

Erraldoi bat

Eguzkia erraldoia da. 1.400.000 kilometroko diametroa du Eguzkiak, Lurraren eta Ilargiaren arteko distantzia baino 3,6 aldiz handiagoa. Han 109 Lur sartuko lirateke, bata bestearen ondoan jarrita. Diametro hori, gainera, ez da ekuatorearena bakarrik. Esfera ia perfektua da. Errotazioak 10 kilometro zapalago izatea eragiten du poloetan; oso deformazio txikia da, laranja batek mikra bakarreko deformazioa izango balu bezala.

Eta masaz ere erraldoia da. Eguzki-sistemaren masaren ia % 99 Eguzkia da. Inguruan dituen planeta, asteroide, kometa eta astro guztiak, libre dauden partikula guztiekin elkartuta, sistemaren % 1 besterik ez dira. Eguzkiak Jupiterrek baino 1.047 aldiz masa handia-

goa du. Hain zuzen ere, horregatik igortzen du argia; argia igortzeko adinako fusioa izateko, Jupiter baino 80 handiz handiagoa izan behar du, gutxienez. Beste planetekin konparatuta, aldea are handiagoa da. Esate baterako, Lurrak baino 333.000 aldiz masa handiagoa du.

Oso handia da, eta, hala ere, etengabe ari da masa galtzen, nahiz eta kometak, asteroideak eta beste astro batzuk irensten dituen. Segundoko milioika tona material kanporatzen ditu Eguzkiak, eta, horrekin batera, argia eta erradiazioa —argiaren eta erradiazioaren jatorria ere masaren desintegrazioa da—.

Hain zuzen ere, galtzen duen guztiak ematen dio biziaz existitzeko aukera Lurrean, eta mehatxu ere egiten dio, aldi berean. Oreka as-

tronomiko bat da; Eguzkirik gabe ez legoke bizidunik, eta Lurraren babesik gabe ere ez.

Oreka hori ez da betiko izango, baina asko iraungo du. Eguzkiaren fusioak hidrogenoa behar du, eta oraindik asko dauka, % 75 gutxi gorabehera. Ia beste guztia helioa da, fusioaren produktua. Hidrogenoa ez da agortuko milaka milioi urtetan, baina, hura kontsumitu ahala, Eguzkia aldatzen ari da. Helioa hidrogenoa baino dentsuagoa da, eta, beraz, denborarekin konprimatzen ari da. Eta konprimatzearen ondorioz berotu egiten da. Beraz, Eguzkia gero eta arinagoa, txikiagoa eta beroagoa da, baina aldaketa oso poliki gertatzen ari da, eta milioika urte behar dira nabarmena izateko.

EGUZKITIK ESPAZIORAKO BIDEAN, PARTIKULAK ETA GALDERAK

MAGNETISMOAK JAU RTIAK

“Astrofisikaren ikuspuntutik, Eguzkia izar arrunta da, baina, guregandik gertuen dagoena izanik, interes handia sortzen digu”, dio Iñigo Arregi astronomoak, Tokiotik. Berez, Arregi Kanariar Uharteetako IAC institutuko fisikari teorikoa da, eta JAXA Japoniako Espazio Agentziaren *Hinode* zundarekin ere ikertzen du Eguzkia. “*Hinoderen* eguneroko behaketen plangintza eta jarraipenean laguntzen dut. Egunero, aurreko orduetan batutako datuak begiratzen dira interesgarria izan daitekeen zerbaiten bila”.

Hinoderen espezialitatea Eguzkiaren gainazalari gertutik begiratzea da, eta Arregik ederki eza gutzen du nolako itxura duen gainazal horrek. Hala ere, itxura besterik ez da. Gainazala ikusten da, baina benetan ez dago. “Eguzkia gasbola bat da, eta, beraz, ez dauka gainazal definiturik. Begi-bistaz edo teleskopio optikoen bidez ikusten dugun gainazala argi zuria igortzen duen azken geruzak definitzen du. Hori dela eta, fotosfera izena ematen diogu”.

