A Planck energia eloszlások mint referenciák az OLED-ek, LED-ek gyártásához

Erbeszkorn Lajos

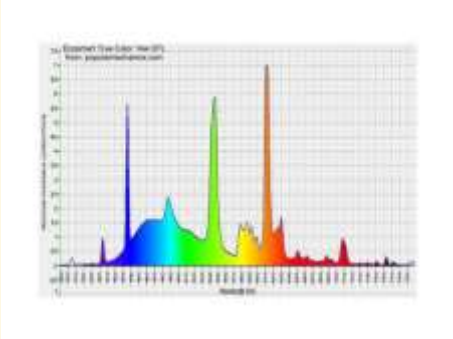
MEE VTT X. LED Konferencia, Budapest, 2019. február 5–6.

A gyártás-technológia fejlődése visszahat a méréstechnikára

FIZIKA

A fényforrások csoportosítása

- **Termikus sugárzók:**
  - ●● - a Nap
  - - normál és halogén izzólámpák
  - ● - fekete test (referencia sugárzó)
- **Lumineszcens sugárzók:**
  - - ívkisüléses lámpák
  - - indukciós lámpák
  - - fényporok, foszforok (fényátalakítók)
  - - elektro-lumineszcens sugárzók
  - ● - LED-ek, OLED-ek (injektált lumineszcencia)



A fényforrásokkal szembeni elvárások:

- **Az alkalmazásukkor hosszútávon se károsítsák a szemet!**
- **A környezetet megvilágítva annak a megszokott színérzeteit keltsék.**

Az alkalmazási területek:

a./ ● Reklámok, művészi hatások kiváltása, díszkivilágítás és még a kommunikációs média eszközeinek kijelzői is.

A tervezők, kivitelezők lényegében megkötöttségek nélkül azt csinálhatnak, amit csak akarnak.

b./ ● Közlekedési és egyéb jelzőfények, járművek fényforrásai.

A fényforrás színe és terítése – egyrészt kötött, szabványokban meghatározott, másrészt a tervezők fantáziájára van bízva.

c./ ● Közvilágítás valamint épületbelsők, munkahelyek, sportrendezvények megvilágítása.

Ez utóbbi csoport világításának szigorúan alkalmazkodnia kellene a Nap azaz azt jól közelítő fekete test különböző hőfokokkal jellemzett spektrumaihoz, amelyek az emberi színérzetet kialakították és amelyekhez az emberi szem-agy színi adaptációja (áthangolódása) is kialakult. Mivel az emberi szem a természetes fényhez igazodott, ezért a környezetében lévő tárgyak színét is ennek alapján ítéli meg. Ehhez pedig lehetőleg folyamatos spektrumú, a nappali fényspektrumot nagyon jól közelítő spektrumú fényforrások szükségesek. Persze a gazdaságossági szempontok, meg az esetleges hozzá nem értések a célszerű megoldások ellen dolgoznak.

A helyzet azért bonyolult, mivel a megvilágított környezeti tárgyak abszorpciós, transzmissziós, reflexiós spekrumai adottak és ráadásul különböző szóródási indikatrixekkel rendelkeznek.

A fényforrások minőségi jellemzőinek tömörített paraméterei:

- A szem és a fényforrások **közvetlen kapcsolat**ára vonatkozó minőségi jellemző (**színhőmérséklet**), amely a fekete test eloszlásai alapján megadja az adott fényspektrum kis- és nagyenergiájú fotonjainak a közelítő arányát illetve ezáltal az adott fényforrás alkalmazásának korlátait, esetleges veszélyességét.
- A szem és a fényforrások **közvetett kapcsolatára** vonatkozó minőségi jellemző (**színvisszaadási index**), amely az adott fényforrás által a környezetünkben lévő legkülönbözőbb tárgyak megvilágításakor azok színérzetének megváltozását mutatja a referencia sugárzó, a fényforrás színhőmérsékletének megfelelő napsugárzáséhoz képest.

* Interferencia vagy gerjesztendő fénypor esetében a céltárgy tulajdonsága határozza meg a fényforrás spektrumát.

SZÉLSŐSÉGES ESETEK

Interferencia a környezetünkben, amihez nem biztos, hogy fekete test sugárzó kell!

Speciális eset: az ellenőrzéshez UV nagyenergiájú fotonok kellenek

Energia spektrum az atmoszféra felett és a tengerszinten

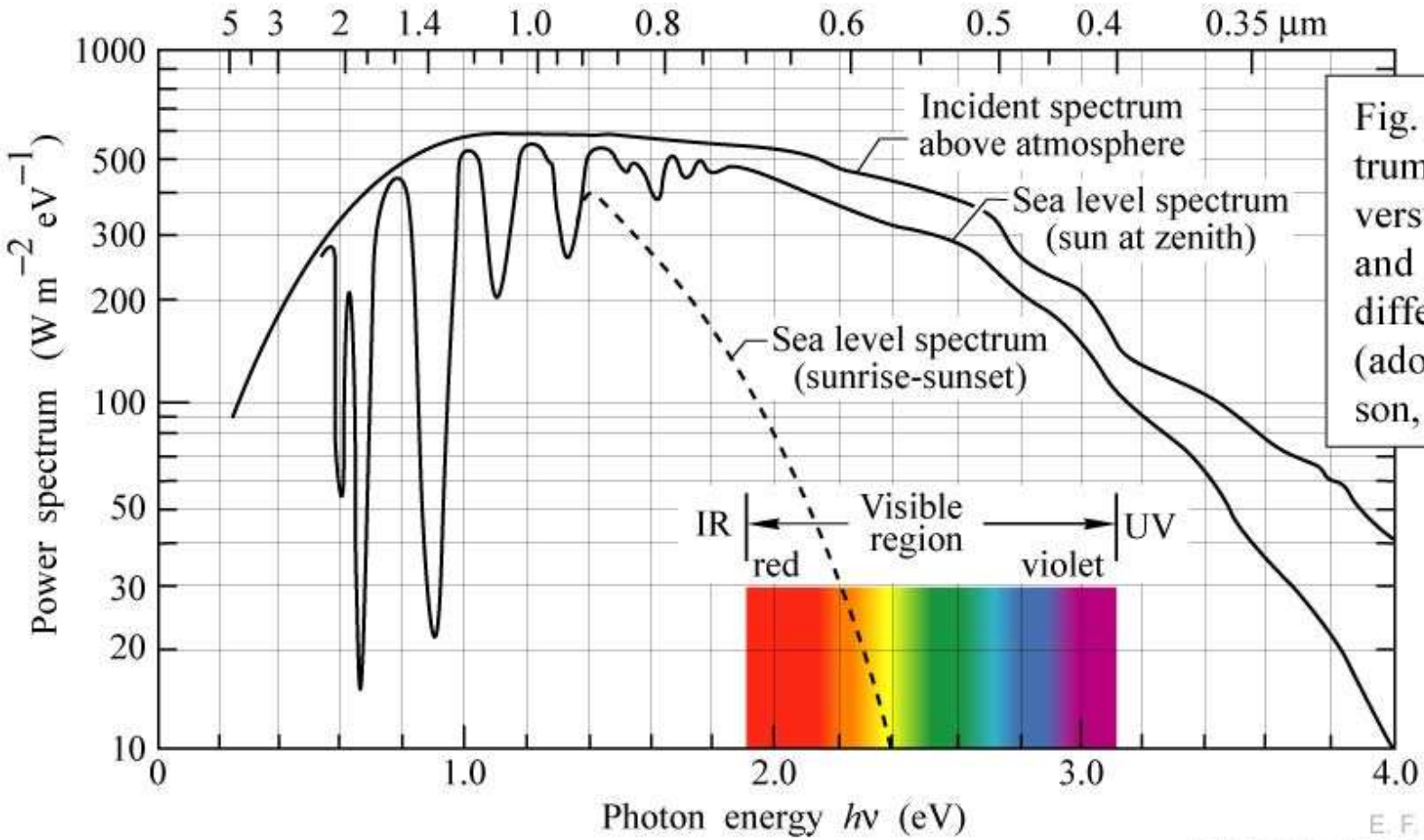
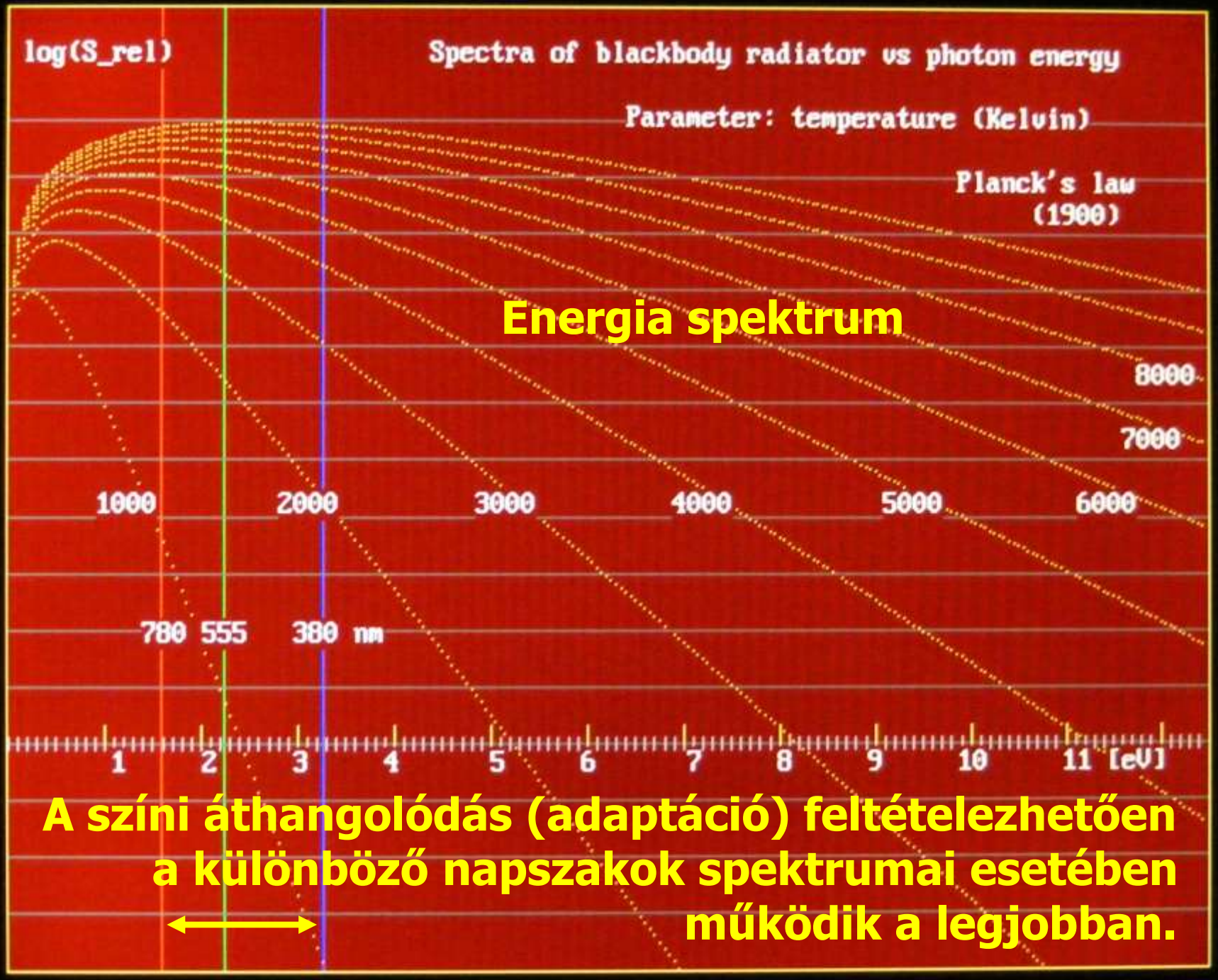


Fig. 18.1. Power spectrum of solar radiation versus photon energy and wavelength for different conditions (adopted from Jackson, 1975).

