

# Zulo beltzen muga inguruetan (eta II)

Jesus Arregi

**P**entsatzekoa denez, biratzen ari diren zulo beltzen (Kerr-en zulo beltzen) egitura, biraketarik ez dutenenarena baino korapilotsuagoa da, eta ondorioz, mugaren inguruan gerta daitezkeen fenomenoak ere bereziagoak dira. Oraingo honetan, hain zuzen, egitura berezi horretan oinarritzen den ideia bitxi bat aurkeztuko dugu; ia zientzi fikzioaren esparrura sartuko gaituen aieru bat: zulo beltzari energia lapurtzeko prozesua. Hasi, dena den, Kerr-en zulo beltzen egitura argituz hasi beharko dugu, ondoren prozesu hori azalduz. Lan horretan 1. irudia lagungarri gertatuko zaigu. Bertan ikus daitekeenez, biraketadun zulo beltzaren kasuan ez dugu zulo beltz estatikoaren (Schwarzschild-en zulo beltzen) zentruan aurkitzen genuen dentsitate infinituko puntu singularra. Singulartasuna orain, ekuatore-planoan dagoen eraztun bat da. Eraztun hau, gainera, ez da zulo beltzera erortzen den materiaren helmuga ekidinezina. Posible da zulo beltzaren barrena singulartasunera erori gabe

ibiltzea, bera dagoen planotik kanpo gainhegaldatuz ala

eraztunean zehar iraganez.

Zulo beltzaren mugari dagokionez, zulo beltz estatikoaren kasuan "gertaeren horizontea" izeneko muga bakarrarekin egiten genuena, orain hiru gainazalen bitartez azaldu beharko dugu. 1. irudian "kanpo-horizontea" izenaz marraztu dugun gainazala zulo beltz birakariaren benetako muga da, hots, beronen barrura eroriz gero, kanporantz ezin da atera. Barne-horizontea, berriz, eraztun-singulartasunak igorritako edozein seinaleren muga da, bertatik kanpo hedatu ezin daitezkeelako. Zein da, beraz, muga estatikoaren berezitasuna?

## EFEMERIDEAK

EGUZKIA: maiatzaren 21ean Geminis-en sartzen da, 1 h 1 min-etan (UT).

ILARGIA:	ILBETE	ILBEHERA	ILBERRI	ILGORA
eguna	6	13	21	28
ordua (UT)	3 h 34 min	12 h 20 min	14 h 6 min	18 h 21 min

## PLANETAK

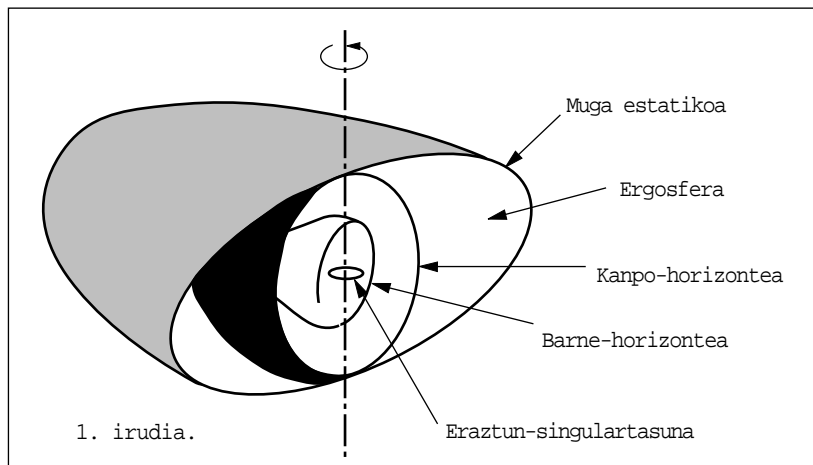
MERKURIO: hil honetan oso zaila izango da ikustea, hilaren 16an goikonguntzioan dagoelako.

ARTIZARRA: goizaldera ikusi ahal izango dugu gero eta baldintza hobekoetan, baina oraindik denbora gutxi dugu egunsentiko argiak estaltzen hasi aurretik.

