

## EGUNGO FISIKAZ

ELHUYAR-en Ekainileko alean, M. Zalbide-k NATURAREN ATOMOAK idazpurupean eman zuena irakurri-berria dut. Lan interesgarria, noski, atomoaren zer-denaz zerbait ikasi nahi dutenentzat. Hala ere, jakintzaren aldetik begiratuz gero ba dira lan horri buruz egin beharreko zenbait ohar.

MATERIAREN EGOERAK deritzan zatian honela diosku, hitzez-hitz, idazleak: "Egin dezagun kontu, edozein gorputz bat oso tenperatura ttikian dugula, zero guztizkoa (-273 C°) izeneko tenperatur azpimugatik hurbil. Kasu horretan, molekula guztiak, diren eratakoak direla, geldirik daude; materia jelatua dago. Molekulak eta beren atomoak geometriazko forma regular samarretan daude bilduak (kristalak) eta molekulen arteko indarrek multzo osoaren gogortasuna eragiten dute: muga-tenperatura horren inguruan gorputz guztiak egoera solidoan daude".

Zati hortan diona aztertzeari ekingo natzaio, hori horrela ote den ikusteko asmoz, fisikari buruzko oinarritzko ondorioak bait-darizkie aldatu ditudan *lerro hoi*ei.

---

Barautza, lanean diharduala, berotu egiten da; beroak, ura lurrunarazi eta trenea erabili darabil; eletra-indarrak argia eta beroa sortarazten ditu; metal zati bat berotu, eta argi-iturri bihurtzen da; e.a.

Egun, gertakari guztiotan zer bakar baten, hots, energiaren itxura-aldakuntza batzu baino ez daudela guztiok dakigu; mugitzea, beroa, eletra-indarra, argia, ... energiaren azaltze-era bereizi batzu ditugu beraz.

Fisikalariek hortaz jabetu izana ez da, ordea, aspaldikoa. Newton-en garaian, zegoaneko, energiak mintzatzen ziren, baina hitz hori higitze-energiari buruz baizik ez zerabilzela; "v" laistertasunez dabillen "m" higitzaiztasungai baten oldarra

$$1/2 m v^2$$

dela jakin ba zekiten, baina orduko fisikalariek oldar hori bultza (mv) baino garrantzi gutxiagokotzat jotzen zuten.

Orduan, eta harrezkero ere bai, beroarekikoak adibidez "kaloriko" litzatekeen zerbaiten ixuri eta trukaketen bidez ulertzen saiatzen ziren. Noizbait, halabeharrez noski, energia hitzaren esanahia zabalagotu beharra heldu zitzaien; izan ere,

ontzi baten barruan dagoen gas bat berotuz gero zapotzari bultz egiten diola ikusi eta hor beroa oldar bilakatzen dela agerian dago.

Horri, beroa eta oldarra zer bakar baten bi agertze-gisa direla baiestea dario eta horixe dugu, hain zuzen, Bernouilli-k gasen higikunde-teoria ematean egin zuena. Ustari horren arabera, gasa osatzen duten alexkak eten gabeko ibilian dabilta; bere joan-etorrietan, zapotza jotzen duen bakoitzak bultzatxo bat egiten dio, denen artekoak zapotzak jasaten duen indarra osatzen duela. Beroak, beraz, aleen ibilkera biziagotuz bere oldarra gehitu eta indar hura, bidebatez, nahi eta ez handiago egin behar.

