearnega naraščanja ali padanja napetosti, ampak eksponentno. Pri majhnih razlikah napetosti pa je del eksponentne krivulje skoraj raven. Za prekinjalo služi tlivka, ki se sama vžge, ko napetost na kondenzatorju doseže vžigno napetost, in ugasne, ko napetost pade do ugasne napetosti. Vžiganje in ugašanje se zelo hitro ponavlja, reguliramo pa ga lahko z uporom in s kondenzatorjem. Velja namreč zveza:

$$T = RC \ln \frac{U_o - U_u}{U_o - U_v}$$

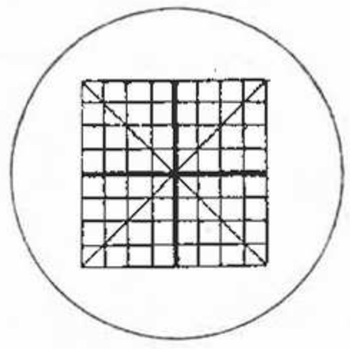
kjer sta U_v in U_u vžigna in ugasna napetost tlivke, U_o pa je napetost baterije.

Če v prejšnjem stiku nadomestimo stalen upor z diodo, ki se ji upor manjša z naraščajočo napetostjo, pa dobimo ves čas konstanten polnilni tok. Frekvenca prevesnega nihanja je tu funkcija kapacitete kondenzatorja in nasičenega toka. Slaba stran takega prevesnika pa je v tem, da ni možna regulacija prevesne frekvence in torej tudi ne sinhronizacija prevesne napetosti s preiskovano napetostjo. Zato se v praksi tlivka nadomešča s plinsko triodo. Tu je namreč napetost, pri kateri nastopi razelektrenje, odvisna od mrežne prednapetosti, ki jo lahko poljubno uravnavamo.

4. poskus. Sestavimo prevesnik iz upora, kondenzatorja in tlivke po sl. 7! a) Obliko prevesne napetosti pokažemo na katodnem oscilografu tako, da vključimo notranji prevesnik in damo na vertikalni kondenzator napetost med koncema upora. Pazimo na sinhronizacijo! b) Spreminjajmo na sestavljenem prevesniku upor in kapaciteto in opazujmo (samo kvalitativno), kako se spreminja frekvenca prevesne napetosti! c) Izključimo notranji prevesnik in priključimo na vodoravni kondenzator zunanjo prevesno napetost, na vertikalni kondenzator pa dajmo omrežno napetost; pazimo na sinhronizacijo in opazujmo krivuljo na zaslonu! č) Pokažimo krivuljo prevesne napetosti vgrajenega prevesnika! V ta namen vključimo prevesnik in istočasno damo prevesno napetost iz osrednjega priključka na vertikalni odklonski kondenzator.



Sl. 7. Kondenzatorski prevesnik in slika napetosti, ki jo z njim dobimo



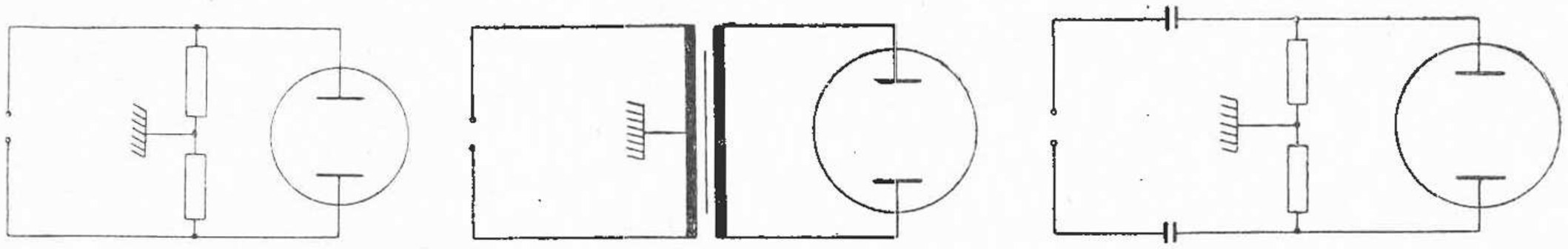
Sl. 8. Tako naravnamo milimetrski papir na zaslonu katodne cevi

II. Uporaba katodnega oscilografa

Preden lahko uporabimo katodni oscilograf za kvantitativne meritve, ga moramo umeriti. Določiti moramo občutljivost kondenzatorjev, tj. napetost na odklonskih kondenzatorjih, ki povzroči odklon pike na zaslonu npr. za 1 mm. Sicer je na ohišju oscilografa občutljivost že zapisana za oba odklonska kondenzatorja. Toda to so le približne številke, ker je občutljivost odvisna od anodne napetosti, ki se spremeni z omrežno napetostjo. Zato je dobro, če pred vsako kvantitativno meritvijo katodni oscilograf najprej umerimo z natančnim voltmetrom. Umeritev poteka takole:

1. Izključimo notranji prevesnik;

2. zaslon prekrijemo s prozornim milimetrskim papirjem in ga naravnamo tako, da so črte na njem horizontalne in vertikalne; na papir narišemo pravokotni koordinatni sistem s središčem v točki, kamor pada neodklonjeni elektronski curek (sl. 8);



Sl. 9. Načini priključitve napetosti na odkl. kondenzator pri simetričnem odklonu

3. na vodoravni odklonski kondenzator pritisnemo preko transformatorja izmenično napetost znane velikosti; dolžina vodoravne črte na zaslonu predstavlja $2\sqrt{2}$-kratnik efektivne napetosti, ki jo kaže voltmeter. Vodoravna občutljivost oscilografa je enaka kvocientu iz dolžine vodoravne črte na zaslonu in $2\sqrt{2}$-kratnika efektivne napetosti;

4. na enak način določimo tudi občutljivost aparata pri vertikalnem odklanjanju, ki v splošnem ni enaka kot pri horizontalnem odklanjanju zaradi drugačne oddaljenosti odklonskega kondenzatorja od zaslona.

V zvezi s priključitvijo napetosti na odklonska kondenzatorja nastaja problem simetrije slike na zaslonu katodne cevi. Odklonski plošči morata imeti isto napetost proti zemlji kakor anoda, sicer dobe elektroni v polju odklonskega kondenzatorja dodatni pospešek, ki povzroča spačenje slike na zaslonu. Temu odpomoremo s simetrično priključitvijo merjene napetosti preko neposrednega, induktivnega ali kapacitivnega sklopa (sl. 9). (V naslednjih shemah tega sklopa navadno ne bomo risali.)

a) *Merjenje napetosti, toka in upora*

Merjeno napetost priključimo med plošči za vertikalni odklon, medtem ko mora biti prevesnik izključen (sl. 10 a). Če je merjena napetost enosmerna,

Sl. 10. Priključek odklonskih kondenzatorjev: a) pri merjenju napetosti, b) pri merjenju toka

dobimo na zaslonu piko nad koordinatnim izhodiščem ali pod njim. Razdalja pike od abscisne osi je sorazmerna z napetostjo. — Če pa je napetost izmenična, dobimo na zaslonu vertikalno črto, katere dolžina nam pove dvojno temensko vrednost napetosti $2\,U_0$. Pri sinusni napetosti je torej efektivna napetost enaka: $U_{ef} = 0{,}707\,U_0$.

Pri merjenju toka določamo pravzaprav napetost med koncema znanega upora, ki leži v glavnem tokovnem krogu (sl. 10 b). Tok dobimo potem po Ohmovem zakonu. — Ta meritev pa ima razmeroma majhno praktično vrednost, ker se zahteva precej velik padec napetosti. Dovolj velikega upora pa ne moremo vključiti v vsako vezje.

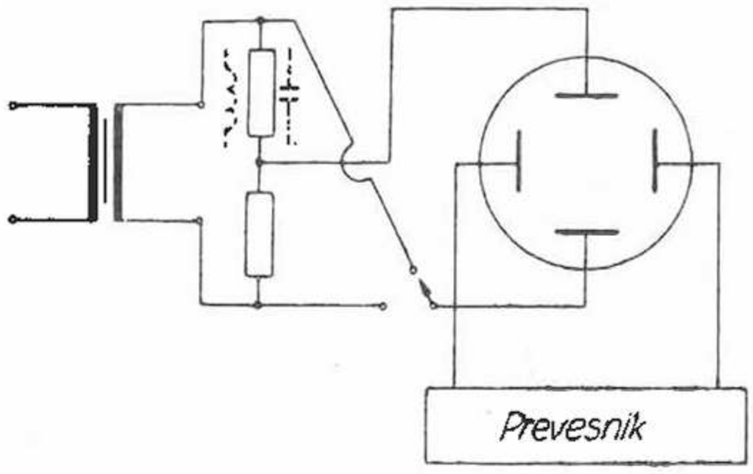
Isti stik lahko uporabimo tudi za merjenje uporov (velikih). Znani tok spustimo skozi neznani upor in merimo napetost med njegovima koncema. Iz toka in napetosti potem izračunamo upor po Ohmovem zakonu.

b) *Merjenje faznega premika, induktivnosti in kapacitivnosti*

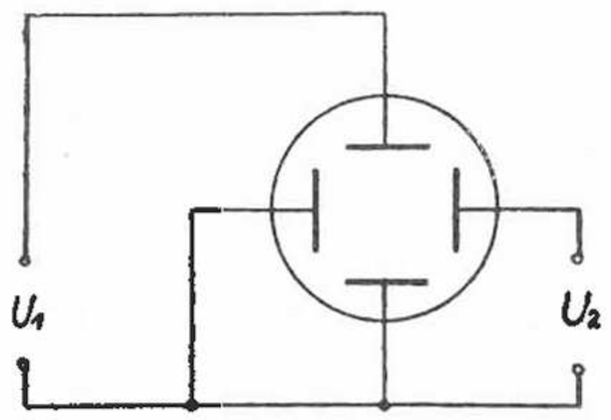
Na katodnem oscilografu je možno zelo nazorno pokazati fazni premik med dvema izmeničnima napetostma enake frekvence. Kakor je znano, povzroči fazni premik v tokovni krog vključena tuljava ali kondenzator. Če hočemo torej videti fazni premik na zaslonu katodne cevi, moramo na horizontalni odklonski kondenzator vključiti prevesnik, na vertikalnem pa izmenjavati ohmsko in induktivno oz. kapacitivno napetost s tolikšno hitrostjo, da vidimo na zaslonu

istočasno krivulji obeh napetosti ter časovno os. Sl. 11 prikazuje tako vezje. Za preklapljanje služi komutator, preko katerega sta vertikalni odklonski plošči priključeni ⅓ periode na ohmsko napetost, ⅓ periode na induktivno (oz. kapacitivno) napetost in ⅓ periode kratko staknjeni; v tej tretjini periode riše elektronski curek časovno os.

5. *poskus.* Prikaz faznega premika a) med tokom in napetostjo na tuljavi, b) med tokom in napetostjo na kondenzatorju, c) med tokom v primarnem krogu in primarno napetostjo neobremenjenega transformatorja, č) isto, če sekundarni krog obremenimo z ohmskim uporom.

