

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

1969
nik 16
vilka 3

Izdaja društvo matematikov
fizikov in astronomov SR Slovenije

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

Tehnični in odgovorni urednik

Kvaternik Franc, Gimnazija Poljane, Ljubljana

Uredniški odbor

Blinc Robert, FNT univerze v Ljubljani

Bohte Zvonimir, FNT univerze v Ljubljani

Avsec France, gimnazija Kranj

Moljk Anton, FNT univerze v Ljubljani

Pahor Jože, Nuklearni inštitut »J. Štefan« v Ljubljani

Garb France, gimnazija Ravne

Rosina Mitja, FNT univerze v Ljubljani

Strnad Janez, FNT univerze v Ljubljani

Uršič Stanko, Zavod za šolstvo SR Slovenije

Vidav Ivan, FNT univerze v Ljubljani

Izdaja društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS 4-krat letno. Članarina je 10 din in jo nakazujte na čekovni račun Obzornika. Člani društva prejema Obzornik za matematiko in fiziko zastonj.

Naročnina je

za nečlane 15 din

za dijake 5 din

za ustanove in podjetja 20 din

za inozemstvo 25 din (2 \$)

posamezna številka 5 din

Dopise pošiljajte in list naročajte na naslov: **Obzornik za matematiko in fiziko, Ljubljana, poštni predal 227.** Čekovni račun Obzornika je 501-8-240/1.

GRAVITACIJSKO VALOVANJE — ODKRITO?

J. STRNAD

Statično gravitacijsko polje je v marsičem podobno statičnemu električnemu polju. Tako sta na primer gravitacijska sila med točkastima telesoma in električna sila med točkastima nabojema obratno sorazmerni s kvadratom razdalje. Seveda so med poljema tudi pomembne razlike. Masa, ki je izvir gravitacijskega polja, je vedno pozitivna, medtem ko so naboji pozitivni in negativni. Časovno spremenljivi in med seboj prepleteni polji — električno in magnetno — sestavljata elektromagnetno valovanje,* ki se širi po praznem prostoru s hitrostjo c . Po podobnosti domnevamo, da obstaja tudi *gravitacijsko valovanje*, ki se širi po praznem prostoru prav tako s hitrostjo c . Zares sledijo iz osnovnih enačb teorije gravitacijskega polja, to je iz Einsteinove splošne teorije relativnosti, enačbe za gravitacijsko valovanje,¹ podobno kot sledijo iz Maxwellovih enačb enačbe za elektromagnetno valovanje.**

Gravitacijsko valovanje sevajo pospešene mase, podobno kot sevajo elektromagnetno valovanje pospešeni naboji. Preprost izvir elektromagnetnega valovanja je nihajoči dipol. To sta nasprotno enaka točkasta naboja, ki nihata sinusno drug proti drugemu. Podobno sta masi, ki nihata druga proti drugi — misliti si smemo, da ju veže vijačna vzmet — izvir gravitacijskega valovanja. Razlika je v tem, da je gravitacijsko valovanje takega izvira kvadrupolno. Masi obeh teles sta namreč pozitivni in njuno težišče mora mirovati, če ne deluje na telesi nobena zunanja sila. Zato telesi ne moreta sevati dipolnega gravitacijskega valovanja.

V enačbah za gravitacijsko valovanje ima gravitacijska konstanta, pomnožena s kvadratom mase, vlogo, ki jo ima pri elektromagnetnem valovanju konstanta v Coulombovem zakonu, pomnožena s kvadratom naboja. Razmerje $\kappa m^2 : (e^2/4\pi\epsilon_0) = 4\pi\epsilon_0\kappa(m/e)^2 = \frac{3}{4}\cdot 10^{-20} \text{ As}^2 \text{ kg}^{-2} \cdot (m/e)^2$ je nasploh zelo majhno. Zato vsekakor pričakujemo v gravitacijskem valovanju mnogo manjše energijske tokove kot v elektromagnetnem valovanju. Meterska kovinska palica, ki se vrti okoli prečne osi skozi težišče z največjo mogočo hitrostjo — ocenimo jo s hitrostjo zvoka po kovini — seva na primer energijski tok z velikostno stopnjo 10^{-37} W . Po tem je težko pričakovati, da bi mogli v bližnji prihodnosti zaznavati gravitacijsko valovanje izvirov v laboratoriju.

Kaže, da se je treba za zdaj osredotočiti na izvire gravitacijskega valovanja v vesolju. Nepretrgano sevajoči izviri gravitacijskega valovanja so dvojne zvezde in zvezde, ki radialno nihajo ali ki se zelo hitro vrtijo okoli lastne osi. Izsevani energijski tok gravitacijskega valovanja utegne biti izdaten, če so te zvezde zelo goste, če je perioda pri kroženju ali nihanju dovolj majhna ali če je obodna hitrost pri vrtenju blizu hitrosti svetlobe. Močni sunki

* V času, ko še niso poznali prave narave svetlobe, je elektromagnetno valovanje teoretično napovedal J. C. Maxwell (1869).

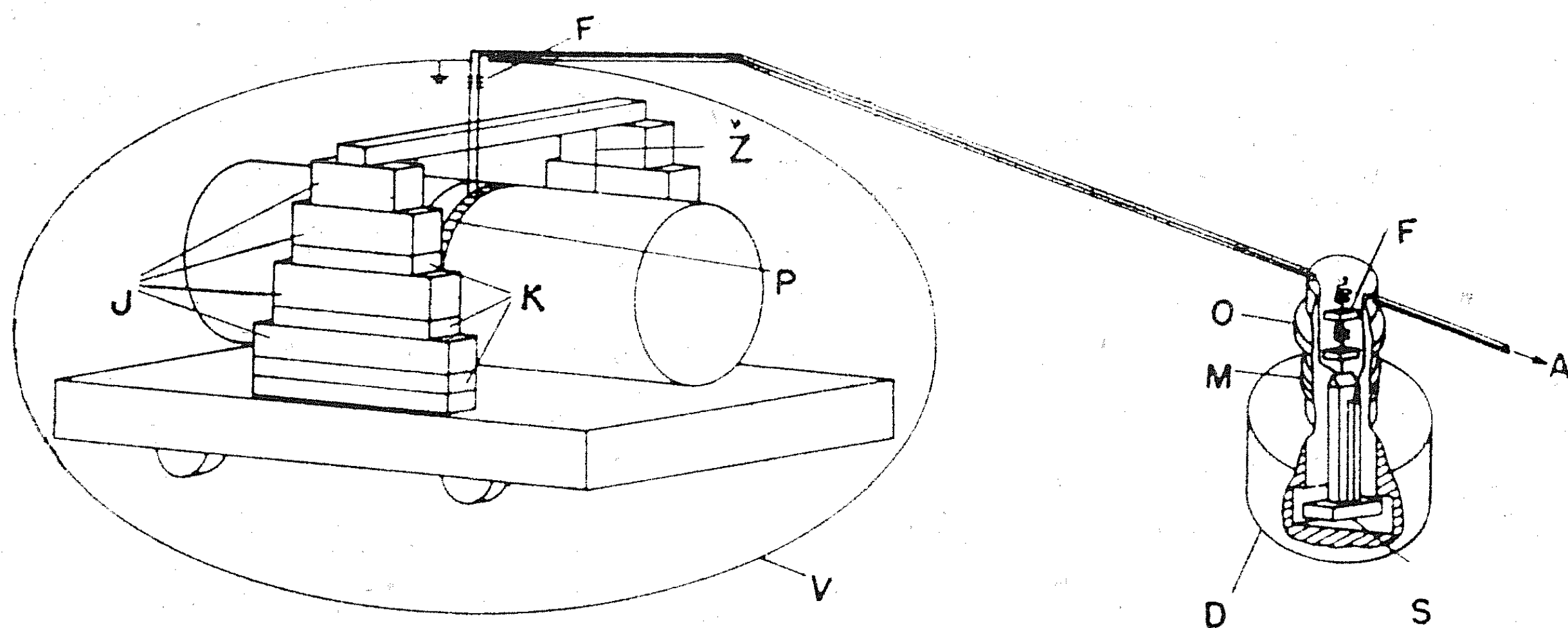
** Prva sta zapisala enačbe za gravitacijsko valovanje A. Einstein (1916, 1918) in A. S. Eddington (1923).

gravitacijskega valovanja pa nastanejo ob eksplozijah supernov. Pri tem se naposled zvezda močno skrči: če je bila njena masa manjša od *Chandrasekharjeve mase*, ki meri približno dve sončni masi, preostane po skrčitvi bela pritlikavka ali nevtronska zvezda,* če pa je bila masa večja, pride do *gravitacijskega kolapsa* in preostane črna luknja. Tako pravimo izredno majhnemu in gostemu telesu z radijem manjšim od *Schwarzschildovega radija*, ki meri pri dvakratni sončni masi okoli 6 km. Fotoni sploh ne morejo premagati gravitacijskega polja takega telesa, zato ga opazimo samo po njegovem gravitacijskem polju. Črna luknja pogoltne telo, ki zaide v bližino; pri tem se zopet izseva sunek gravitacijskega valovanja.

Podrobnosti omenjenih pojavov še ne poznajo. A po *pulzarjih*, ki oddajajo sunke radijskih valov v konstantnih časovnih razmikih in ki so jih odkrili pred nedavnim, se zdi obstoj nevtronskih zvezd verjeten. Na drugi strani ne smemo pozabiti, da je raziskana celo v naši Galaksiji samo kaka desetina snovi in da slonijo podatki o njej na opazovanjih z vidno svetlobo in z radijskimi valovi, medtem ko o preostalih devetih desetinah snovi nimamo skoraj nobenih podatkov. Zato ne bi smeli biti presenečeni, če bi izviralo gravitacijsko valovanje od objektov, ki jih še ne poznamo ali jih poznamo, a podcenjujemo njihov pomen.

*

Osrednje vprašanje je, kako zaznati gravitacijsko valovanje. Po opazovanju gibanja točkastega telesa ne moremo sklepati na spremenljivo gravitacijsko polje. Merilna naprava v bližini telesa ne more zaznati spremembe njegove lege ali gibanja, ker prizadene sprememba gravitacijskega polja v enaki meri telo in merilno napravo. Nekoliko poenostavljeno: zaradi spremembe gravitacijskega polja se enako spremenita pospeška, s katerima prosto padata telo in merilna naprava. Za večje telo pa velja prejšnja trditev samo za težišče; sprememba gravitacijskega polja lahko povzroči deformacijo telesa. V splošni teoriji relativnosti opišemo gravitacijsko polje v štirirazsežnem prostoru z *metričnim tenzorjem*, katerega elementi se ujemajo z gravitacijskimi



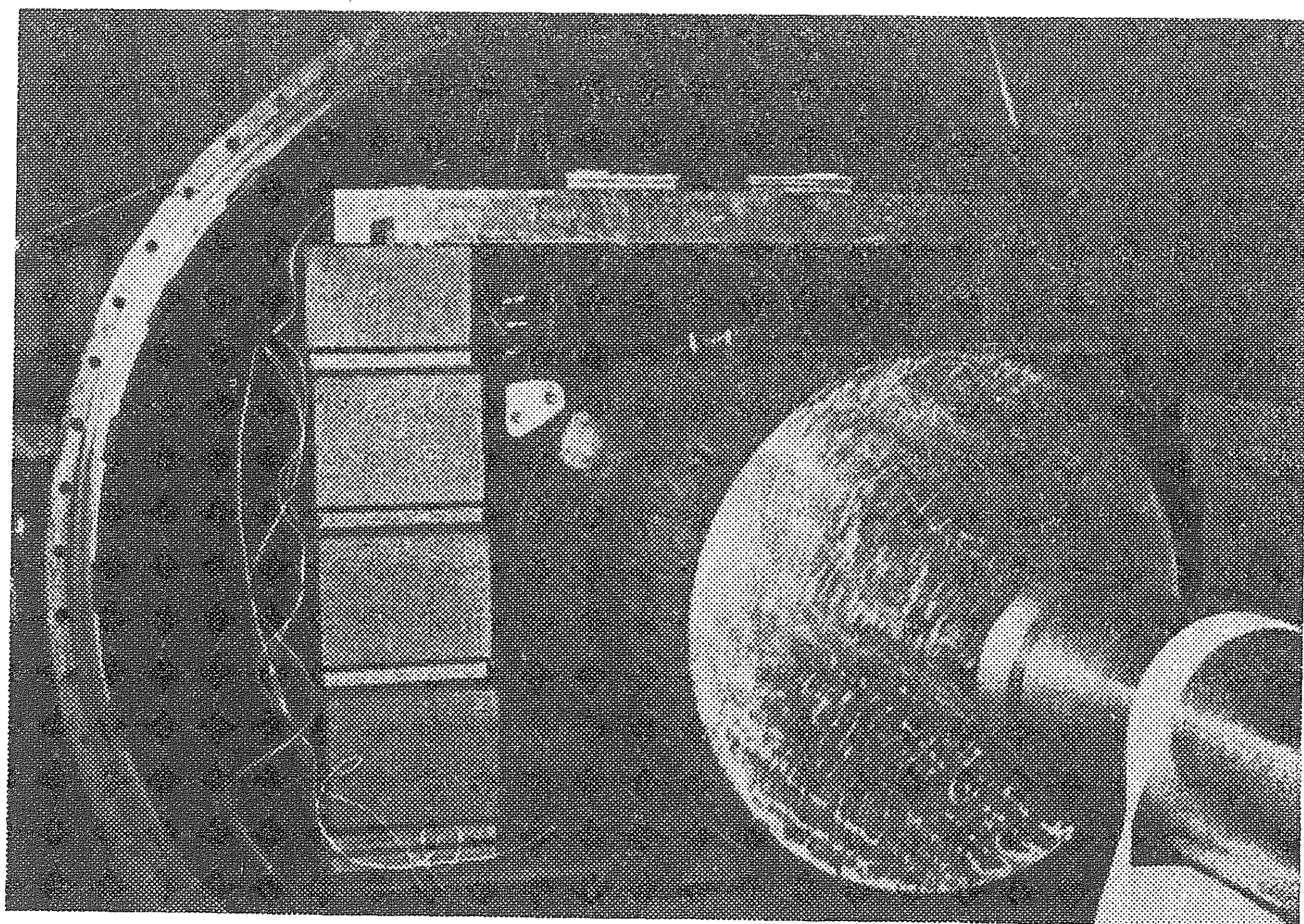
Sl. 1. Poenostavljena risba gravitacijske antene.³ J jeklene opeke, K plasti kavčuka, V vakuumsko posoda, P piezoelektrični kristali, F akustična filtra, O obroč z znatno maso, M meh (F, O in M naj preprečijo pot mehničnemu valovanju do elektronskih naprav), D Dewarjeva posoda s tekočim helijem, S supraprevodna tuljava in predojačevalnik z veliko impedanco, A priključek na ojačevalnik

* Nevtronske zvezde so dovolj goste, da v dvojnih zvezdah ali če radialno dovolj hitro nihajo ali če se po skrčitvi zaradi ohranitve vrtilne količine dovolj hitro vrtijo, sevajo nepretrgano znaten tok gravitacijskega valovanja.

potenciali. Štirirazsežni prostor je ukrivljen, zato ga označuje *Riemannov krivinski tenzor*, ki ga sestavljajo drugi in prvi odvodi gravitacijskih potencialov po koordinatah in po času. Predstava, da povzroči sprememba ukrivljenosti štirirazsežnega prostora deformacijo telesa, je prav nazorna. Nihajoči elementi krivinskega tenzorja v gravitacijskem valovanju vzbudijo nihanje delov telesa. V telesu nastane lastno nihanje, ki je izrazito, če se frekvenca valovanja ujema s katero od lastnih frekvenc telesa.

Teorijo takih gravitacijskih anten je razvil J. Weber že pred desetimi leti.² Sprva so bili obeti, da bi mogli z njimi odkriti gravitacijsko valovanje, kaj slabi. Toda merilna tehnika je napredovala zelo hitro in J. Weber je s sodelavci D. M. Zipoyem, R. L. Forwardom, R. Imrayem in J. A. Sinskym že 1965. leta izdelal prvo anteno. To je bil okoli 1400 kg težak aluminijast valj s premerom okoli 60 cm in z dolžino okoli 150 cm. Osnovna lastna frekvenca za longitudinalno nihanje v smeri geometrijske osi* je bila okoli 1660 s^{-1} . To frekvenco so izbrali, ker je imel valj tedaj primerno velikost in ker so pričakovali, da je gravitacijsko valovanje s to frekvenco zastopano v valovanju, ki naj bi nastalo ob eksploziji supernov.

Valj visi na žici, obešeni na jarmu, ki se opira na skladovnici iz jeklenih opek in vmesnih plasti kavčuka. Na sredi valjevega plašča so v krogu pritrjeni piezoelektrični kristali, ki spreminjajo premike valja v električno napetost. Vse skupaj je zaprto v posodo, iz katere je izsesan zrak (sl. 1, 2).

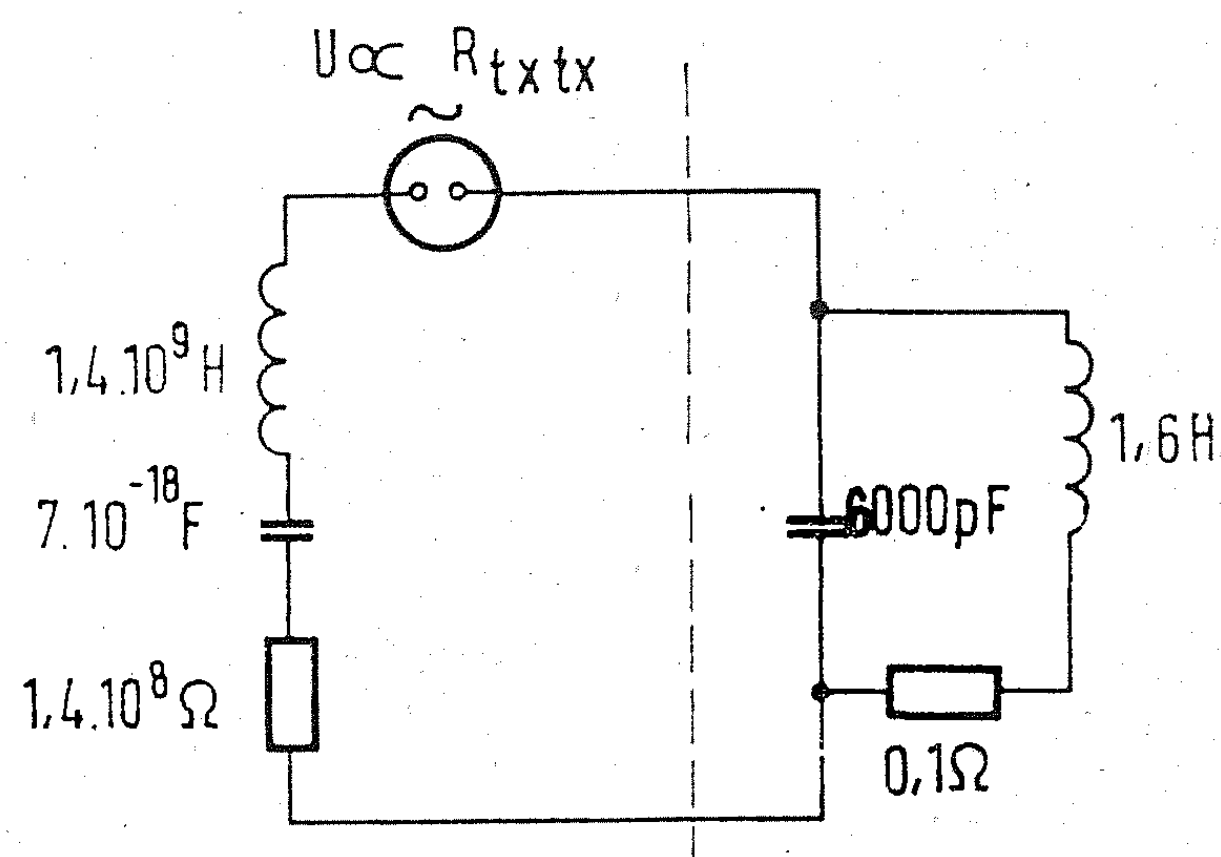


Sl. 2. Razstavljena gravitacijska antena.⁷ Vidimo valj, jarem in vakuumsko posodo

Gravitacijsko valovanje vzbudi lastno nihanje valja. Za vzbujanje je odločilen element krivinskega tenzorja R_{txtx} , če postavimo os x v geometrijsko os valja. (Učeno pravimo, da meri antena poprečje Fourierovega integrala tega elementa po svoji prostornini.)

* Osnovna lastna frekvenca za valj z dolžino l , ki je na obeh osnovnih ploskvah prost, je $\nu = c_s/\lambda = (E/\rho)^{1/2}/2l$. Prožnostni modul aluminija E je okoli $6,8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$, gostota ρ pa $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. S temi podatki dobimo $\nu = \frac{15}{3} \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$.

Nihajočo električno napetost s piezoelektričnih kristalov je treba ojačiti. Težavnost te naloge spoznamo, če nihajoči valj pri robnih pogojih, kakršni veljajo zanj, nadomestimo z električnim nihajnim krogom* (sl. 3). V tem krogu ustreza induktivnost $1,4 \cdot 10^9 \text{ H}$ masi valja, kapaciteta $7 \cdot 10^{-18} \text{ F}$ koeficientu v Hookovem zakonu in električni upor $1,4 \cdot 10^8 \Omega$ uporju notranjega trenja, ki duši nihanje. V nadomestnem krogu je še sinusna gonilna napetost, ki je sorazmerna z R_{txtx} . Ta krog je sklenjen prek piezoelektričnih kristalov s kapaciteto $6 \cdot 10^{-9} \text{ F}$. Od naštetih elementov so edino piezoelektrični kristali s svojo kapaciteto pravi — ne nadomestni — element z dostopnima priključkoma. Nanju zvežemo tuljavo in dobimo še drugi — tokrat pravi — nihajni krog. Napetost, ki jo je treba ojačiti, je približno sorazmerna z induktivnostjo te tuljave. Zato mora biti induktivnost tuljave čim večja. Da njen upor ne bi bil prevelik, vzamejo supraprevodno tuljavo, ki jo hladijo s tekočim helijem. Preostali deli drugega nihajnega kroga so pri navadni temperaturi. S supraprevodno tuljavo dosežejo, da je ob induktivnosti tuljave $1,6 \text{ H}$ ohmski upor drugega kroga samo $0,1 \Omega$. Vodniki od piezoelektričnih kristalov do supraprevodne tuljave imajo vgrajene akustične filtre, da ne bi prevajali mehničnega nihanja. Na supraprevodno tuljavo je priključen predojačevalnik, ki je skupaj z njo v posodi s tekočim helijem. Z ohladitvijo zmanjšajo šum, ki ga prispeva predojačevalnik. Napetost s predojačevalnika ojačijo, usmerijo in vodijo na pisalni instrument.³⁻⁹



Sl. 3. Vezje gravitacijske antene.⁴ Navpična črta loči nadomestno vezje (levo) od pravega

Najprej so preskusili občutljivost antene. Pričakujemo, da jo omejuje termično gibanje atomov v valju. Po ekviparticijskem izreku, po katerem odpade na vsak kvadratni člen v izrazu za skupno energijo sistema v poprečju $\frac{1}{2} kT$, je poprečna kinetična energija valja zaradi termičnega gibanja v osnovnem lastnem nihanju

$$\frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{1}{2} m (2 \pi \nu)^2 \overline{x^2} = \frac{1}{2} kT.$$

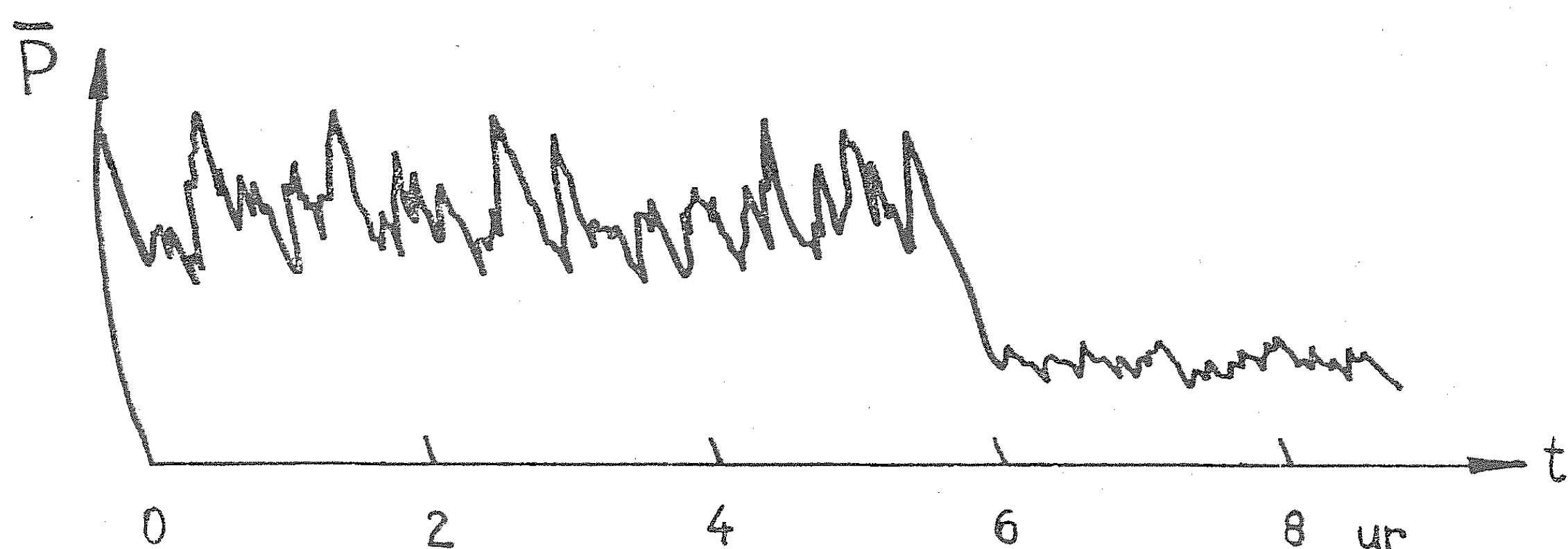
Pri tem je $\overline{x^2}$ poprečje kvadrata odmika delov po valju in po času. S podatki za maso valja m in za osnovno frekvenco ν dobimo za $\overline{x^2}$ pri sobni

* Diferencialna enačba za nihanje valja ima obliko

$$E \partial^2 s / \partial x^2 - \rho \partial^2 s / \partial t^2 - 2 \beta \partial s / \partial t = c^2 \rho R_{txtx}.$$

V njej je s relativni premik delov valja. Prva dva člena na levi strani sestavljata valovno enačbo za longitudinalno valovanje, tretji člen s koeficientom dušenja β upošteva dušenje, člen na desni, ki ima v resnici sinusno časovno odvisnost, pa poganja nihanje in je značilen za enačbo vsiljenega nihanja.

temperaturi velikostno stopnjo 10^{-32} m^2 . Najmanjši medsebojni premik osnovnih ploskev valja, ki ga moremo zaradi termičnega gibanja v valju še zaznati, ocenimo s $(\overline{x^2})^{1/2} \approx 10^{-16} \text{ m}$. Ker je antena dolga nekaj več kot meter, gre pri tem za ugotavljanje relativnih premikov z velikostno stopnjo 10^{-16} — zares zavidljiv dosežek.