Beraz, ale baten oldarra eta beroa funtsean bat direnez gero, bata nahiz bestea neurtuta atera diezazkigunek elkarri nolabait lotuta behar dute, noraezean; hala ere, berotasun-maila neurtzeko gradoa alietzera hautatu dugunez gero (1), bi neurketak (oldarraren bidezkoa eta beroaren bidezkoa) berdin atera daitezten biderkari bat beharrezko gertatzen da. Biderkari horri Boltzmann-ena deritza, "k"-z izendatzen da, eta helio-atomo batentzat

$$3,298 \times 10^{-24} \text{ kaloria/grado bakoitzeko}$$

balio ditu; horrela, alçaren, "x" alderako laisterrasuna "Vx" baldin bada,

$$1/2 m Vx^2 = 1/2 k T \quad (2)$$

Gas-atomo batek, ordea, "x" alderako bideaz gainera "y" eta "z" alderakoak ere har ditzake (luze-zabal-sakonon alderakoak alegia); hiru "askatasun-maila"-ren jabe dela esan ohi da eta bere energia, oro har

$$3/2 k T$$

izango da.

Orain arte eman ditugunak atomo bakar bati zegozkiola, ontzi baten dagoen gas guztiari buruzkoak zehatz jakin ahal izateko gauza ez liratekela agerian dago. Zorionean, ;avogadro-k zera atera zuen: Edozein gaizko atomo-gramo baten (3), beti.

$$6,023 \times 10^{23}$$

atomo daudela. Beraz, Boltzmann-enaren eta Avogadro-naren biderketa egin, eta atomo-gramo batentzat

$$1,986 \text{ kaloria/grado bakoitzeko}$$

ateratzen da; hain zuzen, gasei buruzko Gay-Lussac-en legean ( $pV = RT$ ) ezal-  
tzen den R-ren balioa.

---

Orain artekoetan irudimen hutsezko gas jator batez jardun dugu, atomoen arte-  
ko erakar-indarririk eta toki-mugatzerik gertatuko ez bait-litzan. Egiatzko gasetan  
indar eta mugaketa hoik egon ba daude, baina aleen arteko bitarteak handiak  
direlarik beste hoik ez dira aintzakotzat hartzeko eta gasok jatortzat jo daitezke,  
esateko alderik gabe.

Besterik da, ordea, gai trinkoagoez jardun nahi badugu. Hoietan atomoak eta  
molekulak elkarregandik hurbil daude, eta ez daukate gasetan bezala ontzi osoa  
zehar ibiltzerik; aitzitik, elkarri tokia mugatzen diotela, bakoitza gelatxo baten  
barruan bai-legeon dabilta alde baterik besterainoko bide laburra behin eta berriz  
egiten, zabuka lebilken pixu baten antzeratsu.

Baina zabuka dabillen pixu baten ibilkeran aske dabillen batenean ez bezelako  
batzu gertatzen dira, energiari buruz. Zabua-aldi bakoitzean, pixua bera bidearen  
gorenkotik behera abiatzen dela bere laistertasuna (eta oldarra ere bai beraz)  
handiagotzen dijoa; beherenera irixtean da oldar bizienaren jabe, handik aurrera  
berriz gutxitu eta beste aldeko goren-mugan hutsa izateraino, eta beste alderuntz  
abiatzen delarik hori bera behin eta berriz gertatzen zaiola.

Zabu-azta bere bidearen gorenean dagoen unean ez dago, beraz, inõlako oldarririk  
bainan oldar-gisa azalkizun den nolabaiteko energia bat bai ordea. Bidearen behe-  
netik goruntzakoan oldarraren bizkarretik hazten den hori energia pillatua dugu  
("energia potencial").

Boltzmann-en "k"-z geniharduera, oldarra hiru aldetarakoa izan zitekeela eta  
hiru "askatasun-maila"-n jabe zela genion. Energia pillatuari ere beste horren-  
beste dagokio eta, beraz, atomo bakarraren energia

$$3(\text{oldarrari dagokiona}) \times 3(\text{energia pillatuarena}) \times 1/2 k T$$

izango da; Avogadro-n zenbakiaz bidertuta,

$$\text{zekiten} \quad 5,95 T \text{ kaloria}$$

Dulong eta Petit-ena deritzan lege honek dionaren arabera,  $0^\circ$  K-etan inõlako  
energiarik ez legokenez gero atomoak eta molekulak erabat gelditu leudeke.