E. F. Schubert
Light-Emitting Diodes (Cambridge Univ. Press)
www.LightEmittingDiodes.org

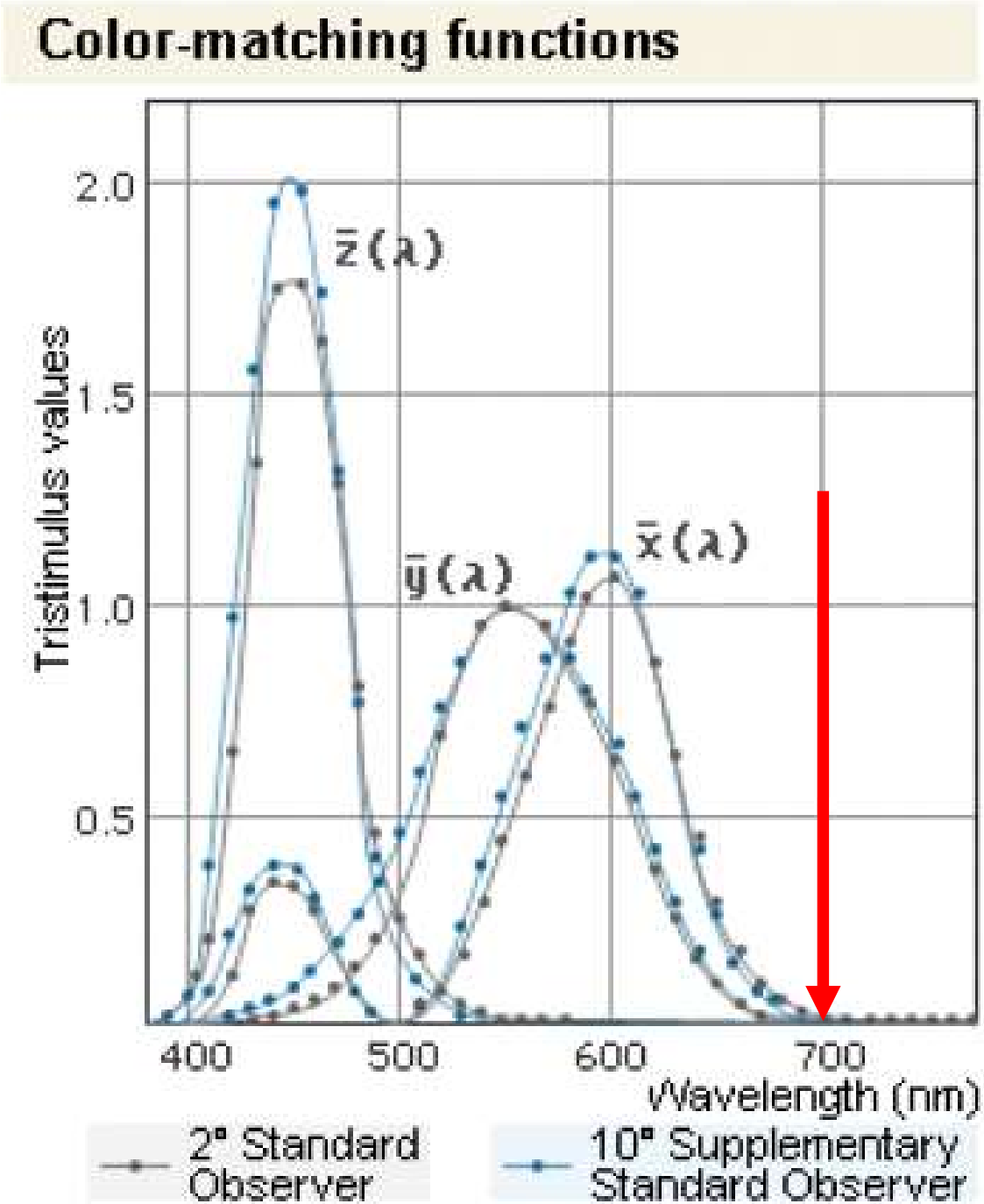


Energia spektrum

A színi áthangolódás (adaptáció) feltételezhetően a különböző napszakok spektrumai esetében ⟷ működik a legjobban.

Az előadás anyagának összeállításánál felmerült PROBLÉMÁK:

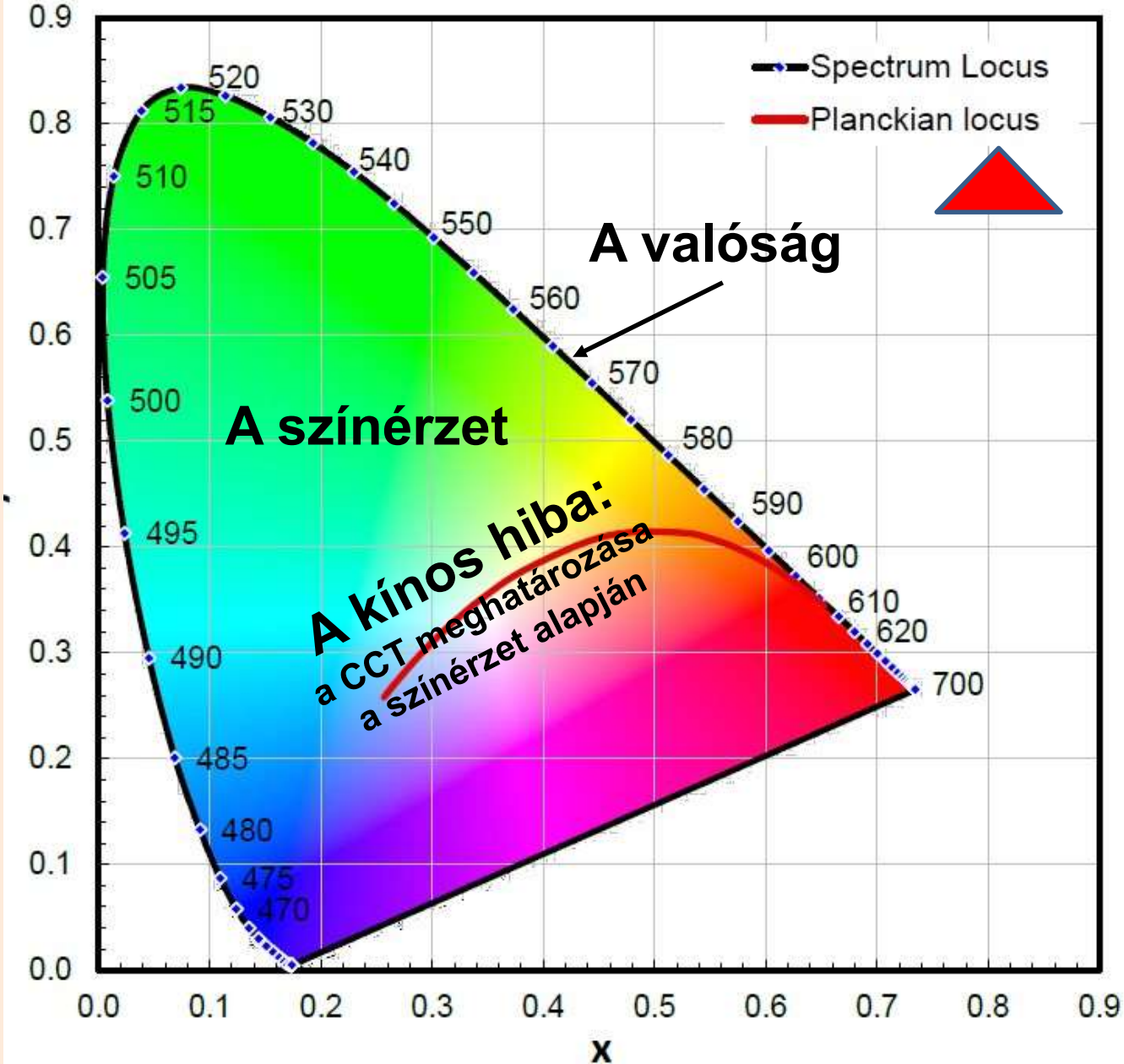
- A speciális környezet, céltárgy milyen mértékben igényel eltérést a fekete test sugárzási görbéktől?
- Az éjszakai megvilágítási értékek egyre inkább túllépik a kora reggeli, késő esti nappali értékeket. Van-e jelentősége vizsgálni a látásunk éjszakai jellemzőit? (Speciális eset: a csillagászati megfigyeléseknél a szem jellemzői.)
- Melyik energia- azaz hullámhossz tartomány tekinthető a nappali fény sávjának? A színillesztő függvények a 700 nm-nél hosszabb tartományt gyakorlatilag nem alkalmazzák. (Ellentmondás a kialakított rendszerben!)
- A színillesztő függvényeket először 2° majd 10° térszögben határozták meg. Azóta kiderült, hogy a retinában az információ feldolgozásánál jelentős oldalirányú kapcsolatok is vannak még a különböző érzékelő típusok között is. Nem kellene-e ellenőrző méréseket végrehajtani?
- Az áttekinthetetlen matematikai útvesztők helyett a színi eltéréseket más módon nem lehetne-e meghatározni?
- Ha a V(λ) igaz, akkor miért kelt – nappal is – egy a függvény-tartomány maximumától jelentősen eltérő nagyenergiájú foton-nyaláb bántóan intenzív fehér fényérzetet (nagyon hideg fehér LED)?



Ha a színek azonosításához csak a 700 nm-ig terjedő tartományt használja a CIE, akkor nem ennek kellene lennie a fénytartomány kisenergiájú határának?

Nem kellene-e nagyobb térszögre kiterjeszteni az észlelést?
A retinán oldalirányú kapcsolatok is léteznek!

