

A meteorok fizikája III.

A meteorok felvillanási magasságának diszkrét eloszlása

Zdenek Ceplecha csehszlovák csillagász, a meteorok világszerte ismert kutatója, 1968-ban tette közzé tanulmányát "A meteorok kezdőmagasságának diszkrét szintjei" címmel. Munkáját 2529 db Super-Schmidt kamerával detektált meteor fotójának McCrosky és Rosen által kiredukált adataira alapozta. Bizonyos megfontolásból csak a 60° -nál kisebb zenittávolságú radiánsponntal rendelkező sporadikus meteorokkal foglalkozott, így 1848 db meteort vizsgált meg részletesebben.

Ceplecha korábbi kutatásainak eredményeire is támaszkodott, amelyben egy általa bevezetett paraméter (k_b) és a pályaelemek kapcsolatát vizsgálta meg. A paraméter definíciója:

$$(1) \quad k_b = \log(\rho_b) + 2,5 \times \log(v_{\infty}) - 0,5 \times \log(\cos Z_R)$$

ahol " ρ_b " a levegő sűrűsége a felvillanási magasságnál, " v_{∞} " a légkörbe lépési sebesség, " Z_R " pedig a radiáns zenittávolsága. A paraméter konkrét fizikai tartalma még nem ismeretes. Vizsgálatai során meglepő felfedezésre jutott: a meteorok felvillanás pontjaik felszín feletti magasságuk szerint két elkülönülő csoportba sorolhatók — azaz nem tetszőleges, hanem jól meghatározott, diszkrét magassági szinteken villannak fel! E munka további finomítása lett az 1968-as cikk alapja.

Az említett tanulmányban foglalt eredmények alapján arra a következtetésre jutott, hogy a meteorok négy osztályba sorolhatók feltűnési magasságuk szerint. Ezeket jelölte "A", "B", "C1" és "C2"-vel. Az eloszlás vizsgálatát alapvetően az 1. ábrán látható görbék felvételével végezte. Hogy adott elemi kezdősebesség $\Delta(v_{\infty})$ -tartományok közé eső meteorok milyen elemi magasság $\Delta(h_b)$ -tartományban villannak fel, megrajzolhatók az "ekvinumerális" (az azonos számú meteort jelentő) vonalak, így kapjuk az 1. ábrát. Ezen még látható három, közel párhuzamos, közelítőleg egyenes vonaldarab is. Ezek jó illeszkedése "mellékesen" igazolja a meteorasztrómia egyik fontos paraméterének (a levegősűrűség és a kezdősebesség összefüggésében szereplő "n" kitevő) $-2,5$ -es értékét, azaz

$$(2) \quad \rho_b = v_{\infty}^{-2,5}$$

Az ennek megfelelő vonalakat egyenessel közelítettük, de a valóságban görbültek, a levegősűrűség gradiensének változása miatt. Az ezekkel szöveget bezáró, mindháromat metsző vonal a korábban feltételezett $n=-3,5$ -es kitevőnek felel meg.

Az A, B, C1, C2 osztályba tartozó meteorok más tulajdonságaik alapján is jól elkülöníthetők: pl. a 2. ábrán láthatjuk a megfigyelhető (fénylő) pálya hosszának függését a kezdősebességtől. Jól láthatóan négy elkülönülő görbe köré tömörülnek a meteorok (ezek teli és üres körökkel jelölve).

Néhány fontos tény, amit Ceplecha megjegyzett a diszkrét eloszlással kapcsolatban:

1. Az eloszlás két fő szintje legalábbis a 20—40 km/s sebességek tartományában együtt fut, a felvillanási magasságok kb. 10 km-rel térnek el. Az alsó szint az A csoport, a magasabban megjelenő a C.
2. A C csoport két maximumot mutat. Az egyik az 50 km/s sebesség alatt (ez a C1 jelű), ami az ekliptikához közeli meteorpályáknak felel meg, míg a másik a 70 km/s-hez közel (ez a C2 jelű), a tetszőleges inklinációjú pályáknak megfelelően.
3. Az A és C1 csoport meteorjai közösek abban, hogy naptávpontjuk kisebb, mint 6 Cs.E., s pályasíkjuk hajlása az ekliptikához kisebb, mint 40° . A C2 csoport naptávpontjai 6 Cs.E.-nél távolabbiak, pályahajlásuk véletlenszerűen bármilyen értéket felvehet.
4. A C2 csoport élesebben elkülönül a $+1$ és -6^m közötti fényességű meteorok körében. Az A csoport rövidperiódusú, kisexcentricitású pályákon keringő meteorjainak relatív száma a kisebb fényességek irányában nő! Továbbá a 15 km/s alatti kezdősebességekhez tartozó meteorok kizárólag az A csoporthoz tartoznak!
5. A leghosszabb látható (fénylő) légkörbeli pályaszakasz a C1, míg a legrövidebb az A csoportba sorolt meteorokhoz tartozik.
6. A C szint meteorjainak ún. fotometriai és dinamikai tömegének eltérése igen nagy, míg az A szintéinek kicsi!
7. A klasszikus meteorrajok nem térnek el nagyon a sporadikus meteorok vizsgálatával megállapított osztályozás B és C csoportjától. Az egyedüli kivétel a Gamma Draconidák raj, amely 7 km-rel a C szint felett található (azaz csaknem ugyanannyival van a C szint felett az adott sebességeknél, mint a C szint az A felett)!
8. A vas-spektrumú meteorok és a mesterséges vas-meteoroidok kezdőmagassága alacsonyabb az ugyanolyan sebességű A csoportbeli meteorokénál. Az eltérés nem nagyobb 10 km-nél.

A tények magyarázatára Ceplecha a meteoroidok anyagi összetételének különbözőségét, légkörbe lépéskor bekövetkező fragmentációjukat (töredezésüket), az atmoszféra 90—100 km közti magasságban tapasztalható sűrűségváltozását, a meteorok felvillanás kori felszíni hőmérsékletének különbözőségét és még néhány más lehetőséget próbált felhozni. Az A típusúak valószínűleg kb. 3-szor sűrűbbek, mint a C csoportbeliek (legalább $2,5 \text{ g/cm}^3$), viszont a vasmeteoroknál ($7,8 \text{ g/cm}^3$) ritkábbak. Az A csoportbeliek valószínűleg forgó meteoroid testek, ami összhangban is állna a kezdeti felszíni hőmérsékletük jóval nagyobb értékével. Azonban a naprendszerbeli pálya elemeinek a C-beli meteoroidok pályaelméitől való eltérései ezt nem támasztják alá. A C csoport tagjait Ceplecha egymással azonos kémiai összetételűnek tartotta (legfeljebb $0,8 \text{ g/cm}^3$ sűrűséggel). Mivel ezek az A csoportnál jóval hosszabb pályájúak is egyben, szerinte nagyobb az ún. fragmentációs indexük is (X, Jacchia, 1955). A Gamma Draconidák tulajdonsága a rajmeteoroidok szélsőségesen kicsi sűrűségének tudható be ($0,3 \text{ g/cm}^3$ körül).

Ezt a munkát teljesítette ki később Ceplecha azzal, hogy megvizsgálta néhány raj tagjait is. A 2. ábra alapján megpróbálta besorolni az ismert nagyobb meteorrajokat a felállított osztályokba. Érdekes módon A típusú rajt nem talált ezek közt! Cook 1970-ben már 26 meteorrajt próbált több-kevesebb sikerrel osztályozni, ezek közül 13 ismert üstökössel áll kapcsolatban! Cook tanulmányából négy jellegzetes áramlat anyagát ragadtuk ki a 3. ábrához: a Perseidák, a Tauridák, a Tau Herculidák, a Geminidák és az Andromedidák tagjainak feltűnési magasság szerinti megoszlását láthatjuk. Cook megállapításai szerint az Andromedidák (P/Biela üstökös) és