Hori horrela balitz Zalbide-k diona gertatuko litzateke, hots, gai guztiak eskon  
(sólido) liratekela.

Bainan lege horri ba dario beste ondorioz ere, horren arabera edozein gaizko atomo-gramo bat (aluminiozko 27, burdiñazko 56 eta urrezko 197 gramo, adibidez) grado bat berotzeko beti 5,9 kaloria beharko liratekela erakusten bait-du Hortik azaldu zen lehenik, hain xuxen, lege horren orokortasunik eza, zenbait gaietan ez bait-da zehatz betetzen; diamantezko atomo-gramo batek, esaterako 5,9 kaloria hoiere herenik ere ez du behar grado bat berotzeko.

Nernst-ek hortik zera atera zuen:  $0^{\circ}$  K-etan ere ba dela, oraindik, nolabaiteko energia bat; "hutsango energia" horren zer-denaz eta zeri darionaz jabetzeko, ordea, bide luze bat egin eta Planck-en eta Einstein-en egunetaraino iritxi beharko dugu.

---

Horretarako, esti egin eta fisikariek energia-mota nabarmenenaz (argiaz alegia) izan dituzten iritziak aztertzea bide da erarik egokiena.

Argia kiza-jario bat delakoan irauin zuten luzaroan jakintsuek. Izan ere, uste hori erabat gogobetegarri zitzairen, orduan ezagun ziren argiaren ispillatze eta bideokertzea ulertzeko aski bait-zen.

Orduko fisikarieren ustetan, argia ispilluan pilota bat orman bezelaxe islatzen zen, sartu bezain saihets atereaz. Argi-izpi bat hedaleku batetik beste batera igarortzean berriz (haizetatik uretara, adibidez), bere saihetsgoa hedalekuaren zailtasunaren neurrian aldatu egin behar, haizetatik uretarakoan zutiagotuz eta alderantzizkoan etzanagotuz, alegia.

Bainan horra, noizbait (Fresnel-ek eta Huygens-ek batez ere) argia alekor izate horrekin ezin josi zitezkeen gertakari batzu aurkitu. Adibidez: Behar bezala hautatutako bi argi-izpi bata bestearen gainean erakus-zapi baten bilduz gero, zapiaren zati hark argi betean azaldu behar zukeela esan zitezkeen bainan, horrela gertatu beharrean, zapiaren argiuneak eta illununeak agertzen zaizkigu, tarteka.

Adibidezago: Zirrikitu batetik datorren argiaren bidean zapi bano lehen ille bat edo jar badezagu, zapiaren ez da illearen erraiñu bakar bat izango, batzu baizik.

Argi-izpien elkar deusezte eta lits-urratze hoiek argiarekiko usteak aldarazi egin behar, halabeharrez, argia alekor halitz ulerteziñak bait-lirateke. Hoik direla eta, argi-iturri bakoitza ugin-saldo baten sorburu delako ustera makurtu ziren fisikaririk; ugin baten bizkarra eta beste baten sakonunea batera gertatzen diren tokietan elkar duseztu eta illununea azaltzeak bidezko dirudi horrela.

Saiaketa hoietan zihardutenak ahalik eta xirrikitu estueneren billa metal-zati bat txalpaldu eta molekulen arteko tarteez baliatuz jo zutenean beste aldean argiuneak

eta illununeak sortzen zirela ikusteak ere argia uginkor denaren ustea bete-betean egiztatu zuen; metalen molekula arteko bitarteak asko izaki, sortzen diren urraztirudien (5) argiune eta illununeak biribileran gertatzen dira, argiaren uginkortasunari darizkion ondorioei zehazki darraizkiela.

