جامعة الفرات الأوسط التقنية
المعهد التقني نجف
قسم تقنيات الكهرباء

تأسيسات كهربائية

الانارة

اعداد

د. حسن وهاب ربيع

2024

1 – لمحة تاريخية :

برزت حاجة الإنسان منذ عصور ما قبل التاريخ إلى سد النقص في الإضاءة الطبيعية بالإضاءة الصناعية ، فاستغل النيران والمشاعل والشموع والسرج والمصابيح وغيرها ، وكانت الغاية من استخدام الأضواء الصناعية منذ البداية توفير إمكانية الرؤية في الظلام ، ثم تطورت تقنيات الإضاءة مع تطور قدرة الإنسان على التحكم في النيران ، وتوصله إلى مصادر للضوء ذات فعالية وكفاءة عالية ، وإلى إيجاده الوسائل المناسبة للتحكم فيها ، فوضع الشمعة على شمعدان ليزيد في ضيائها ويضفي جمالاً على نورها ، وركب للسراج أو المصباح الزيتي عدداً من العاكسات تساعد على تركيز الضوء ، واستعمل فيه فتيلاً من القطن قابلاً للضبط ، وجعل للمصباح منافذ تسمح بمرور تيار من الهواء يوفر له أكبر كمية من الأوكسجين اللازم للاحتراق كما في مصباح أرغاند Argand سنة 1784 م ، وركب له زجاجة أسطوانية (بلورة) مكورة الوسط تزيد من تركيز الإضاءة (تشبه لمبة الغاز بمصر) ، وهي اللمبة التي استمرت في الخدمة بمصر لسنيين مديدة وقرأ على ضوئها الكثيرون من رجال الفكر والعلم .

وبعد اكتشاف النفط استبدل بالزيت الكيروسين (زيت الغاز) وزيت البارافلين لتحسين نوعية الاحتراق ، وأدى ذلك كله إلى الحصول على مصابيح سهلة الصنع قليلة التكلفة يمكن الاعتماد عليها ، فبطل استخدام الشموع وإن ظلت للزينة .

وشهدت بداية القرن التاسع عشر تطوراً كبيراً في تقنيات الإضاءة الصناعية عندما استخدم الغاز الطبيعي في الولايات المتحدة وكندا ثم الغاز المستخرج من الفحم الذي استعمله وليم مردوك الاسكتلندي William Murdock واستخدم في إضاءة أحد شوارع لندن سنة 1820 .

غير أن اكتشاف الكهرباء في أواسط القرن التاسع عشر أحدث ثورة عالمية في تقنيات الإضاءة كان لها أطيب الأثر في تبدل معيشة الإنسان ، فقد استخدمت الكهرباء في الإضاءة بادئ ذي بدء بالقوس الكهربائية بين قطبين من الكاربون ، وطور هذا النوع ليستخدم في إنارة الشوارع في المدن الكبرى معطياً ضوءاً ساطعاً قريباً من الضوء الطبيعي .

إلا أن اختراع المصباح الكهربائي ذي السلك الفحمي المتوهج سنة 1878 كان الخطوة العلمية الأولى في الإضاءة بالكهرباء . وكان أول من استعمله تجاريا توماس إديسون Thomas Edison في الولايات المتحدة الأمريكية ، و كان عمله جزءاً من مشروع متكامل للإضاءة الكهربائية شمل توليد الطاقة ونقلها وتوزيعها .

وكان أول منزل في العالم يضاء بالكهرباء في لندن - منزل جوزيف سوان (1880) ، ثم اشتغل كبار الفيزيائيين والمنتجين في العمل على تحسين أنواع هذه المصابيح وإطالة أعمارها (استعمال سلك التنجستين ، واختيار الضوء الأبيض المائل للصفرة ، وملء المصباح بغاز الأرغون ثم الهالوجين واليود وغير ذلك) .

كانت الخطوة التالية في الإضاءة الصناعية بالكهرباء هي ابتكار أنابيب التفريغ الغازية (Vapour Tubes) ، وهي أنابيب الإضاءة التي تعمل بمبدأ القوس الكهربائية داخل أنبوب مفرغ من الهواء

يحوي كمية قليلة من بخار عنصر ما مثل النيون مثلاً (الضوء الأحمر) أو بخار الزئبق (الضوء الأزرق والأبيض المائل للزرقة) ، وذلك في الفترة من 1930 إلى 1940. وقد شاع استعمال هذه الأنابيب في الإضاءة المنزلية وفي المصانع ولتزيين الواجهات منذ الثلاثينات من القرن العشرين حتى غدت بعد تحسينها من أفضل الوسائل العملية في الإضاءة الداخلية ، وهي المعروفة اليوم باسم مصباح الفلورسنت Fluorescent .

