

Haveblaj malnovaj kolektoj de SCIENCA REVUO

Respondante al plurfoja interesiĝo de niaj membroj
ni povas respondi ke

Vol. 13, 14, 15 kaj 16 de Scienca Revuo

estas haveblaj laŭ la malplialtigita prezo:

por la membroj de ISAE 15 steloj, por aliaj 20 steloj

La antaŭajn volumojn de la revuo ni bedaŭrinde ne povas liveri, pro la
nekomprenemo de la antaŭa eldonisto.

Vol. 17 estas havebla laŭ la normala abonprezo

(25 steloj por la membroj de ISAE, 30 steloj por aliaj)

Ne forgesu ke ankaŭ SCIENCAJ STUDIOJ estas ankoraŭ haveblaj

(laŭ la malnova prezo de nur 50 steloj)

La pagojn faru plej bone pere de la delegita reto de ISAE.

SCIENCA REVUO, eldono de Internacia Scienca Asocio
Esperantista, Vol. 19. n-ro 2 (1967)

»71«521/525;629.19»312«

LA LASTA RENASKIĜO DE ASTRONOMIO

(Bož. Popović, Niš, Jugoslavio)

Unuaj paŝoj

Astronomian sciencon oni povas prave konsideri kiel unu el la plej maljunaj sciencoj. La ĉielon esploris jam la unuaj paŝtistoj, aŭ tiuj kiuj havis iom da tempo sate ripozoj kaj rigardi ĉielon.

La unua ekfloro de astronomio estis ligata kun religio-filozofiaj problemoj. La portantoj de tiu ekfloro estis pastroj kaj filozofoj. Nome por povi klarigadi la aperaĵojn, oni devis ilin observadi, noti, kompari. Kaj por fari tion oni bezonis iajn instrumentojn, por ili oni bezonis spacon kaj ejojn — jen la unuaj astronomiaj observejoj. La unuaj siatempaj astronomiaj esploroj ekestis sendepende en pluraj partoj de la terglobo: al ni plej konataj en Grekujo, iom malpli konataj en Babilono kaj Egiptujo. En Ĉinujo same ekzistis tia floriĝo, sed ĝis antaŭnelonge oni sciis pri ĝi tro malmulte, ĉar oni imagadis ke nur Eŭropo kaj kun ĝi ligitaj partoj de Azio kaj Afriko estis lulilo de ĉiuspeca kulturo. Oni ne povis imagi ke en Ĉinujo oni sciis pri la

makuloj de Suno jam en 28-a jaro antaŭ nia erao, do 17 jarcentojn antaŭ la disputoj kiu en Eŭropo malkovris ilin la unua! Same oni, pro astronomiaj celoj, aplikadis la projekcion de **Merkator** 500 jarojn antaŭ ol li elpensis ĝin pro geografiaj celoj. La mekanikaj horloĝoj, surbaze de akvofluo kun ĝia elversado, estis konataj jam 8 jarcentojn antaŭ nia erao ktp, ktp. Kaj treege malmulton oni povas diri pri la samtempa astronomio de **maja 'oj** kaj de **inka 'oj** en Ameriko, pri kio ni scias preskaŭ nenion ĉar la portantoj de la eŭropa civilizo pereigis ĝin (kaj nun oni subgrunde malkovradas ĝin kaj konatiĝas kun parteto de tio kio iam ekzistis kaj floris).

Eble ankaŭ en aliaj mondpartoj ekzistis simila unua ekfloro de astronomio, sed perdita por ĉiam. Oni povas diri ke tia unua ekfloro estis relative samtempa en ĉiuj tiuj regionoj; la jarcentoj kiuj dividas ilin prezentas nenion kompare kun la tiama malrapida evoluo kaj konsiderante la mankon de kontaktoj inter diversaj terpartoj (okazadis sporadaj kontaktoj inter iuj el tiuj regionoj, sed nur en la negranda mediteranea triangulo: Babilono, — Egiptujo — Grekujo oni povas paroli pri iu komuna influo kaj heredado de scioj).

La dua ekfloro de astronomio estis vere ligita nur kun Eŭropo. Oni tie utiligis multegon el la antaŭa mediteranea astronomio — same kiel en aliaj artoj kaj sciencoj. Tio estis renaskiĝo de la helenisma epoko. La nova ekfloro de astronomio ekestis plejparte pro bezonoj de la nova socia klaso, la burĝaro, kiu donis al la homaro multe pli da aktiveco, moviĝemo kaj esploro. Sed ne malpli gravan rolon, escepte por astronomio, ludis la disfalcirkonstancoj de feŭdalismo kaj kun ili ligita multflanka necerteco por reprezentantoj de la mortadanta reganta klaso. Nevidinte kiel venki la ĉiam kreskantajn malfacilaĵojn, ili turnadis sin senhelpe al la Dio kaj al la ĉielo, de kie ili ofte atendis savon. Pro tio necesis refloro de astrologio, ĉar oni kredis ke Dio sendas signalojn per diversaj konstelacioj de planedoj, per kometoj kaj aliaj aperaĵoj sur la firmamento. Oni devis nur scii kompreni la signalojn por povi trovi vojon al la savo. Sed tion povis fari nur la konantoj de la astroj kaj de ilia moviĝado. Jen pro kio eĉ la fama Kepler iom vivtenis sin per astrologio.

Kaj pro la transporto-navigadaj bezonoj de burĝaro kaj pro la astrologiaj bezonoj de feŭdalismaj regantoj, la tiama astronomio okupiĝis ĉefe pri la pozicioj de ĉielkorpoj kaj pri iliaj moviĝoj. La pinto de la atingiĝoj fariĝis la leĝo de **Newton** pri la universala altirforto. Sed kun ĝi estas senrompe ligitaj la perloj de la tiama epoko: la suncentra mondsistemo de **Kopernik**, la leĝoj de **Kepler** pri planedmoviĝoj kaj la rompiĝo de la koncepto pri la tuteca stela sfero, kaŭzita per la binoklaj observadoj de **Galilei**.