Edozerk, berotuz gero, energia dario, eta energia hori argi-itxuran, bero-itxuran nahiz irrati-ugin gisako azaldu, beti bat eta bera dugu, eletra-imantasunezko energia, azaltze-era hoik ugiñaren sarritasuna dutela elkarregandiko bereizkuntza bakar. Argiaz geniona eletraimantasunezko energiari oro har bete-betean dagokio beraz.

Hori izan zuen Planck-ek, metal beroei darien energia, bere saiaketan gai, eta aurkitu zituenek uginkortasunazko ordurarteko ziurtasuna erabat itzulipurdikaturik utzi zuten. Izan ere, hona hemen atera zitzaiona: ;ekaiak energia darion nahiz zurruputzen duen guztietan, jario eta atzitze hoik etenik gabe ez, bainan aleka gertatzen direla, diteken alerik txikiena

$$6,62 \times 10^{-27} \text{ erj} \times \text{segundo}$$

delarik; lana astiaz koiztuz ateratzen da eta ez dagokio, beraz, hiru neurrizko munduan gertatzen den zerbaiti, lau neurrizkoari baizik.

“h” izendatu ohi da, eta “egintza”-zko (lana astiaz bidertzeak ematen duena dugu delako “egintza” hori) daiteken alerik txikiena dugu: Egintzazko “kuantoa”  
Einstein-ek eman zuenez, argiari datxekan energia

$$e = h v$$

dugu, idazlabur hortan “v” argi-ugiñaren sarritasuna dela.

Harrezkero energia-trukaketez egin diren saio eta neurketa guztiek kuantoaarena iñolako zalantzarik gabe egiztatu dutenez gero, hona hemen orduko fisikaren egoera: Argi-urraketa ulertu ahal izateko argia uginkor dela onartzeak noraezko zirudien baiñan, bestalde eta erabat alderantziz, Planck-ek alekor dela garbi ziurtatu zuen. Hogei urte luzetan bitasun hori fisikalariei askaeziñeko korapillo gertatu zitzaien; Bragg-ek zionez, astelen, asteazken eta ostiraletan bat eta asteartea, ostagun eta larunbatetan bestea sinistea zateken, anabasa hontan, aterapide bakarra.

1924.garrenean, berriz nahasketa oraindik nahasiagotu egin zen. Broglie-k eletron-jarioak (alekorak beraz) zirrikitutatik pasarazi eta argiarekingoetan bezelakoxe urraztirudiak ematen dituztela baieztu zuenean. Izan ere, Planck-ek uginkortzat geneukan argia benetan alekor dela erakutsi zigun, baiñan gero

Broglie-ek uginkortzat geneukan argia benetan alekor dela erakutsi zigun, baiña gero Broglie-k egiztatu zuanez alezko jario bat (eletron-jario bat) uginkor ere ba denaz jabetu gara. Egia esan, aldi hartako fisikariak erotu eta zernahi gerta zitekeela zirudien.

Born-ek aurkitu zion korapillo horri bere askapidea, ugiña ale batek toki baten egoteko daukan zoriaren neurriaren adierazgarri dela ikusi zuenena. Horrela, alexka bat zabaldiaren zati baten ibilli baldin badabil, ugiñak zera ematen digu: Zati horren barruko toki bakoitzean aurkitzeko dagoen zoriaren neurria, zorineurri haundienari ugin-bizkarra eta alea iñola egon ezin daiteken tokiei **urgiñaren goratasun hutsa dagozkiela** (6).

Baiñan zer esanahi ote dagokio, guzti hortan, funtsezko zela garbi ikusten zen Planck-en kuantuari, "h"-ri? Heisenberg-ek aurkitu zuen azkenean; hona hemen nola.

"h" baiño txikiagorik atzi eziña darabilzkikegun neurtailluen zakartasunean ez baiñan ekaiaren beraren izakeraren funtsean datzanez ohar gaitezen lehenbizi.

