

UNIBERTSOKO ESPAGETIAK

JON URRESTILLA

Fisikan doktorea

eta Sussexeko Unibertsitateko ikertzailea

Oinarrizko fisikan dimentsio bakarreko objektuak (sokak) aipatzean, aukera bat baino gehiago datozkigu burura. Alde batetik, supersokak ditugu. Azken urteetan, fisikariek eta matematikariek lan izugarria egin dute supersoken teoria aztertzen. Funtsezko ideia hau da: oinarrizko partikulak ez dira puntualak, baizik eta dimentsio bakarreko objektu hedatuak. Nolabait esateko, partikulak ez dira “bolatxo” batzuk, baizik eta bibratzen duten “sokatxo” batzuk. Baina, beste alde batetik, zientzialariok beste soka-mota bat ere ikertu dugu: soka kosmikoak. Eta, nahiz eta biak “sokak” izan, ez dute batzuek besteekin zerikusirik. Artikulu honetan, azken soka horiei buruz arituko gara.

Soka kosmikoak akats topologikoak dira. Unibertsoa oso gaztea zenean, fase-trantsizio kosmologikoak gertatu ziren; bada, litekeena da trantsizio horietan akatsak gertatzea, eta akats horiek dira soka kosmikoak.

Saia gaitzen analogia baten bidez ulertzen: demagun unibertsoaren fase trantsizioetako bat ur likidoa izotz bihurtzearen pareko zerbaite dela. Beraz, tenperatura altuetan ur likidoa izango genuke, eta, tenperatura jaistean, ura izotz bihurtuko litzateke. Baina gerta liteke (erabiltzen dugun teoriaren arabera) izotzaren barruan ur likidozko errekatxoak agertzea. Hori gertatuz gero, fase hotzean (izotzean) bizi garenok fase beroa nolakoa zen aztertu ahal izango genuke errekatxo horiek behatuz. Errekatxo horiek akatsen analogoak dira: tenperatura baxuko fasean (izotzean) iraun duten tenperatura altuko puskak (errekek).

OSO ENERGIA ALTUETAN

Energia altuko eredu kosmologikoek aurre-saten dituzten akatsak, kasu gehienetan, soka-itxura dute, hau da, dimentsio bakarreko objektuak dira. Gainera, sekulako propietateak dituzte: atomo baten zabalera baino askoz txikiagoa duten arren (protoi baten zabalera agian), luzera argi-urtetan neurtzekoa da (unibertso osoan zehar zabaltzen dira). Masa ere izugarria dute: kilometro batego sokak Lurra bezainbesteko masa edukiko luke! Lagungarria izan daiteke irudi mental arrunt bat edukitzea: espageti oso luze, oso fin eta oso masa handikoen antzekoak dira soka kosmikoak.

Kosmologian, akatsak detektatzea oso zaila da, eta, nolabait, alor teorikoan bakarrik dira ezagunak. Baina fisikaren beste hainbat alorretan gertatzen dira akatsak.



Unibertsoaren fase-trantsizioetako bat ur likidoa izotz bihurtzearen pareko zerbaite izango balitz, izotzetan harrapatutako errekatxoak aztertuta ezagutu ahalko genuke garai bateko unibertsoa.

ARG.: ©DMITRY MASLOV/123RF.

