

A meteorjelenség egyszerű modellje

A közeljövőben egy cikksorozatot indítunk el, amely a meteorjelenség fizikai elméletébe vezet be a kicsit komolyabban elmélkedésre hajlandó meteorozó amatőrjeinket. A sorozat egyes részeit sorszámozzuk, hogy ezzel is kiemeljük az egyéb meteoros írások közül. Lesznek közte elméleti munkák, külföldi átfogó megfigyelési anyagra alapuló összehasonlító elemzések, esetleg még megerősítésre váró, tapasztalatilag felállított elméletek. Mindig megadjuk a vonatkozó irodalmat is, ahol utánanézhhetnek a fizikában, matematikában kissé járatosabbak.

Hogy ne legyenek ismeretlenek az alapfogalmak, a várható eredmények, bevezetőként, avagy kedvcsinálóként bemutatunk egy egyszerű programot néhány próbafuttatás tapasztalataival. A program és magyarázó szövege alapjául John A. Kennewell (Learmonth Napfizikai Observatórium, Nyugat-Ausztrália) Sky & Telescope-ban megjelent cikke szolgált (1987/1. szám 83-84. oldal). A program folyamatábrája, elvi sémája a 11. ábrán látható, a listát pedig a cikk mellékleteként közöljük.

Bár az itt alkalmazott egyszerű modell érvényessége igen korlátozott, jó betekintést tesz lehetővé a fényes meteorok sebességének, tömegének csökkenésébe, fényességük változásába. Egy, a légkörbe érkező meteor akkor válik láthatóvá, ha elegendő számú levegőmolekulával ütközik. Az ütközések során energiát ad át a levegőnek, így lassulni fog. A lassulás arányos a test azon felületével, amelyre a légellenállás hat (ez a mozgásirányra merőleges keresztmetszet), és egy mennyiséggel, amelynek légellenállási együttható a neve. A meteorok mozgási energiájának egy része fénnyé, legnagyobb hányada pedig hővé alakul. Ez a hő elpárologtatja a test anyagát tömegvesztéssel okozva ezzel.

A meteor fényessége erősen függ sebességétől és a fénylést előidéző folyamatától. Ez a fényesség kifejezhető egy ún. abszolút magnitúdóval egy kísérletileg meghatározott matematikai formulán keresztül. Jelentése: egy állandó 100 km-es távolságból ilyennek látnánk a meteort - az ún. látszó magnitúdó programunkban a tényleges légkörbeli távolságra átszámolt érték.

A programban a szimuláció kezdete a meteor fizikai leírásával kezdődik: tömegének, átlagsűrűségének, sebességének és belépési szögének beadásával (ez utóbbi adat értelmezéséhez, ill. a használt légkörmodellhez lásd az 1. ábrát). A kezdőmagasságot 150 km-nek vesszük, itt a légellenállás már elhanyagolható. A program ettől kezdve követi a meteor légkörbeli pályáját kis időlépésekben. Minden lépésben kiszámolja a sebességcsökkenést és a tömegvesztéssel. Ez a két mennyiség megadja a meteor új sebességét, új magasságát és új tömegét, amelyeket a következő lépésben fog használni. Kiválasztott időközönként kiírja a meteorjelenség "fejlődését" jellemző adatokat. A szimuláció akkor

ér véget, amikor a test anyaga teljesen elfogyott vagy elérte a földet, esetleg a sebessége egy beállított értéknél kisebbé vált (lásd a 11. ábrát).

A meteort jellemző adatok értelmezési tartományai, a programban használt jelölésekkel megadva:

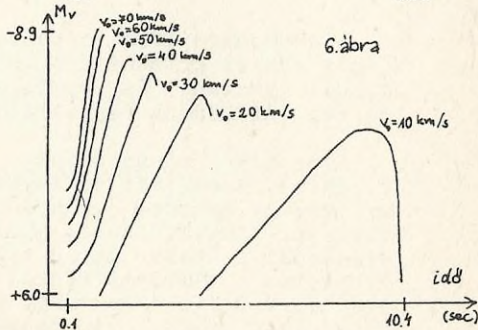
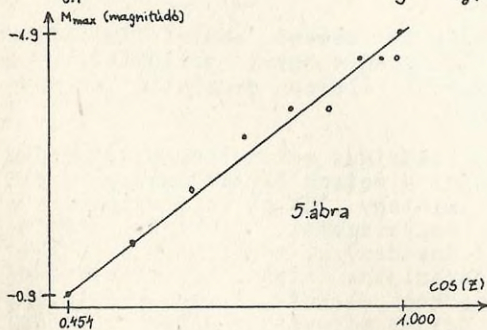
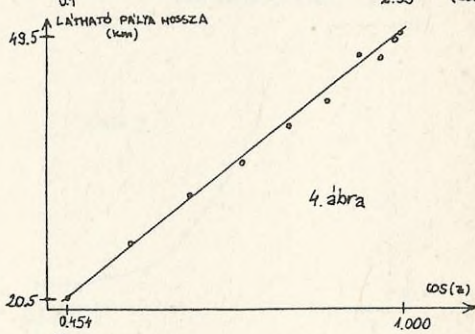
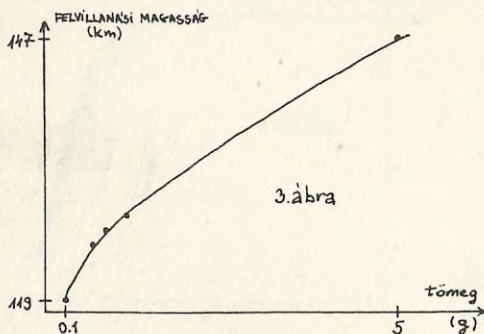
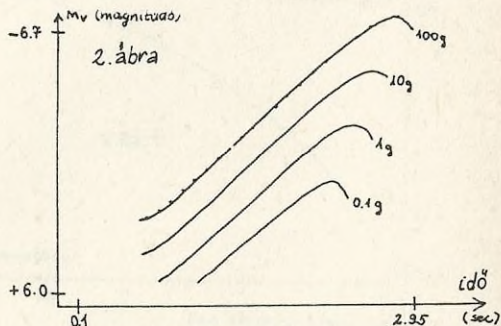
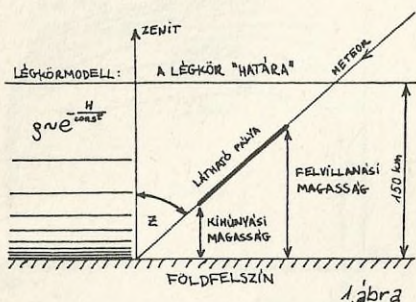
- A : "formafaktor", általában 1 körüli érték, tökéletes gömbre 1,2; kockára (orientációtól függően 1,0-1,7 közötti; és a hossz tengelye irányában mozgó szivar alakú testre 1,0-nél kisebb
- G : "légellenállási együttható", 0,5-1,0 közötti értékű
- D : "átlagsűrűség", szilárd kő- és vasmeteorra kb. 5000 g/m³; "porgolyó" meteorra 50 körüli érték
- H1: "olvadási hő", anyagi minőségtől függően 100.000-10 millió J/kg között van
- H0: "hőátadási együttható", 0,05-0,6 között
- L : "fénykibocsátási határfok", szilárd kő- vagy vasmeteorra 0,002; "porgolyóra" 0,0002
- V : "légkörbe lépési sebesség", általánosságban 11-72 km/s közötti (a novemberi Leonidákra 72 km/s, az augusztusi Kappa Cygnidákra 26 km/s)
- M : "tömeg", általában 10-1000 g közöttinek vehető
- Z : "belépési szög", azaz a meteor mozgásirányának a zenittel bezárt szöge (lásd 1. ábra)
- H : "magasság", a meteor pillanatnyi földfelszín feletti magassága, kezdőértékét 150-200 km közöttinek vegyük

A többi használt változó:

- T : a kezdőpillanattól eltelt idő másodpercben
- T9: idő-lépésköz másodpercben
- T1: kinyomtatások közti idő másodpercben
- T0: jelzőváltozó a kinyomtatáshoz
- R : a levegő sűrűsége (kg/m³)
- A2: gyorsulás (m/s²)
- V9: egy idő-lépésköz alatti sebességcsökkenés
- MM: a meteor kezdőtömege (kg)
- M0: a tömegvesztés sebessége (kg/s)
- M9: egy idő-lépésköz alatti tömegcsökkenés (kg)
- MV: a meteor vizuális fényessége (magnitúdó)

