

خمسة مصادر في لقطة واحدة، وأساس واحد لكل مقارنة.

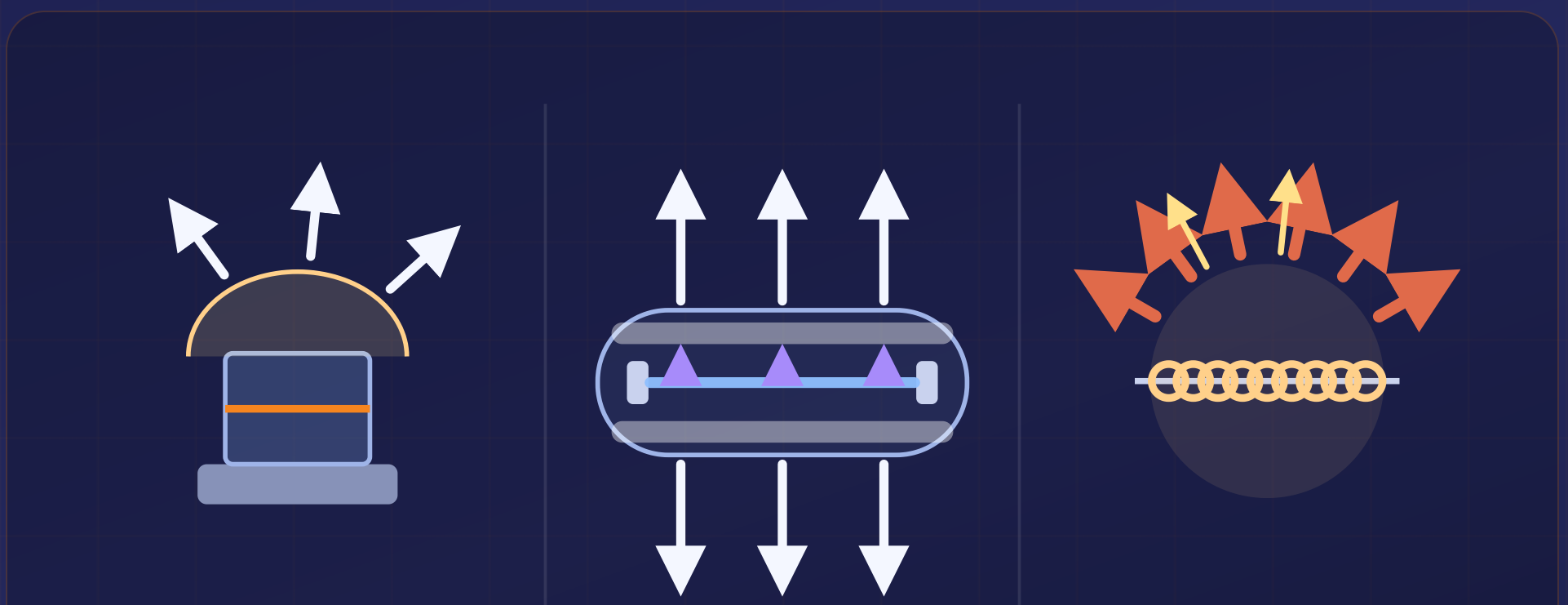
أكاديمية NLC | الحلقة 17

ما قبل LED،
وما لا تزال المصادر التقليدية تتفوّق فيه.

أربع عائلات من المصابيح حكمت العالم قبل LED: المتوهّج، والهالوجين، والفلوريسنت، وعائلة التفريغ عالي الشدة. كل واحدة صنعت النور بطريقة مختلفة. في هذه الحلقة: كيف عملت كل واحدة، وما الذي أنهى عصرها فعلًا، والمهام القليلة التي لم تأخذها LED بعد.

الأساس

ثلاث طرق لصناعة النور، وواحدة فقط جديدة.