ولقد طرأت تحسينات كثيرة في غضون النصف الثاني من القرن العشرين على أنابيب التفريغ الغازية ، فابتكر مصباح تفريغ بخار الزئبق العالي الضغط ، ومصباح تفريغ الصوديوم العالي الضغط أيضاً الذي استعمل في إضاءة الشوارع وواجهات المباني والآثار ، كما استعمل في الأجهزة التي تحتاج إلى إضاءة شديدة . وكان من آخر ما أنجز في هذا الصدد مصباح التفريغ الذي يستخدم غاز الزنون الخامل Xenon ذو الطاقة العالية ، والذي يشبه ضوء الشمس تقريباً . ثم اخترعت المصابيح الموفرة (1978) ، ثم حدث التطور الهائل في المصابيح الصغيرة المعروفة باسم Light Emitted Diode , LED وصارت الأصغر في القدرة والأكبر في كمية الإضاءة المكافئة ، و قد تصبح وسيلة الإضاءة الأساسية في المستقبل .

2 – علم الإضاءة :-

الإضاءة Lighting هي إسقاط ضوء على سطوح الأشياء بحيث نتمكن من رؤيتها بالعين المجردة . وتكمن أهمية الإضاءة في أن البشر يلتمسون المعرفة ويحصلون على القسم الأعظم من معلوماتهم عن العالم المحيط بهم بطريق الرؤية أو الإبصار ، كما أن الإضاءة تسهم في تحقيق الاستقرار النفسي للإنسان في عمله وفي أوقات راحته إلى جانب إسهامها في المحافظة على صحة الإنسان وسلامته . فعندما تكون الإضاءة حسنة والرؤية جيدة يزداد مردود العمل ويتحسن نوعه وتتناقص إصابات العمل وأخطاؤه ، وتنخفض حوادث الطرق الخ .

على الجانب الآخر فإن المجهود الذي يبذل بسبب ضعف الإضاءة يسبب الكثير من التعب بالإضافة إلى كثير من الأخطاء . وقد يصاب الإنسان بالصداع نتيجة تفاوت شدة الضوء وسوء توزيعه حيث يتسبب تتابع اتساع حدقة العين وضيقها في الكثير من الإجهاد للأعصاب .

والتصميم النموذجي للإضاءة ليس عملا هندسيا بحتا ، فالمصمم الناجح يحتاج إلى أن يأخذ في الاعتبار المتطلبات الصحية المتعلقة بخصائص الرؤية عند الإنسان مثل حساسية العين للضوء وقدرتها على تمييز الألوان والتباين ، وحدة البصر ، وسرعة الإدراك البصري ، وثبات الرؤية الواضحة .

وفي البداية هناك سؤال مهم ، وهو : على من تقع مسؤولية أعمال الإضاءة ؟ هل هي مسؤولية مهندس الديكور ، أم المعماري ، أم مهندس الكهرباء ؟ والواقع أنها مسؤولية جماعية لكن المسئول الأساسي الذي يفترض أن يمتلك كافة أدوات التصميم هو مهندس الكهرباء .

3 – متطلبات لازمة لدراسة علم الإضاءة :-

قبل البدء في دراسة أعمال تصميمات الإنارة نشير إلى أن مهندس الكهرباء يحتاج إلى بعض العلوم المساعدة ليمكنه عمل تصميم مميز . فهو يحتاج إلى :

- دراسة طبيعة الضوء (مكوناته ، أطيافه ، حساسية العين له ، خواصه (مثل الانعكاس Reflection ، الانتشار Diffusion ، إلخ) .
- دراسة الكميات الأساسية المستخدمة في حسابات الإضاءة (الفيض Flux ، شدة الاستضاءة E , Illumination ، الزغللة Glare ، إلخ) .
- دراسة الخواص الهامة لوحدات الإضاءة (أمانة إظهار الألوان Color Rendering ، درجة حرارة اللون ، الكفاءة الضوئية ، درجة النصوع Brightness ، إلخ) .
- دراسة حسابات الاستضاءة .
- دراسة أنواع المصابيح (التركيب ، الخواص ، الاستخدام ، ظروف التشغيل إلخ)
- إضافة إلى متطلبات خاصة تظهر عند دراسة بعض التطبيقات على سبيل المثال عند تصميم إضاءة الشوارع فإنك تحتاج إلى دراسة المتطلبات العامة المرورية للتقاطعات و المنحنيات إلخ .

بعد التعرف على الحد الأدنى من هذه الدراسات فإن المهندس يصبح مؤهلا لدراسة خطوات التصميم التفصيلية (للإضاءة الداخلية أو للخارجية) وطرقه واعتباراته المختلفة ..

4 – تركيب العين :-

عندما ننظر إلى جسم ما فإن ضوءً منعكسا من الجسم نفسه يدخل أعيننا وتتكون له صورة على الشبكية . والشبكية طبقة رقيقة من الأنسجة تغطي مؤخرة وجوانب تجويف العين من الداخل ، وتحتوي على ملايين الخلايا الحساسة للضوء . وتمتص هذه الخلايا معظم الضوء الذي يسقط على الشبكية ، وتحوله إلى إشارات كهربائية ثم تنتقل هذه الإشارات (الضوئية) إلى الدماغ بوساطة أعصاب تنقلها إليه .