a Delta Leonidák meteorjai kettős (A+C1) csúccsal rendelkeznek! Az is érdekes, hogy alig van B típusba sorolható raj, és ezekhez — úgy tűnik — nem is tartozik üstökös. Whipple és Stefanik modellje alapján Ceplecha C osztályú meteorjai az üstökösök jégfelszínéről származhatnak (a jég szublimációja utáni állapotában), míg az A osztályúak az üstökösök sűrűbb belső részéből. A B osztály meteorjai talán a kisebb üstökösök kevésbé sűrű magjához hasonlíthatók (amelyek már elvesztették külső burkukat). Az A típusúak sűrűsége igen közel áll az I. típusú szenes kondritokéhoz (azoké kb. 2 g/cm^3), ami igazolni látszik McCrosky és Ceplecha eredeti elképzelését (azaz hogy a nagy üstökösök öreg belső magjaiból származhatnak).

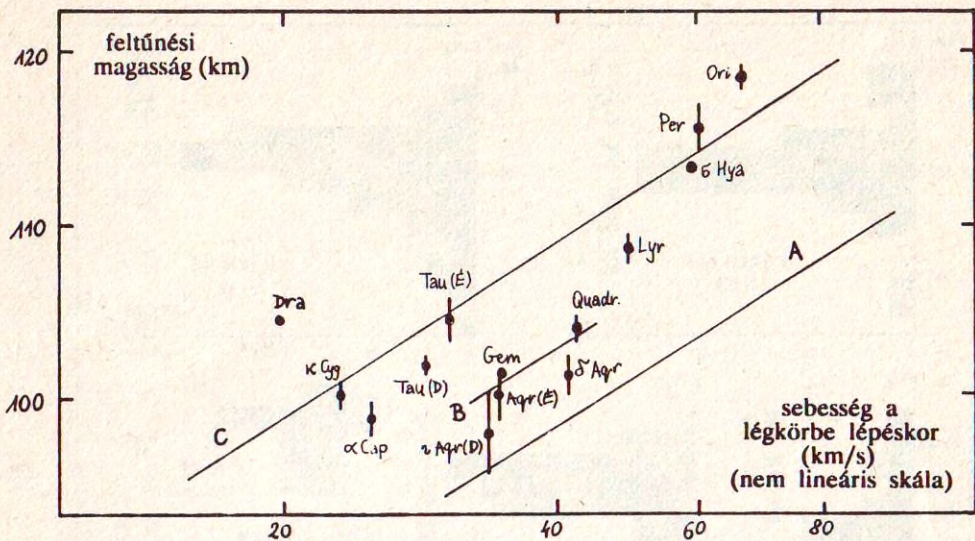
Cook fontosnak tartja a Geminidákhoz szorosan kapcsolódó, azzal közel azonos pályán keringő kisbolygó, esetleg kicsiny üstökösök felkutatását és vizsgálatát, amire szerinte jó esély van. Így a Geminidák lenne az első raj, amely B osztályú és üstökös eredetű! A Tau Herculidák vizsgálata is fontos, hiszen az 1930 VI mind ez ideig az egyetlen üstökös, amely bizonyosan A típusú meteorrajt eredményezett!

A Cook által klasszifikált meteorrajokat alább soroljuk fel:

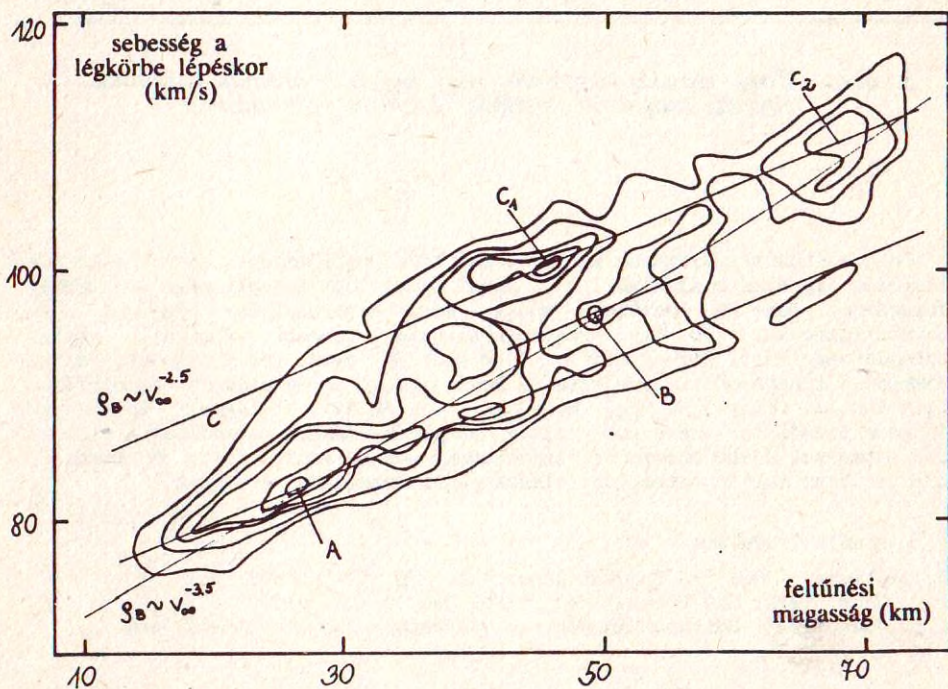
RAJ NEVE	U	JELENTKEZÉSEK	RADIANSZOK		V _G (km/s)	N ₀	OSZTÁLY
			RA	D			
Quadrantidák	-	jan. 2-3.	299° +49°	42	17		B
Delta Leonidák	-	febr. 5-19.	159° +19°	23	24		A+C1
Sigma Leonidák	-	marc. 21-máj. 13.	195° - 5°	20	19		B?
Lyridák	a	ápr. 21-22.	271° +34°	47	5		nem A
Eta Aquaridák	b	máj. 3-12.	340° - 2°	67	7		nem A
Tau Herculidák	c	máj. 19-jún. 14.	228° +40°	18	14		A: <A?
Kappa Skorpiidák	-	máj. 27-jún. 20.	246° -12°	23	11		B
Omi. Serpentidák	-	jún. 9-25.	274° -11°	30	4		nem A
Mü Sagittariidák	d	jún. 22-júl. 6.	268° -15°	23	4		A: <A?
Alfa Capricornidák	e	júl. 15-aug. 10.	304° -10°	25	21		C1'
		aug. 4-9.	317° -17°	28			
Iota Aquaridák, D	-	júl. 19-aug. 6.	320° -15°	35	12		A
		aug. 5-22.	348° -10°	41			
Delta Aquaridák, D	-	júl. 21-aug. 8.	340° -16°	43	22		B
Delta Aquaridák, E	-	aug. 5-25.	347° + 1°	40			
Perseidák	f	aug. 8-15.	46° +57°	60	45		C2
Iota Aquaridák, E		júl. 27-szept. 20.	354° + 1°	31	5		
Piscidák	g	szept. 25-okt. 19.	26° +14°	29	9	105	C1
Tauridák, E+D		szept. 19-nov. 21.	40° +13°	31	91		
Andromedidák	h	aug. 31-nov. 2.	10° + 6°	27	33		A+C1
Kappa Aquaridák	-	szept. 11-28.	338° - 5°	20	5		nem A
Drakonidák	i	okt. 9.	276° +49°	21	2		>C1!
Orionidák	b	okt. 14-nov. 7.	95° +16°	67	53		C2
Épsilon Geminidák	-	okt. 16-27.	102° +27°	70	7		nem A
Leo Minoridák	j	okt. 22-24.	162° +37°	62	3		nem A
Leonidák	k	nov. 15-20.	152° +23°	71	5		>C2!
Kappa Orionidák, E	-	dec. 4-13.	83° +26°	28	4		C1
Kappa Orionidák, D	-	dec. 7-14.	85° +16°	28	4		
Sigma Hydridák	-	dec. 4-15.	128° + 2°	58	6		nem A
Geminidák	-	dec. 4-16.	111° +32°	37	77		B
Delta Arietidák	-	dec. 8-jan. 2.	54° +25°	17	14		A?
Monocerotidák	l	dec. 10-17.	104° +10°	42	3		>C1!