التوهّج

سخّن سلكًا حتى يتوهّج. الحرارة وحدها تحدّد الطيف، فيخرج أغلب القدرة أشعةً تحت حمراء. [24]

التفريغ الغازي

أشعل قوسًا في بخار. في مصباح الفلوريسنت أقوى خط ينبعث غير مرئي، فيحوّله الفسفور. [15]

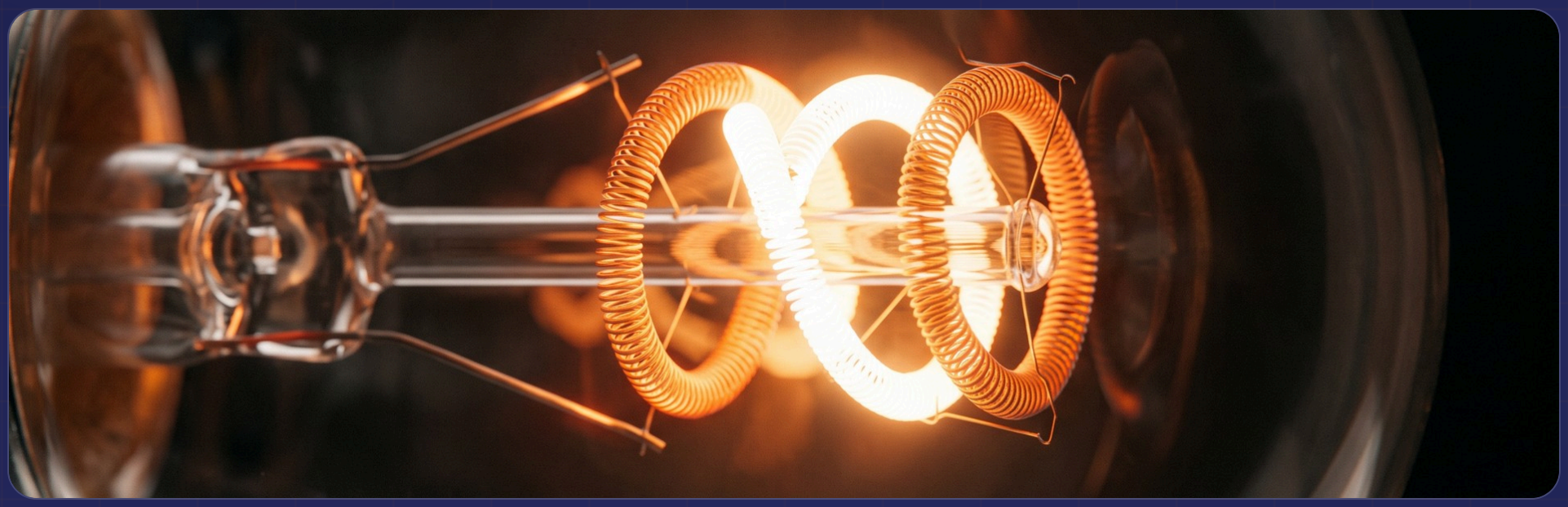
التألّق الكهربائي

مرّر تيارًا عبر وصلة شبه موصلة. تخرج الفوتونات من إعادة الاتحاد نفسها، فيحدّد الطيفَ نوعُ المادة لا درجةُ حرارة.

التوهّج يعتمد على الحرارة، والتفريغ يثير الذرات، وLED تولّد الفوتونات في شبه موصل. **فالطيف وخسائر التحويل هما ما يحدّد الكفاءة**، لا القصد.

ضريبة الحرارة

الفتيلة سخّان يتصادف أنه يتوهّج.



فتيلة تنغستن ملفوفة لفًا مزدوجًا: حلزون داخل حلزون، لحشر أطول سلك في أصغر حيّز ساخن.

1. ينصهر التنغستن عند 3422 °C أي 3695 K، لكن التبخّر يحدّه قبل ذلك: فالفتيلة الاعتيادية تعمل قرب 2800-2900 K، بنحو 800 K دون الانصهار. والهالوجين أسخن، 3000-3500 K، لأن دورته تعيد التنغستن المتبخّر. [32][24]

2. ولا يقع في المرئي إلا نحو عُشر القدرة **المشعّة**، والنسبة أسوأ على أساس القدرة **الداخلة**: ففي مصباح هالوجين نحو 86% أشعة تحت حمراء مقابل 7% نورًا. [26][25]

قضيب التنغستن عند انصهاره يُنسب إليه 52 lm/W: سقف الباعث المجرّد لا سقف المنظومة. وتوقّعت الورقة نفسها أن الطلاءات العاكسة للأشعة تحت الحمراء ستتجاوز به منظوماتُ الفتيلة. [24]

كيف تبلغ تلك الحرارة

الفتيلة مقاومة كهربائية، والنور أثر جانبي.