Astronomio en la Nova epoko

Jam en ĉi tiu etapo de la evoluo de astronomio, la etapo kiu estis revolucia kaj tre brua, ekludis iun rolon tekniko. Nome Galilei ekuzis binoklon por observadi ĉielon kaj jam li vidis multon kion aliaj ne povis vidi. Sed la vere decidan rolon ludis tekniko kaj fiziko en la tria florperiodo de astronomio. Konstruo de grandaj observaj instrumentoj, utiligo de fotografio, spektroskopio kaj de novaj matematikaj branĉoj karakterizas la trian etapon de la florado.

Grandaj spegulaj kaj lensaj teleskopoj estis konstruitaj en pluraj partoj de la terglobo. Unuflanke astronomio, same kiel aliaj sciencoj, eliris larĝe ekster la eŭropa kadro. Aliflanke oni sukcesis akiri la lumsignojn de multegaj ĝis tiam eĉ ne imageblaj astroj: planetetoj, kometetoj kaj planetsatelitoj (eĉ tri novaj planedoj) en la familio de la Suno; milionoj da steloj ekster ĝi kune kun la aliaj, nebulaj, masoj en Galaksio; fine tute novaj malproksimaj objektoj — novaj galaksioj. Utiligo de la fotografio por astronomiaj celoj multege pligrandigis efikecon de la instrumentoj kaj ebligis la mezuradon de neimageble etaj grandoj. La precizeco plialtiĝis plurmilfoje kompare kun la antaŭa etapo. La pliperfektigoj de la horloĝoj, speciale por astronomiaj celoj, montriĝis kiel nepre bezono, sed samtempe kiel ebligilo por ĉiam novaj progresoj en la esplorado de Universo.

Tiom alta precizeco ebligis precipe en la 19-a jarcento multajn novajn malkovrojn de la pozicia astronomio: aberacion de la lumo (pro la turniĝo de Tero), ŝajnan amasan moviĝon de la steloj ĉirkaŭ apekso kaj antiapekso (klarigitaj per moviĝo de la sunsistemo), propran moviĝon de multaj steloj kaj la kronon de tia precizeco — mezurado de distancoj ĝis la steloj (unue ĝis la plej proksimaj, kaj — post tiucela utiligo de la spektroskopio, ankaŭ ĝis malproksimaj steloj, eĉ ĝis eksteraj galaksioj). Elimino de devioj ĉe la stellumo pro aera refrakcio kaj disvolvo de la metodoj por maksimuma kalkula eliminado de instrumentaj eraroj (ekde la sistemaj kaj de neeviteblaj eraroj ĝis persōnaj eraroj de unuopaj observantoj) estis ofta antaŭkondiĉo por akiri kaj gardi tian precizecon.

En la loka astra familio, la sunsistemo, la altpreciza pozicia astronomio ebligis perfektan sekvadon de la pozicioj de Suno, Luno, planedoj kaj iliaj satelitoj, kometoj kaj planetetoj. Sed oni povis ankaŭ tre precize antaŭvidadi iliajn poziciojn, dank'al la samtempa alta evoluo de ĉielmekaniko. Baziĝinte sur la universala altirleĝo de Newton kaj utiligante (ne nur utiligante sed ankaŭ pliperfektigante) la matematikajn metodojn, ĝi donadis sufiĉe precizajn teoriojn pri la moviĝo de ĉielkorpoj. Kaj la komparado de la observitaj pozicioj kun la kalkule antaŭviditaj pozicioj, ne nur elprovadis tiujn teoriojn, sed

ankaŭ donadis novajn impulsojn al la plua evoluo de la pozicia astronomio kaj de la ĉielmekaniko mem. La ĉefa tiama brila sukceso de ĉielmekaniko estis la fame konata malkovro de la planedo Neptuno — »per pinto de kraĵono«, kiel oni sprite diris pri la kalkuloj de **Leverrier** kaj de **Adams** (kvankam la rezultatoj de la lasta restis neutiligitaj pro nekredo de homoj al kiuj li sin turnis!).

Kulmino de la novepoka astronomio

Oni ofte diras ke la 19-a jarcento, kiom koncernas astronomion — estas la jarcento de pozicia astronomio kaj de ĉielmekaniko. Oni tie ankoraŭ ne aldonas astrofizikon, simple pro tio ĉar la 19-a jarcento estis nur ĝia infanaĝo, kaj ĝia maturiĝo jam transiras en la 20-an jarcenton. Sed la rolo de la fizikaj metodoj, precipe la spektroskopio, estiĝadis ĉiam pli grava. Per fizikaj vojoj oni ne nur pli facile malkovradis novajn objektojn, sed oni ĉiam pli kaj pli konatiĝadis kun ili. La spektroj ebligis klasifikadon de steloj kaj la unuajn sciojn pri ilia evoluo, aparte esprimita per la diagramo de Hertzsprung-Russel. Tia evoluo kreis la novan astronomian branĉon — astrofizikon, kiu multe utilis al progresoj de astronomio kaj de fiziko. Astronomoj ekkonis multajn fizikajn kaj kemiajn ecojn de steloj kaj de galaksioj (aliflanke pere de ŝanĝiĝaj steloj en galaksioj oni ekkonis pli bone ankaŭ nian Galaksion), kaj fizikistoj estis stimulataj al pli profundaj komparoj inter la konkretaj spektroj de steloj kaj la eksperimente faritaj spektroj en laborejoj (ekz. la elementon heliumo oni malkovris unue sur la Suno kaj poste sur la Tero).

Resume oni povas diri ke la 18-a kaj 19-a jarcentoj donis multeĝon por astronomio. Simile al multaj aliaj sciencoj, oni esploradis ofte ne nur pro rektaj bezonoj de la homaro, sed ankaŭ pro scivolema scienca ekkono de la ĉirkaŭa mondo. Tia esplorado atingis kulminon en la unua triono de la 20-a jarcento. Venis la tempo kiam oni ne povis fari tre multe per la ĝistiamaj metodoj — pure astronomiaj, kaj fizikaj kaj matematikaj. Oni ekspluatis preskaŭ ĉiujn eblecojn de grandaj instrumentoj kaj oni atingis tian ŝtupon kiam oni okupiĝadis kun ne tre grandaj problemoj, kolektante plejparte la observan materialon, prilaborante ĝin ktp. Konstrui multe pli fortajn optikajn instrumentojn kaj ilian ilaron, preskaŭ ne utilis, ĉar la malfacilaĵoj kaj penoj por fari pli grandan spegulon aŭ pli grandan lenson kreskis proporcie almenaŭ al kvadrato de ilia diametro. Krom tio oni ne esperas akiri per ili multege pli ol oni sciis, ekscii per ili ion esence novan.