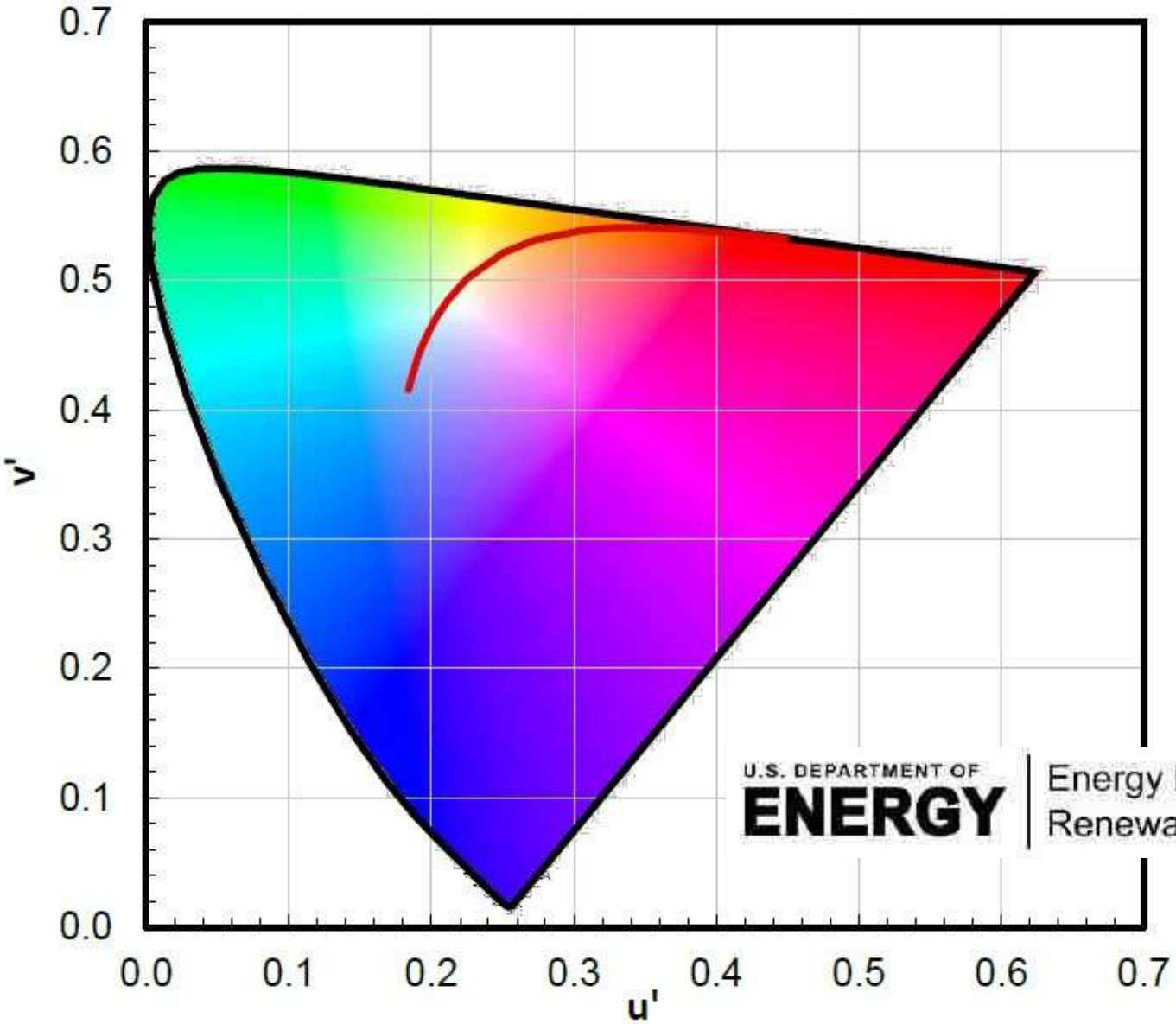
CIE 1931 (x, y) Chromaticity Diagram



Energy Efficiency & Renewable Energy

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

CIE 1976 (u', v') Chromaticity Diagram



U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | Energy Efficiency & Renewable Energy

Színtáblázat

avagy a színérzet diagram elvetése

WIKIPEDIA

Table from Field (1990); CIE data for Illuminant C from Poynton (2008).[4][6]

Index	Description	Munsell Notation	CIE xyY'	Manufacturer's sRGB D65 color values[7]
Row 1: Natural colors				
1	Dark skin	3 YR 3.7/3.2	0.400 0.350 10.1	#735244
2	Light skin	2.2 YR 6.47/4.1	0.377 0.345 35.8	#c29682
3	Blue sky	4.3 PB 4.95/5.5	0.247 0.251 19.3	#627a9d
4	Foliage	6.7 GY 4.2/4.1	0.337 0.422 13.3	#576c43
5	Blue flower	9.7 PB 5.47/6.7	0.265 0.240 24.3	#8580b1
6	Bluish green	2.5 BG 7/6	0.261 0.343 43.1	#67bdaa
Row 2: Miscellaneous colors				
7	Orange	5 YR 6/11	0.506 0.407 30.1	#d67e2c
8	Purplish blue	7.5 PB 4/10.7	0.211 0.175 12.0	#505ba6
9	Moderate red	2.5 R 5/10	0.453 0.306 19.8	#c15a63
10	Purple	5 P 3/7	0.285 0.202 6.6	#5e3c6c
11	Yellow green	5 GY 7.1/9.1	0.380 0.489 44.3	#9dbc40
12	Orange yellow	10 YR 7/10.5	0.473 0.438 43.1	#e0a32e
Row 3: Primary and secondary colors				
13	Blue	7.5 PB 2.9/12.7	0.187 0.129 6.1	#383d96
14	Green	0.25 G 5.4/9.6	0.305 0.478 23.4	#469449
15	Red	5 R 4/12	0.539 0.313 12.0	#af363c
16	Yellow	5 Y 8/11.1	0.448 0.470 59.1	#e7c71f
17	Magenta	2.5 RP 5/12	0.364 0.233 19.8	#bb5695
18	Cyan	5 B 5/8	0.196 0.252 19.8	#0885a1
Row 4: Grayscale colors				
19	White	N 9.5/	0.310 0.316 90.0	#f3f3f2
20	Neutral 8	N 8/	0.310 0.316 59.1	#c8c8c8
21	Neutral 6.5	N 6.5/	0.310 0.316 36.2	#a0a0a0
22	Neutral 5	N 5/	0.310 0.316 19.8	#7a7a79
23	Neutral 3.5	N 3.5/	0.310 0.316 9.0	#555555
24	Black	N 2/	0.310 0.316 3.1	#343434

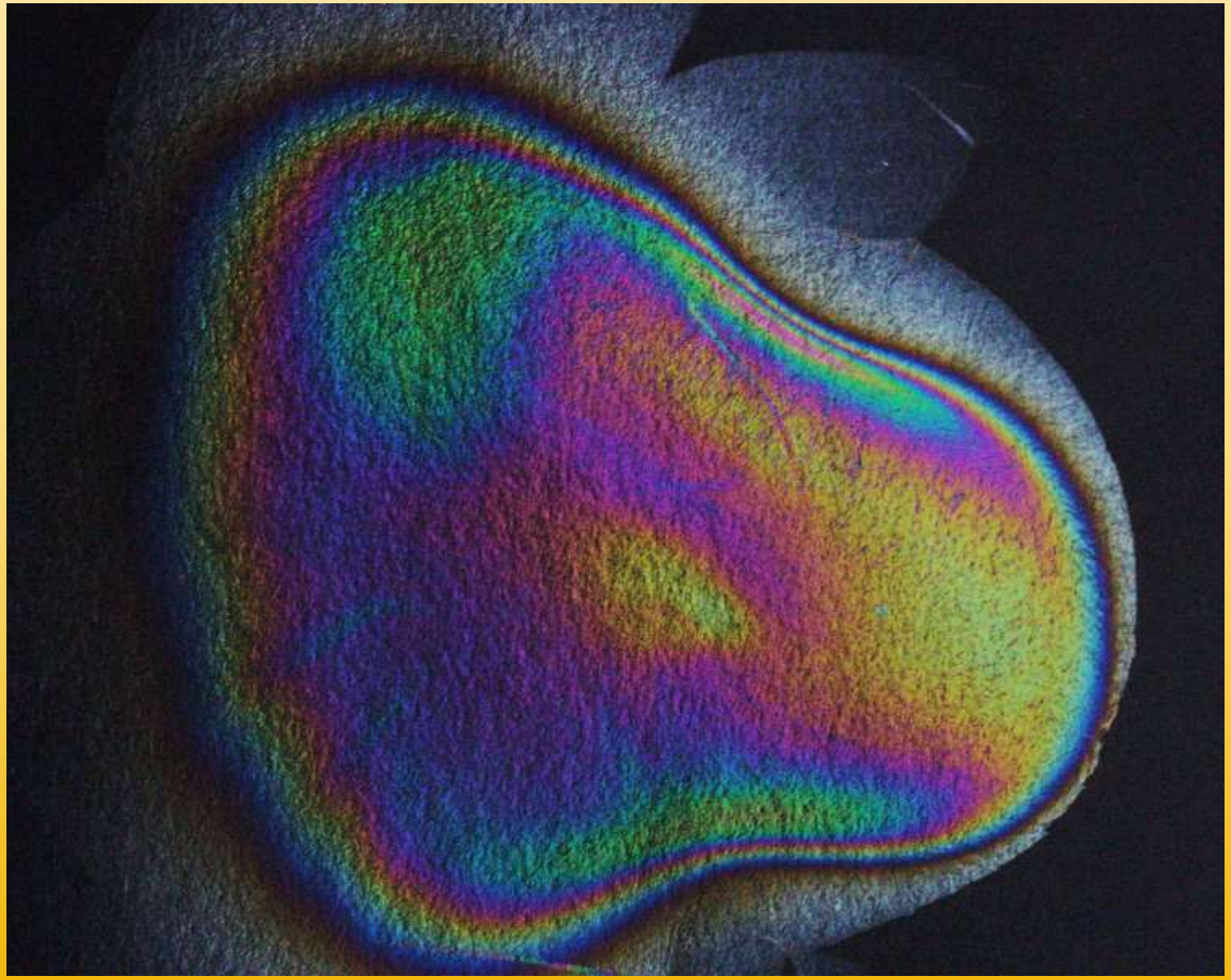
Color Appearance & Preference

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | Energy Efficiency & Renewable Energy