1. تسخين جولي: يمرّ التيار في مقاومة الفتيلة نفسها فيبدّد I^2R حرارةً. وترتفع الحرارة حتى تتساوى القدرة المشعّة الخارجة مع القدرة الداخلة، فتستقر عندها. [24]
2. وعلى 230 V يكلّف ذلك تيارًا ضئيلًا. فمصباح 60 W يسحب 0.261 A عبر 882 Ω ساخنة، ويسحب مصباح 40 W نحو 0.174 A، ومصباح 100 W نحو 0.435 A. والفتيلة مقاومة صرفة، فمعامل القدرة يساوي واحدًا.
3. وباردةً لا تتجاوز تلك الفتيلة نحو 61 Ω. فمقاومة التنغستن ترتفع نحو 14 إلى 16 ضعفًا بين حرارة الغرفة وحرارة التشغيل، فتسحب اللحظة الأولى بعد التشغيل قرابة 3.8 A لا 0.26 A. [24]

التيارات محسوبة P/V عند 230 V ومعامل قدرة واحد. ونسبة المقاومة مقيسة، 14.4 ضعفًا على مصباح 120 V، وتنسحب على غيره لأن المقاومية خاصية للمعدن؛ ولم يُعثر على قياس للمقاومة الباردة عند 230 V. [24]

ولهذا يحترق مصباح الفتيلة لحظة تشغيله غالبًا، لا أثناء عمله. [24]

جيل الزئبق

القوس يصنع فوق البنفسجي، والطلاء يصنع النور.



1. قوس الزئبق منخفض الضغط يحوّل نحو ثلثي قدرة الدخل إلى فوق بنفسجي غير مرئي، جُلّه خط الزئبق عند 253.7 nm. ولا يغادر المصباح أبدًا. [15]
2. يحوّله الفسفور، وتأخذ الفيزياء حصّتها: فوتون 253.7 nm يحمل طاقة أكبر بكثير من الفوتون المرئي الذي يصير إليه، فيقف سقف التحويل قرب 45%. [15]
3. ونوع الفسفور يقرّر كل شيء. الهالوفوسفات يعطي Ra 51-72؛ والثلاثي الفسفوري من الأتربة النادرة على أنبوب 36 W نفسه يعطي نورًا أكثر ولونًا أفضل معًا، Ra 82-85. [12]

البياض المسطّح المائل إلى الاخضرار هو شكل ما يبعثه الطلاء. وشدّة ظهور الاخضرار في الصورة تعتمد كذلك على رمز لون الأنبوب وعلى موازنة البياض في الكاميرا.

انخفض الزئبق في المصباح الواحد نحو أربعة أضعاف داخل مدى T8 لدى المصنّع نفسه، **من 8.0 mg إلى 2.0 mg**، ولم يكفِ ذلك لإنقاذه. [5]

عائلة HID

التفريغ يحدث في أنبوب واحد صغير.



في المصباح الشفاف يحمي الغلافُ الخارجي ويرشّح فحسب. أما في المطليّ بالفسفور فيصنع النور أيضًا: إذ يحوّل الطلاء فوق البنفسجي الصادر من القوس إلى أحمر مرئي، فيرفع مصباح زئبق 400 W من Ra 22 إلى Ra 43. [3]

بخار الزئبق
الأقدم، والأضعف كفاءةً، 50-55 lm/W. [3]

هاليد المعدن
أملاح في القوس تملأ الطيف. وأنابيب السيراميك تبلغ Ra 90-92. [6]

صوديوم عالي الضغط
البرتقالي الذي أنار كل شارع.
91-137 lm/W بحسب القدرة. [8]

صوديوم منخفض الضغط
ليس من عائلة HID أصلًا، وهو الأعلى كفاءةً هنا. [30][9]

الصوديوم منخفض الضغط شاذّ مرتين: **ليس HID، ومع ذلك هو الأعلى كفاءة هنا.**

السلّم

ثمانية مصادر على مقياس واحد منصف.