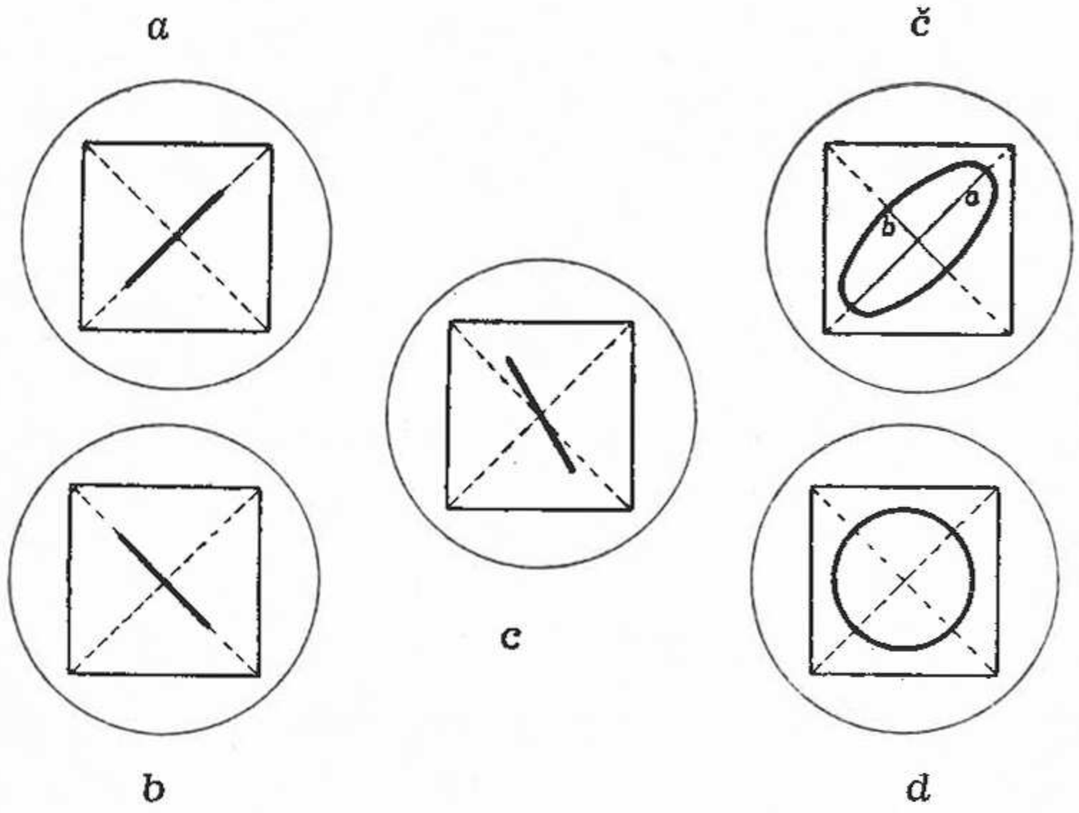


Sl. 11. Vezje za istočasni prikaz krivulj dveh napetosti oz. faznega premika med njima



Sl. 12. Priključek dveh napetosti na odklonska kondenzatorja pri merjenju faznega premika po načinu Lissajousovih krivulj

Če hočemo fazni premik določiti tudi kvantitativno, je ugodno merjenje z Lissajousovimi krivuljami. V tem primeru mora biti prevesnik na oscilografu izključen, da lahko eno napetost vodimo na horizontalni, drugo pa na vertikalni odklonski kondenzator (sl. 12). Pod vplivom obeh napetosti dobimo tedaj na zaslonu elipso, ki degenerira v ravno črto, če je fazni premik 0^0 ali 180^0. Razmerje med amplitudama obeh napetosti določa nagib velike elipsine osi. Pri



Sl. 13. Nekaj značilnih slik pri različnih faznih premikih med dvema sinusnima napetostma: a) enakofazni napetosti enakih amplitud ($\Delta\varphi = 0$), b) nasprotnofazni napetosti enakih amplitud ($\Delta\varphi = 180^0$), c) nasprotnofazni napetosti različnih amplitud ($\Delta\varphi = 180^0$), č) napetosti enakih amplitud z majhnim faznim premikom $\left(\Delta\varphi = \text{arctg}\frac{b}{a}\right)$, d) napetosti enakih amplitud s faznim premikom $\Delta\varphi = 90^0$

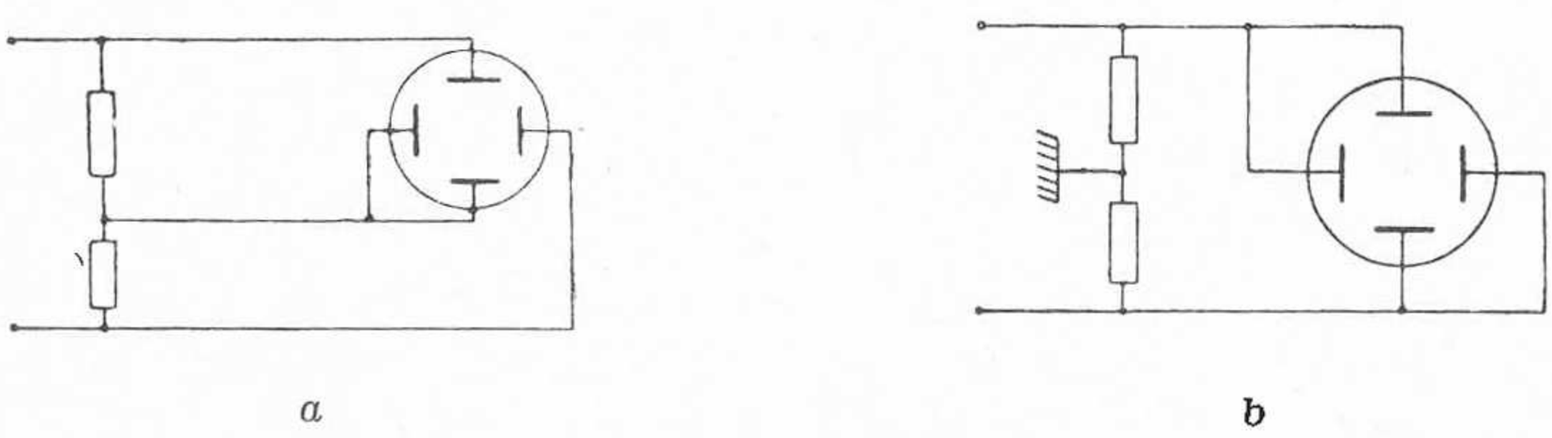
enakih amplitudah in faznem premiku 90^0 dobimo na zaslonu krog. Na sliki 13 vidimo nekaj značilnih slik pri različnih faznih premikih dveh sinusnih napetosti.

Potemtakem lahko iz oblike elipse na zaslonu določimo velikost faznega premika med napetostmi na obeh odklonskih kondenzatorjih. Treba je le

z regulacijskim gumbom naravnati obe odklonski napetosti na enaki amplitudi, nakar izmerimo veliko (a) in malo os (b) elipse. Fazni premik je enak (sl. 13 č):

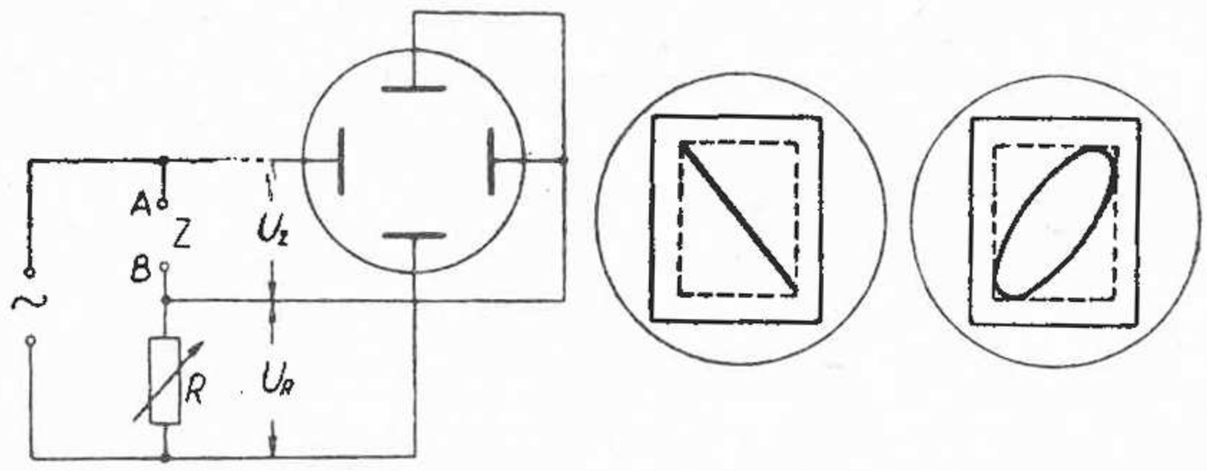
$$\varphi = 2 \operatorname{arctg} \frac{b}{a}$$

6. poskus. a) Omrežno izmenično napetost pritisnemo preko transformatorja najprej samo na horizontalni in nato samo na vertikalni odklonski kondenzator, končno pa istočasno na oba (stik po sl. 14 a, b). Na zaslonu dobimo premico. S spreminjanjem občutljivosti enega odklonskega kondenzatorja lahko spreminjamo nagib premice. b) Prikaz faznega premika med tokom in napetostjo



Sl. 14. Vezje za istočasni priključek izmenične napetosti na oba odkl. kondenzatorja: a) če sta napetosti v isti fazi, b) če sta napetosti v nasprotni fazi

na tuljavi oz. kondenzatorju (sl. 14 c). Spreminjanje oblike elipse s spreminjanjem občutljivosti enega odklonskega kondenzatorja. c) Merjenje faznega premika iz velikosti elipsinih osi. V ta namen je treba predhodno regulirati občutljivost odklonskih kondenzatorjev, dokler ni dolžina horizontalne črte (pri izključenem vertikalnem kondenzatorju) enaka dolžini vertikalne črte (pri izključenem horizontalnem kondenzatorju).