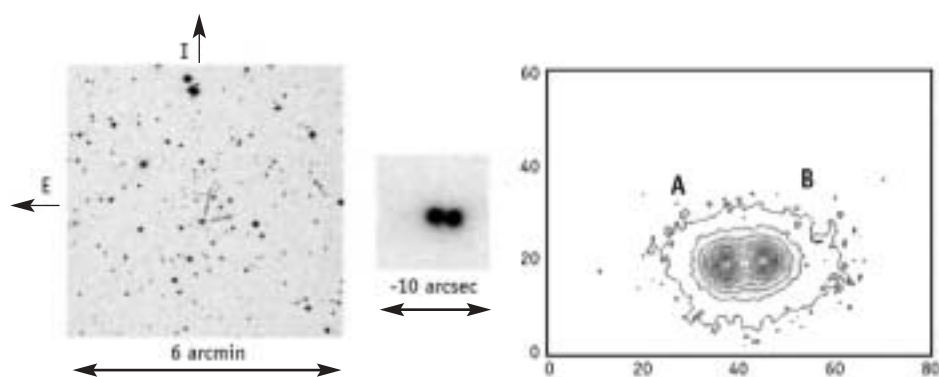
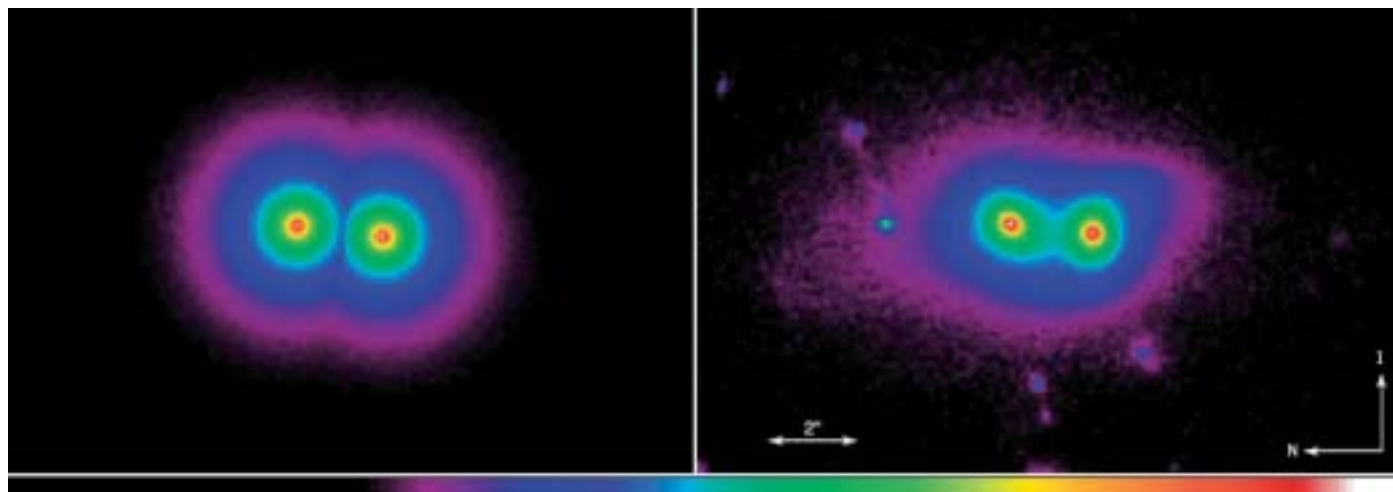
Materia kondentsatuaren fisikan, esaterako, akatsak agertzen dira: kristal likidoetan, material ferromagnetikoetan, supereroaleetan eta abarretan. Akats horiek laborategian aztertu daitezke, eta, horrela, materia kondentsatuaren eta kosmologiaren arteko lotura interesgarria egin daiteke. Edozein kasutan, nahiz eta kosmologian ez diren ikusi, nahiko zentzuzkoa da pentsatzea unibertsoan egon daitezkeela akatsak, fisikaren beste esparruetan badaudenez.

Soka kosmikoak energia altuko teoria askotan dira posible, supersoken teoria barne (beraz, nahiz eta kontzeptu guztiz ezberdina izan, badituzte lotura batzuk supersokek eta soka kosmikoek). Eta, agertzekotan, oso energia altuan agertuko lirateke, partikula-azeleragailuetan lor daitezkeenak baino askoz energia altuagoetan. Sokak aurkitzea aurrerapauso ikaragarria izango litzateke oinarrizko fisikarentzat. Askoren ustean, supersoken teoria zuzenean frogatzeko aukera gutxietako bat dira soka kosmikoak.

Baina, esan bezala, oso zaila da soka kosmikoak zuzenean behatzea. Demagun soka kosmikoak unibertso jaioberrian eratu zirela. Garai hartan, platerkada bete espageti zirudien unibertsoak. Baina unibertsoa hoztu eta hazi ahala, soka-dentsitatea gutxituz joan zen. Orain, espageti gutxi batzuk baino ez daude gure platerrean (gure unibertso behagarrian). Gugandik gertu baten bat suertatzea oso probabilitate gutxiko gertara da. Hortaz, sokak zuzenean neurtu beharrean, haien zeharkako efektuak neurtu beharko ditugu; adibidez, sokek hondoko mikrouhin-erradiazioan (CMBan) duten efektuaren bidez, edo grabitazio-lentearen efektuaren bidez.