متوهّج، من 40 إلى 100 W	12.3-16.5 lm/W · 2700-2840 K · Ra 100
هالوجين، شبكي وكبسولة	9-21 lm/W · 2700-3000 K · Ra 100
بخار الزئبق	50-55 lm/W · 3800-4200 K · Ra 39-50
فلوريسنت مدمج بأطراف	67 lm/W · 4000 K · Ra 82-85
فلوريسنت خطّي، من T12 إلى T5	72-104 lm/W · 2700-6500 K · Ra 51-85
هاليد المعدن، كوارتز إلى سيراميك	83-112 lm/W · 3000-4300 K · Ra 58-92
صوديوم عالي الضغط	91-137 lm/W · 2000 K · Ra 25
صوديوم منخفض الضغط	176 lm/W · 1800 K · Ra -44

خارج السلّم: حدّ تأهيل أدنى لا مصباح مقيس، ومعيار DLC يحتسب المشغّل معه [7]

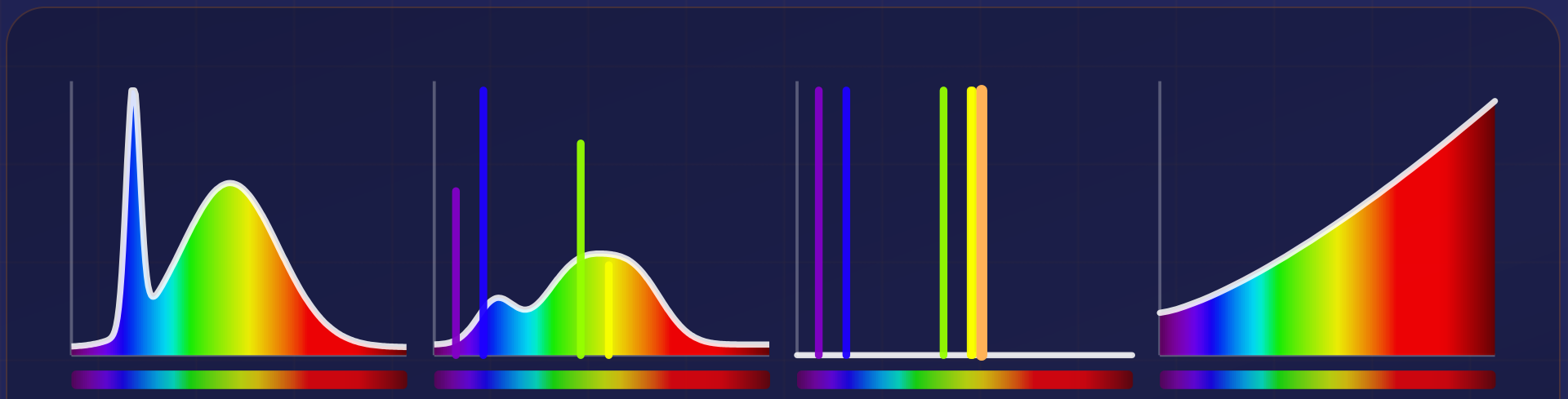
مصباح LED بديل، T8	130 lm/W · 1800-6500 K · Ra ≥ 80

أساس واحد للمصباح المجرّد: اللومن على واطه، 100 ساعة، 25 °C. Ra وفق CIE 13.3، ودرجة اللون من ورقة البيانات، والعمود يمثّل مدى العائلة. [11]

اقرأ سلّم المصابيح التقليدية مرتين. **فأعلى مصباحين فيه كفاءةً هما أسوأ اثنين لونًا**: الصوديوم عالي الضغط عند Ra 25، ومنخفض الضغط عند Ra -44.

اللون

أربعة أشكال طيفية، واللون يتبع الشكل.



من البنفسجي إلى الأحمر، (nm) الطول الموجي

380 → 760 nm

متّصل

المتوهّج والهالوجين. ناعم بلا فجوات ولا خطوط. Ra 100 بحكم التعريف. [11]

خطوط منفصلة

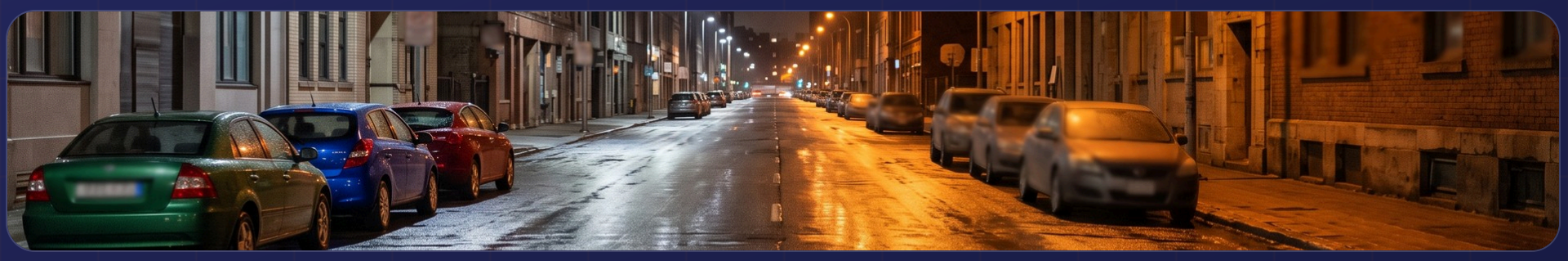
صوديوم منخفض الضغط وزئبق شفّاف. ومنحنى الصوديوم منخفض الضغط يقع عند الصفر فعلًا بين خطوطه. أما عالي الضغط فلا. [9]