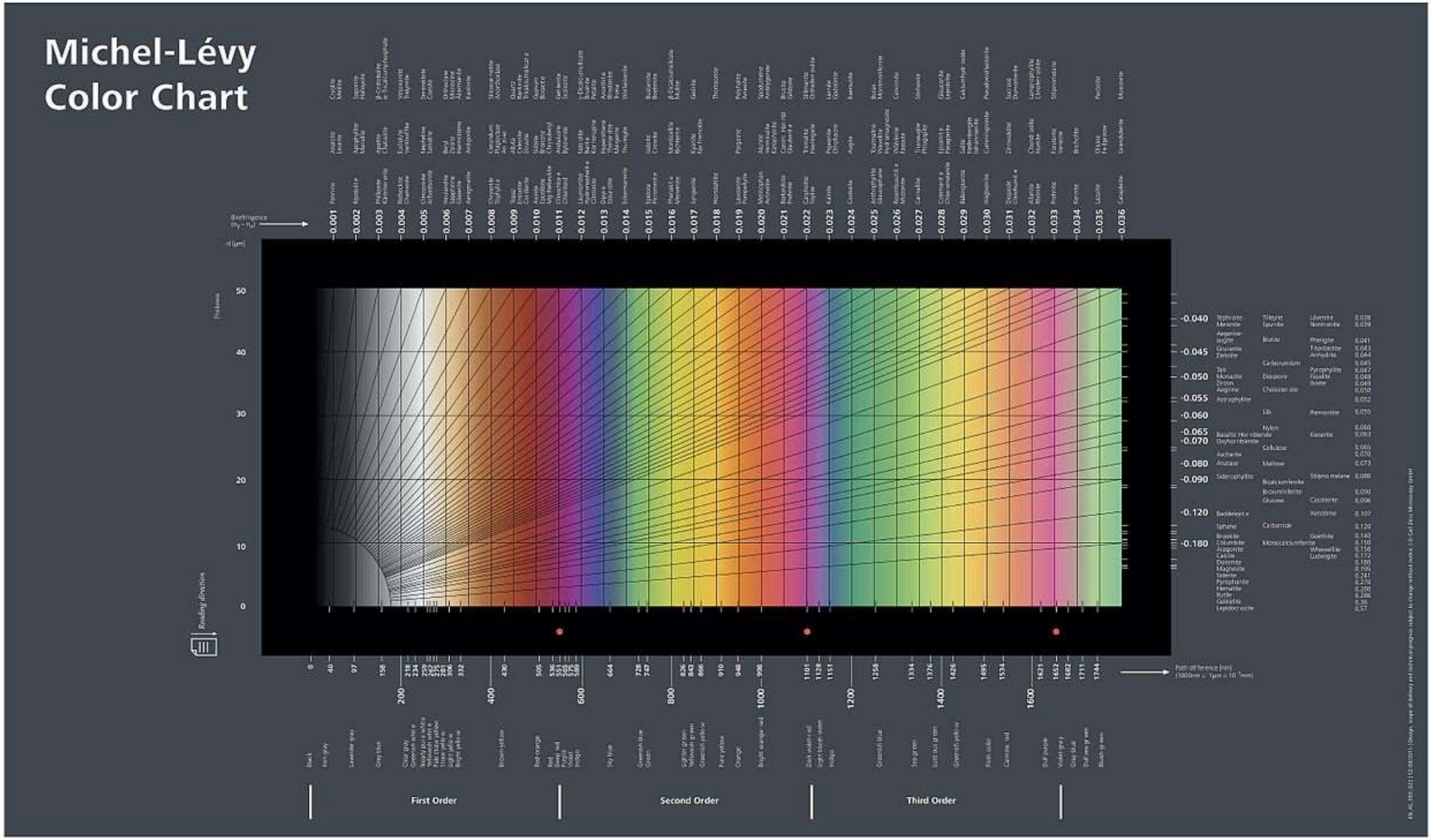
Naomi J. Miller, Michael Royer

An illustration of the differences on camera between daylight and basic white LED lighting of the same color temperature. Note the first two patches on the test chart represent "skin" tones.

Fekete alapon lakkfolt



Wikimedia.org



Carl Zeiss Microscopy GmbH
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.com/microscopy

Interferencia színek, ahol a hullámhossz a megfelelő paraméter

ZEISS
We make it visible.

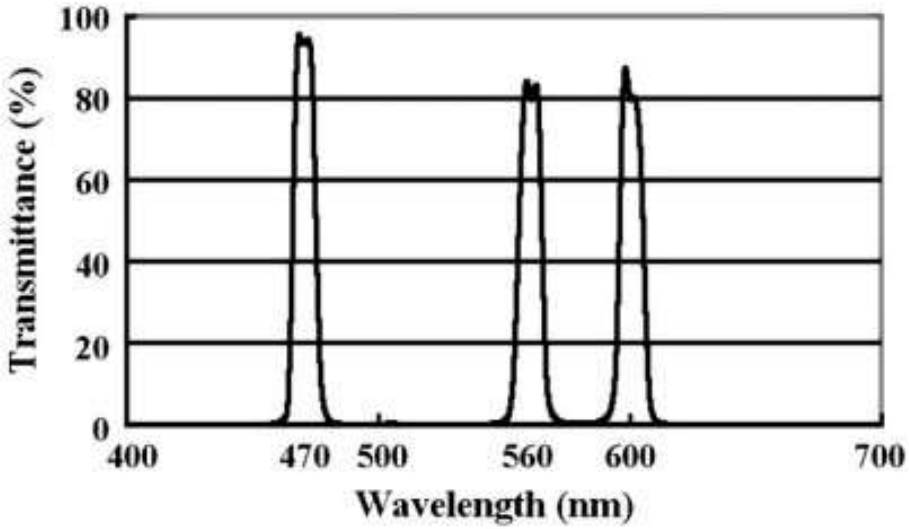


Fig. 16. Spectral transmittance of the multibandpass filter.

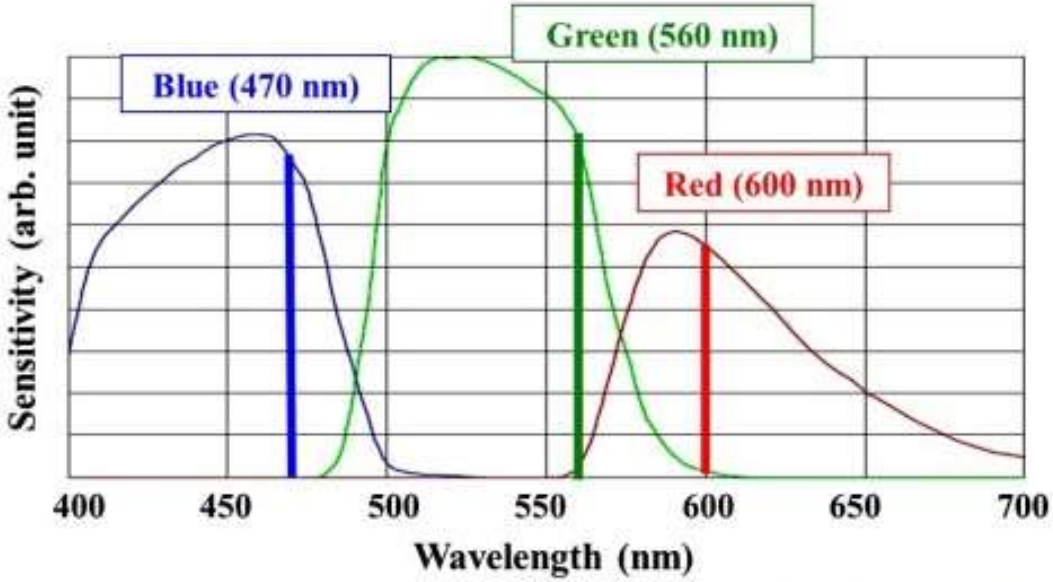


Fig. 17. (Color online) Sensitivity of the three CCDs of the color camera. The wavelengths used in the experiment are indicated.

KATSUICHI KITAGAWA

A következő méréshez a szerző többsávos áteresztő szűrőt alkalmazott: 470, 560 és 600 nm-eset.

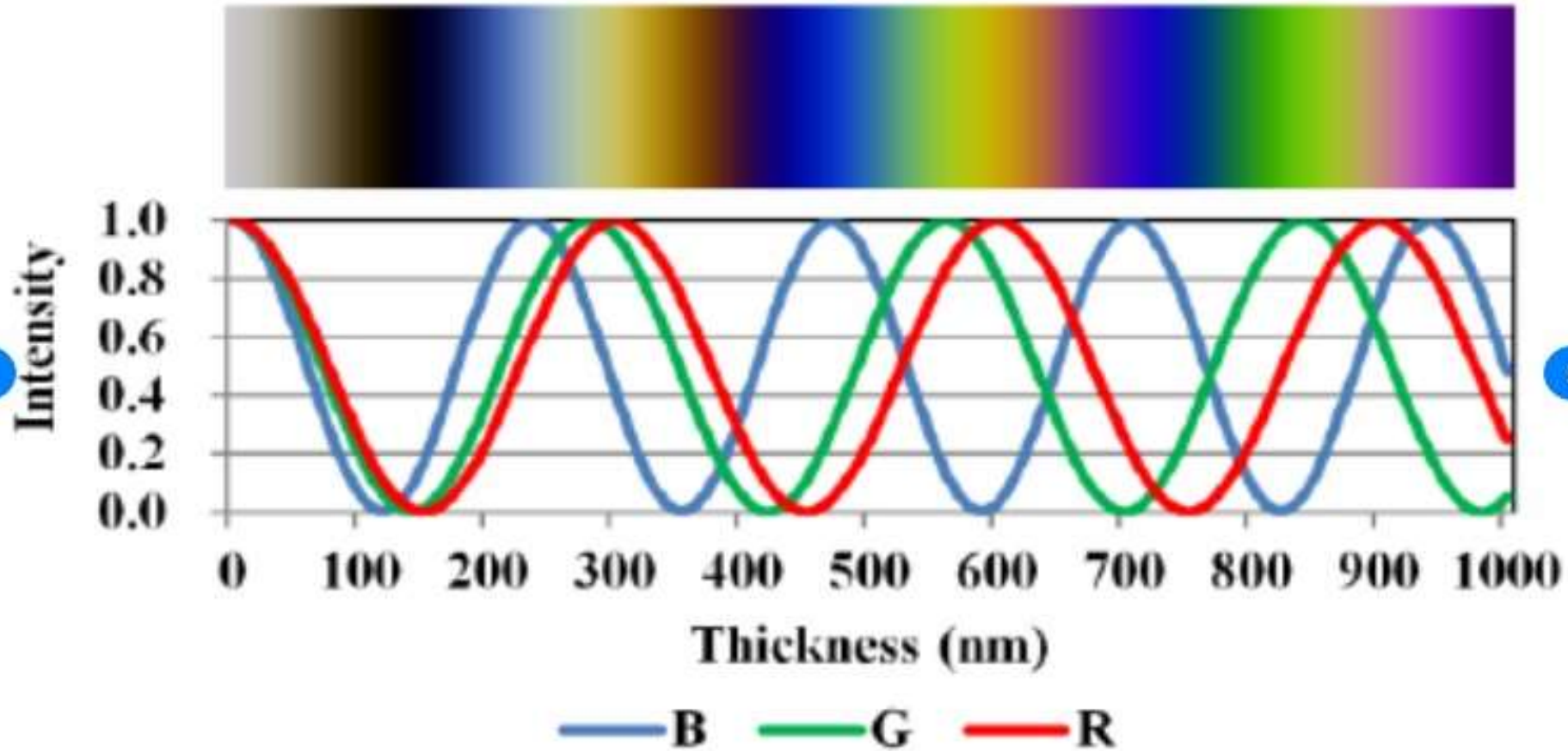
A színes kamera érzékelőinek érzékenységi görbéi

Ebben az ábrázolási módban a barna szín is helyet kap!

