

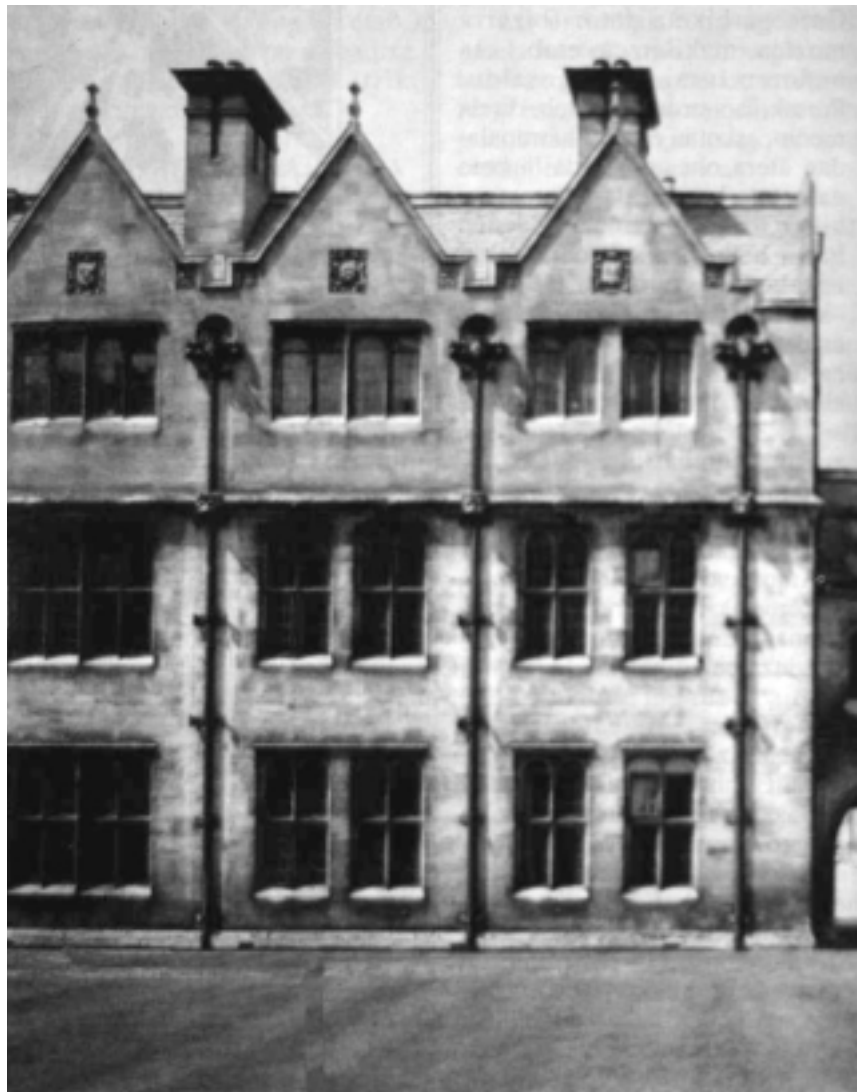
ERRENAZIMENTUKO

FISIKA

L. M. Bandres Unanue

GAUR egun Fisikak hartzen duen esparruaren ikerketak, Errenazimentu-garairan trantsizio-aro bat izan zuela esan behar da. Fisika modernoa XVII. mendearen erdira arte ez zen gauzatu, aldi hartan hasi bait zen mundu fisikoaren fenomenoen adierazpen eta ikerketan lanabes matematikoa erabiltzen. Matematikaren nahiz astronomiaren arloetan XV. eta XVI. mendeetan oinarrizko aldaketak gertatu baziren ere (lehenengoan problemen planteamenduan abstrakzioaren eskutik eta bigarrenan kopernikar sistemaren ildotik), Fisikan ez zen horrelakorik gertatzen.