Pro tio la kurado en konstruado de grandaj optikaj instrumentoj ĉesis — oni klopodis atingi pli multon per iliaj pliperfektigoj (korektigaj pladoj, adaptiĝo al apartaj bezonoj k. s.). Per tio mi ne deziras subtaksi la sukceson konstrui gigantan 5-metran spegulon sur Mount-Palomar en Usono, nek la penojn konstrui 6,5-metran spegulon en Sovetunio. Malgraŭ tio ke ili donis kaj donos multon novan por niaj scioj, ili ne povis solvi la problemon de iaspeca stagno en la evoluo de astronomio, la stagno kompare kun la antaŭaj progresoj. Sincere diri, ĉi tiuj gigantaj teleskopoj estis multe pli necesaj por esprimi la fortecon de grandaj ŝtatoj ol esprimi esencajn bezonojn de la astronomia scienco.

Malfermo de la fenestroj kaj pordoj al Universo

Por nova renaskiĝo de astronomio necesis io tute nova, nova en sia fundamento mem. Kaj tio tute nova kreiĝis de la kvara ĝis la sesa dekada de nia jarcento. Ĝi konsistas el malfermo de novaj fenestroj kaj pordoj al la Universo, kiuj liberigis la homan scivolemon kaj eĉ lian fantazion. Pri kio fakte temas?

Temas pri tio ke homo vivas en la plej profundaj tavoloj de granda aeroceano kovranta la tutan Teron. Tie naskiĝis vivantaj organismoj, sub apartaj kondiĉoj, en la partoj kie ĉi tiu aeroceano kuniĝas kun la terkrusto kaj kun la akvoceano. La vivantaj organismoj evoluis, kreiĝis multaj specioj, el kiuj homo atingis plej altan ŝtupon kaj ellernis utiligi por si la tutan terglobon. Homoj eĉ sukcesis iom plilarĝigi la tavolon en kiu ili vivas: ili iomete subiris la grundon sur kiu vivas, iom ili eniris pli profunden en la akvoceanon kaj iom pli supreniris en la aeroceanon. Sed tamen ili, ĝis antaŭnelonge, restis firme ligitaj al la tavoloj kiuj dividas la Teron de ĝia aeroceano, trioble katenigitaj en tiuj tavoloj.

La unua kateno estas la korpo de homo mem. Ĝi evoluis nature, sub la kondiĉoj kiaj regas ĉi tie. Homoj sukcesis iom plilarĝigi la diapazonon de la temperaturo sub kiu ili povas vivi, protektante sin — en difinitaj limoj — kontraŭ varmo kaj malvarmo. Ili plilarĝigis eblecojn por la nutrado, produktante pli amase tion kion ili bezonas kaj akomodigante sin al diverseco de manĝaĵoj. Eĉ la eksteran premon (de la aero aŭ de la akvo) ili povas elteni en iom pli larĝaj limoj ol en la primitiva stato — utiligante teknikajn rimedojn. Sed la radiado kiun homoj povas elteni restis ankoraŭ la sama kia ĝi estis en la pratempo. Nome la homa specio kreiĝis kaj evoluis konforme al tiaj radioj kiaj el la ekstero penetras la aeran atmosferon. Se la atmosfero subite forestus, aŭ eĉ se ĝi nur duoniĝus, multego da aliaj radioj neniĝus rapide la tutan surteran vivon. Nur malra-

pidega ŝanĝo de la atmosfero, kun la respektiva adaptiĝo de nia organaro (aŭ la koncerna artefarota protektado kontraŭ nova kvanto da radiado) povus esti nepereiga por la homaro.

La dua katenino de la homaro devenadis de la teknika neebleco penetri la suprajn tavolojn de la atmosfero kaj libere vagadi super ĝi. Tia neebleco havis sian ne nur teknikan flankon, sed ankaŭ la vivoflankon, ĉar eĉ kiam oni havus teknikajn rimedojn por realigi tian deziron, oni ne povus libere vagadi, pro la unue menciita neebleco vivi en tute novaj vivkondiĉoj. La pordo al la ekstero estis por homoj firme fermita!

La homaro eksciadis pri la ekstertera mondo nur dank'al la lumradioj, kiuj grandparte trapasas la atmosferon kaj ekscitas nian vid'organon, niajn okulojn. Ni multege spertiĝis en komprenado de tio kion al ni povis rakonti la lumradioj. Ni ellernis kolektadi ilin grandkvante per lensoj aŭ speguloj kaj tiel plifortigi ilian rakontadon. Per spektroskopio ni kapabliĝis legi multon el iliaj rakontoj. La fotado permesis registradi eĉ tre malfortajn iliajn rakontojn. Iom pli: fotografio iomete plilarĝigis la zonon de la registrebla ondlongeco. Nome la okuloj povas rekte senti nur la ondojn havantaj la longecon inter la komenco de la infraruĝaj radioj unuflanke (ĉ. $0,4\mu$ de la ondlongo) kaj la ultraviola aliflanke (ĉ. $0,76$ da mikrono). Sed la terkruston atingas sufiĉe grandkvante ankaŭ la infraruĝaj kaj la ultraviolaj radioj (ambaŭflanke po kelkaj centonoj da mikrono de la ondlongo), kvankam iom malfortigitaj pro la parta ensorbo en la atmosfero, precipe de la ozon'tavolo en ĝi. Per fotografio homoj sukcesis iomete plilarĝigi tiun »fenestron«, tra kiu ili eksciadis pri la Universo. Oni ankaŭ konstruis specialan infraruĝan teleskopon, kiu same helpis iom plifortigi la rigardadon tra tiu parto de la ondlongoj. Aparte menciinda estas la malkovro de la gigantegaj ruĝaj steloj, kun diametroj de ĉirkaŭ dumil sunaj diametroj, sed tre malvarmaj kompare kun aliaj steloj (nur ĉ. 1000°K). Specialaj elektronaj aldonoj al teleskopoj same, simile al fotografio, ebligis plifortigi kaj registri ankaŭ treege malfortajn radiojn, el la lumregionoj de la radiado. Utiligante sur filmoj specialan tavolon, reagantan ne je fotonoj sed je elektronoj (kun tre forta malvarmigo de la filmo) oni atingis pli grandan efikecon de fotado, koncerne la sentemon kaj koncerne la klarecon de ricevita bildo. Oni, ekzemple, sukcesis tiel vidi la kernon de multaj galaksioj. Tamen, malgraŭ ĉiuj tiaj plibonigoj, la homa rigardo, lia ekscikapablo, estis katenigitaj apud tiu »fenestro«.

