

MCSE-hírek

Nyári rendezvényeink

Mire ezek a sorok megjelennek, valószínűleg már megkezdődött ráktanyai ifjúsági táborunk, melyre öröndetesen sokan jelentkeztek — holott a rendezvényt igazából nem is hirdettük meg szélesebb körben. Nagy az érdeklődés a ráktanyai "második turnus", a Meteor '93 iránt is, így minden esélyünk megvan arra, hogy rekord számú résztvevőt láthassunk vendégül.

Ráktanyával kapcsolatban nem árt elégszer elmondani, hogy a nyári időszakban — vezeték híján — rendkívül takarékosan kell bánni a vízzel, nagyszabású zuhanyozások mindenképpen mellőzendők. (1992-ben sok probléma volt ebből!) A balatoni kirándulás csak részben enyhíti ezeket a gondokat... A földi vízhiányt viszont ellensúlyozza az éjszakai csillagbőség!

Ismét számos előadást tartunk (különösen a hétvége programja lesz zsúfolt), jó lenne azonban, ha ezeken kívül is megismerhetnénk a hazai amatőr-csillagászok, szakkörök, bemutató csillagvizsgálók életét. Szeretnénk "tábori kiállítást" tartani tablókából, poszterekből, melyeken asztrófotóikat, műszereiket, észlelési eredményeiket mutatják be az amatőrök. Minden távcsőépítő figyelmébe ajánljuk a július 17-i bolhapiacot, ahol — reményeink szerint — a korábbinál is nagyobb lesz a kínálat — ha a résztvevők is úgy gondolják.

Észlelési témánál maradva, mindenkinek ajánljuk a Perseidák idei maximumának észlelését! Aki teheti, figyelje meg a meteorzáport, vagy szervezzen szűkebb környezetében távcsöves bemutatót a nagy égi esemény kapcsán. (Bővebben l. a meteorrovatot!)

A nyár fontos eseményének ígérkezik a kiskunhalasi találkozó. A szervezők a május 31-e után jelentkezők számára is biztosítják a kedvezményes, 2500 Ft-os részvételt. Ne mulasszuk el ezt az alkalmat — öt év után Kiskunhalason lesz újra lehetőség arra, hogy felelevenítsük a régi CSBK-találkozó hangulatát. A programban neves szakemberek előadásai mellett szerepelnek tanulmányi kirándulások, megfigyelések a kiskunhalasi csillagvizsgálóban, és természetesen itt is lesz "csillagászati javak vására". Tablók, poszterek állandó kiállítására Kiskunhalason is szeretnénk módot adni, így akinek van bemutatni való anyaga, bátran hozza el!

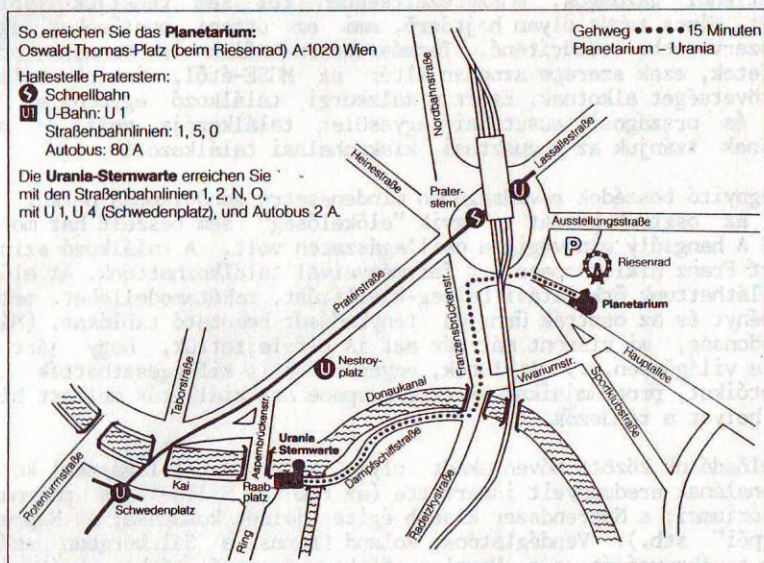
Közvetlenül a kiskunhalasi találkozó után kezdődik Pécsi Csoportunk tábor a Pécsvárad mellett. Bővebb információk a Programajánlatban olvashatók róla!

Ausztriában jártunk

Május közepén a salzburgi Arbeitsgruppe für Astronomie meghívására Bartha Lajossal vettünk részt az osztrák amatőr-csillagászok idei találkozásán (az osztrák amatőr-csillagászatról l. még Meteor 1993/2., 5. o.). A salzburgi találkozó jó alkalmat szolgáltatott arra, hogy az odautazást megszakítva sorra járjuk Bécs csillagászati nevezetességét.

Sokan ismerik a Duna-csatorna partján magasodó Urania épületét. Az 1910 óta itt működő bemutató csillagvizsgáló jelenleg "szimbiózisban" él a bécsi Zeiss Planetáriummal. A mellékelt "keresőtérképből" is kiderül, hogy a két

intézmény között gyalogosan is hamar bejárható az út. A bécsi Urania égboltja a budapestinél is rosszabb (a csillagvizsgáló mellett még villamosmegálló is van), de az itthoni példából is megtanulhattuk, hogy egy bemutató csillagvizsgáló telepítésekor nem az égbolt minősége az elsődleges szempont. (De 1910-ben még nem tudhatták, milyen fényes lesz a jövő égboltja!)



Az intézmény főműszere egyedi megoldású, lényegében törzoszlopos német szerelésű kettős távcső (30 cm-es Cassegrain és 15 cm-es refraktor), számítógépes vezérléssel. A bécsi Urania szerdán, pénteken és szombaton este tart bemutatót, vasárnapként 11 órakor pedig a Napot (napfoltok, protuberanciák, napszínkép) mutatják be. A belépődíj 40 schilling, gyerekeknek, tanulóknak 20 schilling.

Bécs másik nevezetessége, az Egyetemi Csillagvizsgáló — ahol szállásunk is volt — már kevésbé közismert, az osztrák "profi" csillagászati kutatók egyik központja. Az egyetlen épülettömbből álló, ünnepélyes külsejű intézmény a "nagy refraktorok" korában épült. Főműszere, a 68 cm-es Grubb-refraktor elkészülte idején (1878) hat hónapig volt a világ legnagyobb refraktora. Méretei lenyűgözőek, az észlelőmunkát — természetesen — mozdó padló könnyíti meg. Ma is az eredeti óragép hajtja! Egy távcsőnél nem a "design" a legfontosabb — az eredményt elnézve a Grubb cég ezt a szempontot messzemenőkéig figyelembe vette. Sajnos, nem volt lehetőség a műszer éjszakai kipróbálására, valószínű, hogy némi "pozitív észlelési élmény" megszerzése után elszállnának esztétikai kifogásaim... Havi egy alkalommal egyébként bemutatót tartanak a refraktorral a nagyközönség számára. Számonkra szokatlanul hangzik, de igaz, hogy a csillagvizsgáló egyik kisebb műszerét, egy 30 cm-es Clark-refraktort a helyi amatőrök rendszeresen használhatják.

Salzburg, utunk célpontja, egészen a legutóbbi évekig nem rendelkezett bemutató csillagvizsgálóval. Az osztrák amatőrcsillagászok idei találkozóján ezt a kis csillagdát is megismerhettük, de ne vágjunk a dolgok elé!