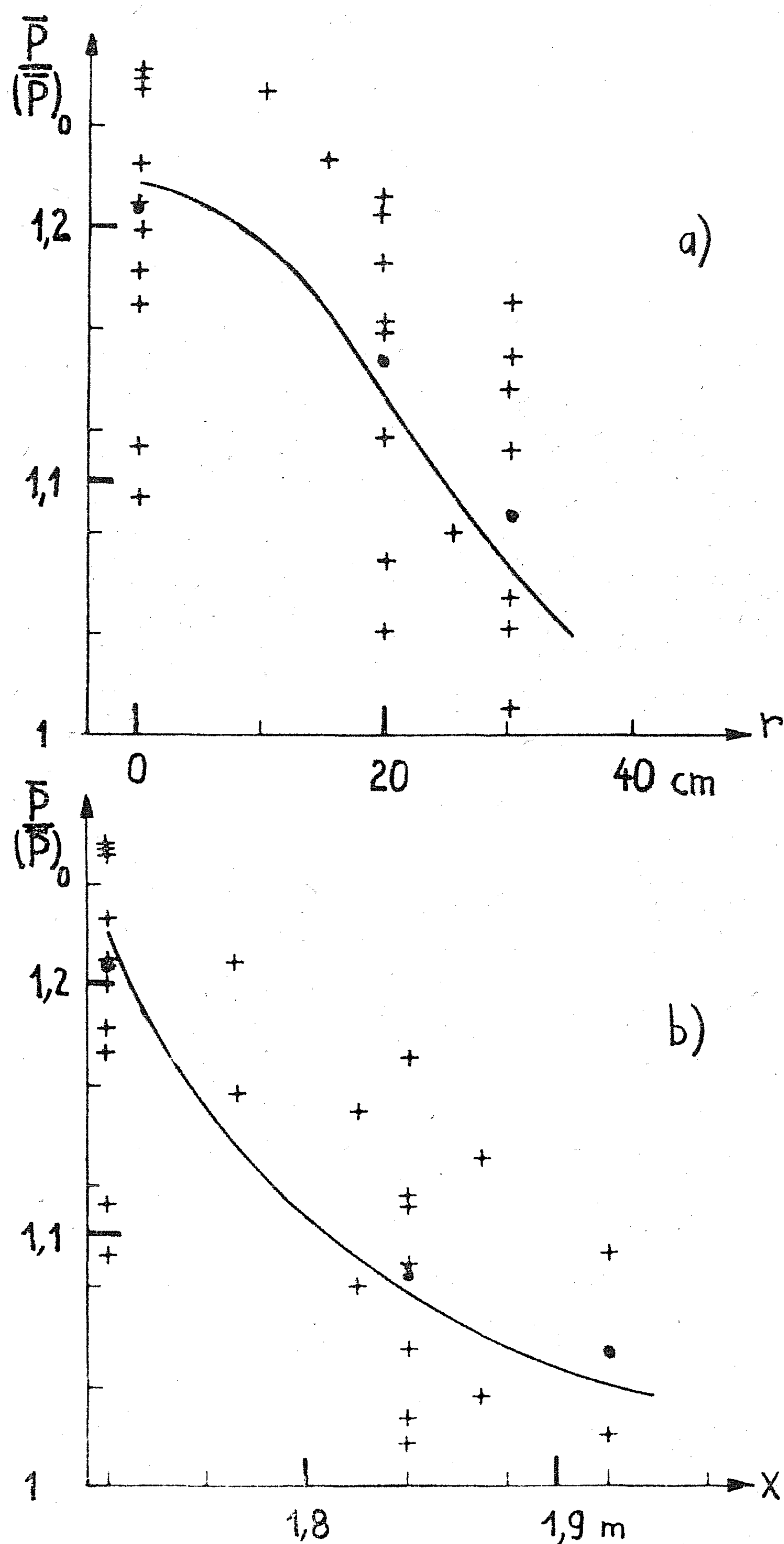


Sl. 4. Poprečna električna moč na izhodu antene v odvisnosti od časa. Diagram kaže za čas od začetka merjenja do trenutka pri približno 6 urah šum zaradi termičnega gibanja v valju, po tem pa samo šum električnega vezja³

Račun so potrdili s poskusom.³ Sl. 4 kaže diagram za poprečno električno moč na izhodu gravitacijske antene v odvisnosti od časa. Po šestih urah merjenja so spremenili sklopitev v predajačevalniku, tako da ta potem ni več ojačeval napetosti v piezoelektričnih kristalih, ki je bila posledica termičnega gibanja v valju. Do tedaj je bila poprečna moč v zvezi s poprečnim kvadratom odmika delov valja. Pozneje pa je instrument zapisoval moč šuma, ki je nastal v predajačevalniku in v elektronskih napravah. Natančnejša obdelava merskih podatkov je pokazala, da ustreza prvemu šumu zares temperatura okoli 300 K, drugemu šumu pa temperatura okoli 50 K. (50 K je pač poprečna temperatura med temperaturo tuljave in predajačevalnika 4 K in sobno temperaturo preostalega kroga.) Po prvem podatku je mogoče sklepati, da antena ne sprejema nepretrganega gravitacijskega valovanja z znatnim energijskim tokom, saj bi morala biti sicer poprečna moč šuma večja. Mejna gostota energijskega toka, ki bi ga še lahko zaznali, je okoli 10 W/m^2 . Temu ustreza gostota mase $10 \text{ Wm}^{-2}/c^3 = 10^{-25} \text{ kg/m}^3$. Po deljenju gostote energijskega toka s hitrostjo valovanja dobimo namreč poprečno gostoto energije v valovanju; če pa to delimo še s c^2 , dobimo gostoto mase, ki po specialni teoriji relativnosti ustreza tej gostoti energije. V splošni teoriji relativnosti ti podatki ne bi bili enolični, če ne bi dodali, da se nanašajo na opazovalni sistem, v katerem miruje izvir valovanja.

Celotno napravo so preskusili še temeljiteje.⁴ Poleg opisane sprejemne antene so uporabili podobno »oddajno« anteno. Valj oddajne antene s premerom 20 cm in z dolžino okoli 150 cm je bil podobno obešen in nameščen v svoji vakuumski posodi kot valj sprejemne antene. Le piezoelektrične kristale na njegovem plašču so napajali od zunaj z izmenično napetostjo s frekvenco 1660 s^{-1} . Tako so v valju vzbudili močno lastno nihanje, v katerem so relativni premiki delov merili do $5 \cdot 10^{-5}$. Med osnovnima ploskvama valja je nastajala izmenoma zgoščina in razredčina, tako da je gostota snovi nihala okoli srednje vrednosti. Zaradi tega je dobilo tudi gravitacijsko polje v bližini valja poleg konstantne srednje vrednosti še majhen dodatni člen, ki je nihal s frekvenco

1660 s^{-1} . To dodatno gravitacijsko polje se je dalo enako kot konstantno srednje gravitacijsko polje izračunali z Newtonovim gravitacijskim zakonom. Tu torej ni šlo za gravitacijsko valovanje, saj je bilo mogoče poskus zaradi majhnih razdalj opisati popolnoma kvazistatično. Spremenljivo gravitacijsko polje so zaznavali s sprejemno anteno. — V bistvu se poskus ni razlikoval od poskusov, pri katerih merijo gravitacijsko konstanto, in od pojavov, ki so v zvezi s plimovanjem, le da je bila frekvenca spremenljivega dela gravitacijskega polja mnogo večja.



Sl. 5. Poprečna električna moč na izhodu sprejemne antene v odvisnosti od razdalje do oddajne antene. Na spodnjem diagramu je nanescena na abscisno os razdalja med središčema valjev s skupno geometrijsko osjo, na zgornjem pa razdalja med osema valjev. Začetni legi na obeh diagramih sta enaki. Sklenjena krivulja kaže izračunano odvisnost, križci posamične izmerke in krožci poprečja⁴

Napravili so dve vrsti merjenj. Pri prvi so po korakih večali razdaljo med središčema valjev, ko sta ležali njuni geometrijski osi na skupni premici. Pri drugi pa so po korakih vzporedno odmikali drugi valj, tako da se je

spreminjala razdalja med osema obeh valjev. Začetna lega je bila pri obeh vrstah merjenj enaka. Merili so poprečno električno moč na izhodu sprejemne antene v odvisnosti od razdalje med valjema. Po sl. 5 presodimo, da so se merski podatki v poprečju zadovoljivo ujemali z napovedmi teorije. Posamični izmerki pa so se med seboj precej razlikovali. To nas ne sme presenetiti, saj prispevek zaradi spremenljivega gravitacijskega polja ni bil mnogo večji kot prispevek zaradi termičnega gibanja v valju.

Pri tem poskusu so lahko ugotovili nekatere izvire motenj in jih odpravili. Električna moč 100 W, s katero so poganjali piezoelektrične kristale na oddajni anteni, je povzročila v sprejemni anteni prek motenj — ne prek spremenljivega gravitacijskega polja — šum s poprečno močjo samo 10^{-23} W.

Z opisano sprejemno anteno so začeli s poskusi, da bi zaznali gravitacijsko valovanje iz vesolja.⁵ Pokazalo se je, da se antena navzlic vsem varnostnim ukrepom odziva motnjam, ki niso v zvezi z gravitacijskim valovanjem. Take motnje so izvirale od nekaterih potresov in lokalnih zemeljskih tresljajev, od nenadnih sprememb zemeljskega magnetnega polja, od zelo jakega zvoka, od nagibanja ploščadi, na kateri je stala antena, in od pojavov, ki so spremljali ohlajanje ali segrevanje antene. Da bi imeli pregled nad temi pojavi, so ob anteni namestili dva seizmografa, prvega dolgoperiodičnega za frekvence od $0,03\text{ s}^{-1}$ do 1 s^{-1} in drugega kratkoperiodičnega za frekvence okoli 1660 s^{-1} , dva zelo občutljiva inklinometra, ki sta merila nagib ploščadi v smeri sever-jug in v smeri vzhod-zahod, in gravimeter, ki je zaznaval spremembe težnega pospeška z relativno nenatančnostjo 10^{-10} . Neprestano so merili omrežno napetost; kjer se je zdelo potrebno pa so uporabili akumulatorje. Poskrbeli so, da se temperatura v sobi, v kateri je bila postavljena antena, ni spreminjala za več kot za del stopinje.

Pisalni instrument je neprestano beležil poprečno električno moč na izhodu antene. Pozornost so posvetili pojavom — imenovali so jih *dogodke*, pri katerih je poprečna moč narasla vsaj na petkratno vrednost poprečne moči zaradi termičnega gibanja, ne da bi seizmometra, inklinometra ali gravimeter pokazali kako spremembo ali da bi zaznali kako elektromagnetno ali akustično motnjo. V času od jeseni 1965 do pomladi 1967 so opazili deset dogodkov.⁵ Pri njih je poprečna moč sicer močno narasla, a nikoli ni presegla dvajsetkratne vrednosti poprečne moči zaradi termičnega gibanja. Najvišjim narastkom bi ustrezalo gravitacijsko valovanje z gostoto energijskega toka nekako 20 W/m^2 .

Občutljivost antene glede na smer je bila enaka kot pri elektromagnetnih kvadrupolnih antenah. Taka antena bi morala zaznavati valovanje zaradi vrtenja Zemlje s periodo 12 ur, če bi prihajalo iz izbrane smeri na nebu. Česa takega niso opazili.

Energijski tok z gostoto več deset W/m^2 je zelo velik v primeri s svetlobnim tokom iz vesolja. S Sirija prihaja na primer na Zemljo svetlobni tok z gostoto okoli 10^{-10} W/m^2 . Zato se je spočetka zdelo verjetno, da bi morali izvire gravitacijskega valovanja, ki bi oddajali tako izdatno valovanje, opaziti tudi v vidni svetlobi. Vendar v smereh, v katere je bila usmerjena antena, ko je zaznala dogodke, niso opazili nobenega vidnega objekta. Tedaj se še niso upali sklepati, da so zaznali gravitacijsko valovanje.

Na začetku 1967 so zgradili še dve sprejemni anteni.⁶ Druga je bila valj s premerom 20 cm in je imela enako kot prva lastno frekvenco 1660 s^{-1} . (To je

bila kar predelana oddajna antena, ki so jo uporabili pri merjenjih z nihanjem gravitacijskim poljem.) Tretja antena pa je imela lastno frekvenco 1120 s^{-1} . Drugo anteno so namestili v razdalji 2 km od prve.

Zdaj jim je šlo za koincidence, to je za dogodke, ki sta jih hkrati zaznali prva in druga antena. Radiofrekvenčni izhod druge antene so speljali iz ojačevalnika po telefonskem vodu do koincidenčne enote ob prvi anteni. Nanjo je bil priključen tudi radiofrekvenčni izhod prve antene. Koincidenčna enota je napravila poprečje za vsakega izmed obeh signalov čez časovni interval τ . Ta interval je bil kratek v primerjavi s časovno ločljivostjo anten, ki je merila 30 s. Če je poprečna moč na obeh antenah sočasno presegla predpisane vrednosti (na primer na prvi, večji anteni petkratno in na drugi, manjši anteni dvakratno poprečno moč zaradi termičnega gibanja), je enota oddala napetostni sunek, ki se je pokazal na diagramih obeh pisalnih instrumentov kot črtica. Po takih črticah so spoznali koincidence. Z merjenjem so se prepričali, da je prišlo do koincidence samo, če sta bila začetka obeh dogodkov časovno razmaknjena za 0,2 s ali pa manj.

Od januarja do marca 1968 so ugotovili štiri koincidence.⁶ Seveda nobene izmed njih ni spremljala kaka sprememba na seizmografih, inklinometrih ali na gravimetru ali kaka druga akustična ali elektromagnetna motnja.

Izračunali so, kolikšna bi bila verjetnost za take koincidence, če bi bila oba dogodka med seboj popolnoma neodvisna. Najprej so ugotovili za vsako od obeh anten, kolikokrat je v času t_0 , na primer v enem mesecu, poprečna moč dosegla ali presegla vrednost, ki jo je dosegla ob izbrani koincidenči. S tema podatkom so izračunali poprečno število ustreznih dogodkov na časovno enoto n_1/t_0 za prvo in poprečno število ustreznih dogodkov na časovno enoto n_2/t_0 za drugo anteno. V času t se primeri v poprečju $n_1 t/t_0$ ustreznih dogodkov na prvi in $n_2 t/t_0$ ustreznih dogodkov na drugi anteni. Verjetnost, da bi se dogodila oba dogodka v časovnem razmiku 2τ , bi bila tedaj enaka produktu obeh faktorjev

$$(n_1 \cdot 2\tau/t_0) \cdot (n_2 \cdot 2\tau/t_0) = n_1 n_2 (2\tau/t_0)^2,$$

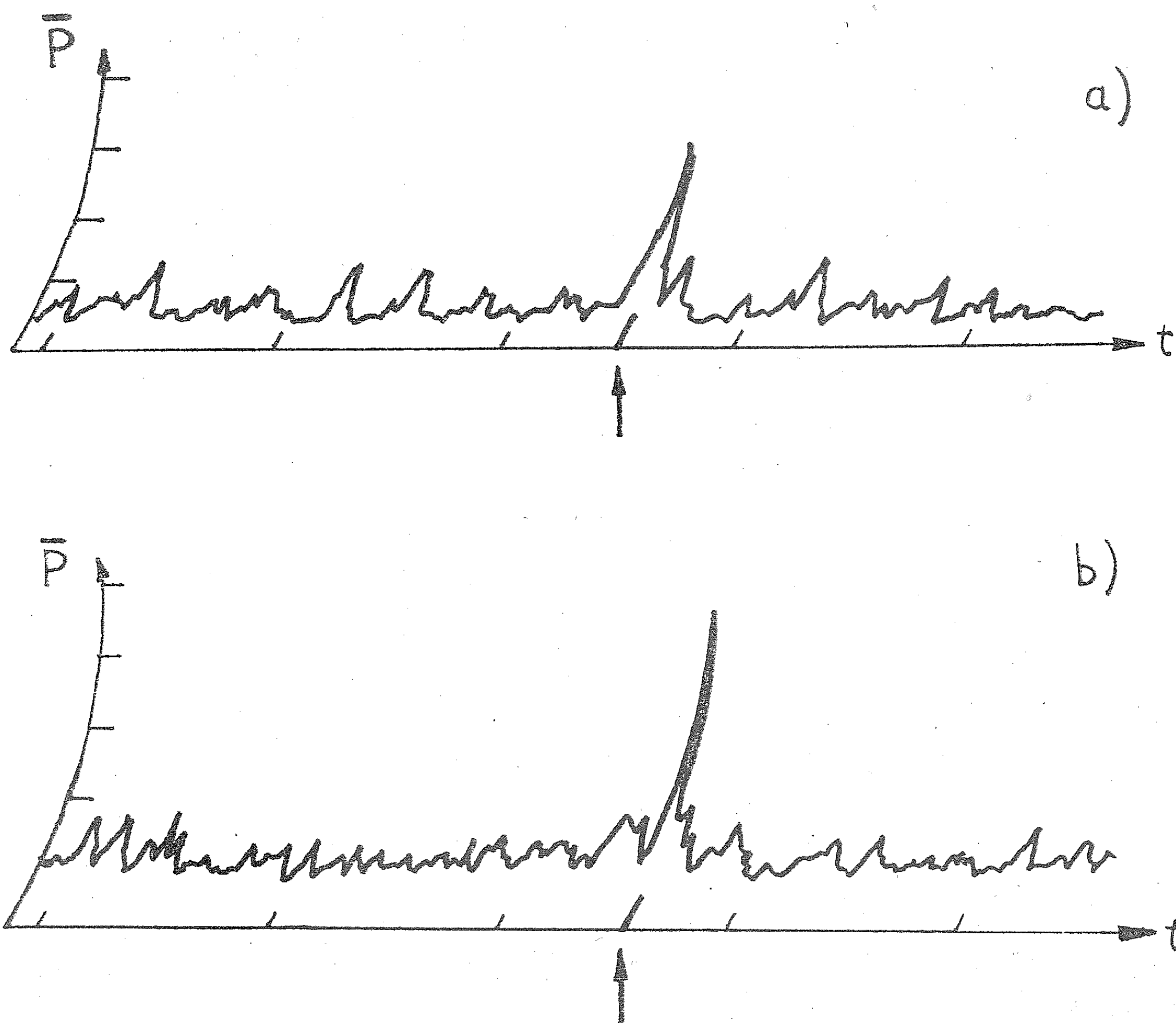
če bi bila oba dogodka popolnoma neodvisna.

Zanima nas še poprečni časovni razmik T med dvema koincidenčama, če bi bila oba dogodka popolnoma neodvisna. Poprečno število prvih dogodkov v času 2τ pomnožimo s poprečnim številom drugih dogodkov v času T , zahtevamo, da je produkt enak 1, pa dobimo

$$T = n_1 n_2 (t_0/2\tau) t_0.$$

Za ugotovljene štiri koincidence je bil poprečni časovni razmik T po vrsti 8000 let, 40 let, 300 dni in 150 dni. Sodili so, da je verjetno vsaj nekatere izmed teh koincidenč sprožilo gravitacijsko valovanje iz vesolja. Toda za trditev, da so odkrili gravitacijsko valovanje, je bilo še vedno prezgodaj.

Na koncu 1968 je delovalo že šest anten.⁸ Od tega so bile štiri uglasene na frekvenčni interval s širino $0,02\text{ s}^{-1}$ okoli frekvence 1660 s^{-1} . Njihovi valji so bili vsi dolgi po 153 cm, dva sta imela premer po 66 cm, eden 61 cm in eden 96 cm. Le zadnja antena je imela tuljavo in elektronsko opremo, ki so jo hladili s tekočim helijem. Vse druge so imele novo elektronsko opremo, ki je zadovoljivo delovala, ne da bi jo bilo treba hladiti. Eno izmed anten s premerom 66 cm so namestili v državnem laboratoriju v Argonnu, približno



Sl. 6. Sočasna dogodka na marylandski (spodaj) in na argonski anteni (zgoraj), ki sestavljata eno izmed koincidenč. Diagrama kažeta poprečno moč na izhodu anten v odvisnosti od časa. Navpični črtici na obeh diagramih izvirata od signala s koincidenčne enote, kakršen je značilen za koincidence⁸

1000 km daleč od univerze v Marylandu, kjer so bile druge tri antene. Argonska antena je bila po telefonskem vodu priključena na koincidenčno enoto v Marylandu, na katero je bila priključena tudi marylandska antena s premerom 66 cm. Obe anteni sta bili najbolj občutljivi v smeri sever-jug.

Koincidenčna enota je zaznala koincidenco, če sta se začela oba dogodka v časovnem razmiku 0,44 s ali manj. Zakasnitev zaradi potovanja signala po telefonskem vodu je bila 0,0025 s in je ni bilo treba upoštevati. (Signal potrebuje za potovanje več časa, kot bi ga potrebovala svetloba za enako dolgo pot od Argonna do Marylanda in nazaj. Vod ima namreč vgrajene ponavljalnike in poteka delno prek mikrovalovnih zvez. V vseh napravah, tudi v koincidenčni enoti, pa se signal za malenkost zakasni.) Telefonski vod v resnici ni nujno potreben in v prihodnosti nameravajo shajati brez njega. Na sočasnost dogodkov mislijo sklepati po pregledu diagramov pisalnih instrumentov ob antenah, ki bodo opremljeni z zanesljivimi urami.

Velik napredek so dosegli pri časovni ločljivosti anten. Medtem ko je velika antena s premerom 96 cm in s hlajeno elektronsko opremo imela še vedno daljšo ločljivost, je bila ločljivost preostalih treh anten 0,3 s, to je stokrat boljša kot pri prejšnjem poskusu.

Poleg obeh anten, ki sta bili priključeni na koincidenčno enoto, sta ves čas delovali tudi anteni s premeroma po 61 cm in 96 cm, le da sta bili ti priključeni samo na svoja pisalna instrumenta. Tako so lahko naknadno ugotavljali še trojne in četverne koincidence. V prvih treh mesecih 1969 so zaznali vsega 17 koincidenč: 6 navadnih, 8 trojnih in 3 četverne. Časovni razmik T

je meril od 144 dni do 48 let pri navadnih koincidencah in od $3 \cdot 10^4$ do $7 \cdot 10^7$ let pri četvernih koincidencah. (Pri trojnih in četvernih koincidencah se izračuna T podobno kot pri navadnih.)

Pri veliki anteni s premerom 96 cm in s hlajeno elektronsko opremo je dosegla poprečna moč največjo vrednost okoli 11 s po zanihanju valja, medtem ko se je na elektromagnetne motnje tudi ta antena odzvala takoj. Po tej zakasnitvi so izbrali koincidence, ki zagotovo niso bile posledice elektromagnetnih motenj. Takih je bila vsaj četrtnina vseh koincidenč. To še ne pomeni, da so bile preostale tri četrtine koincidenč lažne, saj se zaradi termičnega nihanja lahko primeri, da velika antena sploh ne zazna takega resničnega dogodka. Pri prejšnjih poskusih, ko sta bili anteni v razdalji 2 km, so opazili nekatere koincidence brez ustrezne zakasnitve. Take koincidence so seveda lažne, ker zagotovo izvirajo od elektromagnetnih motenj.

Kot pri prejšnjih poskusih so skrbno spremljali seizmografa, inklinometra in gravimeter. Vendar se je zaradi dobre ločljivosti močno zmanjšala možnost, da bi bile koincidence posledice potresnih sunkov. Samo iz ene tisočine zemeljske prostornine bi prišli sunki do Argonna in do Marylanda v tako majhnem časovnem razmiku, da bi sprožili koincidenco.

Pri zadnjih merjenjih so uporabili dodatno elektromagnetno zaščito, ki je bila mnogo učinkovitejša od prvotne. Pokazalo pa se je, da je bil ta ukrep odveč, ker sploh ni vplival na pogostnost koincidenč. Posebej so tudi poskrbeli, da ni prišlo do lažnih koincidenč, pri katerih bi signal z ene izmed anten prek koincidenčne enote vzbudil drugo anteno.

Po vsem tem je J. Weber sklepal, da so vsaj nekatere izmed opaženih koincidenč posledice gravitacijskega valovanja iz vesolja. Kaže, da nastopa to valovanje v obliki kratkotrajnih sunkov in da leži njegova frekvenca na sorazmerno ozkem intervalu okoli $0,02 \text{ s}^{-1}$ v bližini 1660 s^{-1} . Na to sklepajo tudi po dejstvu, da pri prejšnjem merjenju antena, ki je bila uglašena na frekvenco 1120 s^{-1} , ni zaznala ob koincidencah drugih anten nobenega dogodka. Morda prihaja valovanje iz izbranih smeri, a za dokončen sklep o tem je še premalo podatkov. V prihodnje nameravajo izboljšati časovno ločljivost na 0,03 s in meriti na širših frekvenčnih intervalih in pri drugih frekvencah.

Glede izvirov gravitacijskega valovanja so mogoča za zdaj samo tvegana ugibanja. Zdi se, da utegnejo biti izviri v naši Galaksiji. J. Wheeler dopušča možnost, da izvira opazovano gravitacijsko valovanje od eksplozij supernov ali od padanja snovi v črne luknje. Mogoče tudi, da izvira od potresov na pulzarjih. Tak pojav se zdi verjeten, odkar so pred kratkim ugotovili, da se je nenadoma zmanjšala perioda sunkov radijskih valov z enega izmed pulzarjev. Morda, a to ni posebno verjetno, bi utegnili izvirati gravitacijsko valovanje od potresov na Zemlji. Po sodbi R. H. Dickeja ni nujno, da gre za sunke gravitacijskega valovanja, ampak utegne izvir oddajati nepretrgano gravitacijsko valovanje, katerega frekvenca se s časom spreminja. Po gravitacijskem valovanju bi morda lahko tudi ugotovili, ali velja splošna teorija relativnosti ali Brans-Dickejeva tenzorsko-skalarne teorije. Samo druga dopušča tudi skalarne valovanje, ki bi vzbudilo radialno nihanje antene v obliki krogle.⁹ Do sedaj se tak poskus še ni posrečil.

* J. Weber^{5,7} pa tudi R. H. Dicke⁹ sta poskusila ugotoviti lastno nihanje Zemlje z nihajnim časom 54 minut, ki bi ga vzbujalo gravitacijsko valovanje, a v tem nista uspela.

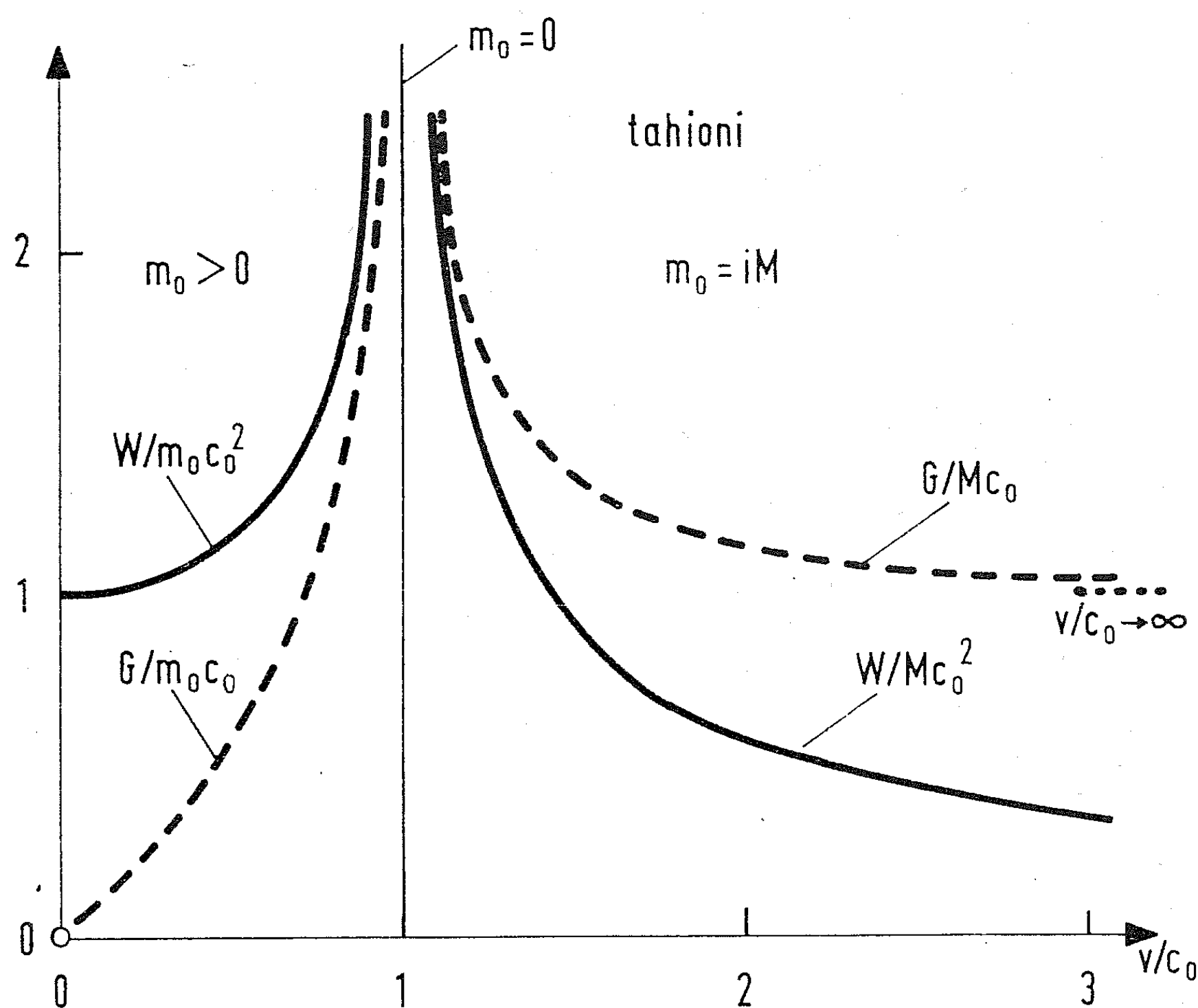
LITERATURA

- ¹ J. Možina: Gravitacijsko valovanje, Obz. mat. fiz. **15**, 116 (1968).
- ² J. Weber: Detection and Generation of Gravitational Waves, Phys. Rev. **117**, 306 (1960).
- ³ J. Weber: Observation of the Thermal Fluctuations of a Gravitational-Wave Detector, Phys. Rev. Letters, **17**, 1228 (1966).
- ⁴ J. Sinsky, J. Weber: New Source for Dynamical Gravitational Fields, Phys. Rev. Letters **18**, 795 (1967).
- ⁵ J. Weber: Gravitational Radiation, Phys. Rev. Letters **18**, 498 (1967).
- ⁶ J. Weber: Gravitational-Wave-Detector Events, Phys. Rev. Letters **20**, 1307 (1968).
- ⁷ J. Weber: Gravitational Waves, Phys. Today **21**, No. 4.35 (1968).
- ⁸ J. Weber: Evidence for Discovery of Gravitational Radiation, Phys. Rev. Letters **22**, 1320 (1969).
- ⁹ Weber Reports 1660 Hz Gravitational Waves from Outer Space, Phys. Today **22**, No. 8, 61 (1969).