فلوريسنت

سلسلة فسفورية متّصلة تقوم عليها خطوط الزئبق. وخط 254 nm الذي يحرّكها خارج الحافة اليسرى. [12]

LED أبيض

ذروة ضخّ زرقاء قرب 450 nm ونطاق فسفوري عريض واحد. بلا خطوط زئبق، إذ لا زئبق فيه. [7]



مواقع الخطوط أعلاه أطوال موجية مقيسة، أما الارتفاعات فاصطلاحية.

الانتظار

دقائق للتشغيل، ودقائق أخرى لإعادته.



1. مصباح هاليد معدن محمي ببدء نبضي يحتاج نحو دقائق 3 ليبلغ 90% من سطوعه الكامل، وبعد انقطاع وجيز في التغذية لا يعيد الإشعال ساخنًا قبل دقائق 4-2 أخرى. [13]

2. والمصباح ذو البدء التبديلي المعتاد أبطأ في الاتجاهين، نحو دقيقة 15 لإعادة الإشعال، ومصباح ملعب بقدرة 1500 W يحتاج دقيقة 15-10. والفلوريسنت ليس فوريًا أيضًا: الأنبوب الخطّي يحتاج دقائق 3-2 ليستقر. [15][14]

الـ HID يعمل بالدقائق لا بالأجزاء من الثانية. **وLED بلا تأخير في الحالتين:** تضيء فورًا وتعود فورًا بعد انقطاع التغذية.

ما لا يزال الهالوجين ينفرد به

عتّم الفتيلة فيهبط اللون معها.



1. التعتيم يبرّد الفتيلة، فتهبط درجة حرارة لونها معها. والمصنّع ينشر الأسس: الخرج النوري يتبع $(V/V_0)^{3.19}$ ودرجة حرارة اللون تتبع $(V/V_0)^{0.37}$، وهو ما يضع هالوجين 3000 K قرب 2300 K عند عُشر خرجه. [16]

2. أما LED التقليدية فتحافظ على درجة حرارة لونها حتى القاع. وأما LED ذات التعتيم المدفّئ للّون مصمَّمة لتهبط، من 2700 K إلى 2200 K عادةً، لتحاكي هذا المنحنى بالذات. [17]

منحنى الهالوجين أعلاه ليس توضيحيًا: هو **محسوب من الأسس المنشورة** ويقع ضمن 3 K من جدول التعتيم في ورقة البيانات نفسها.

الزئبق والقانون

ما تقوله الاتفاقية فعلًا، وعلى من تنطبق.

السعودية انضمّت

لا توقيعًا ولا تصديقًا: المملكة **انضمّت** في 27 فبراير 2019، ودخلت الاتفاقية حيّز النفاذ بحقّها من 28 مايو 2019. [18]

وهي ملزَمة بالتعديلات

لم تُودع المملكة إعلانًا بموجب المادة 30(5)، ولذلك تسري تعديلات المرفقات وفق الآلية الافتراضية في المادة 27، ما لم يُقدَّم إخطار بعدم قبول تعديل محدد ضمن المدة النظامية. يجب ذكر التعديل المعني وتاريخ نفاذه. [18] وقد نفذت تعديلات المرفق A من COP-4 في 28 سبتمبر 2023، وتعديلات COP-5 في 25 أبريل 2025. [18]