Az osztrák amatőröknek a jelek szerint nincs szükségük olyan "nagy" országos egyesületre, mint nálunk az MCSE, és ennek nyilván számos oka van. Az egyik az, hogy a helyi klubok, egyesületek — hozzánk viszonyítva — mérhetetlenül gazdagok, műszerezettségben fel sem vehetjük velük a versenyt. Nincs tehát olyan hajtóerő, ami az ottani amatőröket egyetlen nagy szervezetbe tömörítené. Természetesen náluk is vannak országos egyesületek, ezek szerepe azonban eltér az MCSE-étől, inkább valamiféle laza szövetséget alkotnak. Ezért a salzburgi találkozó egyben az összes (helyi és országos) ausztriai egyesület találkozója volt — mi is ilyesminek szánjuk az augusztusi kiskunhalasi találkozót!

A megnyitó beszédek rövidségében mindenesetre gondolkodás nélkül követhetjük az osztrák példát — egyik "előkelőség" sem beszélt hat mondatnál többet. A hangsúly mindvégig a csillagászaton volt. A találkozó színhelyén mindjárt Franz Miklis space art festményeivel találkozhattunk. Az előadók között láthattunk úrkutatási bélyeg-kiállítást, rakétamodelleket, meteoritgyűjteményt és az osztrák űrhajós ténykedését bemutató tablókat. (Náluk ez nagy újdonság, mi viszont már-már azt is elfelejtettük, hogy járt valaha magyar a világűrben...) A klubok, egyesületek is kifüggeszthették tablóikat, fotóikat, programjaikat — erre a space art kiállítás mellett biztosítottak helyet a rendezők.

Az előadások között bőven akadt olyan, amely a csillagászati kutatások frontvonalának eredményeit ismertette (az ESO La Silla-i és paranali obszervatóriumai; a Naprendszer kisebb égitestjeinek kutatása; a Naprendszer "jégtörpéi" stb.). Vendéglátónk, Roland Primas a Salzburgban született Doppler tevékenységét és a Doppler-effektus szerteágazó hasznosítását ismertette. Helmut Windhager a vitrinekben látható modellrakétákról szólt, no és arról, hogy a rakétaindítások révén milyen könnyű a fiatalokat bevonni az egyesületi munkába.

Gerhard Grau, egy másik salzburgi amatőr a nevezetes peekskilli meteorit hullásról adott elő (a hírnév főként onnan ered, hogy az egyik darab átlukasztotta egy autó csomagtartóját). Grau nálunk ismeretlen hobbinak hódol — meteoritgyűjtő. Gyűjteménye legfrissebb darabja épp a peekskilli hullásból származik. Érdekes videobemutatót is tartott — a tűzgömböt ugyanis véletlenül megörökítette egy amatőr videós, aki egyébként egy baseball-mérkőzést vett fel. Amerikai tévéállomások híradórészletei mutatták be a stadion "felett" elhúzó tűzgömböt, majd a becsapódás eredményét és az — egyáltalán nem kétségbeesett — autótulajdonost. Grau szerint a salzburgi találkozón volt ezeknek a videofelvételeknek az európai "ősbemutatója".

Dr. W. Ernst egy izgalmas tükrökészítési módszerről adott elő (összefoglalóját most fordítjuk, talán mód nyílik közlésére is).

A találkozó kétségkívül leglátványosabb része szombat délutánra esett, ekkor valóságos asztrofotós show záporozott a nézőközönségre. Megállapíthattuk azt, amit eddig is tudtunk: Ausztriában világszínvonalon áll a mélyég fotózás művészete. Ez nem is csoda, hiszen végtére is számukra sokkal könnyebben elérhető a viszonylag olcsó amerikai hordozható szupertávcsövek, melyeket épp a hegyek közé kitelepülő amatőr életforma igényeire alakítottak ki. Az asztrofotósok többsége 20 cm-es Schmidt-Cassegrain távcső-

vekkal vezet (vagy éppen primér fókuszban exponál) — ez némiképp meglepő a Zeiss-termékekhez szokott magyar amatőr számára. Ennek egyik oka az, hogy a Zeiss nem gyárt olyan sokoldalú, számos kiegészítővel ellátott, könnyen szállítható távcsöveket, mint az amerikai konkurencia, a másik pedig az, hogy a Zeiss-termékek irgalmatlanul (szerintem: irreálisan) drágák. A jó műszerekhez jó ég is járul, hiszen Ausztria bármely részéről könnyen elérhetőek 2000 m-en vagy magasabban fekvő észlelőhelyek.

A tübingeni Friedrich házaspár jórészt alapobjektív felvételeit nyilván bemelegítésnek szánták a szervezők — nagyjából ezen a szinten állnak a magyarországi asztrofotósok. (Igaz, Friedrichék olyan obszervatóriumok szomszédságában fotóztak, mint Calar Alto, Pic du Midi vagy Puimichel...) Az első nyíltszíni taptot Erwin Obermair M31 fotója aratta. Obermair 6x6-os kamerával dolgozik, és 29 cm-es Cassegrainnel és kisebb műszerekkel készített, a fél falat beborító diái valóban elismerésre méltóak. Pedig ezután jött csak a fotók java. Michael Jäger 20 cm-es f/1,5-ös Schmidt-kamerával készült üstökösfelvételei szisztematikus munka során készülnek, és vitathatatlanul profi szintűek. A pálmát a bécsi Gerald Rhemann briliáns mély-ég fotói vitték el. Rhemann csak néhány éve fotózik, de hivatásos fényképészként technikai lehetőségei messze meghaladják az amatőrökét. Felvételei gyakran jelennek meg a *Sterne und Weltraum*-ban.

Érdekesekek voltak Erwin Filimon videós kísérletei is, melyeket egy Celestron-11-gyel folytatott. A Marsról, a Jupiterről és a Holdról egészen kiváló képeket készített. A képernyőn egészen apró részletek is megkülönböztethetők voltak, és természetesen a hullámzó légkör is, mivel hold- és bolygófotózásra alkalmatlan időszakban próbálkozott a videóval. A vizuális látványt legjobban a holdi terminátor vidékéről készült felvételek adták vissza, szinte minden részlet látszott, amit okuláron át meg lehet pillantani.

Tanulságos volt a Salzburgi Bemutató Csillagvizsgálóba tett kirándulás is. A letolható tetejű, egy melegedő helyiséggel rendelkező faépítmény a várostól 20 km-re, 600 m-es tengerszint feletti magasságban, egy fogadó közelében kapott helyet. (Látogatóinak száma mégis évi 4000, holott nem is nagyon reklámozzák a csillagdat!) 1988-ban nyílt meg, műszereit a Salzburgi Haus der Natur szerezte be (ez az ottani természettudományi múzeum — az Arbeitsgruppe für Astronomie támogatója). A főműszer egy Celestron-14, de az egyik sarokban egy hordozható Celestron-8 is rejtőzik. Szisztematikus észlelőmunkát nem nagyon folytatnak, bár a nagy távcsővel készült M51 fotó igen biztató.

A találkozó után minden remény megvan arra, hogy az eddigi, meglehetősen esetleges kapcsolatfelvételek után szorosabb kontaktus jöhessen létre az osztrák amatőrökkel és egyesületeikkel.

MIZSER ATTILA

VÁLLALOM mindenféle óraműhöz a csigakerék-áttétel elkészítését marógéppel. ELADÓ a Föld és Ég 1969-80-as; 1983-91-es évfolyamai, kizárólag egyben (2500 Ft). A Tudomány 1985-91-es évfolyamai, egyben (3000 Ft). Technics kvarcos rádió, rádiós meteorozáshoz (15000 Ft). Esetleg elcserelném okulárookra vagy fényké-

pezőgépekre. Busa Sándor, 6136 Harkakötöny, Árpád u. 1.