ALI BI LAHKO OBSTAJALI DELCI, KI BI BILI HITREJŠI KOT SVETLOBA?

J. STRNAD

Po specialni teoriji relativnosti je hitrost svetlobe v vakuumu c_0 mejna hitrost za delce. Delci, ki bi se gibal z večjo hitrostjo — recimo jim *tahioni* — se zdijo zato že vnaprej v nasprotju s to teorijo. Specialna teorija relativnosti pa je tako dobro podprta z izidi poskusov, da se ji za zdaj ne misli nihče odpovedati zaradi računov, četudi so še tako zanimivi. Pač pa v zadnjem času vse več razpravljajo o možnostih, da bi tahione¹⁻¹⁰ in valovanja, ki so hitrejša kot svetloba¹¹, vgradili v specialno teorijo relativnosti. Teoretična razglabljanja so mikavna in delno uspešna. Do sedaj tahionov še niso opazili pri poskusih. Ni pa izključeno, da zares obstajajo in da jih bodo odkrili v prihodnosti, čeprav se zdi to za zdaj še dokaj dvomljivo. Obzornik je poročal o kvarkih in o magnetnih monopolih, tako da bi storil krivico tahionom, če ne bi pisal tudi o njih. Znaten del fizikov se namreč dandanes ukvarja z iskanjem delcev, ki utegnejo obstajati. Fiziki se bodo zadovoljili šele tedaj, ko bodo odkrili te delce ali pa zakon, ki izrecno prepoveduje njihov obstoj.



Sl. 1. Energija in gibalna količina v odvisnosti od hitrosti za delce z lastno maso, delce brez lastne mase in za tahione z imaginarno lastno maso

Na osnovi enačb specialne teorije relativnosti premislimo, kakšne novosti prinese uvedba tahionov, ne da bi razsojali o upravičenosti postopkov! Omejimo se na nekvantno obravnavanje točkastih delcev. Najprej ponovimo nekatere od osnovnih enačb. V inercialnem opazovalnem sistemu, v katerem ima delec hitrost v , je njegova masa

$$m = m_0 / (1 - v^2/c_0^2)^{1/2}. \quad (1)$$

m_0 je lastna (mirovalna) masa delca, merjena v opazovalnem sistemu, v katerem delec miruje. Gibalna količina delca je

$$\mathbf{G} = m\mathbf{v} = m_0\mathbf{v}/(1 - v^2/c_0^2)^{1/2} \quad (2)$$

in njegova celotna energija

$$W = mc_0^2 = m_0 c_0^2/(1 - v^2/c_0^2)^{1/2}. \quad (3)$$

Mirujoči delec ima samo *mirovalno energijo* $m_0 c_0^2$. Kinetična energija je enaka razliki $(m - m_0) c_0^2$. Iz enačb (2) in (3) sledi

$$W^2 - c_0^2 G^2 = m_0^2 c_0^4. \quad (4)$$

V splošnem pospešek delca $a = dv/dt$ ni vzporeden s silo $\mathbf{F} = d\mathbf{G}/dt$, ki deluje na delec. Pospešek in sila sta vzporedna samo, če je sila pravokotna na hitrost ali če je z njo vzporedna. Za prečno silo velja $F = ma = m_0 a/(1 - v^2/c_0^2)^{1/2}$, za vzdolžno pa

$$F = m_0 a/(1 - v^2/c_0^2)^{3/2}. \quad (5)$$

Ustrezne količine, ki jih izmerimo v različnih inercialnih opazovalnih sistemih, povezuje *Lorentzova transformacija*. Opazovalna sistema S in S' izberemo tako, da imata skupni osi x in x' in da je os y vzporedna z osjo y' in os z z osjo z' . Izhodišče sistema S' ima v sistemu S hitrost v_0 v smeri osi x . Če sovpadata v trenutku $t = t' = 0$ obe izhodišči, veljajo enačbe

$$x' = \gamma_0 (x - v_0 t), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \gamma_0 (t - v_0 x/c_0^2), \quad (6)$$

v katerih je $\gamma_0 = 1/(1 - v_0^2/c_0^2)^{1/2}$. (Obratne enačbe dobimo, če zamenjamo količine brez črtice s količinami s črtico in spremenimo znak hitrosti v_0 .) Komponenti hitrosti v_x' in v_x povezuje enačba

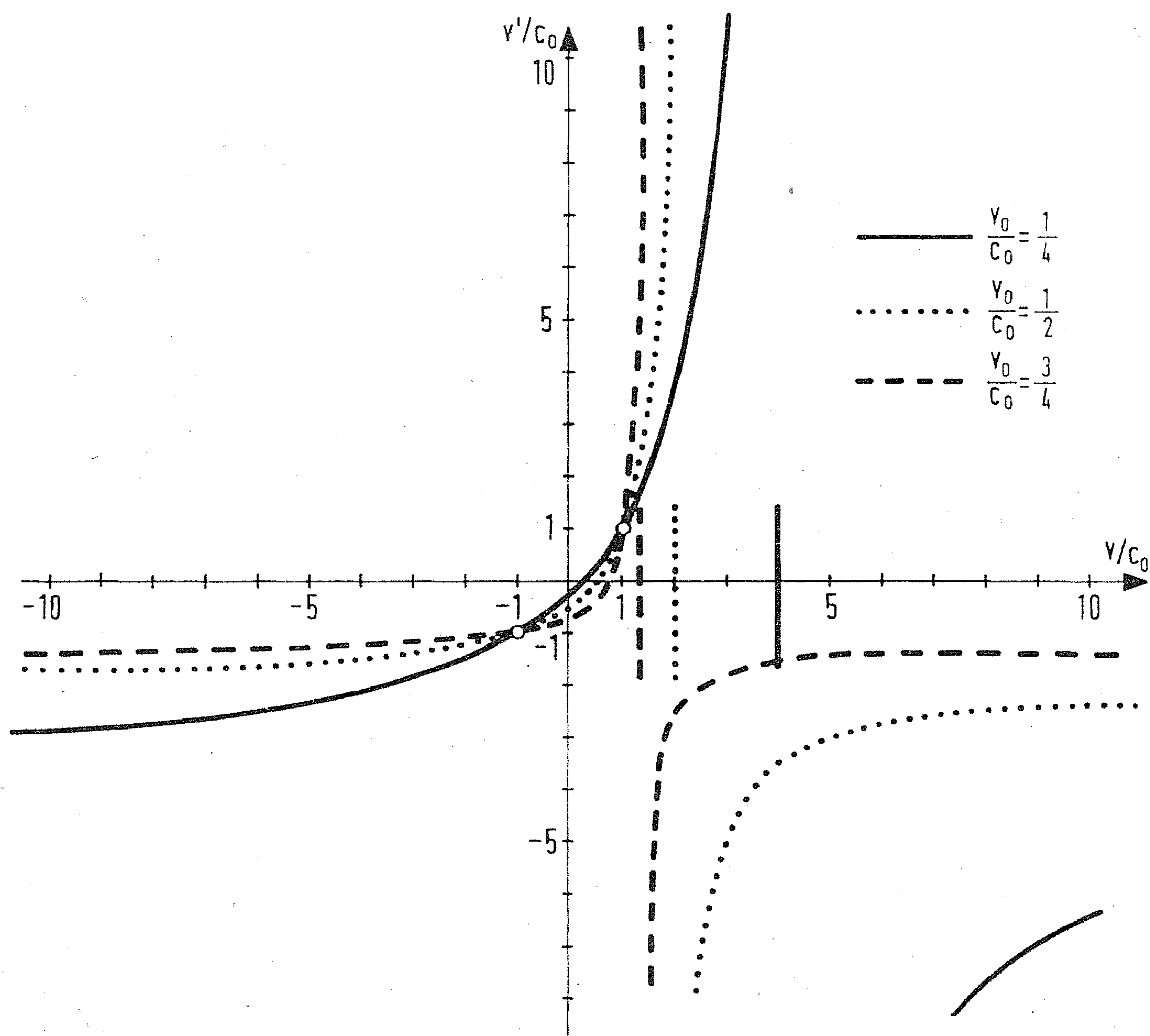
$$v_x' = (v_x - v_0)/(1 - v_x v_0/c_0^2). \quad (7)$$

Komponente gibalne količine se transformirajo kot koordinate in celotna energija, deljena s c_0^2 kot čas:

$$G_x' = \gamma_0 (G_x - v_0 W/c_0^2), \quad G_y' = G_y, \quad G_z' = G_z, \quad W'/c_0^2 = \gamma_0 (W - v_0 G_x)/c_0^2. \quad (8)$$

Hitrost delca z lastno maso mora biti manjša kot hitrost svetlobe. Za $v \rightarrow c_0$ bi namreč narasla energija čez vsako mejo, kar pomeni, da bi morali dovesti delcu pri pospeševanju neskončno veliko dela. Masa, gibalna količina in energija pa ostanejo tudi za $v = c_0$ končne, če je lastna masa delca enaka nič. Delci brez lastne mase — fotoni in nevtrini — imajo že ob nastanku hitrost svetlobe in jih ni treba nič pospeševati. Ne morejo obstajati pri nobeni drugi hitrosti; njihova hitrost je v vseh inercialnih opazovalnih sistemih enaka c_0 (iz enačbe (7) sledi za $v_x = c_0$ tudi $v_x' = c_0$). V tem primeru je gibalna količina v zvezi z energijo: $G = W/c_0$ in ima delec maso zaradi svoje energije: $m = W/c_0^2$.

Navzlic tej možnosti, je v Lorentzovi transformaciji hitrost v_0 vedno manjša kot c_0 . Opazovalni sistem je smiselno vpeljati le, če so v njem merilne naprave, s katerimi pridemo do merskih podatkov. Merilne naprave (tudi če gre



Sl. 2. Slika funkcije $v'/c_0 = (v/c_0 - v_0/c_0)/(1 - vv_0/c_0^2)$ (7) v odvisnosti od kvocienta v/c_0 za tri vrednosti parametra v_0/c_0 ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$). S slike razberemo, da je kvocient v'/c_0 vedno manjši kot 1, če je kvocient v/c_0 manjši kot 1, da je vedno $v'/c_0 = 1$, če je $v/c_0 = 1$, in da je v'/c_0 vedno večji kot 1, če je v/c_0 večji kot 1

za en sam delec) pa imajo lastno maso, zato je nemogoče, da bi dosegla relativna hitrost v_0 dveh inercialnih opazovalnih sistemov hitrost svetlobe.

Delci z lastno maso in z manjšo hitrostjo od c_0 in delci brez lastne mase in s hitrostjo c_0 sestavljajo dve popolnoma različni zvrsti delcev. Poskusimo ju dopolniti še s tretjo zvrstjo, s tahioni, katerih hitrost presega hitrost svetlobe. Tudi za tahione naj obveljajo enačbe (1) do (8). Zahtevamo še, da imajo vse merljive količine smiselne vrednosti. Tako morajo biti masa, velikost gibalne količine in energija pozitivne. V enačbah (1) do (3) je koren $(1 - v^2/c_0^2)^{1/2} = i(v^2/c_0^2 - 1)^{1/2}$ imaginaren, če je hitrost delca v , večja kot c_0 . Da bi bile omenjene tri količine pozitivne, mora biti lastna masa tahiona imaginarna

$$m_0 = iM. \quad (9)$$

Po tem je masa tahiona

$$m = M/(v^2/c_0^2 - 1)^{1/2}, \quad (1')$$

njegova gibalna količina

$$\mathbf{G} = M\mathbf{v}/(v^2/c_0^2 - 1)^{1/2} \quad (2')$$

in energija

$$W = Mc_0^2/(v^2/c_0^2 - 1)^{1/2}. \quad (3')$$

Tahioni v nobenem inercialnem sistemu ne morejo imeti manjše hitrosti kot c_0 . Zares sledi iz enačbe (7), da je hitrost tahiona večja kot c_0 v poljubnem inercialnem opazovalnem sistemu, če je večja kot c_0 v izbranem inercialnem opazovalnem sistemu. Tahioni seveda ne morejo v nobenem opazovalnem si-

stemu mirovati, tako da ne moremo določiti njihove mirovalne mase. Ta nastopa le kot parameter in nič ne nasprotuje dejstvu, da je ta parameter imaginaren. Pri tem vztrajamo ob ugotovitvi, da relativna hitrost dveh inercialnih opazovalnih sistemov ne more preseči hitrosti c_0 (izključimo možnost, da bi bila merilna naprava iz tahionov). Delci tretje zvrsti imajo torej imaginarno lastno maso in hitrost vedno večjo kot c_0 . Njihova hitrost je taka že ob nastanku. Tahionov ne moremo dobiti s pospeševanjem navadnih delcev prek hitrosti c_0 . Hitrost svetlobe, ki je zgornja meja za hitrost navadnih delcev, je spodnja meja za hitrost tahionov.

Iz enačbe (3') razberemo, da je energija tahiona tem večja, čim manjša je njegova hitrost. Tahioni z neskončno hitrostjo imajo energijo nič in gibalno količino Mc_0 . Ta hitrost ustreza hitrosti nič pri navadnih delcih, ko je energija enaka $m_0 c_0^2$ in je gibalna količina enaka nič. Pri tahionih ne moremo vpeljati mirovalne energije; celotna energija se ujema s kinetično.

Hitrost tahiona se zmanjša, če opravi na njem sila delo $Fds = v dG = dW$. To se sklada z zvezo

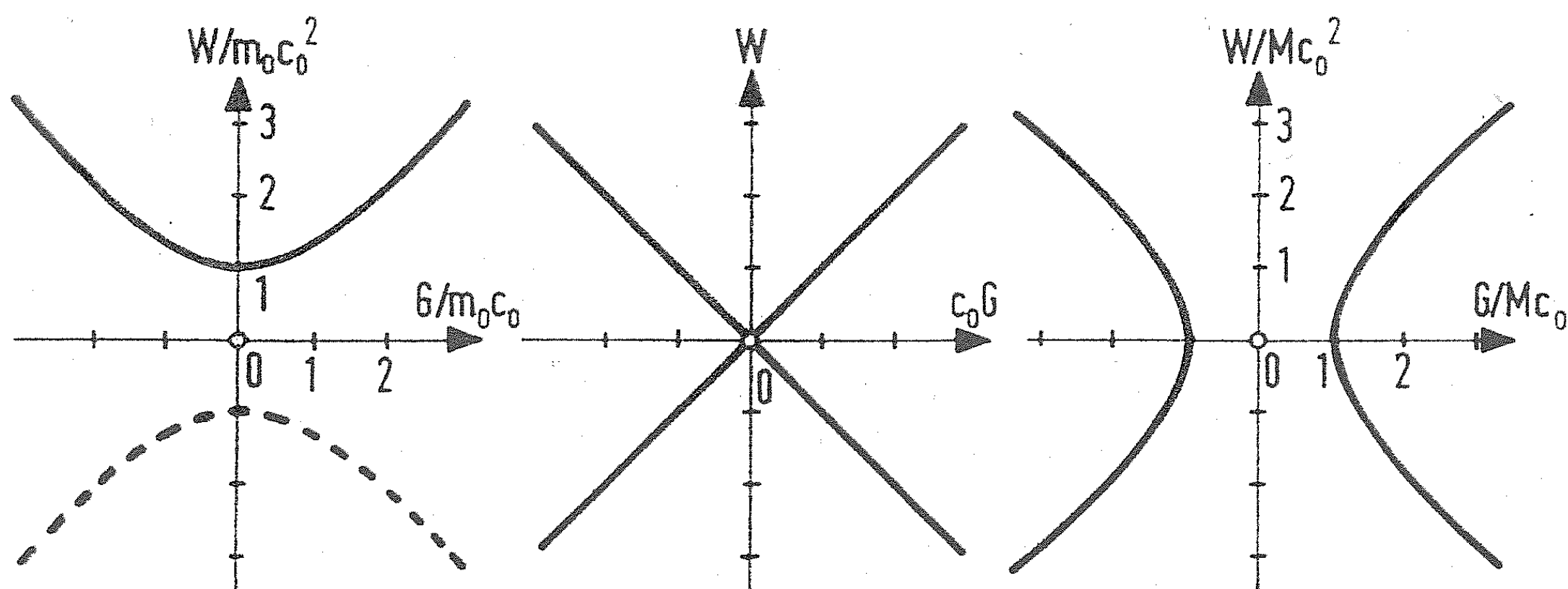
$$F = -Ma/(v^2/c_0^2 - 1)^{3/2}, \quad (5')$$

ki velja pri vzdolžnem pospeševanju in po kateri ima pospešek nasprotno smer kot sila. Pri prečnem pospeševanju pa velja $F = Ma/(v^2/c_0^2 - 1)^{1/2}$.

Pri nadaljnjem razmišljanju naletimo na dve težavi. Prva je tale: v opazovalnem sistemu S naj nastane v trenutku t_1 v točki x_1 tahion, ki se v poznejšem trenutku t_2 absorbira v točki x_2 . Velja enačba $x_2 - x_1 = v(t_2 - t_1)$, v kateri je $v > c_0$ hitrost tahiona, ki se giblje v smeri osi x . V opazovalnem sistemu S' ustreza dogodku x_1, t_1 dogodek x'_1, t'_1 in dogodku x_2, t_2 dogodek x'_2, t'_2 . Po enačbah (6) ugotovimo, da postane časovni razmik

$$t'_2 - t'_1 = \gamma_0 (t_2 - t_1) (1 - vv_0/c_0^2)$$

negativen, če postane relativna hitrost v_0 sistemov S in S' večja kot c_0^2/v . Zaradi $c_0 < v$ je kvocient c_0^2/v manjši kot c_0 in te možnosti ne moremo izključiti. Za opazovalca v sistemu S' bi se v tem primeru absorbiral tahion še preden bi nastal.



Sl. 3. Slike funkcij: $W^2 - c_0^2 G^2 = m_0^2 c_0^4$ (4) za delce z lastno maso (levo), $W^2 - c_0^2 G^2 = 0$ za delce brez lastne mase (sredina) in $W^2 - c_0^2 G^2 = -M^2 c_0^4$ (4') za tahione (desno). Pri delcih z lastno maso dobimo z Lorentzovo transformacijo vedno pozitivno energijo, če je energija delca pozitivna v izbranem inercialnem sistemu. Zato je treba upoštevati samo zgornjo vejo hiperbole. Pri tahionih pa dobimo lahko z Lorentzovo transformacijo negativno energijo, četudi je energija tahiona v izbranem inercialnem opazovalnem sistemu pozitivna

Druga težava je zvezana z energijo. Tahion, ki ima v opazovalnem sistemu S energijo W in gibalno količino G , ima v opazovalnem sistemu S' energijo W' in gibalno količino G' . Oba para količin povezuje enačba

$$W^2 - c_0^2 G^2 = -M^2 c_0^4, \quad W'^2 - c_0^2 G'^2 = -M^2 c_0^4. \quad (4')$$

Krivulja $W^2 - c_0^2 G^2 = -M^2 c_0^4$ je hiperbola, ki seka os G . Z Lorentzovo transformacijo so iz izbrane točke s pozitivno energijo W dosegljive vse točke iste veje: v nekaterih opazovalnih sistemih postane energija W' negativna.

Obe težavi — negativni časovni razmik in negativno energijo — povežemo. Z enačbo (8) ugotovimo, da postane za opazovalca v sistemu S' energija tahiona $W' = \gamma_0 (W - v_0 G)$ negativna, ko preseže hitrost v_0 vrednost $W/G = c_0^2/v$. Če je $v_0 > c_0^2/v$, nastane za opazovalca v sistemu S' v trenutku t_1' v točki x_1' tahion z negativno energijo in se absorbira v prejšnjem trenutku t_2' v točki x_2' . Tako stališče je nevzdržno. Ves pojav pa lahko tolmačimo drugače: v trenutku t_2' nastane v točki x_2' tahion s pozitivno energijo in se absorbira v poznejšem trenutku t_1' v točki x_1' . To tolmačenje ne nasprotuje načelu relativnosti, ki zahteva le, da veljajo isti zakoni v vseh inercialnih opazovalnih sistemih. Ne zahteva pa, da je pojav, ki ga opazujejo opazovalci iz različnih opazovalnih sistemov, za vse enak. Tahion z negativno energijo, za katerega teče čas v obratnem smislu, torej vselej tolmačimo kot tahion s pozitivno energijo, za katerega teče čas v pravem smislu. To spoznanje, ki so ga odkrili Bilaniuk, Deshpande in Sudarshan³, je znano kot *načelo novega tolmačenja (načelo reinterpretacije)*⁹.

*

Vzemimo, da sodeluje tahion z drugimi delci, na primer z nukleoni, ne da bi se spraševali o podrobni naravi tega sodelovanja! V tem primeru pride lahko do trkov med tahioni in nukleoni. Pri takih trkih zahtevamo, da se — enako kot pri trkih navadnih delcev — ohranita skupna gibalna količina in skupna energija. Obravnavajmo premi trk tahiona z nukleonom! Pred trkom ima tahion energijo W_I in gibalno količino G_I in nukleon energijo W_{II} in gibalno količino G_{II} , po trku pa ima tahion energijo W_1 in gibalno količino G_1 in nukleon energijo W_2 in gibalno količino G_2 . Te količine morajo zadoščati enačbama

$$G_I + G_{II} = G_1 + G_2, \quad W_I + W_{II} = W_1 + W_2. \quad (10)$$

Če veljajo še enačbe $W_I^2 - c_0^2 G_I^2 = W_1^2 - c_0^2 G_1^2 = -M^2 c_0^4$ in $W_{II}^2 - c_0^2 G_{II}^2 = W_2^2 - c_0^2 G_2^2 = m_0^2 c_0^4$ in če so vse energije pozitivne, gre za prožni trk. Pri opazovanju takega trka iz kakega drugega opazovalnega sistema pa lahko postane končna energija ali začetna energija tahiona negativna. V primeru, da je negativna začetna energija, zapišemo enačbi (10) v obliki

$$G_{II}' = G_1' + G_2' + (-G_I), \quad W_{II}' = W_1' + W_2' + (-W_I'),$$

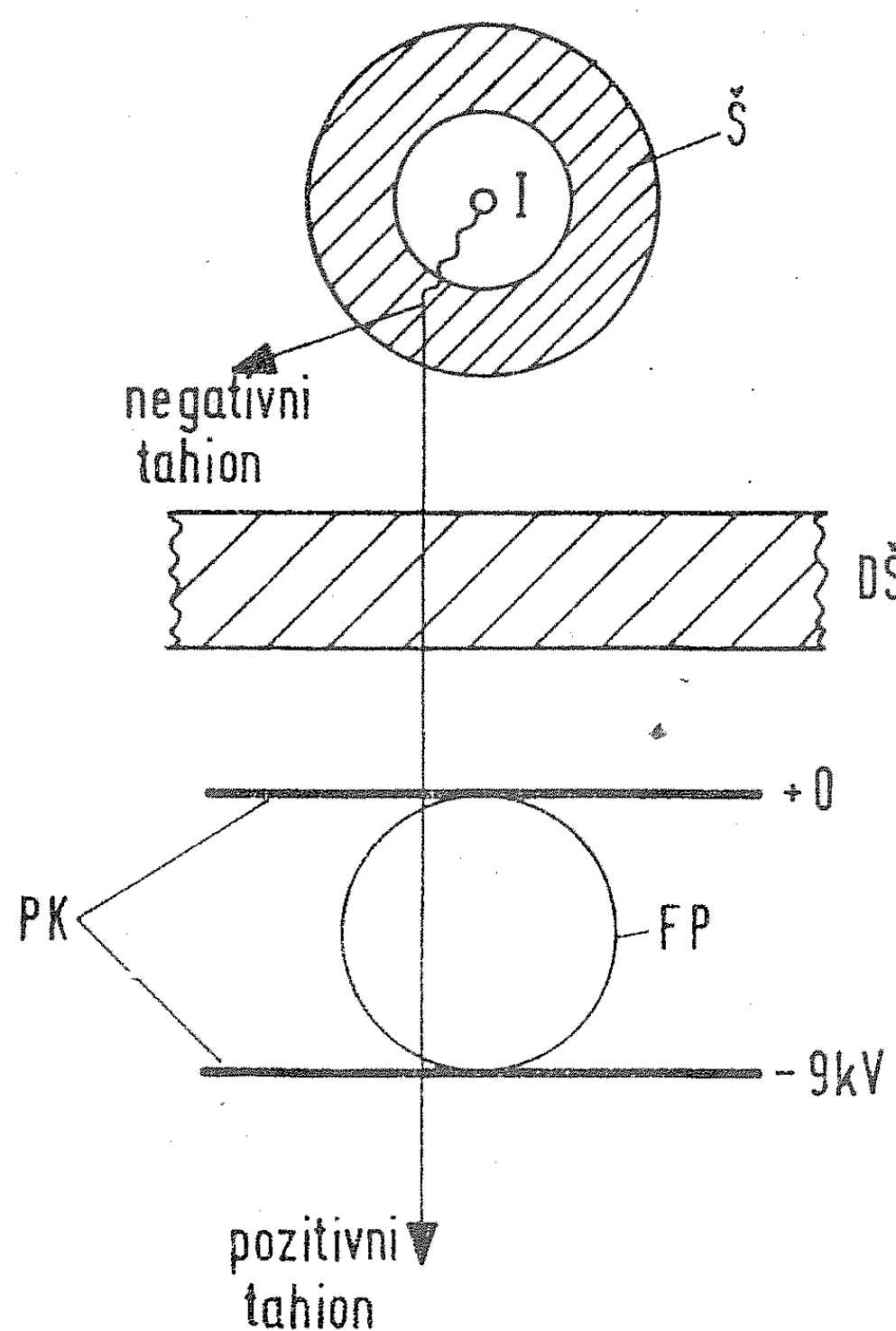
če pa je negativna končna energija, zapišemo enačbi v obliki

$$G_I' + G_{II}' + (-G_1') = G_2', \quad W_I' + W_{II}' + (-W_1') = W_2'.$$

Teh dveh pojavov ne tolmačimo kot prožna trka, v katerih nastopa tahion z negativno energijo. Pač pa nukleon v prvem primeru izseva dva tahiona s pozitivno energijo in v drugem primeru dva taka tahiona absorbira.

S takim tolmačenjem se izognemo tudi težavam zaradi neomejenih izvirov energije. Lahko bi si namreč izmislili pojav, pri katerem bi mirujoči nukleon izseval dva enaka tahiona z nasprotno enakima gibalnima količinama in z enakima negativnima energijama $-W_1$. Ob tem bi se povečala njegova energija od $m_0c_0^2$ na $m_0c_0^2 + 2W_1$. Negativna energija tahionov ni omejena, zato bi lahko nukleon pri takem pojavu in pri podobnih pridobil poljubno veliko pozitivno energijo. Toda po načelu novega tolmačenja moramo ta pojav tolmačiti kot absorpcijo dveh tahionov s pozitivno energijo.

Zdi se, da smo se izognili vsem težavam, toda ne smemo zamolčati resne težave, v katero smo zaradi tega zašli. Pri trkih delcev s pozitivno lastno maso se pri Lorentzovi transformaciji začetni podatki (mišljeni sta na primer energija in vektor gibalnih količin za vsakega izmed nastopajočih delcev) transformirajo v začetne podatke in končni podatki v končne. Pri tahionih pa ni tako: zaradi uporabe načela o novem tolmačenju se po Lorentzovi transformaciji prepletajo začetni in končni podatki. Enačbe za tahione torej niso invariantne proti Lorentzovi transformaciji tako, kot so invariantne enačbe za navadne delce. Nekatere enačbe teorije tahionov so sicer invariantne proti Lorentzovi transformaciji, a v enačbah, ki se tičejo trkov in podobnih pojavov, se prepletejo končni in začetni podatki. To je vsekakor resna pomanjkljivost teorije tahionov. Mnenja o tem, ali zadostuje ta razlog za sklep, da teorije tahionov ni mogoče uskladiti s specialno teorijo relativnosti, ali ne, so deljena. Kaže, da teoretični razlogi niso dovolj jasni, da bi prepričali zagovornike prvega mnenja o pravilnosti drugega ali obratno.