Hau ulertzeko alde zurririk bideari begiratzen badiogu, hau da, aurreko mendetakoari, ezberdintasun honen arrazoia argi agertzen da. Astronomiak eta Matematikak aro klasikoan hurrengo mendeetarako eredu izango ziren garrantzi handiko lan bana ezagutu zuten, hots, Euklidesen *Elementuak* eta Ptolemeoren *Almagesto* izenekoak. Aldiz, Fisika klasikoaren esparruan ez zen horrelako lanik ezagutzen. Fisika grekoaren lan bikainena Ar-



kimedesena da (bai edukiera aldetik eta baita geroago zientzia hau jarraituko zitzaion bidearen aldetik ere), baina ez zuen inondik ere aipatutako bi lan horien gorputzik eta ezta haien biribiltasunik eta orokortasunik ere. Horrez gain, honako hau esan behar dugu: Arkimedesen fisika Errenazimentua nahikoa abiatua ere ia ezezaguna zela.

Fisikaren arloan, beste mila arlotan bezala, Greziaren garaitik XVI. mendearen bitartean erreferentzi puntua Aristoteles zen. Fisika hura guztiz kualitatiboa zen eta bertan (problema mekanikoak nagusi zirelarik) matematikak ez zuen inolako tokirik. Horregatik, Fisika modernoaren aroa higiduraren eta bere kausen trataera matematikoarekin hasi zela jakiteak ez gaitu harritu behar.

Pariseko Unibertsitateko Behe-Erdi Aroko eskola nominalistak, Aristotelesen higiduraren teoriari kritika sakona egin zion. Problema

hauei buruzko erantzuna *impetus*-aren teorian gelditu ohi zen. Bestalde, nominalistek eta horiek baino lehenago eskolastiko batzuek, (nahiz eta oso era apalean) fisikaren arlora nola edo hala matematika lanabesa sartu zuten. Aristotelesengandik kantitatea eta kualitatea bi kategoria guztiz desberdinak ziren eta bien artean ezin zen inongo erlaziorik ipini. Erdi Aroko pentsalari hauentzat kualitatea zenbakiz neur zitekeen zerbait zen, hots, kualitateekin, kantitateekin egiten denaren antzera, mailaketa egin zitekeela pentsatzen zuten.

Oxford-eko usadioa

Eskolastikaren kezka ez zen inoiz problema zientifiko bereizitatzat ebazpena lortzea. Aldiz, behin edo behin problema zientifikoaren bati heltzen bazioten marko filosofiko orokor baten barnean hartzen



Pragako Udaletxe zaharreko erloju astronomikoa



Oxford Unibertsitateko Merton kolegioa. Arrakasta handia lortu zuen hitz-algebraren metodoak Oxford Unibertsitatean

zuten; gehienetan adibide bezala hartuz eta ez bestela. Beren ardura batez ere alde metodologikoa zaintzea zen. Hala ere, XIV. mendean zehar geroago zientzia modernoaren sorreran oso emankor izango ziren naturaren fenomenoek ikerketarako ikuspegi berriak plazaratu ziren. Guzti honen adibide gisa, Grosseteste nahiz Witelo edo Freideberg-eko Teodorikoren idazlanak dauzkagu. Hauek eta beste batzuek higidura ikertzeko matematika nola edo hala erabiltzen saiatu ziren. Hasiera-puntu bezala gaur egun erlazio funtzionala esango genukeena dago, hots, kausa eta efektuen arteko kontsiderazio sistematikoa. Ikuspuntu honen arabera edozein fenomenoaren adierazpena funtzio algebrako baten bidez eman zitekeen, baldin eta behar ziren baldintza guztiak ezagutzen baziren, noski; hau da, aldagai independente eta dependenteen arteko lotura aldarrikatzen da. Erlazio funtzional hauen adierazpena bi metodoen bidez gauzatu zen. Lehenengoa, hitz-algebra esaten dena da. Hau Brawardinok erabili zuen bere mekanikari buruzko idazlanetan; hauetan orokortasuna lortzeko kantitate aldakorren ordean alfabetoko letrak erabiltzen zituen, baina eragiketa matematikoak (batuketa, biderkaketa, etab.) adierazteko hitzak behar zituen. Metodo honek Oxford-en arrakasta handia lortu zuen.



