

## Fotometriai alapismeretek

A fotometria a fény mérésével foglalkozik és kiterjed a megvilágítás-erősség, a fényáram, a fényerősség és a fénysűrűség mérésére.

Fotometriai alapműszerünk a szem. Szemünk az 555 nanométeres hullámhosszúságú zöldessárga fényre a legérzékenyebb. Érzékenysége életkorfüggő és személyenként is igen változó. Az átlagszem érzékenységét több ezer mérésből állapították meg.

Ha fotometriai mérések során - változóésszelés, stb. magát a szemet használjuk érzékelőként, akkor szubjektív fotometriáról beszélünk. Ha műszeres kiértékelést alkalmazunk, akkor objektív fotometriáról van szó.

A két mérési eljárás közös jellemzője, hogy a különböző fotometriai mennyiségek meghatározása a kiértékelő berendezésen /ez lehet a szem is/ létrejött megvilágítás-erősségek összehasonlítására vezethető vissza. A szubjektív mérések során a szem azon tulajdonságát használjuk ki, hogy igen pontosan érzékeli, hogy két azonos nagyságú felület azonos megvilágítású-e? Az egyenlő megvilágításokat a fotométer segítségével hozzuk létre.

Az objektív fotometriában a mérőműszereket vagy kiíró berendezéseket skálázzuk a számunkra kívánatos fotoenergetikai egységekkel.

Sok amatőr készített már olyan felvételt, amelyen a csillagok az álló kamera előtt elmozdulni látszanak, vagy amikor a kamera óraművel követi a csillagok látszólagos mozgását. Az egyik esetben vonalas, míg a másikban pontszerű képet nyerünk a csillagokról. Mindkét típusú felvétel sok fontos információt hordoz számunkra.

1. Esztétikai élményt nyújt;
2. Tárolható dokumentum;
3. Panoráma tulajdonsága miatt egyszerre igen sok objektumot örökít meg, pozíció méréseket tesz lehetővé;
4. Az expozíció időtartama alatt beérkező fény mennyiséget összegzi, fényességméréseket tesz lehetővé.

Az előhívott negatívokon észrevehetjük, hogy halványabb csillagoknak halványabb vonal, illetve kisebb feketedés felel meg. A keletkezett kép átmérője és a magnitúdókban kifejezett fényesség közötti összefüggés az 1. ábrán látható./A görbe lefutása az optikától és filmtől is függ/.

Az 1. ábrán látható, hogy a keletkezett vonal szélessége arányos a csillag fényességével, úgymond: lineáris kapcsolat van köztük. A vonal kiszélesedése a fényérzékeny fotóanyagban létrejött fényszóródás következménye. A fotóanyagot ért össz fény mennyiség  $I \cdot t$  függvénye, ahol  $I$  az intenzitás,  $t$  az expozíció időtartama. A diagram meredeksége fotolemezenként más és más lehet.

Pontos eredményeket a feketedés mérésével kapunk. A kiértékelést személytelen - objektív - fényelektromos fotométerekkel végzik. A fotoérzékelő lehet fotocella, fotodióda, vagy fotomultiplier is.

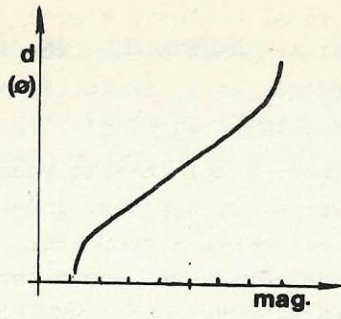
Gyakori, hogy a csillagok extrafokális képét viszik a negatívra. Az így keletkezett parányi korongokon a fényességeloszlás egyenletes, így a korongok minden pontja egyenlő feketedést mutat.

A kimérő berendezésben egy jól fókuszált fénynyalábot ejtenek a negatívra, a film feketedése által legyengített fény sugarat a túloldalon párhuzamosítják és egy multipliercső katódjára juttatják. A foton sokszorozócső erősítője után kiíróberendezést vagy mérőműszert helyeznek el.

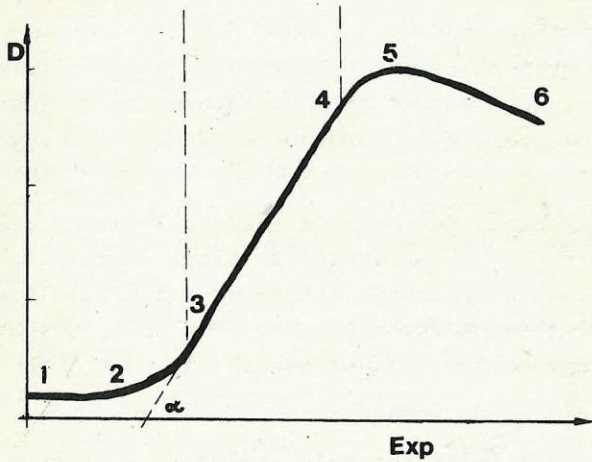
A két eljárás közös vonásai:

1. Minden egyes felvételt külön-külön kell kimérni. Ha komparátorral mérjük a fényességet, akkor az ismert fényességű csillagok vonalszélességét ábrázoljuk egy grafikonon a fényesség függvényében, majd ennek segítségével az ismeretlen fényességű csillag magnitúdó értéke a vonalszélesség ismeretében meghatározható.