Sl. 4. Risba naprave, ki sta jo uporabila T. Alväger in M. Kreisler pri iskanju tahionov. I je radioaktivni izvir ^{134}Cs , Š je svinčeni ščit okoli izvira in DŠ dodatni ščit, PK ploščati kondenzator in FP fotopomnoževalka. Narisan je domnevni nastanek tahionskega para in tira obeh tahionov.¹⁰

Ta polčžaj so poskušali razrešiti s poskusi. Doslej so napravili že nekaj poskusov, da bi odkrili tahione, več pa jih pripravljajo. V zvezi s tem je treba povedati še nekaj o domnevnih lastnostih tahionov. Najlaže bi bilo zaznati nabite tahione. Hitrost tahionov je večja kot hitrost elektromagnetnega valovanja v vakuumu. Znano pa je, da nastane pri navadnih delcih, ki se gibljejo

po snovi z večjo hitrostjo kot svetloba, pojav Čerenkova* (hitrost delcev je večja kot hitrost svetlobe v snovi c_0/n , če je n lomni kvocient, a manjša od hitrosti c_0 svetlobe v vakuumu). Po tem sklepamo, da nastane pojav Čerenkova tudi pri gibanju nabitih tahionov po vakuumu. To je prvi spoznal A. Sommerfeld še pred odkritjem specialne teorije relativnosti (1904). Kot β med smerjo sevanja in smerjo gibanja tahiona je dan z enačbo $\cos \beta = c_0/v$. Ta kot je tem bližji pravemu kotu, čim večja je hitrost tahionov ali čim manjša je njihova energija. Za razliko od tega je kot β pri pojavu Čerenkova z navadnimi delci običajno zelo majhen.

Tahion z energijo W in z nabojem Ze_0 zgubi zaradi sevanja Čerenkova na enoti poti energijo $dW/ds = -Z^2 e_0^2 M^2 W^2 / 8\pi \epsilon_0 \hbar^2 G^2$. Tahion, ki ima spočetka energijo Mc_0^2 , preteče razdaljo $s = 8\pi \epsilon_0 \hbar^2 / Z^2 e_0^2 W$, preden mu pade energija na vrednost W . S podatkom $Z = 1$ in $W = 1$ eV dobimo za s komaj kakih 50 mikronov. Nabiti tahion zgubi zaradi sevanja Čerenkova pretežni del svoje energije že na poti, ki je majhen del centimetra. — O sodelovanju tahiona z atomskimi jedri in elektroni pri gibanju po snovi ne moremo reči nič določnejšega. Mogoče bi bilo, da elektron ali atomsko jedro ujame nabiti tahion. Toda preprost račun pokaže, da je verjetnost za ta pojav izredno majhna.**

Tahioni bi utegnili nastati pri jedrskih reakcijah, pri reakcijah med osnovnimi delci in pri razpadih jeder ali osnovnih delcev. Razpad β je teoretično sicer dobro pojasnjen, vendar bi utegnili nastati poleg elektronov in nevtrinov tudi nekaj tahionov. T. Alväger in P. Erman sta poskušala ugotoviti nabite tahione v sevanju iz močnega radioaktivnega izvira ^{170}Lu . Curek žarkov sta vodila skozi spektrometer z dvojnim zbiranjem na polprevodniški števec. Tako je bila določena gibalna količina delcev, ki so padli na števec. Pričakovati je bilo, da imajo tahioni in elektroni z enako gibalno količino različni energiji, ki bi ju zaznali s števcem. Izid poskusa pa je bil negativen.⁹

Druga možnost za nastanek tahionov je fotoprodukcija. Pari nabitih tahionov naj bi nastali pri prehodu žarkov γ skozi snov. Tahione, ki bi nastali s fotoprodukcijo v svincu, sta poskušala odkriti T. Alväger in M. Kreisler.¹⁰ Žarki z energijami več sto kiloelektrovoltoev iz izvira ^{134}Cs z aktivnostjo 5 mC naj bi rodili tahionske pare v svičenem ščitu okoli izvira. Za dodatnim ščitom, ki je absorbiral še vse preostale žarke γ , je bil postavljen v vakuumu velik ploščati kondenzator, v katerem bi pozitivni tahioni dobivali energijo na račun električnega dela. Jakost električnega polja v kondenzatorju je bila izbrana tako, da bi električno delo pri pričakovanih lastnostih tahionov ravno krilo izgubo zaradi sevanja Čerenkova. V tem primeru bi morale veljati $Ze_0 E = Z^2 e_0 W^2 / 8\pi \epsilon_0 \hbar^2 c_0^2$. Iz tega sledi za jakost električnega polja $E = Ze_0 W^2 / 8\pi \epsilon_0 \hbar^2 c_0^2$. Pri energiji $W = 1$ eV in $Z = 1$ da to okoli 200 V/cm. Pravokotno na domnevni tir tahionov v kondenzatorju je bila usmerjena fotopomnoževalka, ki bi morala sprejeti več kot sto fotonov na vsak tahion. Fotopomnoževalka je bila priključena na analizator za višino sunkov. Najprej so napravili poskus, ko je bil v bližini radioaktivni izvir, nato so ga ponovili brez

* Glej npr. članek G. Lahajnarja Števci Čerenkova, Obz. mat. fiz. 11, 121 (1964).

** Pri ujetju mora biti električna privlačna sila enaka centripetalni: $zZe_0^2 / 4\pi \epsilon_0 r^2 = Mv^2 / r (v^2/c_0^2 - 1)^{1/2}$. Verjetnost za ujetje ocenimo s presekom $\pi r^2 = z^2 Z^2 c_0^4 W^2 / 16\pi^2 \epsilon_0^2 (W^2 + M^2 c_0^4)^2$. Pri tem je ze_0 naboj delca, ki ujame tahion. Presek za zajetje tahionov z $Mc_0^2 = 10$ MeV in z energijo 0,5 MeV v svincu meri komaj nekaj 10^{-30} cm². Ustrezna poprečna prosta pot je okoli 10 km.

izvira. Rezultat se pri ponovni izvedbi ni razlikoval od prvotnega rezultata, tako da tudi pri tem poskusu niso mogli zaslediti tahionov.

Po tem neuspehu se je razširilo mnenje, da morda ni nabitih tahionov, da pa utegnejo obstajati nevtralni (tudi vsi znani delci brez lastne mase so brez naboja). Nevtralne tahione pa je seveda mnogo težje zaznati kot nabite. Alväger pripravlja poskus, pri katerem bi se pokazali nevtralni tahioni kot prodorni nevtralni žarki, lažji od nevtronov. Na obstoj nevtralnih tahionov bi sklepali tudi po reakcijah med osnovnimi delci, če bi se pri kaki reakciji pojavila manjkajoča masa z negativno vrednostjo kvadrata. B. Maglič in drugi, ki uporabljajo veliki brookhavenski spektrometer za manjkajočo maso,* nameravajo preiskati reakcijo protonov s kinetično energijo okoli 20 GeV z devteroni. Pri tej reakciji nastanejo tudi jedra ^3He in drugi delci. Če je lastna masa drugih delcev realna, odleti jedro ^3He pod določenim majhnim kotom proti smeri vpadnih protonov, če pa bi nastal delec z imaginarno lastno maso, bi jedro ^3He odletelo pod nenavadno velikim kotom.

*

Doslej smo se izogibali vprašanju o *kavzalnosti*. Navadno izrečemo *načelo kavzalnosti* takole: posledica mora časovno slediti vzroku. V specialni teoriji relativnosti združimo to trditev s trditvijo, da se delci ne morejo gibati s hitrostjo svetlobe in da se energija ali sporočila ne morejo prenašati z večjo hitrostjo kot c_0 . Tako pridemo do načela kavzalnosti v drugi obliki: dogodka x_1, t_1 in x_2, t_2 sta lahko vzročno povezana le, če velja $(x_2 - x_1)^2 \leq c_0^2 (t_2 - t_1)^2$. Ta oblika načela kavzalnosti ne velja za tahione, za katere je $(x_2 - x_1)^2 / (t_2 - t_1)^2 = v^2 > c_0^2$.

Tudi prva oblika načela velja le skupaj z načelom novega tolmačenja. Poučen je zgled, ki ga je v nekoliko drugačni zvezi navedel R. C. Tolman (1917). V trenutku t_0 odda opazovalec v sistemu S iz svojega izhodišča signal, ki potuje s hitrostjo v v smeri osi x in zadene v trenutku t_1 izhodišče sistema S' v točki $x_1 = vt_1$. V tem trenutku odda opazovalec v sistemu S' iz svojega izhodišča signal, ki potuje v smeri osi $-x'$ s hitrostjo v' . Pri tem je v' hitrost, ki jo je imel prvi signal za opazovalca v sistemu S' . V trenutku t_2' zadene drugi signal izhodišče sistema S. Račun** pokaže, da je časovna razlika $t_2 - t_0$ pozitivna le, če velja $v < c_0^2/v_0$. V nasprotnem primeru je časovna razlika negativna in je vzrok, to je izsevanje prvega signala, zakasnjjen za posledico, to je za po-

* Glej članek M. Rosine: Nov spektrometer za vzbujena stanja mezonov. *Obz. mat. fiz.* **12**, 180 (1965) o podobnem spektrometru!

** V izhodišču S se izseva prvi signal — dogodek 0:

$$x_0 = 0, \quad t_0 \qquad x_0' = -\gamma_0 v_0 t_0, \quad t_0' = \gamma_0 t_0;$$

prvi signal pride do izhodišča S' in tu se izseva drugi signal — dogodek 1:

$$x_1 = v_0 t_1, \quad t_1 = vt_0/(v - v_0) \qquad x_1' = 0, \quad t_1' = t_1/\gamma_0;$$

drugi signal se vrne v izhodišče S — dogodek 2:

$$x_2 = 0, \quad t_2 = t_2'/\gamma_0 \qquad x_2' = -v_0 t_2', \quad t_2' = v' t_1'/(v' - v_0).$$

Za dogodka 0 in 1 ni težko izračunati podatkov v sistemu S in za dogodek 2 podatkov v sistemu S' . Preglednico podatkov izpopolnimo z Lorentzovo transformacijo (6) in z obratno transformacijo. Iz enačbe (7) izračunamo $v' = (v - v_0)/(1 - vv_0/c_0^2)$. Končno dobimo $t_2 - t_0 = 2v_0 t_0 (1 - vv_0/c_0^2)/v (1 - 2v_0/v + v_0^2/c_0^2)$.

vratkom drugega signala. Nasprotje razrešimo, če gre za tahione, z načelom novega tolmačenja. Opazovalec v sistemu S sklepa za $v_0 > c_0^2/v$, da ima tahion v drugem signalu negativno energijo, zato obrne smisel časa pri tem tahionu. Po tem trdi, da je izsevala oba tahiona naprava v njegovem izhodišču. Oba dogodka tedaj zanj nista vzročno povezana in se drugi lahko dogodi pred prvim.

Na tem mestu se ne moremo posvetiti podrobnejši razpravi o vprašanju, kakšne čeri se utegnejo skrivati za dejstvom, da za tahione ne velja druga oblika načela kavzalnosti.* Razprava poteka zdaj v okviru kvantne teorije tahionov. Prvi je kvantno teorijo tahionov postavil S. Tanaka.¹ Ker pa ni poznal načela novega tolmačenja, ni pomislil na možnost, da bi tahioni lahko zares obstajali. G. Feinberg je sestavil podrobno kvantno teorijo tahionov z upoštevanjem načela novega tolmačenja.⁴ Toda naknadno se je pokazalo, da njegova teorija nima nekih potrebnih lastnosti. Teoriji M. E. Aronsa in E. C. G. Sudarshana⁶ o tahionskih poljih, ki ne sodelujejo z drugimi polji, in J. Dhara in E. C. Sudarshana⁸ o tahionskih poljih, ki sodelujejo z nukleonskimi, menda nimata te pomanjkljivosti. Kvantna teorija sama ne prinese kakih bistvenih novosti, kajti v kvantni teoriji polja ni drugih omejitev glede hitrosti polj kot omejitve specialne teorije relativnosti. Zato nastopijo tudi v kvantni teoriji težave, ki so povezane s težavami, na katere smo naleteli pri trkih tahionov, to je na prepletanje končnih in začetnih podatkov. M. M. Broido in J. G. Taylor, ki sta poskušala iti vprašanju teoretično do dna, sodita, da zaide vsaka teorija delcev z večjo hitrostjo od svetlobe prej ali slej v hude težave.⁷

* R. G. Newton⁵ si je zamislil poskus, katerega rezultat ni v prid možnosti za uvedbo tahionov. Pri tem poskusu nastane v trenutku t_1 v točki x_1 tahion, ki se giblje v smeri osi x in se absorbira v poznejšem trenutku t_2 v točki x_2 . Za opazovalca v sistemu S' poteka pojav v obratnem časovnem redu, če je $v_0 > c_0^2/v$: tahion nastane v trenutku t_2' v točki x_2' , in se absorbira v poznejšem trenutku t_1' v točki x_1' . Opazovalec v S postavi med točki x_2 in x_1 zaklopko, ki jo po volji odpira in zapira. Kadar je zaklopka zaprta, se v x_2 ne absorbira noben tahion, kadar pa je odprta, se lahko absorbira v x_2 tahion. Po povezavi med odprto zaklopko in absorpcijo v točki x_2 sklepa opazovalec v S , da je dogodek x_2, t_2 posledica dogodka x_1, t_1 . Tudi opazovalec v sistemu S' opazuje odpiranje in zapiranje zaklopke in se mora naposled strinjati z opazovalcem v sistemu S , da je dogodek x_2', t_2' posledica dogodka x_1', t_1' . Toda zanj se prvi dogodek dogodi pred drugim! Lahko, da se dá temu paradoksu kako izogniti. Opozarja pa na težave pri opisu poskusov s tahioni, ko vključimo mikroskopsko sliko in statistično obravnavanje.

LITERATURA

¹ S. Tanaka: Theory of Matter with Super Light Velocity, Progr. Theor. Phys. **24**, 171 (1960).

² Ja. P. Terleckij: Dokl. Ak. Nauk **133**, 329 (1960).

³ O. M. P. Bilaniuk, V. K. Deshpande, E. C. G. Sudarshan: »Meta« Relativity, Am. J. Phys. **30**, 718 (1962).

⁴ G. Feinberg: Possibility of Faster-than-Light Particles, Phys. Rev. **159**, 1089 (1967).

⁵ R. G. Newton: Causality Effects of Particles That Travel Faster Than Light, Phys. Rev. **162**, 1274 (1967).

⁶ M. E. Arons, E. C. G. Sudarshan: Lorentz Invariance, Local Field Theory, and Faster-than-Light Particles, Phys. Rev. **173**, 1622 (1968).

⁷ M. M. Broido, J. G. Taylor: Does Lorentz-Invariance Imply Causality? Phys. Rev. **174**, 1606 (1968).

⁸ J. Dhar, E. C. G. Sudarshan: Quantum Field Theory of Interacting Tachyons, Phys. Rev. **174**, 1808 (1968).

⁹ O. M. P. Bilaniuk, E. C. G. Sudarshan: Particles Beyond the Light Barrier, Phys. Today **22**, (No. 5), 43 (1969).

¹⁰ T. Alväger, M. N. Kreisler: Quest for Faster-than-Light Particles, Phys. Rev. **171**, 1357 (1968).

¹¹ S. Bludman, M. A. Ruderman: Possibility of the Speed of Sound Exceeding the Speed of Light in Ultradense Matter, Phys. Rev. **170**, 1176 (1968).

DOSTAVEK

M. B. Davis, M. N. Kreisler in T. Alväger so poročali o novem brezuspešnem poskusu, da bi zaznali tahione.* Pri tem poskusu naj bi žarki γ iz izdatnega izvira ^{60}Co rodili tahionske pare v debelem svinčenem ščit. Negativni tahion bi zaznali po sevanju Čerenkova v dveh ploščatih kondenzatorjih. Med plošči vsakega od kondenzatorjev je bila usmerjena po ena fotopomnoževalka, ki naj bi zaznavala fotone, nastale pri pojavu Čerenkova. Najprej so več ur šteli koincidence med obema fotopomnoževalkama, ko je bil postavljen radioaktivni izvir za svinčeni ščit. Nato so prav toliko časa šteli koincidence, ko izvira ni bilo v bližini. S primerjavo obeh podatkov so ugotovili, da je presek za fotoprodukcijo nabitih tahionov vsekakor manjši kot $1,7 \cdot 10^{-9}$ barnov. Ta ugotovitev je še nadalje zmanjšala vero v možnost za obstoj nabitih tahionov.

W. B. Rollnick pa je navedel teoretične razloge, ki govorijo proti obstoju tahionov.** Podrobneje je obdelal miselni poskus — podoben Tolmanovemu — z absorpcijo in poznejšo emisijo tahionov v dveh opazovalnih sistemih, ki se gibljeta drug proti drugemu s hitrostjo $v_0 > c_0^2/v$, če je v hitrost tahionov. Zaradi kavzalnosti — češ da mora biti vzrok vedno pred posledico — je prišel do prepričanja, da je mogoče izbirati samo med dvema možnostima: 1. tahioni obstajajo, a ne sodelujejo z navadnimi delci, in 2. tahioni ne obstajajo. Ker tudi prva možnost nima fizikalne vsebine, saj po njej tahionov sploh ne bi bilo mogoče zaznati, je po njegovem mnenju razpravljanje o tahionih prazno.

B. S. DeWitt meni, da s tahioni ni mogoče prenašati sporočil. D. J. Thouless je prepričan, da govorijo razlogi kavzalnosti proti obstoju tahionov, ki bi bili zmožni prepotovati znatne razdalje.*** Medtem pa O. M. Bilniuk in E. C. G. Sudarshan vztrajata pri trditvi, da se z načelom novega tolmačenja izognemo vsem težavam v zvezi s kavzalnostjo.****

* M. B. Davis, M. N. Kreisler, T. Alväger: Search for Faster-Than-Light particles, Phys. Rev. **183**, 1132 (1969).

** W. B. Rollnick: Implications of Causality for Faster-Than-Light Matter, Phys. Rev. **183**, 1105 (1969).

*** D. J. Thouless: Causality and Tachyons, Nature **224**, 506 (1969).

**** O. M. Bilaniuk, E. C. G. Sudarshan: Causality and Space-like Signals, Nature **223**, 386 (1969).

VZGOJNA VLOGA FIZIKE V SREDNJI ŠOLI

O francoski šolski reformi je Obzornik za matematiko in fiziko že pisal (Obz. mat. fiz. 14, 139).. Namen te reforme je vsebinsko obogatiti pouk s sodobnimi znanstvenimi pridobitvami, pri tem pa ne zgubiti z vida tiste smotre, ki morajo biti v osnovnem in srednjem šolstvu bistveni, to je *vzgoja* otroka v sposobnega in družbi koristnega odraslega. Za dosego tega smotra pa je glavno načelo šole: non multa sed multum. Ne toliko število ur in tudi ne s snovjo prenatrpani učni načrti, kakor pravilni metodično vzgojni prijemi. Glede vloge fizike v tem vzgojnem procesu je bil nedavno v Parizu seminar, na katerem so bile podane zanimive ideje, ob katerih bi se tudi mi lahko zamislili. Naj na-vedem glavne misli tega zbora!

Namen fizikalnega pouka

Dokler si nismo na jasnem, čemu poučujemo v srednji šoli fiziko, je nesmiselno govoriti o tem, kako na jo poučujemo.

Obstojita dve mišljenji, ki sta zdaj že zastareli, a ju še vedno srečujemo posebno v krogih izven srednje šole. Po prvem mora dati fizikalni pouk tista znanja, »ki jih mora izobražen človek imeti«. Po drugem pa mora biti pouk v srednji šoli priprava na višje šole.

Prvo kot drugo mišljenje je popolnoma napačno. To se vidi že odtod, da je veliko izobraženih ljudi, ki fizike skoraj nič ne znajo, pa zaradi tega ne čutijo nikakega neugodja; po drugi strani pa je veliko učencev, ki pri svojem nadaljnjem študiju ne bodo fizike nikoli rabili. Pouk fizike ima mnogo globlji, vzgojni pomen: otroka je treba preoblikovati v odraslega. Otrok se bistveno loči od odraslega po svoji egocentričnosti, ki jo izkazuje nasproti realnosti. To egocentričnost mu je treba izbiti in ga pripraviti do tega, da bo sprejemal dejstva takšna, kot v resnici so, v vsej njihovi zamotanosti. In tu lahko fizika veliko pomaga. Seveda lahko istočasno želimo, da bi učenci obdržali čim več znanja za življenje; toda to znanje je le po vrhu dano, ne da bi ga morali iskati, to mora biti le sekundarni smoter naše pedagogike.

Osnovna misel vsake vzgoje, davno proglašena in splošno znana, čeprav pogosto ignorirana, je tale: naš učenec, čeprav v dobi odraščanja, ni niti majhen niti nedokončan odrasel, ampak popolnoma drugačno bitje, ki ima svojo lastno pamet, svoje interese, svojo logiko in svoj besedni zaklad, drugačen od besednega zaklada odraslih. Tega se je treba zavedati, če naj pravilno postavimo načela, ki se jih mora držati fizikalna vzgoja.

Načela fizikalne vzgoje

a) *Od otroka do odraslega.* Stara didaktična metoda, ki je našla svoj izraz v diktiranju, je v fiziki popolnoma nedopustna. Pri tej metodi je učitelj podajal učencem svoje lastno znanje, to se pravi znanje odraslega, in sicer učenega odraslega. Poraz je bil neizogiben.

Če nočemo doživeti neuspeha, moramo neprestano proučevati duševni razvoj učencev in temu prilagoditi našo razlago, ne pa jim vsiljevati svoje mišljenje, tj. mišljenje odraslega. To je možno le, če imamo ves čas stik z razredom,

in sicer s celim razredom. Zato je živ pouk, pri katerem sodeluje ves razred, osnovni predpogoj uspeha.

Stari didaktizem je dovoljen v enem samem primeru: če gre samo za znanje, ne pa za vzgojo. To je npr. na raznih tečajih, seminarjih ipd.

b) *Od znanega k neznanemu.* Ko otroci vstopijo v gimnazijo, že znajo nekaj fizike, čeprav se morda tega ne zavedajo. To vedo iz izkušnje, iz časopisov in revij, slišijo in vidijo na televiziji in po radiju itd. Vsi pojmi, o katerih je govora pri fiziki v srednji šoli, so učencu bolj ali manj že poznani. To je vedel že Sokrat, ko je rekel: »Kar nekoga učimo, ni nič takega, da ne bi on na neki način že vedel.« To megljeno znanje je treba predhodno ugotoviti, nato pa na njem dalje graditi.

c) *Od konkretnega k abstraktnemu.* Od pouka fizike v gimnaziji otrok mnogo pričakuje. Zdaj mu niso več dovolj gola dejstva, ampak zahteva njihovo teoretično razlago. Treba je torej previdno prehajati od konkretnega k abstraktnemu. Seveda pa moramo dobro ločiti med tem, kar je konkretno za otroka, in tistim, kar je oprijemljivo za nas. Mnogo stvari je, ki jih mi smatramo za konkretne, ker nam vzbuja materialno predstavo, za otroka pa so v bistvu abstrakcija, ker jih ni nikoli izkusil. Otroku je nekaj konkretno le, če to pozna iz osebne izkušnje ali daljšega opazovanja.

Sredstva sodobnega fizikalnega pouka

Poskusimo zdaj aplicirati gornja načela na praktično organizacijo šolskega dela pri pouku fizike! Zadržimo se predvsem na dveh elementih, svojskih eksperimentalnim vedam, to so praktične vaje in frontalni poskusi, ter na uporabi učbenika!

1. *Laboratorijske vaje.* Eno od najvažnejših načel sodobnega pouka je: od konkretnega k abstraktnemu. Treba je torej razširiti konkretno znanje pri otroku. In ker je neki pojav za mlade učence konkreten šele, če ga poznajo iz lastne izkušnje, so laboratorijske vaje odličen pripomoček za pridobivanje izkušenj.

Laboratorijske vaje pa morajo biti integrirane v pouk in ne biti samo v pomoč ali dopolnilo pouka. To je mogoče izvesti na več načinov:

nekatero pojave lahko učenci proučujejo med samo vajo — razlaga in vaja gresta vzporedno;

nekatero vaje lahko služijo kot priprava na profesorjevo razlago snovi — vaja je pred razlago;

končno je možno tudi razlago dopolniti s praktično vajo — vaja sledi učni uri.

Taka integracija je pa možna le, če dobi cel razred enako vajo. To je sicer pri fiziki včasih težko zaradi drage opreme, ki mora biti na razpolago v več izvodih, toda iz metodičnih razlogov mora biti to smoter fizikalnih vaj. Tako zaradi drage opreme kakor tudi zaradi lažjega vodstva je francosko Ministrstvo za narodo vzgojo v svojih navodilih z dne 23. jan. 1953 zahtevalo, da se vsi razredi z več kot 24 učenci pri laboratorijskih vajah delijo na polovico.

Kar zadeva navodila za vaje, ki jih imajo na razpolago učenci, ni niti potrebno niti priporočljivo, da jih učence vnaprej preštudirajo, ko o stvari še nič ne vedo. To bi se reklo: iti od abstraktnega h konkretnemu, kar je nasprotno zgoraj proglašenemu načelu. Profesorjeva naloga je, da učence med vajo vodi in navodila sproti razlaga. To velja seveda le, če delajo vsi prisotni enako

vajo; v nasprotnem primeru je tako vodstvo nemogoče in zato tudi takšne vaje niso metodično upravičene.

Pri laboratorijskih vajah je važno še nekaj: vse delo mora biti v glavnem opravljeno v času vaj. Nobenega pedagoškega pomena nima, zahtevati od dijakov izdelek v čistopisu, kot da bi tekmovali za neko mednarodno razstavo. Taki čistopisi ne predstavljajo nikakega umskega napora in so dobrodošla možnost lenuhom, ki med vajo ne sodelujejo in potem lahko doma meritve poljubno ponarejajo. Zato je treba vztrajati na tem, da dijaki pustijo svoj izdelek po vaji v razredu, kjer ga lahko profesor kontrolira. Če traja vaja uro in pol, lahko vajo v tem času dokonča; če pa ima za vajo na razpolago le $\frac{3}{4}$ ure, pa sme kvečjemu še toliko časa izgubiti za dovršitev izdelka.

2. *Frontalni poskusi.* Ne bi bilo prav, če bi z vpeljavo laboratorijskih vaj zanemarili frontalne eksperimente profesorjev, čeprav je res, da pri teh učenci ne pridobijo toliko kot pri vajah, ki jih sami napravijo. Zato pa je treba učence pred vsakim poskusom dobro pripraviti ter vzbuditi v njih radovednost za neznani pojav. Sam poskus je treba izvesti z vso natančnostjo ter pri tem učence opozarjati na bistvo pojava, ki ga morajo sami odkriti.

Popolnoma zgrešeno je, napraviti v eni uri celo kopico poskusov, ki zajemajo snov več poglavij. Taka množica poskusov učencem samo zamegli bistvo in se navadno sprevrže v golo igrakanje.

3. *Uporaba učbenika.* Pojme, ki so jih učenci osvojili pri vajah ali pri razlagi ob frontalnih poskusih profesorja, morajo v večji ali manjši meri obdržati v spominu. Toda kako?

Učenec ima v ta namen že od nekdaj na razpolago dva pripomočka: beležko in učbenik. Vendar oba nista enakovredna. Danes ni več diktiranja ali ga vsaj ne bi smelo biti. Kljub temu učenci med uro radi vzamejo v roke beležko (kdo ve, kje so se tega naučili!?) in med učiteljevo razlago vedno nekaj pišejo. Take beležke so navadno, kljub najboljši volji poslušalca, brez koristi, ker učenec ne more tako hitro slediti logično povezani učiteljevi razlagi. To brskanje po beležki med učiteljevo razlago pa ima hkrati še veliko vzgojno škodo. Pedagogi pravijo, da otroci, ki so se že od nežne mladosti navadili tako delati, niso zmožni pazljive koncentracije niti natančne spominske reprodukcije tega, kar je bilo med razlago povedanega. Če je treba kdaj v beležko kaj napisati, se to lahko napravi le po izrecnem naročilu profesorja.

Najvažnejši pripomoček za obnovitev predelanega gradiva je torej učbenik. Vsi učenci ga imajo, toda ali ga vsi tudi uporabljajo? Na to vprašanje moramo dati na žalost negativen odgovor. In vendar je treba učence navaditi učbenik uporabljati. Učbenik jih navaja k strogosti izražanja, poudarja to, kar je bistveno in si morajo učenci zapomniti, pred tistim, kar je potrebno vedeti samo trenutno zaradi povezave. To jim bo potrebno tudi pri morebitnem nadaljnjem študiju. Zato je prav, če se med razlago večkrat sklicujemo na učbenik, če opozorimo na sliko v knjigi, za katero bi zgubili preveč časa, ko bi jo morali risati na tablo, ali jim ob koncu ure damo kratko navodilo za uporabo učbenika. Tako se bodo učenci v knjigi znašli, postala jim bo vedno bolj domača in je ne bodo mogli več pogrešati. Predvsem pa bodo spoznali, da morajo lekcijo prej preštudirati, preden gredo delat domačo nalogo.

To bi bile glavne ideje tega seminarja. Povedane so bile v Franciji, vendar niso specifično francoske, ampak splošno veljavne, čeprav so morda včasih

malo premalo poudarjene. Prav bi bilo, da bi tudi pri nas dobila fizika tisto vlogo v splošnem vzgojno izobraževalnem procesu, ki ji po njeni pomembnosti pripada.

Franc Kvaternik

LITERATURA

Instructions du Ministère de l'éducation nationale, Sciences physiques, 1968.

