531.711 : 535.61 : 535.41

LA LONGO DE LUMONDO KIEL NATURA ETALONO

de Prof. D-ro H. SIRK
Prelego en Internacia Somera Universitato, Haarlem, 1954

Pasintjare en Zagrebo mi rakontis, kiel estiĝis la metra sistemo kaj menciis je la fino de mia prelego, ke oni intencas ŝanĝi la fundamenton de la sistemo kaj uzi la longon de lumondo kiel neniam variontan nature donitan kontrolilon, unuvorte kiel *naturan etalonon*. Nun mi tiun aplikon de optika teorio al grava problemo de internaciismo pritraktos pli detale.

Ekde la komenco de la pasinta jarcento la hipotezo ke la lumo estas ondeca movado en la etero, gajnis terenon kaj sukcesis klarigi ĉiujn tiam konatajn optikajn fenomenojn. Oni imagis, ke lumradio konsistas el transversaj ondoj (Fig. 1). Unu tuta ondo, kies longon ni

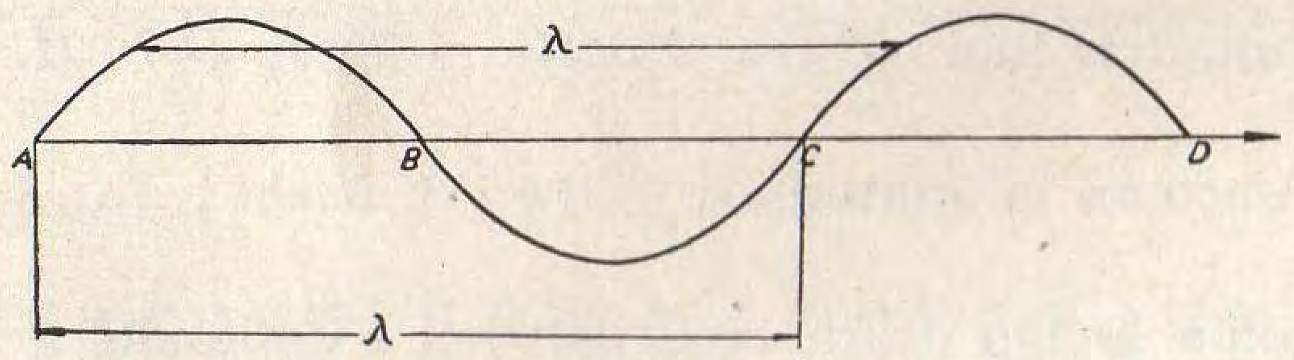


Fig. 1.

nomu λ, konsistas el monto inter *A* kaj *B* kaj valo inter *B* kaj *C*. La ondado disvastiĝas kun lumrapido laŭ la meza rekto *AD*, la direkto de la radio. La *frekvenco*, la nombro de la vibradoj en unu sekundo, estas determinita de la naturo de la lumfonto kaj restas senŝanĝa kiam la radio pasas de unu medio en alian, ekzemple el la aero en vitron, kie ĝia rapido estas nur proksimume $^2/_3$ de la rapido en la aero. Pro la konstanteco de la frekvenco la ondolongo devas proporcie plietiĝi. Se *n* estas la indico de refrakto de tiu alia medio, λ la ondolongo en aero, la ondolongo en la alia medio

$$\lambda^* = \lambda / n \qquad (1).$$

Komence de la pasinta jarcento oni sukcesis mezuri λ, la longon de la lumondoj, uzante fenomenojn kaŭzitajn de la interago de la lumondoj, de la *interfero*. En fig. 2 estas desegnitaj du ondoj de la sama longo, unu streketite kaj la alia punktite. Ili moviĝas en la sama direkto kaj kuntrafas en bildo *a* tiel, ke monto koincidas kun monto kaj valo kun valo, ke ili estas en la *sama fazo,* kiel la fizikistoj diras. Tiaj ondoj plifortigas sin kaj rezultigas pli fortan ondadon dike desegnitan. Se kontraŭe la du ondoj kuntrafas tiel, ke monto koincidas kun valo kaj valo kun monto, ke ili estas en kontraŭa fazo (bildo *b*),

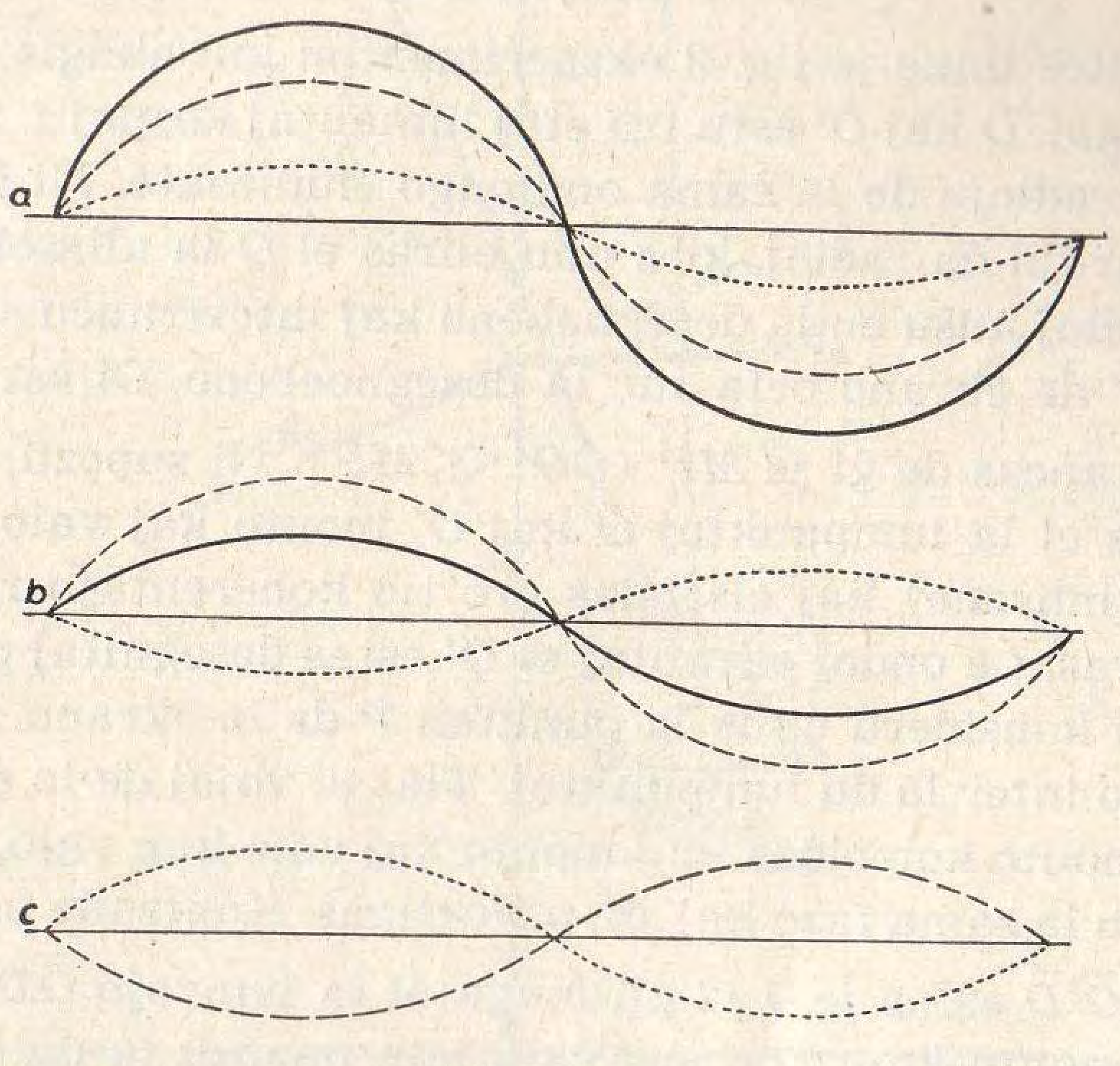


Fig. 2.

ili rezultigas la pli malfortan dike desegnitan ondadon. Se la du ondoj estas egale fortaj, (bildo *c*), ili sin neniigas reciproke. Tio kondukas al iom stranga konkludo, ĉar lumo aldonita al lumo rezultigus mallumon ĉe tia interfero.

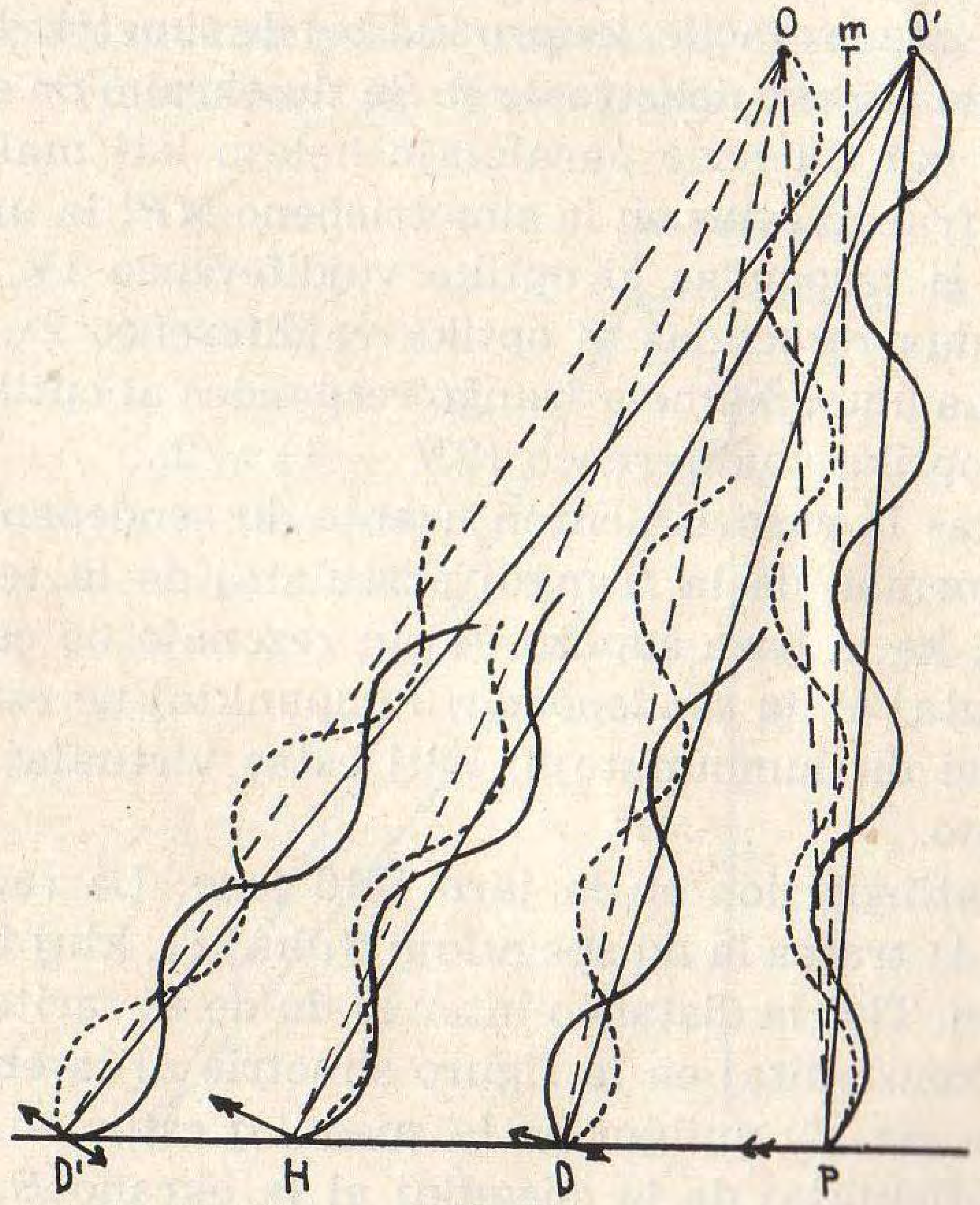


Fig. 3.

Mi pritraktos unue je fig. 3 eksperimenton kiu ebligis la mezuradon de la ondlongoj. O kaj O' estu tre etaj lumantaj korpoj t. n. lumpunktoj elsendantaj radiojn de la sama ondlongo ĉiudirekte. Ni konsideru nun diversajn parojn da radioj, kies unu eliras el O la alia el O'. Ĉiuj konsiderataj radioj kuŝu en la desegnebeno kaj intertranĉu sin en la punktoj $P\ D\ H\ D'$ de ekrano orta sur la desegnoebeno. Ĝi estas paralela al OO' kaj distancas de ĝi je MP ($\overline{OO'} \ll \overline{MP}$). Ni supozu, ke ĉiam samtempe eliras el la lumpunktoj O kaj O' monto kaj valo, ke ili oscilas samtakte (sinhrone) kaj elsendas pro tio koherentajn radiojn, kiel la fizikistoj diras. La ondoj elirantaj el O' estas desegnitaj plene, tiuj el O punktite. Ni konsideru unue la punkton P de la ekrano. P situas en la simetriebeno inter la du lumpunktoj. Tial la vojoj de la du radioj estas egalaj kaj monto koincidas kun monto kaj valo kun valo, la du ondadoj en P estas en la sama fazo kaj sin plifortigas. Kontraŭe por la punkto D la lumvojo $\overline{O'D}$ estas je $\lambda/2$ pli longa ol la lumvojo $\overline{OD}$. Koincidas do en D ĉiam monto kun valo kaj valo kun monto; la du ondoj estas en kontraŭa fazo, ili neniigas sin, kaj ni devus observi en D mallumon. En H la lumvojo de la radio el O' estas je unu tuta ondo pli longa ol tiu de la radio el O; tial la du radioj estas en la sama fazo kaj plifortigas sin. En D' la lumvojo de la radio el O' estas je $3\lambda/2$ pli longa ol tiu de la radio el O. La du radioj estas en la kontraŭa fazo kaj devus denove rezultigi mallumon. Tiu ŝanĝiĝo de lumo kaj mallumo ripetiĝus maldekstren kaj ni imagas facile, ke pro kaŭzoj de simetrio la samo okazos sur la parto de la ekrano dekstre de P. Se tiu ekrano ne estas tro larĝa, ni vidos sur ĝi laŭ tiu terio paralelajn helajn kaj malhelajn striojn, *franĝojn*. Hela franĝo estas en la simetriebeno MP; la unua dekstre aŭ maldekstre de ĝi respondas al optika vojdiferenco 1λ, ĝi estas de la *unua ordo;* la dua respondas al optika vojdiferenco 2λ, ĝi estas de la *dua ordo,* ktp. La unua malhela franĝo respondas al optika vojdiferenco $\lambda/2$, la N-a al optika vojdiferenco $(2N - 1)\ \lambda/2$.