ZEHARKAKO AZTARNAK

Grabitazio-lentea fenomeno ezaguna da astrofisikan: gugandik urrun dagoen galaxia baten eta gure artean masa handiko objektu bat badago (galaxia-multzo bat, adibidez), urruneko galaxiaren argia okertu egingo da tarteko objektu horren ondorioz, eta irudia distorsionatu egingo da. Distorsioa aztertuz, erdiko objektu masadunaren propietateak ondoriozta daitezke. Era berean, urruneko galaxiaren eta gure artean soka kosmiko



CSL-1 objektua soka kosmiko izateko hautagaia zen. *Hubble* teleskopioarekin behatu (goian eskuinean) zutenean ikusi zuten elkarren ondoan zeuden bi galaxia zirela, ez soka kosmiko baten efektua. ARG.: M. SAZHIN ET AL.

bat balego, irudia distortsionatu egingo litza-teke, baina soke eragiten duten distortsioa eta beste edozein masak eraginikoa desberdinak dira. Grabitazio-lentearen efektu normalaren kasuan (masa altuko objektu astrofisikoek sorturikoa, hala nola galaxia-multzoek), urruneko objektu bakar baten irudi anitz agertuko dira, jeneralean eraztun edo arku antzeko egitura batean. Soke sortuko duten grabitazio-lentearen efektuaren kasuan ere, urruneko objektuaren irudi anitz suertatuko dira, baina, beste kasuan ez bezala, irudi guztiek itxura berbera edukiko dute, errepikatuta egongo balira bezala.

Horixe ikusi zuten CSL-1 (Capodimonte-Stenberg-Lens 1go kandidatua) izeneko objektua behatzean: oso berdintsuak ziren bi

galaxia elkarren ondoan. Horrelako objektu bat esplikatzeke, bi aukera baino ez daude: soka kosmiko batek sorturiko grabitazio-lentearen efektua (beraz, galaxia bakar baten bi irudi berdinak), edo propietate oso berdintsuak dituzten bi galaxia (bai fotometrian, bai espektroskopian) elkarren ondoan egotea (gure ikuspuntutik). Bi aukerak oso probabilitate txikikoak dira, eta, benetako erantzuna jakitearren, behaketa zehatzagoak egin zituzten. *Hubble* teleskopioak CSL-1 behatu zuenean, bi irudiak ez zirela guztiz berdinak ikusi zuen. Ez zen soka bat, beraz, antzeko bi galaxia elkarren ondoan baizik. CSL-1 aurkitu zuen taldeak horrelako objektu gehiagoren bila jarraitzen du, sokaren bat aurkituko dutelakoan.

Aipatu dugun beste posibilitatea CMBa da, hondoko mikrouhin-erradiazioa. CMBa oso homogeneoa da, baina baditu anisotropia batzuk, pikor batzuk. Pikor horiek, nahiz eta txikiak izan, neurtu egin dituzte esperimentu kosmologikoetan. Anisotropiak oso ondo esplikatzen dituen paradigma ezagutzen da: inflazioa. Inflazioaren arabera, unibertsoa esponentzialki hazi zen epe laburrean. Baina izan liteke inflazioaren amaieran soka kosmikoak eratzea ere. Sokak unibertsoan zehar mugitzean, perturbazioak eragingo dituzte, eta materia erakarriko dute. Perturbazio horiek ere anisotropiak eratuko dituzte, inflazioaren bidez sortutako anisotropiez gain. Soka kosmikoak baleude, CMBan sortutako perturbazio “estra” horiek neurtu ahal izango genituzke, eta sokak zeharka detektatu.

Soka kosmikoek sortuko lituzketen CMB-anisotropiak superordenagailuen bidez simula daitezke, eta esperimentu kosmologikoek neurtutako CMBko tenperatura-anisotropiekin alderatu. Har ditzagun dauzkagun CMB datu kosmologiko hoberenak (WMApek emandakoak, adibidez). Inflazio-ereduak erabiliz, saia gaitzen datuak ahalik eta ondoen doitzen. Orain, soke sorturiko perturbazio estrak ere kontuan hartuz, datuak ere doituko ditugu. Analisi horren bi-

Soka kosmikoak eta supersokak

Printzipioz, bi objektu horiek ez dute inolako loturarik, izena besterik. Biak dira “sokak”, biak dimentsio bakarrekoak baitira, baina objektu guztiz desberdinak dira.