وفي العين نوعان من خلايا الإبصار : الأولى هي المخروطية وهي المسئولة عن رؤية التفاصيل والألوان ويمكنها أن تتوائم مع الضوء خلال دقيقتين . أما الثانية فهي الخلايا الاسطوانية وهي المسئولة عن رؤية الأشياء السريعة و الجانبية و المظلمة وتحتاج إلى دقائق عديدة لتتوائم مع الضوء .

والعين لها حساسية مختلفة لكل لون من الألوان ، فأقل حساسية هي الخاصة باللون الأزرق ، وأعلى حساسية تكون لثلاثة ألوان : هي الأخضر والأحمر والأصفر ، ولهذا فاستخدام هذه الألوان الثلاثة تحديدا في إشارات المرور ليس عشوائيا . كما أن العين سريعة الإحساس باللون الأصفر ، ولذا فهو يستخدم دائما للتحذير في إشارات المرور واشارات السيارة ، فهو الأفضل والأسرع لتوصيل رسالة تحذير للسائقين .

وأكثر الألوان راحة للعين هو اللون الأخضر ، وقد اختاره الله ليصف به ثياب أهل الجنة في القرآن الكريم :

((وإذا رأيت ثم رأيت نعيماً وملكاً كبيراً (20) عاليهم ثياب سندس خضر وإستبرق وحلوا أساور من فضة وسقاهم ربهم شراباً طهوراً (21) إن هذا كان لكم جزاء وكان سعيكم مشكوراً (22) " سورة الإنسان "))

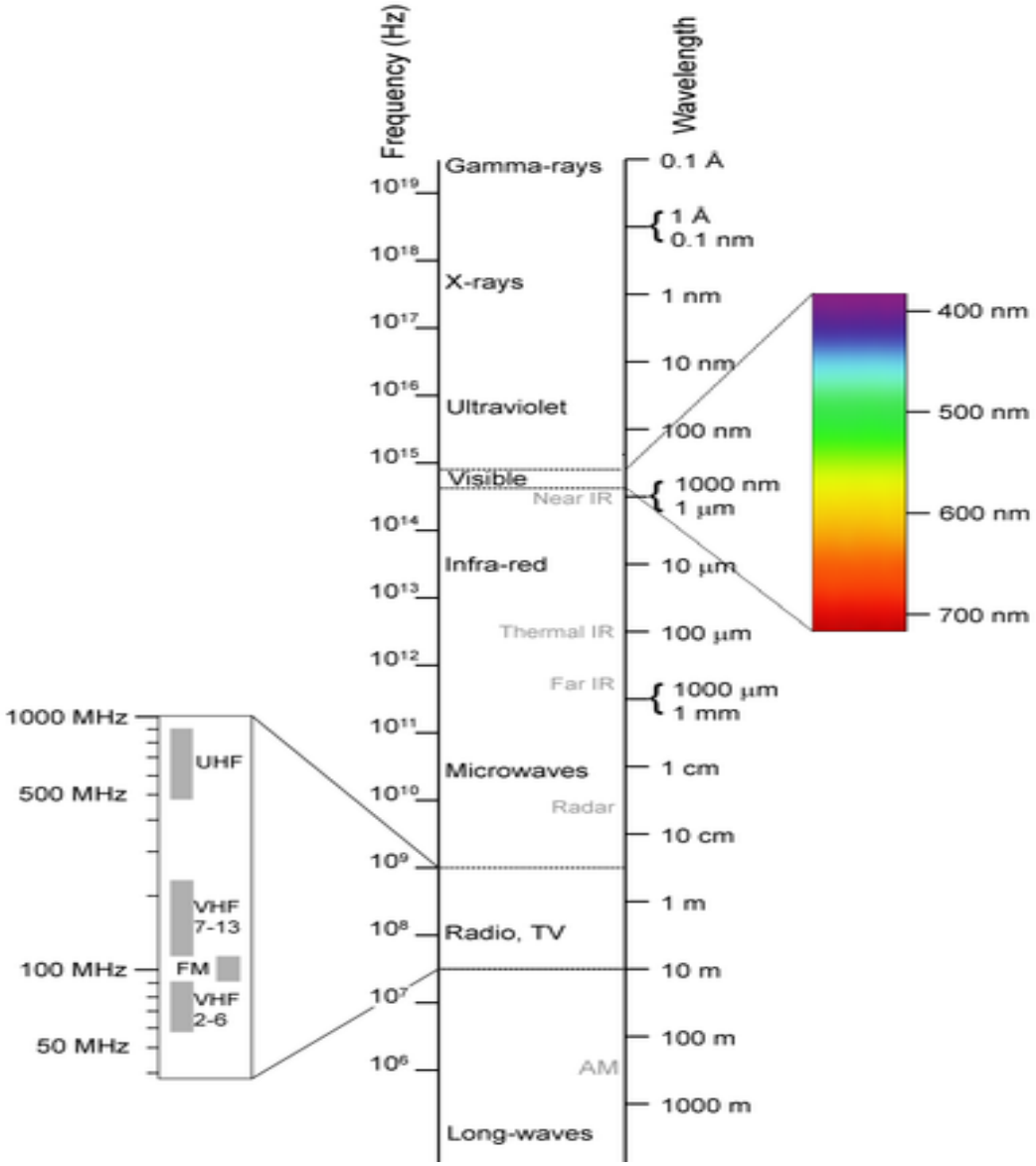
ومن الألوان المريحة كذلك اللون الأخضر المصفر . وعموما فالدراسة التفصيلية لخواص العين وتأثرها بالألوان لا غنى عنه لمصممي الإضاءة المحترفين .