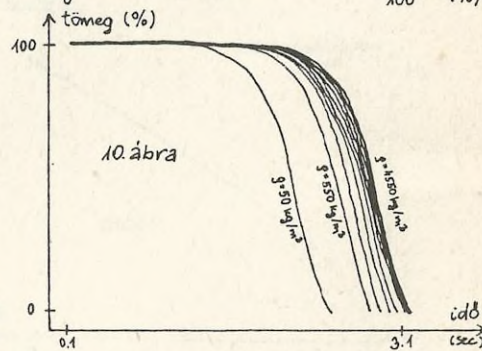
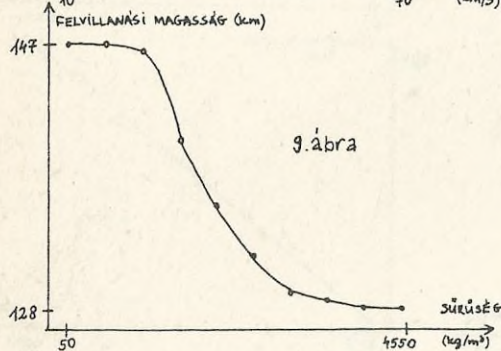
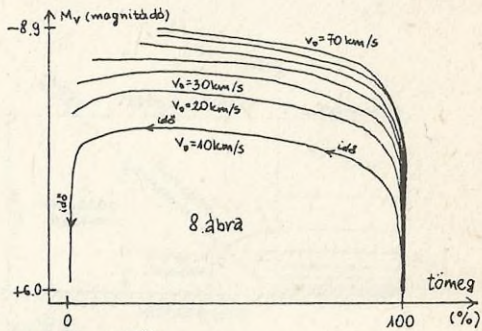
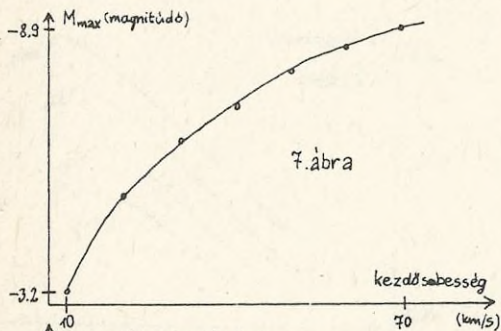
A levegő sűrűségének magasság szerinti változását az ún. barometrikus magassághüvelyvel vesszük figyelembe. Az idő lépésköze a kívánt pontosság és a számítási idő közti egyensúly által határozható meg. A bemutatott listán az eredeti cikkben ajánlott értékek láthatók (lásd a programlistát). Kísérletezésekor válasszuk előbb nagyobbbra, majd lépésről lépésre csökkentjük értékét mindaddig, amíg a kijövő adatok jelentősebben változnak. Ki fog tűnni, hogy a program - mint bármely más bonyolultabb fizikai folyamat szimulációja - sok számítási időt igényel. Rendkívül érdekes lehet a kezdeti értékek változtatása, és ezeknek a meteorjelenség lefolyására gyakorolt hatásának figyelemmel kísérése.

A szimuláció a fényes (tehát a fotografikusak is megörökíthető) meteorokat írja le jól. A kisebb és nagyobb üstökös eredetű részecskékre a modell eltér a valóságból. Ezeket a testeket gyakran "morzsalékként" írják le, lévén gyengén összetartott, kis sűrűségű anyagokból állnak. Amikor a légnyomás egy ilyen meteornál eléri a tengerszinti légnyomás 1/50-ed részét, a test kis szemcsékre (fragmentumokra) robban szét. A program másik korlátja, hogy nem tud foglalkozni a nagyon kicsi vagy nagyon nagy meteorokkal. Az előbbieknél nem elegendő az energiájuk ahhoz, hogy megolvadjanak, az utóbbiak (ezek a megtalálható meteoritok) még az olvadás megindulása előtt becsapódhatnak a talajba.



A programlistát követően egy próbafuttatás bemenő adatait és eredménylistáját közöljük. A program kipróbálására vállalkozók először ezekkel a bemenő adatokkal futtassák, és ha a bemutatott értékeket pontosan visszakapják, akkor fogjanak bele további vizsgálatokba.

