

IZARRARTEKO MOLEKULAK

Elias Unzueta

Udako gau batean zeruari begiratzen diogunean, milaka izar desberdinen eta ilargi distiratsuaren ikuskizun goxoa izaten dugu. Telebistan espazioari buruz mintzatzen direnean ere, eguzkia eta bere planeta-sistema edo galaxia izugarriak azaltzen zaizkigu.

Badago ordea normalean gutxitan aipatzen den beste eremu bat: izarrarteko ingurunea, hain zuzen. Ingurune hau ez dago hutsik, hainbat atomo, molekula eta ioiez (bai gas eta bai hauts eran) “betea” baizik. Aztertuko ez ditugun beste hainbat partikula kuantiko desberdin ere badaude.

UNIBERTSOAN elementurik ugariena hidrogenoa dugu. Horrez gain, badaude izarren barruan sintetizatuturiko eta supernobek lehertzean espaziora bidalitako beste hainbat elementu. Materia hau oso azkar hozten da, kondentsatuz. Izarren eboluzio-teoriaren arabera, grabitazioaren eraginez eta apurka-apurka, hauts- eta gas-hodei hauek lehengoetatik zertxobait desberdin diren izar berriak eratzen dituzte.

Prozesu hau gizakiaren denbora-eskalan oso luzea da. Ondorioz, bai izarren eta bai galaxia osoen eboluzioa ezagutzeko eta ulertzeko, izarrarteko partikula eta gasa eta beraien dinamika ezagutzeak, behar-beharrezkoak gertatuko zaizkigu. Ez da harritzekoa, beraz,

gai honek azken urteotan izan duen bultzada handia.

Izarrarteko ingurunea

Izarrarteko ingurunea batez ere gasez eta hautsez osatuta dago. Espazio-bolumen arrunt batean bien arteko erlazioa ehunetik batekoa dugu. Nabaria da bestetik espazioan gas- eta hauts-hodei hauek ez direla uniformeki hedatzen, galaxiako alderdi berezietan (beso kiribiletan, adibidez) askoz dentsagoak izanik.

Esnebideko gasaren masa osoa gure eguzkiarena baino mila milioi aldiz handiagoa da, eta dena den, galaxia osoaren masaren %1 besterik ez da. Proporzio hauek galaxi motaren menpe daude besteak beste. Galaxia eliptikoetan %10⁻⁴koa izanik, galaxia irregularretan %20tik %50eraino hel daitezke.

Hauts-garau kosmikoen neurri arrunta 10⁻⁴-10⁻⁵ cm-koa dugu; gutxi gorabehera argi ikuskorren uhin-luzera adinakoa. Hauts-garauek argia zurgatzen dute, zeruan hodei edo nebulosa ilunak eratzuz. Horregatik hain zuzen, ezin dugu gure galaxiaren erdialde disdiratsua lurretik ikusi.

Azpimarratzekoa, azkenik, izarrarteko hauts-garau hauen jatorria espazioko atomo eta molekulen arteko energia baxuko talketan dagoela onartzea da. Beraz, hautsaren eta gasaren konposizio kimikoa antzekoa izango da.

Izarrartean gasa zegoela, mende honen hasieran frogatu zen, kaltzio ionizatuaren absortzio-bandak aztertutako zirenean. Hasiera batean absortzio-banda hauek urruneko izar beroen espektroetan lortu zirenez, kaltzioa izarren barnean zegoela argudiatu zen. Baina neurke-

**Nebulosa
tifidoa**

Orioneko zalburu nebulosa

ta zehatzagoek kaltzio horrek izarraren eta behatzailearen artean egon behar zuela frogatu zuten. Erabilpen hau (hau da, izarretatik guregana datorren argiaren espektroak ibilbide horretan izan dituen absortzioak neurtzea izan da izarrarteko ingurunea aztertzeke biderik aproposena.