MEGVÉTELRE keresem A. Rükli részletes Hold-atlaszát. Novák Norbert, 7400 Kaposvár, Béke u. 55.

METEOR '93 ÉSZLELŐTÁBOR 1993. július 16–23.

Az észlelők és távcsőépítők nagy nyári táborát ismét a Veszprém megyei Közművelődési Intézettel közösen szervezzük a jól ismert Rákanyán, a Bakonyban, Veszprémtől 20 km-re.

A tábor legfőbb célja távcsöves- és binokulár-észlelések végzése, asztrofotók készítése, továbbá ismerkedés a legkorszerűbb észlelési módszerekkel (fotoelektromos fotometria, CCD stb.). Mindebben a Meteor rovatvezetői és a Meteorból ismert tapasztalt észlelők lesznek a résztvevők segítségére. A nappali előadásokon, konzultációkon szerzett ismeretek este a sötét ég alatt hasznosíthatók. Kérjük, mindenki hozza magával távcsövet, binokulárját és érzékeny filmmel töltött fényképezőgépét! A távcsőépítés iránt érdeklődők ismét „találkozhatnak” Zeiss-távcsövekkel, nagy Dobsonokkal és a Meteor '92 sztárjával, a Celestron Ultimával!

Július 17-én délután csillagászati bolhapiacot tartunk!

A városlakó amatőrök számára egyedülálló lehetőség adódik a nyári Tejút csodálatos mély-ég objektumainak észlelésére, továbbá az összes bolygó megfigyelésére (a Vénusztól a Plútóig). Láthatjuk a lapetus Szaturnusz-hold fogyatkozását és szabad szemmel is megpillanthatjuk a Vestát, a legfényesebb kisbolygót.

A részvételi díj MCSE-tagoknak **3200 Ft** (nem-tagoknak **3500 Ft**). Július 20-án fakultatív buszkirándulást szervezünk Tihanyba és Balatonfüredre, ahol megtekinthük Jókai Mór távcsövét!

Mindazoktól a tagoktól, akik a táborhoz csatlakozva saját sátorral látogatnak Rákanyára, de nem kérnek étkezést, személyenként és éjszakánként **100 Ft-os** térítést kérünk (nem tagoktól **130 Ft-ot**), a villany- és vízhasználat, ill. a programokon részvétellel fejében. Ez az összeg a helyszínen is befizethető.

A jelentkezéseket az **MCSE postacímére (1461 Budapest, Pf. 219.)** kérjük. A táborral kapcsolatban a **186-2313-as** telefonszámon is lehet érdeklődni esténként. A részvételi díj rőzsaszín postautalványon fizethető be, az MCSE postacímére. A jelentkezőknek befizetési utalványt és programtájékoztatót küldünk.

KIFOGÁSTALAN MINŐSÉGŰ OPTIKÁK GARANCIÁVAL

Csillagászati objektívek (akromátok)

80/450 tubusban	7.000 Ft
48/540 foglalatban	1.500 Ft
48/540 vezetőtávcső	2.700 Ft
48/280 foglalatban	900 Ft
48/280 keresőtávcső	1.900 Ft

Parabolatükrök kvarcérteggel, segédtükörrel

300/1500	19.700 Ft
250/1500	13.900 Ft
200/1200, 1500	8.700 Ft
170/1200	5.900 Ft
150/600	5.700 Ft

Segédtükrök kvarc védőréteggel /nyolcszögű/

75x106 mm	2.700 Ft
63x88 mm	1.900 Ft
50x71 mm	1.100 Ft
45x63 mm	600 Ft
40x56 mm	500 Ft
32x45 mm	400 Ft

Okulárók

40 mm Super Plössl (58)	2.800 Ft
28 mm Plössl (31,5)	2.800 Ft
15 mm Erfle (24,5)	5.200 Ft
13 mm Erfle (24,5)	5.200 Ft
10 mm Erfle (24,5)	5.200 Ft
8 mm Erfle (24,5)	5.200 Ft

Krómozott napszűrők

Ø 114 mm (kör alakú)	5.700 Ft
Ø 84 mm (kör alakú)	3.200 Ft
M 55	700 Ft
M 46	500 Ft

zenitvégződés (M42x1 v. M44x1 amerikai v. Zeiss szabványú ok.kihuzattal) 1.700 Ft
szinkronmotoros óragép egyedi megegyezés teflon (7 darabos készlet) 700 Ft

10.000 Ft fölött a postaköltséget átvállalom.

SZABÓ SÁNDOR
9400 Sopron,
Baross u. 12.

ORSZÁGOS AMATŐRCSILLAGÁSZ TALÁLKOZÓ

1993. augusztus 4–8.

között kerül megrendezésre a

Magyar AmatőrCsillagászok XVI. Országos Találkozója

Kiskunhalason

a Magyar Csillagászati Egyesület, a kiskunhalasi Rendezvény- és Programiroda, MOL Rt. Kiskunhalasi Bányászati Üzeme, a tíz éves Kecskeméti Planetárium, a TIT Bács-Kiskun Megyei Szervezete és a Halas Hotel rendezésében.

Minden hazai amatőrCsillagász, szakkör, egyesület részvételére számítunk. Öt év óta ez az első országos amatőrCsillagász találkozó, melyen gazdag programmal várjuk a csillagászat barátait! Előadások sora tekinti át a hazai csillagászati kutatások, az amatőrmozgalom és az ismeretterjesztés helyzetét. Módot nyújtunk az amatőrmozgalom eredményeinek és gondjainak megvitatására. A programot fakultatív kirándulások színesítik (*Kecskeméti Planetárium, Bugac, Szegedi Csillagvizsgáló*).

Jelentkezés és a részvételi díj befizetése:

Rendezvény- és Programiroda

6400 Kiskunhalas, Bokányi D. u. 8.

telefon: (77)-322-350.

A részvételi díj továbbra is a régi áron: 2500 Ft/fő

DRACO

Dalos Endre 1976-ban alapított és 1987-ig megjelent amatőrCsillagászati lapja, a DRACO ismét megjelenés előtt áll évente 2–4 alkalommal sok képpel és ábrával 12–24 oldalon!

Témái:

- * A csillagos ég
- * A légkör
- * A föld és a tenger

Várjuk a megfigyelők leírásait, cikkeit a felsorolt témákban. Előfizetése 4 számra 200 Ft az alábbi címen: **Dalos Endre – 7030 Paks, Építők u. 22.**

Az új sorozat első (sorrendben 48.) száma júliusban várható.

Vizuális meteormegfigyelési útmutató; vizuális, tűzgömb, fotografikus és rádiós megfigyelőlapok postaköltség ellenében (20 Ft) a rovatvezető címén kérhetők. A meteorpályák berajzolásához használatos (7 lapos) gnomonikus észlelőtérkép-sorozat 80 Ft-os áron szintén az alábbi címen rendelhetők:

Tepliczky István - 1134 Budapest, Csángó u. 11. II/27.

Legyen Ön az 1000. tagunk!

Örvendetesen gyarapodik taglétszámunk, reményeink szerint a nyár folyamán már az ezredik MCSE-tagot üdvözölhetjük sorainkban. Ezt az eseményt - lehetőségeinkhez mérten - emlékezetessé szeretnénk tenni az új belépő számára is. Úgy határoztunk, hogy az ezredik MCSE-tagnak binokulárt és számos, az amatőr csillagász munkához elengedhetetlen könyvet, térképet ajándékozunk. Kérjük minden kedves Olvasónkat, hogy hívják fel amatőr csillagász barátaik figyelmét erre a lehetőségre! Az új belépők tagdíjukat és belépési nyilatkozatukat az MCSE postacímére küldhetik: **1461 Budapest, Pf. 219.** A sorszám megállapításakor a tagdíjfizetés időpontját vesszük figyelembe.