Sed, la radiado estas neniel limigita je tiuj ondlongoj. Kontraŭe, sciencistoj jam sciis ke ekzistas elektromagnetaj ondoj kun ondlongo de nemezureble malgranda ĝis plurdekmetra. — la lumspekto estas

nur parteto de la elektromagneta spektro. Parton pri ili oni eksciis el natura aŭ artefarita surtera radiado, parton oni eksciis per nemultaj, nekonstante sed sporade kapteblaj, radioj penetrantaj ĝis iom pli maldikaj tavoloj de la atmosfero (precipe sur altaj montoj) — la kosmaj partikloj kun alta energio. Sed multaj el la eksteraj radioj reflektiĝas de supera tavoloj de la atmosfero, aŭ estas kaptataj de magneta kampo; multaj partikloj (kun ne tre alta energio) estas ensorbataj en diversaj tavoloj de la atmosfero. Tial ili ne atingas la tersurfacon — almenaŭ ne rekte sed pere de ŝanĝoj kiujn ili provokas en la atmosfero, paŝon post paŝo ĝis la terkrusto.

La dua malfermita »fenestro« tra la atmosfero

Montriĝis ke en la granda diapazono de ondlongeco de elektromagnetaj radioj ekzistas ankoraŭ unu »fenestro« tra kiu la radioj facile penetras la atmosferon. Tio estas la ondlongoj inter proksimume $1,5\text{cm}$ kaj 20m . Sed niaj ĝistiamaj rimedoj, esence ligitaj kun la sentokapablo de la okuloj, ne povis registri tiajn radiojn. La radioamatoro Jansky (en 1938, se mi bone memoras), rimarkis konstantajn ĝenojn ĉe difinita ondlongo de lia ricevilo. Simile, en la armea utiligo de radaroj, en 1942-a jaro, oni konstatis la ĝenojn ligitajn kun la Suno. Paŝon post paŝo, oni komencis intence kaptadi tiajn radiojn, oni konstruis aparatojn, similaj al teleskopoj, por kolektadi kaj plifortigadi tiajn radiojn.

Jen tiel oni komencis registradi kaj komprenadi ankaŭ elsendojn kun aliaj signoj el la Universo, diversaj de la lumsignoj. Naskiĝis nova branĉo de astrofiziko: **radioastronomio**. Simile al la epoko kiam oni konstruadis ĉiam pli grandajn kaj diversspecajn teleskopojn, komenciĝis la epoko dum kiu oni konstruadas grandajn radioteleskopojn. Iuj el ili estas nur por difinita ondlongo, aliaj por pli aŭ malpli larĝa diapazono de ondlongoj; iuj estas nur unudirektaj, aliaj movigeblaj; iuj estas sferaj (kun plurdekmetra, eĉ 300-metra , diametro) aŭ parabolidaj, aliaj estas parabolcilindraj, aŭ rektliniaj, aŭ kiel kruco de du rektliniaj (longaj po kelke da kilometroj) ktp.

Per radioteleskopoj oni daŭrigis esploradi la jam konatajn ĉielkorpojn, ĉar oni konstatis ke ili elradias ankaŭ je diversaj ondlongoj registreblaj per novaj instrumentoj. Multaj astronomoj — plejparte astrofizikistoj — ĵetis sin al la nova agadkampo, multaj inĝenieroj aliĝis al ili (pro grandaj teknikistaj bezonoj de la nova instrumentaro), multaj fizikistoj same alsocietiĝis (ĉar la problemoj estas esence fizikaj). Iuj komencis esploradi la Sunon, speciale ĝian koronon (el kiu venadas plejparto da sunradiado), aliaj esploras unuopajn aŭ plurajn planedojn, stelojn aŭ galaksiojn. Sed oni baldaŭ konstatis

alvendon de radioj el la direktoj kie neniu objekto lumas. Tiel oni malkovris multegajn novajn, senlumajn astrojn, pro kiuj oni devis transiri al la pliperfektigo de mezurado de iliaj pozicioj, kun klopodoj atingi almenaŭ la precizecon de lumteleskopoj.

El la plej mirindaj (jamaj!) rezultatoj de la nova branĉo, ni menciuj la malkovron, kunlabore kun lumaj teleskopoj, de novaj objektoj kiuj estas nek steloj nek galaksioj, troviĝantaj malproksimege ekster la Galaksio. Ili ne estas galaksioj, ĉar ili ne konsistas el steloj, sed ili estas gasaj kiel steloj. Oni nomis ilin kvazaŭsteloj. Ilia lumo estas centoble pli forta ol ĉe galaksioj, sed ĉe kelkaj el ili ĝi ŝanĝiĝas, kaj la maso kelkcentoble malpligranda ol ĉe galaksioj. La temperaturo estas verŝajne pli ol 10.000°K . Ne malgrava estas ankaŭ la konfirmo ke la lumradioj de diversaj ondlongoj disvastiĝas samrapide en la interstela spaco, la konfirmo eltirita komparante la alvenon de la lumradioj kaj de aliaj radioj dum erupcio de steloj de tipo UV Ceti.

Jen ĉi tio estas io esence nova en la evoluo de astronomio, io kio eltiris astronomion el la relative stanga periodo. Sed tio estas nur unu flanko de la lasta renaskiĝo de astronomio. Aliaj formoj de la renaskiĝo sekvis ĝin, du eĉ pli frue ekestis, sed ekfloris nur kunlige kun ĉi tiu renaskiĝo.