Sl. 15. Priključek odklonskih kondenzatorjev pri merjenju induktivnosti tuljave oz. kapacitivnosti kondenzatorja

Iz oblik elipse pa lahko določimo tudi kapacitivnost kondenzatorja in induktivnost tuljave, ki sta povzročila fazni premik. Vezje po sl. 15. Z je tu znani, R pa spremenljivi upor. Ko priključimo napetost, moramo R tako naravnati, da dobimo na zaslonu črto. (Tedaj je $U_R = U_Z$.) Krajišči črte označimo s svinčnikom in začrtamo pravokotnik, ki ima to črto za diagonalo. Nato zamenjamo upor Z s kondenzatorjem ali tuljavo, katerega C oz. L hočemo ugotoviti, in spet R tako naravnamo, da pade krivulja na zaslonu v začrtani pravokotnik. Zdaj je navidezni upor kondenzatorja oz. tuljave enak R in lahko dobimo C oz. L iz obrazcev:

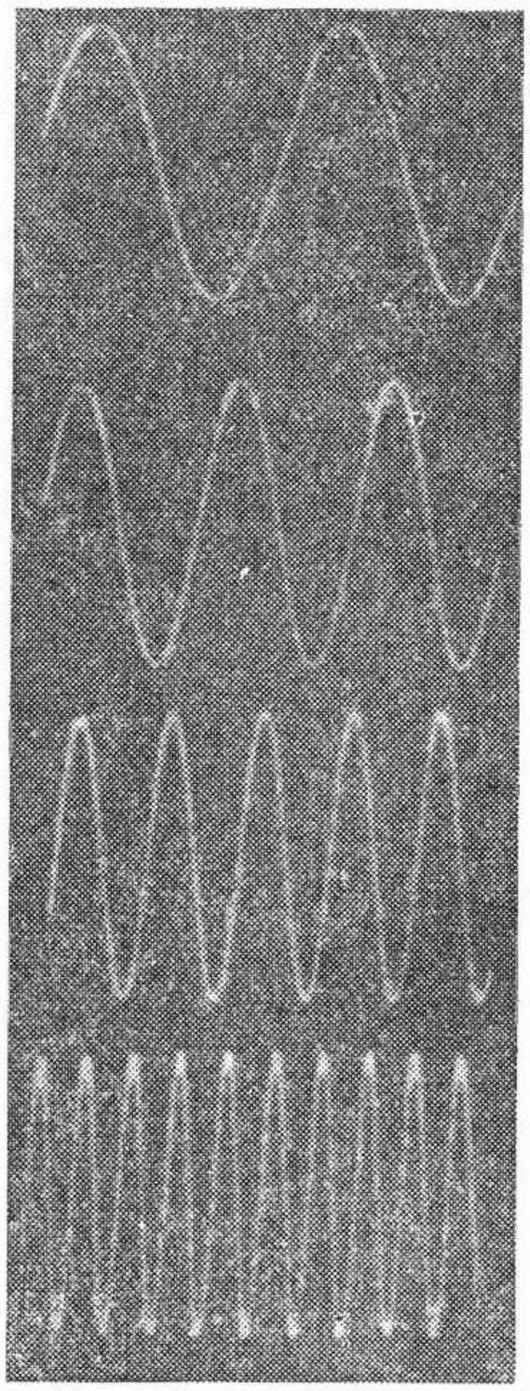
$$C = \frac{1}{2 \pi \nu R} \text{ oz. } L = \frac{R}{2 \pi \nu}$$

c) *Primerjanje frekvenc*

Na odklonska kondenzatorja priključimo napetosti različnih frekvenc! Če dobimo na zaslonu zaključeno krivuljo, sta frekvenci v razmerju celih števil, v nasprotnem primeru je krivulja nezaključena. Poleg frekvenc je za obliko krivulje odločilen tudi fazni premik in amplituda.

Obratno moremo iz oblike krivulje na zaslonu določiti razmerje frekvenc obeh napetosti. Če poznamo eno izmed frekvenc, lahko potem določimo še drugo.

Najenostavneje storimo to s prevesnikom. Na vodoravni odklonski kondenzator priključimo prevesnik, na vertikalnega pa izmenično napetost neznane frekvence. Če je neznana frekvenca enaka prevesni, dobimo na zaslonu eno samo periodo. Če pa je neznana frekvenca 2, 3, 4 . . .-krat večja od prevesne,



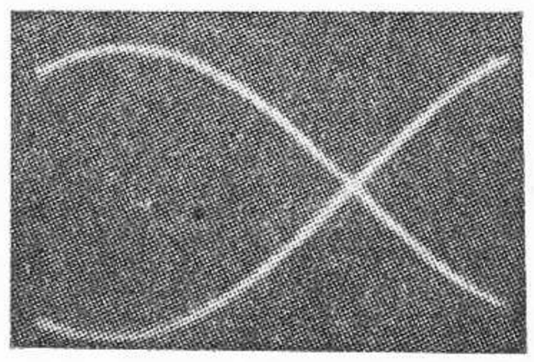
$\nu_x = 2\,\nu_p$

$\nu_x = 3\,\nu_p$

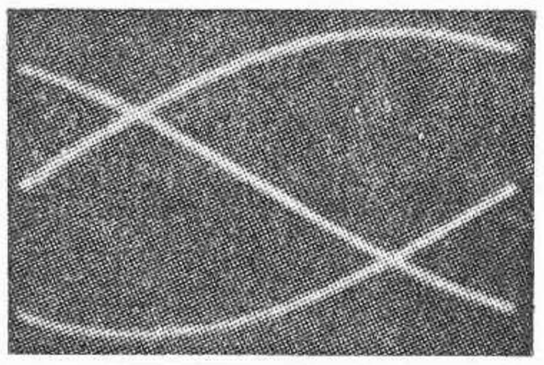
$\nu_x = 5\,\nu_p$

$\nu_x = 10\,\nu_p$

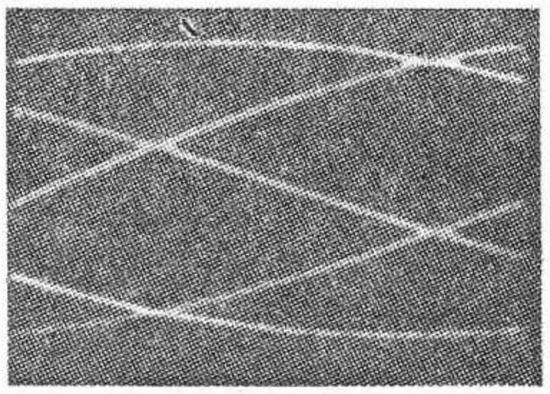
$\nu_x = \nu_p/2$



$\nu_x = \nu_p/3$



$\nu_x = \nu_p/5$



a *b*

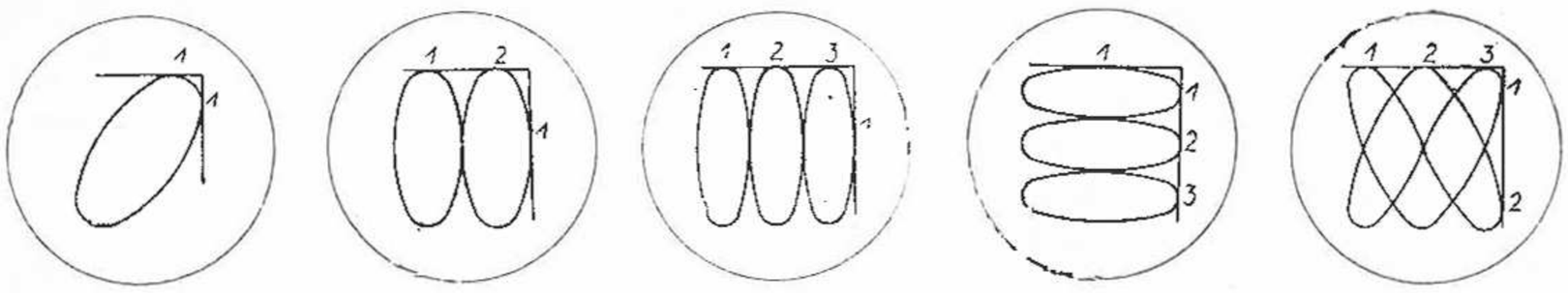
Sl. 16. Primerjava neznane frekvence s prevesno: a) merjena frekvenca je celoštevilski mnogokratnik prevesne, b) merjena frekvenca je del prevesne (koliki del, ugotovimo ob navpičnem robu slike)

vidimo na zaslonu 2, 3, 4 . . . periode (sl. 16). Splošno velja: $\nu_y = n\,\nu_p$ (n je število period, ki jih vidimo na zaslonu). Ta obrazec velja tudi tedaj, če je opazovana frekvenca manjša od prevesne. Seveda vidimo v tem primeru na zaslonu le del krivulje.

Primerjavo izvedemo lahko tudi z Lissajousovimi krivuljami. Tu je prevesna napetost nadomeščena npr. z omrežno napetostjo. Razmerje frekvenc obeh napetosti ν_y/ν_x je enako razmerju števil dotikališč vodoravne in navpične tangente s krivuljo (sl. 17).

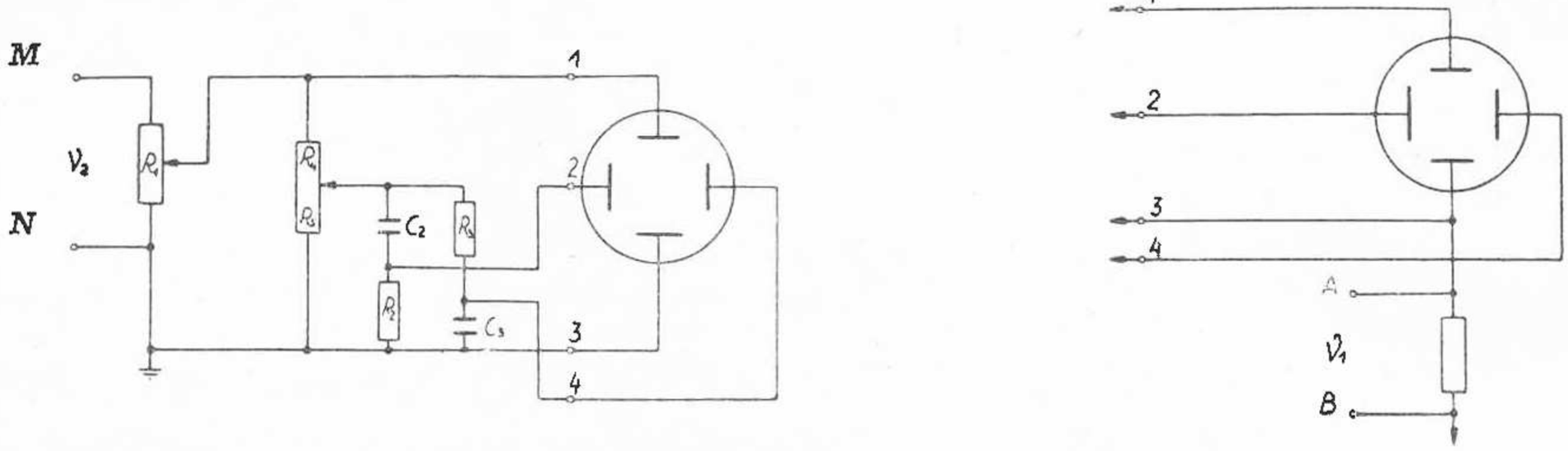
Ta metoda je uporabna, če je razmerje frekvenc majhno ali enostavno (npr. 3/2, 3/4, 7/4 . . .), drugače je težko natančno prešteti vsa dotikališča. V takem primeru je ugodno uporabiti krožno odklanjanje. »Časovno os« rišeta dve med seboj pravokotni enaki sinusni napetosti, ki sta premaknjeni v fazi za 90°.

