



Törmäilevät asteroidit

Karri Muinonen

Planeetta Maa tapaa radallaan pienempiä Auringon kiertolaisia: asteroideja, komeettoja ja meteoroideja, edellisten palasia. Pienkappaleet voivat törmätä Maahan monimuotoisin seurauksin: ilmakehä suojaa meitä useimmilta törmääjiltä, muttei pysäytä maailmanlaajuisia katastrofeja aiheuttavia kilometriluokan törmääjiä.

Järjestimme yhdessä Timo Assmuthin (Suomen Ympäristökeskus) ja Lauri Pesosen (Geologian Tutkimuskeskus) kanssa toukokuussa 1999 suomalaisen asiantuntijakokouksen lähiavaruuden kappaleiden ympäristö- ja turvallisuusriskeistä. Yksi asiantuntijakokouksen johtopäätöksistä oli se, että lähiasteroidien tutkimukseen on merkittäviä valmiuksia juuri Suomessa. Toisaalta korostettiin asiantuntijakokousten tarvetta tulevaisuudessa ja käsiteltiin törmäysriskiviestinnän vaikeutta.

Kokouksen ajoitus osui sattumalta keskelle asteroidi 1999 AN10:n tapausta. AN10:lle oli laskettu törmäystodennäköisyys 1.9×10^{-9} vuodelle 2039. Tarina päättyi tällä erää onnellisesti: heinäkuussa 1999 löytyi tähtitieteellisistä arkistoista havaintoja, joiden sisällyttäminen tilastolliseen radanmäärittämiseen vei törmäystodennäköisyydet häviävän pieniksi koko ensi vuosisadan alkupuoliskolla.

Kosmisten törmäysten jaksollisuutta on tutkittu vuosien varrella paljon. Tämänhetkinen johtopäätös on se, ettei esim. kraatterien ikäjakaumasta voida löytää merkittävää jaksollisuutta. Jaksollisuus on yleensä liitetty väitteeseen komeettojen hallitsemasta törmäysvuosta. Nykyisin pieniä alle satakilometrisiä kraattereita pidetään pääasiassa asteroidien aiheuttamina, kun taas komeettojen osuus kasvaa kraatterikoon kasvaessa. Voidaan karkeasti arvioida, että kraatteri on halkaisijaltaan 10–50 kertaa suurempi kuin sen aiheuttanut kappale. Suurimman uhkan aiheuttavat asteroidit, joihin seuraavassa keskitytään.

Taulukossa 1 on esitetty tämänhetkinen Pikkuplaneettakeskuksen (Minor Planet Center, International Astronomical Union) ylläpitämä lähimpien asteroidiohjustusten lista. Taulukossa 2 on lueteltu amerikkalaisten ja kanadalalaisten kuolinriskit: menehtyminen asteroiditörmäyksessä on yhtä todennäköistä kuin menehtyminen lento-onnettomuudessa.

Taulukko 1. Asteroidien lähimmät Maa-ohitukset. Kuun etäisyys Maasta on noin 0.0026 AU = 384400 km missä 1 AU = 149597870 km:n tähtitieteellinen yksikkö eli likimäärin Maan etäisyys Auringosta. (lähde: Minor Planet Center)

Etäisyys (AU)	Päivämäärä	Asteroidin nimi	alustava
0.0007*	1994-12-09.8		1994 XM1
0.0010	1993-05-20.9		1993 KA2
0.0011	1994-03-15.7		1994 ES1
0.0011	1991-01-18.7		1991 BA
0.0029+	1995-03-27.2		1995 FF
0.0030	1996-05-19.7		1996 JA1
0.0031**	1991-12-05.4		1991 VG
0.0046	1989-03-22.9	(4581) Asclepius	1989 FC
0.0048	1994-11-24.8		1994 WR12
0.0049	1937-10-30.7	(Hermes)	1937 UB
0.0050	1995-10-17.2		1995 UB
0.0054	1998-06-08.2		1998 KY26
0.0067	1993-10-18.8		1993 UA
0.0068	1999-02-04.1		1999 CQ2
0.0069	1994-04-12.1		1994 GV
0.0071	1993-05-17.9		1993 KA
0.0071	1997-10-26.2		1997 UA11
0.0074	1997-02-09.8		1997 CD17
0.0078	1976-10-20.7	(2340) Hathor	1976 UA
0.0088	1999-03-12.9		1999 FR5
0.0099	1988-09-29.0		1988 TA

Huomioita:

* Lähin etäisyys Maasta oli 112 000 km.

** 1991 VG saattaa olla avaruusrumua.

+ Lähin etäisyys Kuusta oli 0.0013 AU.