POUK FIZIKE PO PROGRAMU PSSC

Znano je, da je bil program PSSC (Physical Science Study Committee) v preizkušnji tudi v naši državi. Na tem eksperimentu sta delali Prva beograjska gimnazija Moše Pijadeja in XV. zagrebška gimnazija Bogdana Ogrizovića, in sicer dve leti. O rezultatih tega poskusa poroča M. Platiša v XIII-XIV. letniku Nastave matematike in fizike. Ker so te ugotovitve prav zanimive, bom navedel najvažnejše, tako pozitivne kakor negativne.

»Splošni cilji tega programa so naslednji:

fiziko je treba prikazati učencu ne kot niz dejstev, ampak kot logično povezan miselni proces, v katerem bo doimel naravo fizičnega sveta; učenec mora dobiti vtis, da je fizika v stalnem razvoju in da je njen razvoj pravzprav delo ljudi, podobnih njemu;

učenci morajo sami priti do novih spoznanj prek eksperimentalnih dejstev, navedenih v učbeniku, in prek laboratorijskih vaj;

fizikalni pouk mora biti tak, da v največji možni meri aktivira učence, ki se morajo samostojno posluževati knjig;

delo v šoli naj bo organizirano kot diskusija o tistem, kar so učenci samostojno preštudirali doma, za razlago proučevanega gradiva pa naj se v največji možni meri uporabljajo laboratorijske vaje ter filmi.«

Po dveh letih tega eksperimenta, pri katerem so imeli na razpolago poleg učbenika še vso pripadajočo laboratorijsko opremo ter veliko število filmov, so primerjali dosežene uspehe ter pogoje, v katerih je bil poizkus izveden, z delom po klasičnih metodah in pri tem ugotovili naslednje:

»Stroga usmerjenost tega programa proti atomski fiziki je privedla avtorje do enostranosti pri izboru gradiva. Tako npr. niso obdelana pomembna področja, ki so učencu potrebna, da dobi popolno sliko o strukturi fizičnega sveta, npr. statika, hidrostatika, hidromehanika, akustika in termodinamika s fenomenološkega vidika. Pa tudi pri področjih, zajetih v knjigi, niso obdelani številni pojavi in zakonitosti, ki so predvideni v našem programu. Program PSSC je relativno ozko usmerjen na razvijanje atomske slike sveta, medtem ko je smoter fizikalnega pouka pri nas širši, saj se poleg spoznavanja fizikalnih osnov zahteva tudi poznavanje njihove tehnične uporabe kot tudi izgradnja znanstvenega svetovnega nazora ...

Tekst tega učbenika se znatno razlikuje od tekstov standardnih učbenikov. V tekstu ni strogo formuliranih definicij, ni poudarjanja in razlikovanja bistvenih pojmov, zakonov in vodilnih misli, kakor tudi ne povzetkov. V tisku ni razlike med osnovnim in komplementarnim gradivom, ampak je vse obravnavano kot enako važno. Učbeniku sploh manjka jedrnatost in preglednost.

Izogibanje strogih definicij je morda pri nekaterih pojmi tudi upravičeno, toda fizika je eksaktna znanost in dobro poznavanje določenega števila pojmov in zakonov predstavlja pogoj za nadaljnje usvajanje in razumevanje zahtevnejše snovi. Tekst učbenika je bogato ilustriran, tako da učenec med diskusijo takoj razume bistvo pojava ali njegove zakonitosti... Toda ni dovolj, da učenec samo razume tekst; osnovnih pojmov in zakonitosti se mora tudi naučiti...

V pogledu izbora gradiva prihaja jasno do izraza stališče, da mora biti fizika predstavljena kot celota, s poudarkom na splošno veljavnih fizikalnih zakonih in da mora sloneti na kolikor toliko sodobnih idejah... Prav to vztrajanje na sodobnih metodah pa prinaša s seboj tudi nevarnost, da učenci ne razumejo razlage, da se v tekstu izgubijo in da ne usvoje niti elementov proučevanega fizikalnega problema. Ravno tako moti učence neprestano poudarjanje odprtih vprašanj ter jim vzbuja dvom v to, kaj sploh vemo o nekem pojavu oziroma kaj naj se iz danega teksta o njem naučijo...

Laboratorijsko delo predstavlja bistveni del tega programa. Izbor vaj je v glavnem dober, čeprav ni vedno predstavljeno osnovno gradivo... Glede na to, da je največji poudarek na laboratorijskih vajah samih učencev, ni jasno, zakaj v tem tečaju ni nikjer obdelana teorija napake, vsaj v osnovnih obrisih. To bi vsekakor razvilo v učencih zmožnost presoje glede natančnosti merjenja...

Pozitivna stran tega programa je uvedba metode teksta in diskusije v pouk fizike. Učiteljeva razlaga je popolnoma izrinjena, zastopana je samo še v filmih. Do nekega spoznanja mora priti učenec popolnoma samostojno, uporabljajoč pri tem laboratorijske vaje ter tekst v učbeniku. — Vendar pa ne smemo pri tem podcenjevati tudi nekaterih nevarnosti. Predvsem zahteva vodenje diskusije veliko priprav od učitelja. Diskusija se prav lahko izprevrže, če ni do podrobnosti pripravljena ali če učitelj ni dovolj spreten. Bistri, pa tudi slabi učenci lahko usmerijo diskusijo tako, da večina ali ne more slediti ali pa postane za poprečne učence dolgočasna, kar povzroči naglo upadanje zanimanja za fiziko. Takšna diskusija ne more pojasniti poprečnemu učencu odprtih problemov tako, kot lahko stori učitelj neposredno. Razen tega mnogo učencev velikokrat niti ne prebere novega teksta v učbeniku. Anketa ob koncu tečaja je pokazala, da se niti najboljši učenci ne morejo pohvaliti, da so se redno pripravljali na diskusijo v šoli.

Na osnovi vseh navedenih pozitivnih in negativnih karakteristik PSSC programa je Nacionalna komisija, formirana pri Jugoslovanskem zavodu za proučevanja šolstva z namenom, da izvede in spremlja ta poskus ter prouči njegove rezultate, podala naslednje mnenje oz. stališče:

Program PSSC ni uporabljen v naših pogojih. Iz tega programa je možno privzeti le najuspešnejše razlage nekaterih metodskih enot in pojmov, veliko število laboratorijskih vaj, veliko število filmov ter vzpodbudo za uporabo metode teksta in pogostejšo analizo znanja učencev prek testov.

Učbenik, pisan za ta program, se lahko uporablja

- a) kot priročnik za profesorje,
- b) kot pomožni učbenik za obdelavo nekaterih metodskih enot po metodi teksta ter diskusije med šolsko uro,
- c) kot pomožni učbenik za delo po skupinah.

Franc Kvaternik

POSKUSI BREZ TRENJA V MEHANIKI

Poskuse v mehaniki pogosto moti trenje.* Zdaj kaže, da je tej preglavici odzvonilo. V zadnjih letih so razvili več naprav, ki izkoriščajo zračno plast podobno kot nekatera sodobna vozila »na zračno blazino«. Tovarne učil izdelujejo *zračne proge*, *zračne plošče* in *zračne vrtavke*, s katerimi so izvedljivi poskusi brez trenja. Pričujoči sestavek naj seznani bralce Obzornika z razvojem teh naprav in z nekaterimi od poskusov, ki jih lahko naredimo s temi napravami.

*

Poskusi, da bi se s plinsko plastjo izognili trenju, so že stari. Vozički, ki so jih uporabljali, so nosili s seboj majhne jeklenke ali balone ali so bili z gibko cevjo povezani z nepremično jeklenko. Od podobnih naprav so se še najbolj uveljavile ploščice, ki so imele na spodnji strani oblat trdnega ogljikovega dioksida. Po sublimaciji ogljikovega dioksida je nastala med gladko kovinsko ploščo in oblatom tanka plinska plast.

Osnovna zamisel za nove, mnogo uspešnejše naprave se je, kot kaže, porodila H. V. Neherju,¹ ki je skupaj z R. B. Leightonom zgradil zračni žleb.² Bistvena novost je bila v tem, da curkov plina ni oddajal voziček, ampak podlaga. Pravokoten žleb v votlem aluminiastem nosilcu je imel v obeh stenah veliko lukenj s premerom 0,15 mm. (Tako drobnih lukenj niso mogli izvrtati naravnost v aluminiasti nosilec; izvrtali so večje luknje in vanje vstavili odseke jeklene cevke z notranjim premerom 0,15 mm.) Po njih je pritekal iz votlin v nosilcu zrak pod tlakom do 4 kp/cm². Vozički v obliki kovinskih prizem z maso po več kilogramov so se gibali brez trenja po nekaj stotink milimetra debeli zračni plasti. Steni žleba in drsne ploskve vozičkov so morale biti izdelane izredno natančno in pri poskusih je bilo treba zelo paziti na čistočo. Stisnjeni zrak so morali filtrirati, da prah ni zamašil lukenj, in steni žleba in drsne ploskve vozičkov skrbno čistiti, da prah ni oviral gibanja vozičkov.

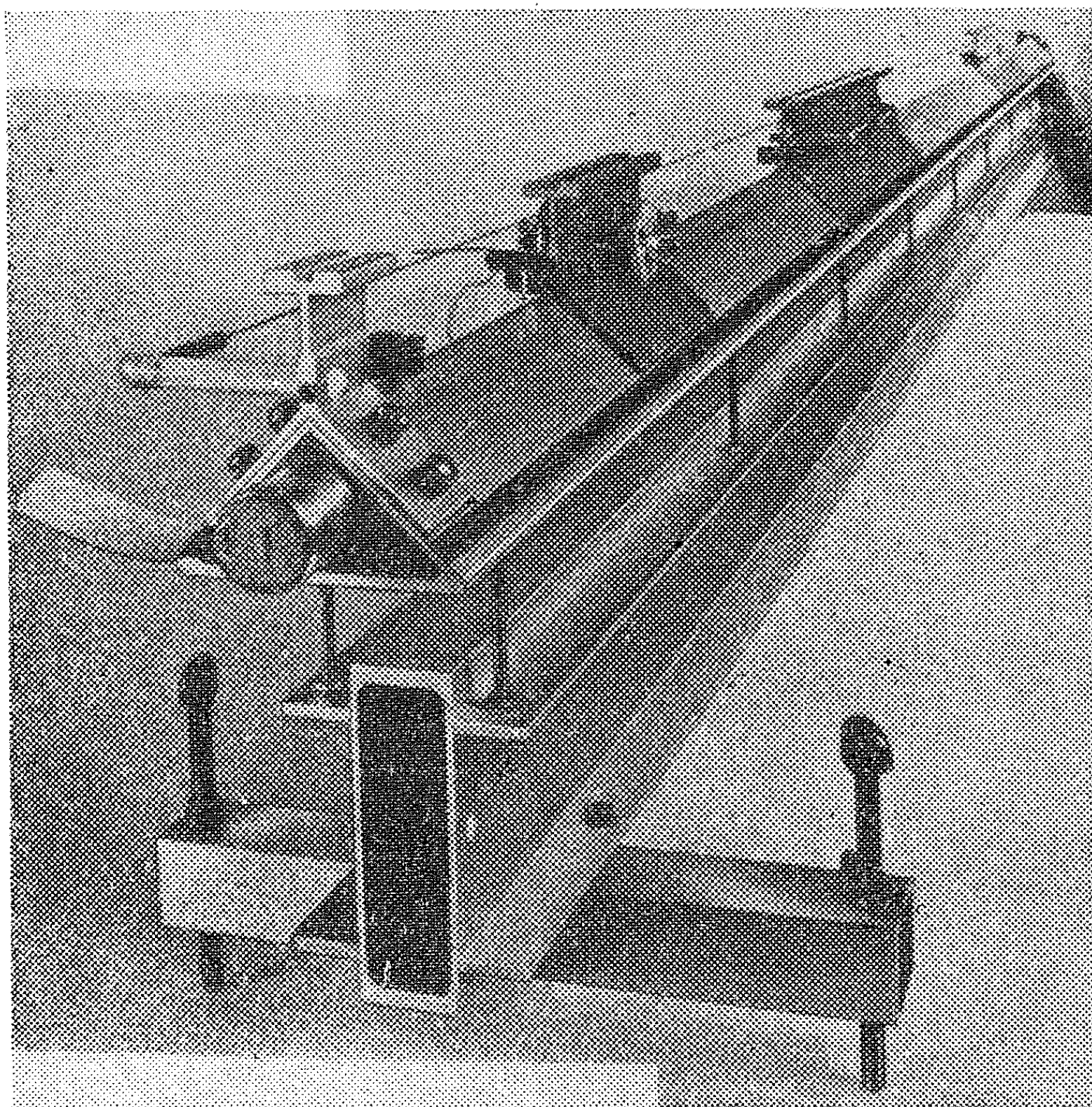
Izboljšave, ki jih je uvedel J. L. Stull, so močno olajšale izdelavo in vzdrževanje.³ Nastala je zračna proga, ki ima namesto žleba strehast nosilec. Vozički so lažji in so izdelani iz aluminiastega nosilca s presekom v obliki črke L. Luknje so precej večje — imajo premer 0,6 mm — in jih prah ne more zamašiti. Zadostuje že razlika tlakov nekaj več kot 0,1 kp/cm² in zraka ni treba filtrirati.** Tudi debelina zračne plasti — okoli četrta milimetra — je dovolj velika, da prah ne moti. Drsni ploskvi proge in vozičkov ni treba posebej obdelovati, zadostuje, da jih zgladijo s smirkovim papirjem. Votli strehasti nosilec s trikotniškim presekom stoji z večjim številom nožic na

* Posebno neprijetno je trenje pri poskusih, pri katerih želimo z merjenjem preveriti veljavnost enačb gibanja. Z goljufijo lahko dobimo sicer navzlic trenju prave rezultate. Pri pospeševanju vozička na vodoravnem tiru računamo na primer z malo večjo maso vozička ali z malo manjšo silo ali tir malo nagnemo. Vendar računanje s takimi »efektivnimi« količinami ni pošteno, ko gre za preverjanje enačb. Seveda bi lahko silo trenja upoštevali v enačbah, a koeficient trenja bi morali določiti ravno z merjenjem, kakršno naj bi služilo kot preverjanje.

** Pri 2,5-metrski zračni progi, ki jo imamo na Odseku za fiziko, uporabljamo kot kompresor po navodilu izdelovalca kar domači sesalec za prah.

aluminijastem nosilcu s presekom v obliki črke I. Nožice so razvrščene v pare in njihova višina se da spreminjati. Na obeh krajiščih proge sta odbojnika z vzmetema v obliki črke U.*

Z dodatno napravo določamo trenutno lego vozička. Ob progi je napeta izolirana žica, voziček pa ima jeziček, ki se z vrhom skoraj dotika žice in z dnom spodnje strani trikotniškega nosilca. Pod dnom jezička je na nosilcu



Sl. 1. Zračna proga družbe Ealing. Ta fotografija in vse druge so z ljubeznivim dovoljenjem družbe Ealing posnete po njenem katalogu⁴

napet trak iz posebnega papirja. Na progo in na izolirano žico priključimo sekundarno tuljavo transformatorja (dober je kar avtomobilski vžigalni transformator). Primarno tuljavo napajamo s kratkotrajnimi napetostnimi sunki, ki si sledijo v enakih časovnih razmikih. Ob vsakem sunku preskočita iskri med izolirano žico in jezičkom in med jezičkom in nosilcem skozi papir, na katerem se pozna dobro vidna sled. Na jeklenem merilu ob papirju odčitamo lego sledi in sestavimo tabelo za časovno odvisnost poti. Z njo lahko izračunamo hitrost in pospešek vozička. V poskusni fazi je izdelava merilnikov, ki naj bi naravnost pokazali hitrost vozička.

Koeficient trenja pri gibanju vozička po zračni plasti je enak nič. Na gibajoči se voziček pa deluje zračni upor, ki je sorazmeren s hitrostjo. Iz Newtonovega zakona sledi za prost voziček na vodoravnem tiru $mdv/dt = -mv/\tau$ in z tega za časovno odvisnost hitrosti $v = v_0(1 - e^{-t/\tau})$ in za odvisnost hitrosti od poti $v = v_0 - s/\tau$. Tu sta τ časovna konstanta, ki je obratno sorazmerna z viskoznostjo zraka, in v_0 začetna hitrost. Za časovno konstanto izmerijo vrednosti od poldruge minute do 4 minut, pač po tem, kolikšna sta tlak stisnjenega zraka in dolžina vozička.

Poskusi pokažejo, da je zmanjšanje velikosti hitrosti pri odboju vozička na odbojniku neodvisno od hitrosti (na primer² 0,04 cm/s). Relativna spre-

* Družba Ealing prodaja proge z dolžinami od 1,5 m do 9,5 m z vozički, ki so dolgi po 12 cm, 25 cm in 37 cm. Najkrajša proga stane nekaj več kot 1500 dinarjev, najdaljša nekaj več kot 9000 dinarjev (v devizah).

membra hitrosti je torej tem manjša, čim večja je hitrost. Zato so rezultati pri poskusih z odboji tem zanesljivejši, čim večja je hitrost.

Od poskusov z zračno progo naštejemo le najznačilnejše. Pri daljšem opazovanju določimo časovno konstanto z merjenjem podaljšanja časa med dvema zaporednima odbojema vozička. Časovno konstanto lahko pomanjšamo, če prilepimo na voziček majhne trajne magnete. Tokovi, ki jih v nosilcu inducira polje gibajočih se magnetov, dodatno zavirajo voziček, a zaviralna sila je še vedno sorazmerna s hitrostjo.

Pri izravnani in dobro postavljeni progi z dolžino 2,5 m zadostuje, da damo pod podstavek na enem krajišču kako desetinko milimetra debel list papirja, pa se začne gibati voziček po nastalem klancu navzdol.

Pri odrivnem poskusu pritrdimo na voziček listnato vzmet v obliki črke U, primaknemo drugi voziček, da se vzmet stisne, in povežemo vozička z vrvico. Vrvico prestrižemo in vozička odskočita vsaksebi. Določimo njuni hitrosti in pokažemo, da sta ustrezni gibalni količini nasprotno enaki. Z merjenjem pospeškov obeh vozičkov med odrivanjem pri odrivnem poskusu s šibko in dolgo vzmetjo, se prepričamo, da sta produkta mase s pospeškom za oba vozička v vsakem trenutku nasprotno enaka. S tem preverimo tudi zakon o vzajemnem učinku.

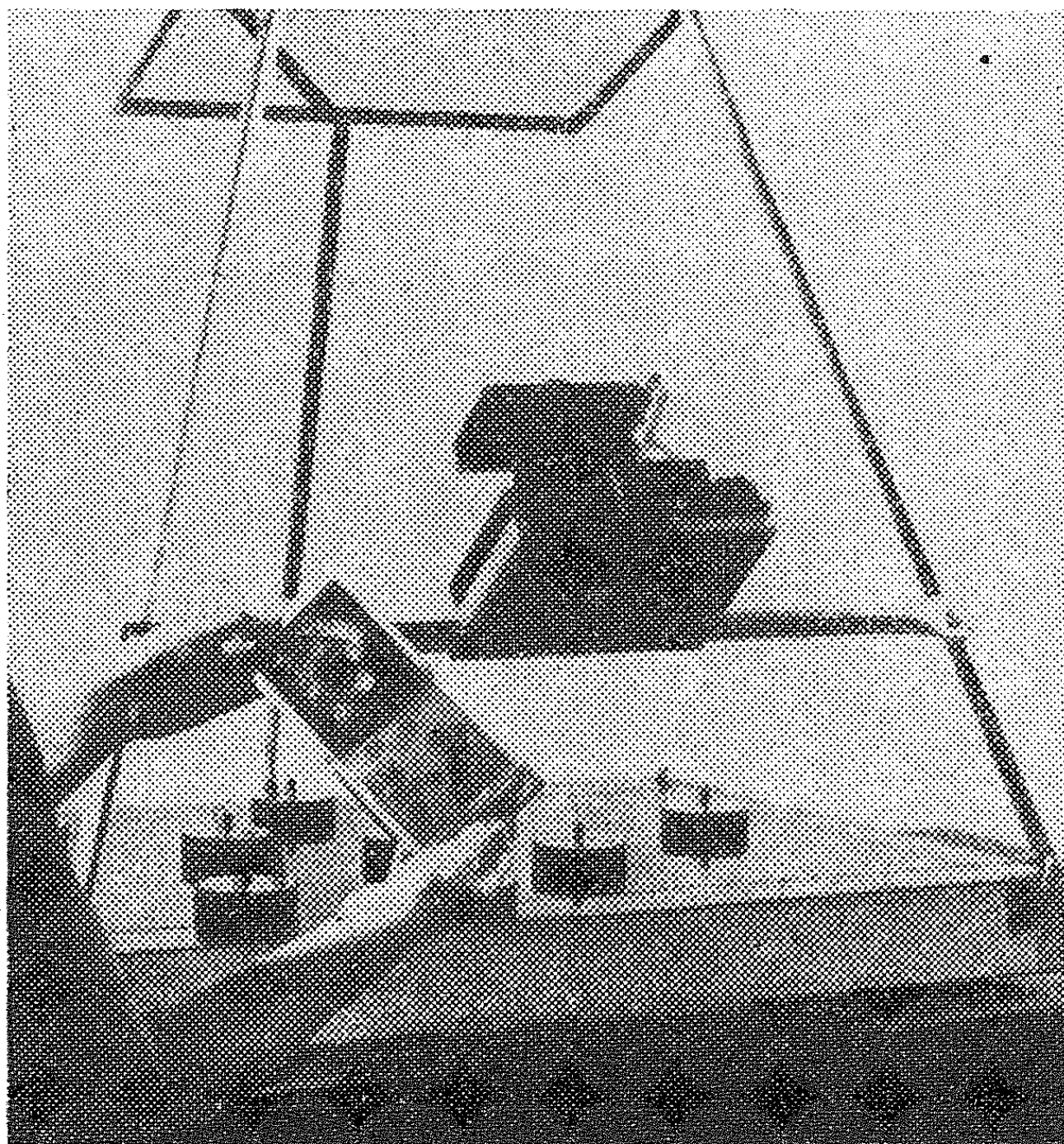
Za opazovanje popolnoma neprožnih trkov namestimo na prvega od vozičkov zamašek, na drugega pa ost. Ob trku se ost zapiči v zamašek in obtiči v njem. Z merjenjem hitrosti vozičkov pred trkom in po njem se prepričamo, da se ohrani skupna gibalna količina. Pri prožnih trkih opremimo oba vozička z listnatima vzmetema v obliki črke U. Z merjenjem hitrosti vozičkov pred trkom in po njem se prepričamo, da se ohranita skupna gibalna količina in skupna kinetična energija.

Izmerimo pospešek vozička, ki ga poganja po vodoravni progi majhna utež, obešena na voziček z vrvico prek škripca. Prepričamo se, da se izmerjeni pospešek ujema s pospeškom, ki ga izračunamo iz Newtonovega zakona. Izmerimo tudi pospešek a pri gibanju vozička po nagnjeni progi. Iz znanega nagiba γ izračunamo težni pospešek $g = a/\sin \gamma$. Še natančneje izmerimo težni pospešek, če na sredi proge znižamo podporne nožice, da se tam proga za malenkost usloči. Z mikrometrskim vijakom na posebnem vozičku moramo določiti znižanje proge v posameznih točkah glede na vodoravno napeto žico. Nato izmerimo nihajni čas za nihanje vozička v nastalem »potencialnem loncu«.

Voziček z maso m pritrdimo prek vijačne vzmeti s koeficientom K na krajišče proge. Tako dobimo nihalo na vijačno vzmet. Po časovni odvisnosti odmika vozička od ravnovesne lege presodimo, da voziček sinusno niha, če ga premaknemo iz ravnovesne lege. Izmerjena krožna frekvenca se ujema z izračunano $(K/m)^{1/2}$. Voziček, na katerega pritrdimo trajne magnete, niha dušeno in v tem primeru lahko izmerimo koeficient dušenja. — Drugo krajišče vzmeti pritrdimo na bat ob robu proge. Bat sinusno niha s konstantno amplitudo, a s spremenljivo frekvenco. Pri tem opazujemo vsiljeno nihanje: merimo amplitudo vozička pri različnih frekvencah bata in ugotovimo potek resonančne krivulje. To ponovimo pri različnih koeficientih dušenja.

Vrsto enakih vozičkov povežemo z enakimi vijačnimi vzmetmi in opazujemo potovanje longitudinalne motnje in potujoče sinusno valovanje.⁵ Pri opazovanju valovanja zvežemo skrajno levo vzmet z nihajočim batom. Pri tem lahko preprečimo odboj valovanja na desnem krajišču vrste vozičkov, česar

ne moremo doseči na primer pri dolgi vijačni vzmeti. Na skrajni desni voziček, ki ima drugačno maso kot drugi vozički v vrsti, pritrdimo vodoravno aluminijasto letev. Ta sega v polje elektromagneta, katerega gostoto moramo primerno naravnati. — Hitrost valovanja v vrsti vozičkov je odvisna od frekvence.*



Sl. 2. Manjša inačica zračne plošče. S fotografskim aparatom fotografiramo sliko v zrcalu nad ploščo, da se med fotografiranjem ni treba preveč oddaljevati od plošče

V korakih spreminjamo frekvenco bata in merimo hitrost valovanja in z dobljenimi podatki narišemo disperzijsko krivuljo. Pri zelo majhnih frekvencah je hitrost neodvisna od frekvence in velja za hitrost valovanja podobna enačba kot pri dolgi vijačni vzmeti.

Opazujemo še stoječe valovanje v vrsti vozičkov. Skrajni desni voziček, ki ima zdaj enako maso kot drugi vozički v vrsti, vpnemo z enako vzmetjo na desno krajišče proge. Počasi večamo frekvenco nihanja bata, dokler se ne približamo resonanci. Nato izključimo nihanje bata in pustimo, da nihajo

* Za odmik s_n n -tega vozička v vrsti od njegove ravnovesne lege velja enačba

$$m\ddot{s}_n = K(s_{n+1} + s_{n-1} - 2s_n),$$

v kateri zaznamujemo s piko odvajanje po času. Rešiti jo poskušamo z nastavkom $s_n = S \cos(\omega t \pm nak)$, v katerem je ω krožna frekvenca in $c = \omega/k$ hitrost valovanja. Nastavek reši enačbo, če velja

$$c = 2(K/m)^{1/2} \sin \frac{1}{2} ak/k.$$

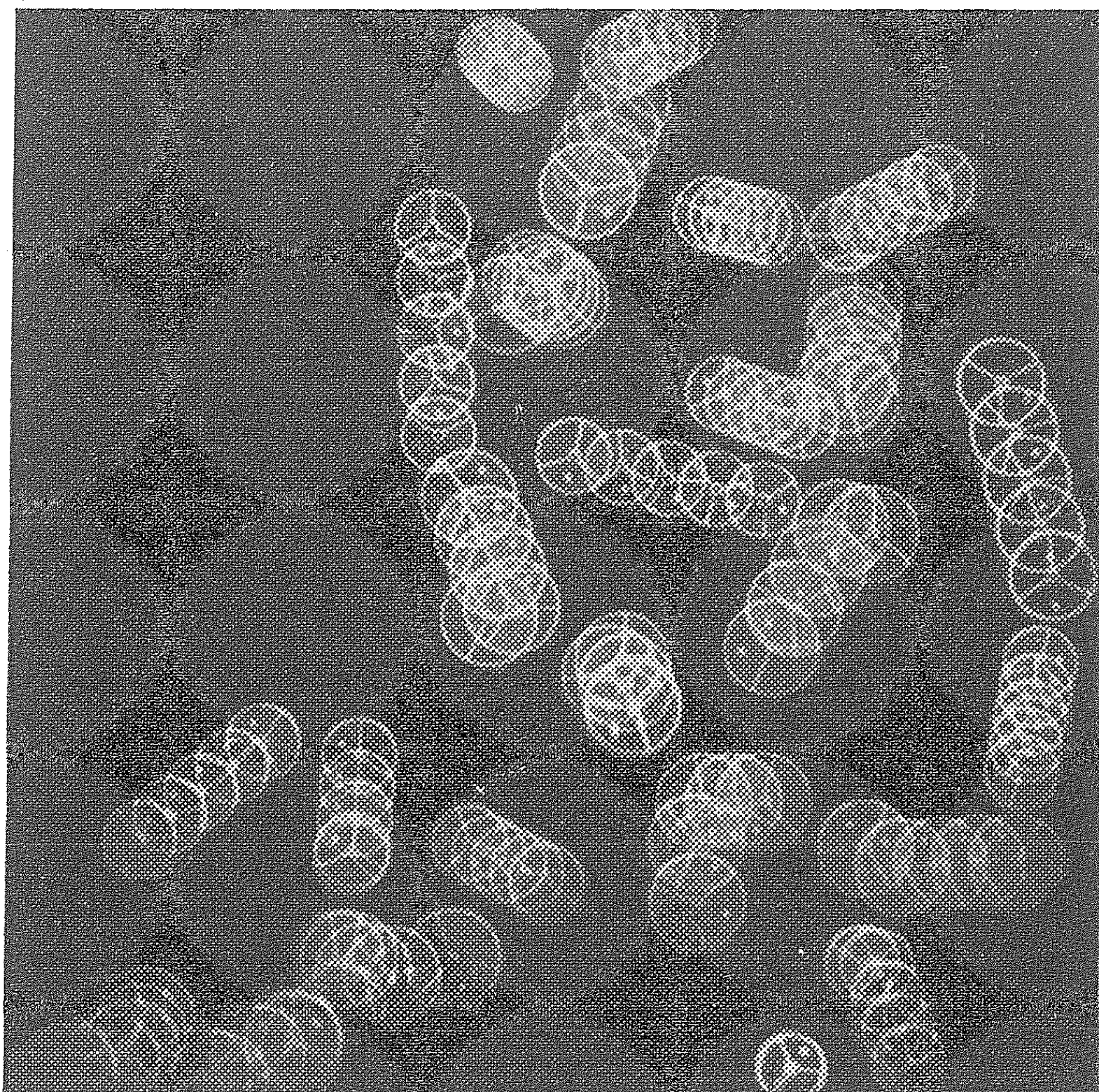
Po vrsti vozičkov se prenaša brez oslabitve le valovanje z manjšo krožno frekvenco kot $2(K/m)^{1/2}/k$

Na desni ni odboja, če sta izpolnjeni zahtevi, ki sledita iz enačbe za odmik skrajnega desnega, N -tega vozička:

$$m_N\ddot{s}_N = K(s_{N-1} - s_N) - 2\beta\dot{s}_N.$$

Valovanje, ki se širi proti desni, $s_N = S \cos(\omega t - Nak)$, je edina rešitev te enačbe, če je masa N -tega vozička $m_N = \frac{1}{2}m$ in če je koeficient dušenja $\beta = \frac{1}{2}(Km)^{1/2} \cos \frac{1}{2} ak$. Skrajni desni voziček mora imeti torej le polovico mase drugih vozičkov.

vozički po svoje. Tako določimo lastne frekvence za lastna nihanja pri različnem številu dodatnih vozlov. Posebno zanimivi so poskusi, pri katerih se mase lihih vozičkov razlikujejo od mase sodih.* (Vzmeti so še naprej vse enake.) To je enorazsežni model kristala iz dveh vrst atomov, na primer kristala NaCl. Pri tem obstajata ob danem številu dodatnih vozlov dve lastni nihanji z različnima frekvencama. V fiziki trdnih snovi štejejo lastno nihanje



Sl. 3. Fotografija ploščic, ki predstavljajo preprost dvorazsežni model za molekule idealnega plina, z utripajočo svetilko in osvetlitvenim časom več sekund. Fotografije so barvne, ploščice pa imajo različne barve, tako da je olajšano zasledovanje posamezne ploščice

z večjo frekvenco k *optični* in lastno nihanje z manjšo frekvenco k *akustični veji*. S tem preprostim modelom se da zasledovati pojave, ki so znani pri kristalih. Prepričljivo se pokaže vpliv kristalnih napak na lastne frekvence: če povečamo maso enega izmed težjih vozičkov, se zniža le lastna frekvenca v akustični veji, če pa povečamo maso enega izmed lažjih vozičkov, se zniža le lastna frekvenca v optični veji.