Usteko gainazalaren koloreak garrantzia du; hain zuzen ere, izarren kolorea tenperaturaren araberakoa da, sutan berotutako burdin puskena bezala. Tenperatura batetik aurrera, gorri jartzen dira, eta hortik aurrera berotuta, laranja, horia eta beste kolore batzuk hartzen dituzte. Beroenak izar urdinak dira. Eguzkia hori-zuria da gainazala 6.000 °C-an dagoelako. Izarrak tenperaturaren arabera sailkatzen dituen eskalan, Eguzkia G2 motako izarra da: oso izar arrunta, nahiz eta mota horietakoak ez diren galaxian ugariak.

Koloreaz gain, badago zer ikusi usteko gainazal horretan. *Hinode* zundari esker, Arregi egunero izaten da horren lekuko. “Momentu oro gelaxka-itxurako milioika granuluz beterik dago; 1.000 kilometro luze dira, gutxi gorabehera, eta minutu batzuk besterik ez dute irauten. Egitura handiagoak ere badaude, supergranuluak; 30.000 km inguruko luzera dute, eta hainbat ordu irauten dute”. Hori dena Eguzkiaren eremu magnetikoak zizelkatutako paisaia da.

“Eguzkia G2 motako izarra da: oso izar arrunta, nahiz eta mota horietakoak ez diren galaxian ugariak”

“Magnetismoa da Eguzkiari nortasun berezia ematen dion ezaugarria” dio Arregik. Eguzkia, azken batean, dinamo handi bat da, eta eremu magnetiko erraldoi bat eragiten du. “Eremuak izar guztia zeharkatzen du, baita haren ingurua ere. Gainazalean, magnetismoa han eta hemen agertzen diren orbanek bidez azaltzen da”. Eta orban horiek atek bezalakoak dira eremu magnetikoarentzat.

Eguzki barrutik kanporako bidaia batean, irudi hori atzean utzi arren, magnetismoaren apetak



Iñigo Arregi

Kanariar Uharteetako IAC institutuko fisikaria. Japoniako JAXA espazio-agentziaren Hinode satelitearekin egiten du lan, Eguzkiaren gainazala ikertzen. ARG.: JÖTEN OKAMOTO ©

ez dira desagertzen. Alderantziz. Eremuak agintzen du kanpoan gertatzen den guztian, eta aginte hori da gaur egungo zientzialarientzat Eguzkiak duen misteriorik handiena.

EGUZKIAREN MISTERIO HANDIA

Eguzkiaren gainazala 6.000 °C-an badago ere, koroaren temperatura askoz handiagoa da. Milioika gradukoa. Eta gainera zerbait gertatzen da koroan partikula kargatuak espaziorantz propulsatzen dituena. Eguzkitik ihes egiten duen guztia berotu eta azeleratu egiten da. Baina nola? Hori da Eguzkiari buruzko galdera handienetako bat.

Begi hutsez ikusten den fotosferan hasten da partikula kargatuen bidaia. Haietako batzuk, oso gutxi, Lurrera iristen dira; baina kantitate txiki horrek eragin oso handia du. Lurraren magnetosferarekin elkarrekintza bortitza du; magnetosfera formaz aldatzen dute energia handiko partikulek. Baina non eta nola lortu dute energia partikula horiek?

“Eguzkiaren gainazala 6.000 °C-an badago ere, koroaren temperatura askoz handiagoa da. Milioika gradukoa”

Non galderaren erantzuna ezaguna da. Bidaia-aren hasieran dago. Eguzkiaren gainazaletik gora joan ahala, gas-dentsitateak behera egiten du oso azkar. “Magnetismoak menderatzen du han gertatzen den fisika. Behe-atmosferaren gune horri kromosfera deritzo. Eskualde horrek

2.000 km-ko zabalera du bertikalean; beraz, gainazala eta goi-koroa bereizten dituen oso eremu mehea da”, azaltzen du Arregik. Kromosferan 10.000 °C-ko temperaturaraino berotzen dira partikulak, baina efektuaren hasiera besterik ez da.