Sed se ni faras la eksperimenton uzante du sendependajn lumpunktojn, ni vidas nenion de la franĝoj postulataj de la teorio. Tio estas kaŭzata de tio, ke la baza supozo de tiu rezonaĵo ne estas plenumita. La ondoj elirantaj el du *sendependaj* lumpunktoj ne estas *koherentaj.* Ni devas do uzi du lumpunktojn, kiuj estas virtualaj bildoj de unu reala lumpunkto.

F r e s n e l atingis tion en la jaro 1816 jene: La radioj de la lumpunkto L (fig. 4) trafas la du spegulojn S_1 kaj S_2, kiuj formas tre malakutan angulon. Tial la distanco inter la du de ili faritaj virtualaj bildoj L_1 kaj L_2 konstruitaj en la figuro simetrie al la ebenoj de la speguloj estas tre eta. Ĝi nuliĝus se la speguloj estus en unu ebeno. La radioj estas reflektataj de la speguloj al la ekrano E, kiu estas pro-

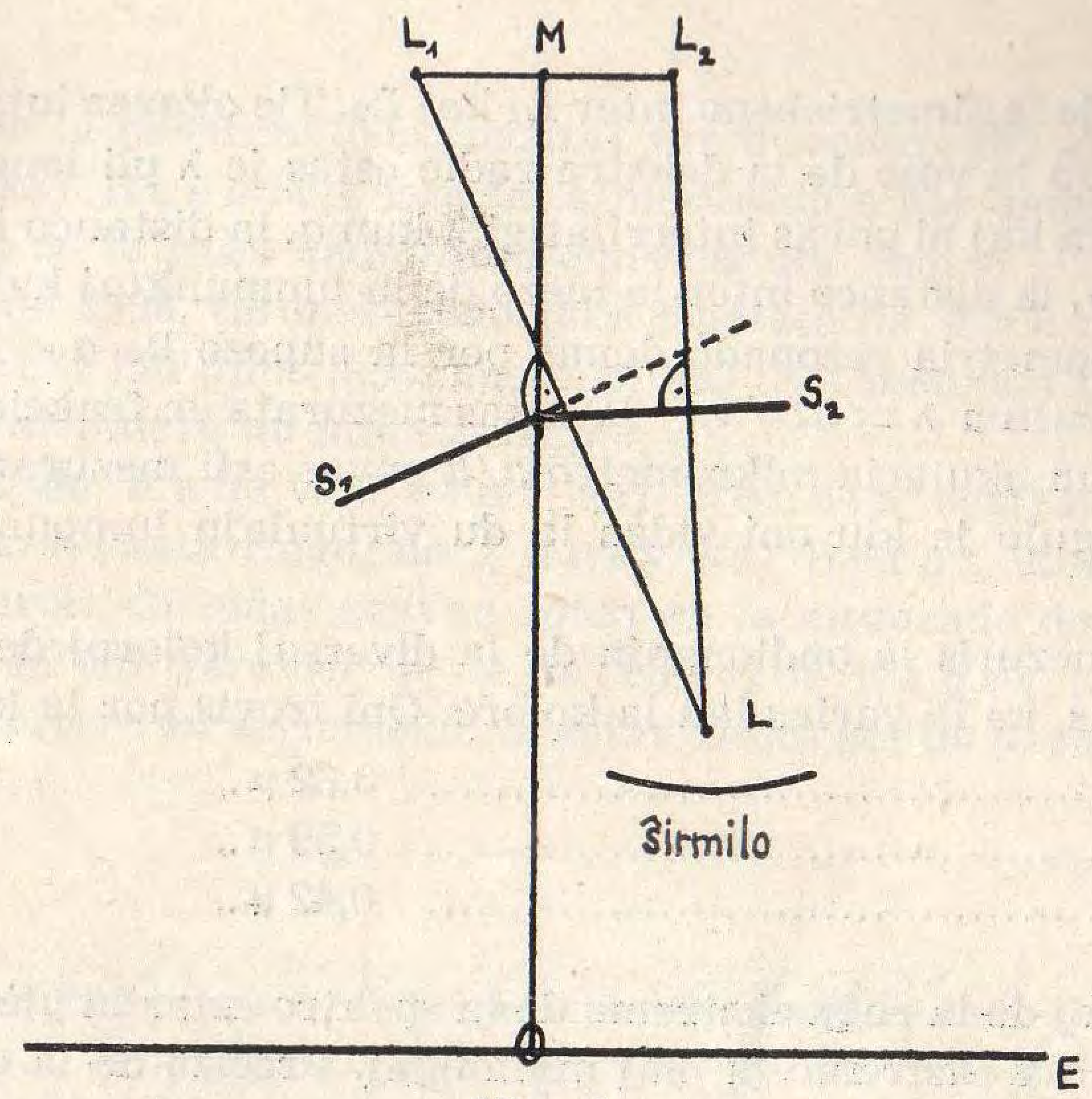


Fig. 4.

tektata per ŝirmilo kontraŭ la rektaj radioj de la reala lumpunkto L. Nun oni vidas sur la ekrano E la helajn kaj malhelajn franĝojn postulitajn de la teorio kaj havas antaŭ la okuloj pruvon, ke lumo aldonita al lumo povas doni mallumon, ke la ondeca teorio de la lumo estas prava. Nun ni povas rezoni pri la lumpunktoj L_1 kaj L_2 kvazaŭ ili estus realaj (fig. 5). Ni konsideru la unuan helan franĝon en la distanco D

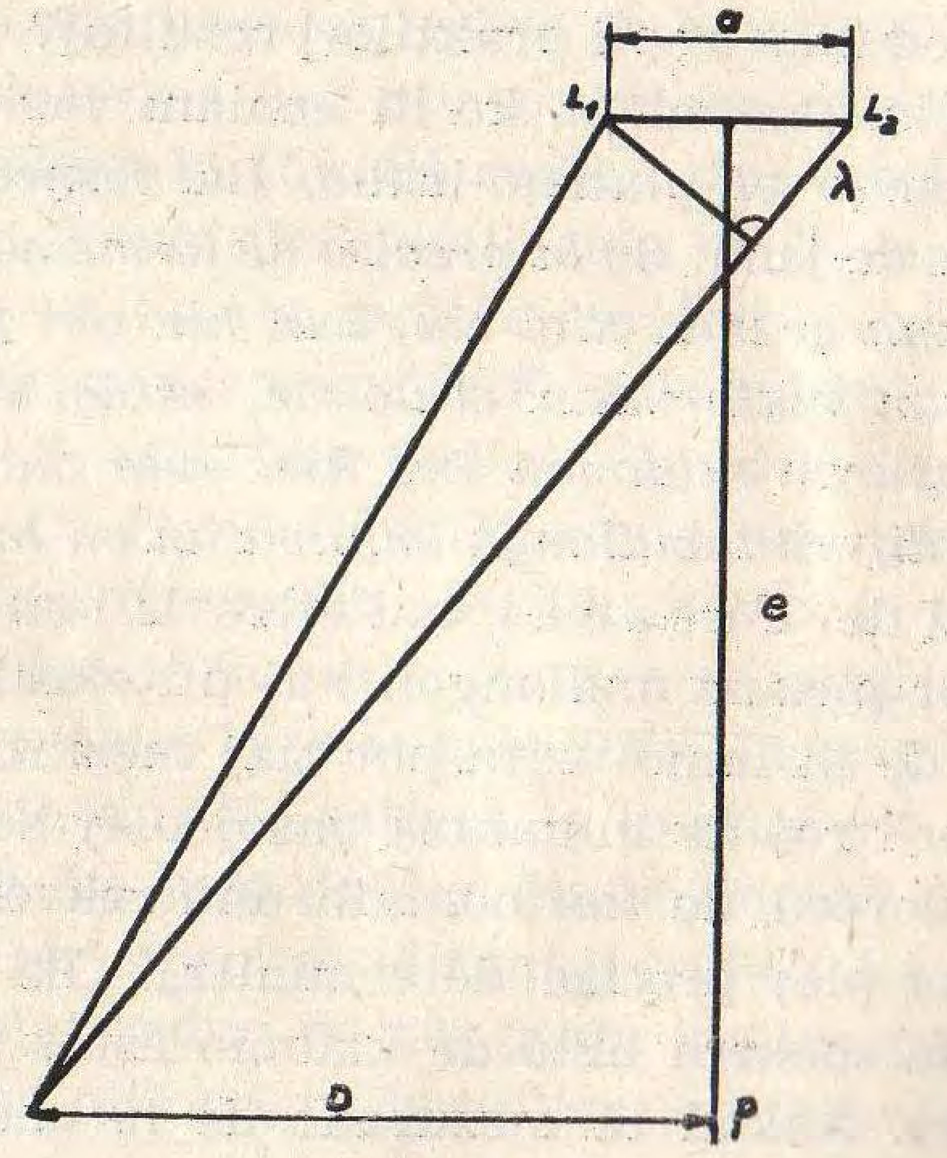


Fig. 5.

maldekstre de la simetriebeno inter L_1 kaj L_2. Tie okazas interfero de la unua ordo. Do la vojo de la dekstra radio estas je λ pli longa ol tiu de la maldekstra kaj ni povas interrilatigi λ kun a, la distanco inter L_1 kaj L_2 kaj kun h, la distanco inter la mezo de la lumpunktoj kaj la ekrano.

Simpla geometria rezonado donas per la supozo ke $a << h$ la proksimuman rezulton $\lambda = aD/h$; D estas mezurata en frakcioj de metro. Per lorno kun okularia mikrometro a/h povas esti mezurata en radianoj, kiel angulo je kiu oni vidas la du virtualajn lumpunktojn el la punkto P.

Tiel oni mezuris la ondlongojn de la diversaj koloroj de la spektro kaj konstatis, ke ili varias laŭ la koloro. Oni trovis por la koloro

ruĝa	0,62 μ.
flava	0,59 μ.
viola	0,42 μ.

Do la ondoj de la ruĝa ekstremo de la spektro estas la plej longaj kaj tiuj de la viola ekstremo la plej mallongaj. Precizo de la difino pri la koloro mankis ĉe Fresnel. Pri la ruĝa koloro ekzemple li diris, ke li uzis ruĝan vitron de antikva preĝejfenestro, kiu tralasis nur malmulte da flava lumo.

Tiu metodo de Fresnel havas hodiaŭ nur historian signifon. Tamen ni ekkonas el ĝi jenon principe gravan: Aŭ ni povas uzi la longon de metro por mezuri la distancon D de la franĝoj kaj kalkuli el ĝi la ondolongon aŭ ni povas inverse uzi la ondlongon por determini la longon de nia metra prototipo en ondlongoj. Ni devas do scii, kiom da ondlongoj de difinita koloro ĝi enhavas.

Kiu procedo kondukas al pli praktikaj rezultoj? Pri la ondlongoj de la lumo ni havas la konvinkon, ke ili neniam varios kompare kun la longo de metalstango el plateno-iridio. La respondo al la starigita demando dependas de jeno: *Se la precizo de la mezurado de la ondlongo estas almenaŭ same granda kiel tiu, kun kiu oni povas reprodukti la eventuale detruitan materialan etalonon, estas konsilinde preni iun lumondon kiel naturan etalonon kaj kiel eble plej precize mezuri la nombron de bone difinita ondlongo enhavatan en la metra prototipo.*

Post la esploroj de Fresnel oni eltrovis iom post iom pli precizajn metodojn por mezuri ondlongon kaj pli ekzaktajn metodojn por difini la koloron de la lumo uzita por tiaj mezuroj. Oni rimarkis, ke la linioj en la spektroj de lumantaj gasoj plej bone respondas al la postulo de unukoloreco, de tiel nomata unufrekvenceco, kaj trovis la liniojn, kiuj estas plej precize determinitaj. Ĝis antaŭ nelonge oni opiniis, ke la ruĝa spektra linio de kadmio estas la plej neta t. e. la plej unufrekvenca. Ankaŭ la mezurado de la ondlongoj fariĝis post la unuaj eksperimentoj de Fresnel ĉiam pli ekzakta pro la pli-

perfektigo de la mezurmetodoj bazitaj sur interfero kaj en 1893 Michelson kaj Benoît[1]) jam faris mezuradojn por determini, kiom da lumondoj de la ruĝa kadmilinio enhavas unu metro.

Pli poste, en 1906, tiu mezurado estis ripetata de Fabry, Pérot kaj Benoît[2]) laŭ plibonigita metodo, kaj tiun metodon publikigitan en 280-paĝa memuaro mi nun skizos por vi.