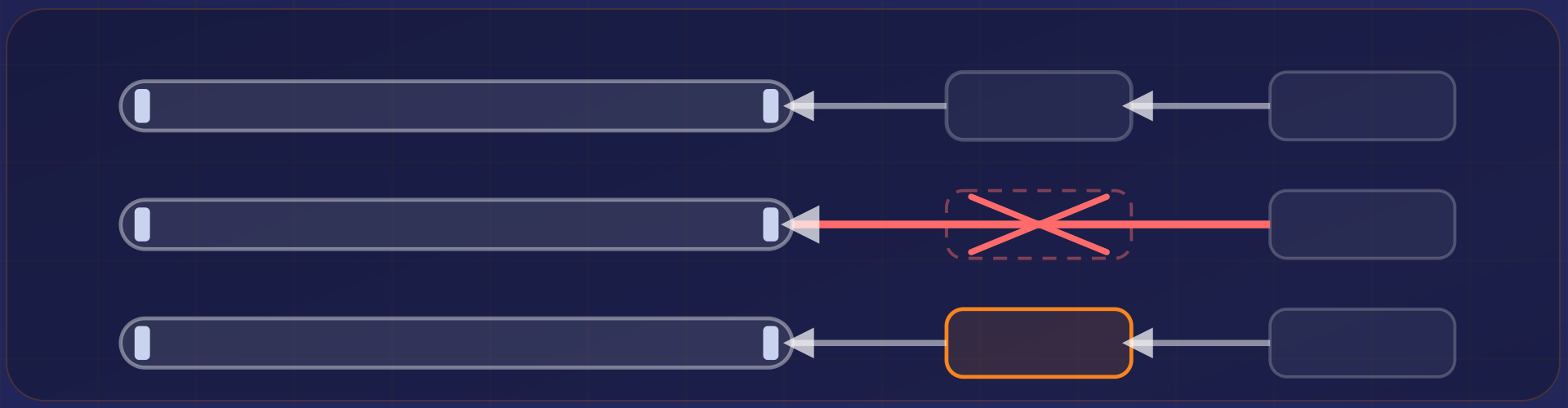
تقيّد الاتفاقية **تصنيع المنتجات المدرجة واستيرادها وتصديرها**، لا حيازتها ولا استعمالها، رهنًا بـ**استبعاد** منصوص عليه في المرفق A أو **إعفاء مسجَّل** للدولة الطرف بموجب المادة 6. وهما أمران مختلفان. وتواريخ المصابيح: 2025 و2026 و2027 و2020، وليس فيها 2021. [18]

ومحليًا، تقع كفاءة المصابيح تحت اللائحة الفنية العامة لكفاءة الطاقة من SASO، وملحقها الأول: SASO 2870, 2902, 2927. [19]

في المرفق A عائلة HID واحدة: **بخار الزئبق عالي الضغط، 2020**. وهاليد المعدن والصوديوم خسرا اقتصاديًا لا قانونًا. **[18]**

فخّ التحديث

أنبوب واحد، وثلاث مهام مختلفة تمامًا.



Type A بديل مباشر يعمل على بالاست إلكتروني متوافق. هو الأقل عملا في التركيب، لكن تبقى متطلبات التوافق وخسائر البالاست. [27]

Type B يُتجاوز البالاست وتُوصل التغذية مباشرةً إلى حاملَي المصباح. يتطلب تعديلًا كهربائيًا، وتوصيلًا صحيحًا، وملصقًا دائمًا يوضح التعديل. وقد منعه معيار GSA P100 لسنة 2024 صراحةً، ثم أُلغي سنة 2025، فراجع ما تنص عليه مواصفتك. [27]

Type C يحلّ مشغّل LED خارجي محل البالاست. يتطلب أكبر قدر من أعمال التركيب، لكنه يوفر نظام LED مصممًا لهذا الغرض ويتجنب مشكلات توافق بالاست الفلوريسنت. [27]

أيًّا اخترت، البطاقة التعريفية تهمّ: **من يفتح هذه الوحدة بعدك يجب أن يعرف ما خلف حاملَي المصباح.** [27]

حيث لم تلحق LED بعد

مجالات لا تزال فيها المصادر التقليدية باقية أو متفوّقة.