Supersokak teoria baten osagaiak dira. Energia altuko fisika deskribatzeko, eredu estandarra daukagu, eta teoria benetan arrakastatsua da. Halere, ez dakigu eredu estandarra grabitatearen teoriarekin bateratzen; edo, beste hitz batzuk erabiliz: ez daukagu grabitatearen teoria kuantikorik. Bada, supersoken teoria da “guztiaren teoria” hori lortzeko etorkizun hoberena duen teoria.

Eredu estandarrean partikulak puntualak dira; adibidez, elektroia imajinatzen badugu, nolabaiteko “bolatxo” bat da. Supersoken teorian, aldiz, oinarritzko osagaiak dimentsio bakarreko objektuak dira, ez objektu puntualak. Osagai horiek dira supersokak, eta, grabitate kuantikoaren osagai direnez, oso txikiak dira ($\sim 10^{-33}$ cm). Ezagutzen ditugun partikula normalak (elektroia eta abar) supersoka hauen bibrazioak izango lirateke.

Supersoken teoria bat baino gehiago daude; supersoken teoria ez da bakarra. Baina teoriak guztiek dimentsio estrak behar dituzte matematikoki tinkoak izateko; gure eguneroko 3+1 dimentsioak (3 espazio-dimentsio + denbora) ez dira nahikoa. Ereduaren arabera, 10 edo 26 dimentsio behar dituzte.

Soka kosmikoak, aldiz, ez dira inolako teoriaren oinarritzko osagaiak, baizik eta eremuen teorian gertatzen diren fase-trantsizioen on-

dorioak. Hainbat teoria fisikok fase-trantsizioak auresaten dituzte, eta soka kosmikoak fase-trantsizio kosmologikoetan eraten diren akats topologikoak dira. Akatsek hainbat dimentsio izan ditzakete: O dimentsiokoei monopolo deritze; dimentsio bakarrekoei, soka; bi dimentsiokoei, domeinu-pareta.

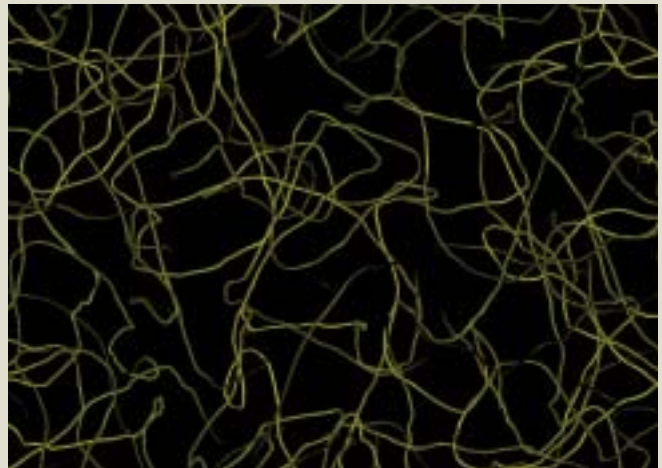
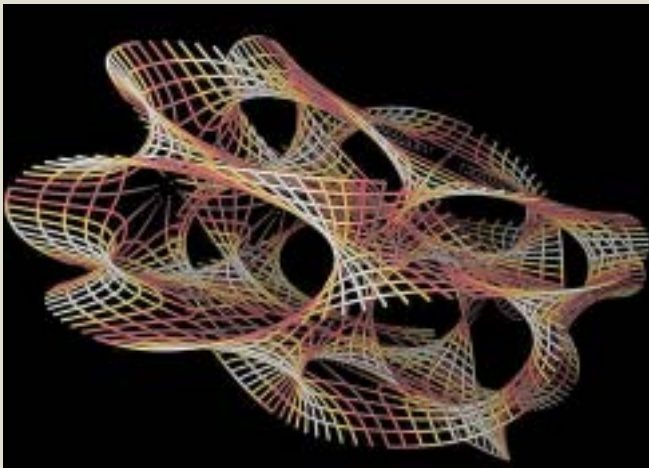
Esan bezala, soka kosmikoak ez dira oinarritzko egiturak, oinarritzkoa den “zerbaitez” eraturik daude. Oro har, eremuen teorian agertzen direnez, eremuz eraturik egongo dira. Adibidez, “ohiko” soka kosmiko bat eremu magnetikoa daraman hodi moduan imajina dezakegu. Oro har, soka kosmikoak oso luzeak dira, eta gure 3+1 dimentsioak nahikoak dira haien zatiz, eremu-teoria “normaletan” agertzen baitira.