Az MCSE Titkársága

Belépési nyilatkozat

Kérem felvételemet a Magyar Csillagászati Egyesületbe!

Név: _____

Cím: _____

Születési dátum: _____ év _____ hó _____ nap

Telefonszám: _____

rendes tagként (a tagdíj összege 1993-ra 600 Ft, illetmény: Meteor csillagászati évkönyv 1993, egyesületi körlevelek)

pártoló tagként (a tagdíj összege 1993-ra 1200 Ft, illetmény: Meteor csillagászati évkönyv 1993 és az MCSE Meteor c. havi folyóirata)

A tagdíjat a jelentkezési lappal egyidejűleg a Magyar Csillagászati Egyesület címére (1461 Budapest, Pf. 219.) rózsaszín postautalványon feladom!

Emberközelsben a CCD I.

(Azaz: a csillagászat forradalmian új kvantitatív képalkotó eszköze)

A CCD (*charge coupled device* = *töltéscsatolt érzékelő*) detektorok a kifejlesztésük óta eltelt két évtized alatt rendkívüli mértékben elterjedtek, a tudomány és a technika számtalan területén nélkülözhetetlen képfelvevő eszközökké váltak. Leginkább a gyenge jelek rögzítésénél és a kvantitatív képfeldolgozásnál kihasználható előnyei és egyszerűsége miatt terjedt el a csillagászatban is. Ma már a világ nagy távcsövei legtöbbször képfelvevő eszközként CCD detektort használnak. Ezek a **szilárdtest-detektorok** családjának legsikeresebb tagjai. Egyéb, talán kevésbé elterjedt idetartozó érzékelők még a **retikonok** és a **CID-ek** (*charge injection device* = *töltés-injektáló érzékelő*).

A CCD detektor felépítése

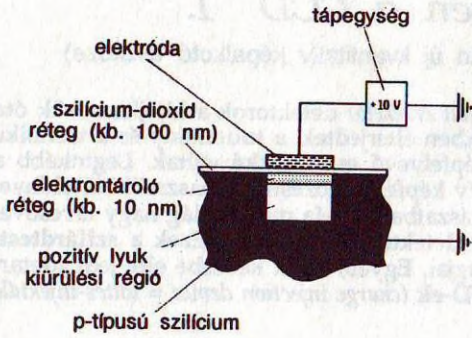
A CCD meghatározó működési mechanizmusa a fényelektromos hatás: egy (rendszerint szilícium) félvezetőre eső fény elektron-lyuk párokat hoz létre. Az így létrejött elektronok nagyszámú, kicsiny elektróda által létrehozott potenciál-kútban összegyűlnek. Végül az összegyűlt töltések számát a detektáló elektródáknak egy egyszerű kiolvasó elektródához való töltéscsatolásával kiolvassák.

A fény hatására saját-vezetővé váló anyagok egész sora ismeretes. Ezek közül a csillagászatban elterjedt detektorokban leginkább a **szilíciumot** (érzékenységi tartomány: $\lambda < 1140$ nm, működési hőmérséklet: < 300 K), és az **indium-antimonidot** ($\lambda = 5500$ nm, működési hőmérséklete: < 77 K) alkalmazzák. A hosszabb hullámú elektromágneses sugárzások detektálásához már nem saját-, hanem szennyezett félvezetőket használnak (pl. a $\lambda = 24000$ nm, infravörös hullámok érzékelésére 20 K alá hűtött, **arzénal szennyezett szilíciumot**).

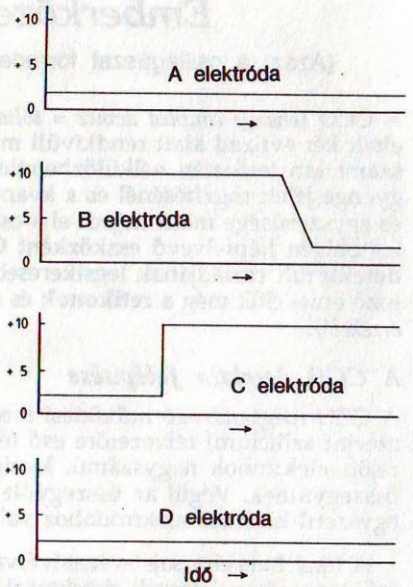
A CCD legkisebb önálló egységének keresztmetszeti rajza látható az **1. ábrán**. A fém elektródát a félvezető rétegtől egy igen vékony (kb. 100 nm vastag szilícium-dioxid) szigetelő réteg választja el (azaz a CCD-k a **MOS** = *metal-oxide-semiconductor* tranzistorokhoz hasonló struktúrájúak). Megfelelő frekvenciájú elektromágneses sugárzás hatására a félvezetőben elektron-lyuk párok keletkeznek. A felső elektródára kis pozitív feszültséget kapcsolnak. Akkorát, amekkora elegendő ahhoz, hogy a pozitív lyukakat keletkezési helyüktől eltávolítsa, és az elektronokat pedig a félvezető felületén, a szigetelőréteg alatti igen vékony, kb. 10 nm-es elektrontároló rétegben összegyűjtse. A fotonok által szétválasztott- és a feszültség által eltávolított töltések után egy **kiürülési régió** alakul ki. Az egység (gyakori elnevezésén **pixel**) tulajdonképpen egy megvilágítás-erősség által vezérelt kapacitás.

Ha most ilyen egységekből (pixelekből) egy kétdimenziós mintát alakítunk ki egy szilícium szeleten (nagyon erősen p-típusúan szennyezett zónákkal elszeparálva egymástól, l. a **2. ábrát**), mindegyik egységben a reá eső megvilágítás-erősséggel arányos mennyiségű töltés fog összegyűlni, és az erősebben p-típusú szigetelő régiók hatására az elektródák alatt kialakuló **potenciálgödrökben** tartósan megmaradni. Az eredeti optikai kép digitalizált **elektronikus változatát** kapjuk. Az egyedüli feladat mostmár ennek az elektronikus képnek a használhatóbb formába történő konvertálása. Ez történik a **töltéscsatolás** útján.

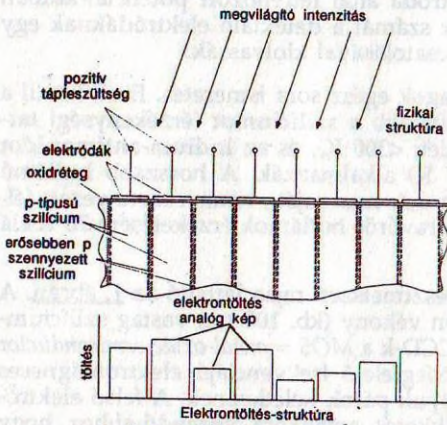
Képzeld el az **1. ábrán** látható szerkezetű pixelek láncolatát, de **nem** elkülönítve egymástól erősen p-típusú félvezető régiókkal. Ha az egyik egység valamilyen úton szert tett valamekkora töltésre, akkor az szétfundálna a szomszédos elektródok-



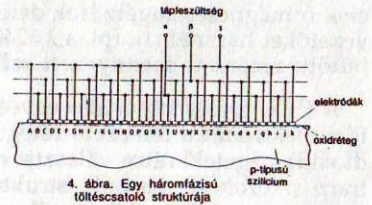
1. ábra. A CCD egy pixelének keresztmetszete