UV-C المعقّم

أنبوب زئبق للتعقيم (Signify TUV) يحوّل نحو 40% من قدرة دخله إلى UV-C. وأعلى كفاءة قدرة منشورة لمصباح UV-C LED **مطروح فعلًا** عند 265 nm هي 6.2% (ams OSRAM SU CULFP1.VC, 127 mW)

؛ وهناك جزء بكفاءة 7.5% أُعلن عنه لكنه عيّنات فقط حتى أكتوبر 2026. ويلزم أنبوبًا واحدًا بقدرة 75 W نحو 220 منها. [20]

التسخين الصناعي بالأشعة

تُقنّن Heraeus باعثاتها الهالوجينية قصيرة الموجة حتى 1 MW لكل متر مربع من كثافة القدرة المشعّة، باستجابة في حدود الثانية. وهذا أعلى بكثير من الاستضاءة التي تبلغها مصفوفة LED في المقارنة نفسها. [21]

القياس المرجعي

يعتمد NIST مصابيح FEL الهالوجينية بقدرة 1,000 W في نشر مقياس الاستضاءة الطيفية من 250 إلى 2400 nm. فالتنغستن هو معيار النقل، لا المقياس نفسه. [29]

المنتج وأساس الاختبار مذكوران على كل بطاقة.

وحيث تبقى رغم ذلك

لا تزال تُشترط، لأسباب غير الكفاءة.

UV-B للزواحف

مسح سنة 2024 لثمانية عشر مصباح UVB-LED وجد أن جميعها بعيدة الشبه عن طيف الشمس، وكلها تخلو من الخرج في نطاق 315 إلى 335 nm الذي يعدّه الباحثون أساسيًا لتنظيم تخليق فيتامين D3 ذاتيًا. وسُحبت تلك العينات قبل يناير 2023، فلا تشمل الطرازات الأحدث. [31]

الصوديوم الزراعي

تجاوزت LED الصوديوم في الكفاءة الفوتونية: الصوديوم ثنائي الطرف يبلغ نحو 1.70 µmol/J مقابل عتبة 2.5 µmol/J لدى DLC الزراعي. وبقاؤه سببه حجم القائم منه واقتصاديات الاستبدال، لا الأداء. [23]

الكهرماني لسماء مظلمة

ليس فلترًا فوق LED بيضاء، ولا مجرّد حرارة لون منخفضة. المسودة المقترحة لسنة 2025 في توسان ومقاطعة بيما تعرّف الكهرماني ضيّق النطاق بذروة من 585 إلى 605 nm وعرض خط دون 18 nm، وكلتاهما لا تزال تطبّق لائحة 2012. [22]

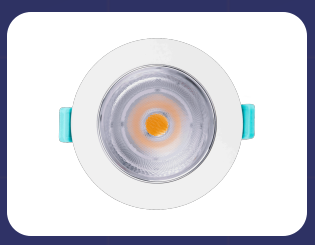
أغلب بنود المصابيح في المرفق A مقيّدة بعبارة «لأغراض الإنارة العامة»، غير أن مصابيح CCFL ومصابيح EEFL مدرجة على حدة لشاشات العرض الإلكترونية. والمصابيح المتخصّصة خارج تلك الفئات تقع خارج النطاق لا مستثناة. وفي الاتحاد الأوروبي يقوم زئبقها على استثناءات RoHS مدرجة حتى 24 فبراير 2027، وهو تاريخ مراجعة: فبموجب المادة 5(5) يبقى الاستثناء ساريًا حتى تبتّ المفوضية إذا قُدّم طلب التجديد في وقته. [18]

من مجموعة NLC

بديل LED لكل مصدر تقليدي.

LUXO

بديل كشافات الهالوجين الغاطسة



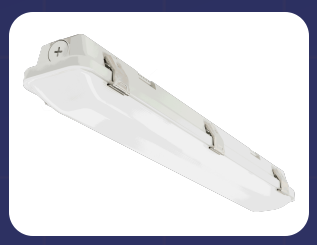
134 lm/W

2700-5000 K

داون لايت غاطس COB، بأربعة خيارات حرارة لون وعاكس قابل للتغيير.

ALLIGATOR

بديل الوحدات الخطّية بالفلوريسنت



150 lm/W

IP66 · IK08

إنارة خطية مقاومة للطقس للغرف الرطبة والمغبرّة التي كان يملكها T8.

DIAMOND

بديل هاي بي HID



170 lm/W

100-240 W

إشعال فوري، وإعادة إشعال فورية، وقابلية تعتيم لم تتوفر في أي هاي بي HID.