Izarrarteko gasa ioiez osatuta dago HII aldeetan eta atomoz eta molekulez HI aldeetan. Alde bien arteko desberdintasunak energi iturri hurbila, izar bat normalean, edukitzean edo ez datza. Energi iturri honen irradiazioek elementuak ioi-egoerara kitzikatuko dituzte, bertan egonkor mantenduz. Horregatik HII aldeetako hodeiak ilunak ez eta argitsuak azaltzen zaizkigu. Hainbat nebulosa ikusgarri da honen lekuko; emisio elektromagnetiko intentsoa bait dute.

Espazioko molekulak

Unibertso elementurik ugariena hidrogenoa dugu. Izarren barnean gertatzen diren erreakzio nuklearrak direla eta, beste elementu guztiak hidrogenotik sortu dira. Izarren eboluzioaren dinamikaren ondorioz, nobek eta supernobek izarraren barneko materia ugari bidaltzen dute espaziora. Materia honekin izarrarteko gasa, izar berriak, planetak eta gu sortu gara.

Ez da harritzekoa, beraz, izarrarteko ingurunea batez ere hidrogenoz osatuta egotea. Baina badaude, berehala aztertuko dugunez, beste hainbat elementu astunago ere.

1920. urte inguruan, izarren espektro optikoak lantzen zituzten astronomoek honako hau aurkitu zuten: izar batzuen espektroetan bazeudela oso zabalak ziren absortzio-bandak. Gainera, aztertutako izarrek zenbat eta urrutikoagoak izan, are eta nabarmenagoak ziren

banda zabal hauek. Berehalako ondorioz, absortzio-banda horiek izarraren eta behatzailearen arteko materiari leporatzea da (absortzioa puntu batean finkatua egon beharrean, oso inguru zabal eta urri batean gertatzen denez, neurtzen diren absortzio-bandak oso zabalak dira).

Absortzio-banda hauen azterketek izarrarteko hautsari buruzko teoriak zailagotu egin zituzten berehala. Hasieran grafito-hutsezko garauak kontsideratu ziren eta gero izotzez inguratutako grafito-garauak, ondoren karbonoa, diamantea, silizioa eta azkenik porfirina. Azken hau 1970.eko Nazioarteko Astronomi Batzordearen Kongresuan posibilitate bezala aurkeztua izan arren, arazo ugari dago frogari baliagarria lortzeko.

Espektroen hobekuntzak zirela eta, F. Adams-ek, 1937.ean, oso hurbileko izarren espektroetan banda estu karakteristikoak bereiztea lortu zuen. Oraingoan ez ziren hautsak eragindako banda zabalak; molekula berezien absortzioak baizik. Molekula hauen CH, CH⁺ eta CN erradikalak ziren, hain zuzen. Hain banda finak izanik bestalde, gas-hodei hauen tenperatura baxua nabarmentzen da.

Ildo berean, CN erradikalaren absortzio-banden azterketak egoera elektronikoaren berri ematen digu. Horrela molekula horien errotazio-energia neurgarri bihurtzen zaigu; 3 eta 5 kelvin bitartekoa hain zuzen. Emaizta honi urte haietan kasu handirik ez egin arren, bai Gamow ospetsuak 1941.ean eta bereziki Penzias eta Wilson-ek 1965.ean

egindako azterketen arabera (Big-Bang teoriak dioenez horrexek izan behar du gaur egungo unibertsoaren tenperatura), neurketa haien balioaz eta zehaztasunaz badakigu orain.

Tenperatura baxu hauetan espektroskopia optikoak posibilitate gutxi ditu; molekulen emisioa maiztasun baxuagotan gertatuko bait da. Guzti honek irratiastromiari (izarrarteko ingurunea aztertzeko metodorik baliotsuenari) atea ireki zion.

Irratiastromiaren lehen garai-pena Edward Purcell-ek, 1951.ean, hidrogeno neutroa (HI inguruak) aurkitzea izan zen. Horrekin batera, gure galaxia kiribila zela frogatu zen.