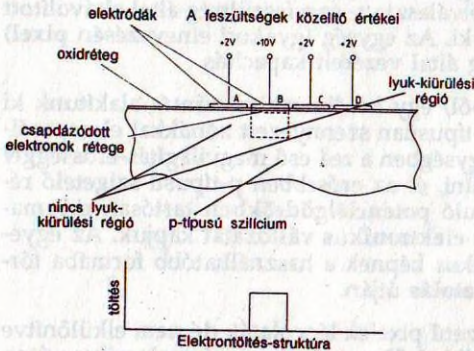
3/b. ábra. A vezérlő feszültségek



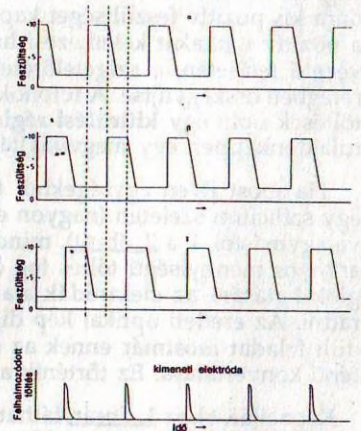
2. ábra. A CCD fényérzékeny rétegének szerkezete



4. ábra. Egy háromfázisú töltéscsatorna szerkezete



3/a. ábra. A CCD töltés-léptető elemeinek szerkezete



5/a. ábra. A háromfázisú CCD tápfeszültség előtti feszültség és a kimenő jel időfüggvényei

ra. Ha azonban a szomszédos elektródokra kisebb pozitív feszültséget kapcsolunk, azok pozitív lyuk-kiürülési régiója eltűnik, és a középső elektróda alatt összegyűlő elektronok ismét együtt tudnak maradni két közrefogó p-típusú, szigetelő régió között. A „szigetelő” p-típusú zónák így itt nem állandóak, hanem a feszültség változtatásával lehet kialakítani és eltüntetni ezeket. Ha most pl. emeljük a 3. ábra szerinti B-vel szomszédos C elektróda feszültségét 10 V-ig, akkor fokozatosan kialakul a C alatt is a lyuk-kiürülési zóna, a B alatti potenciálgödör kiszélesedik, és így a B alatt kialakult töltések egy része átdiffundál a C elektróda alá! Ezután csökkentve a B-n lévő feszültséget, alatta fokozatosan eltűnik a lyuk-kiürülési zóna, és ezzel együtt a maradék töltések is átdiffundálnak a C alá. A feszültségek ciklikus emelésével-csökkenésével az egyes elektródák alatt (a rájuk eső sugárzás hatására) kialakult töltések elektródától elektródáig fizikailag is mozgathatók. Ennek a töltésátvitelnek (töltéscsatolásnak) óvatos megtervezésével-kivitelezésével elérhető akár 99,999%-os határfokú, tehát szinte veszteség nélküli töltés-átvitel (azaz 10000 átvitel után veszítünk csak el egyetlen elektront). A sorozatos mozgatus útján a töltéscsomag elvihető egy olyan áramkörti egységhez, ahol a töltések kisütésével, egy integrálo árammérővel vagy valamilyen más módon lemérhető a töltésmennyiség.

A fenti séma alapján egyértelmű, hogy egy adott irányba mozgatandó töltéscsomagok esetén három, szeparált feszültség-változtatási ciklusra van szükség. Így egy valószínű („háromfázisú”) CCD kamera vázlatos szerkezete a 4. ábra szerinti. A működés számára megkívánt, az α , β , γ tápvonalakat ellátó feszültségjel, valamint az elektrométernél kijövő „eredmény” jel időfüggése az 5. ábrán látható (a 3-5. ábrákon a töltéscsomagok mindig balról jobbra mozognak). Eszerint a séma szerint minden harmadik pixel tartalmaz hasznos töltéscsomagot, így az 5. ábra legelső rajzolata csak minden harmadik ütemre ad rögzítendő jelet. Az adott töltésmozgatus elv lényegéből következően a kijövő elektródánál megjelenő jel származási pozíciója pontosan ismert, a CCD felépítéséből következően adott, csak az α , β , γ tápvonalakat vezérlő órajel ciklusait kell számolni és hozzárendelni az egymás után kapott kijövő megvilágítás-arányos értékekhez. Így az eredeti síkbeli töltéseloszlás (és így az eredeti kép digitális megfelelője) könnyen reprodukálható!

Az itt bemutatott háromfázisú CCD-ktől eltérő szisztémájúak is léteznek, ezeket itt nem tárgyaljuk.

A CCD detektor vázlatos működése

Egy teljes CCD detektor tehát egy detektáló- és egy töltésléptető rendszer kombinációja. A 2. ábra szerinti érzékelő elemek mátrixa és alattuk a 4. ábra szerinti töltéscsatoló (vagy szemléletesebben: töltésléptető) elemek mátrixa. Minden fényérzékelő pixelhez három töltésléptető elektróda kapcsolódik, és egy további, kapuelektroda is megtalálható a két rendszer között (6. ábra). Működés közben a fényérzékelő elemek elektródája (a fénykapu) +10 V-on, míg a kapu +2 V-on van. Ebben a periódusban a megvilágítás hatására felszaporodó elektronok csapdába kerülnek az érzékelő elemekben. Az expozíciós idő leteltével a kapuelektroda és a töltéscsatoló elektródák közül az egyes érzékelő elemek alá eső középső elektródák +10 V-ot kapnak (a szélsőket továbbra is +2 V-on tartják). Ekkor a fénykaput fokozatosan leviszik +2 V-ra, ami hatására a töltések átvándorolnak az adott érzékelő elemből az alatta lévő három elektróda közül a középsőre. A folyamat végén a kaput +2 V-ra kapcsolják: a töltések most minden harmadik töltéscsatoló elektródánál kerülnek csapdába. Ezután a fénykapu ismételt +10 V-ra emelésével újabb expozíció kezdhető meg, miközben a korábbi expozíció eredményeként a már bemutatott módon a töltéscsomagokat a kimenő elektródához mozgatják, ahol áram-

impulzusok sorozataként jelennek meg.

Innen a jelek egy **alacsony zajú előerősítőre** jutnak, majd az **analóg-digitál konverterre (ADC)**, ahol a számítógépbe kerülő végső információ megszületik (l. a **Z. ábrát**). A CCD elektronikájának igen lényeges eleme az ADC. Ugyanahhoz a CCD chiphez épített 8 bites analóg-digitál átalakítóval a felvett képben csupán $2^8=256$ fényességszint megkülönböztetésére adnak lehetőséget, míg az elterjedtebben alkalmazott 12 és 16 bit-esek esetén rendre 4096 és 65536 fényességszintére. A mai, profi célokra készült kamerák már nem ritkán 24 bit-es ADC-vel készülnek, ami $2^{24}=16.777.216$ (azaz kis híján 17 millió) különböző intenzitásszint egyidejű megkülönböztetését teszi lehetővé, de ezek még igen drágák!