FALCON

بديل إنارة الشوارع بالصوديوم



199 lm/W عند 3000 K

1800-6500 K

تتوفر خيارات كهرمانية، لكن انخفاض حرارة اللون ليس كهرمانيًا ضيّق النطاق: تحقّق من الطيف والذروة وعرض الخط مقابل اللائحة.

منقولة من صفحة كل منتج من منتجات NLC. وهي أرقام وحدات كاملة لا أساس المصباح المجرّد في الشريحة 7، وصفحة FALCON تنص على أن قيم أدائها مبنية على 3000 K.

قبل التوقيع

خمس نقاط تضمن **تقييمًا منصفًا للاستبدال.**

- اطلب **أساس القياس** خلف كل رقم كفاءة: مصباح مجرّد، أم مع مهيّئ، أم وحدة كاملة. وقد تصحّ الثلاثة معًا. [7]
- في تحديث الفلوريسنت **سمِّ النوع**، A أو B أو C، وافحص البالاستات أولًا. فبالاست تعتيم مع مصباح غير قابل للتعتيم قد يتلفه. [27]
- طابِق **الاستضاءة والتوزيع والوهج على مستوى العمل**، لا لومن المصباح القديم. فالمطابقة باللومن خارجًا من HID تفرط في الإنارة. [27]
- اسأل كيف اشتُقّ **العمر المقنّن**. فـLM-80 مع TM-21 يستقرئان أداء *المكوّن*، أما ادعاء L70 على مستوى الوحدة فيستند إلى LM-84 مع TM-28. ولا يستقرئ أيٌّ منهما عمر الوحدة: كلاهما يستقرئ ثبات التدفق وحده، والعطل المفاجئ خارج نطاقهما. [28]
- للتعقيم أو المعالجة أو حرارة العمليات أو إنارة الزواحف، **افحص الطيف لا الكفاءة**. [20][21]

المصادر

كل رقم في هذه الشرائح له مصدر.

[1] Philips halogen brochure, 120 V baseline
[2] Osram halogen MR16 and IRC PDS
[3] Osram HQL, Philips HPL-N PDS
[4] Philips MASTER PL-C 26W PDS
[5] Philips linear-fluorescent generation table
[6] Philips HPI-T Plus, CDM Evolution PDS
[7] DLC SSL Technical Requirements V6.0
[8] Signify SON-T PIA Plus, Ceramalux PDS
[9] Philips SOX low-pressure sodium PDS
[10] Sylvania Octron 800 XP/SS life data
[11] CIE 13.3-1995, colour rendering
[12] Philips MASTER TL-D Super 80 36W/840
[13] Philips pulse-start metal halide PDS
[14] Musco 1500 W sports-lighting system
[15] Signify fluorescent run-up data
[16] Lamp-maker tungsten dimming exponents

المصادر من 1 إلى 16. المعايير مذكورة بمراجعاتها السارية، وأرقام المصابيح من ورقة بيانات المصنّع لرمز طلب محدّد.

المصادر

تتمة المصادر.

[17] Warm-dim LED product data

[18] UN Treaty Collection XXVII-17; Minamata

[19] SASO Gen. Tech. Reg. for Energy Efficiency

[20] Philips TUV PDS; ams OSRAM UV release

[21] Heraeus infrared emitters catalogue

[22] Tucson/Pima County lighting code, 2025

[23] DLC Horticultural Tech. Req. V4.0

[24] MacIsaac et al. 1999, Phys Teach 37:520

[25] Agrawal et al. 1996, Am J Phys 64:649

[26] Ushio halogen technical specifications

[27] UL 1993; GSA LED guidance, 2025

[28] ANSI/IES LM-80, TM-21, LM-84, TM-28

[29] NIST SP 250-89, spectral irradiance

[30] IES Lighting Definitions, HID lamp

[31] Wunderlich et al. 2024, Zoo Biol 43(1):61

[32] ITIA, tungsten properties (melting point)

اختصارات: PDS ورقة بيانات المنتج، ورمز DLC اتحاد DesignLights، ورمز ITIA الجمعية الدولية لصناعة التنغستن. والاستشهادات الكاملة بروابطها وتواريخ الاطلاع عليها في صفحة الحلقة، والرابط في الشريحة التالية.

معرفة عملية في هندسة الإنارة

احفظها. وأرسلها إلى زميل.

اقرأ المقال الكامل للحلقة

https://nlc.com.sa/ar/academy/conventional-lights.html

الحلقة القادمة

الحماية من الجهود العابرة