Taulukko 2. Kuolinriskit Yhdysvalloissa ja Kanadassa (lähde: David Morrison ja Clark Chapman, 1994 ja 1997).



todennäköisyys (x 1/1000000)

300	onnettomuudet (ei liikennettä)
200	murha tai itsemurha
160	liikenneonnettomuus
10	tulipalo
5	sähköisku
1	lento-onnettomuus
1	asteroiditörmäykset
0.3	myrskyt ja tulvat
0.1	maanjärstykset
< 0.01	ydinvoimaonnettomuudet, suunnittelun päämäärä

Lähiasteroidien etsintäohjelmiin voi tutustua internetin välityksellä. Hyviä aloituspaikkoja ovat Pikkuplaneettakeskuksen Near-Earth-Object -sivu (<http://cfa-www.harvard.edu/iau/NEO/TheNEOPage.html>) sekä The Spaceguard Foundation -järjestön sivu (<http://spaceguard.ias.rm.cnr.it/SGF/>).

Viime vuosina etsintä on vilkastunut huomattavasti automatisoitujen etsintäohjelmien johdosta. Parhailtaan suunnittelemme avaruuteen sijoitettavaa infrapuna-alueen kaukoputkea, joka suunnattaisiin Aurinkokunnan tasoon muutaman kymmenen asteen päähän Auringosta. Alustavat arviot kaukoputken menestymismahdollisuuksista ovat lupaavia: lähellä Aurinkoa asteroidit ovat kuumimmillaan ja lähettävät eniten infrapunasäteilyä; lisäksi asteroidit kasaantuvat suppealle taivaankannen alueelle. Tällainen avaruuskaukoputki voitaisiin sijoittaa Maan ja Auringon väliin ja luonnollisesti suunnata myös siten, että se pitäisi silmällä Maan ympäristöä. Tämä ehdotus voisi saada vastaansa sotilaalliset tahot, joiden avaruuskaukoputket voisivat näkyä uudessa asteroidikaukoputkessa.

Lähiasteroideista

Lähiavaruuden asteroideiksi (lyhyesti lähiasteroideiksi) luetaan asteroidit, joiden lähin rataetäisyys Auringosta (perihelietäisyys) on pienempi kuin 1.3 AU, missä tähtitieteellinen yksikkö AU on likimääräinen Maan ja Auringon välinen etäisyys. Apollo- ja Aten-tyyppiset lähiasteroidit leikkaavat radallaan Maan pyöreän rataellipsin rajoittamaa "ratasiivua" ja voivat pitkällä aikavälillä törmätä Maahan. Amor-tyyppiset lähiasteroidit eivät paraikaa leikkaa Maan ratasiivua, vaan kiertävät Aurinkoa juuri ja juuri Maan radan ulkopuolella.

On teoretisoitu, että Maan radan sisäpuolellakin olisi asteroideja, mutta sellaisia ei toistaiseksi tunneta.

Lähiasteroidit ovat peräisin Marsin ja Jupiterin välissä sijaitsevasta pääasteroidivyöhykkeestä. On eritelty kolme pääasiallista mekanismia, jotka kuljettavat asteroideja Maan läheisyyteen. Ensimmäinen on 3:1 resonanssi asteroidin ja Jupiterin kiertoliikkeissä Auringon ympäri: asteroidi kiertää Auringon kolme kertaa siinä missä Jupiter kiertää Auringon kerran. 3:1 resonanssi on labiili, mistä syystä asteroidi karkaa lopulta kaoottiselle, mahdollisesti Maan ratasiivua leikkaavalle radalle.

Toinen mekanismi on ns. sekulaarinen resonanssi asteroidin ja Saturnuksen perihelien pitkän ajanjakson kiertymisliikkeessä (prekessiossa). On hyvä huomata, ettei vastaava Jupiter-resonanssi olekaan tehokas kuljetusmekanismi. Kolmannen mekanismin muodostavat korkean kertaluvun keskiliikkeen ja sekulaariset resonanssit, jotka kuljettavat asteroidin ensin Marsin ratasiivua ja sittemmin aina Maan ratasiivua leikkaavalle radalle.

Suurin osa lähiasteroideista on kivimäisiä, moninaisista silikaateista ja hiilikondriiteista rakentuvia epäsäännöllisen muotoisia kappaleita. Metallipitoiset lähiasteroidit ovat vähemmistössä, mutta sitäkin vaarallisempia korkeamman tiheydensä johdosta.

Uunituoreen arvion mukaan kilometriä suurempia lähiasteroideja on noin 750 kappaletta. Näistä tunnetaan 299, joten etsintä on tässä kokoluokassa 40-prosenttisesti valmis. Toisaalta Maan ratasiivua leikkaavia asteroideja on arviolta 550, joista tunnetaan 30 prosenttia. Aiemmat arviot lähiasteroidien lukumäärälle olivat yli kaksinkertaisia ja lukumäärän pienenemiseen on kaksi syytä: asteroidien kirkkausarvioinneissa oli tehty huomattavia systemaattisia virheitä ja asteroidit ovat todennäköisesti pintamateriaaliltaan aiemmin luultua vaaleampia. Tämänhetkisen arvion mukaan Maahan törmäisi miljardin vuoden aikana satunnaisina ajanhetkinä noin 1400 yli kilometrin kokoista asteroidia. Nykyihmiskuntaan kohdistuu siis tuhatkunta maailmanlaajuisen katastrofin uhkaa miljardissa vuodessa.