A CCD detektorok általános jellemzői, előnyei és hátrányai

I. Érzékenység

A fényérzékeny elemek mind frontoldalról (a töltésléptető elektródák felől), mind hátoldalról (a szilícium lapka felől) megvilágíthatók. Az „előlről” megvilágított CCD hátránya, hogy a töltésléptető elektródák anyagai bár a hosszabb hullámhosszaknál jól átlátszóak, ám a kb. 400 nm-nél rövidebb hullámhosszú sugárzások számára elnyelők. Savkezelési technikával azonban a szilícium alapréteg elvékonyítható kb. 10 μm vastagságúra, és a kép erre a „hátoldalra” vetíthető, ahol nincs fényelnyelő kapuszerkezet. Az ilyen „*elvékonyított*” CCD a lágy röntgen fotonoktól a közeli infravörösig magas érzékenységet ad (**8. ábra**). A spektráltartomány még tovább is kiterjeszthető pl. a **METACHROME-II** néven ismert konverterrel. Ennek fényemittáló foszforrétege a 400 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú (közeli UV) fotonok hatására kb. 560 nm hullámhosszú sárga fotonokat emittál, amit a frontoldalról megvilágított CCD is könnyedén érzékelhet (**8-9. ábrák**).

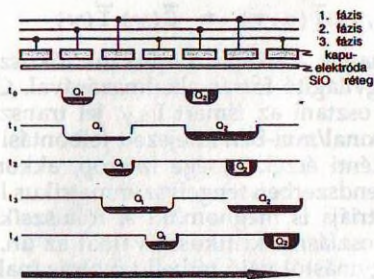
Az érzékenység másik jellemzője a kvantumhatásfok ($QE = \text{Quantum efficiency}$). Ez azt adja meg, hogy a beeső fotonoknak statisztikusan hányad része kelt ténylegesen elektront. A szem, mint fotodetektor, 1% körüli, a legérzékenyebb fotoemulziók 3-4%-os, a legjobb fotomultiplierek kvantumhatásfoka maximum 30-40%-os. Ezzel szemben egy reflexiógátló réteggel is ellátott elvékonyított CCD csúcsban 80%-ot is meghaladó QE-t ér el, azaz ebben a hullámhossztartományban beérkező minden 100 fotonból több mint 80-at tud érzékelni!

II. Felbontóképesség

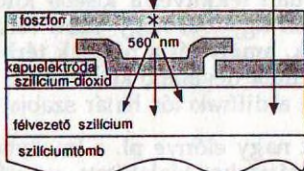
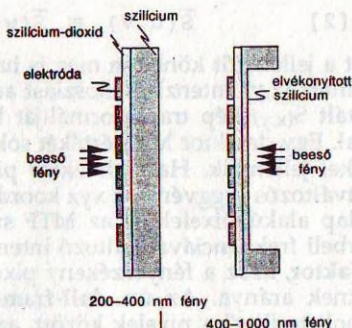
A CCD kamera felbontóképességét a fényérzékeny elemek geometriája határozza meg. Egy tipikus CCD chip általános architektúrája látható a **10. ábrán**, felülnézetben. Egy képelem (pixel) általában alakja négyzet alakú. Korábbi és olcsóbb típusokban helyenként előfordul téglalap alakú, de ez az elrendezés az aszimmetrikus képmintavételezés miatt az adatredukciónál problémákat jelent. A detektorokat jellemző, az eredeti megvilágító intenzitáseloszlást megváltoztató **torzító függvény** ($G(x,y)$) Fourier-transzformáltjával ($\bar{G}(u,v)$) (az ún. $MTF = \text{Modulation Transfer Function}$, azaz átvitel-modulációs függvény) jellemzik gyakran a CCD-t, a felbontóképesség helyett. Mivel a felfogott kép nem más, mint a torzító függvény és az eredeti megvilágítás-eloszlást ($I(x,y)$) leíró **jelfüggvény** konvolúciója:

$$[1] \quad S(x,y) = G(x,y) * I(x,y)$$

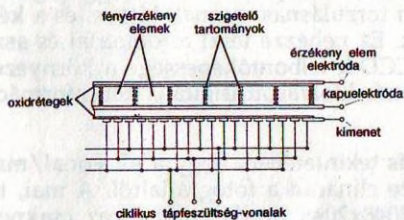
azaz a matematikai analízis vonatkozó tételei értelmében Fourier-transzformáltjaik szorzata



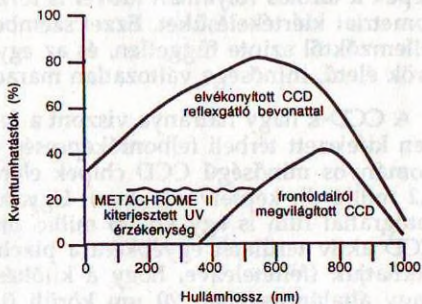
A töltések mozgásának iránya
 5/b. ábra. A töltések átvitele a háromfázisú CCD-ben a potenciálgödör koncepció szerint.



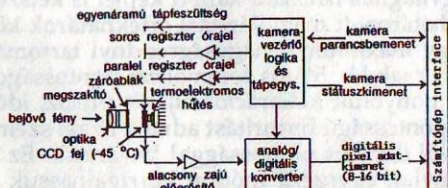
8. ábra. Fent: normál- és vékony, lent: UV konverteres CCD



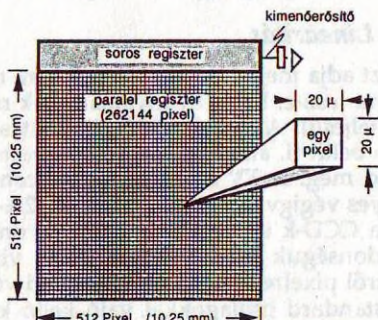
6. ábra. Egy háromfázisú CCD keresztmetszeti rajza



9. ábra. Különböző típusú CCD-k érzékenységének hullámhossz-függése



7. ábra. Egy tipikus hűtött, lassú letapogatású CCD kamera vázlatja



10. ábra. Egy tipikus tudományos célú CCD

$$[2] \quad \bar{S}(u, v) \equiv \bar{S}(w) = \bar{G}(u, v) \cdot \bar{I}(u, v) \equiv \bar{G}(w) \cdot \bar{I}(w),$$

ezért ezt a jellemzőt könnyen meg is határozhatjuk a leképező optikánk fókuszsjában ismert (x, y) intenzitás-eloszlást adó megvilágító forrás alkalmazásával. Csak a detektált $S(x, y)$ kép transzformáltját le kell osztani az ismert $I(x, y)$ jel transzformáltjával. Egy detektor MTF értékét sokszor **vonal/mm**-ben kifejezett felbontási határértékkel jellemzik. Ha a detektor pixelenkénti érzékenysége izotróp, akkor az MTF kétféle függvény az xyz koordináta-rendszerben tengelyszimmetrikus lesz. A téglalap alakú pixeleknél az MTF szimmetriája is megbomlik! A fókuszsjában nagy térbeli frekvenciával változó intenzitás-eloszlásnál kritikussá válhat az ún. **kitöltési faktor**, azaz a fényérzékeny pixelek egymástól való térbeli távolságának és méretüknek aránya. Az ún. **full-frame** (teljes-képmezőjű) CCD-knél gyakorlatilag nincs „holt terület” a pixelek között, azaz a kitöltési faktor igen jól megközelíti az 1-et. Szigorúan tekintve, a kisebb kitöltési faktorú CCD-k is jól alkalmazhatóak, csak arra kell ügyelni, hogy **adott felbontóképességű optikához olyan CCD-t alkalmazzunk, amelynél a pixelek térbeli sűrűsége megfelel a Shannon-féle mintavételi tételnek** (legalább kétszerese a képek térbeli frekvenciáinak – ezt pedig egy jó optikánál a diffrakciós határ szabja meg).