La »pordo« al la Universo

Astronomoj kaj fizikistoj neniel kontentiĝis kun la neebleco ekscii iom pli pri la radioj ensorbataj de la atmosfero aŭ pro aliaj kaŭzoj ne atingantaj la teron. Tiuĉe ili utiligadis ĉiujn eblecojn esplori ankaŭ la suprajn tavolojn de la atmosfero. La raketa tekniko donis al ili tre fortan rimedon kaj per raketoj ili eksciis multon pri la alvenantaj radioj, precipe el la Suno. Sed al la raketa tekniko oni dankas lanĉojn de terstatelitoj, kiuj fakte malfermis la »pordon« tra kiu sciencistoj trovis vojon al la Universo. Nuntempe ili sendadas ankoraŭ nur siajn instrumentojn, sed venos la tempo kiam ankaŭ la sciencistoj trairos tiun pordon.

Kvankam en septembro ĉijare estos nur 10 jaroj de post kiam la unua artefarita satelito (sputniko) aperis, la kontribuoj de la persatelita esplorado de la supraj atmosferaj tavoloj kaj de la ĉirkaŭa interspaco estas jam tre grandaj. Tiu esplorado definitive konfirmis la perraketajn donojn ke la atmosfero estas supre multe pli densa, do ankaŭ entute pli dika, ol oni tion supozis antaŭe — nun oni jam sufiĉe bone konas la densecon de la atmosfero. Sed oni nun konas bone ankaŭ la ionigecon de unuopaj atmosferaj tavoloj. Krom tio oni nun scias ke super la atmosfero ekzistas zonoj, la t.n. Allan-ringoj, pleni-

gitaj de diversaj radiadpartikloj, plejparte protonoj kaj elektronoj. Oni ankaŭ scias jam multon pri tiaj (kaj aliaj) partikloj alvenantaj de la Suno tra ĝia korono, en formo de radioriveretoj (aŭ, se Vi preferas pli ofte uzatan esprimon, en formo de sunventoj), kun la meza rapido de 1500 km/sek proksime de nia atmosfero. Ne restis nemarkita ankaŭ ilia kunligo kun la aktivecoj en la Suna fotosfero, pro kio la konsisto kaj la forto de la radioriveretoj tre varias dum unu ciklo de sunaktiveco ekz. la nombro de iliaj batoj je 1cm^2 varias inter 5 milionoj kaj 10 miliardoj, kaj la tiel kaŭzita radiadatako esprimiĝas per kvanto inter unu miliono kaj unu milo (dum grandaj erupcioj en la Suna fotosfero) da rentgenoj.

Oni preskaŭ ne povas doni plenan liston de la problemoj kies solvado helpis la sursatelitaj instrumentoj. Sed oni devas tamen mencii la nombradon de mikrometeoroj, oftecon kaj fortecon de la interspacaj radiadpartikloj, mezurado de apudplaneda magneta kampo. Per tiaj esploroj oni vidis ke efektive la spaco neniel estas malplena, certe ne ĉirkaŭ nia planedo.

Kiam jam estas malfermita la pordo, aŭ pli bone diri la sennombraj pordoj, por eliri desur nia planedo, liberiĝi de la aeroceano super ni, tiam oni direktiĝis pluen: al Luno, Marso, Venuso... La kreitaĵoj de la homa genio atingis jam Lunon, deproksime fotadis ĝin kaj radie sendis la fotojn al ni. Poste oni esploris Lunon pli detale per instrumentoj sur la farita sputniko de Luno, eĉ per allunigitaj instrumentoj. Plurajn centjarojn astronomoj esploris Lunon, sen ia ajn rekte praktika bezono, pro simpla scienca scivolemo. Kaj montriĝis ke oni konis Lunon ankoraŭ nesufiĉe bone por la konkretaj bezonoj de la astronautika erao. Sed ili esploris ĝin demalproksime, desur la Tero, nur surbaze de la reflektitaj sunradioj. Venis nun la tempo kiam oni komencis esplori ĝin deproksime, eĉ desur la Luno mem. Baldaŭ eĉ sciencistoj alluniĝos por tie krei laboratoriojn por la detala esplorado.

Ankoraŭ negranda, la esplorado de Venuso kaj Marso, precipe la fotado de Marso, realigita per Mariner IV, prezentas same triumfojn de la ankoraŭ komenciĝanta renaskiĝo de astronomio. En unu nur ĝenerala prelego ne eblas prezenti la rezultatojn de tiu esplorado, sed menciuj nur ke ili estus absolute neblaj sen forlaso de la Tero kaj sen la proksimiĝo al ĉi tiuj astroj.

La rolo de matematiko en la lasta renaskiĝo de astronomio

La plej gravaj esploroj de nia ĉirkaŭaĵo kaj de la plej proksimaj astroj havas sendube ĉefe fizikan karakteron. Astrofiziko, kune kun sia nova branĉo — radioastronomio — fariĝis la plej ampleksa parto

de astronomio. Sed tio ne signifas ke la aliaj partoj stagnis. Tute ne — ankaŭ ili evidente progresis. Ni komencu nun per matematiko.

La apliko de matematiko en astronomio kreis kaj disvolvis ĉielmekanikon (aŭ, se vi preferas, teorion astronomion), kies rolo en la lanĉado kaj vojkontrolado de sputnikoj kaj de aliaj kosmaj objektoj estas tre granda. Se oni ne havus jam solvitajn multegajn problemojn pri la moviĝo de ĉielkorpoj, oni devus solvadi ilin kunlige kun la realigoj de lanĉado de astronautikaj objektoj. Feliĉe novaj klopodoj havis jam solidan teorion bazon, el la antaŭa periodo de la florado de astronomio. Komprenoble ne ĉiuj konkretaj kaj nun aktualaj problemoj estis solvitaj, sed la bazo ekzistis kaj oni povis pluen konstrui.