Thin-film thickness profile measurement by three-wavelength interference color analysis

Katsuichi Kitagawa
Toray Engineering Co. Ltd., 1-1-45 Oe, Otsu 520-2141, Japan (katsuichi_kitagawa@toray-eng.co.jp)

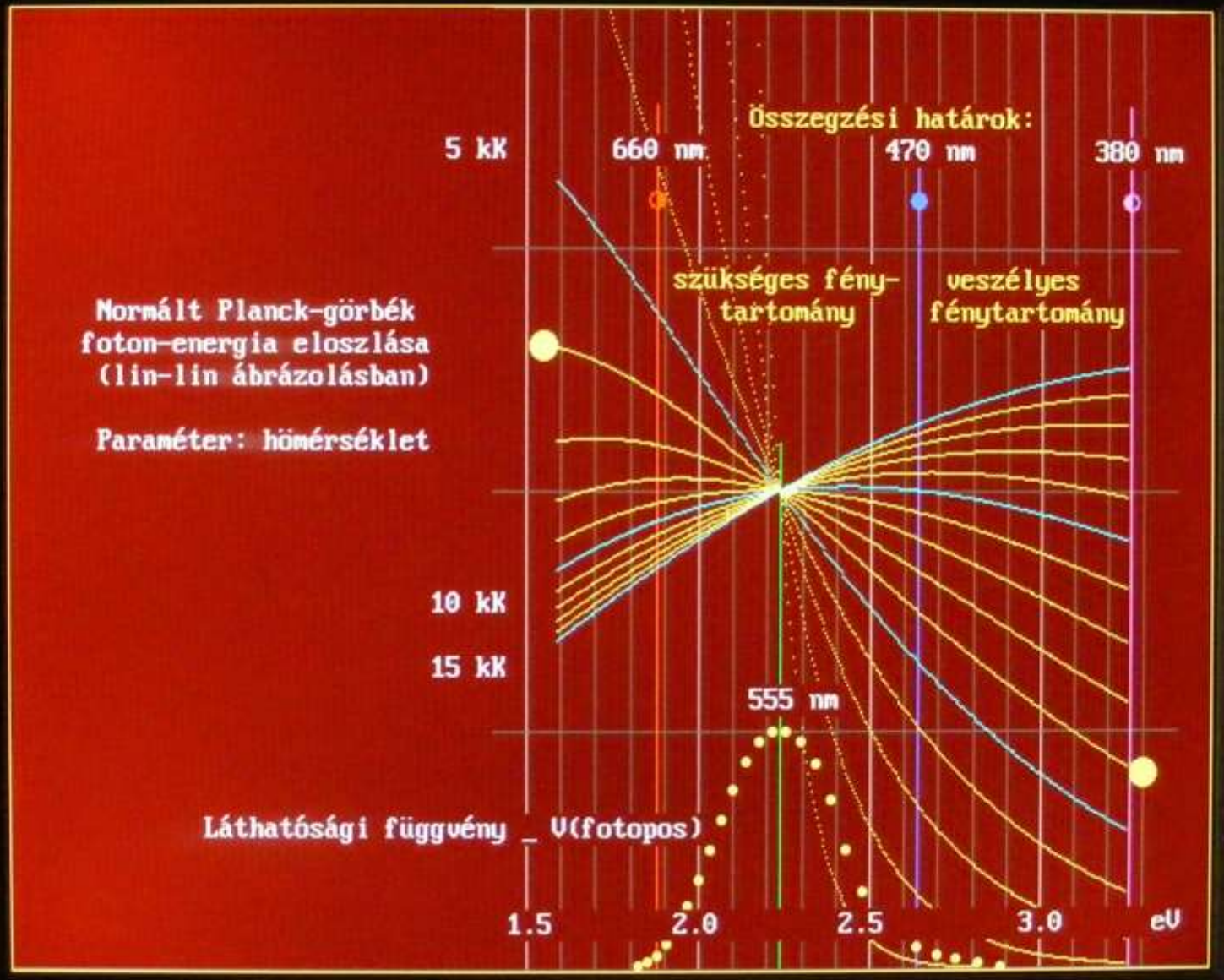
Received 2 November 2012; accepted 14 February 2013;
posted 20 February 2013 (Doc. ID 179140); published 21 March 2013



Optics of three-wavelength interference color imaging.

Ekvivalens színhőmérséklet meghatározása az adott fényforrás spektrumok, valamint a Planck-görbék paramétereinek közvetlen összehasonlításával (Equivalent Colour Temperature, ECT)

- **Kiindulási alap:** az átlagemberekre megállapított nappali láthatósági függvény, mivel az éjszakai megvilágítási értékek erősen közelítik a nappal is előforduló értékeket. Ezt nevezem szükséges fénytartománynak.
- **Figyelembe kell venni** a szemre fokozottan veszélyesnek tűnő „kék” fénytartományt, amely az évtizedek alatt irreverzibilis változásokat okozhat a retinán. Különösen problematikus ez az éleslátás területén.
- A két tartomány közötti **választó-vonal legyen** 470 nm-nél. A láthatósági függvény másik oldalára tükrözve pedig 660 nm adja a tartomány másik szélső értékét.


Összegzési határok:
5 kK
660 nm
470 nm
380 nm
szükséges fény-
tartomány
veszélyes
fénytartomány
Normált Planck-görbék
foton-energia eloszlása
(lin-lin ábrázolásban)
Paraméter: hőmérséklet
10 kK
15 kK
555 nm
Láthatósági függvény _ V(fotopos)
1.5
2.0
2.5
3.0
eV

Fekete-test teljesítmény sugárzása foton-energia szerint
Paraméter: hőmérséklet (Kelvin)

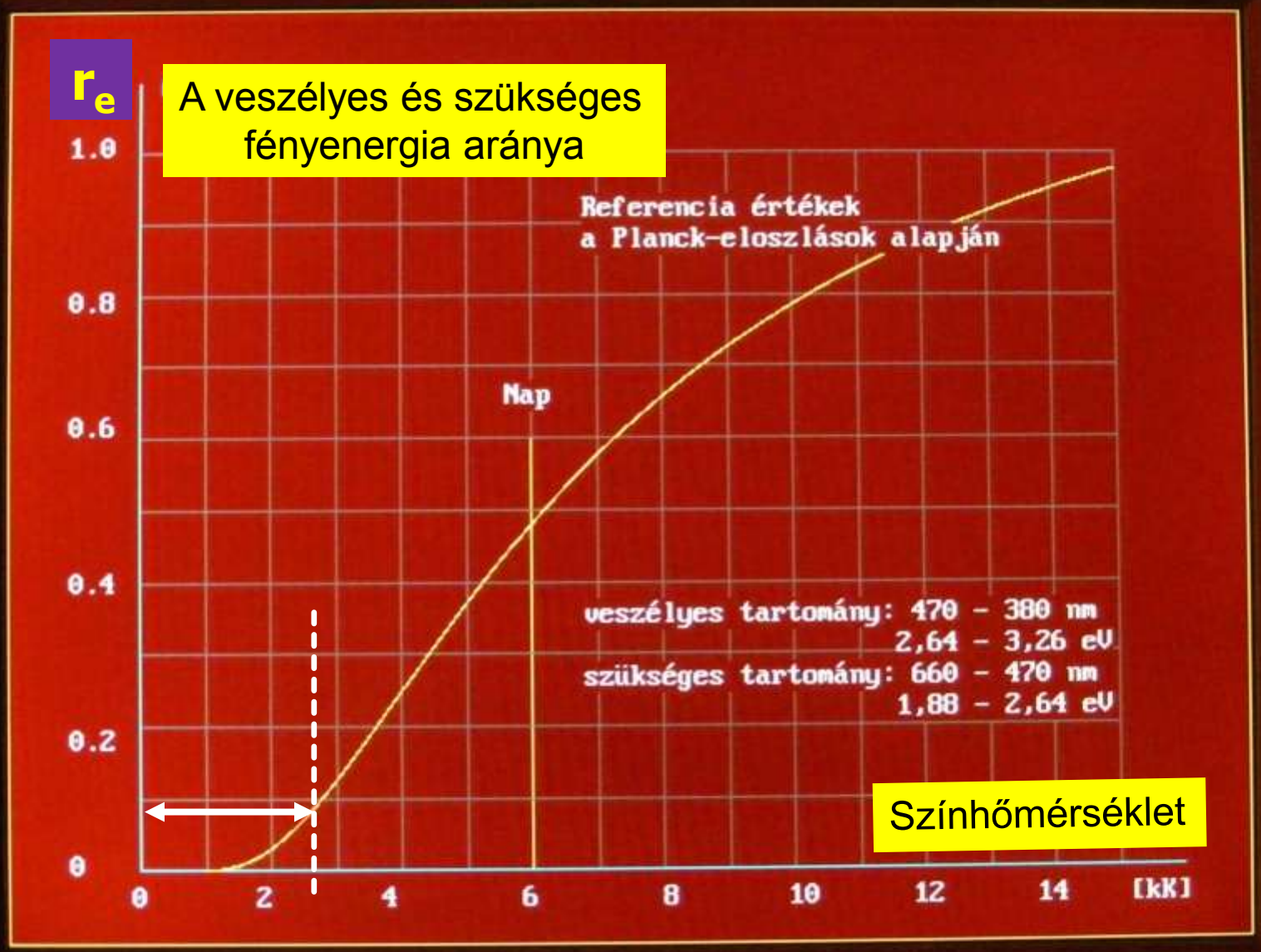
Planck-törvény
(1900)

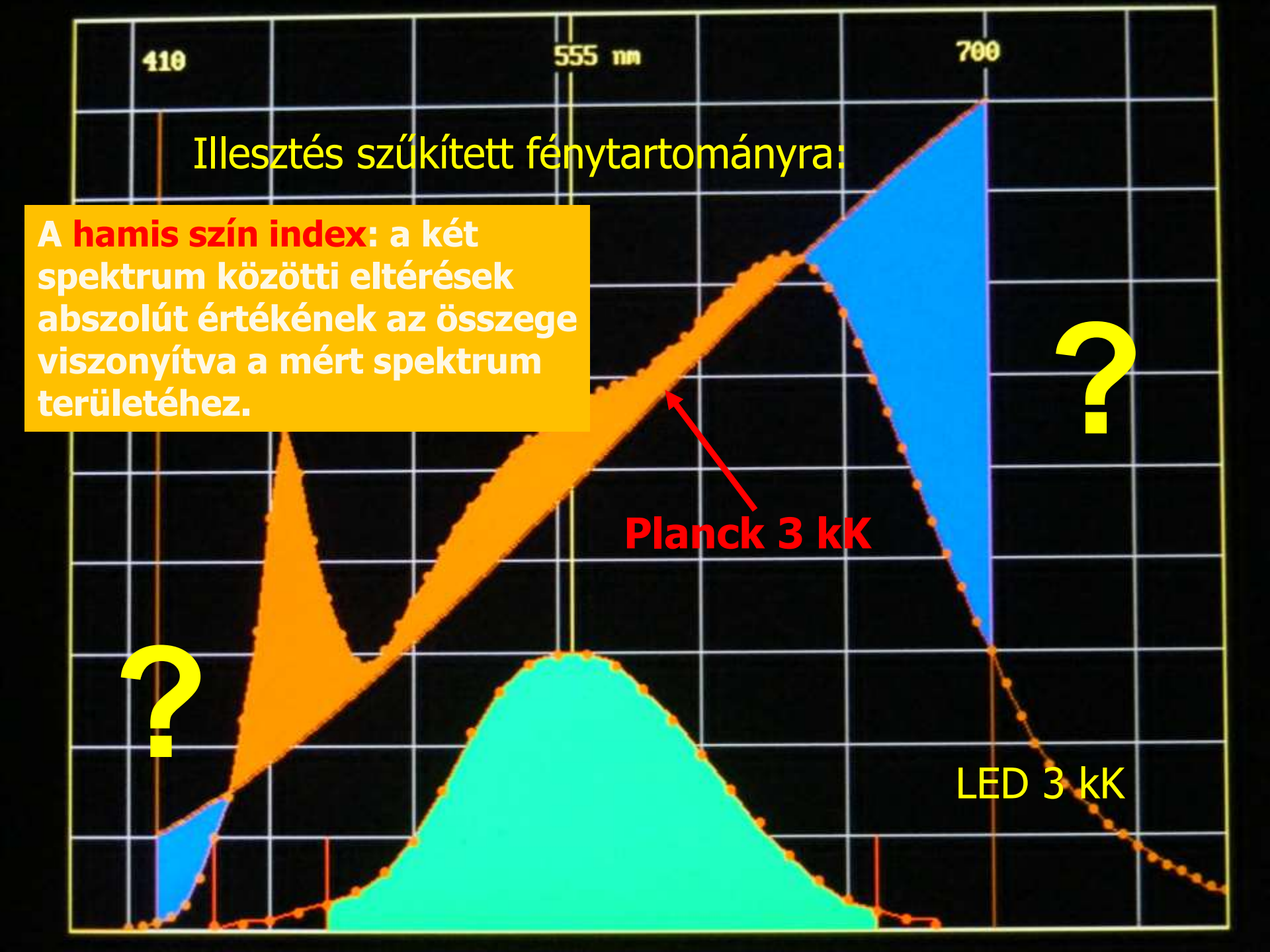
Veszélyes-szükséges
fényenergia aránya,
határérték: 470 nm