5 – الإضاءة الطبيعية :-

من المعلوم أن الشمس هي مصدر كل الطاقات تقريبا على ظهر الأرض ، والضوء الطبيعي الواصل إلينا من الشمس عبارة عن طاقة إشعاعية على شكل موجات كهرومغناطيسية تنتقل إلينا من الشمس ، والطيف الكهرومغناطيسي أو الأشعة الكهرومغناطيسية أو الأمواج الكهرومغناطيسية (كلها أسماء مترادفة) تشتمل على مجموعة متنوعة من الأشعة (الموجات) مثل الضوء المرئي ، أو المايكروويف وأشعة اكس وأشعة كاما وموجات التلفزيون والراديو ، وكلها عبارة عن إشعاعات كهرومغناطيسية Electromagnetic Radiation تتفق في الخصائص وتختلف في البعض الآخر ، فجميعها مثلا ينتشر بسرعة الضوء في الفراغ :

التردد × الطول الموجي = سرعة الضوء $= 3x10^8\ m/s$

والضوء المرئي ينتشر في الفراغ كما ذكرنا بسرعة ثابتة قدرها $3\ x\ 10^8 m/s$، وبتردد محدد بين $7.5 x 10^{14}$ و $4x10^{14}$ هرتز أي أن أطوال تلك الموجات تتراوح بين 750 نانو متر (الضوء الأحمر) و 400 نانومتر (الضوء البنفسجي) في مجال الطيف المرئي الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum الذي يتألف من الألوان : البنفسجي فالأزرق فالنيلي فالأخضر فالأصفر فالبرتقالي فالأحمر كما هو واضح في الشكل التالي :-



Electromagnetic Spectrum

ونحن نرى هذا الطيف على شكل ألوان متميزة كالتي تظهر في السماء بعد سقوط المطر وتعرف بقوس قزح . ومنطقة الضوء المرئي تقع في مجال الأشعة التي تستجيب لها شبكية العين و لذا نتمكن من رؤية الأشياء من حولنا ، بينما لا تستجيب العين لأى أشعة أخرى (ولذا تسمي باقي الموجات بالأشعة غير مرئية) مثل الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء .

أنواع الإضاءة الطبيعية :-

قد تكون الاضاءة اما مباشرة وذلك حين يكون ضوء الشمس موجه مباشرة بدون غيوم .وقد تكون اضاءة الشمس غير مباشرة وذلك اذا سقط الضوء من خلال الغيوم.

ولكل نوع من النوعين السابقين ميزات وعيوب . فمن سمات الاضاءة المباشرة :-

- ❖ الضلال قوية
- ❖ الانارة غير متجانسة فهناك فرق بين مستويات الانارة بين الظل والضوء
- ❖ وهج الشمس glare عالي
- ❖ تجسيم جيد للأجسام ثلاثية الأبعاد 3D modeling

أما في الحالة الثانية (ضوء منتشر) يلاحظ أن :-

- ❖ الإنارة متجانسة
- ❖ لا يوجد ظلال
- ❖ لا يوجد وهج للشمس (لا نحتاج الى نظارات شمسية أو حاجب للوهج)

لا يوجد تجسيم للأجسام ثلاثية الأبعاد.

6 – الاضاءة الصناعية :-

وحيث ان المجال الكهربائي يمكن ان ينشى نفس هذه الموجات الكهرومغناطيسية التي نتحدث عنها , فبالتالي يمكننا ان ننشأ ضوءً صناعيا يشبه الضوء الطبيعي . فالمجال الكهربائي الذي ينشأ من تذبذب الجسيمات المشحونة داخل ذرات بعض العناصر نتيجة مرور تيار كهربي فيها يؤدي إلى البعاث طيف كهرومغناطيسي . ويعتمد الطول الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية المنبعثة على درجة إثارة الشحنة ، ونوعية المادة المار فيها التيار ، ومن ثم سيتغير لون المصباح الكهربي حسب نوع المادة المستخدمة في تصنيعه كما سنرى لاحقا ، و نشير هنا إلى مبدأ هام جدا وهو أنه عند قياس كفاءة وجودة أي مصباح صناعي ستتم مقارنة الطيف الصادر منه بالطيف المرئي للشمس .