MARTITZ: ilundu orduko zeruan dugu ikusteko moduan. Hilaren hasieran 1 h 30 min (UT) inguruetan desagertzen da, eta hilaren bukaerarako 0 h-etarako (UT).

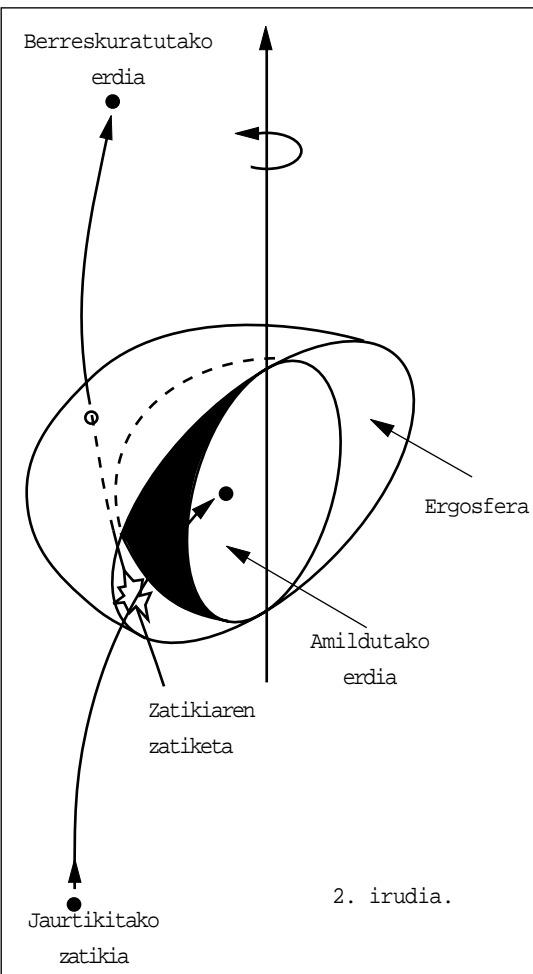
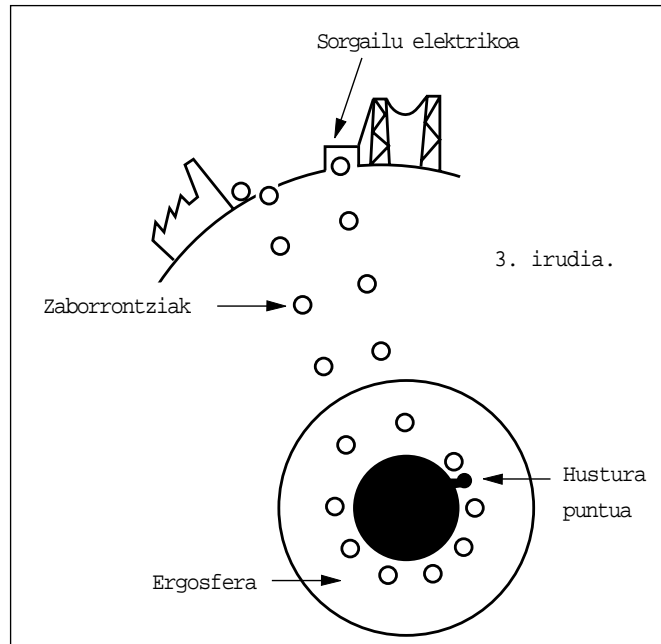
JUPITER: gau osoan zehar ikus dezakegu zerua zeharkatzen. Dena den, hilaren bukaerarako eguna argitzen hasi baino lehen ezkututzen hasiko da.

SATURNO: gauaren bigarren erdian ateratzen da. Hasieran 3 h-ak (UT) aldera, baina bukaerarako 1 h-ak (UT) baino lehen.