Handik gora hasten da Eguzkiaren koroa, eguzki-eclipse osoetan ikusten den zatia. “Koroako egiturak nolabait lotuta daude gainazaleko orbitatik iriteta den eremu magnetikoarekin, baina behe-gainazalaren eta goi-koroaren arteko konexioa ez dugu oraindik behar bezain xehe ulertzen”, dio Arregik.

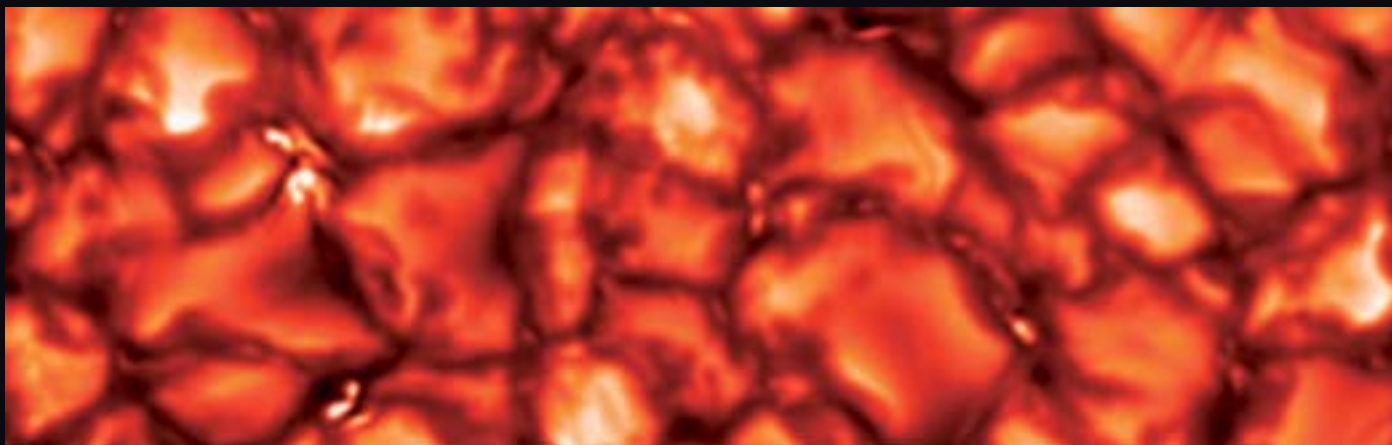
Partikulak batez ere koroan berotzen eta azele-ratzen direnez, argi dago partikulek nonbaitetik xurgatzen dutela energia. Eta hor dago misterioa, alegia, nola gertatzen den hori.

TORNADOAK EGUZKIAN

Uztailean, azalpen posible bat argitaratu zuten *Nature* aldizkarian. Osloko Unibertsitateko astronomoek aurkitu dute erantzuna tornadoen itxurako korrante magnetikoetan egon litekeela. “Aurten bertan, Eguzkian tornadoak ere badaudela jakin dugu”, dio Arregik. “Tornado hauek eremu magnetikoaren lerroen zurrunbiloak dira”. Zurrunbilo horiek, partikulekin batera, energia garraiatzen dute espaziorantz. Osloko taldeak, SDO behatokiaren bitartez, geruzaz geruza aztertu du partikulen goranzko bidea.

Tornado magnetikoak detektatu dituzte astronomoek, baina horrek ez du esan nahi koroa osoan prozesu bakar hori gertatzen denik. Izan ere, azalpen bakar bat ez da nahikoa. “Prozesu bakoitza bere aldetik kontsideratzen badugu, nahiko ondo ulertzen ditugu. Maila kualitatiboan, behintzat, galdera askori erantzuna ematen diete. Maila kuantitatiboan, berriz, ikusteko dago berotzeari eta partikulen azelerazioari eman diezaieketen energia nahikoa den ala ez”.