A kísérleti futtatásokat a program bővített, továbbfejlesztett változatával végeztük, amely lehetővé teszi egyszerre több meteor tetszés szerinti két paraméterének ábrázolását és a jellemző fizikai mennyiségek összefüggésének vizsgálatát. Ezt a bővített listát válaszként küldése ellenében a meteorrovat vezetőjétől kérhetik.



A próbaszámítások során a négy fő bemenő adatot futtattuk végig széles értékhatárok között, rendre egyet változtatva, a többit konstans (a próbafuttatási listán megadott) értéken tartva. Általános tapasztalatok:

A program jól visszaadja a klasszikus meteorfénygörget (lásd 2. ábra). A maximális fényességet a meteor általában akkor éri el, amikor eredeti tömegének mintegy 70%-át elvesztette. A tipikus fényváltozási görbe magyarázatát (lassabb felfényesedési szakasz, gyors elhalványodás) az adja, hogy a fényki-bocsájtás a tömegvesztéssel kapcsolatos folyamatok következménye. Ez viszont a légkörbe lépéskor eleinte lassan változik, majd egyre gyorsul, és csak a teljes elenyészés előtt röviddel kezd újra mérséklődni. Mindezzert pedig alapvetően a légkör

Az alaprogram listája

```

10 REM *****
20 REM * METEOR *
30 REM *****
40 LPRINT
50 INPUT "KEZDO TOMEG [KG]=";MM
51 LPRINT "KEZDO TOMEG [KG]=";MM
60 INPUT "SURUSEG [KG/M^3]=";D
61 LPRINT "SURUSEG [KG/M^3]=";D
70 INPUT "LEGKORBELEPESI SEBESSEG [KM/S]=";V
71 LPRINT "LEGKORBELEPESI SEBESSEG [KM/S]=";V
80 INPUT "BELEPESI SZOG, ZENITTOL MERVE [FOK]=",Z
81 LPRINT "BELEPESI IRANYANAK HAJLASA A ZENITHEZ [FOK]=";Z
82 LPRINT : LPRINT
90 LET A=1: LET L=0.001: LET G=0.75: LET H0=0.2: LET H1=500000:
  LET H=150000: LET T=0: LET T0=0.001: LET T0=0: LET T1=0.1
100 LET M=MM: LET Z=COS (Z*PI/100): LET V=V*1000
110 LPRINT: GO SUB 300
120 LET R=EXP (-H/6500)
130 IF H<=130000 THEN GO TO 150
140 LET R=(2E-9)*EDP (-H-130000)/40000)
150 LET A2=6*AA*RA*V*V/((M^0.333333333)*D^0.666666667)
160 LET M0=H0*AA*RA*V*V*V*(M/D)^0.666666667)/(2*H1)
170 LET V9=A2*AT9: LET M9=M0*AT9: LET T=T+T9: LET H=H-V*AT9*Z
180 LET V=V-V9: LET M=M-M9
190 LET IF V<100 OR M<0 OR H<0 THEN GO TO 330
200 IF M0/M<0.1 AND T0=0 THEN GO TO 120
210 IF (T-T0)<T1 THEN GO TO 120
220 LET T%=STR$ (INT (T*100)/100)+"      ": LET T%=T%(1 TO 5)
230 LET H%=STR$ (INT (H*100)/10)+"      ": LET H%=H%(1 TO 5)
240 LET V%=STR$ (INT (V*100)/10)+"      ": LET V%=V%(1 TO 4)
250 LET A%=STR$ (INT (A2))++"      ": LET A%=A%(1 TO 5)
260 LET M%=STR$ (INT (M*10000/MM)/100)+"      ": LET M%=M%(1 TO 5)
270 LET MV=6.8-1.086*LN (0.5*V*V*M0*LA(1E+10)/(H*H))
280 LET N%=STR$ (INT (10*MV)/10)+"      ": LET N%=N%(1 TO 4)
290 LPRINT T%;CHR$ 162;" ";H%;" ";CHR$ 162;" ";V%;" ";
  CHR$ 162;" ";A%;" ";CHR$ 162;" ";M%;" ";CHR$ 162;" ";N%;
295 LET T0=T: GO TO 120
297 REM *****
298 REM * FEJLEC *
299 REM *****
300 LPRINT " IDO  MAGASSAG  SEBESSEG  GYORSULAS  TOMEG  VIZUALIS"
310 LPRINT : LPRINT " (S)      (KM)      (KM/S)      (M/S/S)      (Z)
  (MAGN)": LPRINT "=====
=====": LPRINT TAB 6;CHR$ 162;TAB 11;CHR$ 162;TAB 10;CHR$ 162;
  TAB 10;CHR$ 162;TAB 9;CHR$ 162
320 RETURN
330 LPRINT TAB 6;CHR$ 162;TAB 11;CHR$ 162;TAB 10;CHR$ 162;TAB 10;
  CHR$ 162;TAB 9;CHR$ 162; LPRINT"=====
=====": LPRINT: LPRINT "> END <": LPRINT: LPRINT:
  LPRINT: LPRINT: STOP