Schwarzschild-en zulo beltzean gertaeren muga zulo beltzaren muga izateaz gain, aurreko alean azaldutako denbora "izozten" zeneko muga ere bazen. Kerr-en zulo beltzean azken fenomeno hau muga estatikoan gertatzen da. Aurrerago ikusiko dugunez, kanpo-horizontearen eta muga estatikoaren arteko bereizketa hau da, hain zuzen ere, zulo beltzari energia lapurtzeko aukera eskaintzen diguna. Aipatutako bi gainazalen arteko espazioari ergosfera deitu ohi zaio. Baina energi erauzketa nola egin litekeen ulertzeko, ohar batzuk egin behar ditugu zulo beltzen dinamikari buruz.

Jakinaenez, zulo beltza erabat deskribatzeko hiru datu nahikoa dira: masa, momentu anguluarra eta karga. Magnitude hauetako bakoitzari energi mota bat dagokio: lehenengoa, masa inerteari dagokiona, bigarrena, momentu anguluarrari dagokion biraketa-energia, eta azkenik, kargarari dagokion energia elektrikoa. Bestalde, zulo beltzaren egoera dinamikoa bi parametroren bidez adieraz daiteke: zulo beltzaren azalera (gertaera-horizontearen azalera) eta gainazaleko grabitateaz, hots,



gertaera-horizontean dagoen grabitatearen azelerazioaren balioaz. Zulo beltzak edozein aldaketa jasaten badu, materia gehiago irentsi duelako adibidez, bere masa eta momentu angeluar berriak aipatutako bi magnitudeen funtziopean kalkula daitezke.

Zehazki, zulo beltzaren azalera bere masarekin estu lotuta dago. Edozein eraldaketa gertatu ere, materia zulo beltzetik atera ezinenez, zulo beltzaren azalera ezin daiteke inoiz txikiagotu. Beraz, masari dagokion energia ezin daiteke inola ere zulo beltzetik atera; baina, D. Christodolou-k frogatu zuenez, beste energi mota biak erauzgarriak dira. Ikuspuntu honetatik, Schwarzschild-en zulotik, hau da, biraketa eta kargarik gabeko zulotik, ezin daiteke inola ere energiarik atera; baina zulo beltz birakari edo kargadunetik bai. Energi mota biak ateratzeko prozesu-teoriak asmatu dira. Oraingo honetan R. Penrose-k diseinatutakoa azalduko dugu.

Oinarrian, prozesua 2. irudian ikus daitekeena da. Pentsa dezagun zulo beltzerantz suziri bat jaurtiki dugula, eta ergosferara sartzen denean erdibitu egiten dela. Zatietako bat zulo beltzera

orbita atzerakoi bati zulo beltzaren biraketa-norantzaren aurkako orbita bati segituz amiltzen bada, zulo beltzera sartzean bere momentu anguluarra txikiagotu egingo zaio. Beste zatia ergosferatik itzuli egin daiteke, hasierako suziriak zuen baino energia gehiagorekin.

C. Mizner, K. Thorne eta J. Wheeler-ek zibilizazio aurreratu batek lor lezakeen R. Penrose-ren ideiarekin aprobetxamendu bide bat proposatu zuten. Bide honen lerro nagusiak 3. irudian argitzen dira. Bertan ikus daitezkeen plataforma zulo beltzetik nahikoa urrun dago marea-indarren eraginik jasan ez dezan. Plataforman nahi bezain zabal den industrialdea dagoela kontsideratuko dugu. Bertan sortzen diren zabor eta hondakin guztiak edukinontzitan batu eta zulo beltzerantz jaurtiko litzaiteke, leku egoki batetik. Edukinontzia ergosfera barrura sartutakoan ireki egingo litzateke eta zaborra lehenago aipatu dugun orbita atzerakoietako batean ipini eta gero ergosferatik atera egingo litzateke, plataformako "portu" egoki batean berreskuratuko egingo litzatekeelarik. Bertan edukinontzien energia zinetikoari esker eragindako sorgailu batek, industrialdea indarrez hornituko luke. Hortaz, zabor guztia inolako ondorio kaltegarririk gabe suntsitu egingo litzateke eta horren truke zabor horien baliokide energetikoa eta zulo beltzari lapurtutako beste kopuru bat jasoko litzateke. Proposamena, bada, ezin eko-logikoagoa dugu.