Eguzkiaren gainazaleko granuluak, izarraren magnetismoaren eragina ikusgai. ARG.: VASCO HENRIQUES/SUEDIAKO ZIENTZIAREN ERREGE AKADEMIA ©



“**Ahalegin oso handia dago Eguzkiaren koroatik datu gehiago jasotzeko eta ikertzaileak datuz hornitzeko. Misio asko dira**”

Ahalegin oso handia dago Eguzkiaren koroatik datu gehiago jasotzeko eta ikertzaileak datuz hornitzeko. Misio asko dira. “Zenbaki zehatz bat ematea zaila da”, dio Arregik. “Ideia bat emateko, momentu honetan, gutxi gorabehera, hamar bat misio ditugu nola edo hala Eguzkia espaziotik aztertzen. Batzuk zaharrak izan arren, haien hasierako bizialdia ondo gaingitu eta gero ere, oraindik erabilgarriak dira, eta haien datuak garrantzitsuak; SOHO misioa, adibidez. Beste berriago batzuk aipatzekotan, adibidez, hor daude JAXA agentziaren *Hinode* satelitea, NASAren bi STEREO sateliteak —Eguzkiaren atmosfera modu estereoskopikoan ikusteko aukera ematen dutenak—, edo orain bi urte NASAk berak bidalitako SDO misioa, eguzki-koroa eta haren dinamika tenperatura ezberdinetan neurtzeko ahalmenarekin. Eguzki haizea *in situ* aztertzeko

Eguzki barrutik gizakiaren begietara

Eguzkiaren barrualdea argitsua da. Han, erreakzio nuklear bortitzak gertatzen dira. Atomoen mailan, sei protoi fusionatzen dira; haietako lauk helio-atomo bat eratzen dute, eta beste biak askatu egiten dira, neutrinoekin, argiarekin eta beroarekin batera. Izarraren mailan, etengabeko leherketa bat da Eguzkiaren bihotza. Horregatik, nukleoa 13,6 milioi graduan dago. Baina fusioan sortutako argiak ez du zentimetro bat baino gehiago aurreratzen, inguruko atomoek xurgatzen dutelako. Atomo horiek, fusionatzean, argi gehiago igortzen dute beste edozein norabidetan, eta behin eta berriaz gertatzen da hori argia Eguzkiaren nukleoan dagoen bitartean. Handik irtendakoan, argiak Eguzkiaren barruko bi gune zeharkatu behar ditu azaleraino iristeko: erradiazio-geruza eta konbekzio-geruza. Azkenean, Eguzkiaren azal hotzera iristen da —6.000 °C gradu inguruan dago—.

Bide luzea da, batetik, distantzia neurtuta: Eguzkiaren zentrotik 695.000 kilometrora dago azala. Bestetik, denboran ere oso luzea da: protoiak fusionatzen direnetik gizakiak argi hori ikusten duen arte, gutxienez 17.000 urte pasatzen dira, baina aditu batzuen ustez, milioika urte izan daitezke. Denbora luze horren azken 8 minutuak bakarrik dira Eguzkiaren azaletik Lurrerainoko bidaia.