La metodo de Fabry, Pérot kaj Benoît baziĝas sur interferofenomeno nomata ringoj de Fabry kaj Pérot, kiun mi devas antaŭe priparoli. Ĝi ludas gravan rolon en la mezurado de longoj per interfero, en la *interferometrio*. Ĉe tiaj ringoj de Fabry kaj Pérot temas pri interfero en aerlameno. Ĝi estas limita per du paralelaj vitraj

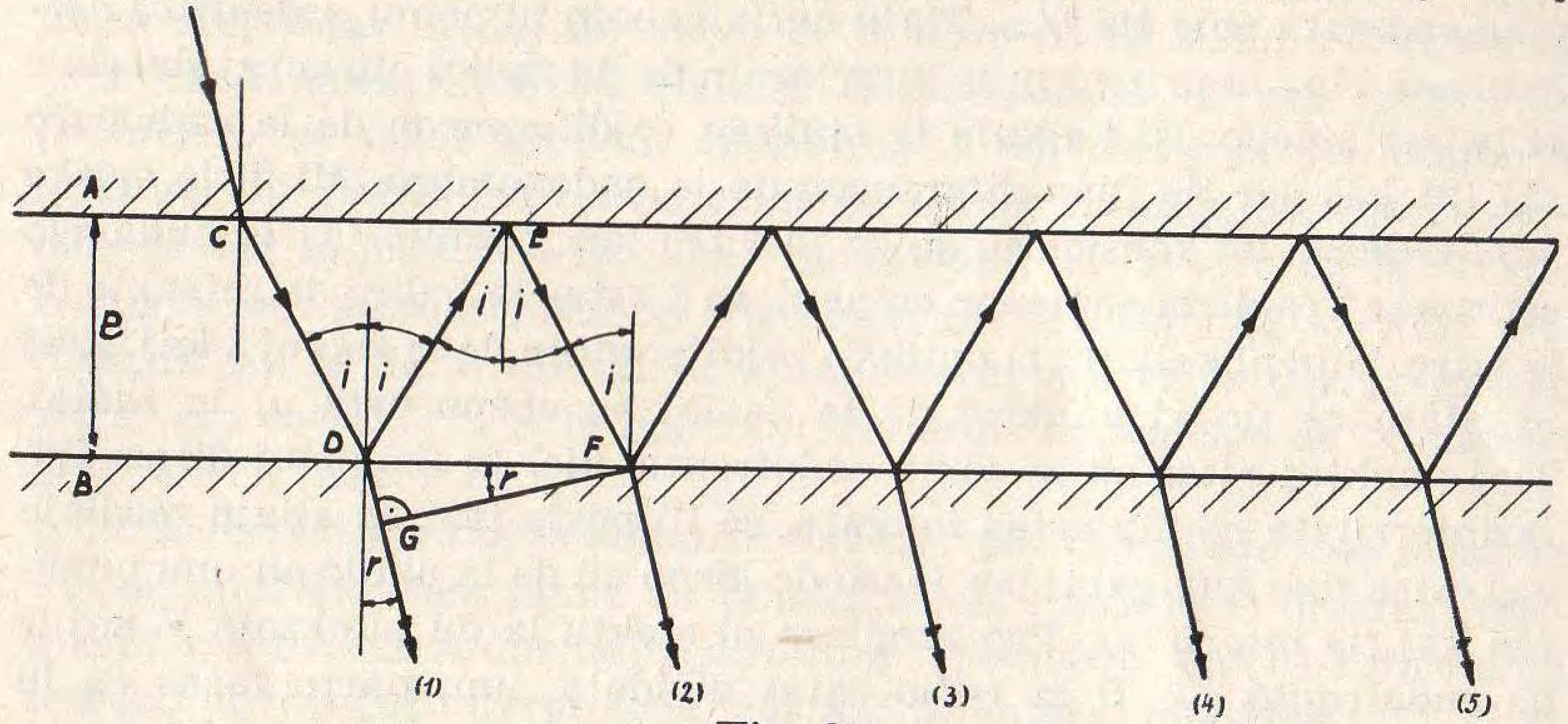


Fig. 6.

platoj (Fig. 6) A, B. La vitro estas haĉita en la figuro. La ekstera parto de la du platoj, ne interesa por nia problemo, mankas en la figuro. Ni supozu unufrekvencan lumon. Se radio pasas tra la supra plato ĉe C en la aerlamenon, ĝi estas parte ellasata ĉe D en la suban platon, parte reflektata. Tiu reflektata radio estas denove parte reflektata ĉe E de la supra plato kaj eliras poste ĉe F en la suban platon. Tiel eliras el la aerlamenoj ĉe D kaj F du radioj, (1) kaj (2), kiuj havas optikan vojdiferencon. Ĉe F ripetiĝas la sama ludo per reflekto en la aerlamenon kaj estiĝas tria radio (3), kiu havas je la dua la saman vojdiferencon, kie la dua je la unua, ĉar pro geometriaj kaŭzoj la dua triangulo estas kongrua kun la triangulo DEF. La post la dua triangulo en la lamenon reflektata radio estigas la kvaran (4) el la aerlameno elirantan radion k.t.p. La ludo daŭras ĝis la fino de la lameno kun la sama vojdiferenco inter sinsekve elirantaj radioj. La kunagado de la tuta garbo da paralelaj radioj ĉe ĝia posta kunigo per optika instrumento en unu punkton plifortigas la efikon, kiu estus nur malforta ĉe

[1]) *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* t. XI (1894).

[2]) Samloke t. XV (1913).

unu radioparo. Sed la sekvantaj radioj iĝas ĉiam pli malfortaj, ĉar nur parto de la lumo falanta sur vitran platon estas reflektata, ĉe vitra surfaco eble nur $^1/_{20}$. Do eĉ radio post la dua reflekto malfortigita ĝis $^1/_{400}$ ne plu estus konsiderinda. Por la sekvantaj eksperimentoj gravas, ke kiel eble plej granda parto de la radiaĵo alfalanta sur la vitrajn limojn de la aerlameno estu reflektata, por ke la radioj elirantaj sinsekve el la aerlameno ne fariĝu tro malfortaj. Tial oni kovras la facojn de la vitraj platoj limantajn la aerlamenon per tre maldika tavolo el arĝento, tiel maldika, ke ĝi estas ankoraŭ travidebla. Per tia arĝenta tavolo la trapasantaj radioj estas ja malfortigataj, sed la partumo de radioj reflektata de la arĝentitaj vitraj facoj estas pligrandigata eble ĝis $^8/_{10}$. Tiajn aerlamenojn ni nomu *arĝentitaj aerlamenoj*. Nun ni pritraktu la interferojn de du radioj elirantaj sinsekve el la aerlameno. Ni kalkulu la optikan vojdiferencon de la radioparo (1) (2) kaj per tio ilian diferencon de la ondonombro. Mi diris *optika vojdiferenco*. Ni konsideru, ke en la vitro laŭ formulo (1) la ondlongo estas nur λ/n de la ondlongo en aero, se n estas la indico de refrakto de la vitro. Nun ni kalkulu la optikan vojdiferencon de la radioj 1 kaj 2 kaj ni rilatu ĉe tio al punktoj de la radioj en ebeno orta al la radioj. Tiaj punktoj estas en la sama ondofronto, kiel la fizikistoj diras. Ilia fazinterrilato ne plu estas ŝanĝata, se ili poste trairas aliajn mediojn kaj estas fine kunigataj per lenso de lorno aŭ de la okulo en unu punkton kaj tie interferas. Pro simpleco ni elektu la du punktojn F kaj G de ondofronto. Ĉe D la radio estas dividata, unu parto faras en la aero la vojon $\overline{DEF}$, la alia en la vitro kun la refrakta indicon la vojon $\overline{DG}$. Ĉar la punktoj F kaj G estas en la sama ondofronto ilia fazdiferenco Δ determinas la postajn interferojn.

Oni ekkonas el fig. 6 per la donitaj klarigoj, ke

$$\Delta = \overline{DEF} - n\overline{DG}$$

(ĉar la rapideco de la radio en la aero egalas $n \times$ tiun en la vitro).

Enkondukante i, la angulon de alfalo de la radio en la aerlameno sur la suban vitran platon, kaj r, ĝian angulon de refrakto en la vitro, kaj e, la dikon de la aerlameno, oni ricevas per facila kalkulo [3]) komprenebla el la fig. 6.

$$\Delta = 2e \cos i \tag{2}$$

---

[3]) $\overline{DEF} = 2e / \cos i$;
$n = \sin i / \sin r$, do $n \sin r = \sin i$;
$\overline{DF} = 2e \operatorname{tg} i = 2e \sin i / \cos i$;
$n\,\overline{DG} = n\,\overline{DF} \sin r = \overline{DF} \sin i = 2e \sin^2 i / \cos i$;
Do $\Delta = \overline{DEF} - n.\overline{DG} = 2e\,(1 - \sin^2 i) / \cos i =$
$= 2e. \cos^2 i / \cos i = 2e. \cos i$.

Ni supozu nun, ke en tiun aerlamenon enfalas lumo el ĉiuj direktoj kaj ni observu ĉe la alia flanko la elirantan lumon per lorno ĝustigita por la senfino, kies akso estu orta al la ebeno de la lameno. Per tiu lorno paralelaj radioj estas kunigataj en unu punkto de la fokusa ebeno. Al ĉiu direkto de paralela garbo respondas do unu tia punkto. Kie i havas valoron tian ke $\Delta = m\lambda$, ni vidas helon; m ĉie en ĉi tiu traktaĵo signifas entjeron. Pro geometriaj kaŭzoj la radio, kiu faras en la aerlameno kun ĝia orto [4]) la angulon i, faras ankaŭ tiun angulon kun la akso de la lorno, ĉar la vitraj platoj limantaj la aerlamenon estas ebenaj kaj paralelaj. Ĉar e ne varias, dependas nur de i, ĉu la punkto en la bildo estas hela. Al egalaj anguloj kun la akso de la lorno respondas egalaj distancoj el la akso de la lorno. Ni vidos do aron da samcentraj helaj cirkloj. Ĉiu respondas al unu valoro de la entjero m. Ĝian angulan diametron δ oni mezuras per okularia mikrometro. Sekve ĝia duono estas la angulo inter la orto je la aerlameno kaj la paralelgarbo kiu, transpasonte el la aero en la vitron, trafas la supran platon sub la angulo de alfalo i. Do $\delta/2 = i$ (Ĉio pritraktita laŭ la fig. 6 valoras kompreneble ne nur en la desegnoebeno, sed en ĉiu ebeno orta je la lameno). Tio estas la principo de la metodo de Fabry kaj Pérot.

Ĉio pritraktita valoras kompreneble nur por la radiaĵo kun la sama λ, por unufrekvenca lumo. Ĉe blanka lumo, miksaĵo el diversaj ondlongoj, oni tute ne vidus la priparolitan fenomenon. Ĉar ĉe sufiĉe dika lameno la franĝoj interproksimiĝas kaj la koloroj miksiĝas.

Fabry, Pérot kaj Benoît uzis nun la cirklajn franĝojn esti-gitajn per la lumo de la ruĝa kadmilinio por mezuri, kiom da ondlongoj aerlameno estas dika, alivorte, kiom da ondlongoj enhavas ĝia orto inter la arĝentspeguloj. Ni volas nun adapti la formulon (2) al praktikaj celoj per proksimumigo.

Konsiderante, ke i estas eta, kaj uzante la proksimumigajn formulojn

$$\cos x = 1 - x^2/2 \quad \text{kaj} \quad 1/(1 \mp x) = 1 \pm x \tag{3}$$

ni ricevas, enkondukante fine δ, la angulan diametron de la ringoj,

$$m\,\lambda = 2e \cos i = 2e\,(1 - i^2/2) = 2e - ei^2 = 2e - e\,\delta^2/4.$$

Laŭ tiu formulo do ĉe grandaj ringoj la ordo de la interfero estas malpli granda. Parenteze dirate: Tio estas kontraŭa al tio, kion oni observas ĉe la jam pli frue ekkonitaj ringoj de Newton.

Ni rigardu, kion oni observas en la akso de la lorno, do ĉe $\delta = 0$. Laŭ la lasta formulo

$$2e = m\,\lambda \qquad e = m\,\lambda/2$$

Se e egalas precize entjeran nombron da duonondoj, ni vidas helan punkton en la centro kaj la unua ringo respondas al interferordo

---

[4]) orto = ortanto = perpendiklo.

(m — 1). Sed tio estus nur hazardo, ke la diko de la aerlameno estas entjera multoblo de $\lambda/2$. Ĝenerale ne estas en la centro, ĉe $\delta = 0$, hela punkto, kaj oni devos mezuri δ, la diametron de la unua ringo. Ĝi donas la frakcion de ondlongo, je kiu la en λ mezurita duobla diko P superas N, la entjeran nombron da ondoj respondantan al tiu ringo. Jen la esenco de la interferometria metodo de F a b r y kaj P é r o t.

Ni nun kalkulu P, la ordon de la interferoj en direkto orta al la aerlameno, se ĝi ne estas entjero. Memkompreneble $P\lambda = 2e$ kaj tial $P = 2e/\lambda$. Se ni konas N, la ordon de interfero de la unua ringo, ni scias, ke $\lambda N = 2e \cos i$ kaj tial per enkonduko de la kalkulenda P sekvas $N = (2e/\lambda) \cos i = P \cos i$ kaj el tio $P = N/\cos i$. Uzante la formulojn (3) kaj enkondukante $i = \delta/2$, ni ricevas fine $P = N + N\delta^2/8$. La dua termo estas la frakcio de la ondlongo, se δ rilatas al la unua ringo.

Por koni P necesas koni la entjeran nombron N, la ordon de la unua ringo. Al ĝi oni aldonas la frakcion, per kiu diferenciĝas la en λ mezurita diko de la aerlameno je N, la ordo de la unua ringo. Se temas pri dikoj de kelkaj centimetroj, tiu nombro sumiĝas je kelkaj centmiloj. La tri fizikistoj ne nombris ĝin pligrandigante la dikon de la lameno de nul ĝis ĝia definitiva valoro, sed ili uzis metodon ion similan al la verniero [5]). Ili uzis samtempe krom la ruĝa kadmilinio ankaŭ aliajn liniojn kun konata ondlongo, kiuj donas ankaŭ ringojn konforme al sia ondlongo. Ili estas distingeblaj per sia koloro de la ruĝaj ringoj kaj koincidas kelkfoje en la bildo prezentita en la lorno kun tiuj. Post difinita nombro da ringoj, post periodo kalkulebla el la konataj ondlongoj, tiu koincido ripetiĝas. Tiu periodo estas multe pli longa ol unu ondlongo de ruĝa kadmilinio kaj respondas jam al longo konstatebla per la ordinaraj mezurmetodoj.

Oni do determinas P, se oni jam scias la entjeran parton de la nombro de la ondoj kaj poste aldonas la duan termon de la formulo, la frakcion de ondolongo de la ruĝa kadmilinio.