A feketedés mérésekor először az ismert fényességű csillagokhoz tartozó műszerkitéréseket ábrázoljuk egy grafikonon.



1. ábra: Csillagnyom-szélesség magnitúdó összefüggés



2. ábra: Fotoemulzió jelleggörbéje

Célszerű úgy elkészíteni a felvételt, hogy a mérendő csillagok feketedése az úgynevezett gradációs görbe lineáris szakaszára essék. A fényelektromos műszerek esetén az üzemi feszültség állandó értéken való tartása mellett a megvilágító fénynyaláb erősségének változtatásával a lineáris szakaszon való mérés gyakorlatilag mindig megvalósítható.

2. A kimérésre szánt anyagoknál törekedjünk arra, hogy egyforma érzékenységu anyagokat azonos körülmények között dolgozzunk fel /azonos képméret, azonos hivoanyagok, azonos hőmérséklet .../. A felsorolt szempontok szem előtt tartása növeli a pontosságot és az anyag - homogenitása miatt - könnyebben kezelhető lesz. Lehetőleg ilyen célra azonos típusú felvételekhez ugyanazokat a műszereket használjuk.

A fotólemezre érkező fénynyaláb és a feketedés által legyöngített nyaláb intenzitásarányának logaritmusát feketedésnek vagy idegen szóval denzitásnak nevezzük. A mérést az alapfátyol fölötti 0,1 feketedésértéknél lehet kezdeni és jó esetben a  $0,1^m$ -s pontosság is elérhető /ami a közhiedelemmel ellentétben sokkal jobb a szabad szemmel elérhető pontosság-nál, ez utóbbi  $0,2^m - 0,5^m$ !/.

#### A FOTOEMULZIÓK JELLEGGÖRBÉJE

A negatívokon azt tapasztaljuk, hogy a vonalas és a pontszerű képek árnyalatai nem egyformák. Azt is láttuk, hogy miként lehet a kínálkozó eseteket mérésre fölhasználni. Most nézzük meg közelebbről, mi látható a negatívon. Láttuk, hogy a megvilágítás és a kép feketedése között összefüggés van. Ez az összefüggés olyan, hogy kétszeres feketedéshez százszoros; háromszoros feketedéshez ezerszeres megvilágítás szükséges.

A megvilágítás függvényében ábrázolva a feketedést /denzitást/, az úgynevezett jelleggörbéhez jutunk. A fent említett mennyiségek logaritmusait ábrázolva jutunk a 2. ábrához.

A görbe azt mutatja számunkra, hogy az egyes fotóanyagokon adott megvilágítás hatására mekkora feketedés jön létre.

A feketedés értelmezéséből következik, hogy az  
1-es feketedésnél a negatív a ráeső fény 10 %-át,  
2-es feketedésnél 1 %-át,  
3-as feketedésnél 0,1 %-át engedi át.

Hatnál nagyobb feketedés értékek a gyakorlatban sohasem fordulnak elő.

Elemezzük a görbét! A görbe sohasem kezdődik nullánál, hanem valamivel magasabban. Ez azért van, mert a megvilágítatlan, de még előhívható szemcsék befeketedtek és a hordozó zselatinréteg is mutat fényelnyelő hatást. E két dolog együttes hatásaként jelentkezik az alapfátyol. Tehát jegyezzük meg: a fényérzékeny réteg előzetes megvilágítás nélkül is mutat feketedést! /1-2 szakasz/ Az alapfátyol feketedése normális esetben általában 0,1 körüli érték. Ha ez 0,3, akkor erősen zavar és 0,4-nél nagyobb érték esetén a negatív élvezhetetlen. Ezen a szakaszon a görbe enyhén emelkedik, a 2-es ponthoz tartozó megvilágítások hoznak létre kimérhető feketedést, ezért 2 a küszöbpon. Egy filmanyag csillagászati célokra annál alkalmasabb, minél kisebb küszöbszámmal jellemezhető.

A 2-3 szakasz átmeneti rész az alapfátyol és a lineáris szakasz közt. A csillagászati felvételeken szinte kivétel nélkül ebbe a tartományba esnek a mérendő objektumok. Ez a szakasz közelítőleg lineáris, de alulexponált.

A lineáris /3-4/ szakasz. Az itt mérhető feketedés arányos a megvilágítás logaritmusával. Célszerű mindig úgy exponálni, hogy a keletkezett kép feketedése a lineáris szakaszra essék. Kimérésre, nagyításra, stb. az ilyen felvételek a legalkalmasabbak. Az ilyen felvételek a jól-exponáltak.

