

A fotoelektromos fotometria hazai lehetőségeiről

3.) A MÉRÉSI PONTOSSÁGRÓL

A Földet elérő síkhullámban a csillag által kibocsátott fotonok terjednek. A felfogott fotonok száma arányos a csillagfény fluxusával (a fluxus az egységnyi keresztmetszeten áthaladó teljesítmény, az utóbbi pedig arányos az időegység alatti foton számmal). Az adott idő alatt a detektorba beérkező fotonok száma véletlenszerűen változik, azaz ún. valószínűségi változónak tekintendő. Pl. ha egymás után sokszor lemérjük az egy másodperc alatt becsapódott fotonok számát, állandóan más-más értéket kapunk (de minél többször mérünk, az egyes mért értékekből képezett átlag egyre kevésbé ingadozik egy bizonyos érték körül).

Annak a valószínűségét, hogy t idő alatt k számú foton csapódik be a detektorunkba, a Poisson-eloszlás adja meg:

$$(4) \quad P_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t}$$

ahol λ az "időegység alatti fotonszám", t a "begyűjtési" (integrációs) időtartam. Ennek az eloszlásnak a sajátossága, hogy a t idő alatti fotonszám várható értéke és szórása:

$$(5) \quad M = \lambda \cdot t ; D = \sqrt{\lambda \cdot t}$$

Ez a szórás egy alsó korlátot ad méréseink pontosságára. Számoljuk ki, hogyan alakul a fotonstatistika miatti relatív hiba a különböző méretű távcsöveknél!

Állandó fluxust feltételezve, a csillagról begyűjtött fotonszám egyenesen arányos a begyűjtő felülettel (ld. az 1. egyenletet 87/7-8-as számunkban). Legyen az alapul vett fotonszám várható értéke $\lambda \cdot t = 10000$ (db) egy 10 cm-es távcsövön ($t=1$ s integrációs idővel). A "D" szórások helyett a D/M hányadost határozzuk meg, mint "várható relatív hibát". Az eredmények:

d_T	(mm):	100	200	300	400	600	1000
rel. hiba (%)	:	1	0,5	0,33	0,25	0,17	0,1

Tehát a mérések várható pontosságának alsó korlátja (egy adott fényességű csillagra) a nagyobb távcsövekre kisebb, ami a nagy távcsővel történő fotometria javára szól. Elkieseredésre mégis oka a kis teleszkópok tulajdonosainak, ugyanis kétféle módon is javíthatnak a pontosságon.

a.) A t integrációs (begyűjtési) időt növelve nagyobb lesz a fotonszám várható értéke, így a statisztikus ingadozásból származó relatív hiba csökken. Sajnos ez korlátlanul nem növelhető, mert egyre hosszabb begyűjtési idők alatt a légköri változások

a csillag fényében, és az azzal együtt mért égi háttér fényességében egyre erősebb, ellenőrizhetetlen változásokat okoznak. Azaz hosszabb integrációs időknél már elsősorban ez határozza meg a mérések hibáját, nem pedig a Poisson-statisztika.

b.) A járhatóbb út: kellően fényes csillagnál a λ olyan nagy lehet, hogy a mérés relatív pontossága elérheti egy nagy, "profi" távcsövön mért halványabb csillagét. A fenti példában szereplő csillagnál tízszer nagyobb fluxusú (2,5 magnitúdóval fényesebb) csillagra, ugyancsak 1 s integrációs idővel már egy 30 cm-es távcsőnél is 0,1% a várható relatív hiba alsó korlátja:

D_T	(mm):	100	200	300	400	600	1000
rel. hiba	(%)	0,32	0,16	0,10	0,08	0,05	0,03

(Az utóbbi két táblázat értékeit azzal a feltételezéssel számítottuk ki, hogy detektorunk 100% hatásfokkal érzékeli a fotonokat, és a távcsövekben nem következik be fényelnyelődés!) Ezért ajánljuk a kisebb távcsövek esetén a fényesebb csillagok vizsgálatát - persze csak ha az észlelő egyáltalán törekedni akar a minél nagyobb pontosságra!