A CCD-k nagy előnye pl. a fotolemezekkel szemben, hogy a térbeli mintavételi sűrűség a gyártáskor kialakított, a továbbiakban állandó, rögzített (míg a fotolemezeknél lemezről lemezre más és más). A hőmérséklet és páratartalom függvényében a fotoemulziók térben egyenlőtlen geometriai torzulásnak vannak kitéve, és a kész képek a tárolás folyamán idővel is torzulnak. Ez nehezíti teszi fotometriai és asztrometriai kiértékelésüket. Ezzel szemben a CCD-k felbontóképessége a környezeti jellemzőktől szinte független, és az egyszer már kiolvasott digitális képinformáció örök életű, minősége változatlan marad.

A CCD-k nagy hátránya viszont a felbontás tekintetében, hogy a pl. **vonat/mm**-ben kifejezett térbeli felbontóképesség messze elmarad a fotográfiáitól. A mai, tudományos minőségű CCD chip-ek elérik a 2048×2048 pixelszámot (azaz csaknem 4,2 millió db képfelvevő elem). Ugyanakkor a leggyengébb, 36 mm-es kommersz fotográfiai film is egy kb. 25 millió pixeles CCD-vel megegyező felbontást ad! A CCD aktív területét egyébként a pixelméretből és a pixelszámból könnyen kiszámíthatjuk (feltételezve, hogy a kitöltési tényező 1). Tekintve, hogy a pixelméret nagy általánosságban 20 μm körüli (l. 10. ábra), az előbb említett 2048×2048 -as (TEKTRONIX gyártmányú) CCD chip képfelvevő területe meghaladja a 16 cm^2 -t! Ezzel a világ legnagyobb integrált áramkörének számít!

III. Linearitás

Ez azt adja meg, hogy kétszer akkora megvilágítás hatására kapott képpel is kétszer akkora lesz-e. Ez nyilvánvalóan csak meghatározott megvilágítási értékhatárok között teljesül. A fotoemulziók linearitása egy maximum 2 nagyságrendnyi tartományon belül (l. alább: *dinamikai tartomány*) is csak kb. 5%-os fotometriai pontosságot enged meg. A TV detektorok (vidiconok) bonyolult kalibrációs eljárás precíz, időigényes végigvitele után is csak kb. 2%-os pontosságú linearitást adnak. Ezzel szemben a CCD-k igen széles tartományon belül 0,1%-os pontossággal lineárisak. Ez a tulajdonságuk teszi lehetővé, hogy viszonylag egyszerű módon korrigálhassuk a pixelről pixelre történő érzékenységi változást. Továbbá ugyanezen tulajdonság miatt, standard csillagokkal való kellő kalibrálás után (az egy éjszaka alatt végzett) csillagfényesség mérések $\pm 0,005$ magnitúdós fotometriai pontosságot tesznek lehetővé! (Ennek jóságához még hozzájárul az érzékelőelemek és az elektronika időbeli stabilitása is – azaz a detektor hosszú időtartamot tekintve is ugyanakkora bejövő

jelre pontosan ugyanakkora kimenő jelet produkál.) Nagyfokú linearitásukkal a CCD-k tehát messze kiemelkednek más detektortípusok közül. A linearitásért nem csupán maga az érzékelő chip, hanem az összes egyéb elektronikai elem is felel.

Itt kell említést tenni arról, hogy a CCD-k alapvetően kétféle módon hajthatók meg elektronikusan: az ipari és tudományos alkalmazás számára érdektelen **video üzemmód**, és a **slow scan** (*lassú letapogató*) üzemmód szerint. A video módban fotometriai és kvantitatív képelemzési célokra alkalmatlan a CCD. Ugyanis nemcsak hogy az érzékenysége lesz rosszabb, hanem a felbontása is, hiszen a konvencionális videorendszereket a televíziós rendszerek formátumához igazítják (a legjobb CCD-s videokamerákban kb. 300000 pixel érhető el, míg a lassú kiolvasásúakban tetszőleges, akár több millió). A linearitás pedig ott vész el, hogy tekintve a mozgókép létrehozásának szükségességét, másodpercenként 30 képet kell előállítani. Az ehhez szükséges gyors elektronikai elemek ugyanis leggyakrabban nem mutatnak tökéletes linearitást. Sőt, több CCD-s videokamerában a linearitást bizonyos okokból szándékosan rontják le, más jellemzők feljavítása végett.

A kiváló, tudományos célú kamerákat a lassú letapogatósi módban üzemeltetik. Precíziós, széles dinamikai tartománnyal rendelkező analóg elektronika és digitalizáló alkalmazásával, lényegesen lassabb kiolvasási sebességgel elérhető, hogy a CCD saját nagyfokú linearitását ne rontsák le a kiszolgáló áramkörök. A „slow scan” kamerák tulajdonképpen elektronikus pillanatfelvételeket adnak. A CCD kamera elé egy mechanikus vagy optikai megszakító kaput helyeznek, ezekkel gátolható meg, hogy az expozíció előtt vagy után fény jusson a képérzékelőre. A hagyományos megszakítókkal néhány ezred másodperctől akár egy óráig tartó expozíciós időt lehet megvalósítani. Az elektronikus optikai kapukkal néhány nanoszekundumos expozíciót is el tudnak érni! Mindamellett a kiolvasási sebesség természetesen semmiképp sem lehet gyorsabb 4-5 kép/s-nál (ez a kisebb időbeli felbontás a lassú kiolvasású kamerák egyedüli hátránya).

Megemlítendő, hogy a lassú kiolvasású kamerákban lehetőség van a CCD többféle kiolvasási módjára is (minden második pixel-, egy kisebb szektor-, pixel-négyesek összegzett kiolvasása), míg a video módban üzemelő CCD-k e tekintetben igen szűk lehetőségekkel bírnak.

IV. Dinamikai tartomány

az adott detektor által egyidejűleg rögzíthető legfényesebb és leghalványabb objektumok fényességkülönbsége. Ez a csillagászati érzékelőknél igen lényeges, hiszen általános probléma az erősen eltérő fényességű képződmények megjeleníthetőségének igénye (csillag, halvány gázköddel körülvéve, spirálgalaxisok karjai és magja stb.). A legjobb fotolemezek dinamikai tartománya egy nagyságrendet fog át (a legfényesebb objektum, amit intenzitáshelyesen meg tud jeleníteni, a leghalványabbnál 100x fényesebb lehet). A CCD-knél ez a jellemző igen könnyen számolható: az egyes pixeleken megtartható elektronok maximális száma osztva a zajelektronok számával - azaz a detektálható legnagyobb és legkisebb töltéscsomag hányadosával. Minél nagyobb a pixelek mérete, annál több elektront tudnak megtartani túlszordulás nélkül. Egy használható durva szabály szerint a pixelek μm^2 -ben kifejezett területének 800-szorosa a telítődési elektronszám. Ez alapján a $20 \times 20 \mu\text{m}$ -es pixelméretű CCD telítődési elektronszáma kb. 320000 db. Ezt elosztva a körülbelüli 10 zajelektronnal, megkaphatjuk, hogy a szóban forgó CCD dinamikai tartománya kb. 32000. Ez több, mint 11 magnitúdó különbségnek felel meg. A fentiekből következően a kisebb dinamikai tartományú (kis pixellekkel rendelkező) detektoroknál a korlátozó faktor a rendszer zajszintje. A 2-3 nagyságrenddel szélesebb

dinamikai tartomány is olyan paramétere a CCD-knek, ami messze a hagyományos detektorok fölé helyezi.