Aurkikuntza honen ondoren, hainbat ikerlari beste susbstantzia

desberdinen bila abiatu zen. Oxigenoa izanik (hidrogenoaren eta helioaren ondoren elementurik ugariena), OH erradikalaren aztarnen bila ahalegindu ziren. 1962.ean, Weinreb eta Barrett-ek 1650 MHz-eko maiztasun-detektagailu batez aurkitu zuten erradikal hau.

Hidroxilo erradikalaren espektroak berezitasun ugari zituen: lau lerro oso estu eta normalean laurak absortzioan neurtu arren, noizbehinka bat emisioan neurtzen delarik. Honen arabera, OH erradikalak maser naturaltzat kontsideratzen dituen teoria kuantikoa garatu da.

Ugaritasun-arloan, hidroxilo erradikala hidrogeno neutroa baino 10^7 aldiz urriagoa da.

1968.ean, L.H. Townes eta laguntzaileek, galaxiaren erdialde-

ranzko norabidean eta 23.700 MHz-etan, amoniakoa (NH_3) aurkitu zuten. Emisio hau amoniakoaren inbertsio-fenomenoak eragindakoa da. Bestalde, handik gutxira eta 22.200 MHz-etan ura (H_2O) aurkitu zuten. Uraren absortzio-bandek OH-aren banden antzeko berezitasunak dituzenez, ura ere izarrarteko ingurunean maser indartsua dela ondoriozta daiteke.

Aurkikuntza hauek teorikoki garrantzitsuak izan arren, bazirudien beste molekula batzuk aurkitzeko gaitasuna ahula zela. Nolanahi ere, 1969.ean formaldehidoa (HCHO) hidroxiloa (OH) bezain ugari eta galaxia osoan hedatua aurkitu zenean, ordurarte onartzen zen izarrarteko ingurunearen ikuspuntua guztiz aldatu zen. Aurkikuntza honen garrantzia, formaldehidoa bere ingurunea baino hutzago zegoela ikusi zenean handiago egin zen. Oraindik ez da anti-inbertsio honen azalpenik aurkitu.

Berehala onartu zen espazioko molekulen konplexutasuna handiagoa izan zitekeela (molekula bakoitzean atomo astun bi edo gehiago koka zitezkeelarik). Molekula horiek detektatzeko zegoen arazorik larriena teknikoa zen, hau da, erabilitako neurgailuen maiztasun-leihoak txikiak ziren.

Egoera hau 1970.ean aldatu egin zen Bell Telephon-eko ikerlari-ek 150.000 MHz-eraino heltzen zen neurgailua Arizonako Kitt Peak-eko 11 m-ko irrattiteleskopioan jarri zutenean. Urtebetean hau eginda hamabi molekula berri baino gehiago aurkitu zituzten. Haietako gehienak galaxi erdiaren planoan ikusi ziren, baina beste batzuk, CO, HCN, CS eta H_2CO adibidez, galaxia osora hedatzen dira.

Molekula hauen ugaritasunak, beraien konplexutasun kimikoaren arabera dirudi. H:OH erlazioa 10^7 :1 den bitartean, berdintsua espero zitekeen CN:HCN erlazioa 0,1rainokoa da. Badago aurkitutako molekulen arteko bereizketa kimi-

ko nabaria ere: atomo astun bat baino gehiago duten molekula gehienek, karbono-atomo bat ere badaukate, eta batzuk oso konplexuak dira (HCONH_2 eta $\text{CH}_2\text{C}_3\text{H}$, adibidez). Salbuespen bezala, oso urria den SiO dugu. Aurkitu da OCS molekula ere.

1968.etik 1971.eko tartean Arizonako Kitt Peak-eko irratiteleskopioaz hainbat molekula aurkitu zen. Ondoren, ikerlarien ahaleginak ugari izan arren, molekula berri gutxiago aurkitu zen.

Ondorengo ikerkuntzak, aurkitutako molekulen berezitasunetan sakontzen eta dentsitate altuko izarrarteko hodeien fisika ulertzen saiatu ziren. Horrela, emisio-lerroen azterketek hodei batzuen dentsitatea eta tenperatura (estruktura batipat) finkatzea lortu dute.