A /4-5/ szakasz átmenetet képez a telítettség és a lineáris szakasz között. A növekvő megvilágítás értékek relative egyre kevesebb feketedést hoznak létre. A képet úgymond túlexponáltuk.

A telítettségi pont /5/ közelében a növekvő megvilágítás hatására a fotóanyagban alig, vagy egyáltalán nem következik be változás, majd egy idő után a denzitás értéke /a növekvő

megvilágítás hatására/ csökkenni kezd, a jelleggörbe lekonyul, ezt a jelenséget nevezik szolarizációnak, az 5-6 szakasz pedig már a szolarizációs szakasz.

Az alapfátyol /2/ és a telítettség /5/ közelében a kép kontrasztossága, és így részletgazdagsága is nagyon rossz, ezért nem célszerű alul, vagy túlexponált képeket készíteni.

Bármely, csillagos égről készült felvételen garantáltan találhatunk alulexponált objektumokat, hiszen gyakorlatilag tetszőlegesen halvány csillag is található a látómezőben. Gyakori az olyan csillagászati felvétel, amelyen alul-, jól- és túlexponált csillagok egyszerre láthatók. A közkezen forgó köd-fotóknál ez jól megfigyelhető. A legfényesebb csillagok erősen vagy kevésbé túlexponáltak, a köd és egy csomó csillag jólexponált, az aktuális szintnél halványabb objektumok alulexponáltak, és van sok, amelyik elvész az alapfátyol alatt, önálló nyomot nem is hagyva.

Az expozíciós időt mindig úgy célszerű megválasztani, hogy az az objektum, amelyért a felvétel készül, mindenképpen lineáris szakaszra eső feketedést hozzon létre a negatívon, tehát jólexponált legyen, még akkor is, ha az alul- és túlexponált /esetleg szolarizálódott/ objektumok jelenléte elkerülhetetlen.

A lineáris szakasz meredekségét  $\gamma$  -val jelölik, a meredekség pedig nem más, mint az ábrán  $\alpha$  -val jelölt szög tangense.

A 3 és 4 pontokhoz tartozó megvilágításértékek a lineáris szakasz szélső pontjait tüzik ki, ez a jó expozíció tartománya, így a fotóanyag egyik legfontosabb jellemzője.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a jelleggörbe eddig tárgyalt összes tulajdonságát az előhívási körülményekre való tekintet nélkül minden fotóanyagnál megtaláljuk.

A lineáris szakasz meredeksége az érzékenységre és a kontrasztosságra jellemző adat. Minél nagyobb  $\gamma$  értéke, a fotóanyag annál érzékenyebb és kontrasztosabb az adott megvilágítási tartományban. A kisebb  $\gamma$  értékekhez az adott meg-

világítási tartományban kisebb érzékenység, és így kisebb kontrasztosság tartozik.

Ha  $\gamma > 0,75$  kemény,

ha  $0,65 \sim \gamma < 0,75$  normál és

ha  $\gamma < 0,65$  lágy negatívról beszélünk.

/Mivel  $\gamma = \operatorname{tg} \alpha$  ezért  $\alpha = 45^\circ$ -nál  $\gamma = 1$ ./

A  $\gamma$  értékét a hívási körülmények is befolyásolják. Radikális hívóban vagy  $18^\circ\text{C}$ -nál magasabb hőfokon hívva kemény, finomszemcsés hívóban vagy  $18^\circ\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérsékleten hívva lágy negatívokat kapunk.

Az éjszakai égbolt fényképezésekor nagyérzékenységű filmek használatosak. A nagyérzékenységű filmek jellemzője, hogy igen kicsiny megvilágítások már kimérhető feketedést hoznak létre az alapfátyol fölött. A 2. ábrán 2-sel jelölt pont az alul-exponálási szakasz kezdőpontja, és a 3-as pont, a lineáris szakasz kezdőpontja a normál negatívokhoz képest balra eltolódtak, azaz már egészen kis megvilágítások esetén mérhető feketedés jön létre.

Hosszabbítsuk meg a lineáris szakaszt az abszcissza tengely felé úgy, hogy metssze azt! A metszéspontot jelöljük  $i$ -vel. Látható, hogy az érzékenység növekedésével az  $i$  pont az ábrán egyre jobban balra tolódik.

Az Ofotért-ben vásárolható filmek dobozán általában két-féle érzékenységet tüntetnek fel. Az Sch-fok a legkisebb előhívható feketedést adja meg, míg a Din-fok a legkisebb másolható feketedést jelenti. /A csillagászati fényképezésben a hosszú expozíciók miatt minden esetben jelentkezik a Schwarzschild-effektus./ Az expozíciós idő növelésével nem egyenes arányban növekszik a feketedés. /A Din fok  $1/20$  sec. expozíció esetére adja meg az érzékenységet, tehát pl. 30 perc expozíciós időnél már nem sok értelme van, csak durva tájékoztatást ad. Megj: a lektor/. Célszerű megjegyezni, hogy három Din különbséghez kétszeres érzékenység tartozik, a nagyobb Din számú film az érzékenyebb.

CSé Em