Vezje kaže sl. 18 a. Med sponki M in N damo izmenično napetost, katere frekvenca določa obhodni čas krožeče točke. Potenciometer R_1 rabi za uravnavanje polmera, kombinaciji R_2, C_2 in R_3, C_3 pa za uravnavanje faznega premika med horizontalno in vertikalno napetostjo. S potenciometroma R_4 in R_5 izrav-



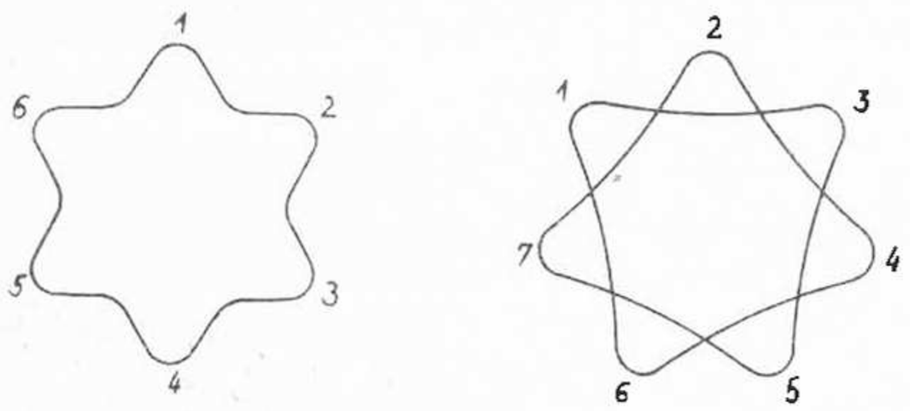
Sl. 17. Primerjava frekvenc z Lissajousovimi krivuljami
a) $\nu_y = \nu_x$, b) $\nu_y/\nu_x = 2$, c) $\nu_y/\nu_x = 3$, č) $\nu_y/\nu_x = 1/3$, d) $\nu_y/\nu_x = 3/2$

navamo odklonsko občutljivost. — Na sl. 18 b vidimo, kako priključimo preiskovano napetost., Napetost je priključena med odklonski sistem in anodo, kar pomeni, da s to napetostjo spreminjamo anodno napetost, s tem pa tudi občutljivost odklonskih kondenzatorjev. Zaradi tega dobi krožnica izbokline, in



Sl. 18. a) Vezje za prikaz krožnega odklanjanja. R_1 določa polmer kroga. Z R_4 R_5 uravnavamo obliko krivulje. b) Priključek merjene frekvence na odklonski kondenzator

sicer po eno izboklino na vsako periodo preiskovane napetosti. Število izboklin torej pove razmerje frekvence preiskovane napetosti in frekvence krožeče točke. Na sl. 19 a je to razmerje $\nu_1/\nu_2 = 6$. Če nastane dvojna, trojna ... krivulja moramo deliti število izboklin z dve, tri ... (sl. 19 b).



Sl. 19. Oscilograma, dobljena z vezjem po sl. 18:
a) $\nu_1/\nu_2 = 6$, b) $\nu_1/\nu_2 = 7/2$

7. *poskus.* Na vertikalni odklonski kondenzator priključimo napetost nekaj sto hertzov (iz tonskega generatorja) in merimo frekvenco tako, da jo primerjamo a) s prevesno napetostjo, b) z omrežno napetostjo na horizontalnem odklonskem kondenzatorju.

č) *Sestavljena nihanja*

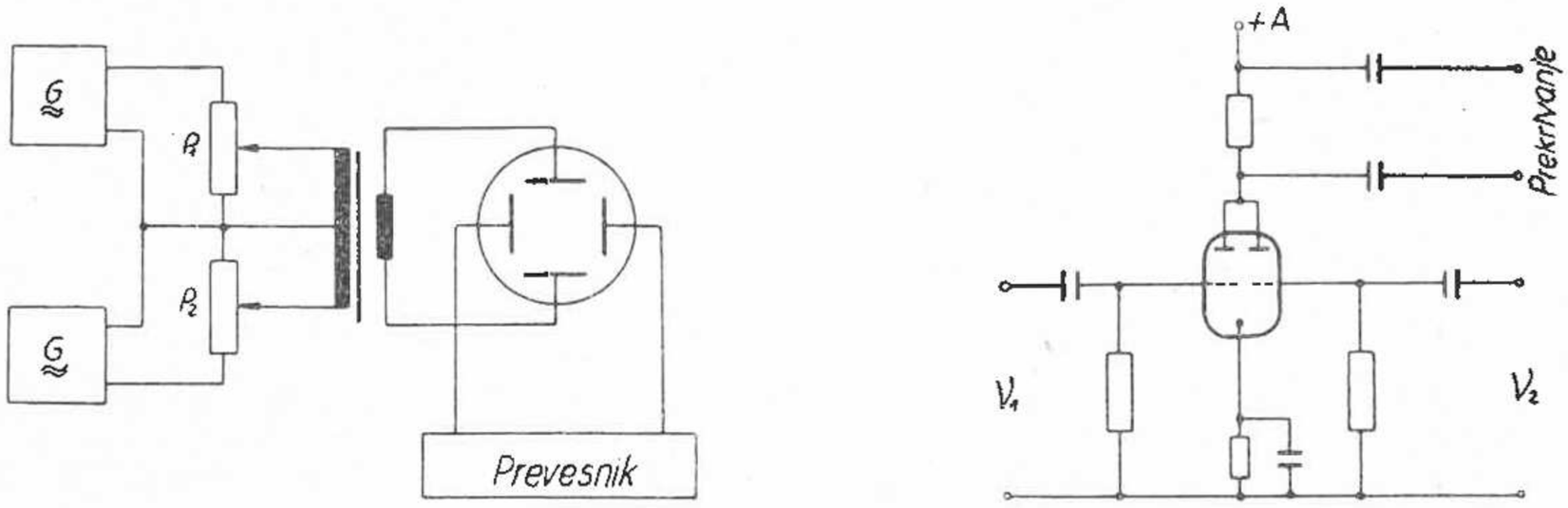
Na katodnem oscilografu moremo zelo nazorno pokazati sestavljanje nihanj. V ta namen moramo vključiti prevesnik, obe sestavljajoči nihanji pa priključiti na vertikalni odklonski kondenzator (sl. 20). Pri pouku bomo seveda

zaradi nazornosti prikazali najprej vsako krivuljo zase in končno obe skupaj. Poučni so predvsem naslednji primeri sestavljanja dveh sinusnih napetosti:

1. Enaki frekvenci in enaki amplitudi pri fazni razliki $\Delta\varphi = 0$;
2. enaki frekvenci in različni amplitudi prav tako pri fazni razliki $\Delta\varphi = 0$;
3. enaki frekvenci in enaki amplitudi pri fazni razliki $\Delta\varphi = 180^0$;
4. malo različni frekvenci in enaki amplitudi (utripanje);
5. različni frekvenci in različni amplitudi (modulacija).

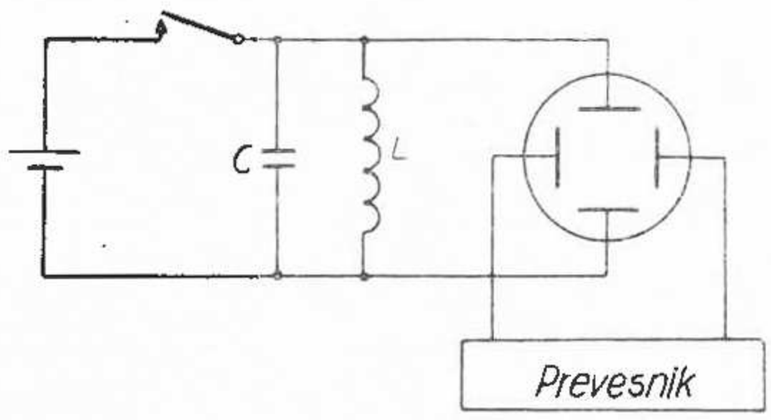
d) *Dušena nihanja*

Za prikaz dušenega nihanja lahko uporabimo vezavo po sl. 21. Pri hitro se ponavljajočem sklepanju stikala (v ta namen lahko uporabimo npr. električni

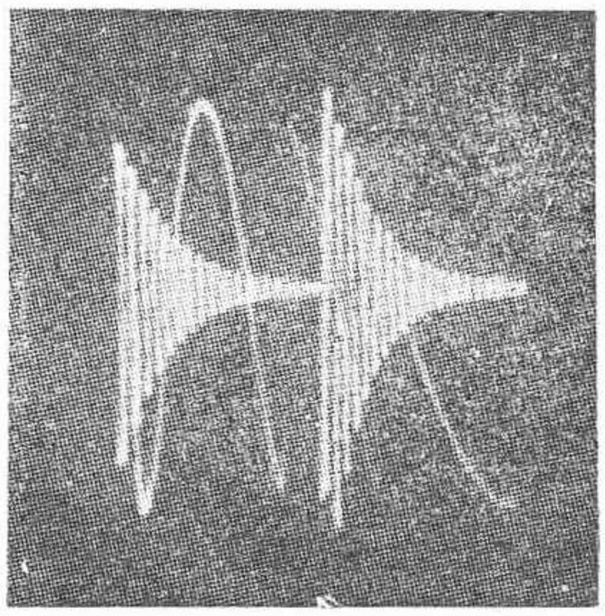


Sl. 20. Vezje za sestavljanje dveh nihanj: a) nizkofrekventnih, b) visokofrekventnih

zvonec) se kondenzator periodično polni, pri prekinjanju pa prazni, vendar ne hipoma, temveč vzbudi pri tem nihajni krog, v katerem dobimo nihanje. Ker je na horizontalnem odklonskem kondenzatorju vključen prevesnik, dobimo na zaslonu vrsto dušenih nihanj (sl. 22). Število teh nihanj lahko reguliramo na gumbu za uravnavanje prevesne frekvence.



Sl. 21. Vezje za prikaz dušenega nihanja



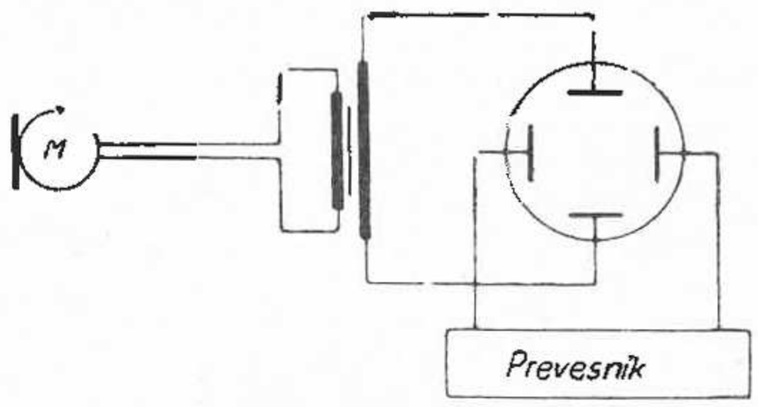
Sl. 22. Slika dušenega nihanja

Namesto prekinjanja z zvoncem uporabimo lahko tudi prevesnik s tlivko V ta namen pošljemo tok, ki ga dobimo pri praznjenju prevesnega kondenzatorja, skozi primarno tuljavo transformatorja, katerega sekundarna tuljava tvori z drugim kondenzatorjem nihajni krog. Napetost med ploščama tega kondenzatorja potem opazujemo na zaslonu.

8. poskus. Sestavimo vezje po sl. 21! Priključimo konca tuljave na vertikalni odklonski kondenzator; spreminjajmo C in L nihajnega kroga in opazujmo frekvenco (gostoto valov)! Povečujmo ohmski upor nihajnega kroga in opazujmo dušenje!

e) *Proučevanje zvočnih pojavov*

Na katodnem oscilografu lahko opazujemo tudi nihanje raznih zvočil. Mikrofon priključimo — po potrebi preko transformatorja zaradi ojačenja — na vertikalni odklonski kondenzator, medtem ko služi za horizontalni odklon prevesnik, ki ga moramo sinhronizirati z zvokom (sl. 23).