Koroa 1.500.000 °C
14 milioi km-raino

Trantsizio-gunea 100.000 °C
2.000 km

Kromosfera 10.000 °C
2.000 km

Fotosfera 6.000 °C
Konbekzio-eremua

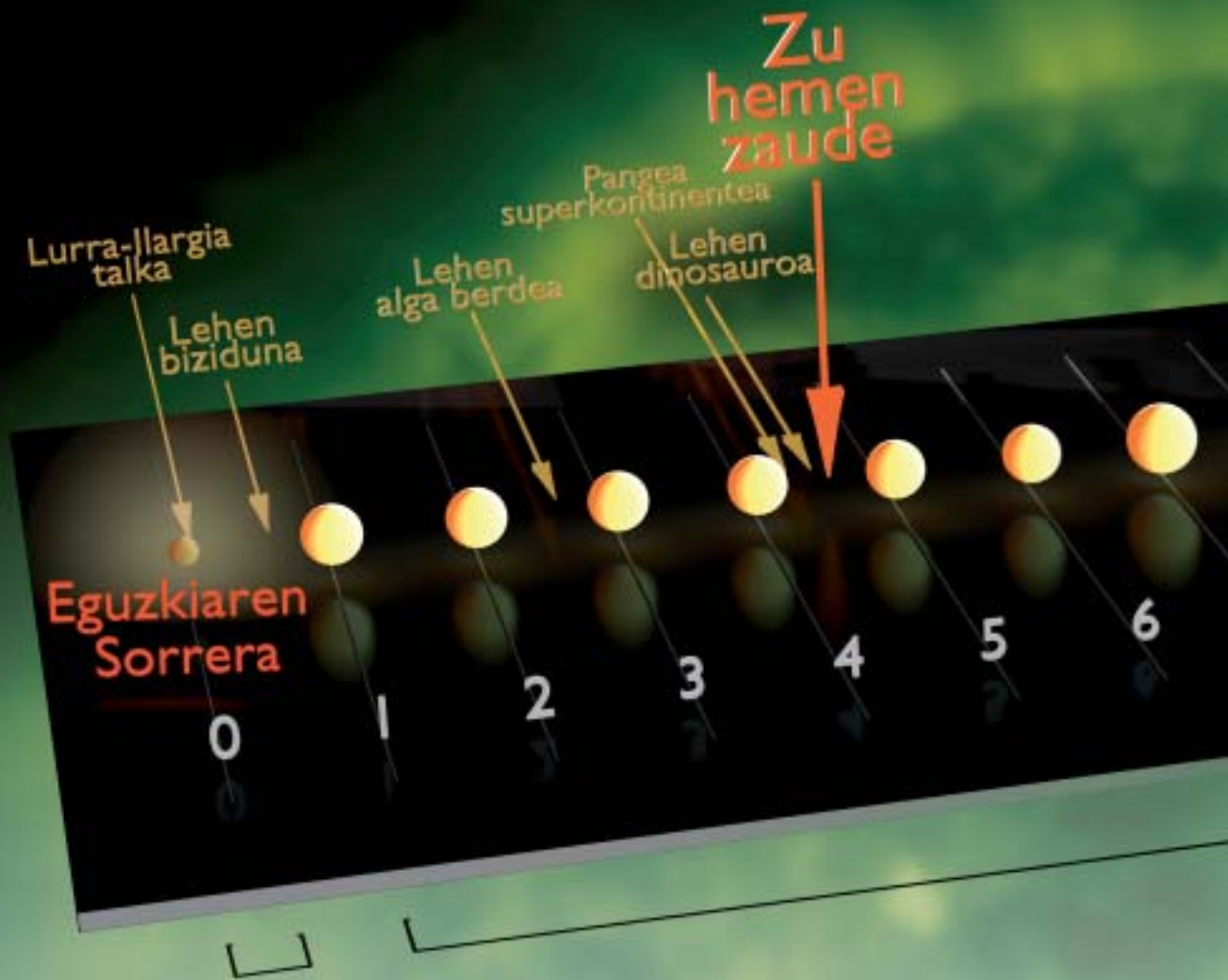
Erradiazio-eremua

Nukleoa



IRUDIA: GUILLELMO ROA/ELHUYAR FUNDATZIOA.