Do la ĉielmekaniko helpis la efektivigon de la malnovaj sonĝoj kaj samtempe ĝi mem profitis, ĝi mem renaskiĝis. Por ĉielmekanikistoj astronautiko montriĝas kiel ilia eksperimentejo; pli frue nur teoriuloj, ili nun ricevis eblecon tute konkrete kontroli siajn »perkrajonajn« rezultatojn. Ni menciuj tu ke nova praktiko konfirmis ĝustecon de ĉi tiu scienco, de ĝiaj rezultatoj. La renaskiĝo de ĉielmekaniko estas ne tiom kvalita kiom kvanta. Antaŭe pri ĉielmekaniko okupiĝis relative malmultaj astronomoj-matematikistoj. Kaj la nunaj bezonoj postulas grandan kvanton da tiaj kunlaborantoj, pro kio ilia nombro estas konstante nesufiĉa. Plej forte estis substrekita ĉi tiu nesufiĉeco en la Konferenco pri ĉielmekaniko, okazinta en la 1963. en Usono, kie oni asertis ke la bezonoj por ĉielmekanikistoj estas tiom grandaj ke oni devas forte plilarĝigi tiucelan instruadon, krom tio kapabligadi tiudirekten ankaŭ inĝenierojn okupiĝantaj pri kosmonaŭtikaj objektoj. El la tute flanka speciala fako, de kiu oni ofte ne povis vivi pli frue (ĉielmekanikistoj vivtenis sin plejparte per instruado de matematiko), ĝi fariĝis multe favorata fako — precipe en Usono kaj Sovetunio.

En la solvado de ĉielmekanikaj problemoj oni utiligas ne nur la antaŭan matematikan aparaton, sed ankaŭ la novan: vektorojn, matricojn, diadojn, tenzorojn, spinorojn, operatorojn, integralajn, ekvaciojn, optimigkalkulon ktp. Aplikante tian aparaton, ĉielmekanikisto devas ofte solvi pure matematikajn problemojn, aŭ almenaŭ starigi problemon, por ke iu alia solvu ĝin. Tiel ĉielmekaniko ankaŭ nun konstante helpas evoluon de matematiko mem kaj ĉio funkcias laŭ la konata leĝo de dialektika reciproka influo.

La ĉielmekaniko mem estis en ĉi tiu periodo tre multe helpata de unu nova, matematik-teknika, branĉo: utiligo de kalkulmaŝinoj. Multaj pure teoriaj solvoj, la nunaj kaj el la antaŭa periodo, estus konkrete neaplikeblaj, pro enormaj kalkuloj kiujn oni devus fari por

efektivigi la solvon. Utiligo de mekanikaj kalkulmaŝinoj kaj ilia pliperfektigo (precipe per la uzo de elektra kurento anstataŭ la permana turnado) iom plilarĝigis la aplikeblon de tiaj solvoj. Sed nur kiam venis elektronaj kalkuliloj, anstataŭantaj centojn da homaj kalkulantoj kaj efektivantaj kalkulojn dum tre mallonga tempo, oni tiam povis realigadi multajn solvojn. Ni donu nur tri tipajn ekzemplojn. Oni havis la teorion pri moviĝoj de planedoj en la sunsistemo, sed oni ne povis tre precize kalkuladi iliajn elementojn kaj efermeridojn, pro multaj influantaj faktoroj, el kiuj iuj astronomiaj konstantoj estis eĉ nesufiĉe konataj. La dua ekzemplo estas la vojkontrolo de sputniko. Dum ĝia turniĝo oni observas ĝin kaj oni povus ankaŭ sen elektronaj kalkuliloj trovi ĝian orbiton kaj ĝiajn estontajn poziciojn, sed tro malfrue por necesaj direktigaj agoj, ĉar ĝi moviĝas rapide. Elektronaj kalkulilo povas tion fari sufiĉe rapide, por ke oni povu interveni kaj se necese ŝanĝi iom la moviĝdirekton por atingi difinitan celon. Eĉ pli: oni aŭtomatigis la tutan procedon, tiel ke la observaj donoj iras rekte en kalkulilon, kiu prilaboras ilin (komprenoble laŭ la programo donita de ĉielmekaniko) kaj aŭtomate transdonas la ordonon kiam kaj kiom ŝanĝi la direkton. La tria ekzemplo koncernas la planadon de kosma ŝipo je la difinita celo, nome oni devas elekti komencajn moviĝelementojn tiel ke oni atingu la difinitan celon en la difinita tempo. La koncernajn ekvaciojn oni devas solvi inverse, kio ne eblas en la eksplica formo. Inter la senfinaj kombinaĵoj de komencaj elementoj oni elektas centojn, eĉ milojn, da verŝajnaj variantoj kaj por ĉiuj oni kalkulas la atingotan celon, post kio oni scias kiuj el ili donos la plej proksiman solvon; oni tiam varias ilin pli precize kaj denove kalkulas ktp.

La rolo de la aŭtomataj kalkuliloj kaj artefaritaj cerboj neniel limiĝas je efektivigo de enormaj kalkuloj. Ili helpas ankaŭ multajn aliajn teoriajn kaj praktikajn esplorojn. Ni menciuj nur la plej gravajn. Oni nun ne plu kalkulas nur specialajn perturbojn de planetetoj, kometoj, satelitoj kaj sputnikoj, sed oni ofte kalkulas ankaŭ ĝeneralajn perturbojn, en formo de serioj kun varieblaj argumentoj kaj fikse elkalkulataj koeficientoj. Oni helpas teoriajn solvojn de astrofizikaj problemoj tiel ke oni, ekzemple por la evoluo de stelo, elektas la probablan modelon, surbaze de kiu oni kalkulas ĝian pluan »estontecon« kaj oni komparas la rezultatojn kun la jam konataj observaĵoj. Eĉ dum la observado, kiu ekz. e la radioteleskopoj estas jam teknike tre komplika tasko, oni aŭtomatigas la kolektadon de registraĵoj kaj oni tuj prilaboras ilin por havi netajn observadonojn.

La ĉielmekaniko, per utiligo de perturboj en la moviĝo de artefaritaj satelitoj, ebligis en la nuna periodo pli precizan kalkulon de

diversaj kvantoj ligitaj kun Tero: densecon de la atmosfero en ĝiaj diversaj tavoloj, koeficientojn de ĝia potencialo, nesferecon (platecon) de Tero, eĉ elipsecon de ĝia ekvatoro ktp.