Tiel la aŭtoroj povis mezuri la dikon de aerlameno kun precizo de ĉ. $1/10$ de ondlongo de la ruĝa kadmilinio, do kun precizo de 0,06 η. Se oni povus apliki tiun metodon al aerlameno dika unu metron, ni povus difini la metron kun precizo pli granda ol 10^{-7}! Tion ili ankaŭ volonte estus farintaj, sed bedaŭrinde tio ne eblas. Ĉar radioj kun tiom granda vojdiferenco (2 m) ne plu interferas, parte ĉar eĉ la ruĝa kadmilinio ne estas sufiĉe unufrekvenca — ĝi ankaŭ havas sian larĝon —, parte ĉar

5) *Verniero* estas mallonga egalintervala skalo movebla laŭ longa ankaŭ egalintervala skalo por ebligi ekzaktan legadon de n-onoj de elementa intervalo de ĉi tiu skalo. La longo de la helpskala intervalo egalas al (n — 1) n-onoj de la ĉefskala intervalo. (A, F; *Vernier;* G. *Nonius*).

unu unuopa lumelsenda „vibrado" havas nur treege etan daŭron, al kiu respondas unuopa ondaro laŭradie malpli longa ol du metrojn.

La aŭtoroj povis mezuri per la priskribita interfermetodo, la ringoj de F a b r y kaj P é r o t, aerlamenon dikan nur ĉirkaŭ $1/16$ de metro $\approx$ 6,25 cm kaj uzis poste alian interfermetodon, la metodon de la *supermetitaj franĝoj,* kiujn observis unuafoje B r e w s t e r en 1826. Ĝi ebligas ekzakte mezuri la dikon de duoble pli dika aerlameno, ⅛ m, kaj poste denove la duoblon de tiu, ¼ m, k.t.p. ĝis unu metro. Necesas do kvar tiaj mezuroj.

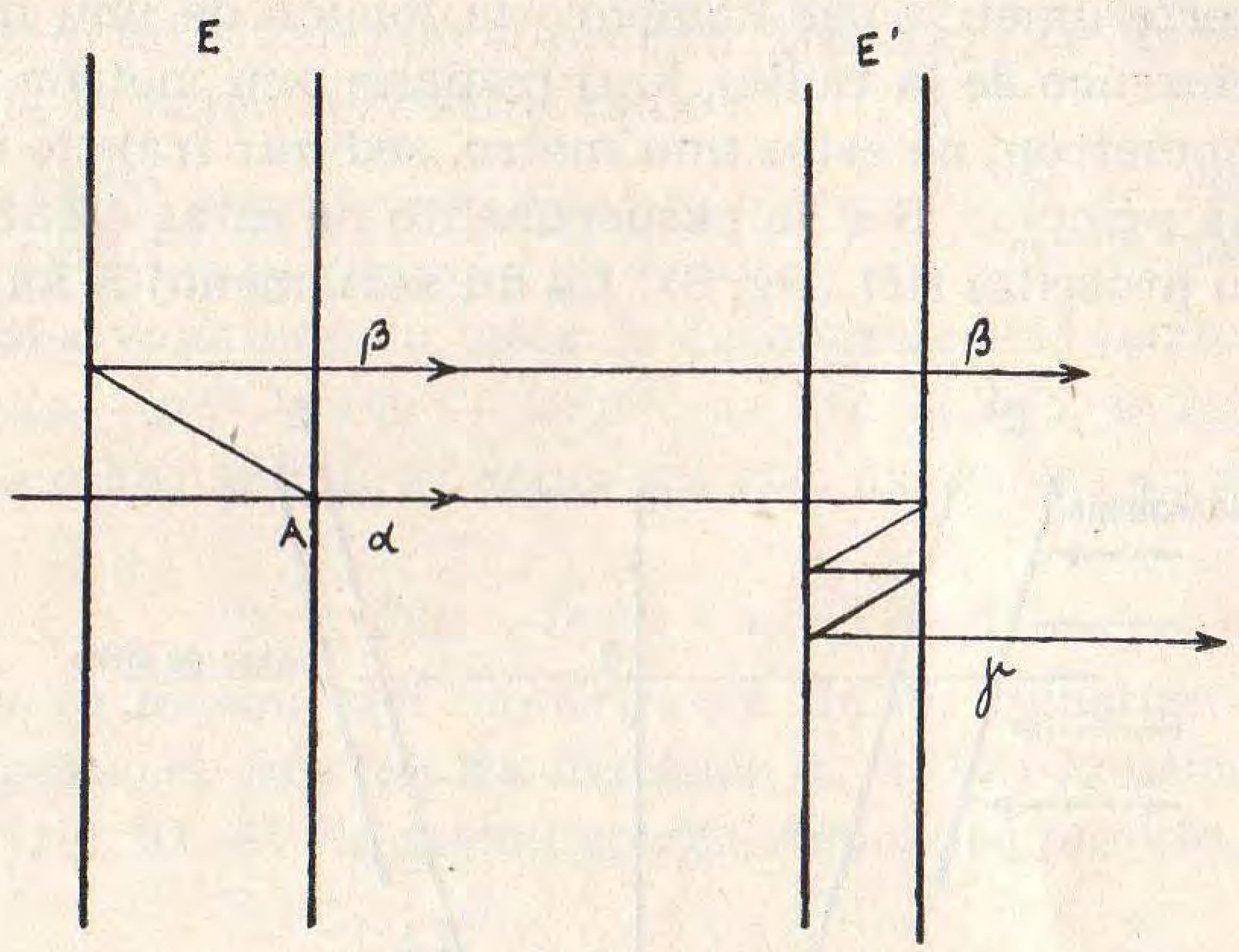


Fig. 7.

La principo de tiu mirinda metodo de la supermetitaj franĝoj estas jena: Garbo da paralela lumo (fig. 7) falas orte sur arĝentitan aerlamenon E. La vitro de la aerlamenoj en tiu kaj la sekvantaj figuroj ne estas desegnita, ĉar ĝi ne estas esenca. Nur unu radio de la garbo estas desegnita. Ĉe A la radio disduiĝas, la parto α eliras el E, alia parto estas dufoje reflektata kaj eniras poste kiel β en alian paralelan arĝentitan aerlamenon E', kiun ĝi parte trapasas. La en E ne reflektita radio ankaŭ eniras E' kaj estas en ĝi parte kvarfoje reflektata kaj eliras poste (γ) en sia unua direkto. Por antaŭokuligi tion mi devis falsigi la reflektan leĝon. Kompreneble β kaj γ koincidas kaj interferas.

Ni supozu ke e', la diko de E', estas ekzakte la duono de e, la diko de E. Plue ni supozu, ke la alfalanta lumo estas unufrekvenca. Kiom estas la optika vojdiferenco inter la radioj β kaj γ? β dufoje trapasas la dikon de E kaj γ kvarfoje la dikon de $E/2$; la vojdiferenco estas do nul, eĉ se la diko de tiu aerlameno estas unu metro! β kaj γ estas en la sama fazo kaj plifortigas sin. Nun ni imagu, ke enfalas (fig. 7) alia unufrekvenca radio de alia ondlongo (koloro)! Validas la samo: plifortigo de la tralasata lumo. Do ankaŭ la samo validas, se enfalas miksaĵo de ĉiuj koloroj, blanka lumo. Ni ricevas plifortigon!

Se kontraŭe enfalas en E unufrekvenca lumo de ondlongo λ kaj E' estas pli dika aŭ pli maldika je nur $\lambda/8$ ol la ekzakta valoro $e/2$, β kaj γ ricevas fazdiferencon da $\lambda/2$ kaj neniigas sin. Se alfalas nun sur E blanka lumo, ĝi koloriĝas, ĉar mankas en la eliranta garbo la koloro de λ kaj la resto aperas en komplementa koloro. Vi ekkonas, kiel solviĝas nun la paradokso, kiun eble kelkaj el vi rimarkis: La lumradioj kun vojdiferenco de du metroj ja ne plu interferas, sed tamen oni mezuras interferometrie per komparo la longon de unu metro, ĉar la optika vojdiferenco de la radioj, kiuj trapasis unu metron, je tiuj, kiuj trapasis duonmetron, ne estas unu metro, sed nur frakcio de ondlongo.

Tio estis la principo. Sed la eksperimento ne estas efektivigebla tiamaniere. Oni procedas tiel (fig. 8): La du aerlamenoj E kaj E' ne estas

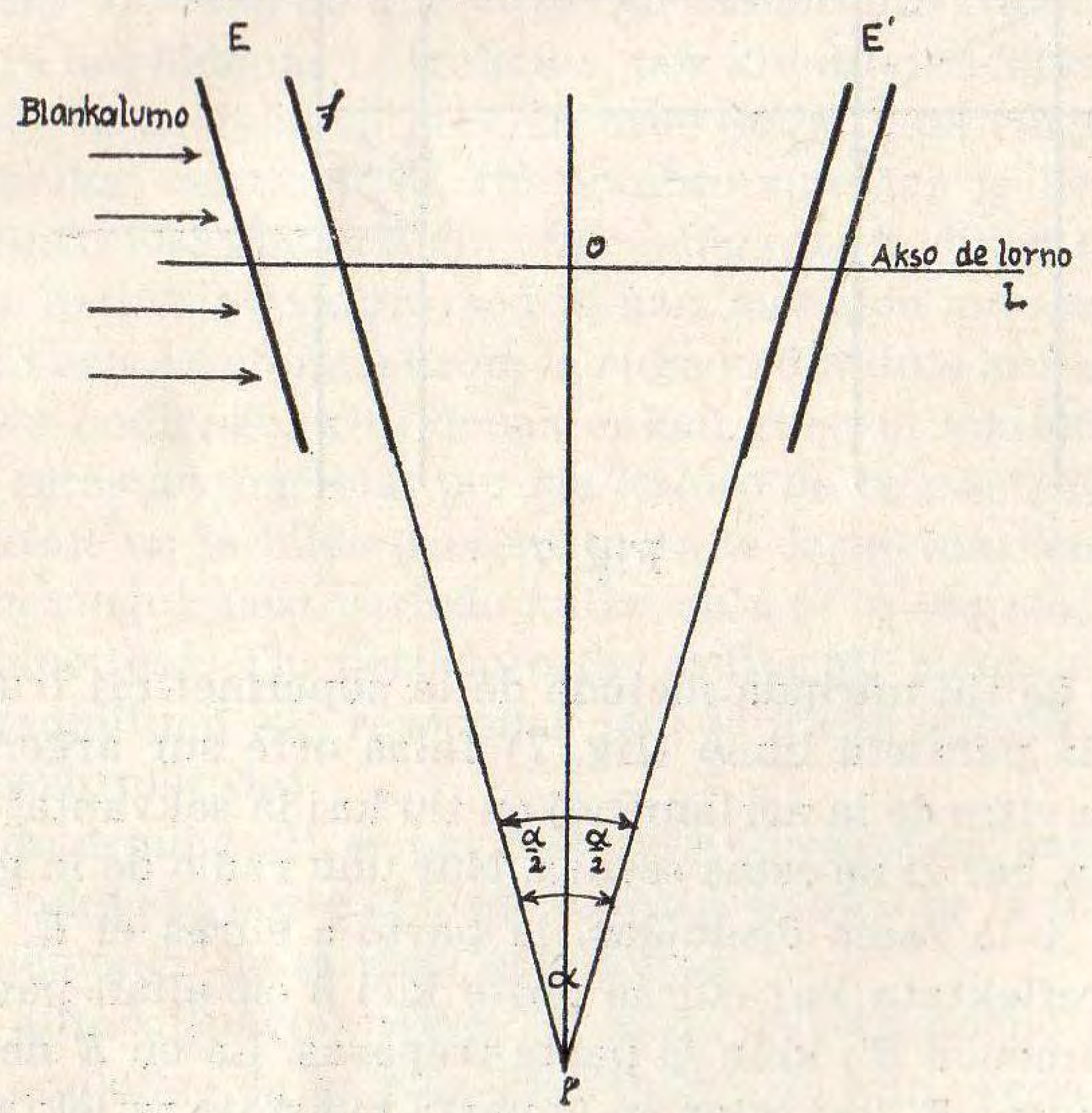


Fig. 8.

ekzakte paralelaj, sed faras inter si tre etan angulon, eble 2″, (en la desegno trograndigita), kiun ni nomu α. La desegnebeno estas orta al la aerlamenoj. Ilia simetriebeno tranĉas la desegnon en OP. Ĝia orto estas la akso de lorno. La rilatumo de la dikoj de la du lamenoj ne estu ekzakte unu je du, sed nur proksimume: $e' \approx e/2$. Ni konsideru paralelgarbon, kiu faras kun la orto de E angulon β kaj kun la orto de E' angulon β'. Ni konsideru paralelgarbon, kiu alfalas sur E kaj dis-

duiĝas ĉe ĝia flanko f. Unu parto estu dufoje reflektata en E kaj transpasas E' senreflekte, alia transpasas E senreflekte kaj estas kvarfoje reflektata en E'. Ni rezonu pri tiuj du partoj kiel pri du radioj kaj kalkulu la optikan vojdiferencon inter ili jene: Ni kalkulu unue la vojdiferencon inter la unua radio kaj radio kiu senreflekte transpasis ambaŭ lamenojn, poste la vojdiferencon inter la dua radio kaj la en ambaŭ ne reflektita. La diferenco inter tiuj ambaŭ vojdiferencoj estas la vojdiferenco inter la du konsiderataj radioj.

Ni uzas formulon (2) kaj aplikas en ĝi por la kosinusoj de la anguloj de alfalo β kaj β', ĉar ili estas etaj, la proksimumigajn formulojn (3) analoge, kiel ni faris tion jam antaŭe (p. 129) kaj ricevas la optikan vojdiferencon je la nenie reflektita radio

por la unua radio .... $2e \; - e\beta^2$,
por la dua radio .... $4e' \; - 2e'\beta'^2$.