Eguzkiaren bizitza

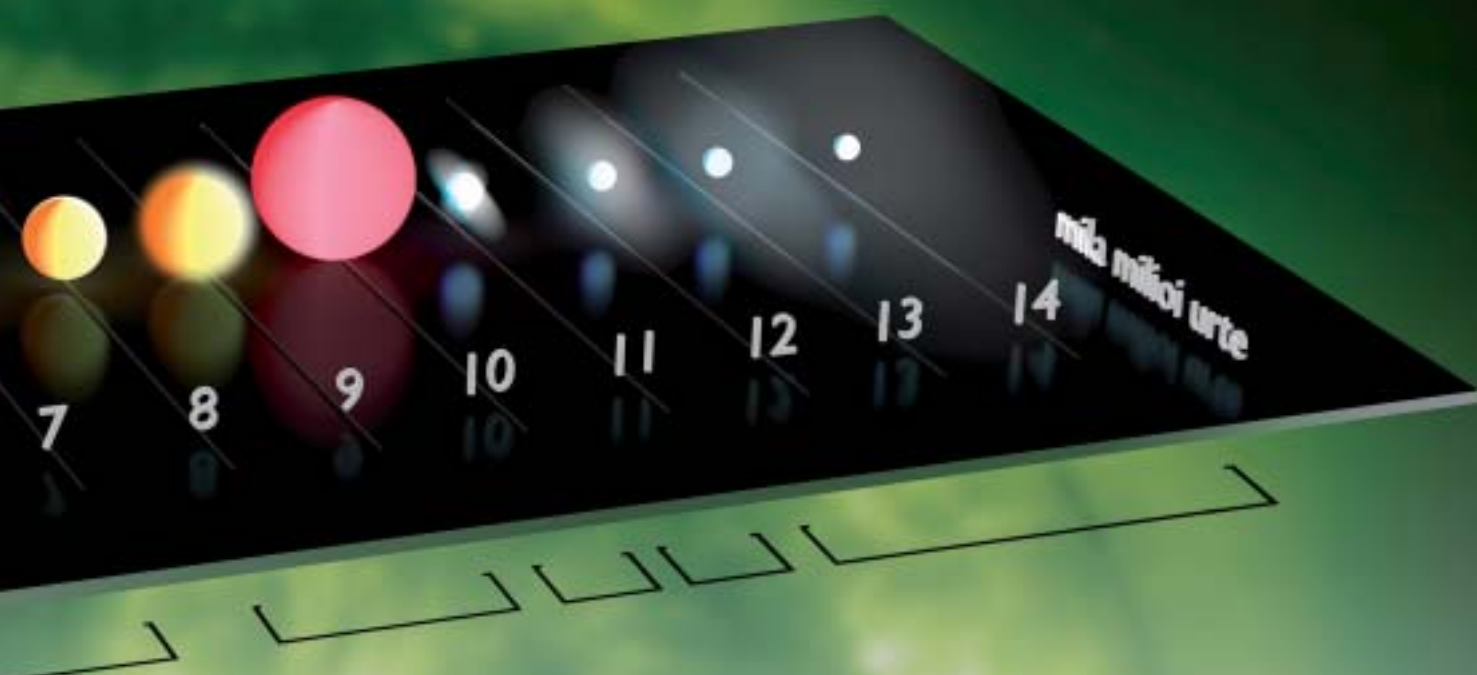


0

Hidrogeno-atomoen hodei handi eta egonkor batean gertakari bat izan zen (supernoba baten hedatze-uhina, adibidez), eta, horren ondorioz, hidrogenoa pilatzen hasi zen. Grabitateak hidrogenoa konprimitu eta berotu zuen 3 milioi gradura iritsi zen arte. Hidrogenoaren fusioa abiarazi zen, eta Eguzkia piztu egin zen. Izar bat jaio zen.

1-7 mila milioi urte

Eguzkiaren nukleoan hidrogenoa fusionatzen ari da, eta helioa sortzen da. Helioa sortu ahala, izarra konprimitzen da, hidrogenoa baino dentsuagoa delako. Gainera, fusioak berak izarra zabaltzea eragiten du, baina grabitateak kontrako indarra egiten du. Tamaina ez da asko txikitzen ari, fusioaren erradiazioak orekatzen baitu grabitate-indar gehiena, baina Eguzkia berotzen ari da.



8-9 mila milioi urte

Nukleoko hidrogenoa agortzen hasiko da, baina konpresioak nukleoaren inguruko geruzak berotuko ditu, eta han hidrogenoa izango da nagusi oraindik. Beraz, nukleotik kanpoko fusioa abiaraziko da, eta oso azkar zabalduko da Eguzkia, kanpoko geruzetan grabitateak ez baitu konpentsatzen fusioaren zabaltze-indarra.