Ibilli dabillen alexka bat (eletron bat adibidez) aurkitu eta zenbateko laistertasunez dabillen jakin nahi dugula eman dezagun. Horretarako argi-izpi batez baliatuko gara, eta argi-ugiña bizkar-tartez zenbait eta txikiago are zehazkiago jabe gintezke alexka dagoen tokiaz; damurik, ugiñaren bizkar-tartearen txikitatunak sarritasun haundikoa dela esan nahi du, energia haundikoa beraz ( $e = hv$ ). Horrek, ordea, eletronari gogor eraso eta, honenbestez, zeukan laistertasuna aldarazi egingo dio.

Energia gutxiko argia bagenerabil berriz, alderantziz gertatuko litzateke: Laistertasunaz zehazkiago jabetu bai, jabetu ginateke, baiñan argi-ugiñaren bizkar-tartea haundia litzatekela, tokiarekikoan galduko genuke laistertasunarekikoan irabaz genezakena.

Nunahitik jotzen dugula, tokia eta laistertasuna erabateko zehastasunez neurterik ez daukagu eta, hori, ekaiaren izakeraren halabeharraren ahalabeharrez, hemen ere "h" bait-dugu lor genezaken zehaztasunaren azpimuga; beraz, neurkizun zaizkigun guztietan,

$$mv \text{ (bultzaren aldakuntza)} \times \lambda \text{ (tokiarena)} = h$$

behar du, nahi eta ez. Hau dugu, izan, Heisenberg-en "zehaztueziñaren abialegea"

Idazlabur horrek hauxe diosku: Alexka baten bultzaren eta tokiaren aldakuntzak neurtu ahal izateko bien biderketaren emaitzak, gutxienez, "h" hainakoa behar duela;

$$mv \times l = h$$

dugu, beraz, egin daitezken neurketen azpimuga; honek, itxura-aldaketa soil baten bidez, beste honako hau damaigu:

$$m v^2 = h^2 / m l^2$$

Baiñan idazlabur honen lehen-zatia "v" laistertasunez dabillen "m" higitasungai baten oldarra dugu, lehendik dakigunez, eta alexka bat "l"-ren barruan nun dagoen zehaztasun osoz jakin eziñak, nolabait

$$h^2 / m l^2$$

energiaren jabe egiten duela erakusten digu.

Alderik-alde "l" neurria daukan kaxa baten barruan legoken alexka batena ikustea bide da hauzi hau errezen aztertzeke era. Alexka kaxa horren barruan dagoela ba dakigu, baiñan zehaztueziñaren abialegeak dioskunez ezin gintezke nun dagoenaz erabat jabetu. Kaxaren edozein aldetan gerta liteke, Broglie-n ugiñak bakoitzari dagokion zorineurria ematen digula; adibidez. kaxaren erdian ertzetan baiño maizago egongo dela garbi dago.

Honek, berez, beste hau adierazten digu: Alexkak kaxa barruan dardarrean diharduala, eta kaxaren alde guztietara joko duela noizbait; alexkaren dardara, beraz, zehaztueziñaren abialegearen bertatik-bertarako ondorio dugu, eta bere toki mugatzen duen kaxaren edozein aldetara jo ahal izateari berez dario.

Alexkaren halabeharrezko energia hori, ibilli ahal izateko toki baten jabe izate hutsetik datorkion hori dugu, zuzen baiño zuzenago, Nernst-ek (zertan zetzan garbitzeke bazen ere) aipatu zuen "hutseango energia".

Diogun hau aotomoari ere ba dagokiola argi dago; atomoa ere, bere ondokoek mugatzen dioten "gelatxo" baten barruan dago; gelatxo hori "Bere" du, eta ezin du handik igesik egin. Beraz, hotzenean ere

$$h^2 / m l^2$$

energiaren jabe da, delako "l" hori bere ondokoen arteko bitartea, delarik. Gaiñera, energia hori beretzako leku bat eukitze hutsak dekarriola, ezin du inola ere eman.