Su-argamintzak garapen handia izan zuen XVI. mendean. Arma txikiek ez zeukaten problema teorikorik, baina handiek punteri arazoak sorterazen zituzten

Erlazio funtzionalak adierazteko beste era bat, bide geometrikokoa zen. XIV. mendearen hasieran Oxford nahiz Parisen kualitate baten *intensioaren* adierazpena koordinatu zuzenen bidez egitea oso zabaldua zegoen. Bide honen asmatzailetako bat Dumbleton-eko Joan zen. Honek bere *Summa logicae et philosophie naturalis* izeneko liburuan bere garaiko fisikaren adierazpen kritiko osoa egin zuen.

XIV. mendean zehar aldaketa kualitatiboak kuantitatiboki adierazten saiatu ziren zientzilariak eta honek bere ondorioak ekarri zizkien matematikaren nahiz fisikaren arloei. Adibidez, Ockam-entzat denborari objektibotasuna emateko bide bakarra higidura uniformearen duen gorputz baten segidako posizio guztien adierazpena baino ez zegoen, eta horretan oinarriturik gero beste edozein higidariren higiduraren iraupena konparazio bidez eman zezaketen. Medikuen artean hotza eta beroa adierazteko nolabaiteko mailakaketa numerikoak ezagutzen zituzten. Oso zabaldua zegoenak hotzaren nahiz beroaren mailakaketa taldetan banatzen zuen. Kontsiderazio guzti hauek garrantzi



Roger Bacon, XIII. mendeko filosofo eta zientzilari ingelesa

handia daukate, zeren garai hartan indarrean zegoen fisika aristotelikoa pikutan jartzen bait zuten eta, bestalde, erabil zitezkeen neurgailuen egoera eskasa kontutan eduki behar da: ur- eta hondar-erlojuak (geroago mekanikoak; pendulu-erlojua 1657ra arte ez zen asmatuko) eskuairak, konpasak, balantzak, luzera, bolumena eta pisuak neurtzeko merkatariek erabiltzen zituzten tresnak eta neurgailu astronomiko bat edo beste bakarrik zeuden.

Neurketen eta esperimientuen erabilpenaren metodoa Oxford eta Parisetik Alemania eta Italiako unibertsitateetara iragan zen. Metodo honen defendatzaile sutsuenetako bat Cusa-ko Nicola zen: metalen eta *espirituen* (merkurio, gatz, sufre, amoniako eta arsenikoaren) barnean lehen elementuak zenbat eta zein proportziotan zeuden jakiteko balantza nola erabili aditzera ematean, materiaren kontserbazioaren ideia esaten digu. Imanaren *bertutea* adierazteko balantza neurgailu gisa ere proposatu zuen. Airearen pisua neurtzeko nolabaiteko higrometroa asmatu zuen, etab., etab.

Hala ere, eskolastikoen kualitateak kuantifikatzeko egin zituzten

saiakuntzak eta zientzia modernoarenak oinarrian desberdinak dira. Alde batetik, beren lan teorikoetan datu errealak ez dira agertzen, hau da, matematika aplikatzea ez dator behaketatik; elukubraziotik, baizik. Bestalde, beren orokortasunerako joerak gauza guztien gainetik logikaz arduratzera eta bide batez estrapolazio absurduenak egitera bultzatzen zituen. Beraz, guzti hau zientzia modernoaren aitzindari bezala kontsideratzeak badu bere arazoa. Hala ere, metodologia honek geroago etorriko zen haustura epistemologikoan izan zuen eragina ez dago ukatzerik.

Impetusaren eskola

Teoria hau Oxfordeko pentsalarien artean agertu eta hedatu zen, baina bere formulazio osoa eta garatua geroago Parisen lortu zuen eta azkenik XVI. mendearen ia bukaera arte Europako unibertsitate guztietan hartu zuen bere lekua. Leonardo da Vinci, esaterako, errenazimentuko zientziaren arketipotzat erabili izan dena teoria honen morroi zela esan behar dugu eta beste aldi batzuetan historialariek higiduraren teoriari gizon honek egindako ekarpen bereziak kontsideratu dituztenean, gehienetan Pariseko eskolastikoen egokitzapenak baino ez direla ikusi da. Bestalde, Galileoren gaztaroko higidurari buruzko lanak eskola honekin erlazionatuta daudela argi dago.