10 mila milioi urte

Eguzkia erraldoi gorri bilakatuko da. Erraldoia, Marteren orbita baino harago iritsiko delako. Gorria, zabaltzeak asko hoztu duelako izarra.

11 mila milioi urte

Hainbat zabaltze eta konpresio bortitz izango ditu, eta, prozesu horretan, materia asko galduko du Eguzkiak,

nano zuri bilakatu arte. Galdu duen materia nebula-itxuran egongo da Eguzkiaren inguruan.

12-14 mila milioi urte

Nano zuria. Eguzkiaren heriotzak utzi duen azken aztarna. Eratu den nebula pixkanaka zabalduko da, desagertu arte.

Ia Eguzkia ukitzeraino

Solar Probe Plus zunda asko hurbilduko da Eguzkira. Bertatik bertara jasoko ditu eguzki-koroaren datuak, han gertatzen dena ikertu ahal izateko: eguzki-haizearen berotzea eta azeleratzea. Horretarako, asko gerturatuko da Eguzkira: gainazaletik 6 milioi kilometrora. Hain zuzen, koroaren barruan egongo da, koroa 15 milioi kilometrora iristen baita. Eguzkia ukitzetik gertu egongo da zunda.

Zientzia-fikzioak tratatu du gaia. Isaac Asimov idazlearen *Ring Around the Sun* ipuinean, adibidez, bi pilotu joaten dira Artizarretik Lurrera, Eguzkira asko hurbilduta. Bidaia laburrago egiteko modua da. Eguzkitik gertu pasatzeko, espazio-ontziak oso hozte-sistema ahaltsua du, baina bidaiaren erdian hondatu egiten da. Ezin da

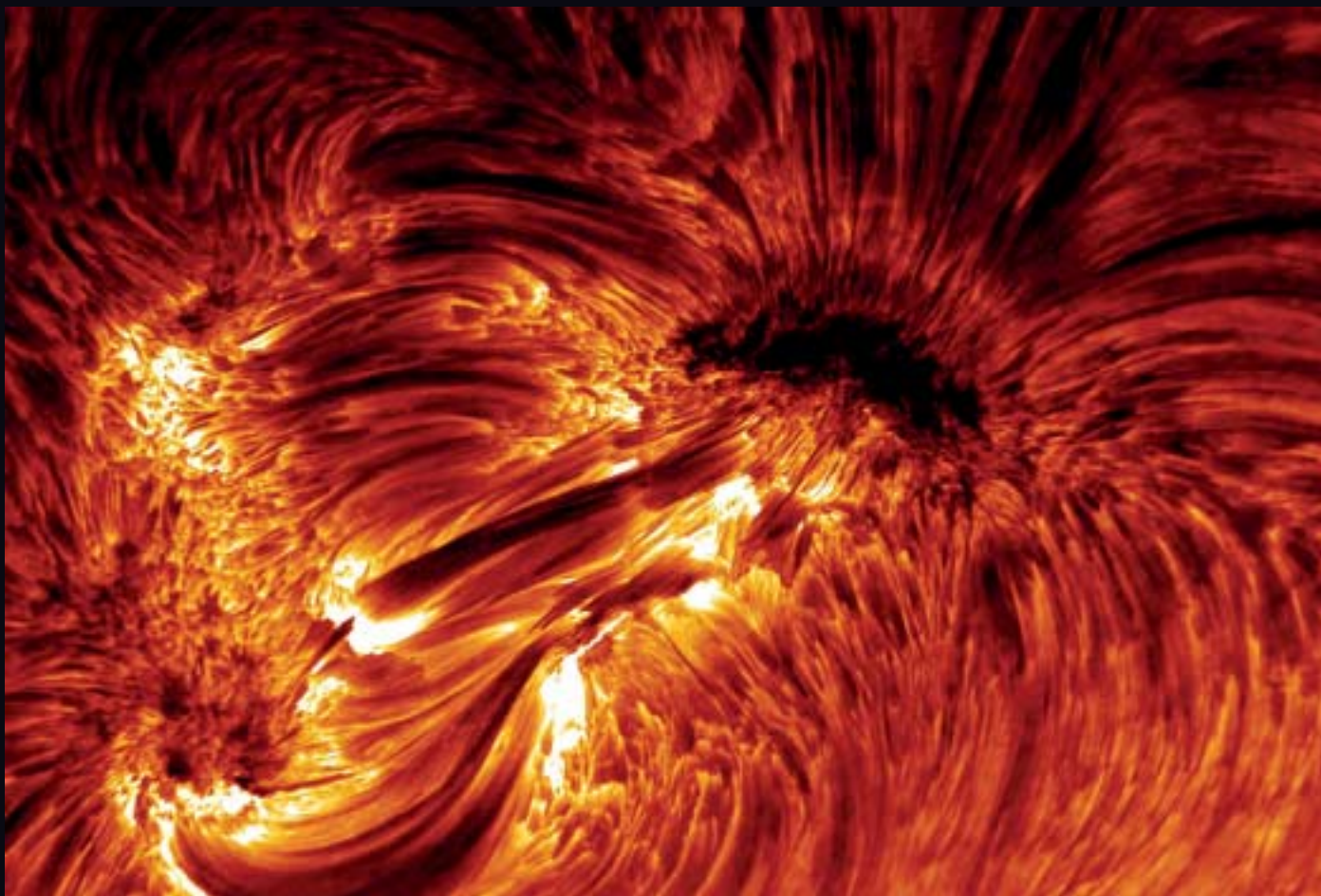
itzali. Pertsonaiak Eguzkiaren ondotik pasatzen dira izozteko zorian.