*

Zračno ploščo si je zamislil in jo razvil H. A. Daw.⁴ Z njo je mogoče pokazati poskuse v dveh razsežnostih, medtem ko so poskusi z zračno progo

* Za odmika lihega in sodega vozička veljata enačbi

$$m\ddot{s}_n = K(s'_{n+1} + s'_{n-1} - 2s_n), \quad m'\ddot{s}'_{n+1} = K(s_{n+2} + s_n - 2s'_{n+1}).$$

Količine s črtico se nanašajo na sode in količine brez nje na lihe vozičke. Z nastavitvijo $s_n = S \sin nak \sin \omega t$ in $s'_{n+1} = S' \sin [(n+1)ak] \sin \omega t$ pridemo do enačbe za lastni krožni frekvenci

$$\omega^2 = (K/mm') \{m + m' \pm [(m + m')^2 - 4mm' \sin^2 ak]^{1/2}\}.$$

Znak + ustreza optični in znak — akustični veji. Za levo krajišče proge (za $n = 0$) je že izpolnjen robni pogoj, za desno krajišče, ki je v razdalji $(N+1)a$ od levega, pa je treba še izpolniti zahtevo $\sin(N+1)ak = 0$. Iz te sledi $ak = \pi\mathcal{N}/(N+1)$, če je $\mathcal{N}$ število dodatnih vozlov, to je skupno število vozlov, zmanjšano za 2 (za oba vozla na krajiščih proge).

vezani na eno razsežnost. Sestavljata jo dve tanki plošči iz plastične mase, med kateri je za oporo nalepljeno satovje iz impregniranega papirja. V vrhnjo plastično ploščo, ki odstopa od ravnine za manj kot desetinko milimetra, je izvrtanih veliko število lukenj. Premer lukenj je okoli 0,6 mm, poprečni razmik med njimi pa je okoli 1,3 cm. Majhen kompresor stiska zrak v votlino med plastičnima ploščama, tako da je tam za kako desetinko kp/cm^2 povečan zračni tlak. Zračni curki, ki iztekajo skozi luknje, poskrbijo, da nastane tanka zračna plast pod vozički, ki jih položimo na vrhnjo plastično ploščo. Vozički so iz kovine ali plastike in imajo obliko okroglih ploščic s premerom več centimetrov in z maso po nekaj deset gramov. Ob robu zračne plošče so napete žice, ki odbijajo ploščice in določajo koristno površino plošče.*

Z zračno ploščo se da napraviti mnogo zanimivih poskusov. Vse prednosti zračne plošče pa izkoristimo, če jo opremimo s fotoaparatom in z utripajočo svetilko. V temi odpremo zaklopko fotoaparata za več sekund in osvetljujemo ploščo z utripajočo svetilko. Po fotografiji ugotovimo trenutne lege ploščic. Ker poznamo frekvenco, s katero si sledijo bliski utripajoče svetilke, lahko določimo hitrost ploščic po smeri in po velikosti. V tej zvezi se izkaže fotoaparat, iz katerega dobimo po kratkem času gotovo fotografijo.

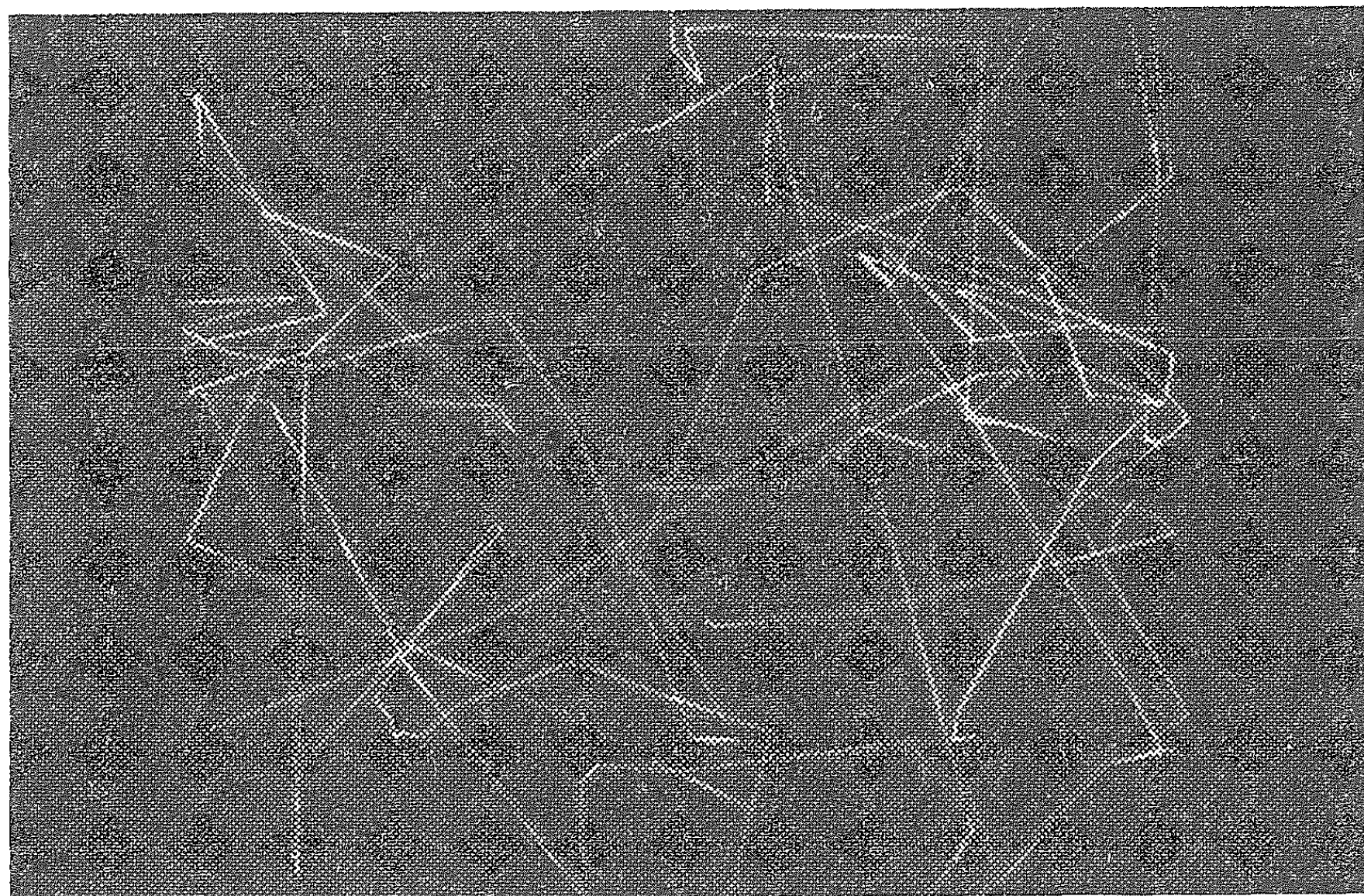
Nekateri od poskusov na zračni plošči spominjajo na poskuse z zračno progo. Na zračni plošči opazujemo trk dveh ploščic in preverimo, da se ohrani vektor skupne gibalne količine pri neprožnih in prožnih trkih in skupna kinetična energija pri prožnih trkih. — Na zračni plošči povežemo v mrežo razporejene ploščice z enakimi vzmetmi in opazujemo širjenje motenj, potujoče valovanje in lastna nihanja takega dvorazsežnega modela za kristal. — Ploščo malo nagnemo in sunemo po njej ploščico poševno navzgor. Tir ploščice spominja na parabolo, po kateri se giblje kamen pri poševnem metu. — Raziščemo tire ploščice, ki jo vleče sila vrvice proti izbrani točki, za razne začetne okoliščine. S posebno dodatno napravo se da celo doseči, da je taka centralna sila približno obratno sorazmerna s kvadratom razdalje ploščice od izbrane točke. V tem primeru lahko opazujemo tire ploščice, ki spominjajo na tire teles, gibajočih se v gravitacijskem polju, na primer planetov in drugih teles v gravitacijskem polju Sonca.

Poleg tega lahko na zračni plošči preverimo tudi Newtonov zakon za vrtenje. Okoli ploščice navijemo vrvico, ki teče prek škripca in na katero je obešena majhna utež. Težišče ploščice se giblje premo enakomerno pospešeno, ploščica pa se še vrti enakomerno pospešeno okoli osi skozi težišče. S podobnimi poskusi potrdimo tudi izrek o gibanju težišča. — Prepričamo se, da se ohrani vrtilna količina ploščice pri trku z večjo ploščico, ki je vrtljiva okoli nepremične osi, in da se ohrani skupna vrtilna količina pri trkih dveh prostih ploščic.

Med najzanimivejše sodijo poskusi z zračno ploščo, pri katerih se večje število ploščic neurejeno giblje in odbija od drugih ploščic in od stranic na robu plošče. Neurejeno se gibajoče ploščice so preprost model za molekule idealnega plina. S tem modelom se da nazorno poučevati kinetično teorijo

* Družba Ealing prodaja plošče, katerih koristna površina je kvadrat s stranico 110 cm. Taka plošča velja okoli 4000 dinarjev, kompresor pa še nadaljnjih 1300 dinarjev (v devizah). Dobijo se tudi plošče z dvakrat večjo koristno površino in plošče za poskuse z zelo majhnimi ploščicami s štirikrat gostejšimi luknjami. Za študentske laboratorije izdelujejo manjše plošče (s koristno površino 50 cm . 75 cm).

plinov. Na zračno ploščo položimo več deset ploščic iz plastike. Namesto žic na robovih uporabimo trden okvir, ki ga poglanjamo z motorčkom, da se trese s precej visoko frekvenco. Okvir igra vlogo sten posode s plinom, ki je potopljena v toplotni rezervoar s konstantno temperaturo. Najprej spravimo



Sl. 4. Fotografija ploščice, ki je bila v množici opremljena z majhno lučko, z osvetlitvenim časom okoli minute

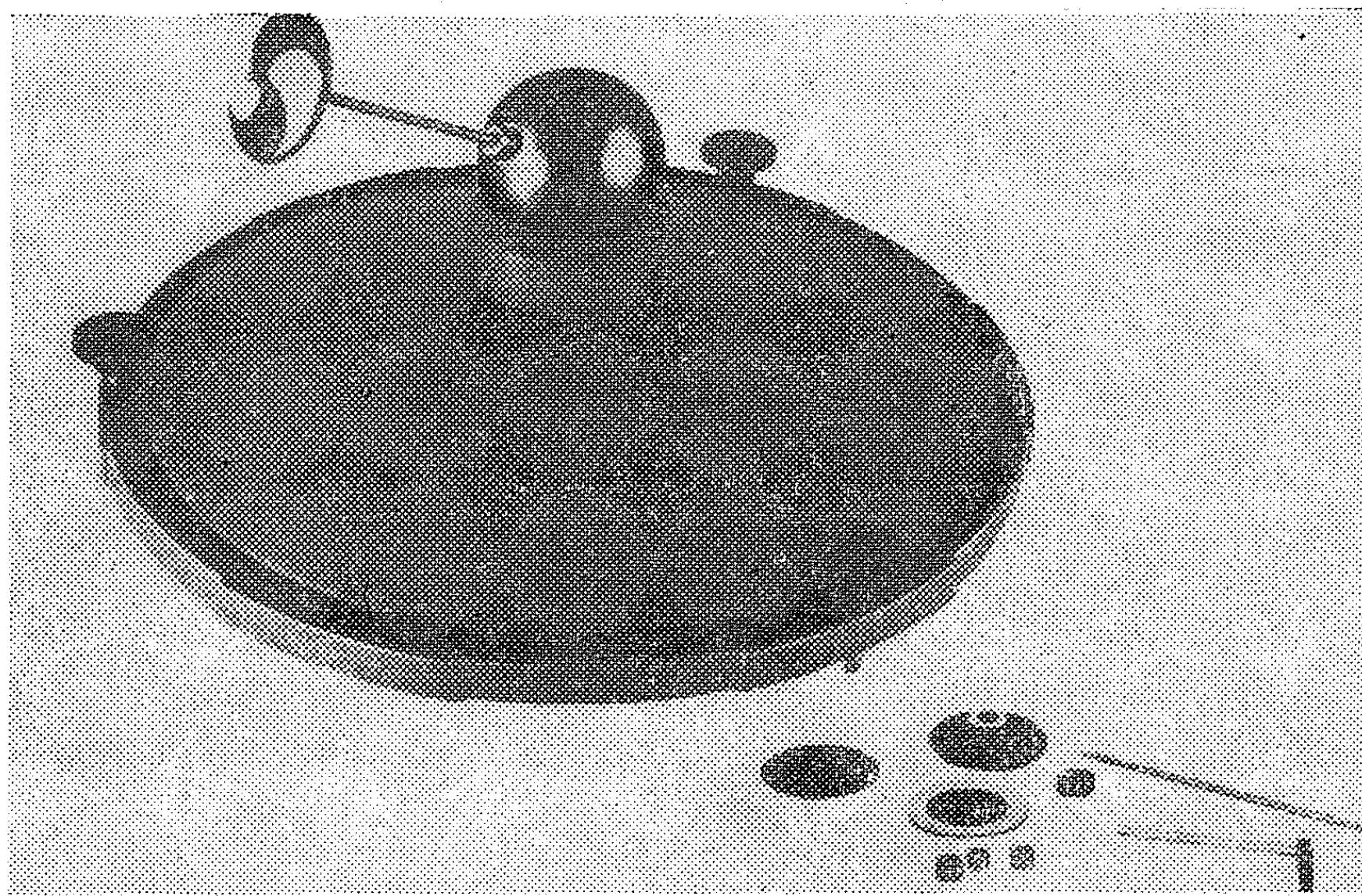
v gibanje nekatere izmed ploščic, tako da jih rahlo sunemo. Čez nekaj časa se gibljejo že vse ploščice: vzpostavi se termično ravnovesje pri dani »temperaturi«, ki jo naravnamo z izbiro frekvence okvira. Napravimo kakih deset fotografij z dalj časa odprto zaklopko. Po fotografijah določimo trenutne hitrosti vsake izmed ploščic. Nato poiščemo porazdelitev ploščic po velikosti hitrosti. Dobljena porazdelitev spominja na Maxwelllovo porazdelitev za dvorazsežni plin. Z njo izračunamo poprečno velikost hitrosti in poprečni kvadrat hitrosti, ki je v zvezi s poprečno kinetično energijo ploščic. Poskus ponovimo z dvema vrstama ploščic, ki imata različno maso. Po porazdelitvah obojih ploščic po velikosti hitrosti ugotovimo, da je poprečna kinetična energija za obe vrsti ploščic enaka. S tem se prepričamo, da se energija v poprečju razdeli enakomerno (ekviparticijski izrek). Na eno izmed ploščic v množici pritrdimo majhno lučko in fotografiramo zračno ploščo z zelo dolgo odprto zaklopko. Na fotografiji se pokaže tir izbrane ploščice kot zlomljena črta, ki ima med trki ravne odseke. Poiščemo porazdelitev ravnih odsekov po dolžini in izračunamo poprečno prosto pot. Potem ponovimo poskus, a povečamo maso ploščice z lučko. Naposled napravimo enak poskus, le da opremimo z lučko mnogo večjo in mnogo težjo ploščico. Gibanje te ploščice ponazarja gibanje makroskopskega delca, na primer Brownovo gibanje praška iz dima, med molekulami v zraku. — Zračno ploščo, na kateri se neurejeno giblje veliko število ploščic, malo nagnemo. V poprečju se zadržuje več ploščic na nižjem delu kot na višjem. Prekinemo tok plina na poti do plošče, da se ploščice v trenutku zaustavijo. To ponovimo večkrat in vsakokrat izmerimo razdalje ploščic od nižjega roba zračne plošče. Nato poiščemo porazdelitev ploščic po tej razdalji. Dobljena porazdelitev se približa eksponentni. To spominja na porazdelitev molekul v zemeljskem ozračju in na barometrično enačbo za pojemanje gostote zraka z višino v izotermnem ozračju.

Opazujemo difuzijo. Ploščicam, ki se neurejeno gibljejo po vodoravni zračni plošči, dodamo na enem robu več enako težkih ploščic, ki pa so označene z različno barvo. Merimo čas, ki ga potrebuje prva ploščica, da doseže nasprotni rob zračne plošče. Opazujemo še, kako se vzpostavi ravnovesno stanje, v katerem so dodane ploščice v poprečju enakomerno porazdeljene po vsej plošči. Poskus ponovimo, le da imajo zdaj dodane ploščice večjo maso. Nato opazujemo »delni masni tok ene sestavine«, ki je posledica »gradienta koncentracije«: na prvem robu neprestano dodajamo nove ploščice, na nasprotnem robu pa jih odvzemamo.

Sila, s katero delujejo ploščice na eno izmed stranskih ploskev okvira, »tlak«, je v zvezi s številom odbojev ploščic. To omogoči opazovanje odvisnosti tlaka od števila ploščic (mase plina), od koristne površine (prostornine plina) in od frekvence, s katero se trese okvir (temperature). Koristno površino zračne plošče spreminjamo s premičnim batom, ki se trese enako kot preostale tri stene okvira. Opazujemo pojave, ki spominjajo na izotermno in adiabatno stiskanje plina in na Hirnov poskus. Našteti poskusi, ki so povezani s kinetično teorijo plinov, so dolgotrajni in zahtevajo izčrpno obdelavo. Zato so primerni za poskuse v študentskem laboratoriju, a manj za demonstracijske poskuse. Za demonstracijo so primernejši kratki, nekaj minut trajajoči, poučni filmi, ki so jih posneli o vsakem izmed teh poskusov.

*

Zračna vrtavka H. V. Neherja je bila prva izmed naprav, ki izkoriščajo zračno plast.¹ Pri njej lebdi na zračni plasti bronasta krogla s premerom 5 cm. Vodilnik vrtavke je ozek krogelni pas z enakim krivinskim radijem kot krogla in s 24 luknjami, skozi katere doteka zrak. Te luknje so enako izdelane in imajo enak premer kot luknje pri zračnem žlebu. Tlak stisnjenega zraka pa mora biti nekoliko večji, namreč okoli $5,5 \text{ kp/cm}^2$. Krogla je prevrtana po premeru. Na eni strani je v odprtino uvito kovinsko vreteno s premično utežjo. Z vretenom je pritrjena k vrtavki velika valjasta posoda iz tanke pločevine brez spodnje osnovne ploskve in z zgornjo osnovno ploskvijo, pravokotno na vreteno. Stojalo, ki nosi vodilnik vrtavke, ima pri dnu ventil. Če je ventil priprt, odteka del zraka, ki steče iz vodilnika pod kroglo navznoter,



Sl. 5. Zračna vrtavka s kroglo, ki ima premer 10 cm

skozi luknjo v krogli in skozi dve cevki na prosto. Ti cevki sta položeni radialno v osnovno ploskev pločevinastega valja in se končujeta v šobi, ki usmerjata zračna curka tangentno. Iztekajoča zračna curka izvaja na vrtavko navor. Če pa je ventil odprt, odteka zrak po stojalu navzdol na prosto in ga nič ne odteče skozi radialni cevki, tako da ni navora na vrtavko. V spodnji legi uteži na vretenu je težišče vrtavke pod središčem krogle in je mirujoča vrtavka v tej legi stabilna. Ko premaknemo utež proti vrhu vretena, pa zleze težišče vrtavke nad središče krogle.

S to vrtavko lahko preverimo Newtonov zakon za vrtenje. Težišče vrtavke se pri tem ujema s središčem krogle. Vztrajnostni moment J vrtavke izmerimo tako, da jo pritrdimo na žico in izmerimo nihajni čas tega torzijskega nihala. Navor M zračnih curkov na vrtavko izmerimo z občutljivo vzmetno tehtnico, ko vrtavka miruje. Nato izmerimo še kotni pospešek, tako da stopamo čas, ki ga potrebuje vrtavka za dano število vrtljajev. Na vrtavko pritrdimo znamenje, ki mu zaradi sorazmerno počasnega gibanja sledimo brez težav. Izmerjeni kotni pospešek je konstanten, dokler frekvenca ne preseže več vrtljajev v sekundi, ko se pokaže vpliv povečanega zračnega upora. To priča, da je na navedenem frekvenčnem intervalu navor zračnih curkov zares konstanten. Izmerjeni kotni pospešek se ujema z izračunano vrednostjo $a = M/J$.

Neherjevo vrtavko je prilagodil za množično izdelovanje H. A. Daw.⁴ V novi izvedbi ni pločevinastega valja in radialnih cevk. Do tega je prišlo verjetno zato, ker se da Newtonov zakon preveriti še kako drugače, na primer tudi z zračno ploščo. Glavna prednost zračne vrtavke pa je pri poskusih v zvezi s precesijo in nutacijo, saj ta vrtavka za razliko od drugih ne potrebuje nobenih ležajev. V novi izvedbi ima vrtavka kroglo z maso 9,6 kg in s premerom 10 cm iz jekla. V kroglo je uvito aluminijasto vreteno, katerega os se bolje kot na desetinko milimetra ujema z glavno osjo vrtavke. Na koncu vretena je droben kroglični ležaj, da lahko z roko z zunajim navorom spremenimo smer glavne vrtavkine osi, ne da bi vrtavko s tem zavrli. Na vreteno pritrdimo dodatne uteži. Vodilnik se prilega krogli bolj natančno kot na desetinko milimetra in je vdolan v masivno aluminijasto podlogo. — Poskusi so najprepričljivejši, če se vrtavka vrti s kakim vrtljajem v sekundi. To z lahkoto dosežemo tako, da zavrtimo vrtavko s prsti. V primeru, da želimo doseči večjo frekvenco, približamo krogli vrtečo se ploščo, ki je opremljena s polstenim robom. — Stisnjeni zrak mora imeti za kake 0,3 kp/cm² večji tlak, kot je zunanji zračni tlak. Ker potrebujemo precejšnjo prostornino tega zraka ne moremo shajati brez majhnega kompresorja.*

Pokažemo, da ostane vrtilna količina vrtavke po smeri in po velikosti nespremenjena, če ne deluje nanjo noben zunanji navor. Če počakamo dovolj dolgo, se spremeni lega vretena vrteče se vrtavke glede na okolico zaradi vrtenja Zemlje. Zelo prepričljivi so poskusi v zvezi s precesijo. Na vreteno vrtavke, ki ima težišče v središču krogle, pritrdimo dodatno utež. Ko zasučemo vrtavko, opisuje vreteno plašč stožca. Precesijski čas, to je čas enega obhoda

* Družba Ealing prodaja take vrtavke za okoli 5400 dinarjev (v devizah). Poleg opisane vrtavke, ki je namenjena predvsem za demonstracijske poskuse, izdelujejo še vrtavke s kroglo z radijem 5 cm iz aluminijaste zlitine za študentske laboratorije. To vrtavko lahko opremimo z dodatno napravo, ki z vrtečim se magnetnim poljem zasučje vrtavko z zelo veliko frekvenco.

vretena po plašču stožca, je dovolj velik, da ga brez težav izmerimo s stoparico. Izmerjena vrednost se pri zračni vrtavki mnogo natančneje ujema z izračunano kot pri vrtavkah, ki imajo ležaje. Precesijski čas T izračunamo iz enačbe $2\pi/T = mgr^*/J\omega$, v kateri je r^* razdalja težišča vrtavke od središča krogle in ω kotna hitrost pri vrtenju vrtavke okoli geometrijske osi (glavne osi, ki leži v vretenu). Kotno hitrost ω natančno izmerimo, če osvetljujejo vrtavko z utripajočo svetilko. Frekvenco svetilke spreminjamo, dokler izbrano znamenje na vrtavki navidez ne miruje. — Opazujemo tudi nutacijo vrtavke. Vrtečo se vrtavko, pri kateri je težišče v središču krogle, rahlo sunemo po vretenu v pravokotni smeri. Vreteno začne značilno opletati. Za zanesljivejše opazovanje nutacije moramo uporabiti utripajočo svetilko in fotografski aparat.

*

Od opisanih naprav imamo na Odseku za fiziko za zdaj samo zračno progo. Kaže, da bomo v bližnji prihodnosti dobili tudi zračno ploščo in zračno vrtavko. Morda bo v prihodnjih letih dobila katero izmed omenjenih koristnih učil tudi kaka bogatejša srednja šola. Po izkušnjah, ki jih imamo z zračno progo, lahko učila te vrste priporočimo vsakomur. Opozoriti pa moramo na tole: za nove zanimive poskuse z novimi napravami potrebujemo precej več časa, kot smo ga potrebovali za poskuse s starimi napravami, pri katerih smo se morali še opravičevati zaradi trenja in s katerimi marsičesa nismo mogli pokazati. Zato bo ob uvedbi novih naprav pri fiziki še bolj zmanjkovalo časa.

J. Strnad

LITERATURA

- ¹ H. V. Neher: Air-Bearing Maxwell Top, Am. J. Phys. **30**, 503 (1962).
- ² H. V. Neher, R. B. Leighton: Linear Air Trough, Am. J. Phys. **31**, 255 (1963).
- ³ J. L. Stull: Linear Air Trough — a Modification, Am. J. Phys. **30**, 839 (1962).
- ⁴ Ealing 1969 Science Teaching Catalogue, Watford, Berks. (Ealing Scientific Ltd.), 1969.
- ⁵ L. P. Howland: Demonstrations of Waves on an Air Track, Am. J. Phys. **32**, 269 (1964).
- ⁶ R. B. Runk, J. L. Stull, O. L. Anderson: A Laboratory Linear Analog for Lattice Dynamics, Am. J. Phys. **31**, 915 (1963).

DOMAČE VESTI

POROČILO Z REPUBLIŠKEGA TEKMOVANJA MLADIH MATEMATIKOV

V ponedeljek, 21. aprila popoldne je bilo na I. gimnaziji v Ljubljani trinajsto republiško tekmovanje mladih matematikov. Udeležilo se ga je 246 srednješolcev z 19 gimnazij, kar je precej več kot prejšnja leta (lani 163 in predlanskim 119). Po posameznih gimnazijah je bilo število tekmovalcev naslednje: ljubljanske gimnazije: I. gimnazija 40, II. gimnazija 30, gimnazija Poljane 36, gimnazija Vič 2, gimnazija Šentvid 26, pedagoška gimnazija 3, gimnazija Jesenice 17, I. gimnazija Maribor 7, gimnazija Maribor-Tabor 5, gimnazija Velenje 5, gimnazija Novo mesto 3, gimnazija Koper 24, gimnazija Piran 5, gimnazija Škofja Loka 16, gimnazija Idrija 7, gimnazija Nova Gorica 7, gimnazija Kranj 11, gimnazija Ptuj 1, gimnazija Ljutomer 1.