Eskolastikoen aristoteliar higidura-tesietan batez ere bi zailtasun aurkitu zituzten: proiektilen eta pieza astunen higidurak, hain zuzen. Aristoteles eta bere jarraitzaileentzat, inertzia dela eta gaur ez bezala kausa higidura zen eta ez gelditasuna. Beraz, gorputz batek higidura izan dezan berarekin kontaktu fisikoan eta etenik gabe kausa eragile bat izan behar du. Kausa eragile edo bultzatzaile hori eten egiten bada, higidura bertan behera gelditzen da. Bestalde, honako hau onartzen zuten: bitarteak higikariari kontrajartzen dion eragozpenak konstante irauten badu, bere abiadura ezar-

tzen zaion indarraren araberkoa izatea. Beraz, nola adieraz genezake pisua duten piezen erorketan ikusten den azelerazioa? Gezia zergatik ez da lurrera jausten arkuaren lokarriarekiko kontaktua galtzen duen bezain laster? Teoriaren eta ikusten zenaren artean zulo handia zegoen.

Aristotelesen jarraitzaileek nola edo hala adierazten zituzten desadostasun hauek. Adibidez, proiektilen higidura jarraia adierazteko airean hasierako bultzadak sortutako aldaketa onartzen zuten, hau da, muturraren aurreko airea bultzatu eta konprimatzen zen heinean, berehala atzera pasatzen zen eta han inolako hutsik gerta ez zedin (beraizentzat onartezina zen hori)

proiektila bultza egiten zuen. Leonardo da Vincik nahiz garai hartako artilariek eritzi hau onartzen zuten. Pisua duten piezen higidura adieraztekoan eta higidura azeleratua dela ikusiz, airean oinarritutako beste argudio bat erabiltzen zuten, hots, gorputza lurrazaletik zenbat eta hurbilago egon, bere gainean dagoen atmosferaren pisua hainbat eta handiagoa da eta bere azpian dagoen aire-zutabearen eragozpena txikiagoa. Beraz, gorputza azeleratu egiten da.

Higiduraren teoria honi egindako kritikarik sakonena (beste batzuk ere egon ziren lehenago eta geroago) XIV. mendean Oxford eta Parisen sortutakoak dira. Hau Pariseko unibertsitatean bi aldiz



Errenazimentuan arte mekanikoen lehen maila lortu zuten lan teorikoekin bat eginez

Tartaglia



errektore izan zen Joan Buridanena da. Honek bi liburutan, *Quaestiones super octo libros physicorum* eta *Quaestiones de coelo et mundo* izenekoetan, *impetusaren* teoria gorpuztu zuen. Teoria honen abiaburuan, higidurarako motore baten beharra dago eta beraz, nolabait, aristoteliar teoriaren azken garapentzat kontsidera daiteke. *Impetusa* honako hau zen: higitzen ari izateagatik gorpuzteak hartzen zuten berezitasun bat. Proiektiletan *impetusa* etengabe txikiagotuz doa; airearen eragozpenagatik nahiz lurrrerantz dagoen grabitateagatik. Pisua duten piezen kasuan, *impetusa* higiduragatik gainjartzen zitezaien grabitatea bezalako zerbait zen. Horrela, beren azelerazioa segidako *impetusen* baturaren ondorio zen. Edozein gorpuztean *impetusa* bere materi kantitatearen eta abiaduraren arteko biderkadura zela kontsideratzen zuten.

Besteak beste, teoria honen meritua higidura ortzeko nahiz lurreko dinamika bakar baten bidez adieraztea da.

Analisi-bide honek errenazimentuan zehar bere islada izan zuen. Cusa-ko Nicola esate baterako, bere jarraitzaile agertzen da eta baita Leonardo da Vinci edo Kopernik ere. Cardano-k bere *De subtilitate* (1550) izeneko lanean ez erabat, baina neurri batean onar-

tzen du.