Összegzési
határok
a színhőmérsékleti
összevetéshez

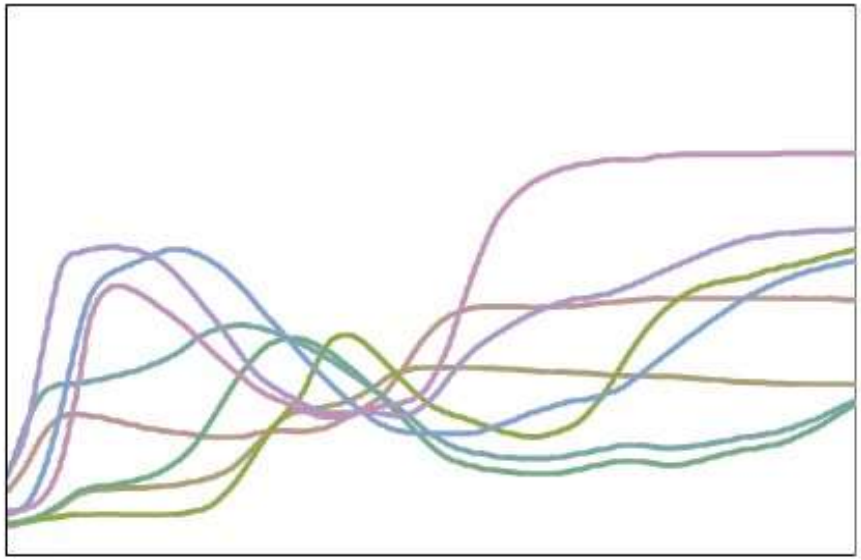
0.000	1000 K
0.030	2000 K
0.124	3000 K
0.245	4000 K
0.366	5000 K
0.475	6000 K
0.569	7000 K
0.650	8000 K
0.719	9000 K
0.777	10000 K
0.827	11000 K
0.870	12000 K
0.907	13000 K
0.940	14000 K
0.968	15000 K

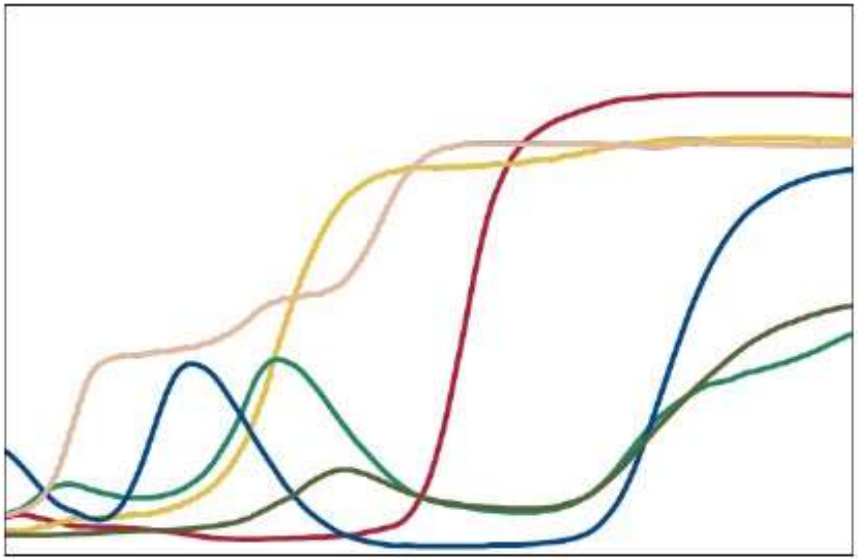
Az ECT megállapításának módja



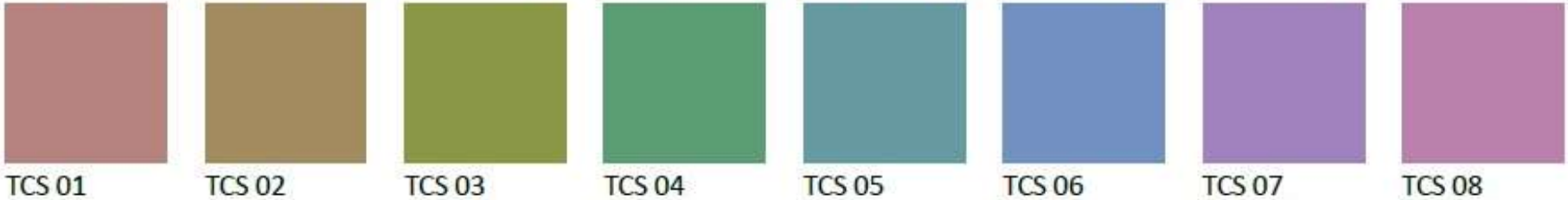

410
555 nm
700
Illesztés szűkített fénytartományra:
A hamis szín index: a két spektrum közötti eltérések abszolút értékének az összege viszonyítva a mért spektrum területéhez.
?
Planck 3 kK
?
LED 3 kK

A színvisszaadási index, CRI meghatározásának reflexiós mintái



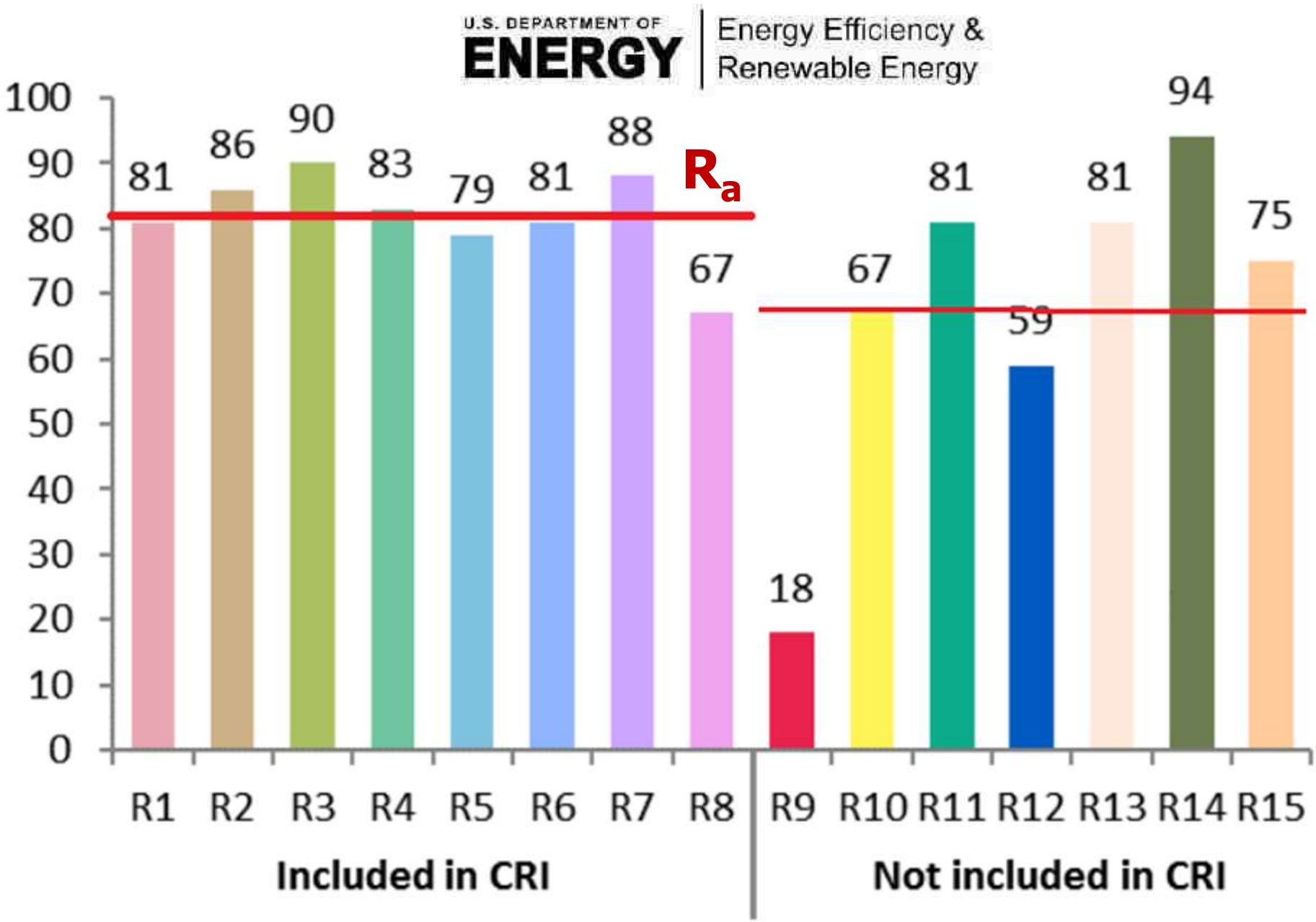


Approximation of Color Samples for CRI R_a (3000 K Blackbody Radiation)