Do la optika vojdiferenco inter la du konsideritaj partoj de la radio estas $\Delta = 2e - e\beta^2 - (4e' - 2e'\beta'^2) = 2(e - 2e') + 2e'\beta'^2 - e\beta^2$.

Ĉar $2e' \approx e$ kaj ankaŭ β' estas tre eta, ni ricevas en sufiĉa proksimumigo

$$\Delta = 2(e - 2e') + e(\beta'^2 - \beta^2) \tag{4}$$

Ni nun metu lornon kiel montrite en fig. 8, alĝustigu ĝin por senfino kaj supozu, ke ĝia fokusa distanco = 1, kaj konsideru, kion oni vidas en ĝi (fig. 9). Al ĉiu paralelgarbo respondas punkto en la fokusa

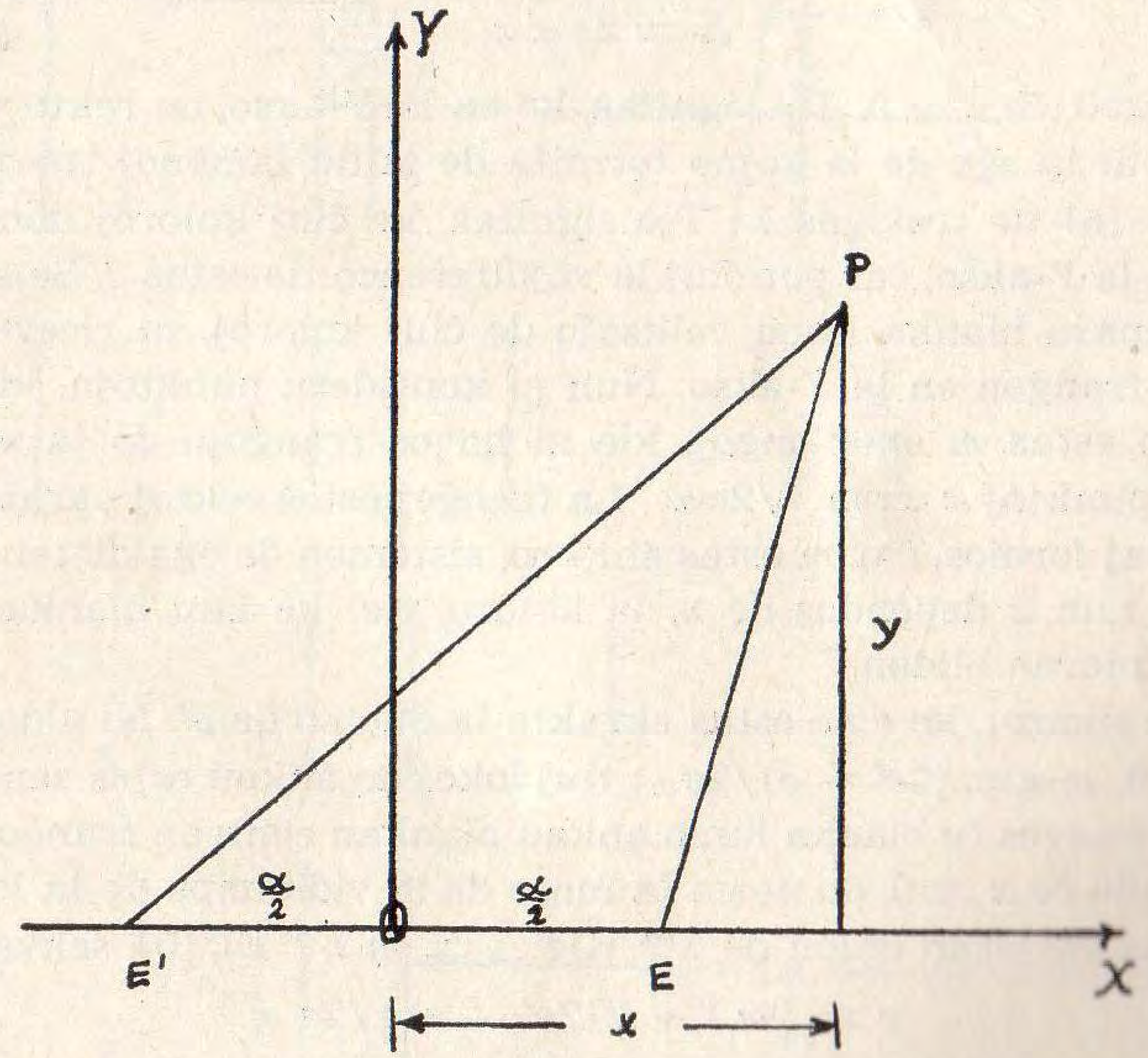


Fig. 9.

ebeno. La distanco inter du punktoj en la desegno respondas al la angulo inter la koncernaj direktoj, mezurita en radianoj. Al la studita paralelgarbo respondu la punkto P. Al la akso de la lorno respondas la punkto O, al la ortoj je E resp. E' respondas la punktoj E resp. E'. Ni enmetu karteziajn koordinatojn kun origino en O kaj la X-akso tra EE'. Ni nun kalkulu $(\beta'^2 - \beta^2)$ de la formulo (4). Ĉar $\overline{EE'}$ estas la angulo α en fig. 8 kaj O duonigas tiun angulon kaj $\overline{PE} = \beta$, $\overline{PE'} = \beta'$ ni ekkonas el fig. 9, ke

$$\beta'^2 = y^2 + (x + \alpha/2)^2$$
$$\beta^2 = y^2 + (x - \alpha/2)^2$$

El tio sekvas

$$\beta'^2 - \beta^2 = 2\alpha x$$

Enmetante tion en (4) ni ricevas por la optika vojdiferenco

$$\Delta = 2(e - 2e') + 2e\alpha x \tag{5}$$

kie e kaj e' estas la dikoj de la lamenoj kaj x la absciso de la koncerna punkto P, determinita per la direkto de la paralelgarbo.

Ni vidas el (5), ke Δ estas sendependa de y. Al egala x respondas egala vojdiferenco. Radioj kun egala vojdiferenco faras bildon en paralelo al y.

Unue ni supozu, ke la rilatumo de la dikoj de la lamenoj estas ekzakte unu je du, ke do $e = 2e'$. Tiam laŭ (5) fariĝas

$$\Delta = 2e\alpha x \tag{6}$$

Do $\Delta = 0$, ĉe $x = 0$. Tio signifas, ke en la Y-akso, en rekto vertikala paralela al la eĝo de la kojno formita de la du lamenoj troviĝas hela strio. En (6) ne troviĝas λ. Tio signifas, ke ĉiuj koloroj donas helan strion en la Y-akso, ĉar por ĉiuj la vojdiferenco tie estas 0. Se alfalas al la lamenparo blanka lumo, miksaĵo de ĉiuj koloroj, ni ricevos ankaŭ blankan franĝon en la Y-akso. Nun ni konsideru punktojn, kie la vojdiferenco estas m ondolongoj, kie ni havos franĝojn de la m-a ordo. Por tiaj punktoj $x = m\,\lambda/2e\alpha$. La franĝoj estos rektoj paralelaj al la Y-akso kaj formos, ĉar m estas entjero, sistemon de egaldistancaj franĝoj. Sed nun x dependas de λ, la koloro, tiel ke kun blanka lumo ni ricevos koloran bildon.

Due ni supozu, ke e ne estas ekzakte la duoblo de e'. Ni vidas, ke laŭ (5) $\Delta = 0$, se $x = (2e' - e)/2e\alpha$; tiuj lokoj do ankaŭ estas sendependaj de λ. Ni ricevos ĉe blanka lumo ankaŭ blankan centran franĝon, sed ne kiel antaŭe ĉe $x = 0$, do ne en la mezo de la vidkampo de la lorno. Kie ni ricevas entjeran oblon de λ? Kie $\Delta = m\lambda$? El (5) sekvas

$$x = \{m\lambda + 2(2e' - e)\}/2e\alpha.$$

Do la distanco inter la franĝoj estas kiel antaŭe $\lambda/2e\alpha$ kaj ni same

ricevas ĉe la flankaj franĝoj koloran bildon. La tuta bildo en la lorno estas forŝovita laŭ la grando de la diferenco $2e' - e$.

Sed por praktike uzi tiun metodon la dikecoj de la komparendaj aerlamenoj devus esti tre precize ĝustigataj, por ke estu la diferenco $(2e' - e)$ tre eta, tiel ke ĉe $m = 0$, do ĉe la centra franĝo, x estu tiel eta, ke ĝi restu ankoraŭ en la tre limigita vidkampo de la lorno. Ĉar tia ekzakteco de la ĝustigado maleblas, la aŭtoroj uzis jenan artifikon. Ili faris unu lamenon intence pli maldika, tiel ke ili devis ankoraŭ aldoni trian aerlamenon de variigebla diko por ricevi kompenson (fig. 10). Ili uzis kojnforman travideble arĝentitan aerlamenon — en la desegno la angulo de la kojno kaj ĝia diko estas trograndigitaj —, kiun oni povis ŝovi laŭ la ebeno de unu ĝia edro. Se venas la kompensanta diko en la lumfaskon, oni vidas la blankan franĝon. Tiu aerlameno havis skalon sur la arĝenta tavolo, tiel ke al ĉiu streko de la skalo respondis konata diko. Ĝi estis interferometrie etalonita en unufrekvenca orte alfalanta lumo. Ni supozu, ke en fig. 10 la ⅛-metra lameno estas iomete

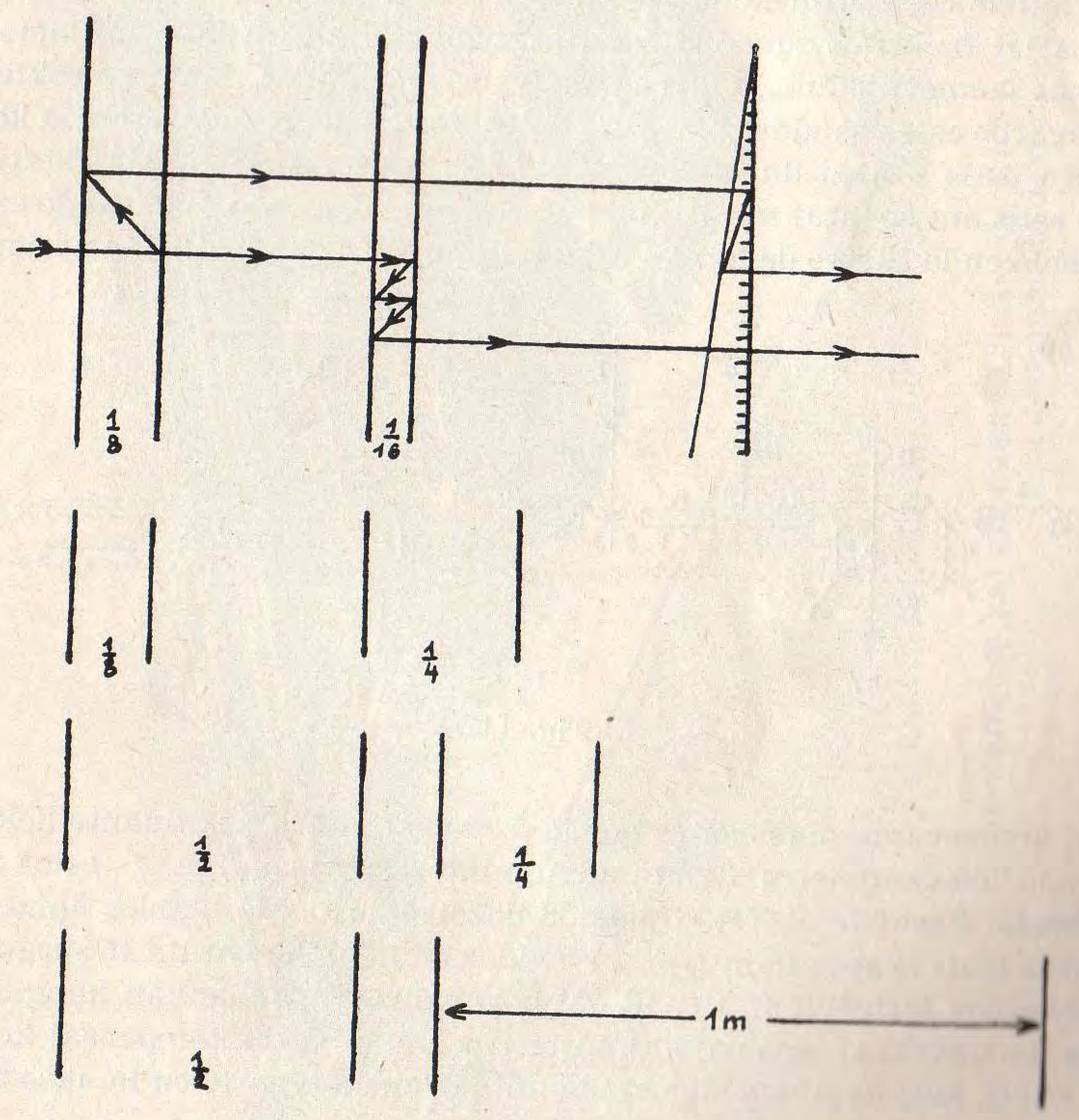


Fig. 10.

tro maldika. La radio, kiu post dufoja reflekto trapasas nereflektate la $^1/_{16}$-metran lamenon estas poste en la kojnforma lameno parte dufoje reflektata kaj la mankanta diko de la ⅛-metra lameno estas aldonata per la kompensa kojno. En fig. 10 la leĝoj de la reflekto denove devis esti neglektataj por antaŭokuligo. Tiel oni nun konas la dikon de la ⅛-metra aerlameno kun precizo de dekono de mikrono. Anstataŭigante poste la $^1/_{16}$-metran lamenon per ¼-metra oni ricevas ties dikon per analoga mezurado per la kompensa kojno. Poste oni anstataŭigas la ⅛-metran lamenon per ½-metra, kiun fine oni komparas kun la 1-metra lameno, uzante, kiel antaŭe, la kompensan kojnon. Oni ricevas do la longon de la 1-metra aerlameno en ondlongoj de la ruĝa kadmilinio, ĉar tiun oni uzis por mezuri la lamenon $^1/_{16}$-metran.