Tekmovalna komisija profesorjev matematike, ki ji je predsedoval prof. dr. Ivan Vidav, je pripravila naslednje naloge:

1. razred

1. Dva delavca A in B sta imela nalogo izkopati dva jarka enakih dolžin. A bi izkopal jarek v štirih urah, B pa v petih urah. Ko so ju ob neki uri poklicali k malici, je ostal drugemu dvakrat daljši kos neizkopanega jarka kot prvemu. Kopati sta začela ob 6 uri 40 min. Kdaj so ju poklicali k malici?

2. Če zapišemo naravno število m v dvojiškem sistemu, nastopa v zapisu sodo število enic. Dokaži, da ima m vsaj en lihi delitelj $d > 1$!

3. V ostrokotnem trikotniku ABC se višini CD in BE sekata v točki V. Točke M, N, O, P so po vrsti središča daljic BV, CV, AC, AB. Dokaži, da je četverkotnik MNOP pravokotnik!

4. V pravilnem tetraedru ABCD je točka P razpolovišče višine DS tetraedra. Izračunaj površino in prostornino piramide ABCEP! Kolikšne kote tvorijo robovi AP, BP in CP?

2. razred

1. Vlak, namenjen s postaje A na postajo B je bil v A zadržan 1 uro 42 minut. Zato je pri odhodu iz A povečal normalno hitrost za 20 %. Na zadnjem odseku poti, ki je $0,1 AB$, pa je povečal hitrost za 25 % normalne hitrosti. Tako je privozil na postajo B brez zamude. V kolikšnem času prevozi vlak razdaljo AB ob normalnih pogojih?

2. Upoštevaj, da je logaritemska krivulja za osnove večje od 1 konkavna in potem brez uporabe logaritemskih tablic določi, katero od števil $\log_6 7$ in $\log_7 8$ je manjše!

3. Iz težišča pravokotnega trikotnika načrtajmo pravokotnice na nasprotnne stranice. Nožišča teh pravokotnic so oglišča novega trikotnika. Kolikokrat je ploščina tega trikotnika manjša od ploščine prvotnega trikotnika?

4. V koordinatnem sistemu sta dani krožnici k_1 s središčem $S_1 (-3, 3)$ in polmerom $r_1 = 4$ in k_2 s središčem $S_2 (7, -2)$ in polmerom $r_2 = 3$, ter točka A $(1, y)$ na k_1 . Načrtaj krožnico k , ki se dotika obeh krožnic, in sicer k_1 v točki A. Upoštevaj obe možnosti!

3. razred

1. Za katere a ima $p(x) = 3x^4 + 4x^3 - 6x^2 - 12x + a$ večkratno ničlo, katera ničla je to in kolikokratna je?

2. Kaj v realnem predstavlja algebrska funkcija

$$(x^3 - x)y^3 - (x^2 - 1)y^2 + (x^5 - x^3)y - (x^4 - x^2) = 0?$$

(Kaj je graf te funkcije?)

3. Pri kateri vrednosti parametra t je izraz

$$M = \sin^6 x + \cos^6 x + t (\sin^4 x + \cos^4 x)$$

neodvisen od x , kolikšna je tedaj njegova vrednost?

4. V pokončnem stožcu poznaš premer osnovne ploskve $2a$ in kot ob vrhu osnega preseka 2α . Včrtaj stožcu kroglo, nad njo pa še eno kroglo tako, da se prve dotika. Pokaži, da je polmer druge krogle enak

$$r = a \cdot \operatorname{tg}^3 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) !$$

4. razred

1. Med realnimi števili a, b, c, d je zveza

$$a + b + c + d = 1.$$

Dokaži, da je

$$a^2 + b^2 + c^2 + d^2 \geq \frac{1}{4} !$$

2. Koti trikotnika tvorijo aritmetično zaporedje z razliko δ tako, da je $\alpha < \beta < \gamma$.

a) V katerem intervalu lahko izbiramo δ ?

b) Pokaži, da stranice a, b, c ustrezajo enačbi

$$(a + c)^2 = b^2 + 3ac !$$

c) Dana je stranica b in obseg trikotnika. Izračunaj δ in stranici a in c !

3. Dana je funkcija $y = \log(ax^2 + x + 1)$

a) V katerih mejah mora ležati a , da bo funkcija realna za vsak x ?

b) Poišči geometrijsko mesto stacionarnih točk vseh teh funkcij!

4. Tangenta na elipso $b^2 x^2 + a^2 y^2 = a^2 b^2$ seka os x v točki X , os y pa v točki Y . Dokaži, da je $a + b$ najmanjša dolžina daljice XY !

V prvem razredu je naloge reševalo 78 dijakov, v drugem 57, v tretjem 63 in v četrtem razredu 48 dijakov. Vsi so imeli dve uri časa za reševanje.

Tekmovalna komisija je pregledala in ocenila vse izdelke. Odločila je, da prejmejo:

prvo nagrado: Olga Loštrek, 3. razr. I. gimn. Ljubljana
Karel Markelj, 3. razr. gimn. Maribor-Tabor
Oton Zagorc, 3. razr. gimn. Nova Gorica
Aleš Založnik, 1. razr. I. gimn. Maribor

drugo nagrado: Berto Žitko, 4. razr. I. gimn. Ljubljana
Darko Steiner, 1. razr. I. gimn. Ljubljana
Alenka Stopar, 1. razr. I. gimn. Ljubljana

tretjo nagrado: Jurij Stare, 3. razr. I. gimn. Ljubljana
Lojze Šuc, 3. razr. I. gimn. Ljubljana
Jasna Bregar, 3. razr. I. gimn. Ljubljana
Franko Solomun, 3. razr. I. gimn. Ljubljana
Rudi Bric, 3. razr. I. gimn. Ljubljana
Nana Špacapan, 3. razr. gimn. Koper
Martin Koprivec, 1. razr. I. gimn. Ljubljana
Andrej Blejec, 1. razr. I. gimn. Ljubljana

pohvale: v 1. razredu:

Janka Medved, I. gimn. Ljubljana
Janez Cerar, I. gimn. Ljubljana
Margareta Seher, gimnazija Velenje
Oto Kugonič, gimnazija Velenje

Zvonko Škofič, gimn. Poljane Ljubljana

Marija Rovtar, gimn. Škofja Loka

v 2. razredu:

Borut Namestnik, gimn. Maribor-Tabor

Saša Hadži, I. gimn. Ljubljana

Marjan Savič, I. gimn. Ljubljana

Milan Vodopivec, I. gimn. Ljubljana

Iztok Ostan, gimn. Koper

Darko Zorman, gimn. Jesenice

v 3. razredu:

Boštjan Kolenc, I. gimn. Ljubljana

Igor Fakin, I. gimn. Ljubljana

Rado Logonder, gimn. Škofja Loka

v 4. razredu:

Niko Guid. I. gimn. Ljubljana

Aljoša Žerjal, gimn. Koper

Tekmovalna komisija je odločila, da gredo v Beograd na zvezno matematično tekmovanje naslednji dijaki: V drugem razredu Borut Namestnik, v tretjem razredu Oton Zagorc, Karel Markelj, Olga Loštrek, Jurij Stare in Lojze Šuc in v četrtem razredu Berto Žitko, Niko Guid in Aljoša Žerjal.

Najboljši uspeh so imeli tekmovalci v tretjem razredu, kjer so trije dobili vseh 20 točk, trije 17 točk in trije 16 točk; vseh tekmovalcev v tretjem razredu, ki so dobili 10 ali več točk, je bilo 15. V prvem razredu je dobil po en tekmovallec 19 točk, 18 točk, 17 točk in dva 16 točk, 10 ali več točk je dobilo 15 tekmovalcev. V drugem razredu je dobil en tekmovallec 13 točk, poleg njega je dobilo 10 ali več točk še 10 tekmovalcev. V četrtem razredu je dobil en tekmovallec 18 točk, ostalih 6 tekmovalcev z 10 ali več točkami pa je dobilo 13 točk ali manj.

Josip Globevnik

REPUBLIŠKO TEKMOVANJE SREDNJEŠOLCEV V FIZIKI

V ponedeljek, 5. maja popoldne, je bežigradska gimnazija gostoljubno odprla vrata sto petim gimnazijcem iz vse Slovenije, ki so se pomerili v znanju fizike. Od teh je bilo največ Ljubljančanov, ki so pač imeli za Bežigrad najbliže: 67, ostali pa so bili z obeh mariborskih gimnazij, iz Nove Gorice, Kranja in Škofje Loke. Tekmovalci iz drugega, tretjega in četrtega gimnazijskega razreda — v prvem po učnem načrtu ni fizike — so se v vsakem razredu spoprijeli s štirimi nalogami, ki jih je pripravila šestčlanska profsorska komisija.

Tekmovalne naloge za 2. razred

1. Na vrhu trinožnega stojala z enako dolgimi nogami po 5 m, katerih podnožišča tvorijo na gladkih tleh enakostranični trikotnik, noge pa so naklonjene po 30° proti navpični smeri, visi breme 300 kg. S kolikšnimi silami so obremenjene noge strojale? Da se noge ne razkrečijo, so na tleh povezane z vrvjo. S kolikšnimi silami so napeti odseki vrvi med nogami?

2. Na vodoravnih tleh je kockasta posoda z robom 1 m iz tanke pločevine z maso 50 kg, v njej pa je do $\frac{1}{4}$ višine tekočina z maso 200 kg. Koliko dela moramo opraviti, da to kocko prevrnemo okoli enega roba na tleh na drugo ploskev?

3. Po 2 km dolgi progi med dvema postajama vozi trolejbus takole: od prve postaje enakomerno pospešeno s pospeškom $0,2 \text{ m/s}^2$ do hitrosti 60 km/h, nato

nekaj časa enakomerno s to hitrostjo, nazadnje pa enakomerno zavira s pospeškom $-0,3 \text{ m/s}^2$ do druge postaje. Koliko časa traja vožnja med postajama? Na kolikšnem delu proge trolejbus ne vozi enakomerno?

4. Dve krogli, prva z maso 1 kg, druga z maso 0,5 kg, sta obešeni druga poleg druge na enako dolgih vrvicah. Prvo, težjo, odklonimo v ravnini vrvic za toliko, da se dvigne za 5 cm in jo spustimo. Kako visoko prideta krogli po trku, če je trk prožen? Kako visoko, če je trk neprožen?

Tekmovalne naloge za 3. razred

1. Avtomobil slikamo prvič v razdalji 15 m, pa dobimo na filmu 61 mm visoko sliko, drugič pa ga slikamo v razdalji 9 m; slika na filmu je sedaj visoka 102 mm. Kolika je goriščna razdalja objektiva fotoaparata?

2. V sredino 2 kg težke, toplotno izolirane svinčene krogle ustrelimo svinčen izstrelak z 10-krat manjšo maso in s hitrostjo 200 m/sek. Izstrelak v krogli obtiči. Krogla je prosto gibljiva v smeri gibanja izstrelka. Za koliko se spremeni temperatura krogle in izstrelka? Specifična toplota svinca je $130 \text{ J kg}^{-1} \text{ st}^{-1}$.

3. Palica je sestavljena iz 60 cm dolgega jeklenega in 40 cm dolgega medeni-nastega dela; oba imata enak presek. Palico vložimo tesno med dve nepomični opori tako, da v začetku ni obremenjena. Kolik je tlak na nekem prečnem preseku, če temperaturo celotne palice zvečamo za 10 stopinj? (Temp. količnik jekla je $12 \cdot 10^{-6} \text{ st}^{-1}$, medenine $18 \cdot 10^{-6} \text{ st}^{-1}$, prožnostni modul jekla $20.000 \text{ kp mm}^{-2}$, medenine $10.000 \text{ kp mm}^{-2}$.)

Navodilo: Računaj, kot da se palica najprej podaljša, nato pa jo stisneš med opori.

4. Ravno zvočno valovanje s frekvenco 400 s^{-1} se širi s hitrostjo 340 ms^{-1} z leve proti desni in pada pravokotno na ravno steno, ki se giblje v levo s hitrostjo 5 ms^{-1} . Koliko zgoščin zadene steno na sekundo? Kolikšna je frekvenca od stene odbitega valovanja, ki jo zazna mirujoči opazovalec? Kolikšna je frekvenca utripanja, ki nastane z interferenco vpadlega in odbitega valovanja?

Tekmovalne naloge za 4. razred

1. Med plošči kondenzatorja s površino 28 dm^2 v razdalji 5 mm vtaknemo a) ploščo iz izolatorja debeline 2 mm in dielektričnosti $\epsilon = 5$, pa iste površine; b) kovinsko ploščo debeline 22 mm in iste površine. Izračunaj v obeh primerih novo kapacitivnost!

2. Bakreno žico s presekom $0,5 \text{ mm}^2$ in dolžino 20 m priključimo na akumulator z gonilno napetostjo 1,5 V. Za koliko miliamperov se zmanjša tok po žici vsako sekundo, če je žica toplotno izolirana? Gostota bakra je $8,9 \text{ g/cm}^3$, specifična toplota 390 J/kgst in specifični upor $0,017 \text{ ohm.mm}^2/\text{m}$. Specifični upor se poveča za 0,4 %, če se temperatura poveča za 1 stopinjo.

3. V homogenem magnetnem polju z gostoto 0,1 T je tuljava s 500 ovoji in s presekom 5 cm^2 . Tuljava je vrtljiva okoli osi, ki je pravokotna na njeno geometrijsko os in pravokotna na smer magnetnega polja. Tuljava se giblje takole: najprej se zasučje s konstantno kotno hitrostjo 6 s^{-1} za 180° , nato se ji v trenutku obrne smer vrtenja in se zasučje z enako veliko kotno hitrostjo za 180° v nasprotni smeri. Nariši časovni potek napetosti, ki se inducira na tuljavi, a) če kaže srednja lega geometrijske osi tuljave v smeri magnetnega polja, b) če je srednja lega geometrijske osi tuljave pravokotna na smer magnetnega polja.

4. Med vzporedni plošči kondenzatorja z dolžino 30 mm in razmikom 5 mm spustimo vzporedno s ploščama v vakuumu enakomerno gost curek elektronov z energijo 200 eV. Kolikšna je napetost med ploščama, če pride iz kondenzatorja polovico vpadlih elektronov?

Najuspešnejši tekmovalec drugega razreda je bil Dušan Kunstrle s kranjske gimnazije, ki je dobil II. nagrado, v tretjem razredu je zmagal Oton Zagorc iz Nove Gorice z II. nagrado, v četrtem razredu pa je poleg II. nagrade, ki jo je dobil Bojan Golli z ljubljanske bežigrajske gimnazije, dobil III. nagrado še Damjan Zazula s prve mariborske gimnazije. Razen nagrad je bilo še več

pohval: Hadži (2. razr., Lj.-Bežigrad), Melink (2. razr., Nova Gorica), Tomše-Rozin (2. razr., Lj.-Moste), Vodopivec (2. razr., Lj.-Bežigrad), Bavčar (3. razr., Nova Gorica), Brumen (3. razr., Maribor-Tabor), Končar (3. razr., Lj.-II. gimn.), Pavič (3. razr., Maribor, I. gimn.), Strajnar (4. razr., Lj.-Poljane), Jakopin (4. razr., Lj.-Polje), Krstič, Vedlin in Žitko (vsi 4. razr., Ljubljana-Bežigrad).

Šest najuspešnejših tekmovalcev (Kunstrle, Zagorc, Golli, Zazula, Hadži in Strajnar) je bilo določenih, da zastopajo Slovence na zveznem tekmovanju mladih fizikov v Beogradu 24. maja.

Ur.

TEKMOVANJE ŠTUDENTOV FIZIKE V BEOGRADU

Srbski študenti so si izbrali 6. april za svoj praznik. Na ta dan se v Beogradu zvrstijo razna srečanja študentov. Letos so prvič organizirali tekmovanja študentov s sorodnih fakultet iz vse države. Tekmovali so biologi, kemiki, matematiki in fiziki. Iz Ljubljane smo se udeležili tekmovanja v reševanju računskih nalog iz fizike trije študenti tehnične fizike: Gojko Stare, Matija Bugar in Peter Prelovšek. Vsak si je izbral eno izmed treh območij, iz katerega je dobil po tri naloge, ki jih je moral rešiti brez uporabe literature. Ker ni prispelo na tekmovanje iz fizike zastopstvo z nobene druge univerze — ne vem po čigavi krivdi — sta se pomerili le trojici iz Ljubljane in Beograda. G. Stare je pravilno rešil vse tri naloge iz atomike, P. Prelovšek dve iz mehanike in toplote, M. Bugar pa eno iz elektrike in optike. Beograjski študenti so napravili nalogo manj, tako da smo zmagali študenti iz Ljubljane.

Naloge so se zdele preveč šolske. V prihodnje bi kazalo spremeniti obliko tekmovanja in ga popestriti. Organizacija tekmovanja je bila pomanjkljiva, vendar je to napako zabilasala izredna požrtvovalnost posameznih organizatorjev. Po tekmovanju smo ostali v Beogradu še dva dni kot gosti beograjskih študentov. Podobnih srečanj si še želimo, saj se na njih lahko neprisiljeno pogovorimo s kolegi z drugih univerz. Rezultati na tekmovanju pa so tudi za fakultete nekakšno kazalo za uspešnost dela in vzpodbuda za večje prizadevanje v prihodnosti.

Zaradi zanimivosti navajamo nekoliko prilagojena besedila nalog.

Mehanika in toplota

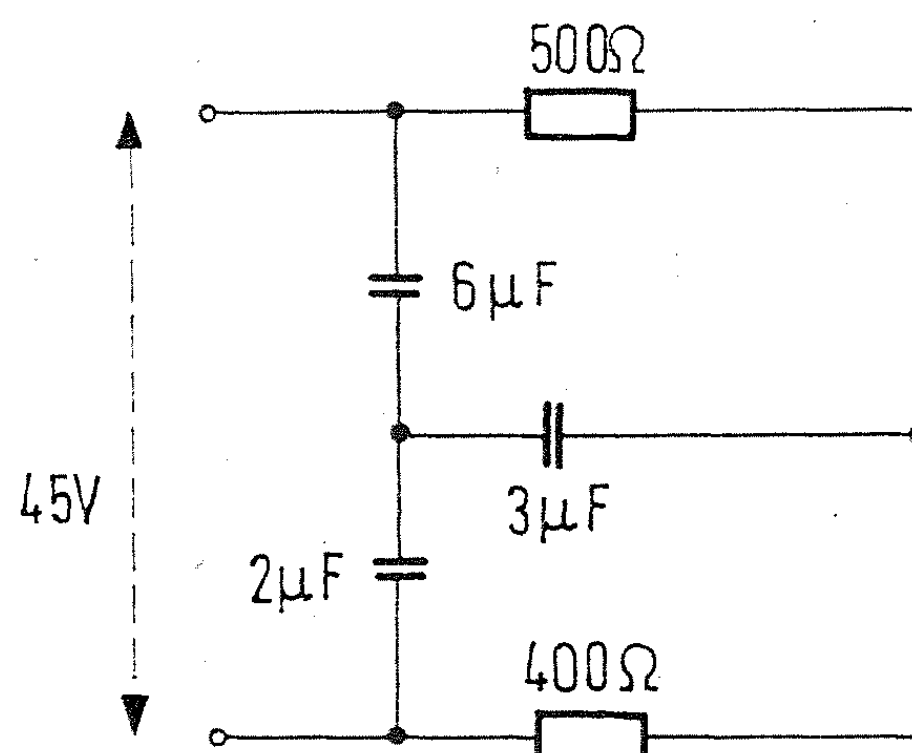
1. Po kolikšnem poprečnem številu trkov postane termičen nevtron z začetno kinetično energijo 1 MeV v plinu atomskega vodika s temperaturo 20°C , če privzamemo, da se pri trku s protonom v poprečju sipa pod kotom 45° ? Ali smemo zanemariti trke z elektroni?

2. V prvem delu posode, ki je predeljena s prosto gibljivo steno, je 1 mol vodika, ki se vede kot idealni plin, v drugem pa 1 mol ogljikovega dioksida, ki se vede kot van der Waalsov plin. Temperatura je ves čas 20°C . Izračunaj oba koeficienta iz van der Waalsove enačbe za ogljikov dioksid, če veš, da je pri tlaku p_1 v obeh delih skupna prostornina obeh plinov V_1 , pri tlaku p_2 pa je skupna prostornina V_2 !

3. V balonu, ki se dviga s konstantnim pospeškom 1 m/s^2 , je ura na nihalo. Kolikšno pot opravi balon po n nihajih ure?

Elektrika in optika

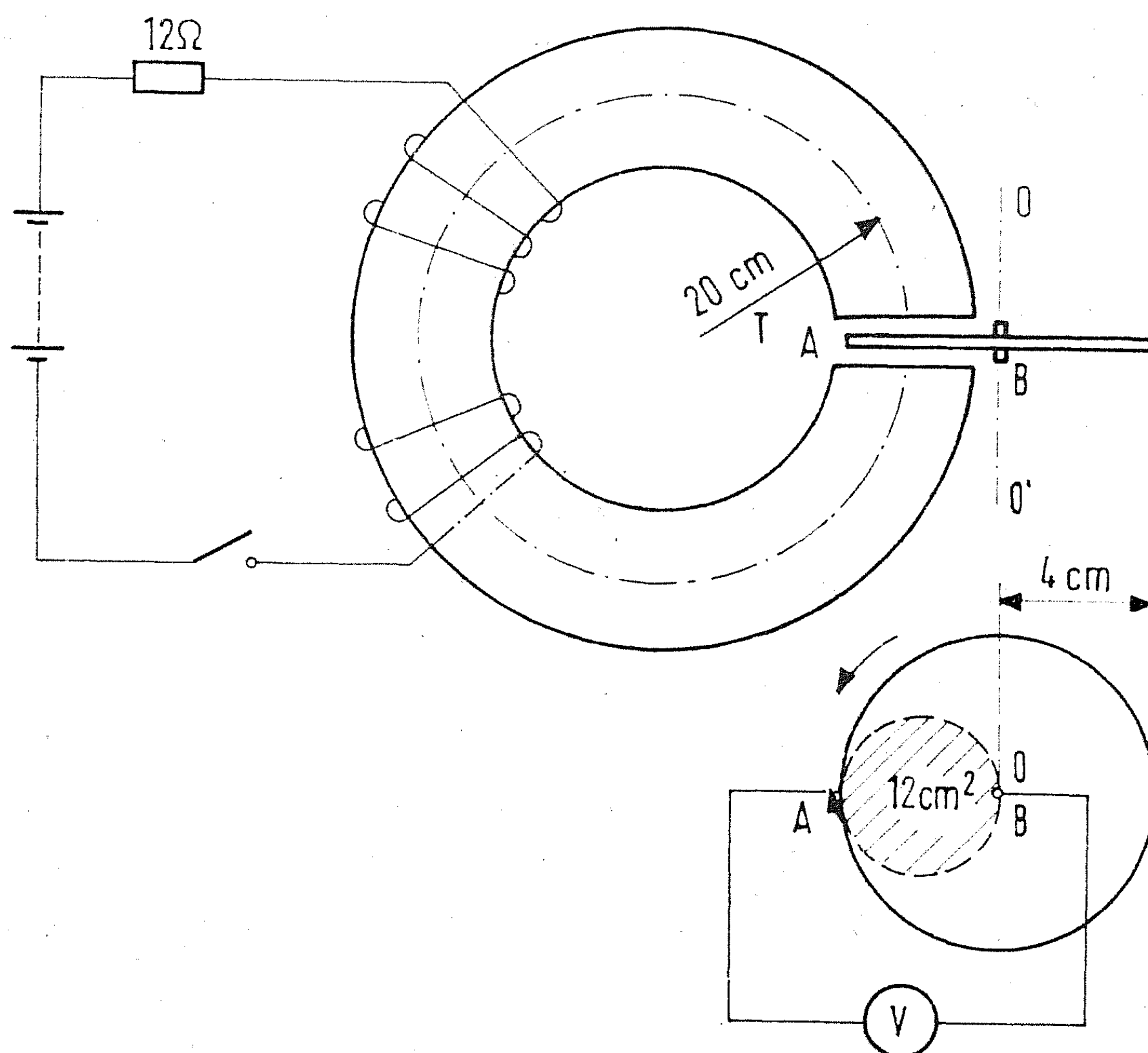
1. Vezje z dvema upornikoma in tremi kondenzatorji je priključeno na napetost 45 V. Določi naboje, ki se naberejo na kondenzatorjih, in energije električnega polja v njih!



Sl. 1. K nalogi 1 iz elektrike in optike

2. V krogu s skupnim ohmskim uporom 12 ohmov je tuljava s tisoč ovoji. Navita je na železno jedro v obliki svitka s srednjim radijem 20 cm in s prečnim presekom 12 cm^2 . V jedru je 5 cm široka reža, v katero sega okrogla kovinska ploščica s premerom 8 cm. Ploščica se vrti s frekvenco 5000 s^{-1} okoli osi, ki je ob robu reže pravokotna na režo. Na osi in na obodu ploščice sta drsna priključka, ki sta zvezana s statičnim voltmetrom. Izračunaj čas, v katerem po sklenitvi primarnega kroga naraste tok na 99 % končne vrednosti! Izračunaj napetost, ki mora biti na primarnem krogu, da kaže statični voltmeter napetost 45 mV. Vzemi, da ima magnetno polje v reži enak presek kot jedro in računaj s poprečno permeabilnostjo 120!

3. Muha enakomerno leti tik nad glavnim krogom na kroglasti posodi s tanko stekleno steno. Posoda je napolnjena z vodo, ki ima lomni kvocient 1,33. Kolikšen del časa opazovalec, katerega oko je v ravnini muhine poti v dani razdalji od sredine posode, ne vidi muhe? Zanemari večkratne odboje!



Sl. 2. K nalogi 2 iz elektrike in optike

Atomika

1. V magnetnem polju z gostoto 0,6 T se zaradi anomalnega Zeemanovega pojava razcepi natrijeva črta D_2 ($^2P_{3/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$). Naštej njene komponente in njihov premik glede na nemoteno črto D_2 !

2. Poišči krogelno simetrične valovne funkcije za delec v neskončno globoki krogelni potencialni jami: $V(r) = 0$ za $r < r_0$ in $V(r) = \infty$ za $r \geq r_0$. Določi lastne energije delca! Dokaži, da je poprečni radij za delec $\frac{1}{2} r_0$!

3. Jedro ^{52}Mn razpada z razpadom β^+ in z izsevanjem treh žarkov gama v ^{52}Cr . Največja kinetična energija pozitronov je 580 keV, energije žarkov gama v kaskadi pa so 730, 940 in 1460 keV. Izračunaj atomsko maso ^{52}Mn ! Izračunaj prag za jedrsko reakcijo $^{52}\text{Cr}(p, n)^{52}\text{Mn}$! Atomske mase za krom, vodik in nevtron so po vrsti 51,9571; 1,00813 in 1,00896 atomskih enot mase.