وفي حالة الإضاءة الصناعية فلدينا نفس النوعين من الإضاءة : المباشرة والمنتشرة.

الإضاءة الطبيعية المنتشرة حيث تكاد تكون الظلال معدومة .

اما عن تطبيقات استخدام الضوء المباشر الموجه واستخدام الضوء المنتشر فلكل نوع يستخدم حسب الحاجة وهذه تطبيقات لكلا نوعين , فمن اهم تطبيقات الضوء المباشر الموجه استخدامه في المتاحف والمعارض

ومحلات المجوهرات والادوات الثمينة والممرات في الفنادق والمطاعم وذلك عندما يكون تجسيم وإظهار الشكل الثلاثي مهم ومطلوب .

اما تطبيقات الضوء المنتشر فإنها تستخدم في المكاتب وغرف الاجتماعات وغرف المرضى والممرات والمستشفيات والصفوف بالمدارس وصالونات الحلاقة وغرف المكياج وذلك عندما يكون هنالك حاجة لإظهار وجوه الناس .

7 – كميات ووحدات الإضاءة الأساسية :-

وقبل الدخول في حسابات تفصيلية لتصميمات الإضاءة يجب على الطالب أن يكون ملما ببعض الكميات المستخدمة كثيرا في حسابات الإضاءة ، ومنها :

أ- **الفيض الضوئي Luminous Flux :-**

ويرمز له بالرمز φ أو بالرمز F ، ويعبر عن حساسية العين للقدرة الضوئية الناتجة من الإشعاع ، ويعرف بأنه الكمية الكلية للضوء المنبعث في الثانية من مصدر ضوئي ، ويقاس الفيض الضوئي بوحدة تسمى ليومن (Lumen) ويرمز لها بالرمز (Lm) .

وتختلف كمية الفيض المنبعث من المصابيح حسب نوعها وقدرتها ، فالمصباح التنجستن بقدرة 100 واط ينتج حوالي 1200 ليومن في حين أن مصباح الفلورسنت بقدرة 40 واط تنتج حوالي 2400 ليومن ، أما مصباح الزئبق قدرة 100 واط فينتج حوالي 3600 ليومن .

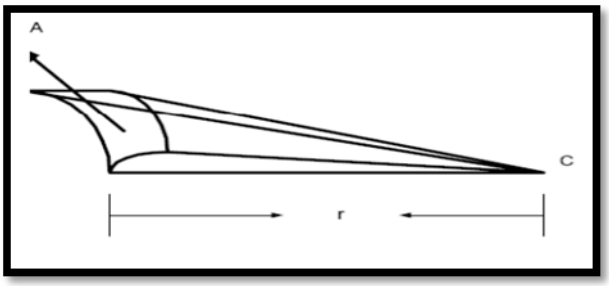
ب- **شدة الإضاءة Luminous Intensity :-**

ويرمز لها بالرمز I , و يعبر عن قدرة المصدر الضوئي على انبعاث الفيض الضوئي φ في اتجاه محدد وتقاس بوحدة تسمى الشمعة أو Candela ، ويرمز لها بـ (cd) .

أو تقاس بوحدة الـ (candle power) ويرمز لها بالرمز (Cp) . وتمثل بالمعادلة التالية :-

$$\mathbf{1-} \qquad \mathbf{I = \frac{\emptyset}{\omega}\ Lm/Sr}$$

حيث $\boldsymbol{\omega}$ هي الزاوية المجسمة أو الزاوية القرائية (Solid Angle) المقابلة لمساحة السطح المضاء A وتقاس بوحدة الـ Steradian , Sr ، وتظهر في الشكل التالي :-



وتعرف بأنها الزاوية عند المركز المقابلة لجزء من سطح كرة (هذا الجزء له مساحة تساوي مربع نصف القطر) ، أي أن $\boldsymbol{\omega = 1}$ عندما تكون $\mathbf{A = r^2}$.