Bestalde, ikusi dugunez hutseango energia hori dardara baten datza; ezin daiteke, beraz, berozkoagandik bereizi.

Zalbide, bibliografian dionez, Yves Chelet-en L ENERGIE NUCLEAIRE liburuaz baliatu da bere lana osatzeko; hortik jaso ote du 0°K-en inguruan bere ustez gertatzen denaren berri?.

Nolanahi ere, inguru hortan gai guztiak eskon bilakatzen direlako ustea espaldi gainditurik dagoen jakintza-mailla bati datxeka. Batzutan, hutseango energia atomoen arteko erakar-indarrak baiño haundiago izan daiteke eta horrelakoetan, jakiña, gaia ezin eskon bihurtu; horixe gertatzen zaio, adibidez, helioari. 0°K-etaraiño hoztu ahal baledi ere ez bait-litzateke eskon egingo kanpotik 25,8 kiloko saka bat ezarri ezik.

Dena den, egintzako kuantuari darion zehaztueziñaren abialegearen eta 0°K-etik hurbil gertatzen direnen garrantzia egungo fisikan ezin esanalako ditugu. Ekaiaren oiñarri-oiñarrizko egitura hobeki ezagutzeko biderik egokienak ditugu, eta gai hoietaz jardun dutenen izenek osatzen dute gehienbat, zenbait urtetan, Nobel sariaren jabe egin direnen zerrenda.

Inguru hortan gertatzen diren batzu aipatu nahiez gero, eletrairindarrarekiko eragozpenik ezaz, gaindikako ixuritasunaz ("superfluidetz"), eletrairindarra funtsean zer denaz jabetzeko bidez eta beste hainbat eta hainbatez jardun beharko genuke.

Idazlan honi dagozkion mugak horretarako betarik ez ematen, ordea. Hala ere, gure fisikazale gazteentzat gai hoik sakonkiago aztertzeo eragin-garri baledi, nere egungo hau ez litzateke alperrikoa izango.

J. Oregi Aranburu

*1.- Ura hozten ari denekoari 0° eta irakin dirakianekoari 100° ezarri dizkiegu, baina bestearen bat ere berdin-berdin zukera zitekeen Bitarte horren ehunena dugu "Celsius"-gradoa deritzana.*



2.- Fisikalariek, Celsius-gradolari eutsi baina hutsa  $-273^{\circ}$  C-etan jartzea nahiago izaten dute, hori bait da berotasunaren azpimuga. Neurkera horri Kelvin-ena deitu ohi zaio, eta Thandiz iragarri ohi da; beraz,

$$T \text{ Kelvin-gradotan} = C \text{ (Celsius-gradotan)} + 273$$

3.- Gai baten atomoaren pixua hidrogenoarena batekotzat jota eman ohi da, eta atomo hori hidrogenoarena baino zenbait aldiz astunagoa den adierazten du beraz. Gaiaren horrenbesteko zatiari atomo-gramo deitzen zaio. Adibidez, aluminioaren atomoa hidrogenoarena baino 27 aldiz astunagoa delarik, 27 gramo aluminiok osatuko dute atomo-gramo bat.

4.- Ohar bat: Idazlan hontan dihardut atomoaren barneko energia; atomoa hautsi eta sor ditezkenak besterik dira, eta egungo hontan darabilan gaiari ez dagozkio.

5.- Urratze-irudi, urraztirudi = espectro

6.- Broglie-n ugiñaren goratasunaren berekoitzak ematen du alea toki baten aurkitzeko zoriaren neurria.

(Enderazko "cuadrado" adierazteko darabilt BEREKOITZ: Larresoro-k, aspaldi ez dela, BOSTKOIZTU zerabilen "quintuplicar" emateko).



ARTES  
GRAFICAS

Ptar. de Alzola, 2-4<sup>o</sup> izq.

Telef.: 4325186

BILBAO - 12