Testuko ur-izotz analogia erabiliz, soka kosmikoak izotzean geratutako ur-ibaiak izango lirateke; ur likidoz osatutako lerroak. Supersokak, aldiz, ura eraten duten osagaiak izango lirateke; eta ur-atomoak, —bai izotzean, bai ur likidoan— oinarritzko supersoken bibrazioak izango lirateke. Hau da, gure urezko unibertsoa eraten duten oinarritzko egiturak (ur-atomoak) supersokak dira; unibertso honek likidotik izotzera pasatzean eraten dituen akatsak (izotzean harrapatutako ur likidozko ibaiak), soka kosmikoak.

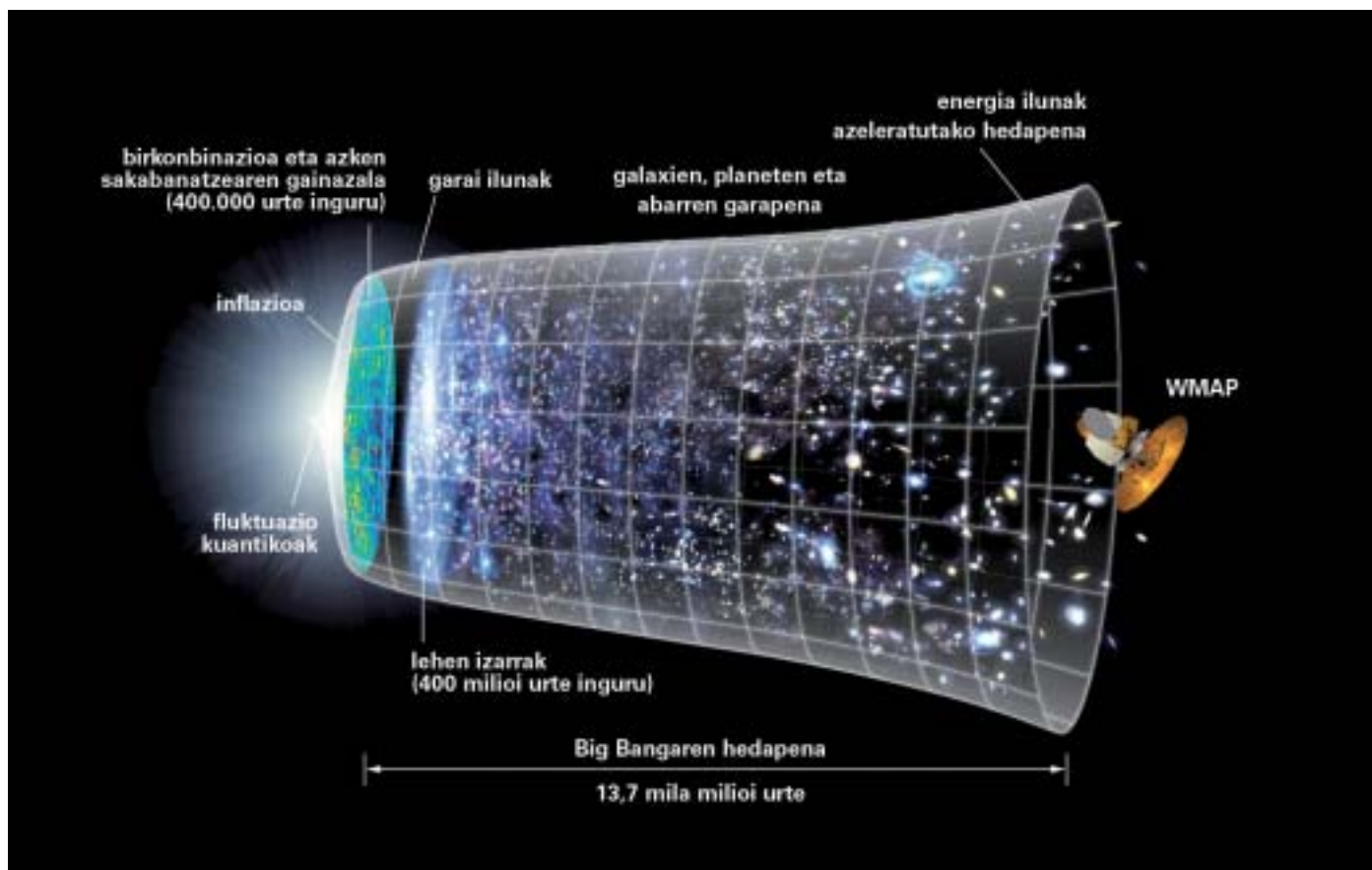
Hala eta guztiz ere, egoera konplikatuxea-goa da. Supersoken teoria “guztiaren teoria” bada, kosmologia esplikatzeke erabil dezakegu. Bada, supersokak erabiliz kosmologia es-