ت- شدة الاستضاءة illumination :-

ويرمز لها بالرمز E ، وتعرف بأنها كمية الفيض الضوئي (Lm) الساقطة عموديا على وحدة المساحة A من هذا السطح ، وتقاس ب lux وتمثل بالمعادلة التالية :

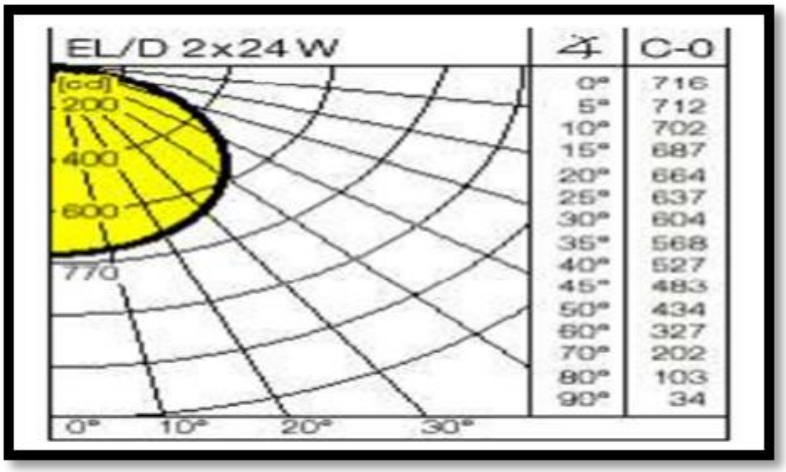
$$2- \qquad E = \frac{\emptyset}{A}\ lux$$

ملحوظة هامة :

يمكن أن يطلق على الـ I وكذلك على E مصطلح شدة الإضاءة ، لكن لابد من التفريق بينهما بالوحدات فإذا قيل مثلا أن مصباح له شدة إضاءة 20 cd فبالتأكيد نقصد الـ I , Luminous Intensity ، اما إذا قيل أن شدة الإضاءة مثلا تساوي 20 Lux فبالطبع نقصد الـ E , Illumination ، لذا وجب الانتباه لأن العديد من المصادر ربما تستخدم نفس الترجمة العربية للمتغيرين ، فكلاهما يعتمد على الفيض لكنه منسوبا للزاوية الفراغية في حالة حساب الـ I ، ومنسوبا لمساحة السطح في حالة حساب الـ E . وللتمييز فنحن نستخدم هنا مصطلح شدة الاستضاءة للـ E ، و شدة الإضاءة للـ I .

ث- المنحنيات القطبية Polar Curves :-

وتسمى أيضا بمنحنيات توزيع شدة الإضاءة Luminous Intensity فمن المعلوم أن الضوء الصادر من مصدر ضوئي لا يتوزع – في الغالب – بدرجة متساوية في جميع الاتجاهات ، وإنما تتغير شدته من زاوية لأخرى ، فقد يكون قويا تحت المصباح مباشرة ، وأقل قوة في اتجاه آخر ، بمعنى أن شدة الإضاءة تختلف باختلاف الزاوية الفراغية . والمنحني الذي يعطي شكل تغير شدة الإضاءة من زاوية لأخرى بالنسبة لمصباح معين يسمى Polar Curve ، والشكل التالي يمثل نموذجا لهذا المنحني :-



ومن المنحني في هذا الشكل السابق نجد أن شدة إضاءة هذا المصباح مثلا عند الزاوية 20° مع الرأسي لأسفل تساوي 664 كانديل ، بينما شدة الإضاءة مباشرة تحت المصباح تبلغ 716 كانديل . ويمكن التحكم في شكل المنحنيات القطبية للمصابيح بإضافة عواكس Reflectors لها أشكال متنوعة .

وتحسب شدة الإضاءة لمصدر ما على أنها القيمة المتوسطة لقيم شدة الإضاءة (الكانديل) في جميع الاتجاهات ، وتعرف أيضا بأنها متوسط قدرة شمعة كروية (Mean Spherical Candle Power) ويرمز لها بالرمز MSCP .

ج- النصوع Brightness :-

وهو نوعان :

- نصوع المصدر الضوئي ، ويرمز له بالرمز L ويقاس باللامبرت .
- نصوع الجسم اللامع الذي سقط عليه الضوء ، ويرمز له بالرمز B ويقاس باللوكس Lux .

ويعرف نصوع المصدر الضوئي بأنه النسبة بين شدة الإضاءة والمساحة الظاهرية للمصدر الضوئي ، ويتم التعبير عن النصوع بالمعادلة التالية:-

$$3- \qquad L = \frac{I}{S} \quad Cp/cm^2$$

حيث S هي المساحة الظاهرية لمصدر الضوء ، ويقاس النصوع بوحدة تسمي Lambert . واللامبرت الواحد يعادل شمعة واحدة في السنتمتر المربع . والجدول التالي يبرز مقارنة بين

المصدر	النصوع (Lambert)
الشمس	10^9
مصباح بخر الزئبق	10^8
السماء	10^5
فلورسنت	10^3
اضاءة منزل	10^1

نصوع بعض المصادر الضوئية .