Tamen oni ne povas fari en la praktiko tiajn mezurojn en maniero kiel la fig. 10 sugestas, nome forigante kaj enigante aerlamenojn en senmovan lumgarbon. Ĉar pro la grandega precizo de la mezurmetodoj ĉia translokado de la aerlamenoj jam rimarkeble ŝanĝus ilian longon. Ĉi tie temas ja pri dekonoj de mikrono!

La tri fizikistoj sukcesis trovi aranĝon, ĉe kiu la kvin aerlamenoj restas senmovaj, dum la interferometriaj mezuradoj, dum la direkto de lumgarbo estas ŝanĝata per enmeto kaj forigo de speguloj. Por la kompenso estis uzataj du etalonitaj kojnoj, kiuj restis sur siaj stativoj kaj estis nur ŝovataj sur ĝi, kiom postulis la kompenso. La aranĝo estas videbla en la skemo de fig. 11. En unu linio XY estas lokitaj la aerlame-

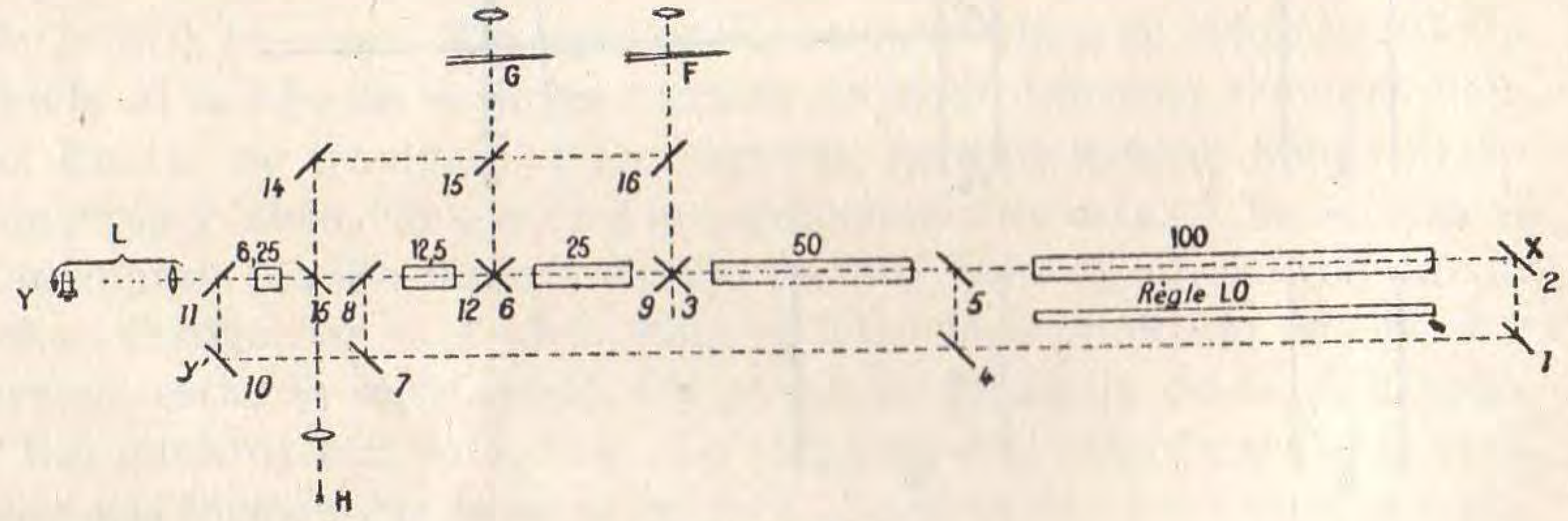
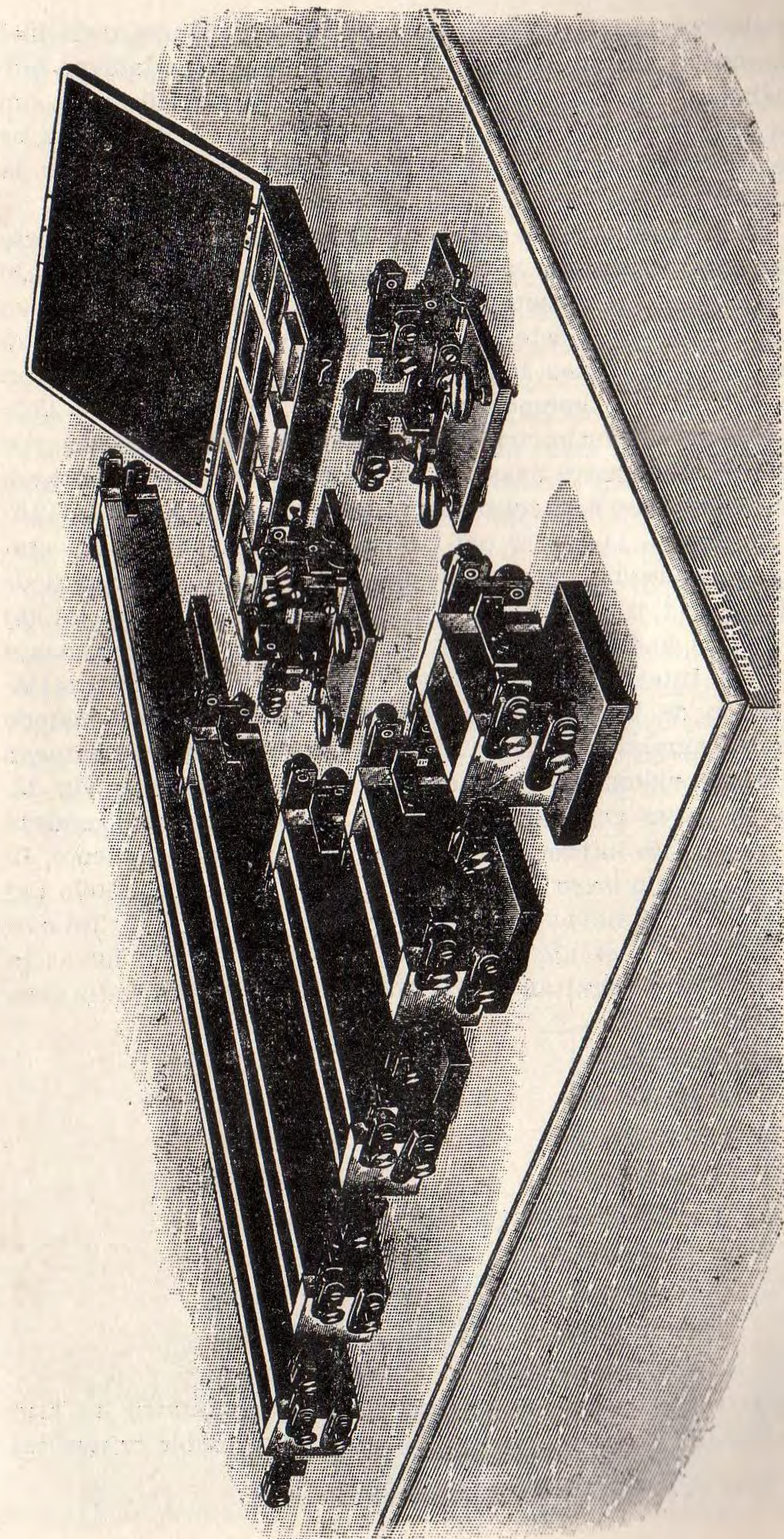


Fig. 11.

noj komencante maldekstre per la 6,25-centimetra kaj finante dekstre per la 100-centimetra. La eta angulo inter la lamenoj, ĉ. 2″, estas neglektata. Paralele al XY alfalas de dekstre garbo da blanka lumo, kiu povas trafi la spegulojn *1, 4, 7*. Ni vidas en la plano entute 16 spegulojn laŭbezone forigeblajn. Per ili oni povas direkti la blankan lumgarbon tra du sinsekvaj lamenoj kaj poste tra unu el la du kompensaj kojnoj F kaj G, kiuj ne situas kiel en nia antaŭa skemo fig. 10 en la akso de la lamenoj.



Aerlamenoj kaj akcesoraĵoj uzitaj de Benoit, Fabry kaj Pérot en la determinado de ondolongoj.

Fig. 12.

Mi nun priskribos la mezuradon, sed procedos en inversa ordo kiel antaŭe. Mi komencos per la komparo de la 100-centimetra lameno kun la 50-centimetra. En la praktiko oni tramezuris en ambaŭ ordoj, oni ripetis tuj la mezurojn en inversa ordo por tiel ankaŭ kontroli, ĉu ne pro iu influo kreskanta kun la tempo, ekzemple temperaturŝanĝiĝo, la rezultoj estis influataj.

La garbo de la blanka lumo falas sur spegulon *1* kaj estas poste reflektata per *2* laŭ la akso de la aerlamenoj. Ĝi trapasas la lamenojn 100-centimetran kaj 50-centimetran kaj estas poste reflektata per *3* en la kompensan lamenon *F*. Poste oni direktas la lumon per *4* kaj *5* laŭ la akso *XY* kaj igas ĝin trapasi la 50-centimetran kaj la 25-centimetran aerlamenojn kaj per *6* la kompensan kojnon *G*. Por kompari la 12,5-centimetran kun la 25-centimetra lameno oni uzas *7* kaj *8*. La garbo transpasas ilin de maldekstre dekstren kaj atingas per *9* la kompensan kojnon *F*. Fine la lameno 6,25-centimetra estas komparata kun la 12,5-centimetra. Uzante *10*, *11* kaj *12* oni kompensas per *G*. Poste oni etalonas la 6,25-centimetran aerlamenon per la metodo de la ringoj de Fabry kaj Pérot uzante la kadmian lampon *H*, la spegulon *13* kaj la lornon *L*. Per la kadmia lampo oni ankaŭ etalonas la kompensajn kojnojn *F* kaj *G*. Intertempe oni komparis la 100-centimetran aerlamenon kun kopio de la metra prototipo per komparilo laŭ metodo klarigita en mia Zagreba prelego [6]. Kiel oni faras tion ĉe la aerlameno 100-centimetra, oni ekkonas se oni rigardas la aerlamenojn en fig. 12. Oni vidas, ke ili havas grandan longon kaj relative tre malgrandajn transversajn dimensiojn kaj ne tute konvene estas nomataj lamenoj. Ili estas stangoj el la alojo *invar* (konsistanta el 100 partoj da nikelo kaj 36 partoj da ŝtalo), kiu havas tre etan koeficienton de dilato. Interne ili estas malplenaj por ebligi la trapason de la lumo, kaj havas la transversan profilon desegnitan en fig. 13, la tiel nomitan U-formon.

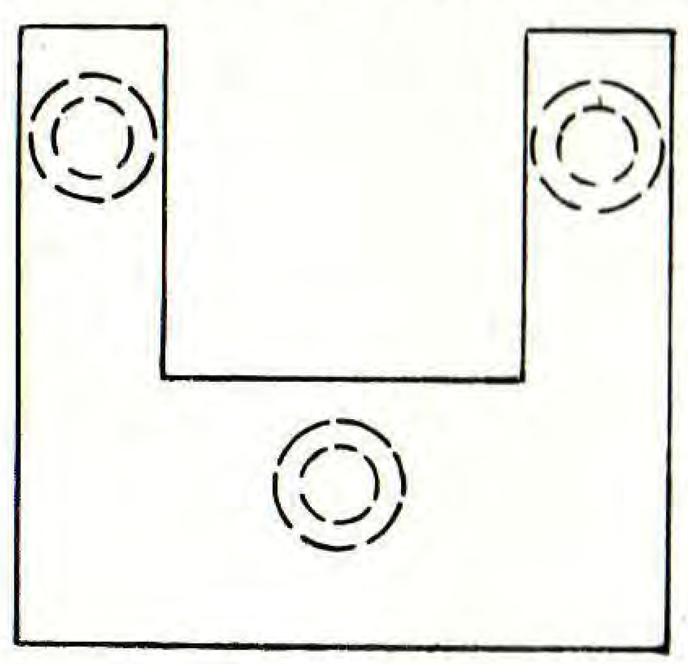


Fig. 13.

Je la finaĵoj elstaras tri butonoj, en la figuro strekumitaj, al kiuj estas alpremataj per risortoj dikaj vitraj platoj travideble arĝentitaj

[6] Sc. R. 7 134/135.

sur la faco, kiu estas en kontakto kun la butonoj. Per zorga fajlado de tiuj butonoj kaj streĉo de la risortoj oni povis reguligi la dikon kaj paralelecon de la aerlamenoj. La kvin lamenoj estas bilditaj en fig. 12. La plej dika, la 100-centimetra aerlameno devas, post sia mezurado per lumondoj, esti komparata kun kopio de la metra prototipo per la *komparilo* [6]. Notinde estas, ke oni mezuris interferometrie la distancon inter la arĝentitaj facoj de la vitraj platoj limantaj la lamenon. Oni ne povas mezuri la distancon inter la arĝentitaj facoj de la vitraj platoj per komparilo. Ni imagu, ke tiuj staras kun vertikalaj arĝentitaj facoj sub ĝiaj du mikroskopoj! Oni ankaŭ ne povas uzi por tiu celo la eĝojn, kiujn faras la arĝentitaj facoj kun la pli mallarĝaj horizontalaj facoj de la platoj, kvankam tiaj idealaj netaj eĝoj havus la distancon de la arĝentitaj facoj. Tial oni faras sur tiuj mallarĝaj horizontalaj facoj de la vitraj platoj mikroskope observeblajn strekojn paralelajn al tiuj eĝoj en distanco de ili kiel eble plej eta. Tiu distanco estas pr. 0,4 mm. La distanco inter tiuj du mikroskopaj strekoj estas sekve pr. 0,8 mm pli granda ol la distanco de la arĝentitaj facoj de la 100-centimetra aerlameno. Oni devis do korekti la per lumondoj mezuritan distancon de la arĝentitaj vitraj facoj per aldono de tiu longo de pr. 0,8 mm, kiu devis esti mezurata kun simila precizo kiel la diko de la 100-centimetra aerlameno. La priskribo de tiu detalo bezonas en la citita memuaro dek paĝojn. Malgraŭ ĉiaj antaŭzorgoj la relativa ekarto de tiu korekto estas pli ol la duoblo de la relativa ekarto en la interferometria mezurado de la tuta aerlameno.