V. Alacsony zaj, a jel/zaj viszony

A detektort elérő fotonok már önmagukban is hordoznak zajt. A „zajelektronok” száma a szigorú linearitás miatt arányos a „fotonzajjal”. Ez pedig, tekintve, hogy a fotonok detektorba csapódására a Poisson-statisztika érvényes, a fotonszám négyzetgyökével egyenlő. Az egyes pixelekben a megvilágítás hatására felgyülemlett elektronok más zajt is hordoznak. A fotonok mellett a kozmikus sugárzás háttérének nagy energiájú részecskéinek hatására, valamint a detektor üzemi hőmérsékletének termikus gerjesztése miatt is keletkeznek elektronok, amelyeket nyilván nem tudunk megkülönböztetni a fotoelektronoktól. Végül pedig még egy figyelembe veendő zajforrás az előerősítő elektronikus zaja.

Az előerősítő zaja jelenti a CCD érzékenységi küszöbét (ez a 11. ábrán szaggatott vonallal jelzett szint). Jellemzője, hogy a megvilágítás intenzitásától függetlenül állandó alapzajszintet ad. Az elektronika megfelelő, gondos tervezése és a működési feltételek pontos beállítása révén az előerősítő zaj néhány elektronnal egyenértékű szintre csökkenthető. A gyenge megvilágítottság tartományában (ahol a fotonzaj alatta marad az előerősítő zajának), a CCD adatokat előerősítőzaj-korlátozottnak, az erősebb megvilágítottság tartományában (ahol már a fotonzaj a legjelentősebb zajforrás) pedig fotonzaj-limitáltnak nevezik. A Nap CCD-s megfigyelése tipikusan erős megvilágítottsági alkalmazás. Itt nyilvánvalóan fotonzaj-limitált képeket kapunk. A cél pl. a Nap adott felszíni részlete sugárzási intenzitásának kis fluktuációinak vizsgálata az idő és a hely függvényében. Figyelembe véve a potenciálgyödőr elektronmegtartó képességét, pl. egy 500000 telítődési elektronszámú CCD esetén a telítődés eléréséig exponálva a képet, a fotonzaj a Poisson-statisztika szerinti $\sqrt{500000}$, azaz 707 elektron. A jel/zaj viszony (SNR – signal to noise ratio) definíció szerint:

$$[3] \quad \text{SNR} = \frac{\text{hasznos jel}}{\zeta\alpha\varphi} = \frac{500000}{\sqrt{500000}} = 707:1$$

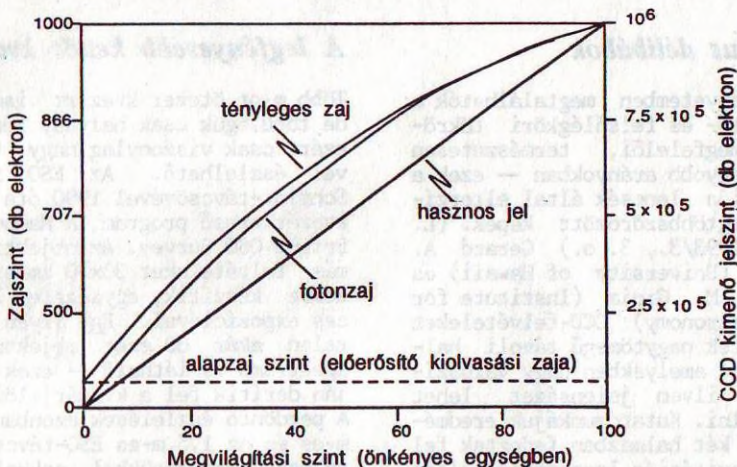
Ez egyben azt is jelenti, hogy ilyen feltételek mellett az intenzitásnak alig 0,28%-os ingadozásait is 95%-os megbízhatósággal ki tudjuk mutatni! Az igen gyenge megvilágítottsági viszonyok között működő (pl. spektroszkópokra vagy fluoreszcencia mikroszkópokra szerelt) CCD-k esetén más probléma lép fel. Itt sem alkalmazhatunk túlzottan hosszú expozíciós időt, különben a termikus elektronok és az előerősítő zaja „kifehértene” a képet! Ilyen körülmények között döntően fontossá válik a CCD érzékenysége és a kiolvasási zaj. Feltéve, hogy a CCD kiolvasási zaja kb. 10 elektron, egy pixelenkénti 20 fotoelektront okozó (előerősítőzaj-limitált) megvilágítás hatására a jel/zaj viszony:

$$[4] \quad \text{SNR} = \frac{\text{hasznos jel}}{\text{teljes zaj}} = \frac{NE}{\sqrt{(PN+NE)}} = \frac{20}{\sqrt{(100+20)}} = 1,8$$

ahol NE a pixelben összegyűlt hasznos jel fotoelektronok száma, PN pedig az előerősítő zaj elektronszámban kifejezett értéke. Itt emelhetjük ki a *slow scan* üzemi mód egyik, még nem tárgyalt előnyét: a különféle kiolvasási módok lehetőségét. A felbontás rovására ugyanis lehetséges pl. minden 2x2-es (pixelnégyes) tartalmát összeadni és a töltések összegét kiolvasni. Ekkor az iménti példánkban a négyes „szu-

perpíxelek" elektrontartalma $NE = 80$ lesz. És bár ez esetben egy pl. 512×512 -es CCD helyett egy fele olyan jó felbontású 256×256 -os CCD-nek megfelelő képet kapunk, ám a jel/zaj viszonyt több mint háromszorosára javíthatjuk fel ($SNR \approx 6$)!

A felhasználó egy lassú kiolvasású kameránál tehát maga döntheti el (a leképezendő objektum sajátosságai és a vizsgálat célja ismeretében), hogy nagyobb felbontást kíván-e, vagy inkább a magasabb SNR elérését?



11. ábra. Tipikus CCD zajfüggvények, a zajforrások megjelölésével

A gyenge megvilágítási viszonyok között működő CCD-k esetén fellépő másik korlátozó probléma a **sötétáram**, azaz a megvilágítás nélkül is, a termikus gerjesztés hatására létrejövő elektronok jelentkezése. Ezek hozzáadódnak a valódi (kép-) elektronokhoz. Fontos a CCD-k tervezésénél, hogy a sötétzaj elektronszáma ne múlja felül az előerősítő zaját vagy a fotonzajt. Peltier-elemes (termoelektromos) hűtéssel a CCD chip legfeljebb -60°C -ra hűthető. Ezen a hőmérsékleten a sötétzaj tipikus értéke másodpercenként és pixelenként 1 elektrorra redukálható. Azonban egy pl. 100 másodperces expozíciós idő esetén felgyülemelő 100 sötétáram-elektron egy nagyságrenddel túlhaladja az előerősítő állandó, 10 elektronos zaját! Így a pár elektron/pixel/sec jelet produkáló forrás leképezése hosszabb expozícióknál már nem is előerősítő, hanem sötétzaj-limitált lesz! Extrém hosszú expozíciók szükségessége esetén a CCD-t folyékony nitrogénnel kell hűteni, ezzel kb. -120°C érhető el. Ez viszont rendkívüli mértékben megdrágítja és bonyolulttá is teszi a kamerát illetve annak működtetését! Ennek kiküszöbölésére kidolgoztak egy **MPP** (*multi-pinned-phase*) nevű eljárást. Ezt az üzemmódot megvalósítva a CCD sötétáram elektronszáma egyszerű termoelektromos hűtés mellett is kb. huszadára csökkenthető (azaz a fenti példánk esetén 100 s-os expozíció esetén is csak kb. 5 sötétzaj-elektron keletkezne, és a képet csupán az előerősítő zaj korlátozná! Ennek a módnak a technikai megvalósítása komoly elméleti és gyakorlati problémákba ütközik, ennek ellenére ma már több, tudományos igényű CCD-et gyártó cég alkalmazza a CCD-építésben.

HEGEDŰS TIBOR