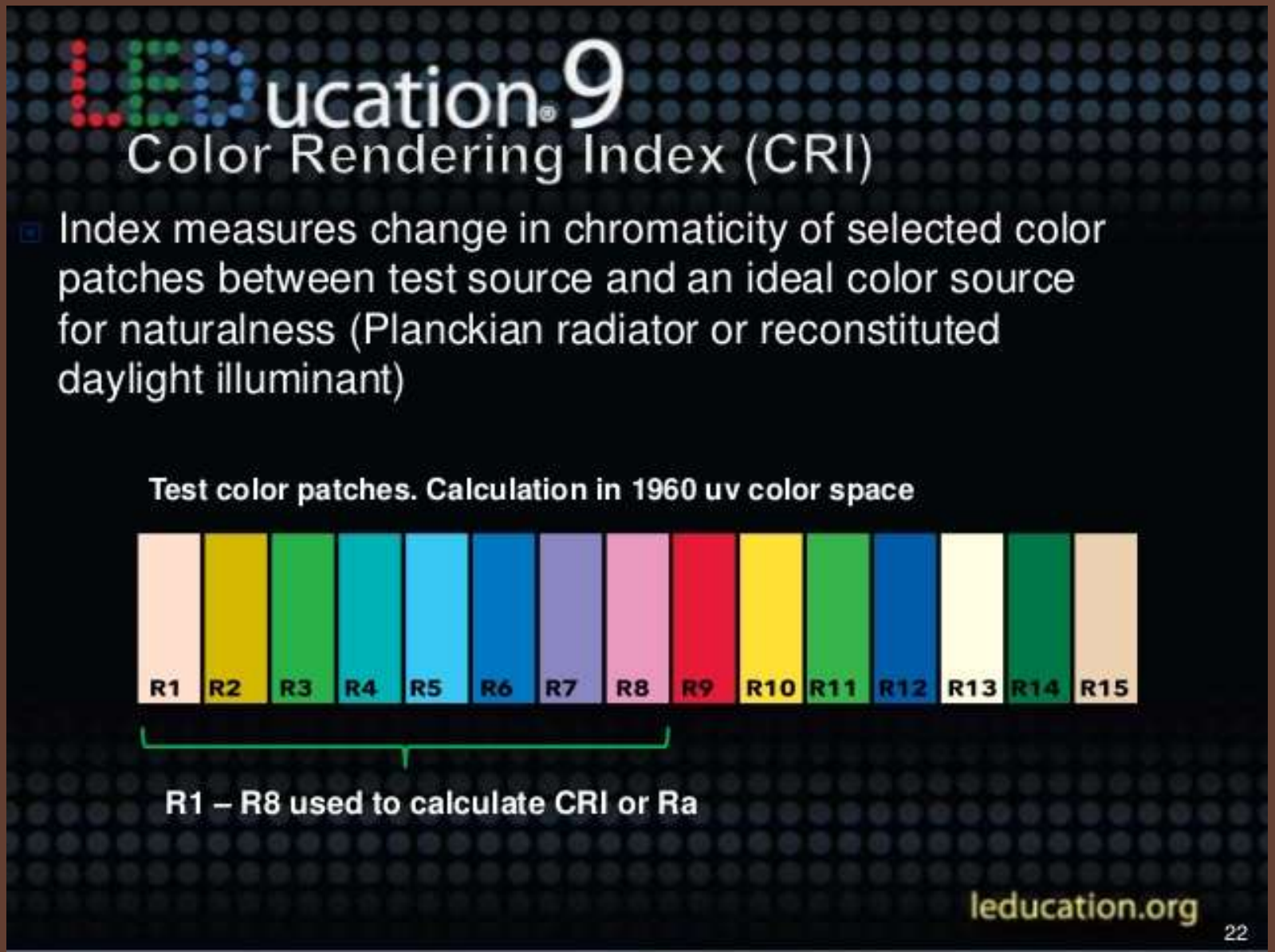


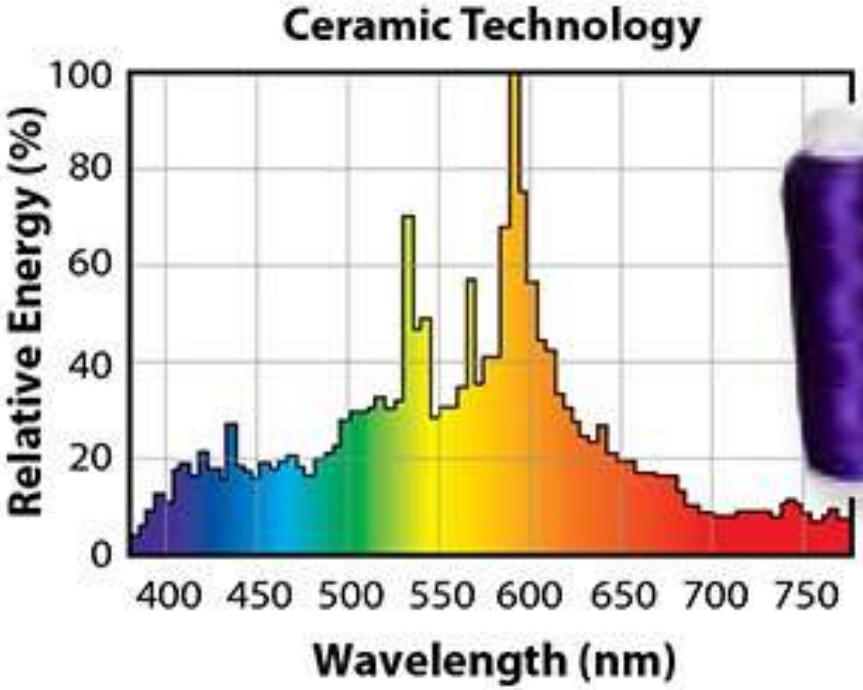
Color Samples for R_9–R_{14}

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | Energy Efficiency & Renewable Energy

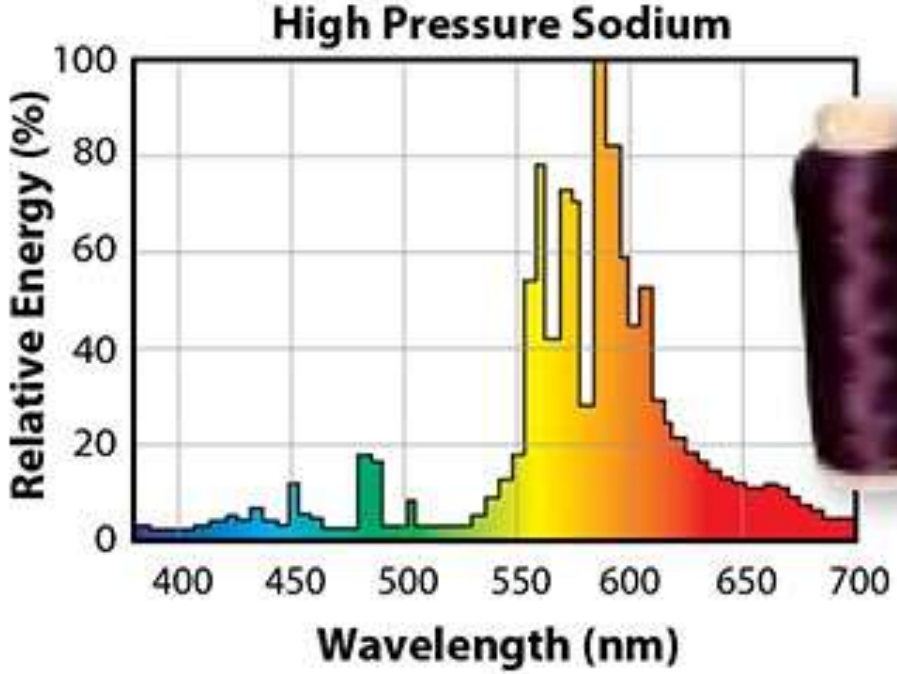

U.S. DEPARTMENT OF
ENERGY
Energy Efficiency &
Renewable Energy
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
81
86
90
83
79
81
88
67
18
67
81
59
81
94
75
R_a
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
Included in CRI
Not included in CRI

Kell-e a színvisszaadási index?