Peter Prelovšek

SEZNAM DIPLOMIRANIH SLUŠATELJEV VIŠJE PEDAGOŠKE ŠOLE IN PEDAGOŠKE AKADEMIJE V LJUBLJANI

ODDELEK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

Priimek in ime	Skupina	Diplomski predmet	Datum diplome
1. Benkovič-Medic Ana	fizika-matematika	fizika	26. 7. 1949
2. Perpar Dragotina	fizika-matematika	fizika	26. 7. 1949
3. Drnovšek Otmar	matematika-fizika	matematika	27. 7. 1949
4. Založnik Nada	matematika-fizika	matematika	27. 7. 1949
5. Klanjšek Karel	matematika-fizika	matematika	28. 7. 1949
6. Kunc Dora	matematika-fizika	matematika	28. 7. 1949
7. Kranjc Vladimir	fizika-matematika	fizika	8. 9. 1949
8. Farčnik Milan	fizika-matematika	fizika	26. 10. 1949
9. Simonič Marija	fizika-matematika	fizika	1. 3. 1950
10. Rajgelj Marija	matematika-fizika	matematika	21. 9. 1950
11. Pugelj Štefanija	matematika-fizika	matematika	21. 9. 1950
12. Pagon Marija	matematika-fizika	matematika	21. 9. 1950
13. Hauck Ema	matematika-fizika	matematika	21. 9. 1950
14. Udir Frančiška	matematika-fizika	matematika	22. 9. 1950
15. Vrhovec Stojan	fizika-matematika	fizika	22. 9. 1950
16. Turk-Pirc Ana	matematika-fizika	matematika	2. 3. 1951
17. Jemec Marija	fizika-matematika	fizika	3. 4. 1951
18. Matkovič Josip	fizika-matematika	fizika	28. 9. 1951
19. Koren Janko	fizika-matematika	fizika	28. 9. 1951
20. Lenassi-Drašler Irena	fizika-matematika	fizika	28. 9. 1951
21. Vogrinc Jožko	fizika-matematika	fizika	28. 9. 1951
22. Kokole Danijela	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1951
23. Gros Ivanka	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1951
24. Božič-Kontler Antonija	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1951
25. Kontler Nikolaj	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1951
26. Rode Marija	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1951
27. Krumberger Alojzij	matematika-fizika	matematika	29. 9. 1951
28. Kopač Danica	matematika-fizika	matematika	29. 9. 1951
29. Pavlovčič Matilda	matematika-fizika	matematika	29. 9. 1951
30. Šifrer Ana	matematika-fizika	matematika	29. 9. 1951
31. Grilc Julijana	matematika-fizika	matematika	24. 10. 1951
32. Kavčič Ciril	fizika-matematika	fizika	24. 10. 1951
33. Poženel Draga	fizika-matematika	fizika	24. 10. 1951
34. Matičič Vincenc	matematika-fizika	matematika	24. 10. 1951

Priimek in ime	Skupina	Diplomski predmet	Datum diplome
35. Milošević-Jesih Štefanija	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1952
36. Horvat Stanislav	matematika-fizika	matematika	5. 3. 1952
37. Ulčar Janez	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1952
38. Justin Dragovan	fizika-matematika	fizika	21. 10. 1952
39. Robera Janko	fizika-matematika	fizika	22. 10. 1952
40. Lorber Franc	fizika-matematika	fizika	22. 10. 1952
41. Ule Anton	fizika-matematika	fizika	22. 10. 1952
42. Bevc Maksimiljan	fizika-matematika	fizika	22. 10. 1952
43. Clemente Edvin	fizika-matematika	fizika	22. 10. 1952
44. Černe Nada	matematika-fizika	matematika	23. 10. 1952
45. Vardijan Marlenka	matematika-fizika	matematika	23. 10. 1952
46. Bolje Josip	fizika-matematika	fizika	23. 10. 1952
47. Sporn Pavel	fizika-matematika	fizika	23. 10. 1952
48. Debeljak Marija	matematika-fizika	matematika	23. 10. 1952
49. Pelicon Magdalena	matematika-fizika	matematika	24. 10. 1952
50. Požar Viktorija	matematika-fizika	matematika	24. 10. 1952
51. Merzelj Alojzija	matematika-fizika	matematika	4. 3. 1953
52. Jakovčič Antonija	matematika-fizika	matematika	12. 10. 1953
53. Kadunc Srečko	matematika-fizika	matematika	12. 10. 1953
54. Sagadin Ivan	fizika-matematika	fizika	12. 10. 1953
55. Pfeifer Vera	matematika-fizika	matematika	13. 10. 1953
56. Sambolec Terezija	matematika-fizika	matematika	13. 10. 1953
57. Seljak Ljudmila	matematika-fizika	matematika	13. 10. 1953
58. Štular Ana	matematika-fizika	matematika	13. 10. 1953
59. Lenarčič Matilda	matematika-fizika	matematika	27. 10. 1953
60. Pagon Maks	matematika-fizika	matematika	27. 10. 1953
61. Bratko Angela	matematika-fizika	matematika	3. 3. 1954
62. Kocijan-Dovgan Milica	matematika-fizika	matematika	3. 3. 1954
63. Planinšek Stanislav	matematika-fizika	matematika	28. 6. 1954
64. Žnidaršič Silvo	fizika-matematika	fizika	28. 6. 1954
65. Turšič Rudolf	matematika-fizika	matematika	11. 10. 1954
66. Gabrič Boris	matematika-fizika	matematika	11. 10. 1954
67. Dostal Vladimir	matematika-fizika	matematika	11. 10. 1954
68. Vrlič Franc	matematika-fizika	matematika	11. 10. 1954
69. Razpotnik-Pucihar Vida	fizika-matematika	fizika	20. 10. 1954
70. Mokotar Helena	matematika-fizika	matematika	20. 10. 1954
71. Dovšak-Mikoš Biserka	matematika-fizika	matematika	3. 3. 1955
72. Čuvan Avgust	matematika-fizika	matematika	11. 7. 1955
73. Kavčič Jože	matematika-fizika	matematika	13. 9. 1955
74. Jalen Franc	fizika-matematika	fizika	26. 10. 1955
75. Leskovšek Ivan	matematika-fizika	matematika	16. 1. 1956
76. Knechtl Peter	fizika-matematika	fizika	2. 3. 1956
77. Erjavec Marijan	fizika-matematika	fizika	29. 6. 1956
78. Milharčič Katarina	matematika-fizika	matematika	3. 10. 1956
79. Dolšak Franc	fizika-matematika	fizika	3. 10. 1956
80. Faganeli Milan	fizika-matematika	fizika	3. 10. 1956
81. Zornik Nada	matematika-fizika	matematika	13. 2. 1957
82. Žnuderl Alenka	fizika-matematika	fizika	13. 2. 1957
83. Drenšek Ana	matematika-fizika	matematika	28. 6. 1957
84. Krejan Stanko	matematika-fizika	matematika	28. 6. 1957
85. Škerjanc Jožefa	matematika-fizika	matematika	28. 6. 1957
86. Kovač Franc	matematika-fizika	matematika	29. 6. 1957
87. Novak Franc	matematika-fizika	matematika	29. 6. 1957
88. Potočnik Stanislava	matematika-fizika	matematika	29. 6. 1957
89. Tehovnik Vladimir	matematika-fizika	matematika	29. 6. 1957
90. Dečman Emilija	matematika-fizika	matematika	3. 10. 1957
91. Pirih Miroslav	matematika-fizika	matematika	3. 10. 1957
92. Tomšič Stanislav	matematika-fizika	matematika	3. 10. 1957

Priimek in ime	Skupina	Diplomski predmet	Datum diplome
93. Piber Roza	matematika-fizika	matematika	3. 10. 1957
94. Mlinar Stanislav	fizika-matematika	fizika	4. 10. 1957
95. Babič Ivan	fizika-matematika	fizika	18. 1. 1958
96. Meško Ivan	fizika-matematika	fizika	18. 1. 1958
97. Doganoc Ferdinand	matematika-fizika	matematika	30. 6. 1958
98. Umer Angel	fizika-matematika	fizika	30. 6. 1958
99. Stantič Silvija	matematika-fizika	matematika	1. 10. 1958
100. Vrečer Ana	matematika-fizika	matematika	1. 10. 1958
101. Ambrož Alojzij	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1959
102. Djokić-Dubrovič Vladimira	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1959
103. Jenko Vera Marija	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1959
104. Kozina Ana	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1959
105. Kramar Ana	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1959
106. Tomažin Marija	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1959
107. Praprotnik Adolf	matematika-fizika	matematika	7. 2. 1959
108. Kokot Jože	matematika-fizika	matematika	1. 7. 1959
109. Cesnik Stanislav	matematika-fizika	matematika	2. 7. 1959
110. Šoper Ana	matematika-fizika	matematika	2. 7. 1959
111. Juretič Severin	matematika-fizika	matematika	30. 9. 1959
112. Učanjšek Edvard	matematika-fizika	matematika	30. 9. 1959
113. Zibelnik Antonija	matematika-fizika	matematika	30. 9. 1959
114. Zajc Pavel	fizika-matematika	fizika	1. 10. 1959
115. Jan Peter	matematika-fizika	matematika	7. 2. 1959
116. Škaler Angela	fizika-matematika	fizika	30. 9. 1959
117. Potočnik Franc	matematika-fizika	matematika	5. 2. 1960
118. Marsič Darij	fizika-matematika	fizika	5. 2. 1960
119. Ošlovnik Jurij	fizika-matematika	fizika	5. 2. 1960
120. Češnjevar Ana	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1960
121. Užmah Marija	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1960
122. Veingerl Olga	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1960
123. Kodrič Sonja	matematika-fizika	matematika	29. 6. 1960
124. Markočič Emil	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1960
125. Matjažič Marta	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1960
126. Rožič Marija	matematika-fizika	matematika	30. 9. 1960
127. Pernat Jože	fizika-matematika	fizika	30. 9. 1960
128. Švab Jože	fizika-matematika	fizika	30. 9. 1960
129. Pečacnik Ivanka	matematika-fizika	matematika	8. 2. 1961
130. Kovačič Niko	matematika-fizika	matematika	8. 2. 1961
131. Jamnik Janez	fizika-matematika	fizika	8. 2. 1961
132. Rupnik Jožica	matematika-fizika	matematika	28. 6. 1961
133. Kuk Vera	matematika-fizika	matematika	28. 6. 1961
134. Kosmina Ciril	matematika-fizika	matematika	27. 9. 1961
135. Bratina Marta	matematika-fizika	matematika	27. 9. 1961
136. Blažič Marija	matematika-fizika	matematika	27. 9. 1961
137. Omrzel Marija	fizika-matematika	fizika	28. 9. 1961
138. Mihelič Ana	matematika-fizika	matematika	7. 2. 1962
139. Sosič Neda	matematika-fizika	matematika	7. 2. 1962
140. Užmah Lucija	matematika-fizika	matematika	7. 2. 1962
141. Žerovnik Marija	matematika-fizika	matematika	27. 6. 1962
142. Lep Lucija	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1962
143. Kumar Karel	fizika-matematika	fizika	26. 9. 1962
144. Babnik Terezija	matematika-fizika	matematika	22. 11. 1962
145. Čisar Aleksander	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1963
146. Lukšič Marija	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1963
147. Tacar-Jaklič Angela	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1963
148. Zupan Vanda	matematika-fizika	matematika	6. 2. 1963
149. Jamnik Matija	fizika-matematika	fizika	6. 2. 1963
150. Kovač Alojzij	fizika-matematika	fizika	6. 2. 1963

Priimek in ime	Skupina	Diplomski predmet	Datum diplome
151. Češnjevar-Krejan Marija	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1963
152. Ogrinc Marija	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1963
153. Šefer Urška	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1963
154. Štruc-Kokol Majda	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1963
155. Kovačič Ana Marija	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1964
156. Šemrov Jože	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1964
157. Peternel Jože	matematika-fizika	matematika	30. 9. 1964
158. Mulec-Lavrenčič Marija	fizika-matematika	fizika	29. 9. 1964
159. Kokol Peter	fizika-matematika	fizika	5. 2. 1964
160. Škofic-Kovač Lidiya	matematika-fizika	matematika	18. 2. 1965
161. König Frančiška	matematika-fizika	matematika	18. 2. 1965
162. Ivanuša Stanko	fizika-matematika	fizika	18. 2. 1965
163. Komel Lilijana	matematika-fizika	matematika	27. 9. 1965
164. Kresnik Marjeta	matematika-nem.	matematika	27. 10. 1965
165. Kravcar Marija	matematika-fizika	matematika	27. 4. 1966
166. Novak Marijan	fizika-matematika	fizika	27. 4. 1966
167. Miklavčič Iva	matematika-fizika	matematika	23. 6. 1966
168. Zajc-Zaman Ivanka	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1966
169. Steiner Marija	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1966
170. Kastelic Adrijana	matematika-fizika	matematika	1. 3. 1967
171. Jesenko Božidar	fizika-matematika	fizika	25. 4. 1967
172. Grom Rafael	matematika-fizika	matematika	21. 6. 1967
173. Bornšek Mirko	fizika-matematika	fizika	20. 6. 1967
174. Klasič-Abrahamsberg Marica	matematika-fizika	matematika	2. 10. 1967
175. Benedik Franc	matematika-fizika	matematika	26. 9. 1967
176. Čotar-Fakin Ana Marija	matematika-fizika	matematika	30. 9. 1967
177. Lukan Karolina	matematika-fizika	matematika	30. 9. 1967
178. Vertot Peter	matematika-fizika	matematika	2. 10. 1967
179. Selan Anka	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1967
180. Deželak Francka	matematika-fizika	matematika	30. 9. 1967
181. Laharnar Marija	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1967
182. Spasojevič Dušanka	matematika-fizika	matematika	29. 9. 1967
183. Varšek-Žitko Jana	matematika-fizika	matematika	28. 9. 1967
184. Moljk Valter	fizika-matematika	fizika	26. 9. 1967
185. Lupše Janez	fizika-matematika	fizika	27. 9. 1967
186. Slanc Anton	fizika-matematika	fizika	27. 9. 1967
187. Kithinji-Čas Helena	fizika-matematika	fizika	25. 10. 1967
188. Jensterle Franc	matematika-fizika	matematika	22. 11. 1967
189. Čufer Ljudmila	matematika-fizika	matematika	22. 11. 1967
190. Vok Jože	matematika-fizika	matematika	21. 11. 1967
191. Kleva Remigij	fizika-matematika	fizika	21. 11. 1967
192. Grašič-Rožman Marija	matematika-fizika	matematika	20. 12. 1967
193. Nastran-Jaretina Maksa	matematika-fizika	matematika	13. 12. 1967
194. Jelenko Agata	matematika-fizika	matematika	2. 4. 1968
195. Prezelj Cirila	matematika-fizika	matematika	2. 4. 1968
196. Kaplan Dušan	matematika-fizika	matematika	2. 4. 1968
197. Pfeifer Albina	matematika-fizika	matematika	5. 4. 1968
198. Gavrič-Renko Martina	matematika-fizika	matematika	28. 3. 1968
199. Markelj-Flajs Sonja	matematika-fizika	matematika	27. 3. 1968
200. Maganja Marija	matematika-fizika	matematika	26. 3. 1968
201. Rozman-Jelen Frančiška	matematika-fizika	matematika	2. 7. 1968
202. Jaklič Ciril	matematika-fizika	matematika	2. 7. 1968
203. Dujc Antonija	matematika-fizika	matematika	26. 6. 1968
204. Vršnak-Emer Anda	matematika-fizika	matematika	26. 6. 1968
205. Bartok Rafael	matematika-fizika	matematika	24. 6. 1968
206. Demšar Frančiška	matematika-fizika	matematika	24. 6. 1968
207. Gerželj Marija	fizika-matematika	fizika	24. 9. 1968
208. Goljevšček Božena	fizika-matematika	fizika	1. 10. 1968

Priimek in ime	Skupina	Diplomski predmet	Datum diplome
209. Čadež Janez	fizika-teh. vzgoja	fizika	24. 9. 1968
210. Sirk Alenka	fizika-matematika	fizika	1. 10. 1968
211. Rijavec Olga	matematika-fizika	matematika	25. 9. 1968
212. Bertoncelj Vanda	matematika-fizika	matematika	25. 9. 1968
213. Udir Vinko	matematika-fizika	matematika	25. 9. 1968
214. Pacek Franc	matematika-fizika	matematika	21. 9. 1968

LETNA ŠOLA ZA TOPOLOGIJO V ZAGREBU

Institut za matematiko pri Univerzi v Zagrebu namerava organizirati prvo letno šolo za topologijo v Zagrebu od 22. VI. do 5. VII. 1970. Šola bo v obliki tečajev po 5—10 ur predavanj. Predavali bodo znani strokovnjaki iz inozemstva, med njimi naslednji:

D. Puppe, Nemčija: Izbrana poglavja iz teorije homotopije;

H. B. Brinkman, Nemčija: Teorija kategorij — zasnova in osnovni rezultati;

J. Kister, ZDA: Izbrana poglavja topološke topologije — hipoteza vencev in sorodni problemi.

Predvidena sta tudi tečaja linearne topologije (predavatelj iz ZDA) in iz obče topologije (predavatelj iz SZ).

Šola je namenjena postdiplomskim študentom iz vse Jugoslavije, pa tudi že poznanim znanstvenim delavcem-topologom.

Predavanja bodo na Prirodoslovno-matematični fakulteti v Zagrebu, Marulićev trg 19, ali pa v prostorih Instituta za matematiko, Zagreb, Unska ul. in bodo trajala vsak dan po 3 do 4 ure.

Vsi, ki se za tečaj zanimajo, naj to sporoče na Institut za matematiko v Zagreb, Unska ul. do 1. XII. 1969. Za prigras v šolo je predvidena kotizacija 100 N din, ki jo je treba poslati na omenjeni institut, tek. račun 301-3-1061, z oznako — za letno šolo za topologijo.

Kritje stroškov za vožnjo in bivanje v Zagrebu naj si udeleženci pre-skrbijo pri svojih ustanovah. Zaradi intenzivnosti dela bi bilo prav, če bi bili udeleženci v času šole oproščeni drugih obveznosti.

NOVE KNJIGE

Brudar Božidar: Naloge iz aritmetike in algebre za srednje šole. Ljubljana, Državna založba Slovenije 1967. 208. str. 8^o.

Zbirka vsebuje precejšnje število nalog iz mnogih poglavij aritmetike in algebre, ki so predpisana za srednje šole. Za gimnazije zbirka ni primerna, ker ni v skladu z moderniziranim učnim načrtom in s predpisanimi učbeniki. Tudi za uporabo v srednjih strokovnih šolah bi bilo treba zbirko izpopolniti, saj manjkajo naloge iz važnih poglavij, npr. linearne funkcije, linearne neenačbe, eksponentne in logaritemske funkcije, kvadratne funkcije, kvadratne neenačbe, grafično reševanje enačb in neenačb, obrestno obrestni račun, grafi funkcij in proučevanje funkcij z uporabo odvoda. Med nalogami o kompleksnih številih pogrešamo upodabljanje teh števil v Gaussovi ravnini in uporabo Moivre-ovega obrazca. Med kvadratnimi enačbami ni niti ene naloge v zvezi z diskriminanto ali z uporabo Vietovega pravila, razen pri reševanju enačb na pamet.

Formule in navodila za reševanje nalog, ki jih je avtor zbral na koncu, bi bilo bolje premestiti na začetek vsakega poglavja, namesto golih rezultatov pa navesti vsaj pri težjih nalogah nekaj kratkih napotkov.

Ker za srednje strokovne šole ni na razpolago matematičnih učbenikov, bo zbirka kljub navedenim pomanjkljivostim dijakom dobrodošla in koristna.

Vladimir Pilgram

A. Grothendieck, Cohomologie locale des faisceaux cohérents et théorèmes de Lefschetz locaux et globaux (SGA 2). Séminaire de Géométrie Algébrique du Bois-Marie, 1962. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1968. (Lokalna kohomologija koherentnih snopov ter lokalni in globalni Lefschetzovi izreki.)

Leta 1960 je bil osnovan pod vodstvom A. Grothendiecka seminar iz algebraične geometrije. Ta seminar spremlja serija knjig, ki so posvečene posameznim ločenim temam, obravnavanim na seminarju. Knjiga, ki jo navajamo, je druga iz te serije. Posvečena je predvsem povezavi med lokalno in globalno kohomologijo koherentnih snopov. Iz tega raziskovanja so izšli nekateri lokalni in globalni izreki, analogni slavnim Lefschetzovim izrekom o zvezi med topologijo nesingularne projektivne algebraične mnogoterosti in topologijo hiperravninskega nesingularnega prereza. Knjiga je zanimiva predvsem za algebraične geometre, nekateri rezultati pa bodo zanimali tudi topologe.

J. Giraud, A. Grothendieck, S. L. Kleiman, M. Raynaud, J. Tate: Dix exposés sur la cohomologie des schémas. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1968. (Deset referatov o kohomologiji shem.)

To knjigo sestavlja deset med seboj neodvisnih člankov, in sicer šest referatov z Bourbakijevega seminarja in štirje drugi sestavki, ki doslej še niso bili tiskani. Napisali so jih v naslovu omenjeni matematiki. Naslovov posameznih sestavkov ne bomo navajali. Vsi raziskujejo ali uporabljajo kohomologijo shem, kot pove skupni naslov. Knjiga je namenjena algebraičnim geometrom, nekateri sestavki pa utegnejo zanimati tudi analitike, topologe in tiste, ki se ukvarjajo s teorijo števil ali grup.

V letu 1968 smo prejeli naslednje revije v zameno za Obzornik za matematiko
in fiziko

(Nadaljevanje)

33. The Mathematical Gazette. London 1967, Vol. 51. No. 378. K; 1968, Vol. 52. Nos 379 do 382. K
34. Naučni trudove. Plovdiv 1967, T. 5. knj. 1, 2, 3. K
35. Notices of the American Mathematical Society. Durham 1968, vol. 15. Nus 1, 2, 4, 5, 6, 7.
36. Osaka Journal of Mathematics. Osaka 1967, Vol. 4. No. K; 1968, vol. 5. No. 1.
37. Poročila Nuklearnega inštituta »J. Štefan«. Ljubljana 1967, Nos 204 do 212. K; 1968, Nos 213 do 215, 217 do 223.
38. Proceedings of the American Mathematical Society. Menasha 1968, Vol. 19. Nus 1, 2, 3, 4, 5.
39. Proceedings of the Faculty of science of Tokai University. Tokyo 1968, vol. 3. No. 1/2. K
40. Proceeding of the Mathematical and Physical Society of U. A. R. Cairo 1965, No. 29. K
41. Proteus. Ljubljana 1967/1968, 1. 30. št. 6 do 10. K; 1968/1969, 1. 31. št. 1 do 5.
42. Publications de l'institut mathematique. Beograd 1968, T. 8. K
43. Publikacije elektrotehniškog fakulteta. Beograd 1967, Nos 200 do 209. K; 1968, Nos 210 do 228.
44. Razprave. Ljubljana, Društvo meteorologov Slovenije 1967, leto 9. K; 1968, leto 10. K
45. Revista Matematica Hispano-Americana. Madrid 1967, T. 27. Nu. 5/6. K; 1968, T. 28. Nu. 1/2, 3/4, 5, 6. K
46. Revista de la Union matematica Argentina y de la Asociacion fisica Argentina. Buenos Aires 1966/1967, Nd. 23. Nu. 3.
47. Revue Roumaine de mathematique pures et appliqués. Bucarest 1968, T. 13, Nos 1 do 10. K
48. Rivista di matematica della Universita di Parma. Ser 2. Parma 1964, vd. 5. K; 1966, vd. 7 K
49. Rozhledy matematicko-fizikalni. Praha 1967/1968, r. 46. br. 3 do 10. K
50. Sodobna pedagogika. Ljubljana 1968, leto 19. št. 1 do 10. K
51. Spisy. Brno 1967, č. 479, 480, 481, 484, 488. 1966, č. 490.
52. Studia universitatum Babes-Bolyai. Ser.: mat., phys. Cluj 1968, T. 13. F. 1, 2. K
53. Studii si cercetari matematice. Bucuresti 1968, T. 20. Nr. 1 do 10. K
54. Uenye zapiski Leningradskogo ordena Lenina gosudarstvenogo univerziteta im. A. A. Ždanova. Ser.: Matematičeskikh nauk. Trudy astronomičeskoj observatorii. Leningrad 1967, s. 41. T. 24.
55. Učenje zapiski Tartuskogo gosudarstvenogo universiteta. Trudy po matematike i mehanike. Tartu 1967, Vyp. 206. T. 7. K
56. Ukrainskij matematičeskij žurnal. Kiev 1968, T. 20. No. 1, 2, 3, 4, 5, 6. K
57. Uspehi matematičeskikh nauk. Moskva 1968, T. 23, Vyp. 1, 2, 3, 4, 5, 6. K.
58. Varilna tehnika. Ljubljana 1968, leto 17. št. 1, 2, 3, 4. K
59. Vestnik Leningradskog universiteta. Ser.: Fizika, himija. Leningrad 1968, T. 3. Nos 1, 2, 3.
60. Vestnik Leningradskogo universiteta. Ser.: Matematika, mehanika, astronomija. Leningrad 1968, Vyp. 4.
61. Vestnik moskovskogo univerziteta. Ser.: Fiziko-matematičeskikh i estestvennyh nauk. Moskva 1968, Vyp. 1 do 6. K
62. Zdravstveni vestnik. Ljubljana 1968, leto 37. št. 1 do 12, sup. I., II. K

V letu 1968 smo prejeli naslednje revije v zameno za Obzornik za matematiko
in fiziko

(Nadaljevanje)

33. The Mathematical Gazette. London 1967, Vol. 51. No. 378. K; 1968, Vol. 52. Nos 379 do 382. K
34. Naučni trudove. Plovdiv 1967, T. 5. knj. 1, 2, 3. K
35. Notices of the American Mathematical Society. Durham 1968, vol. 15. Nus 1, 2, 4, 5, 6, 7.
36. Osaka Journal of Mathematics. Osaka 1967, Vol. 4. No. K; 1968, vol. 5. No. 1.
37. Poročila Nuklearnega inštituta »J. Štefan«. Ljubljana 1967, Nos 204 do 212. K; 1968, Nos 213 do 215, 217 do 223.
38. Proceedings of the American Mathematical Society. Menasha 1968, Vol. 19. Nus 1, 2, 3, 4, 5.
39. Proceedings of the Faculty of science of Tokai University. Tokyo 1968, vol. 3. No. 1/2. K
40. Proceeding of the Mathematical and Physical Society of U. A. R. Cairo 1965, No. 29. K
41. Proteus. Ljubljana 1967/1968, 1. 30. št. 6 do 10. K; 1968/1969, 1. 31. št. 1 do 5.
42. Publications de l'institut mathematique. Beograd 1968, T. 8. K
43. Publikacije elektrotehniškog fakulteta. Beograd 1967, Nos 200 do 209. K; 1968, Nos 210 do 228.
44. Razprave. Ljubljana, Društvo meteorologov Slovenije 1967, leto 9. K; 1968, leto 10. K
45. Revista Matematica Hispano-Americana. Madrid 1967, T. 27. Nu. 5/6. K; 1968, T. 28. Nu. 1/2, 3/4, 5, 6. K
46. Revista de la Union matematica Argentina y de la Asociacion fisica Argentina. Buenos Aires 1966/1967, Nd. 23. Nu. 3.
47. Revue Roumaine de mathematique pures et appliques. Bucarest 1968, T. 13, Nos 1 do 10. K
48. Rivista di matematica della Universita di Parma. Ser 2. Parma 1964, vd. 5. K; 1966, vd. 7 K
49. Rozhledy matematicko-fizikalni. Praha 1967/1968, r. 46. br. 3 do 10. K
50. Sodobna pedagogika. Ljubljana 1968, leto 19. št. 1 do 10. K
51. Spisy. Brno 1967, č. 479, 480, 481, 484, 488. 1966, č. 490.
52. Studia universitatum Babes-Bolyai. Ser.: mat., phys. Cluj 1968, T. 13. F. 1, 2. K
53. Studii si cercetari matematice. Bucuresti 1968, T. 20. Nr. 1 do 10. K
54. Uenye zapiski Leningradskogo ordena Lenina gosudarstvenogo univerziteta im. A. A. Ždanova. Ser.: Matematičeskikh nauk. Trudy astronomičeskoj observatorii. Leningrad 1967, s. 41. T. 24.
55. Učenje zapiski Tartuskogo gosudarstvenogo universiteta. Trudy po matematike i mehanike. Tartu 1967, Vyp. 206. T. 7. K
56. Ukrainskij matematičeskij žurnal. Kiev 1968, T. 20. No. 1, 2, 3, 4, 5, 6. K
57. Uspehi matematičeskikh nauk. Moskva 1968, T. 23, Vyp. 1, 2, 3, 4, 5, 6. K.
58. Varilna tehnika. Ljubljana 1968, leto 17. št. 1, 2, 3, 4. K
59. Vestnik Leningradskog universiteta. Ser.: Fizika, himija. Leningrad 1968, T. 3. Nos 1, 2, 3.
60. Vestnik Leningradskogo universiteta. Ser.: Matematika, mehanika, astronomija. Leningrad 1968, Vyp. 4.
61. Vestnik moskovskogo univerziteta. Ser.: Fiziko-matematičeskikh i estestvennyh nauk. Moskva 1968, Vyp. 1 do 6. K
62. Zdravstveni vestnik. Ljubljana 1968, leto 37. št. 1 do 12, sup. I., II. K

OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

XVI. LETNIK — 3. ŠTEVILKA

IZDAJA DRUŠTVO MATEMATIKOV, FIZIKOV IN ASTRONOMOV SR SLOVENIJE
LJUBLJANA, SEPTEMBER 1969

VSEBINA

Članki

Stran

- Gravitacijsko valovanje — odkrito? (J. Strnad) 97
Ali bi lahko obstajali delci, ki bi bili hitrejši kot svetloba? (J. Strnad) . 108

Šola

- Vzgojna vloga fizike v srednji šoli (F. Kvaternik) 118
Pouk fizike po programu PSSC (F. Kvaternik) 121
Poskusi brez trenja v mehaniki (J. Strnad) 123

Domače vesti

- Poročilo z republiškega tekmovanja mladih matematikov (J. Globevnik) 133
Republiško tekmovanje srednješolcev v fiziki (Ur.) 135
Tekmovanje študentov fizike v Beogradu (P. Prelovšek) 137
Seznam diplomiranih slušateljev Višje pedagoške šole in Pedagoške
akademije v Ljubljani — oddelek za matematiko in fiziko . . . 139
Letna šola za topologijo v Zagrebu 143

- Nove knjige 144

CONTENTS

Articles

Page

- Gravitational Waves — Discovered (J. Strnad) 97
Faster than Light Particles — can they exist? (J. Strnad) 108

- School 118

- Home News 133