Pentsa al daiteke, beraz, ugarien diren molekula gehienak aurkituak izan direla jadanik eta hemendik aurrera oso urri izango diren molekula berezi batzuen berri bakarrik lortuko dugula? Orain arte lortutako espektroetan daukagun lerro ezezagunen kopuru handiak ezezko erantzuna aldarrikarazten digu.

Lerro ezezagun hauetariko asko oso sendoak dira. Adibide bezala 89,1 GHz-eko marra dugu. Molekula eragilea luzaroan ezezaguna izan zenez, *X-ogeno*aren marra deritzo.

Lerro hauen identifikaziobide bat hainbat molekula berezi eta

susmagarriren espektroak laborategian aztertzea litzateke. Baliteke, hala ere, espazioan nahikoa bizitza luzea izan dezaketen hainbat molekula (erradikalak, hain zuzen) laborategian hain ezegonkorak izanik, azterrezinak izatea.

Praktikan, erradikalen bizitza luzeagoa lortu nahian, erradikal hauek neon- edo argon-matrizetan eta helio likidoaren tenperaturan izozten dira. Hain tenperatura baxuetan, errotazio-espektroak analizatzea ezinezkoa dugu. Aldiz, molekulen egitura hipermehea eta spin-erdibitzeak azter daitezke. Datu hauekin, fisikari molekularrek errotazio-bandak aurrean ditzakete, ondoren espektroetako ezezagunekin konparazioa posible eginik.

Bide honi jarraituz, 1973. urtean *Goddard Institute for Space Studies* taldeak 87 GHz-etan aurkitutako lau lerro ezezagun aztertu zituen. Azkenean, etilinoarenak ($\bullet\text{C} > \text{CH}$) zirela frogatu zuten.

Geroxeago beste pauso garrantzitsu bat eman zen ikerketa hauean; helio likidoaren tenperaturan ere ezegonkor den erradikal baten emisioaren identifikazioa hain zuzen. Erradikal hau NH_2^+ erradi-

Eraztunen nebulosa.
Eraztunak argi-urte bateko diametroa du

kal katioia dugu. Bere absortzio-bandak 93,1 GHz-etan agertzen diren hiru lerro dira.

New York-eko Columbia Unibertsitateko ikerletako batek *ab initio* deritzon kalkulu bat egin zuen NH_2^+ en egituran. Kalkulu honetan nukleoaren eta elektroien energia eta distantzien kalkulu teorikoa abiapuntu bezala hartuta, molekularren errotazio-konstante kuantikoa, egitura hipermehea eta abar lortzen dira. Gakoa emaitzak lortzeko egin behar diren hurbilketen zentzu onean dugu. Dena den, gaur egungo kalkuluen errorea %1etik nahikoa jaitsi daiteke.

Lan neketsu honi esker, NH_2^+ erradikal katioiz gain, CH^+ eta HCO^+ identifikatu dira. Azken hau da, hain zuzen, lehen aipatutako *X-ogeno* ezezagun hura.

Espazioa: oso laborategi kimiko berezia

Urte askotan izarrarteko ingurunea atomoz osatutako dentsitate,

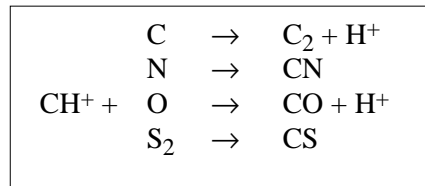
Aintzira Konstelazioa
Sagittarius Konstelazioan
dagoen hautsezko
hodeitzarra da

txikiko gas kontsideratu izan da. Gas honetan atomoek noizbehinka talkaren bat izango lukete. Abiaduraren eta norabidearen arabera talka hauek noizbehinka eraginkorrak lirateke, hau da, oso noizbehinka molekula egonkor bat eratu litzateke. Eredu honen arabera, espazioko molekulak oso sinpleak, atomo bi edo hirudunak, izatea espero zatekeen.