Törmäilijöistä

Puolentoista viime vuoden aikana on tuotu esiin neljä törmääjäehdokasta: asteroidit 1997 XF11, 1999 AN10, 1998 OX4 ja 1999 RM45. Kevääseen 1998 ajoittunut XF11:n käsittely aiheutti suurimman kohun: esitettiin, että XF11 voisi törmätä Maahan vuonna 2028, mikä väite kumottiin hetimiten. Osoittautui, että XF11:n törmäystodennäköisyys vuonna 2028 oli häviävän pieni alkuperäisen havaintoaineiston perusteella. Vuorokauden sisällä löytyneet arkistohavainnot sen sijaan mitätöivät piilossa olleen todellisen törmäysriskin vuoden 2028 jälkeen aina pitkälle ensi vuosisadan loppupuoliskolle saakka.



Asteroidi AN10 hyppäsi otsikoihin keväällä 1999: kyseessä oli ensimmäinen kerta, kun asteroidille laskettiin ajan tasalla olevan havaintoaineiston pohjalta häviävän pientä suurempi törmäystodennäköisyys (suuruusluokka 10^{-9}). Todennäköisyysarvioita päivitettiin uusien havaintojen myötä ja heinäkuussa löytyi arkistohavainnoja, jotka jälleen poistivat törmäysmahdollisuuden seuraavilta 50 vuodelta.



Kesäkuussa 1999 päänvaivaa alkoi aiheuttaa asteroidi 1998 OX4, jolla on edelleen mahdollisuus törmätä Maahan vuosina 2014, 2038, 2044 ja 2046. Törmäystodennäköisyys on Andrea Milanin ja Steve Chesleyn mukaan (Pisan Yliopisto) luokkaa 10^{-8} - 10^{-7} . OX4 on erityisen ongelmallinen siksi, että sen havaintojakson pituus heinä-elokuussa 1998 oli vain yhdeksän päivää, minkä johdosta se on ainakin tilapäisesti kadoksissa. Vaikka OX4:ää ei lähivuosina löydettäisikään, voidaan törmäysmahdollisuuksia rajata kielteisten havaintojen avulla: jos OX4 ei tietynä ajanhetkenä olekaan tietyssä paikassa taivaankannella, voidaan törmäystodennäköisyysarviota korjata alaspäin.



Viimeisin uhka oli 14. syyskuuta 1999 löydetty asteroidi 1999 RM45, minkä tapauksessa törmäysmahdollisuudet siivottiin häviävän pieneksi vuorokauden kuluessa ensimmäisestä ilmoituksesta. Sekä OX4 että RM45 ovat pienempiä muutaman sadan metrin kokoisia asteroideja, kun taas XF11 ja AN10 kuuluvat kilometriluokkaan. Nämä neljä esimerkkitapausta osoittavat, että astrometriset havainnot ovat avainasemassa törmäysmahdollisuuksia arvioitaessa. Toisaalta ns. fyysikaaliset havainnot kertovat, minkä kokoisia törmääjäehdokkaat ovat.



Helsinkiläistä lähiasteroiditutkimusta

Helsingin Yliopiston Observatoriolla on lähiasteroidien tutkimusohjelma, joka kattaa sekä teoreettisen että havaitsevan asteroiditieteen. Havaitsevaa osaa on harjoitettu esimerkiksi Pohjoismaisella kaukoputkella Kanarian La Palma-saarella (Nordic Optical Telescope, NOT) sekä Euroopan Eteläisessä Observatoriossa La Sillassa, Chilessä (European Southern Observatory, ESO). Keväällä tehtiin La Palmalla asteroidi AN10:stä astrometrisia havainnoja. Perinteisemmin on tehty fotometrisiä ja polarimetrisiä havainnoja, ja laboratoriokeetkin kuuluvat ohjelmaan.



Teoreettinen asteroiditiede on keskittynyt tilastolliseen radanmääritykseen ja törmäystodennäköisyyksien laskentaan sekä pyörimisjaksojen, pyörimisakselin suuntien, muotojen ja asteroidien pintojen mikroskooppisten ominaisuuksien johtoon. Kuhunkin tutkimukseen liittyy vaativa käänteisongelma, jossa havaintoaineistosta pyritään johtamaan fyysikaalisia suureita. Suurta osaa tutkimuksesta voidaan soveltaa muilla tähtitieteen alueilla (erityisesti planeettatieteessä) ja fysiikassa.



Kirjoittaja on Suomen Akatemian vanhempi tutkija sekä Helsingin yliopiston Observatorion dosentti ja esimies.