plikatzen badugu, fase-trantsizioak gertatzen direla ikusiko dugu. Eta, trantsizio horietan, posible da dimentsio bakarreko objektu luzeak agertzea. Beraz, soka kosmikoak ez dira eremuen teorian bakarrik sortzen, supersoken teorian ere ager daitezke: supersoka kosmikoak ditugu!

Fisikariok gustatuko litzazuke supersoken teoria naturan agertzen den benetako teoria den ala ez frogatzea, baina ez da erraza (nahiz eta jakin soka kosmikoak CMBaren bidez beha daitezkeela). Imajinatu dezagun, hala ere, esperimendu kosmologikoen bidez soka kosmikoak aurkitzen ditugula. Imajinatu dezagun, baita ere, badakigula zehazki soka kosmiko “normalek” eta supersoka kosmikoek sorturiko perturbazioak ezberdinak direla, eta badakigula horiek desberdintzen. Orduan, supersoken teoria zuzenean aztertzen arituko ginateke lehen aldiz. Asko imajinatzea da hori, eta oraindik lan handia egin behar dugu, bai teorikoki, bai esperimenduekin aldetik. Baina benetan aukera ezin hobea izan daiteke “guztiaren teoria” gertuagotik ikusi ahal izateko.



Ezkerrean, supersoken irudikapena (ARG.: JEAN FRANÇOIS COLONNA). Eskuinean, soka kosmikoak (ARG.: N. BEVIS). Izenean dute lotura handiena, berez objektu guztiz desberdinak baitira.



Unibertsoaren sorreraren eta eboluzioaren irudikapena. ARG.: WMAP (NASA).

dez, soka kosmikoak kontuan hartzen baditugu datuak hobeto esplika ditzakegula esaten digute esperimentu numerikoek. Ezin dugu ziurtasun osoz esan sokak aurkitu ditugula, baina. Gainera, beste datu kosmologikoak erabiliz (CMBaz gain) ezin da hain argi ikusi sokak daudenik. Datu berriak eta zehatzagoak behar ditugu. Agian, maiatzean aineratu zen Planck sateliteak lagunduko digu. Planckek CMBa zehaztasun izugarritz neurtuko du, bai tenperatura-anisotropiak, bai eta polarizazio-anisotropiak ere. Beste zenbait esperimentuk ere neurketa berriak egingo dituzte.

Baina, edozein kasutan, gaur egungo datuekin, ziur esan dezakegu datuek ez dutela esaten sokak ez daudenik. Eta sokak detektatzeko aukera hutsa oso garrantzitsua da. Datu berriek argi uzten badute sokak ez zirela eratu, hainbat eredu kosmologiko baztertu beharko ditugu, eta, agian, eredu berriak asmatu. Bestalde, sokak behatu ahal

baditzaiegu, unibertso jaioberriaren erlikiak ikusiko ditugu, unibertso jaioberria nolakoa zen ikusteko aukera paregabea izango dugu. ●

Planck satelitea. Bilduko dituen datuak lagungarriak izan litezke soka kosmikoaren teoria baieztatzeko. ARG.: ESA.



BIBLIOGRAFIA

VILENKIN, A.; SHELLARD, E. P. S.: *Cosmic Strings and Other Topological Defects*, Cambridge University Press.

SAZHIN, M. ET AL.:
Mon. Not. Roy. Astron. Soc 376 (2007), 1731;
Mon. Not. Roy. Astron. Soc 343 (2003), 353.
 (CSL 1 irudia).

BEVIS, N.; HINDMARSH, M.; KUNZ, M.; URRESTILLA, J.:
 "Fitting CMB data with cosmic strings and inflation", in *Phys Rev Let* 100, 021301 (2008). (Taulako soka kosmikoak irudia).

<http://map.gsfc.nasa.gov/> (WMAP irudia).

<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=Planck> (Planck irudia).



Gai librea aritzeko, bidali zure artikulua aldizkaria@elhuyar.com helbidera