Az "U" oszlop az adott meteorraj esetleges üstökös-kapcsolatára utal:

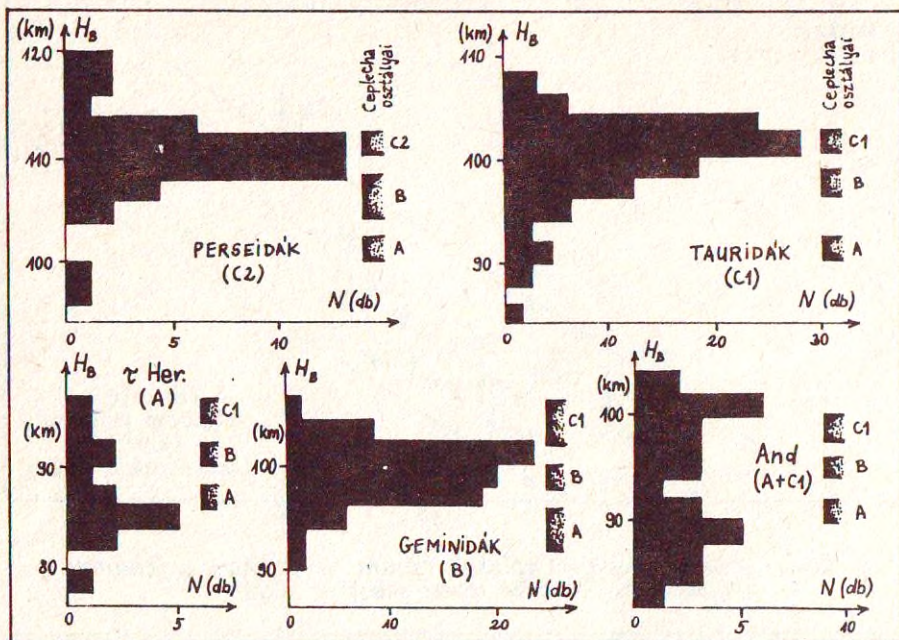
a: 1861 I, Thatcher	g: P/Encke
b: P/Halley	h: P/Biela
c: 1930 VI, Schwassmann-Wachmann	i: P/Giacobini-Zinner
d: 1770 I, Lexell	j: 1739, Zanotti
e: 1954 III, Honda-Mrkos-Pajdosáková	k: P/Tempel-Tuttle
f: 1862 III, Swift-Tuttle	l: 1917 I, Mellish



2. ábra. A meteorraj és Ceplecha három fő osztálya a feltűnési magasság és légkörbe lépési sebesség síkján



1. ábra. A sporadikus meteoroidok feltűnési magassága a sebesség függvényében. Az eloszlási térképen a szintvonalak az azonos számú meteoroidok tartományait kötik össze



3. ábra. Cook eloszlás-vizsgálata: négy nagyobb áramlat tagjainak feltűnési magasság-eloszlása, 2 km-es felbontásban

Befejezőként szeretnénk az itt bemutatott problémakört a meteorokat az észlelők figyelmébe ajánlani! A 3. ábrán bemutatott feldolgozási módszerrel vizsgálni lehetne esetleg eddig még besorolatlan rajokat és hovatartozásukat (és így valószínűsíthető további fizikai, kémiai tulajdonságaikat)! Bár az elmélet több mint 20 éves, és jőllehet, azóta sokminden tisztázódott körülötte, a megfigyelési anyag állandó szaporítása igen fontos. (Figyeljük meg, hogy az 1. táblázatba foglalt eredmények sokszor tíznél is kevesebb rajtag tanulmányozására alapulnak. A teória bemutatásával újabb szempontot szeretnénk volna adni, amely a további, precízebb szimultán meteor-észlelések megszervezésére buzdíthat.

HEGEDŰS TIBOR

Felhasznált irodalom:

- Z. Cepelcha, 1968: SAO Special Report No. 279. 1—54. old.
 A.F. Cook, 1970: SAO Special Report No. 324. 1—22. old.
 A.F. Cook, 1973: Smithsonian Contrib. Astrophys. No. 14. 1—10. old.