Zientzia eta teknika

Erdi Aroko mendeetan zehar aldaketa teknologikoaren oinarri sendoak ipini ziren, baina ingurugiro ekonomiko, filosofiko edo soziala ez zen aldaketa hori gorpuzteko egokiena. Merkatalgoaren hazkundea nahiz burgesiaren garapena, gorpuzketa honen eta bide batez mundu modernoaren sorreraren eragile izango ziren. B. Gille-k esan zuen bezala: XV. mendearen bukaeran teknika bihurtu zen gizarte modernoaren iharduera nagusitako bat. Zer esanik ez, artean teknikaren eta zientziaren arteko harremanak oso urri ziren. Dena dela, giroa aldatuz zihohan. XIII. mendean zegoeneko Roger Bacon-ek haxe utzi zuen idatzita: *Ahal izango banu, Aristotelesen liburu guztiak erreko nituzke. Bera estudiantzea ez da denbora galtzea; errakuntzarantz gidatzea eta ezjakintasuna areagotzea baino*. Eta geroago: *ken itzazue zeuen buruak dogmen manupetik eta autoritateen agintepetik: begiratu munduari*. Pentsa daitekeenez, bere garaian mezu iraultzaile honek ez zuen inongo arrakastarik izan. Hala ere, korrante baten joera adierazten du. Quattrocentoan adibidez, aurreko mendean onartezina zenak askoz giro egokiagoa aurkituko zuen eta

hori ulertzeko gertatutako aldaketa sozialak hartu behar dira kontutan; besteak beste zientzia eta teknika-aren arteko hastapenetako uztarketa.

Grezia klasikoan arte liberalen (hau da, gizaki libreek praktikatzen zituztenen) eta arte mekanikoen (hots, esklabuek erabiltzen zituztenen) artean kontrako jarrera izugarria zegoen. Jarrera hark Erdi Aroan zehar iraun zuen. *Teorikoek* (hau da, filosofo nahiz teologo edo unibertsitateko irakasleek) esate baterako ospe eta izen handia zuten bitartean, *praktikoek* (artisau nahiz injineru edo arkitektoek, hau da, beren eskuak erabiltzen dituzten horiek edo beren lanak ekoizpenarekin zuzenki erlazionatuta dauzkatenek) mesprezuz hartzen ez baziren ere askoz maila apalagoan daude.

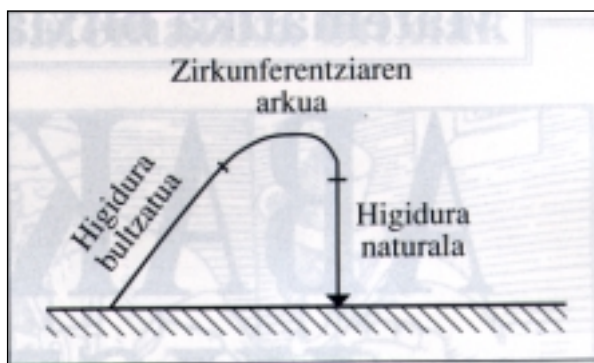
Egoera hark aldaketa sakona jasan zuen Errenazimentuan. Meatzaritzako teknikariak, arkitektoak, erlojugileak eta artisau guztiak, natura menderatzeko zeukaten boterea zela eta errespetuz hartuko zituzten. Horregatik, *arte mekanikoak* lehen mailara pasatu ziren lan teorikoekin bat eginez. Ildo honetan teoriko batzuk *arte mekanikoen* defentsa edo goraiapamenean saiatu ziren eta beste batzuk egoera teoriko hutsaren aurkako borrokan. Bernard Palissy-k adibidez (Pariseko zeramikagile ezagunak) 1580ean bere *Discours admirables* argitaratu zuen, non garai hartan Sorbonan irakasten zen kulturaren aurkako mila arrazoi aurki bait daitezke. Benetako filosofia natura aztertzearen artea baino ez dela aldarrikatu zuen, hau da, denok (eta ez filosofoek edo teologoek bakarrik) egin dezakegun zerbait. Palissy bezala mende bereko Rabelais, Luis Vives edo Andrea Vesalius aipa ditzakegu. Denak, ikasketa teorikoak baztertu gabe (alderantziz baizik) iharduera teknikoen alde agertu ziren, hau da, espekulazio edo liburu-mailako ihardun hutsaren aurka ezagumendu positiboaren alde, nola edo hala Aristotelesen zientziaren kontzeptua arbuiatuz. Handik aurrera mende hartan gertatutako ezkontzak oraintxe arte iritsiko ziren fruituak emango zituen.