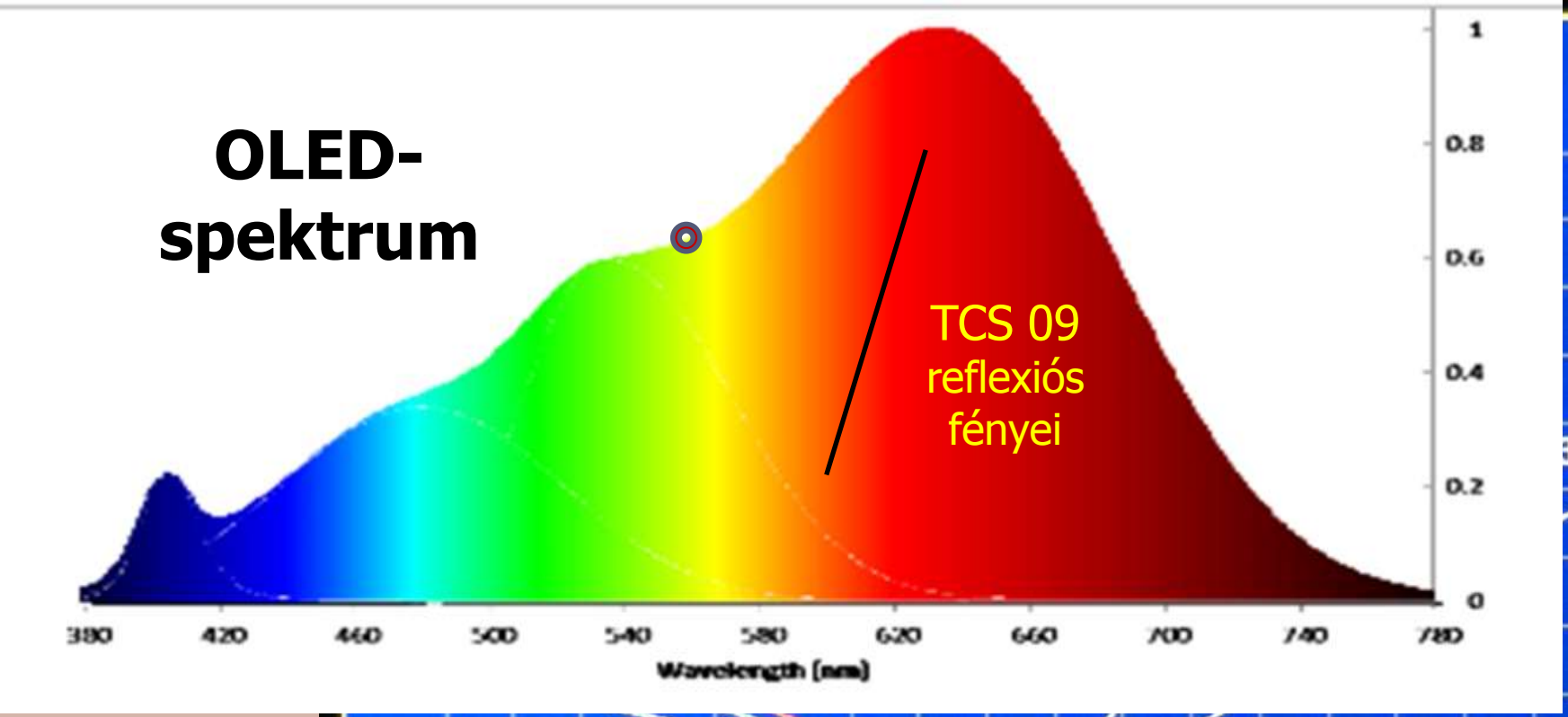


Kitűnő tárgyválasztás

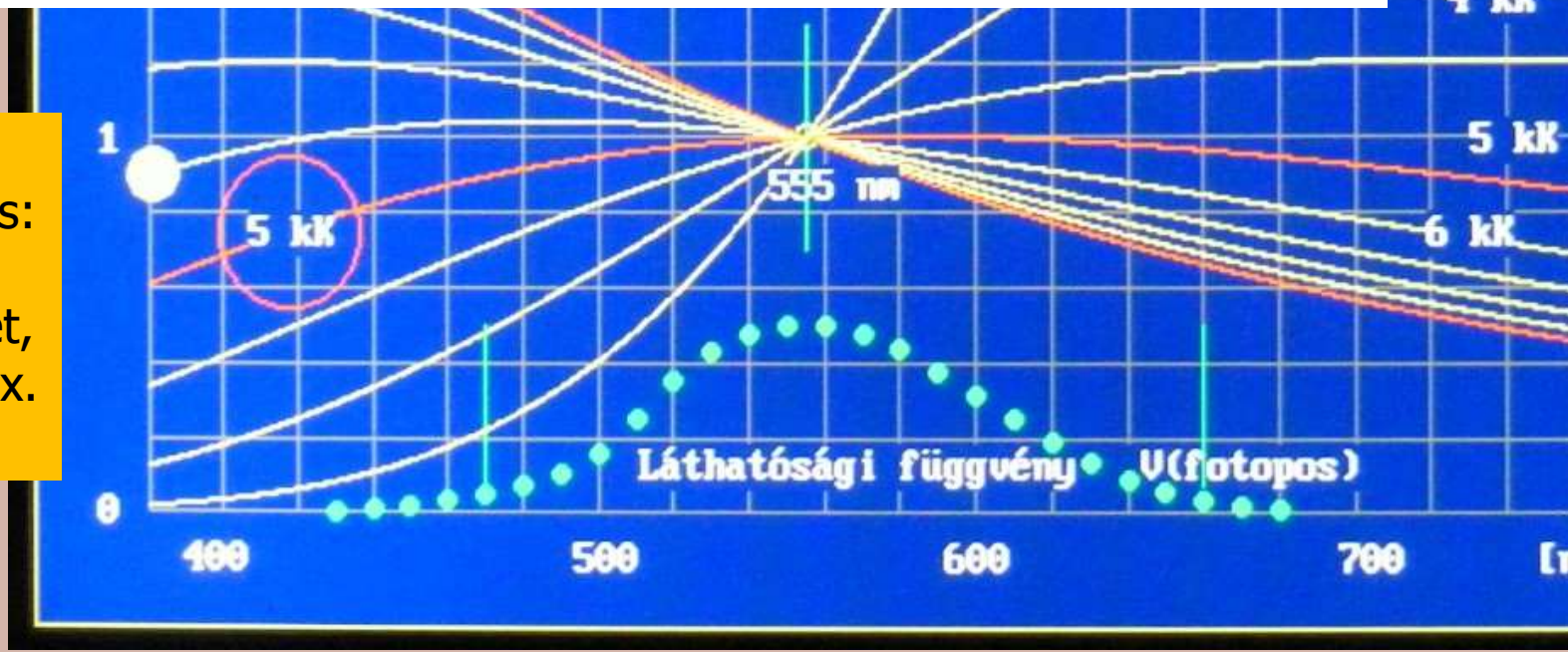


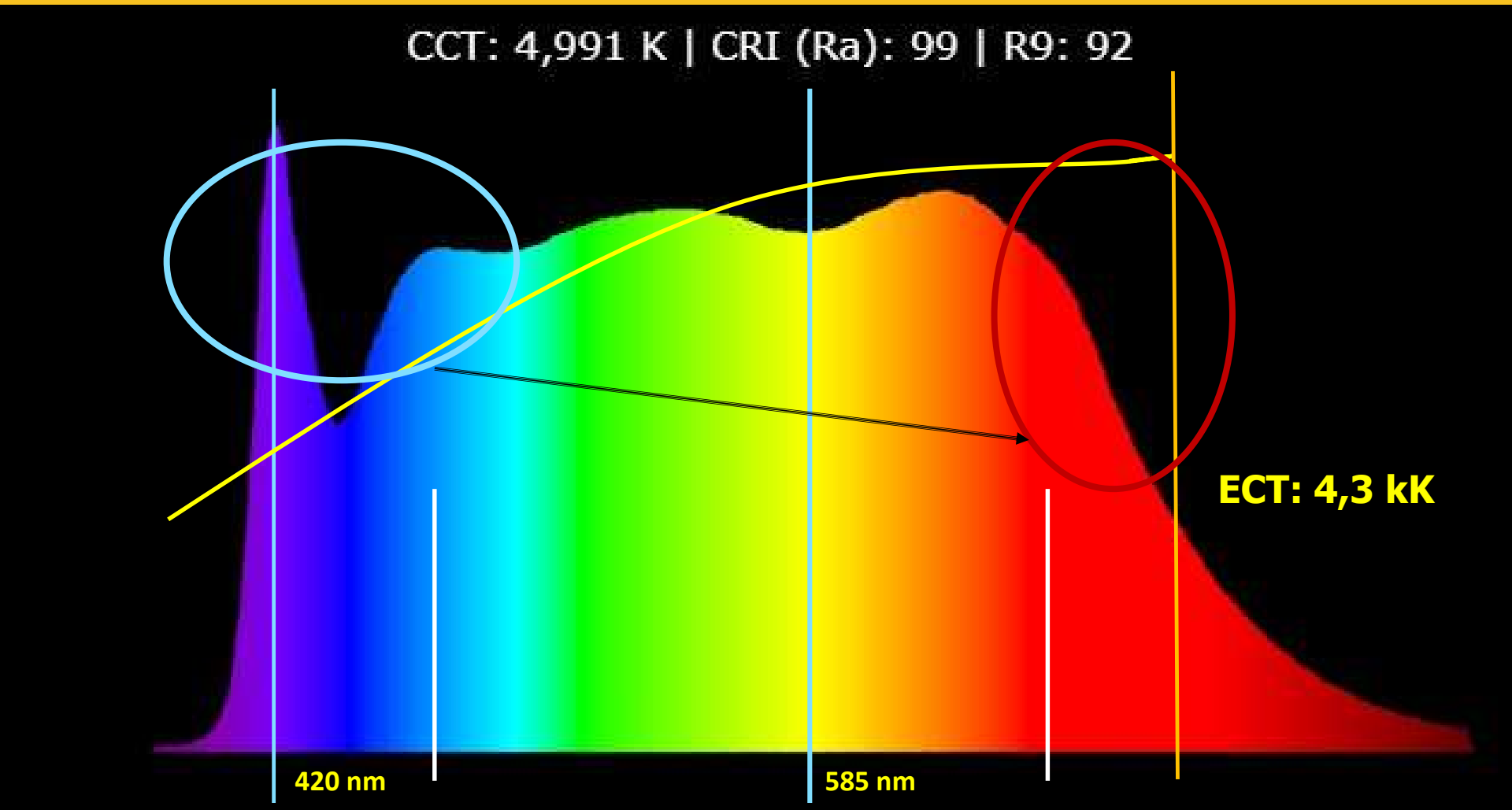
Barna (a „kék”) fotonok hiánya)

OLED-spektrum



Az értékelés proléma mentes: ekvivalens színhőmérséklet, hamis szín index. (ECT, FCI)





Waveform's ABSOLUTE SERIES™ 5000K spectrum features a 420 nanometer emitter with a RGB triphosphor coating. This enables full spectrum coverage, achieving a spectral output that is extremely similar to natural daylight.

A gyártási technológiák lehetőségei, hatásuk az egészségre, a mérési eljárásokra:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29739968

NCBI Resources How To

PubMed.gov
US National Library of Medicine
National Institutes of Health

PubMed

Advanced

Format: Abstract

Send to

Sci Rep. 2018 May 8;8(1):7133. doi: 10.1038/s41598-018-24125-4.

High light-quality OLEDs with a wet-processed single emissive layer.

Singh M[1], Jou JH[2], Sahoo S[1], S S S[1], He ZK[1], Krucaite G[3], Grigalevicius S[3], Wang CW[4].

Author information

Abstract

High light-quality and low color temperature are crucial to justify a comfortable healthy illumination. Wet-process enables electronic devices cost-effective fabrication feasibility. We present herein low color temperature, blue-emission hazards free organic light emitting diodes (OLEDs) with very-high light-quality indices, that with a single emissive layer spin-coated with multiple blackbody-radiation complementary dyes, namely deep-red, yellow, green and sky-blue. Specifically, an OLED with a 1,854 K color temperature showed a color rendering index (CRI) of 90 and a spectrum resemblance index (SRI) of 88, whose melatonin suppression sensitivity is only 3% relative to a reference blue light of 480 nm. Its maximum retina permissible exposure limit is 3,454 seconds at 100 lx, 11, 10 and 6 times longer and safer than the counterparts of compact fluorescent lamp (5,920 K), light emitting diode (5,500 K) and OLED (5,000 K). By incorporating a co-host, tris(4-

NTHU and First-o-lite candle light OLEDs

NTHU and First-o-lite candle light OLEDs

Taiwan's National Tsing-Hua University __ Prof. J. H. Jou

OLED-Info newsletter,
january 2019
Ron Mertens

4) OLED technology roadmap

~'16 | ~'17 | ~'18 | ~'19

Rigid

Merev

May
CCT: @3000K — Efficacy : 70 lm/w, Lifetime : 40K, @3000nit, CRI : Ra 93, R9 70
CCT: @4000K — Efficacy : 60 lm/w, Lifetime : 40K, @3000nit, CRI: Ra 93, R9 50

Dec
CCT: @3000K — Efficacy : 90 lm/w, Lifetime : 40K, @3000nit, CRI : Ra 93, R9 70
CCT: @4000K — Efficacy : 75 lm/w, Lifetime : 40K, @3000nit, CRI: Ra 93, R9 50

2Q
CCT: @3000K — Efficacy : 120lm/w, Lifetime : 40K, @5000nit, CRI : Ra 93, R 9 70
CCT: @4000K — Efficacy : 90lm/w Lifetime : 40K, @5000nit, CRI: Ra 93, R9 50

Előirányzat

Flexible

Hajlékony

Oct
CCT: @3000K — Efficacy : 55 m/w, Lifetime : 30K @3000nit, CRI : Ra 93, R_9 70, Bending : 20R
CCT: @4000K — Efficacy : 50 lm/w, Lifetime : 40K @3000nit, CRI: Ra 93, R_9 50, Bending : 20R

4Q
CCT: @3000K — Efficacy : 110lm/w, Lifetime : 40K, @5000nit, CRI : Ra 93, R9 70, Bending : 5R
CCT: @4000K — Efficacy : 110lm/w, Lifetime : 40K, @5000..., CRI: Ra 93, R9 50, Bending : 5R

Tényadatok

A spektrumokra alapozott tömörített minőségi fényforrás jellemzők:

- **ekvivalens színhőmérséklet,**
- **hamis szín index.**

Előnyök: - Szemléletes, az eltérések a Planck-görbéktől vizuálisan nagyon gyorsan értékelhetőek.

Hátrányok:

- A különböző irányokba kisugárzott spektrumok felvétele elkerülhetetlen.

-A „vörös” szűkített fénytartományt célszerű mindkét paraméternél súlytényező függvényekkel pontosítani esetleg a láthatósági függvényt más körülmények között ellenőrizni azaz vannak még „határproblémák”.

Köszönöm megtisztelő figyelmüket!