```

szerkezete a felelős (ezt felismerve a meteorokat a XX. sz. elején a légkör kutatására használták fel).

Beigazolódott, hogy a látható pálya nagy részén a sebesség közel állandó, a relatív sebességváltozás a vizsgált esetekben kb. 1% vagy még kevesebb volt. Ez alátámasztja a Meteor 86/1. számában leközölt szimultán számítási eljárás egyik alapfeltevését. Ezt figyelmébe ajánlhatjuk a forgószektoros kamerákkal fotózóknak, ill. ezeket feldolgozóknak.

Egyértelmű korrelációt mutatnak egyes, a meteor fizikailag jellemző adatok (kezdő tömeg, légkörbe lépési sebesség,...) a vizuális meteorjelenség megfigyeléséből származó adatokkal (pl. feltűnési magasság, max. fényesség). Erre a fotografikus szimultánvizsgálás további szorgalmazása végett hívjuk fel a figyelmet. Valamint nagyrészt erre a tényre alapszik Z. Cepiecha, csehszlovák kutató osztályozása - erről egy későbbi cikkben szólnunk bővebben.

Sajnos terjedelmi okokból az egyes változók hatásának részletesebb elemzését itt nem tehetjük közzé. Azért néhány tanulságos ábrát bemutatunk. A 2-3. ábrák a kezdőtömeg, a 4-5. ábrák a belépési szög, a 6-8. ábrák a légkörbe lépési sebesség és a 9-10. ábrák az átlagsűrűség szisztematikus változtatása mellett kapott eredményekből ad izelítőt.

A többi, a meteort fizikailag jellemző paraméter hatását nem vizsgáltuk. Célunk a program minél előbbi bemutatása és elméleti támpont adása volt az eredeti anyaghoz hozzá nem jutók, ill. angolul nem tudó amatőreink számára. A paraméterek változtatgatása, a hatások elemzése hadd legyen a vállalkozó szellemű amatőrök feladata. Várjuk a további észrevételeket levélben vagy akár a Meteor hasábjain. A témában érdekeltek és a meteorokhoz most kedvet kapott amatőrök érdeklődésére komolyan számítunk hamarosan induló sorozatunk kapcsán.

A PROBAEUTATÁS EREDMÉNYEI:

KEZDO TOMEK [KG]=.001
 SURUSEG [KG/M³]=400
 LEGKORBELEPESI SEBESSEG [KM/S]=38
 BELEPES IRANYANAK HAJLASA A ZENITHEZ [FOK]=45

IDO	MAGASSAG	SEBESSEG	GYORSULAS	TOMEK	VIZUALIS
(S)	(KM)	(KM/S)	(M/S/S)	(%)	(MAGN)
1.52	108.8	37.9	10	97.34	2.3
1.63	105.9	37.9	16	95.91	1.7
1.74	102.9	37.9	25	93.69	1.2
1.85	100	37.9	41	90.25	0.7
1.96	97	37.9	65	85.01	0.1
2.07	94.1	37.9	106	77.16	-0.3
2.18	91.1	37.9	177	65.8	-0.8
2.29	88.2	37.9	303	50.23	-1.2
2.4	85.2	37.8	554	30.97	-1.4
2.51	82.3	37.7	1175	11.66	-1.3
2.62	79.3	37.5	4339	0.55	0

HEGEDŰS TIBOR