4.) Az előbbi, a.) pont alapján érthető, hogy ha a fényes csillagoknál még nem is észrevehetően, de a halványak mérésénél (ill. kis műszerek esetén) már jelentős részben befolyásolják a légköri zavarok a fotometriai munka pontosságát. Ezért lényeges lehet az is, hogy az égi háttér fotonjaiból mennyit mérünk bele a csillag értékébe. Az égi háttér fényessége egyrészt a szemünkkel a távcsőben már nem látható csillagokból, emissziós ködökből, galaxisokból, az összes égitest fényének a csillages bolygóközi, valamint a légköri por- és gázanyagban szóródó részéből, másrészt pedig a földi mesterséges fényforrásokból (városi közvilágítás, járművek lámpái, stb.) szóródó fényből, és az ionizált atomok fénykibocsátásából áll össze. Itt a szóró közegek (döntő mértékben a földi légkör) tér- és időbeli véletlen változásainak komoly zavaró szerepe van. Hogy nemkívánatos csillag fényét, vagy az ingadozó háttér minél nagyobb részét kiszűrjük, réseket ("diafragmákat") használunk. Kicsiny átmérőjű, precíz rések elkészítése, beszerzése amatőrök számára igen nehéz feladat. Talán a 0,5 mm, és annál nagyobb résméretek érhetőek el számukra. Nézzük meg, hogy egy nagyobb és egy kisebb távcsőnél az ugyanakkora rések mekkora égi látószöget "engednek be" a fotométerbe? Az összehasonlítás alapjául a bajai 40 cm-es Cassegrain-távcsövet ($f=5595$ mm) és az arra felszerelt Starlight-1 fotométer öttelemeű, gyári készítésű diafragmakészletét választottuk. A képzeletbeli kisebb távcsőre $f_D=2000$ mm. A számítás az ismert

$$(6) \gamma = 206265 \cdot \frac{d_D}{f} \quad [^\circ]$$

formula alapján végezhető el, ahol γ az égi látószög (ívmásodpercben), d_D a rés átmérője (mm-ben), végül f a távcső fókusza (mm-ben). Az eredmények:

d_D (mm):	0,508	1,321	2,527	3,797	6,350
γ_D ('):)	0,31	0,81	1,55	2,33	3,90
γ_b^a ('):)	0,87	2,27	4,34	6,53	10,91

ahol γ_a az f_a fókuszú, γ_b az f_b fókuszú távcső fotométere által az adott réséken át látott égterület átmérője.

Következtetésünk: ugyanakkora rések a rövidebb fókuszú távcsöveknél (ezek általában egyúttal kis átmérőjűek is) nagyobb égterületet "vágnek ki" a fotométer számára, azaz nagyobb megnyírást engednek be az ingadozó háttér fényességéből (ez persze a 6. formulából közvetlenül is látható). Tehát kis teleszkópok számára a pontosság növelése végett kívánatos lenne minél kisebb rések készítése, beszerzése. Azonban ez technikailag is nehéz, de az alkalmazható legkisebb méretű rész alulról korlátozott is a szcintilláció és az (amatőröknél általában házi készítésű) óramű pontatlansága által!

5.) Végül, a munkát megkönnyítheti ill. megnehezítheti az a tény, hogy az adott távcsővel, adott résméret mellett találunk-e csillagmentes égi hátteret a célobjektumok mellett? (Fotometrálskor minden csillag mellett háttérértéket is kell mérni, ami levonandó a csillagra mért értékből!) Ezzel összefügg az a nem "mellékes" kérdés, hogy mennyire "hemzsegnek" a csillagok a látómezőben, megnehezítve a tájékozódást, a célobjektum azonosítását. Ismét a már fentebb közölt paraméterekkel rendelkező 40 cm átmérőjű teleszkópot, és egy 250/2000-es, tipikusnak mondható amatőrtávcsövet hasonlítunk össze. A 40 cm-es távcső 15^m-s elméleti határfényességénél fényesebb (tehát az okulárba pillantva elméletileg látható) csillagok átlagos száma négyzetfokonként 891,25, a galaktikus egyenlítőben ($\psi=0$ fok) természetesen ennél nagyobb (1318,25 db), erre merőleges irányban ($\psi=90$ fok) pedig jóval kisebb (93,33 db). Ugyanez a 25 cm-es távcsőre: a 14^m-s elméleti határfényességnél fényesebb csillagok négyzetfokonkénti száma átlagosan 181,97, $\psi=0$ foknál 524,81, $\psi=90$ foknál pedig 51,29. Látszólag tehát egyenlőre a kisebb távcsővel kedvezőbb a helyzet, kevesebb csillagot képes megmutatni. Viszont vegyük számításba a réskészletünket is! Kérdésünk: hány csillagot látunk az egyes részekben? Mindaddig, míg ez a szám egynél jóval kisebb, még könnyen találhatunk csillagmentes területet háttérméréseinkhez. Amint azonban eléri, és túlhaladja, már egyre nehezebb a helyzetünk! Az alábbi eredményeket kaphatjuk:

d_D (mm)	0,508	1,321	2,527	3,397	6,350
d_T (cm)	40 25	40 25	40 25	40 25	40 25
$\psi=0$ (db)	0,0 0,1	0,2 0,6	0,7 2,2	1,6 4,9	4,4 13
$\psi=90$ (db)	0,0 0,1	0,0 0,1	0,0 0,2	0,1 0,5	0,3 1,3
$\bar{\psi}$ (db)	0,0 0,0	0,1 0,2	0,5 0,7	1,1 1,7	2,9 4,7

(Vigyázat, a csillageloszlás átlagos értékei nem egyszerű középértékei a $\psi=0$ és a $\psi=90$ fok közepes csillagsűrűségének - és így az iménti táblázat alsó sorának értékei sem a felette levő kettő átlagai!)

Megállapításunk: kisebb távcsőben ugyanakkora rések mellett várhatóan több csillag kerül a látómezőbe (a műszer tetszőleges irányba fordításakor) mint a nagy távcsőben, nehezebb lesz csillagmentes hátteret találni, és a célcsillagok azonosítása is nehezebb. Persze a táblázat adatai valószínűségi jelentésűek: előfordulhat, hogy egy elvileg kis csillagsűrűségű területen nem tudunk könnyen csillagmentes hátteret találni (pl. ha a változó vizuális kettős tagja), míg egy csillagokkal elvileg sűrűn benépesített területen igen... Az egyik megoldás itt is a kisebb rés használata lenne, de ennek akadályait már láttuk. A másik lehetőség a probléma megkerülésére: a magasabb galaktikus szélességekről kell választani programcsillagokat!

HEGEDŰS TIBOR

Adok-veszlek



ELADÓ:

ALBIREO 13-130. számaiból álló sorozat, eredeti borítólapal (a 13. számtól kezdve készült rotagépen az Albireo előzőleg stenciles sokszorosítású volt). A teljes sorozat: 2.000 Ft

HALE, George Ellery: The Study of Stellar Evolution, 252 old., 104 fényképlap. (University of Chicago kiadása, 1908) Még Amerikában is antikvár! 300 Ft

SÍKTÜKÖR, 30-40 cm-es reflektorhoz alkalmas. Alumíniumozott. 85x122 mm méretű, 12 mm vastag, sarkai levágva, s egy 10x14 cm-es fémlapra szerelve. 300 Ft

CASSEGRAIN-SEGÉDTÜKÖR (Uránia-gyártmány) Alumíniumozott, kb. -550 mm fókuszú, 45 mm átmérőjű, 9 mm vastag. 100 Ft

BARLOW-LENCESE, akromatikus (kéttagú, ragasztott). Kb. -100 mm fókuszú, 40 mm átmérőjű, 18 mm vastag. 400 Ft

MIKROSKÓP-OKULÁR (23 mm külső átmérő). 16,5 mm fókuszú, Zeiss-gyártmány (15x jelzésű). 200 Ft

MIKROSKÓP-OKULÁR (23 mm külső átmérő). 12,5 mm fókuszú, Gamma-gyártmány (20x jelzésű). 200 Ft

Szentmártoni-Béla
Hencse, Kossuth u. 54.
7532