أما نصوع الجسم اللامع (ويرمز إليه بالرمز B) فيقاس باللوكس ويحسب من المعادلة :

نصوع الجسم = شدة الاستضاءة عليه x انعكاسية السطح

$$B = E(Lux) \ x \ Relfectance$$

وعامل الانعكاس **Reflectance** في المعادلة السابقة هو قابلية سطح ما لعكس الضوء الساقط عليه ليراه الناظر ، فالسطح الأبيض يعكس الضوء بنسبة 100 % ، في حين لا يزيد عامل الانعكاس للسطح الأسود على 2 % ، ويبلغ عامل الانعكاس للسطح الرمادي نحو 40 % من الضوء الساقط عليه . فإذا كانت الاستضاءة 10 لوكس وكان عامل انعكاس السطح للضوء 50 % فإن نصوع هذا السطح تعادل 5 لوكس .

ح- الزغللة (البهر) Glare :-

تحدث الزغللة عند النظر إلى مصدر ضوئي بشرط أن تكون قيمة النصوع لهذا المصدر أعلى من 1.5 لمبرت ، واضح من قيم الجدول السابق أن نصوع الشمس له قيمة هائلة ولذا لا يستطيع أحد النظر طويلا إليها وإلا أصابه البهر أو الزغللة .

وأحيانا يلجأ البعض للفت الانتباه إلى محلاتهم مثلا بوضع مصابيح شديدة النصوع و بزوايا خاطئة تجعل من ينظر للمحل يحول بصره مباشرة بعيدا عنه لتفادي الزغللة التي تصدر من اللمبة ،

وبالتالي فالتصميم الخاطئ لمنظومة الإضاءة يمكن أن تتسبب في عكس المطلوب منها ، فبدلا من جذب نظر العميل فإنها تنفره وتجعله يحول نظره عن المكان .

8 – الخواص الضوئية لوحدات الإنارة :-

الإضاءة الطبيعية هي التي تأتي من مصادر ضوء طبيعية ، وهي الإضاءة الأكثر ملائمة فيسيولوجيا للإنسان ، غير أنها تتبدل وتختلف باختلاف الوقت وفصول السنة ، والموقع والبعد عن خط الاستواء ، وحالة الطقس ، وغير ذلك ، وتتراوح درجة الإضاءة الطبيعية الواقعة على السطوح الأفقية في الأماكن المكشوفة عادة بين (0.0005) لوكس في الليلة المظلمة (غير القمرية) ، و (0.3) لوكس في الليلة القمراء التامة البدر ، و (10000) لوكس تقريباً تحت أشعة الشمس المباشرة ، و عند تقييم أو تصنيف إحدى وحدات الإنارة الصناعية فإننا نقيمها مقارنة بالمصدر الطبيعي من خلال عدة سمات ، منها :-

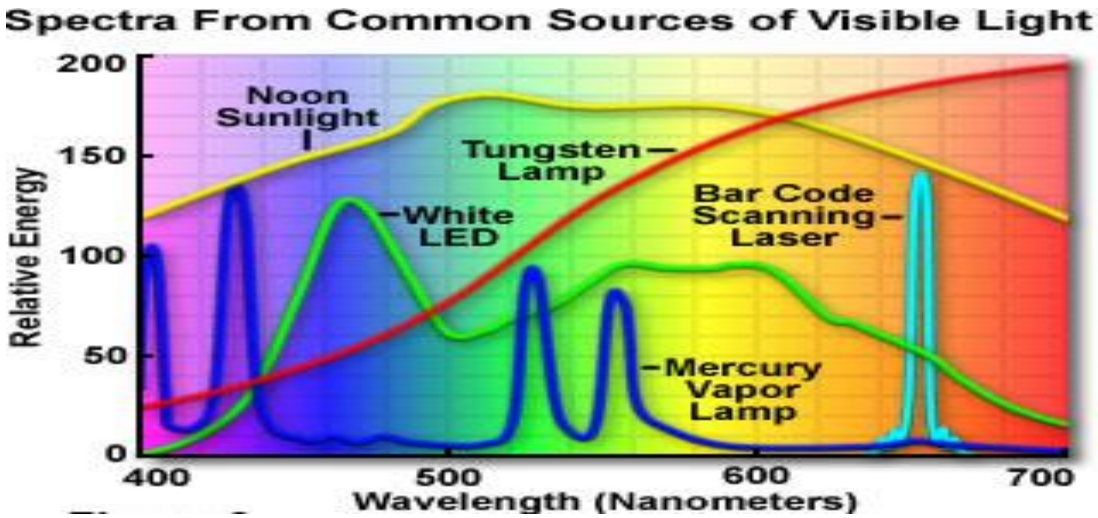
أ- أمانة إظهار (نقل) اللون :-

من المعلوم أن ضوء أي مصباح هو في الحقيقة مكونا من مجموعة من الألوان متراكبة معا كما ذكرنا لتكون لون نور المصباح ، فإذا كان الضوء الساقط من المصباح يحتوى على لون الجسم فعندها فقط يظهر الجسم بلونه الطبيعي ، وفيما عدا ذلك فإن إضاءة المصباح ستغير من لون الجسم الحقيقي ، ولذا فلون الجسم الحقيقي لن يظهر بدقة سوى في ضوء النهار لأنه الوحيد الذي يحتوى على كافة الألوان بالنسب النموذجية ، أما الأضواء الصناعية فستتوقف كفاءة إظهارها للألوان الحقيقية على مدى قربها أو بعدها من مستوى ضوء النهار .