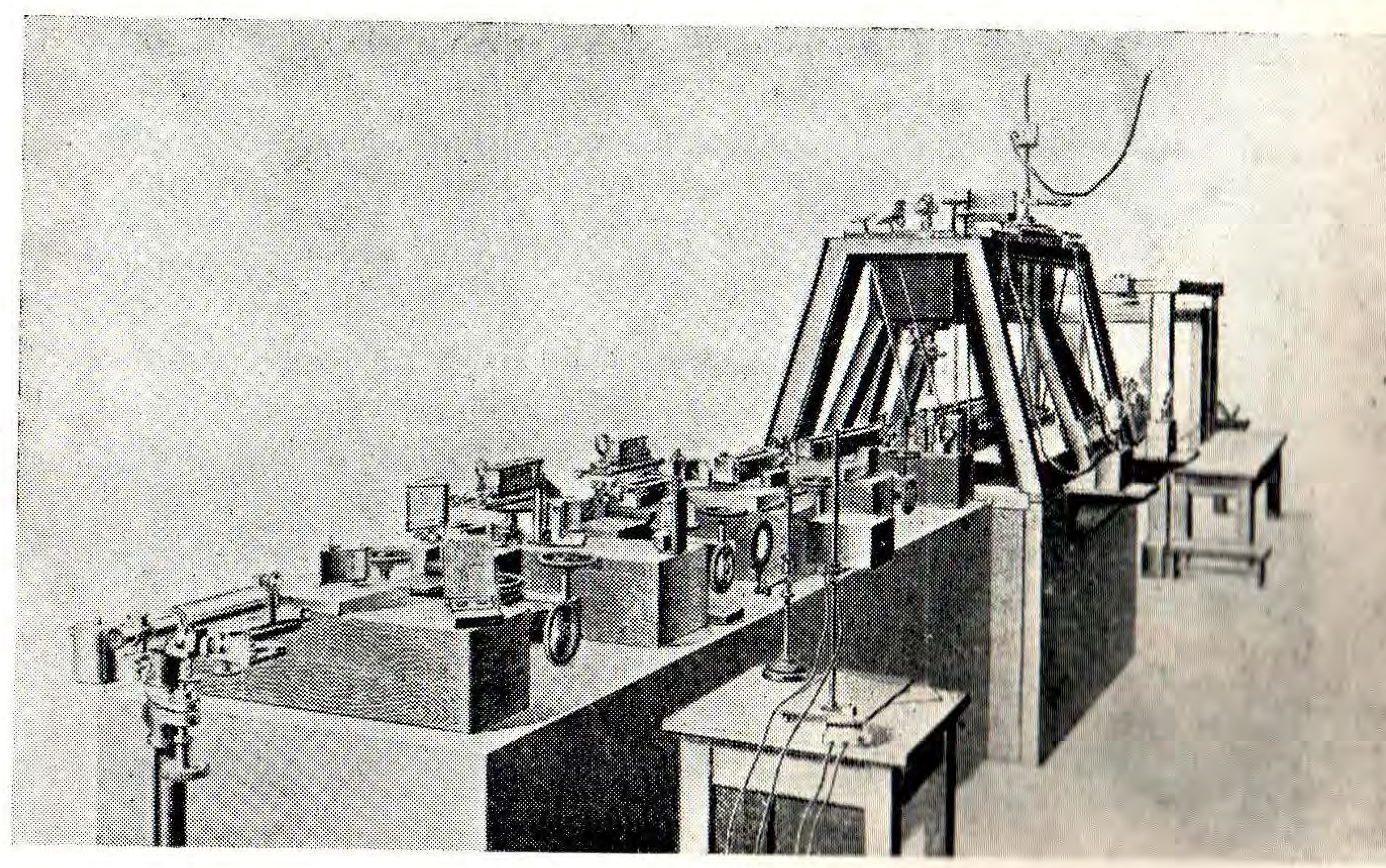


Fig. 14.

Fig. 14 montras perspektivan bildon de la aparato, kies skemon donas fig. 11. Ĉiuj aerlamenoj estas muntitaj. La 100-centimetra estas sub la komparilo. Je la fino de la akso oni vidas la lornon uzitan por etalonado de la 6,25-centimetra lameno per la kadmia lampo, kiu staras antaŭ la stablo sur aparta tableto.

La rezulto de la multjara laboro de la tri fizikistoj estas [7]) ke 1 m = 1 553 163, 95 ondolongoj de la ruĝa kadmilinio.

Tio rilatas al la lumondoj en tiel nomata normala aero, t.e. seka aero ĉe premo de 760 mm da hidrargo je la temperaturo de 15° C. Tiujn tri grandojn necesas aldoni, ĉar la indico de refrakto de la aero dependas de ili kaj la ondlongo dependas de la indico de refrakto laŭ formulo (1). Tial tiujn tri grandojn oni zorge kontrolis dum la mezuradoj, kaj la rezultojn reduktis al la normala valoro per konataj formuloj.

La antaŭa mezurado de Michelson kaj Benoît (p. 127) donis post redukto al normala aero

$$1 \text{ m} = 1\,553\,164{,}25\ \lambda_R.$$

Kun tiu nombro ĝi eniras la tabelon I pri la diversaj samcelaj esploroj [8]) eke de la jaro 1892 ĝis la plej novaj mezuradoj en 1940. Tiu periodo do ampleksas preskaŭ 50 jarojn. En la tria kolono estas ankaŭ donita la mezvaloro de ĉiuj 9 apartaj determinoj de tiu nombro. En la kvara kolono troviĝas la absoluta valoro de la ekartoj el la mezvaloro. La mezvaloro de tiuj ekartoj, 0,24 multobligita per la ondlongo de la kadmia linio, 0,644 μ, donas 0,155 μ, la necertecon de aparta observo. Ĝi estas inter la limoj de necerteco ĉe la komparo de la metroprototipoj kun strekoj.

Malgraŭ tiu granda precizo de la ĝisnunaj mezuroj la ondlongo de la ruĝa kadmilinio ne povas esti deklarata kiel estonta lumetalono, ĉar estas espero, ke oni faros estonte la spektroskopiajn mezurojn ankoraŭ pli precize. En tiu senco faris lastan aŭtunon internacia komisiono de plej kompetentaj fakuloj, la „*Commission Consultative pour la Définition du Mètre*" (La Konsilanta Komisiono por la Difino de la Metro) jenajn proponojn: Ĉar la baza longunuo en formo de etalono el plateno-iridio ne kontentigas modernajn postulojn, oni konsideru novan difinon de la metro bazendan sur la longon de lumondo, kiu restas senŝanĝa kaj estas nedetruebla. Estu uzata la ondlongo en la vakuo. Por konservi kontinuecon oni uzu kiel perilon la valoron de la ondlongo de la ruĝa kadmia linio kun la valoro fiksita de la Ĝenerala Konferenco de Pezoj kaj Mezuroj en sia sepa kunveno, sed oni poste akceptu va-

[7]) La nombro donita en la memuaro devis poste esti malpliigata per 0,18, ĉar oni konstatis post la publikigo ŝanĝon en la uzita kopio de la metro. Tiu ŝanĝita nombro estas uzata ĉi tie kaj en la sekvanta tabelo.

[8]) *Communications from the National Physical Laboratory* 1946, p. 168.

loron rilatantan al la vakuo. Tio estas grava por la spektroskopiistoj, ĉar ili rilatigas siajn valorojn de ondlongoj al tiu de la ruĝa kadmilinio kaj ne estos ĝenataj per la ŝanĝo de la difino de la metro.

Nun oni ekkonis, ke la ruĝa kadmilinio ne estas, kiel oni antaŭe pensis, la plej bona, alivorte ĝia unufrekvenceco, kvankam granda, tamen ne estas la plej granda. Laŭ la modernaj eltrovoj de la kemio la naturaj elementoj, la elsendantoj de la spektraj linioj, estas miksaĵoj el diversaj izotopoj. Oni uzos por spektroskopiaj celoj elementon konsistantan el nur unu izotopo, kiun ni nomu monobara, uzante neologismon enkondukitan de la eminenta fizikisto Pérard [9]) en la francan lingvon.

Amerikaj esploristoj preparis el oro izotopon de hidrargo ^{198}Hg kaj vi vidas en fig. 15, ke la cirklaj franĝoj de la ringoj de Fabry kaj Pérot por la verda linio de hidrargo estas ĉe la monobara hidrargo (dekstre) pli netaj ol ĉe la miksaĵo de izotopoj, la natura hidrargo (maldekstre). La amerikaj fizikistoj nun proponas tiun monobaran hidrargon por la difino de la metro.

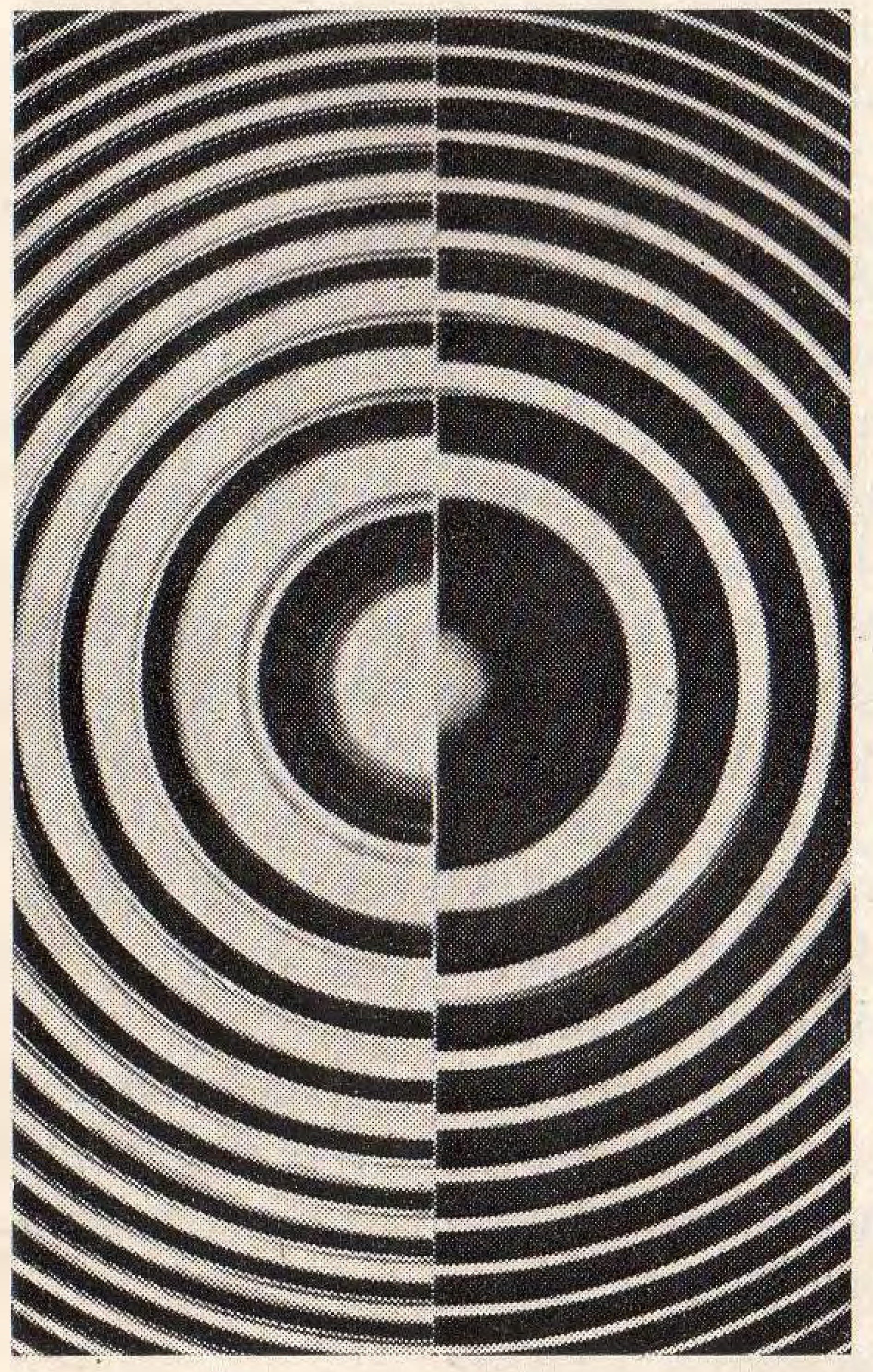


Fig. 15.