Ikerketen ondorioz, lau atomo astundun molekulak identifikatu zirenean, eredu hau guztiz aldatu egin behar izan zen. Molekula horiek eratzeko behar zen mekanismoak katalizatzaile bat behar zuen katalizatzaile heterogeno hori, hauts-garauek osatzen dute. Garau hauek elkarren arteko elkarrekintza kimikoak erraztuz atomo astunak harrapatzen dituztela onartzen da. Ondoren, berotuz adibidez, sintetizatutako molekulok sublimatu egin daitezke erradikal askeak eta molekulak gas-egoeran sortezaz.

Ildo berean, izarrarteko molekulen sintesia azaltzeko teoriarik interesgarriena Klemperer kimikariak 1970. urtean azalduakoa dugu. Honen arabera, erreakzioen

gakoa CH^+ erradikal katioian dugu. Sintesi erreakzioak, mota hauetakoak lirateke:



C_2 eta CH^+ izarren atmosferetan aurkitzen dira. CN, CO eta CS izarrarteko ingurunean, badakigunez.

Miaketen beste adar batean, hainbat ikerlari atomo desberdinen erlazio isotopikoak neurtzen eta lurrian edo eguzki-sisteman ditugunekin konparatzen saiatu dira. Adibidez, lehenengo emaitzak molekula ugarienen (CO, HCN eta OH) karbonoaren eta oxigenoaren isotopo egonkorrenekin (^{13}C eta ^{18}O) lortu dira; $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ eta $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ erlazioak lurrian bezalakoak direla, hain zuzen. Dena den, askoz ere urriago diren beste isotopo batzuekin (^2H , ^{15}N , ^{17}O , ^{33}S eta ^{34}S) lortutako emaitza askok, lurreko erlazioekiko ezadostasun nabaria azaldu dute. Galaxiaren eboluzio kimikoaren ildoan,

emaitza hauen garrantzia argi dugu (nahiz eta gaur egun, batez ere deuterioaren kasuan, erreakzio kimikoetan frakzionamendu isotopikoak gero eta onartuagoak izan).

Bioastronomoen kezketan sartuko gara azkenik, oso laburki bada ere. Ikusia dugu izarrarteko ingurunean, H, C, O eta N direla nagusi. Badago hainbat molekula organiko berezi ere. Hauetariko asko bizitzaren aitzindaritzat onartzen dira (Berthelot-ek C eta H_2 -az baliaturik bere “arrautz kosmikoan” egindako saiakuntzetan bai behintzat).

Saiakuntza hauetan Urey, Sagan eta Millerrek ere sakondu zuten. Batipat, metano (CH_4), amoniako (NH_3), ur (H_2O) eta hidrogenozko (H_2) nahaste batean txinparta elektrikoak saltarazi zituzten. Lortutako molekulen artean HCN, CN_2 , HCO, CH_3 , CHO, C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 eta askoz konplexuago diren azukreak, aminoazidoak eta katea aromatikoak zeuden. Nahiz eta izarrarteko ingurunea hain arrotz izan, molekula organiko hauskor hauetariko asko ingurune horretan aurkitu izan da.

Lurreko bizitzaren sortzea eta izarrarteko ingurunearen arteko erlazio hain konplexua eta gutxi aztertua izan arren, badaude bizitzarako lehen etapa kritikoa (bizitzarako funtsezko aminoazidoen sintesia) hodei planetario turbulentoan gerta zitekeela argudiatzen duten ausartak ere.

Izarrarteko ingurunearen konplexutasunaz ideia orokor bat lortu dugu. Konturatu gara ingurune hau ulertzeak dakarzkigun abantailaz. Galaxien eta unibertso osoaren eboluzioa eza-gutzeko bide ezin hobea da, hain zuzen. Badaude urrunago doazenak ere, hau da, izarrarteko ingurunea eta Lurreko bizitza erlazionatzen ahalegintzen direnak. Zihur egon gaitzke datozen urteotan berri ugari eman go dituela astronomiak.)