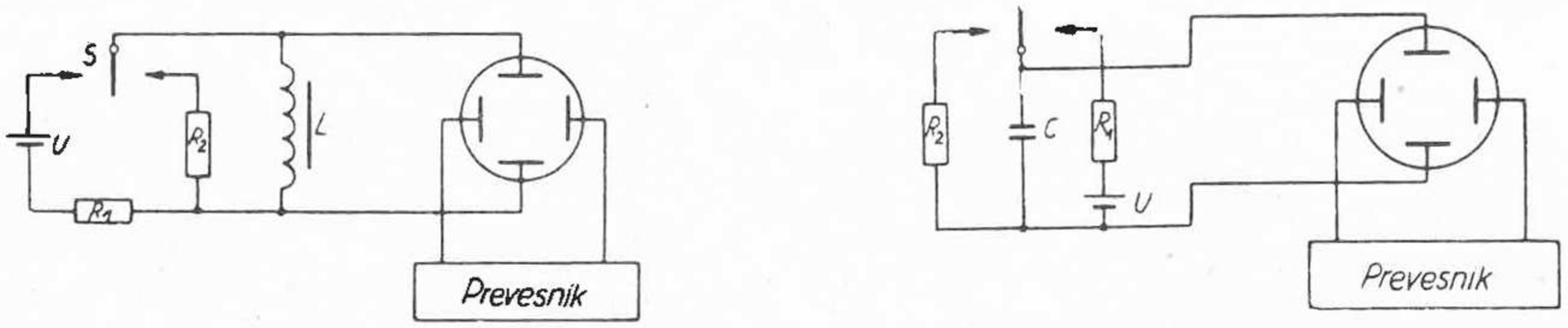


Sl. 23. Vezje za prikaz zvočnih krivulj

9. poskus. Zapojmo v mikrofon samoglasnike a, e, i, o, u ter šumnika š in ž! Z reguliranjem prevesnika skušajmo dobiti čisto in mirno sliko! b) Žvižgajmo pred mikrofon! Ali se krivulja mnogo razlikuje od sinusne krivulje? c) Opazujmo krivulje zvoka, ki ga dajo glasbene vilice na resonančni omarici, različne piščali itd.!

f) *Pojavi pri vključitvi in izključitvi enosmernega električnega toka*

V krogu z ohmskim uporom zraste enosmerni tok pri vključitvi hipoma do maksimalne vrednosti, pri izključitvi pa prav tako naglo pade na vrednost nič. Drugače pa je, če je v krogu vključena tuljava ali kondenzator. V krogu s tuljavo se pri vključitvi enosmernega toka inducira v tuljavi napetost, ki je



Sl. 24. Vezje za prikaz prehodnih pojavov pri vključitvi in izključitvi enosmernega toka: a) pri vključeni tuljavi, b) pri vključenem kondenzatorju. Kot stikalo lahko služi električni zvonec

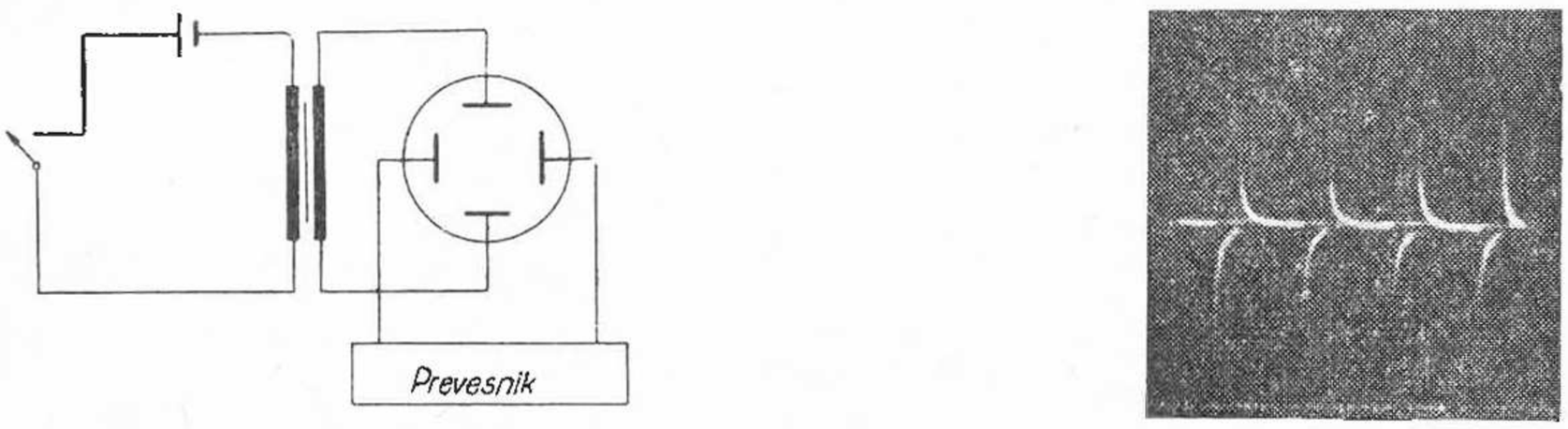
usmerjena proti gonilni napetosti. Zaradi tega ne doseže tok takoj svoje maksimalne vrednosti, ampak raste eksponentno: $I = I_0\left(1 - e^{-\frac{R}{C}t}\right)$. Pri izključitvi toka pa se inducira v tuljavi napetost, ki je enako usmerjena kot gonilna; zato pada napetost eksponentno: $I = I_0\, e^{-\frac{R}{C}t}$. Ta pojava moremo nazorno opazovati na zaslonu katodnega oscilografa pri stiku, ki ga kaže sl. 24.

Kar velja pri tuljavi za tok, velja pri kondenzatorju za napetost. Le-ta raste po vključitvi eksponentno: $U = U_0\left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}\right)$, po izključitvi pa spet eksponentno pada na nič: $U = U_0\, e^{-\frac{1}{RC}t}$.

10. poskus. a) Na zaslonu katodnega oscilografa opazujmo hitrost naraščanja in pojemanja toka pri odpiranju in zapiranju stikala, enkrat v odvisnosti od R, drugič v odvisnosti od L oz. C (vezava po sl. 24 a, b). V prvem primeru moramo hkrati z R spreminjati tudi napetost, da se tok ne spremeni, ker bi bilo s tem otežkočeno primerjanje tokovnih krivulj. L pa spreminjamo s tem, da

počasi potiskamo železno jedro v tuljavo. — Poskus pokaže: v krogu tuljave narašča tok tem hitreje, čim večja je časovna konstanta R/L; v kondenzatorskem krogu pa raste napetost tem hitreje, čim manjša je časovna konstanta RC.

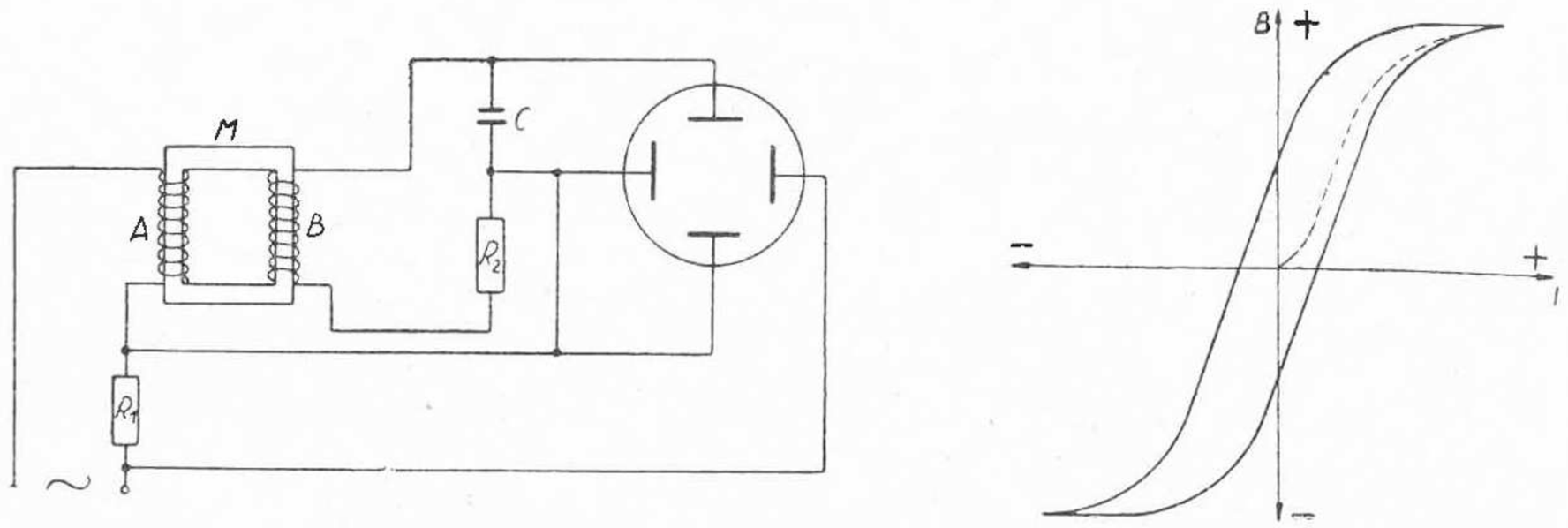
b) Konca sekundarne tuljave transformatorja priključimo na vertikalni odklonski kondenzator in opazujmo krivuljo inducirane napetosti med koncema sekundarne tuljave pri zapiranju in odpiranju stikala (sl. 25)!



Sl. 25. Vezje za prikaz inducirane napetosti pri zapiranju in odpiranju stikala (npr. električnega zvonca) in dobljeni oscilogram

g) *Histerezna krivulja*

Histerezna krivulja kaže odvisnost magnetne poljske gostote B v sekundarni tuljavi transformatorja od toka I v primarni tuljavi. Ko večamo I, se veča tudi B. Ko pa nato I zmanjšujemo, se manjša tudi B. Toda pri $I = 0$ B ni nič,



Sl. 26. Vezje za prikaz histerezne krivulje ter slika krivulje

ampak ima neko določeno vrednost; jedro je še vedno magnetno (remanentna poljska gostota). Ko pa nato spet I večamo, se veča tudi B. V eni periodi izmeničnega toka dobimo ravno celo zanko.

Shemo, s katero dobimo histerezno zanko na zaslonu katodne cevi, vidimo na sl. 26. Ploščina zanke je sorazmerna z energijo, ki se v eni periodi porabi pri magnetenju jedra. Če je temperatura jedra stalna, oddaja jedro okolici to energijo kot toploto.