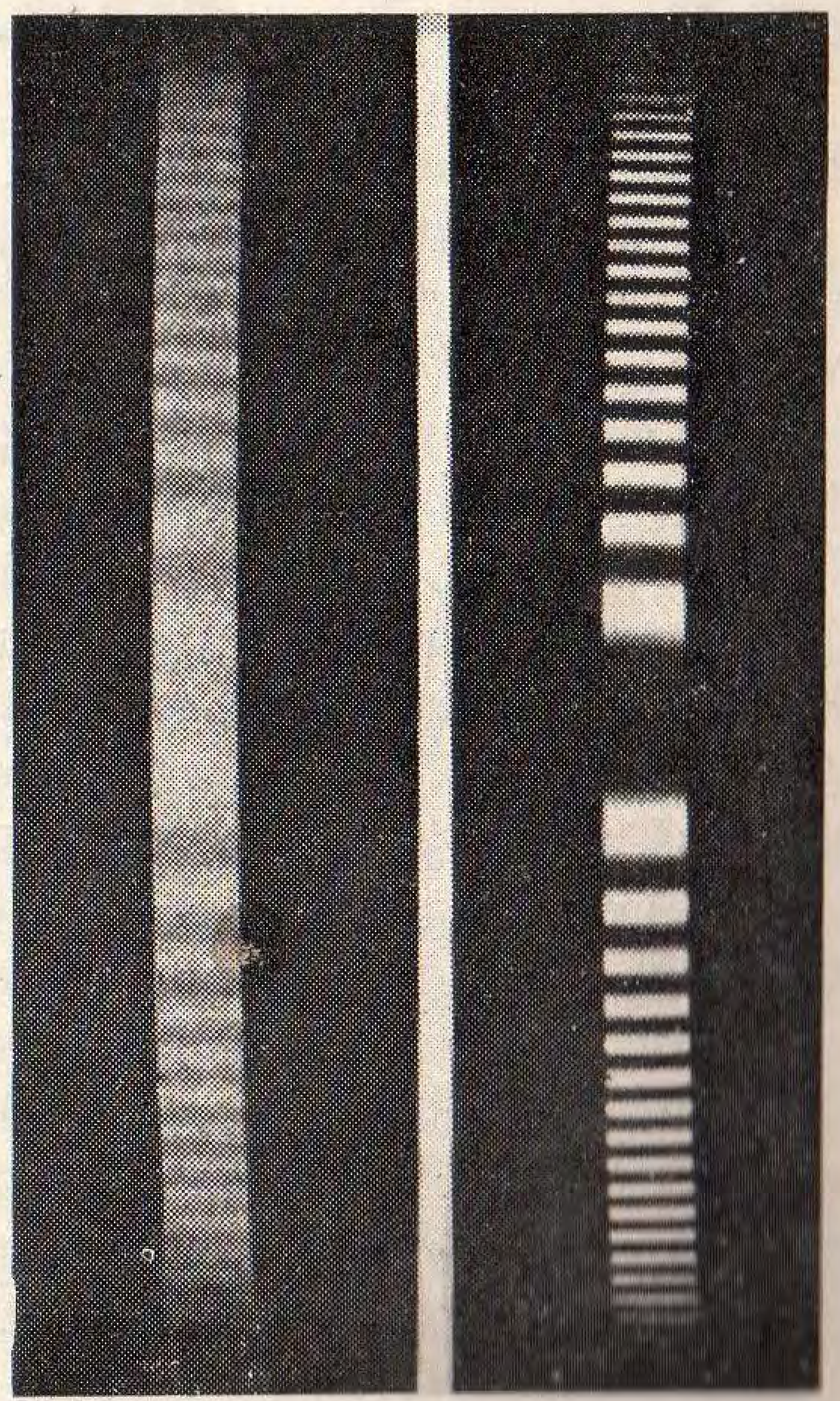


Fig. 16.

[9]) *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures, Tome XXI,* Paris 1952. *Les récents progrès du système métrique,* p. 9.

Fig. 16 montras al ni komparon de eltranĉaĵoj el la ringoj de Fabry kaj Pérot unuflanke ĉe la verda linio de monobara hidrargo kaj aliflanke ĉe la ruĝa kadmilinio. Ankaŭ ĉi tie oni konstatas la pli grandan netecon de la linioj de la monobara hidrargo. Tial la amerikaj fizikistoj nun proponas ĝin por la difino de la metro.

Aliflanke germanaj fizikistoj disigis la du izotopojn en la natura kriptono kun la atompezoj 84 kaj 86 kaj rekomendas ^{84}Kr por spektroskopiaj celoj.

Simile estas kun la kadmio, kiu konsistas el kvin izotopoj. Rusaj sciencistoj nun rekomendas la uzon de ^{114}Cd.

La Konstanta Komisiono ankoraŭ ne prijuĝis tiujn proponojn, sed rekomendas pluajn esplorojn en la ŝtataj laboratorioj kaj en la Internacia Oficejo por Pezoj kaj Mezuroj.

Ni vidas en la proponoj de la Komisiono la socian saĝon, kiu tiel ofte bonefikis en la historio de la metra sistemo. Oni estas ŝanĝanta ĝian fundamenton, sed neniu el la ĉiutagaj aplikoj estas tuŝata. La granda publiko eĉ ne rimarkos tiun principe gravan ŝanĝon, kiu donos al la metra sistemo eternan fundamenton. Tiu propono de la Komisiono estos pritraktata venontan aŭtunon de la Ĝenerala Konferenco.

Permesu kelkajn vortojn pri la historio de la ideo preni lumondon kiel bazon de la metra sistemo, kiel naturan etalonon.

Kiel unua skribe proklamis tiun ideon la franca fizikisto Babinet[10]) en memuaro publikigita en 1829 pri kradoj, interferaparatoj inventitaj de Fraunhofer kaj atentigis, ke oni povas kontroli la longon de la metro per longo de lumondoj kun precizo de unu dumilono. Karakteriza estas la rimarko, kiun aldonis la redaktoro de la gazeto, la fama franca fizikisto Arago, al tiu memuaro. Li menciis, ke li jam antaŭ kelka tempo proklamis tiun ideon en sciencista kunveno en Parizo, sed ke ĝi vekis nenian interesiĝon, kio ne estas bedaŭrinda, ĉar ĝi havas nenian realan utilon! Do unu el la plej famaj tiamaj fizikistoj preskaŭ ridindigis antaŭ 125 jaroj la ideon nun efektivigotan!

Dek jarojn poste la germana astronomo Lamont havis la saman ideon[11]) kaj donis eĉ, por komprenigi ĝin, en provizora kalkulo la nombron de la lumondoj de la natria D-linio en unu metro.

En la jaro 1864 la franca fizikisto Fizeau evoluigis la metodon mezuri longojn per lumondoj. Ĝi estas nun konata per la nomo interferometrio kaj ludas jam gravan rolon en la tekniko. Fizeau ankaŭ ekkonis, ke oni havas en lumondo „naturan mikrometron".

---

10) *Ann. de chimie et de physique* [2] **40** (1829) 176.
11) *Jahrbuch der Königlichen Sternwarte bei München für 1839*. p. 188.

TABELO I

Jaro	Observantoj	Nombro de ondlongoj	Ekarto el la mezvaloro
1892/3	Michelson kaj Benoît	1 553 164,25	(+) 0,10
1905/6	Benoît, Fabry kaj Pérot	1 553 163,95	(—) 0,20
1927	Watanabe	1 553 164,46	(+) 0,31
1933	Sears kaj Barell	1 553 163,71	(—) 0,44
1935	Sears kaj Barell	1 553 163,81	(—) 0,34
1933	Kösters	1 553 164,29	(+) 0,14
1935	Kösters	1 553 164,26	(+) 0,11
1937	Kösters	1 553 164,02	(—) 0,13
1940	Romanova	1 553 164,58	(+) 0,43
	Mezvaloro	1 553 164,15	(±) 0,24

Mezurado de la metro per ondlongoj de la ruĝa kadmilinio en aero normala.

TABELO II

Tempo	Persono
Antaŭ 1829	Arago atentigas en sciencista kunveno pri la ebleco uzi la longon de lumondo kiel etalonon.
1829	Babinet atentigas en memuaro pri la kradoj de Fraunhofer, ke oni povas kontroli la longon de la metro per la longo de lumondoj.
1839	Lamont komprenigas tiun ideon per kalkulado de la nombro de ondlongoj de la natria D-linio en unu metro.
1864	Fizeau evoluigas la interferometrion kaj vidas en la lumondo „naturan mikrometron".
1870	Maxwell proponas la uzon de linio el la H-spektro kiel naturan etalonon.
1874	van der Willingen diskutas la eksperimentajn eblojn de la metodo, proponas la uzon de mezvaloro el la du natrilinioj kaj pridubas, ĉu la kradmetodo estos la plej bona.
1894	Michelson kaj Benoît komencas serion da sistemaj esploroj pri la ondlongo de la ruĝa kadmilinio kiel etalono.

En 1870 la angla fizikisto Maxwell[12]) proponis la uzon de linio de la hidrogena spektro.

Daŭrigante nian historian superrigardon ni venas al fama fizikisto, kiu vivis kaj laboris ĉi tie en Harlemo, en nia kongresurbo, kiel Direktoro de la Muzeo Teyler, kiu nin gastigas. Temas pri la nederlanda fizikisto van der Willingen. En la Arkivoj de la Teyler-muzeo por 1874 li publikigis per 1870 datitan memuaron[13]): „*Sur les mesures naturelles*" (Pri la naturaj mezuroj), en kiu li emfazis la principon kaj jam tre detale pritraktis la eksperimentajn eblojn uzi la ondlongon kiel senŝanĝan kontrolilon de la metro. Li konis jam la duoblecon de la natria D-linio kaj proponas uzi la mezvaloron de la ondlongoj por la mezuroj. Li rekomendas redukton de la ondlongoj al vakuo por kio oni observu ĉe la mezuroj la premon, temperaturon kaj malsekon de la aero, kaj diskutas mezuradojn per difraktaj kradoj de Fraunhofer. Sed li mencias, ke li ne estas konvinkita, ke la difraktaj kradoj estos la plej taŭgaj por tiu celo. Tiel klare antaŭvidis la Harlema fizikisto la estontan evoluon kaj la Nederlanda Akademio de Sciencoj akceptis favoran raporton pri tiu memuaro kaj antaŭdiris, ke liaj ideoj povos konduki al kontrolo de la senŝanĝeco de la longunuo.

Kion antaŭvidis v. d. Willingen realiĝis post 84 jaroj. Oni estas nun konvinkita, ke la mezurado per difraktaj kradoj ne estas la plej preciza, sed la metodo de la ringoj de Fabry kaj Pérot, kombinita kun la metodo de la supermetitaj interferoj eltrovita de Brewster en 1826 kaj aplikita al la metrologio en la priparolita klasika laboro de la tri francaj fizikistoj.

Nun la meritoj de v. d. Willingen estas forgesitaj. Nur hazarde mi trovis liajn esplorojn preparante ĉi tiun prelegon. Oni devas timi, ke ili restus nekonataj al la mondo, eble pro troa modesto de la nederlandanoj.

Estas rimarkinde, ke antaŭ 30 jaroj fama finna astronomo, nia samideano Väisälä[14]), kies foreston en nia kongreso ni bedaŭras, uzis interferometrian metodon por mezuri distancojn ĝis kelkcent metroj kun precizo de unu miliono. Tio estas grava por la mezurado de la bazoj en la geodezio. Kiel interese estus, se li dum unu el niaj sekvontaj kongresoj, eble jam en Bolonjo, prelegus al ni pri siaj laboroj![15])

Rigardo al la Tabelo II, kie la historiaj faktoj estas resumitaj, montras al ni kiel malrapide sciencaj ekkonoj donas praktikan rezulton. Antaŭ pli ol 125 jaroj aperis ekkono. Ĝia eltrovinto ne opinias ĝin praktike efektivigebla. Iom post iom la fizikaj praktikaj rimedoj por ĝia realigado estis evoluigataj, kaj nur nun ĝi estas realiĝanta.

---

12) Clerk Maxwell, *Scientific Papers*. Vol. II. p. 225.
13) *Archives du Musée Teyler* **3** 142.
14) *Zeitschrift für Instrumentenkunde* **47** (1927) p. 398.
15) Ĝis nun (komenco de 1957) tio ne okazis. (Red.)

Aldono post la redakto de la prelego. (Januaro 1955)

Membro de la *Konsilanta Komisiono por la Difino de la Metro* D-ro Stulla-Götz afable komunikis al mi, ke la deka *Ĝenerala Konferenco por Pezoj kaj Mezuroj* lastan aŭtunon konsideris, ke ankaŭ la monobara ksenono kun la masnombro 136 elsendas ĉe la (bol)temperaturo de likva nitrogeno radiaĵon treege unufrekvencan. Tial la Konferenco decidis rekomendi ankoraŭ pluajn esplorojn por ebligi al la 11-a Konferenco definitivan solvon. — Sirk.

572.9 : 611.7

LA RASA DIFERENCO EN LA ANATOMIO

de D-ro S. NISHI, emerita profesoro de la anatomio,
en la Ŝtata Universitato de Tokio

La t. n. rasanatomio estas fako de la homa anatomio, kiu celas klarigi, kia anatomia diferenco ekzistas inter diversaj rasoj. Estas nun ekster dubo, ke individuo, kiu apartenas al iu raso aŭ gento, montras eksterajn trajtojn al ĝi specifajn. Se oni tamen observas ĉiun anatomian karakterizaĵon eksteran aŭ internan aparte, oni rimarkas, ke troviĝas apenaŭ unu, kiu nepre distingas iun rason aŭ genton disde alia; la rasa specifeco konsistas do ĉefe el la komplekso de anatomiaj karakterizaĵoj, kiuj aperas ĉe diversaj rasoj kun diversa ofteco. Ĝi estas nome ĉefe statistika, kio eble devenas de tio, ke la nuntempaj homrasoj estas plejparte hibridoj de prarasoj, kiuj disbranĉiĝis de la komuna homo-trunko. Sube mi volas koncize pritrakti kelke da rasanatomiaj faktoj, por klarigi, kion ili signifas el la morfologia vidpunkto.

Jam delonge interesis la antropologojn kiel eksteraj rasdistingiloj la mongolaj makuloj, la mongola faldo, kaj la grasa postaĵo de hotentotinoj i. a. La mongolaj makuloj estas neregulformaj, diversgrandaj, bluecaj makuloj, kiujn la novnaskitoj de la flavaj gentoj (mongoloidoj) montras preskaŭ senescepte ĉe la sakra regiono, ofte tamen ankaŭ ĉe aliaj lokoj. Oni antaŭe kredis, ke ili prezentas rasspecifan karakterizaĵon de la flava raso. Nuntempe ni tamen scias, ke ili ankaŭ okazas, kvankam tre malofte (ĉe malpli ol 1 %) kaj malintense eĉ ĉe blankaj novnaskitoj, kaj ke ilia ekzisto estas ĉe ili, almenaŭ mikroskope, ĉiam pruvebla. Ĉiuokaze ili estas miaopinie heredaĵo de niaj komunaj simisimilaj prapatroj, kiuj posedis makulitan haŭton (ne hararon!) kiel multe da nuntempaj simioj.

La mongola faldo estas malgranda arkoforma haŭtfaldo ĉe la interna