Higidura eta estatika

XVI. mendean su-armagintzak

izandako garapena zela eta, proiektilen antzinako problema berriro agertu zen, baina oraingoan ikuspegi praktikotik planteatuta. Arma txikiak hobetzen ari ziren bitartean, kalibre handiko kanoigintza hasi zen Alemanian. Arma txikiak problema teorikorik ez zeukaten, baina handiek bere potentzia handiagoa izan ahala, punteri arazoak sortezten zituzten. 1537an Tartagliak *Nova sciencia* liburua argitaratu zuen eta zientzia berri hura balistika baino ez zen. Liburu haren bitartez, artean jakituria enpirikoa baino ez zenari adierazpen teorikoa egokitu nahi zion. Filosofia erabat bazter utzita (liburua teknikariek erabil zezaten idatzi bait zuen), matematikaren bitartez heltzen dio lanari. Tartagliak euklidear bide bat hartzen du: hasieran axioma eta balizko batzuk jartzen ditu eta beraietik proiektilen ikerketa dinamikorako ondorio batzuk ateratzen ditu. Hala ere, berak erabiltzen duen mekanika ohizkoa da. Horregatik, higidura naturala ala bultzatua izan

Proiektilen ibilbidea



daiteke eta erorketa askea da dagoen higidura natural bakarra. Higidura naturalean higikariaren abiadura handiagotuz doa abiaburutik urrundu ahala edo helmugara hurbildu ahala. Higidura bultzatuan zeharo alderantziz gertatzen da. Bi higidura-mota hauen arteko berezko desberdintasuna dela eta, biak batera gertatzea ezinezkotzat jotzen du. Beraz, higidura naturala bultzatua bukatu bezain laster hasten da eta honekiko tangentea da. Nahiz eta orain esandakoarekin eta behake-

tekin bat etorri ez, proiektile ibilbidea marraztuta hiru fase erakusten ditu: bi ibilbide zuzen zirkunferentziaren arku batez lotuta alegia.

Ia hamar urte geroago beste liburu bat idatzi zuen: *Onestiti et inventione* izenekoa. Bertan, proiektile higiduraz aztertzen duenean bertikala ez denean higidura bultzatu guztien ibilbidea kurbotzat onartzen du. Hala ere, garrantzi handiko puntu hau ez zuten arretaz hartu.

Higidura alde batera utzita, 1586ean Estatikarekin egiten dugu topo. Urte hartan Simon Stevin-ek nederlanderaz estatikari buruz bere *De beghinselen der weeghconst* liburua idatzi zuen eta pixka bat geroago aplikazioei buruz beste bat eta gero hirugarrena hidrostatikari buruz.

Estatika bi liburutan banatzen da. Bertan pisuen arteko orekaren propietateak eta irudi launen eta solidoen grabitate-zentruak ikeretzen dira. Hasieran, definizio eta postulatu batzuk eman ondoren, bertikalki tiratzen duen zenbait pisuren kasua (palanka ulertzeko) ikertzen du. Geroago indar inklinatuen kasua arakaten du, plano inklinatua sartuz. Lokarri batez batutako eta prisma trianguluar batetik zintzilikatutako pisu-multzo baten ikerketatik, indar-paralelogramoaren ideia sortu zuen, geroago makina konplexu batzuetan erabiliz.

Hidrostatikaren arloan Stevin-ek Arkimedesen garaiaz gero lehenengo lorpen berriak eman zizkigun. Ontzi komunikatuetan diametroak edozein izanda ere likidoak orekan daudela egiaztatu ondoren, honako hau frogatu zuen: hondoaren gainean dagoen presioa, likidoaren altuerarekin bakarrik dagoela erlazionatuta. Geroago aldeetako hormen presioaz arduratuko zen, horma kurbatuen kasu



Simon Stevin