Umorezko kontakizun horrek, ordea, Eguzkira hurbiltzearen bi arazoetako bat bakarrik aztertzen du: temperatura. Beste arazoa erradiazioa da. Eguzkia etengabe ari da materia eta erradiazioa kanporatzen. Eta *Solar Probe Plus* erradiazio horrek energia hartzen duen eremuan sartuta egongo da.

Horregatik, eronka teknologikoa ontzia babestean datza. Alde batetik, materialen eronka da; 3 metroko diametroa duen disko-itxurako ezkutu bat izango du, karbonozko aparrez egina. Bestetik, nabigazioaren eronka dute; une oro, ezkutuak Eguzki aldera orientatuta egon beharko du. Orientazioan akats bat izanez gero, *Solar Probe Plus* erre egingo da.

ere hainbat misio diseinatu dira azken hamarkadan: WIND eta ACE, adibidez”.

Etorkizunari begira, ahaleginak bi alderdi orokorretan zentratzen dira. Alde batetik, kromosferaren eta koroaren arteko dinamika xehetasun handiagoz behatzea eta ulertzea, NASAREN IRIS eta JAXAREN SOLAR-C misioen bitartez. Eta, bestetik, eguzki-haizearen sorrera eta izaera hobeto ezagutzen saiatuko diren misioak jaurtiko dira. “Hemendik bost urtera Europar Agentziak *Solar Orbiter* jarriko du martxan eguzki-haizea eta haren sorrera-puntuak Eguzkiaren poloetan aztertzeko. Horretarako, Eguzkitik 60 eguzki-erradioko distantziara hurbilduko da. NASAREN *Solar Probe Plus* misioarekin, berriz, Eguzkitik oraindik hurbilago joateko asmoa daukate. Kasu horretan, behatokia Eguzkiaren gainazalitik 8 eguzki-erradiora (sei milioi km inguru) ailegatuko da, hango kondizio fisikoak zuzenean neurtzeko asmoarekin”.



Eguzki-orban bat gertutik ikusita, 2003ko abuztuaren 22an. ARG.: LUC ROUPPE VAN DER VOORT/SUEDIAKO ZIENTZIAREN ERREGE AKADEMIA ©.