Aliaj formoj de la renaskiĝo

El la supre dirita, oni vidas ke la lasta renaskiĝo de astronomio estas plene ligita al novaj teknikaj rimedoj. Fakte ankaŭ la antaŭa renaskiĝo dependis multe de la evoluo de tekniko (teleskopoj, horloĝoj, mekaniko), sed ne tiom multe kiom nun. Mezurado de tempo same ĝisvivis sian renaskiĝon dank al la nova tekniko. La pli-perfektigo de tempmezurado estis ĉiama plibonigo de astronomiaj horloĝoj, tiel ke ili estu kiom eble pli konstantaj en sia marŝo, sed ankaŭ la pliprecizigo de la pozicioj de steloj. La steloj fakte donadis la tempostaton, respeguligante sur la ĉielo la rotacion de Tero, ĉar oni kredis ke ĝi rotacias ĉiam samrapide. Tia tekniko evoluis ĝis sia maksimumo, kiu jam permesis dubon, eĉ konstaton, ke rapido de la ter-rotacio ne estas absolute konstanta — la precizeco de tempmezurado jam superis la relativan konstantecon de la terrotacio.

Sub tiaj cirkonstantacoj ne plu utilis la klopodegoj prefektigadi pluen la malnovan, jam kulminantan, teknikon. Oni devis trovi ion kio ŝanĝiĝas multe pli regule ol Tero rotacias. Kiel tia montriĝis instigita oscilado de molekuloj de kvarc-kristalo, permesanta diferencigi la tempintervalojn ĝis 10^{-5} , anstataŭ antaŭe ĝis 10^{-3} , da sekundo. Per la novkonstruitaj horloĝoj oni ne nur pruvis neregulecon de la terrotacio, sed oni ankaŭ komencis mezuri deviojn de la reguleco kaj serĉi detalojn en ili. Poste oni eltrovis ankoraŭ pli regulan osciladon en diversaj atomoj kaj oni konstruis atomhorloĝojn. Oni tiel transiris al la potaga precizeco de 10^{-12} da sekundo.

Tio jam kondukis nin al la sojlo de nova tempuno, ĉar sufiĉas nek la sekundo difinita per la steltago, nek la sekundo enkondukita poste surbaze de la jara moviĝo de Tero. Oni nun serĉas novan etalonon por tempounuo, aŭ almenaŭ la novdifinon de sekundo, kiu kredeble estos pure fizika, ne plu ligata al astronomiaj aperaĵoj. Fakte nuna situacio estas tia ke por la praktikaj bezonoj oni devos baldaŭ integri tempon anstataŭ dividi ĝin. Nome ĝis nun oni havis grandegan naturan unuon (mezan suntagon kaj poste la tropikan jaron) el kiu oni derivadis la sekundon kiel unuon por la kutima vivo (kun dekonaj, centonoj ktp. por pli granda precizeco). Baldaŭ oni utiligos nur unuope neregistreblajn rapidajn oscilojn, kiujn oni devos integri — per diversaj teknikaj rimedoj — en pli grandajn tempunuojn.

Kun ĉi tiu revolucia ŝanĝo de la tempmezurado estas ligita ankaŭ ioma ŝanĝo de la fundamentaj konstantoj de astronomio. Adoptitaj iliaj valoroj estas kontrolitaj per novaj kalkulrimedoj kaj kun nova precizeco, utiligante ankaŭ esplorojn pere de sputnikoj kaj eksperimentojn per radaro. Por kelkaj el la konstantoj nova valoro estas ne nur pli preciza, sed ankaŭ iomete ŝanĝita, pro kio oni devis iom ŝanĝi ankaŭ la kunligatajn konstantojn. Pro tio oni devis adopti novajn valorojn por la tuta sistemo de fundamentaj konstantoj.

Mi ĵus menciis la utiligon de radaro. Jen unu nova teknika rimedo helpanta astronomiajn esplorojn. La radioastronomio kolektas radiojn alvenantajn de la Suno, planedoj, steloj, galaksioj, mallonge dirite alvenantaj el la ekstera mondo. Sed sciencistoj eksendis radiojn desur la tersurfaco al la ekstera mondo, por nun al la plej proksimaj astroj, por kapti ilin post ilia reveno. Tiajn eksperimentojn de esplorado, per kiuj homo iaspece etendis sian manon por palpi la plej proksimajn ĉielobjektojn, oni povas nomi »aktiva radioastronomio«. Oni uzas ilin plej multe por nevideblaj meteoroj, kiuj per tio fariĝis almenaŭ palpeblaj kaj oni ekkonis ilin multe pli bone ol antaŭe. Poste oni elsendis radiojn al la Luno, Suno, Venuso kaj Marso. Precipe grava rezultato el tiuj sendoj estas la konfirmo de la ĉielmekanike kalkulitaj distancoj kaj ilia pliprecizigo (oni konas, nun, ekz. la astronomian unuon, kun la precizeco almenaŭ dekoble pli granda).

Al ĉiuj tiaj teknikaj rimedoj, utiligataj preskaŭ ĉiam kombinitaj unuj kun aliaj (se ne rekte, tiam almenaŭ en la postaj prilaboroj de la plurflanke kolektitaj donoj), oni dankas ke precizeco sur multaj kampoj de esplorado kreskis tre kontentige. Mi menciis jam la precizecon de horloĝoj. Al tio ni aldonu ke angulan diametron de steloj oni povis antaŭe mezuri nur malofte kaj neprecize, kaj nun oni povas tion fari eĉ por steloj kies diametro estas nu $0''.0005$. Same oni nun scias multe pli precize la distancojn en Galaksio kaj ĝian rotacian rapidon. La tempo ne permesas al mi mencii multajn aliajn atingaĵojn kaj eniradi detalojn.