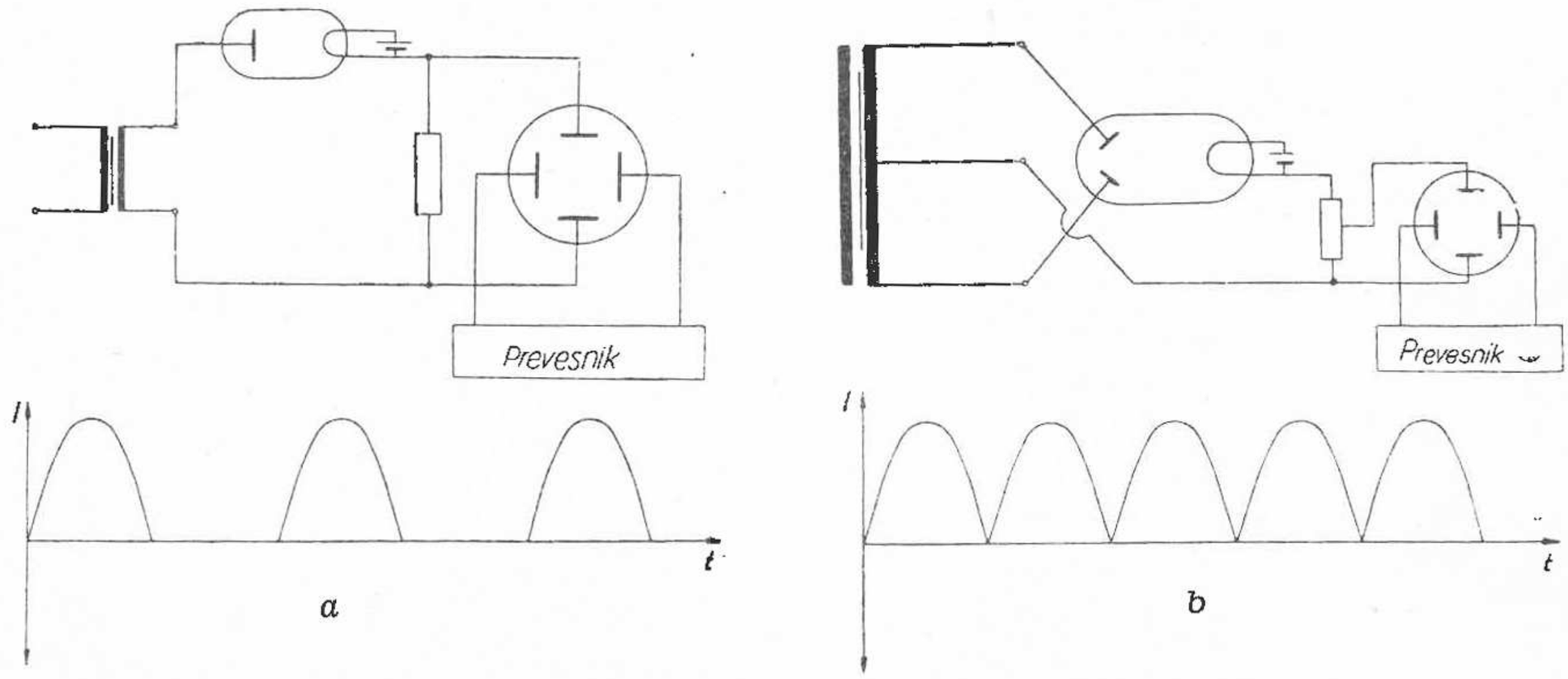
h) *Dioda in trioda*

Zelo nazorno lahko pokažemo na katodnem oscilografu usmerjevanje diode (sl. 27 a). Z duodiodo (sl. 27 b) izkoristimo obe polovici periode izmeničnega toka.

Shema na sl. 28 pa kaže vezje za prikaz karakteristike triode, tj. krivulje, ki kaže odvisnost $I_a\,(U_m)$. Na zaslonu katodne cevi lahko opazujemo, kako se spreminja karakteristika, če spreminjamo kurilni tok ali pa zunanji upor v anodnem krogu triode.

i) *Merjenje specifičnega naboja elektrona*

Z istočasnim elektrostatičnim in elektromagnetnim odklanjanjem elektronskega curka lahko ocenimo specifični naboj elektronov.* Treba je le napetost na odklonskem kondenzatorju ali tok v tuljavi tako uravnati, da je električna sila na elektron naprotno enaka magnetni sili: $F_e = -F_m$. S tem se odklon curka izravna in piko vidimo spet v sredini zaslona. Z izenačenjem električne

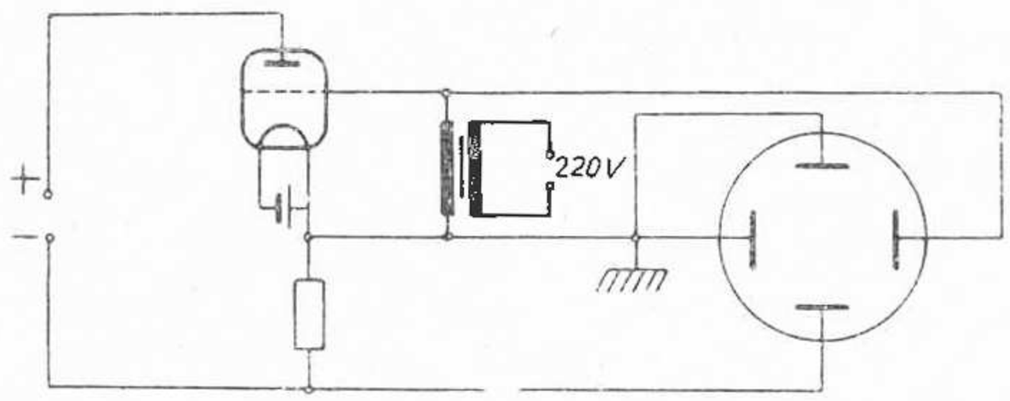


Sl. 27. Prikaz usmerjanja izmeničnega toka: a) z diodo, b) z duodiodo

sile ($F_e = eU/d$) z magnetno ($F_m = Bev$) ter z upoštevanjem, da je kinetična energija elektrona $mv^2/2$ enaka delu, ki ga je morala opraviti anodna napetost (eU_a), dobimo torej:

$$\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2\,B^2\,U_a}$$

Tu moramo torej poznati anodno napetost katodne cevi, razdaljo odklonskih plošč, dolžino tuljave in število ovojev na njej ($B = \mu_0\, n\, I/l$. Skrben račun da navadno pravilno velikostno stopnjo 10^{11} As/kg (prava vrednost pa je $1{,}76.10^{11}$ As/kg).



Sl. 28. Vezje za prikaz karakteristike triode

Navedeni primeri kažejo, kako uporaben je lahko katodni oscilograf v šoli. S tem pa še daleč niso izčrpane vse možnosti, ki so skoraj neomejene (zlasti pri električnem nihanju). Toda osnova je tu in na tej osnovi ne bo težko graditi dalje.

Franc Kvaternik

Literatura:

H. Carter: Kleine Oszillographenlehre, Eidhoven (Holland) 1960.
H. W. Fricke: Der Katodenstrahloszillograph, Leipzig 1960.
M. Paić: Fizička mjerenja III. del, Zagreb 1957.
Vaje iz fizike, Ljubljana 1947.

* Samo z elektrostatičnim odklanjanjem tega ni mogoče storiti.

DOMAČE VESTI

REPUBLIŠKO TEKMOVANJE V MATEMATIKI

V nedeljo, 26. aprila 1964 je bilo 8. tekmovanje mladih matematikov v Ljubljani. Letošnjega tekmovanja se je udeležilo 111 dijakov iz 26 srednjih šol v Sloveniji, in sicer iz Ljubljane 43, Maribora 11, Škofje Loke 10, Novega mesta 7, Nove Gorice 6, Kranja 6, Kočevja 4, Kopra 4, Raven 4, Ptuja 3, Kamnika 3, Celja 3, Postojne 2, Črnomlja 2, Idrije 2 in iz Murske Sobote 1. Po posameznih razredih je tekmovalo: 30 v prvem razredu, 31 v drugem, 32 v tretjem in 18 v četrtem razredu. Dijaki so imeli dve uri in pol časa za reševanje naslednjih nalog:

Naloge za prvi razred

1. Za koliko odstotkov več blaga je možno kupiti, če se cene znižajo za 20 %?

2. Vsota štirih števil je 396. Če prištejemo k prvemu 5, od drugega odštejemo 5, tretje pomnožimo s 5, četrto pa delimo s 5, dobimo štiri enaka števila. Katera so ta števila?

3. Razreši sistem enačb

$$ax + by + cz = \tfrac{1}{2}[(a+b)^2 + (a+c)^2 + (b+c)^2] - (a^2 + b^2 + c^2)$$

$$x : y : z = \frac{1}{a^2} : \frac{1}{b^2} : \frac{1}{c^2}$$

4. V kvadratu s stranico a in ogljišči A, B, C, D veži ogljišče A z razpoloviščem stranice CD, ogljišče B z razpoloviščem stranice AD, ogljišče C z razpoloviščem stranice AB ter ogljišče D z razpoloviščem stranice BC! Kolika je stranica malega kvadrata, ki pri tem nastane, in kolikokrat je njegova ploščina manjša od ploščine prvotnega kvadrata?

Naloge za drugi razred

1. Dana je kvadratna funkcija $y = x^2 + px + q$. Določi p in q tako, da ima ta funkcija pri $x = q$ minimum $y = (p+q)^2$!

2. Dokaži, da velja enakost

$$\frac{1}{\log_2 a} + \frac{1}{\log_3 a} + \frac{1}{\log_4 a} = \frac{1}{\log_{24} a}$$

3. V polkrog s polmerom $R = 4$ cm včrtaj največji možni krog ter izračunaj polmer tistega kroga, ki se dotika danega polkroga in včrtanega kroga!

4. Ogljišča osnovne ploskve pravilne tristranične prizme so A, B, C, rob AB = a. Skozi točke D, E, F, ki leže vsaka na drugem stranskem robu in so od osnovne ploskve oddaljene za a, $(1 + \sqrt{3})$ a, $(1 + 2\sqrt{3})$ a, položi ravnino. Izračunaj površino in prostornino nastalega telesa z ogljišči A, B, C, D, E, F!

Naloge za tretji razred

1. Dan je polinom $f(x) = x^4 + ax^3 - ax^2 - ax + 1$ z realnim parametrom a.
a) Za katere vrednosti parametra a je ta polinom popoln kvadrat trinoma?

b) Kdaj ima ta polinom samo realne in kdaj samo kompleksne korene?
c) Poišči ničle tega polinoma za vrednost $a = -8\frac{1}{2}$.

2. Določi v enačbi

$$\operatorname{tg} x + k \operatorname{tg} 2x + k \operatorname{tg} 3x + \operatorname{tg} 4x = 0$$

število k tako, da ji bo kot $x = \frac{\pi}{3}$ zadoščal in nato reši enačbo!

3. Določi kote x med $0 - 180^0$, ki ustrezajo enačbi

$$\frac{\operatorname{tg} 3x}{\operatorname{tg} x} > 0$$

4. V pravokotni trikotnik je včrtan polkrog, ki se dotika obeh katet in ima premer na hipotenuzi. Ves lik se zavrti za 360^0 okrog hipotenuze. Pri tem omejujeta kroga, ki ju zarišeta dotikališči na nastali krogli, dve kapici, katerih površini sta v razmerju 1 : 2. V kolikem razmerju sta ustrezna krogelna odseka?

Naloge za četrti razred

1. Določi naslednjo vsoto

$$1^2 - 2^2 + 3^2 - 4^2 + \ldots + (-1)^{n-1} n^2$$

pri čemer je n poljubno naravno število.

2. Moderno naselje je omreženo z m cestami v smeri zahod—vzhod in z n cestami v smeri sever—jug. Na koliko različnih načinov lahko prideš iz skrajnega jugozahodnega križišča v skrajno severozahodno križišče teh cest, če hodiš ves čas le proti severu ali proti vzhodu.

3. Nožišče stolpa na hribu vidimo iz neke točke A v dolini pod elevacijskim kotom α, iz točke B, ki je d metrov navpično nad A, pa pod kotom β. Iz točke B vidimo stolp pod kotom γ. Določi s temi podatki višino stolpa!

4. Elipsi z enačbo $b^2 x^2 + a^2 y^2 = a^2 b^2$ očrtaj kvadrat in izrazi ploščino tega kvadrata z a in b.

V kakšnem razmerju sta polosi elipse, če je ploščina elipse enaka polovici ploščine očrtanega kroga?

Komisija pod vodstvom univerzitetnega profesorja dr. Ivana Vidava je podelila naslednje nagrade:

Prvo nagrado so prejeli

Pisanski Tomo, prvošolec 2. gimnazije v Ljubljani
Globevnik Josip, četrtošolec gimnazije Ljubljana-Vič
Vrščaj Stane, četrtošolec gimnazije Ljubljana-Vič
Megušar Janez, prvošolec TŠ za elektro stroko v Ljubljani

Drugo nagrado so prejeli:

Jakopin Primož, prvošolec 2. gimnazije v Ljubljani
Tomažič Rudi, tretješolec gimnazije v Novi Gorici
Verbovšek Vladimir, četrtošolec 1. gimnazije v Ljubljani

Tretjo nagrado so prejeli:

Batagelj Vladimir, prvošolec gimnazije v Novi Gorici
Stanovnik Tine, prvošolec 2. gimnazije v Ljubljani
Simić Nikola, prvošolec TŠ za elektro stroko v Ljubljani
Vencelj Francka, drugošolka gimnazije v Kranju
Curk Mirko, drugošolec gimnazije v Kopru
Seliškar Marjan, četrtošolec gimnazije v Kranju
Beber Franc, tretješolec Poljanske gimnazije v Ljubljani

Knjižno nagrado so prejeli:

Birk Janez, prvošolec gimnazije v Kranju
Lindav Janez, prvošolec gimnazije v Škofji Loki
Bogataj Ludvik, prvošolec gimnazije v Murski Soboti
Kavrečič Vlado, prvošolec TŠ elektro stroke v Ljubljani
Šolmajer Tomaž, prvošolec gimnazije v Novem mestu
Pečar Slavko, prvošolec 1. gimnazije v Ljubljani
Butina Boris, tretješolec 2. gimnazije v Ljubljani
Kramar Edvard, drugošolec gimnazije v Novem mestu
Stare Gojko, tretješolec 1. gimnazije v Ljubljani
Kosec Milena, drugošolka gimnazije Ljubljana-Vič
Felc Ivan, drugošolec gimnazije v Idriji
Jack Artur, prvošolec 1. gimnazije v Ljubljani

Za zvezno tekmovanje v Beogradu, ki je bilo 10. maja so bili izbrani Josip Globevnik, Stane Vrščaj, Vladimir Verbovšek, Marjan Seliškar, Tomažič Rudi, Franc Beber in Boris Butina.

Stane Vrščaj in Marjan Seliškar sta dosegla prvo mesto, Josip Globevnik drugo, Marjan Seliškar pa je bil pohvaljen.

Za izreden uspeh obeh dijakov z Viča je v veliki meri zasluga profesorice Pilgramove, ki jih je vodila in pripravljala vsa štiri leta njihovega gimnazijskega študija.

Nagrajenci na republiškem tekmovanju so prejeli praktične nagrade. Prve in druge nagrade je svečano podelil republiški sekretar za šolstvo Boris Lipužič. Tretje nagrade je prispeval CK ZM Slovenije, knjižne nagrade pa Mladinska knjiga. Vsem se Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS iskreno zahvaljuje.

Stanko Uršič

REPUBLIŠKO TEKMOVANJE V FIZIKI

Prvo republiško tekmovanje v matematiki za srednješolce je bilo v Sloveniji l. 1950, prvo v fiziki pa l. 1951, torej v rojstnem letu našega Obzornika (gl. Obzornik za matematiko in fiziko 1951/2, str. 76). V naslednjih letih tekmovanja iz matematike sicer niso bila vsako leta, a so se obdržala, tekmovanja iz fizike pa sploh niso bila nikdar več do letos. Glede na položaj fizike kot šolskega predmeta, glede na skrajno pomanjkljivo opremo šolskih fizikalnih zbirk in glede na izredno pičli kader za pouk fizike je to mogoče razumeti. Prav počasi so se razmere vendarle boljšale, čeprav smo še danes zelo daleč od zadovoljivega stanja. A potrebe po fizikih terjajo dejanj. Tako je spričo teh potreb in spričo zelo lepih uspehov naših mladih matematikov v državnem in tudi v mednarodnem merilu Društvo matematikov, fizikov in astronomov SR

Slovenije oklevaje le sklenilo, da bo letos 17. maja priredilo v Ljubljani republiško tekmovanje iz fizike za srednješolce.

Vesti s terena niso obetale velike udeležbe, prav resen strah pa je bil tudi za kvaliteto pričakovanih izdelkov.

Strah pred neznatno udeležbo je minil v nedeljo, 17. maja ob 10. uri, ko se je v avli II. gimnazije v Šubičevi ulici zbralo 35 tekmovalcev (34 gimnacijcev in 1 s Strokovne šole za elektrotehniško stroko), in sicer 11 za drugi razred, 15 za tretji razred, 9 za četrti razred (med vsemi celo 7 deklet). Ti so se namenili le v duhu metati krogle, biti kozmonavti, podeljevati impulze, dirigirati energije različnih oblik, ugotavljati različna gibanja itd., sploh take stvari, ki jih v praksi delajo »fizični« športniki, in še druge stvari. Skratka, to so bili »fizikalni« športniki.

Ker zaradi majhnega presledka med objavo in izvedbo tekmovanja nihče ni pričakoval posebej treniranih tekmovalcev, seveda vrhunskih kvalitet nismo mogli pričakovati. Zato je posebna komisija profesorjev pripravila naloge srednje teže. Evo jih:

II. razred: 1. Kamen z maso 75 kg pade z višine 50 m na tla. Za delo zoper zračni upor se pri padcu porabi 3,9 % spremembe njegove potencialne energije. S kolikšno hitrostjo prileti kamen na tla? Kolika je v povprečju sila zračnega zaviranja? Trda tla ustavijo kamen v 0,5 s. S koliko povprečno silo ga ustavljajo? ($g = 10\ m/s^2$) — 2. Avto z maso 800 kg vozi z močjo 20 kW navzgor po klancu s strmino 5 % ($tg\ \alpha = 0{,}05$, α naklonski kot). Kolika bi bila njegova hitrost, če ne bi bilo upora ($g = 10\ m/s^2$) — 3. Ploščat lesen valj z višine $h = 0{,}5$ m in gostoto $\varrho_l = 0{,}6\ kg/dm^3$ plava na vodi z gostoto $\varrho_v = 10^3\ kg/m^3$ v posodi, ki ima dvakrat tolik vodoravni prerez kot je vodoravni prerez valja (S). Koliki del valja je pod gladino vode? Kaj se zgodi s skupno potencialno energijo vode in valja, če valj malo bolj potisnemo v vodo ali pa ga malo potegnemo iz vode? Odgovor utemelji z energijskim izrekom! Koliko dela je treba, da potisnemo valj iz ravnotežnega položaja v vodo za toliko, da je vrhnja ploskev valja v isti ravnini z gladino vode? ($g = 10\ m/s^2$) — 4. Satelit z maso ene tone kroži okoli Zemlje nad ekvatorjem tako, da je za opazovalca na Zemlji vedno nad istim krajem. Na kateri višini je to mogoče? S kolikšno energijo spravimo ta satelit s površja Zemlje na ta tir? ($R = 6400$ km, $g = 10\ m/s^2$, $k = 6{,}67.10^{-11}\ Nm^2/kg^2$).

III. razred: 1. Na vijačni vzmeti visi utež z maso $m = 20$ g in niha gor in dol s frekvenco $\nu = 2\ s^{-1}$ ter amplitudo $A = 5$ cm. Kolik je koeficient vzmeti? Kolika je kinetična energija mase in prožnostna energija vzmeti, ko je utež za 3 cm oddaljena od ravnovesne lege? — 2. Gasilski avto vozi mimo nas enakomerno ter daje signale s sireno. Ko prihaja proti nam, slišimo ton s frekvenco 440 Hz, ko pa se od nas odaljuje, slišimo frekvenco 410 Hz. Hitrost zvoka je 343 m/s. S kolikšno hitrostjo vozi avto? Kolika je frekvenca tona, ki ga daje sirena? — 3. V betonskem zbiralniku je 10 m^3 vode s temperaturo 18° C. Površina sten je 30 m^2, debelina pa 25 cm. Koliko toplote steče skozi stene na uro, če je zunanja temperatura —3° C? Toplotna prevodnost betona je 1,1 W/m.st. Koliko moč bi morala imeti toplotna naprava, ki bi vzdrževala stalno prvotno temperaturo? Koliko bi stala na dan energija za to, če je cena energije 15 din/kWh? — 4. Bikonveksna leča z goriščno razdaljo $f = 4$ cm in konkavno zrcalo s krivinskim polmerom $r = 12$ cm sta nameščena v razdalji 14 cm tako, da imata skupno optično os. Zunaj te razdalje, oddaljen od leče za 6 cm, stoji 2 cm visok predmet. Načrtaj sliko, v katero preslika ta optični sistem predmet! Posamezne faze konstrukcije kotroliraj z računom!

IV. razred: 1. Miliampermeter z notranjim uporom 5 Ω ima merilno območje od 0 do 15 mA. Kako moramo priključiti dodatni upor in kako velik, da bomo lahko merili z istim instrumentom a) tokove od 0 do 0,15 A, b) napetosti od 0 do 150 V? — 2. Koliko gramov bakra se izloči pri prehodu 10^{20} elektronov skozi raztopino bakrovega sulfata ($CuSO_4$)? ($e_0 = 1{,}6.10^{-19}$ As, $A_{Cu}/A_H = 64$, $N = 6{,}0.10^{26}\ kmol^{-1}$, $F = 96{,}5.10^6$ As/kmol). — 3. Okrog vodoravne osi vrtljiva magnetna igla je na nekem mestu v ravnovesju pod kotom 60° proti horizontu. Če na zgornji konec igle obesimo utež 1 g, se igla postavi pod kotom 30° proti horizontu. Koliko utež bi morali obesiti

na zgornji konec, da bi se postavila igla horizontalno? — 4. V katodni cevi sta odklonski ploščici dolgi 6 cm in sta 0,5 cm narazen. Na ploščici damo napetost 2 V, anodna napetost na cevi pa je 1000 V. Koliko časa letijo elektroni v anodnem curku med odklonskima ploščicama in za koliko se odklonijo? Za koliko se curek odkloni na zaslonu, ki je 10 cm oddaljen od konca odklonskih ploščic?

Izdelki so bili malo manj zadovoljivi v II. razredu zaradi relativno nekaj težjih nalog in zaradi kratke dobe fizikalnega pouka za te tekmovalce.