La nuna stato kaj la estonteco

El la dirita oni povas vidi, el ĝeneralaj trajtoj, el kio konsistas la lasta renaskiĝo de astronomio. Tia renaskiĝo sekvis ankaŭ multaj ŝanĝoj en la organiza flanko de astronomia scienco. Unue oni ofte sentas mankon de instrumentoj por la esplorado, kvankam oni ĉiam konstruas la novajn en diversaj landoj. Due la specialiĝo jam plene eniris ankaŭ astronomion, kiel ĉiujn aliajn sciencojn. Antaŭ malpli ol duonjarcento astronomio estis astronomio ĝenerale, eble kun iom pli

da inklino al pozicia astronomio, al astrofiziko aŭ al ĉielmekaniko. Sed nun neniu povas esti astronomo ĝenerale, ekz. inter astrofizikistoj ekzistas specialistoj por galaksioj, interno kaj atmosfero de steloj, strukturo de Galaksio, fiziko de la Suno kaj aŭ de planedoj ktp. Trie, la nombro de presaĵoj kreskis tiom multe ke tre malmultaj specialigitaj bibliotekoj povas havigadi ĉiujn librojn kaj periodaĵojn, ankaŭ pro tio ke astronomion koncernantaj artikoloj aperadas ofte en pluraj matematikaj, fizikaj, teknikaj kaj astronautikaj periodaĵoj. Io pli: antaŭe ekzistis bona kutimo, ankau pro kiu astronomio estis pleje internaciigita scienco, nome ke preskaŭ ĉiuj publikaĵoj estis senpage ŝanĝataj inter astronomiaj observejoj kaj similaj institucioj. Hodiaŭ ekzistas jam pli ol 200 diversaj gazetoj ekster la interŝanĝo (krom pli ol 300 interŝanĝe riceveblaj).

Malgraŭ referatjurnaloj, ne plu eblas kontentige sekvi la tutan literaturon de unuopaj specialecoj. Montriĝas jam la bezono havi specialigitajn revuojn. Sed tie aperas granda malfacilaĵo koncerne la financadon. La landaj revuoj estas ĉiam helpataj de unu aŭ de pluraj institucioj — tre malfote ili estas memfinancataj. Ja specialigitaj revuoj ne povas esti memfinancataj, pro malmultaj specialistoj de ĉiu unuopa fako en unu lando. Sed internaciskale ili verŝajne povus esti memfinancataj, almenaŭ post la komenca, naskiĝa, periodo. Do ni esperu ke la denove forta internaciigo de astronomio efektiviĝos pere de la internaciaj specialigitaj revuoj.

Antaŭ astronomio troviĝas nun larĝega esplorkampo. La estontaj eksteratmosferaj observejoj kolektados multe pli diversspecajn donojn pri kosmaj objektoj, ĉar oni registros radiadon el la tuta elektromagneta spektro. La plej interesa estos la kolektado de la X-kaj y radioj, serĉado de ilia deveno (laŭspace kaj fizikevolue). Tio ebligos pli multan scion pri la kvanto da interstela materio (multaj jam supozas ke la interstela hidrogeno laŭkvante superas la materion de ĉiuj steloj kune!). La paralela pli profunda esplorado de la magnetaj kampoj de la Suno, planedoj, steloj kaj galaksioj helpos ekscii pli multe pri konsisto de la kosmaj radioj, verŝajne ankaŭ revolucie plisimpligi bildon pri la atompantikoj (kiu bildo jam fariĝis tro komplika). Problemoj pri: antimaterio, vere universala valideco de la leĝo de Newton, la disvastiĝrapido de la gravita forto ktp., atendas respondojn ankaŭ de astronomoj. Por helpi tian respondon oni verŝajne transiros en astronomio ankaŭ al eksperimentado, per artefaritaj meteoroj (malgrandaj sed brilaj), kometoj k. s., ankaŭ per artefarita okultaciado de unuopaj astroj.

Kion alian diri pri la estonteco? Esti profeto estas tre malagrabla tasko, precipe kiam temas pri ankoraŭ komenca periodo de la erao de astronomio. Sed unu tiurilata sento persekutas min kaj mi devas diri ĝin. Nome oni povis rimarki ke mi donis la titolon »La lasta renaskiĝo de astronomio«, anstataŭ la lasttempa renaskiĝo de astronomio«. Tio ne estis la okaza lingva eraro, sed ĝi estas intence dirita. Jen mi provos klarigi la kialon.

Astronomio tiom multe larĝigis sian esplorkampon ke ĝi treege miksiĝis plejparte kun fiziko kaj matematiko. Por esti specialisto en kiu ajn parto de astrofiziko, oni bezonas multon pli da fizikaj ol da astronomiaj scioj. Same okupiĝo per kiu ajn teori'astronomia specialaĵo postulas ne multon el pura astronomio sed multon el matematiko. Eĉ en la pozicia astronomio oni devas koni nemalmulton el matematiko kaj el fiziko. Diplomita fizikisto multe pli facile ol diplomita astronomo aliĝas al scienca esplorado en astrofiziko, eĉ inĝenieroj pli facile ol astronomoj en iuj problemoj, precipe kiam koncernas radioastronomion. Same matematikisto aliras al ĉielmekaniko multe pli libere ol astronomo. Ofte eĉ diplomitaj mekanikistoj kaj inĝenieroj kuraĝe kaj sukcese aliras al teoriaj problemoj de astronomio.

Se ni eliras de la ĝenerala praktiko ke oni devas iun fakon studadi unue ĝenerale, kaj poste specialigi iun ĝian branĉon, estas pli racie studadi fizikon ol studadi astronomion, por poste specialistiĝi kiel astrofizikisto aŭ geofizikisto. Same estas pli racie studadi matematikon aŭ mekanikon, ol studadi astronomion, por specialistiĝi en iu teoria problemaro de astronomio. Se oni tion forprenas de astronomio, kio do restas por pura astronomo — restas nur pozicia astronomio! Sed ankaŭ ĝi fariĝas miksaĵo de matematiko kaj de instrumentokono. Eĉ tie matematikisto, kiu sufiĉe frue decidiĝis por tia agadkampo, eniras tre rapide la esploradon, precipe kun helpo de teknikistoj. Fine multegajn jam kompleksajn problemojn devas esplori radi teamoj. Por tiaj teamoj iam eĉ ne necesas la partopreno de pura astronomo; se tio necesas, tiam sufiĉas nur unu ĝenerala konanto de astronomio, aŭ eventuale specialisto por la pozicia astronomio.

Jen pro kio, kuraĝante rigardi en la estonton, mi antaŭvidas la disŝiron de la klasika astronomio en aliajn sciencojn, eventuale kreadon de novaj memstaraj sciencoj, kombinitaj el astronomio kaj el branĉoj de aliaj sciencoj (ekz. astrofiziko verŝajne tute memstariĝos). Pro tio mi intence diris »la lasta renaskiĝo«, ĉar mi kredas ke post la nuna venos neniu nova renaskiĝo de astronomio.