Boljši rezultati so bili v III. razredu, kjer so bile naloge nekoliko bolj tipične šolske narave.

Nekaj šibkejši uspeh je bil tudi v IV. razredu, zlasti pri dveh nalogah (2. in 3.), ki sta bili sicer zelo lahki, a ne tipične šolske narave.

V naslednjih letih pričakujemo seveda znatno večjo udeležbo in boljših rezultatov ob večji zahtevnosti. Za prvič pa smo lahko s tem, kar je bilo, še kar zadovoljni.

Pa poglejmo uspeh po razredih in šolah:

II. razred: 2. nagrada Detela Martin (II. gimnazija v Ljubljani, 3. nagrada Barbič Lenart in Brešan Metod (oba z gimnazije v Novi Gorici).

III. razred: 1. nagrada Stare Gojko (I. gimnazija v Ljubljani) in Tomažič Rudi (Gimnazija v Novi Gorici), 2. nagrada Slak Janez (I. gimnazija v Ljubljani), 3. nagrada Kozak Jernej (II. gimnazija v Ljubljani) in Vovko Andrej (I. gimnazija v Ljubljani).

IV. razred: 1. nagrada Brajnik Cveto (I. gimnazija v Ljubljani), 3. nagrada Rot Lojze (Gimnazija v Novi Gorici) in Lončar Franc (I. gimnazija v Ljubljani).

Večina ostalih tekmovalcev v II. razredu je tesno za nagrajenimi. Prav tako se vrsti blizu za nagrajenimi tudi večji del tekmovalcev v III. razredu (3 so odstopili). V četrtem razredu pa je med nagrajenimi in ostalimi večji presledek.

Naj navedemo nekaj splošnih pripomb o izdelkih.

Precej tekmovalcev je razmeroma slabo, razmetano razporejalo svoja izvajanja, zelo nerazločno pisalo, površno delalo skice, da, celo konstrukcije. Splošna oblika izdelkov je le v malo primerih pohvalna. Ker imajo te defekte najboljši fiziki, jih imajo ostali dijaki verjetno še v večji meri. Očitno se teh defektov dijaki ne zavedajo dobro, čeprav delajo njim samim težave, saj jim otežujejo pregled. Veliko časa so mnogi tekmovalci zapravili s tem, da so skoraj vse sproti numerično računali, tudi nepotrebne prehodne količine. Videti je, da se v šolah še premalo poudarja preglednost in koristnost izdelave naloge v splošni obliki do kraja. Šele na koncu naj pride numerično računanje. V drugem razredu precej tekmovalcev ni znalo uporabiti izreka o gibalni količini, prav tako se nihče ni domislil karakteristike stabilnega ravnotežja z minimumom potencialne energije in ni znal kljub opozorilu uporabiti izreka o mehanski energiji, pa tudi prostorske predstave so bile pri veliki večini prešibke, da bi se lotili ali celo zmogli tretjo in četrto nalogo. Računska nezanesljivost je bila na splošno precejšnja, tako pri splošnem kot pri numeričnem računanju.

Zelo dobro se je videlo, da gredo tekmovalcem tipizirane naloge, kakršne po večini najdejo v učbenikih, bolje od rok. To je seveda umljivo, saj doslej še nismo mogli pričakovati znatno razširjenega pripravljanja za tekmovanja in s tem tudi večje samostojnosti.

Pohvalno je treba omeniti, da so bile tekmovalcem dokaj dobro znane potrebne enote in da so pri računanju precej zanesljivo delali z njimi.

Komisija je šla v nekaterih nalogah prav malo preko šolskega programa, ena naloga je bila iz snovi, ki je še niso povsod obravnavali zaradi zaostanka

v programu. Komisija je sklenila, da bo v bodoče dajala naloge vedno strogo v okviru programov in po možnosti take, da bo zanje snov do tekmovanja obdelana. To je potrebno, da ne bodo dijaki iz bolj neugodnih razmer prikrajšani. Da so v tem pogledu še velike razlike med šolami, priča npr. dejstvo, da je prišlo iz Nove Gorice na tekmovanje 9 gimnazijcev, ki so bili dokaj uspešni, iz velikega Maribora pa je prišel le en sam tekmovalec in še ta ni bil uspešen. Največ tekmovalcev je dala Ljubljana, in sicer skoraj vse I. in II. gimnazija, ki imata že večjo tradicijo v matematično fizikalni vzgoji. Ti tekmovalci so se zato tudi dobro odrezali. V celoti je poslalo tekmovalce le 10 srednjih šol, kar je malo glede na celotno število srednjih šol v Sloveniji.

Tekmovanje je le pokazalo, da so na nekaterih srednjih šolah v Sloveniji prav resna prizadevanja za kvalitetni fizikalni pouk, da pa še zdaleč niso aktivirane vse šole. V interesu našega družbenega razvoja pa je to potrebno. Najti bo treba vse možnosti, da to dosežemo: glavno pri tem je seveda kadrovsko vprašanje in vprašanje fizikalne opreme po šolah.

Društvo matematikov, fizikov in astronomov je na osnovi letošnjih izkušenj trdno namenjeno, da priredi fizikalna tekmovanja tudi v naslednjih letih. Prav gotovo bodo tekmovanja med mladino dvignila zanimanje za fiziko, družba pa mora najti oblike in sredstva, da to zanimanje mladine v svojo korist poteši. Ostvariti je treba čim ugodnejše pogoje za kvaliteten pouk po vseh šolah.

Društvo je naletelo s svojo akcijo na ugoden odziv pri vseh šolskih organih in tudi drugod. Dobilo je za tekmovalce tudi vse nagrade. Dali so jih: Sekretariat za šolstvo SRS, Nuklearni inštitut Jožef Stefan v Ljubljani, Zavod za avtomatizacijo v Ljubljani, Železarna Jesenice, Iskra v Kranju. Društvo čuti dolžnost, da se jim za to razumevanje nujnega družbenega vprašanja najlepše zahvali.

Nagrade so bile slovesno podeljene na Tajništvu Sveta za šolstvo SRS, nagrajence pa je NI Jožef Stefan povabil na ogled inštituta in na okoli en mesec trajajočo prakso.

F. Ahlin

IZ FIZIKE SO DIPLOMIRALI

85.	Mladen Gros	1963	Gojenje monokristalov rubina po Verneuilovi metodi s pomočjo plazminega plamena
86.	Janez Ferbar	1963	Resonančna fluorescenca v plinih
87.	Janez Barlič	1964	Razpad beta indija 115
88.	Dušan Brajnik	1964	Meritev fotonuklearne absorpcije v F^{19}
89.	Pavel Cevc	1964	Študij narave radiacijskih defektov v obsevanem (glicin) $_3H_2BeF_4$ z elektronsko spinsko resonanco
90.	Dušan Pivka	1964	Termična emisija Sb-Cs in Ag-O-Cs fotokatod

SPOROČILO UPRAVE

Zaradi podražitve tiskarskih stroškov smo bili prisiljeni povišati naročnino lista. Da ne bi pri tem preveč prizadeli osebnih prejemkov zasebnikov, smo naročnike razvrstili v več skupin. Tako bo odslej naročnina za študente 400 din, za zasebnike 500 din, za šole 1000 din, za ostale ustanove in podjetja 2000 din in za inozemstvo 1500 din (2 dolarja). Prosimo vse naročnike za razumevanje tega ukrepa, ki je bil nujen, ker nam Sklad za pospeševanje založništva ni povečal subvencije.

Tej številki so priložene tudi položnice s spremenjeno številko našega čekovnega računa. Prosimo, da se jih poslužite.

UREDNIŠTVO JE PREJELO V ZAMENO

Bulletin of the Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Beograd 1964, Vol. 15, No. 1.

Bulletin Scientific, Zagreb 1963, T. 8, No. 3-4, 5, 6.

Elektrotehniški vestnik, Ljubljana 1962/63, št. 10-12.

Glasnik matematičko fizički i astronomski, Zagreb 1963, T. 18, No. 3, 5-6, 7-8, 9.

Idrijski razgledi, Idrija 1964, št. 1.

Nuklearni inštitut Jožef Stefan, Poročila P 103—117.

Proceedings of the Mathematical and Physical Society of UAR (Egypt) 1961.

Proteus, Ljubljana 1963/64, št. 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Publikacije elektrotehničkog fakulteta, Beograd 1963, No. 109—121.

Sodobna pedagogika, Ljubljana 1964, št. 1-2.

Ukrainskij matematičeskij žurnal, Kiev 1964, Tom XVI, No. 1, 2.

Uspehi matematičeskih nauk, Moskva 1964, Tom XIX, Vyp. 1, 2.

Vestnik Moskovskogo universiteta, Moskva 1964, No. 1, 2.

Zdravstveni vestnik, Ljubljana 1964, št. 1-2.

Zveza Društev matematikov in fizikov FLRJ izdaja časopis:

Nastava matematike i fizike

Naročnina je za člane vseh republiških društev matematikov in fizikov 300 din, za ostale naročnike, šole in biblioteke 400 din. Naročila in naročnino pošiljajte na žiro račun Nastave 101-701-5-1262 z oznako »za Nastavu«.

Društvo matematikov in fizikov NRS izdaja

Vesnik Društva matematičara i fizičara NRS

Letno izide v dveh dvojnih številkah, letna naročnina je 400 din. Naročnino pošiljajte na ček. račun 101-707-3-119 Društvu matematičara i fizičara NRS pod označbo »Za Vesnik«. Dopise pošiljajte na naslov društva Beograd pošt. fah 791.

Društvo matematikov in fizikov NRH izdaja za vso državo

MATEMATIČKO-FIZIČKI LIST

za učence srednjih šol. Letnik ima štiri številke, med počitnicami ne izhaja. Letna naročnina je 300 din, posamezna številka 75 din.

Profesorji srednjih šol, priporočajte list dijakom! Naročila in naročnino pošiljajte na naslov:

Matematičko-fizički list, Zagreb, Ilica 16/III, p. p. 165 ali na čekovni račun št. 400-21-5-883.

Društvo matematikov in fizikov LR Hrvatske izdaja časopis

Glasnik matematičko-fizički i astronomski

Naročnina znaša 600 din, za redne člane Društva 300 din, za ustanove 1000 din. Časopis naročite pri administraciji Glasnika: Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb, Ilica št. 16-III. Čekovni račun 400-21-3-323 za Društvo matematičara i fizičara NRH.

Obzornik za matematiko in fiziko izhaja vsak tretji mesec. Izdaja ga Društvo matematikov in fizikov SRS. Urejujejo ga: R. Blinc, P. Gosar, F. Križanič, I. Kuščer, A. Moljk, N. Prijatelj, S. Uršič, I. Vidav. Odgovorni in tehnični urednik: F. Kvaternik. Upravo vodi F. Kvaternik. — Tiska tiskarna ČZP »Ljudska pravica« v Ljubljani. — Naročnina je: za študente 400 din, za zasebnike 500 din, za šole 1000 din, za ustanove in podjetja 2000 din in za inozemstvo 1500 din. Čekovni račun Obzornika je 600-14-608-314.

Dopise pošiljajte in list naročajte na naslov:

Obzornik za matematiko in fiziko, Ljubljana, poštni predal 227.