كما أن درجة امتصاص الأجسام للألوان يؤثر بدرجة كبيرة على ظهوره بلونه الطبيعي ، فعند سقوط ضوء ما على جسم أبيض مثلا فإنه يعكس الألوان الأولية كلها بنفس نسبتها ، أما الأجسام ذات الألوان الأخرى فإنها ستمتص لونا معينا أو أكثر من مجموعة الألوان التي يتركب منها الضوء الساقط ، وبالتالي فسيتغير لون الجسم المضاء ، ومن هنا ، فإننا يمكن ان نقول ان اي مصباح كهربي سيكون أقرب ما يمكن من ضوء النهار إذا انبعث منه طيف ضوئي يحتوى على الألوان الثلاثة الأساسية (الأحمر والأخضر والأزرق) بنفس نسبة وجودها في ضوء النهار ، وكلما اختلت هذه النسبة كلما بعد المصباح عن نقل اللون بأمانة .

وهذه العلاقات يعبر عنها بمصطلح هام هو : " أمانة نقل الألوان " CRI ، أو ما يسمى بالـ Color Index Rendering ، وهو عبارة عن رقم من صفر إلى 100 ، فكلما اقترب CRI لمصباح معين من الرقم 100 كلما دل ذلك على ارتفاع كفاءة المصباح في إظهار اللون على حقيقته .

ومعظم الشركات المنتجة للمصابيح تصدر ضمن كتالوكاتها صورة للتحليل الطيفي لضوء مصابيحها ، كما في الشكل التالي الذي يظهر التحليل الطيفي لأكثر من مصباح مقارنة بضوء الظهيرة Noon Sunlight . ومن هذه المقارنة تستطيع أن نحدد جودة إضاءة المصابيح المختلفة و أمانتها في إظهار الألوان .



ب- مظهر اللون :-

ويصنف ضوء المصباح أيضا حسب مظهر لونه إلى ثلاث فئات :

- بارد (أزرق) .
- متوسط (أخضر) .
- دافئ (أحمر) .

وهذه التصنيفات يجب أن يراعيها المصمم خصوصا في الإضاءات الديكورية ، حيث يجب عليه اختيار الضوء المناسب في المكان المناسب ، على سبيل المثال فمظهر المصباح المناسب لغرف النوم هو اللون الدافئ مثلا ، بينما تناسب الألوان الباردة إضاءة المكاتب ، وهكذا .

ت- درجة حرارة اللون:-

من المعلوم أن الجسم الأسود يتغير لونه بارتفاع درجة حرارته ، حيث يبدأ في التوهج باللون الأحمر الداكن ثم مع ارتفاع درجة حرارته يتحول إلى الأحمر فالبرتقالي ثم الأصفر فالأبيض المزرق ، ويمكن بهذه الطريقة وصف أي لون صادر من مصباح بدرجة الحرارة التي سخن إليها ذلك الجسم الأسود . ولذا تقوم الشركات بتعريف لون المصباح بدرجة حرارة جسم أسود يسخن إلى درجة حرارة معينة فيشع نفس هذا اللون , فالضوء الصادر من مصباح فلورسنت يشبه الضوء الناتج من تسخين جسم أسود إلى 3500 كلفن (درجة حرارة كلفن = الدرجة المئوية + 273) . لاحظ أن درجة حرارة لون Day Light Lamp تساوي 6500 كلفن وهي درجة حرارة سطح الشمس . وأبرز درجات حرارة الألوان تظهر في الجدول التالي :-

المصدر الضوئى	درجة الحرارة
لهب عود كبريت	1700 K
لهب شمعة	1850 K
لمبة تنجستن	2800–3300 K
لمبات الإضاءة الغامرة	3400 K
لهب لمبات اللحام	4100 K
لمبات ضوء النهار	5500–6000 K
شاشة CRT	9300 K

ولسنا بحاجة للتأكيد على ان هذه الارقام لا تعنى مطلقا درجة حرارة المصباح عند لمسه باليد , بل هي تعبير رمزي عن اللون فقط , ولاوجود لهذه الدرجات فيزيائيا على سطح المصباح .

ث- الكفاءة الضوئية :-

ويستخدم هذا المصطلح للتعبير عن حجم الفيض الصادر من المصدر لكل واط من قدرة المصدر . ولذا فعند شرائك مصباحا من السوق يجب عليك قبل أن تنظر للسعر أن تنظر إلى الرقم المعبر عن هذا السؤال : كم ليومن لكل واط ؟ فربما يكون لمصباحين نفس القدرة لكنهما يختلفان في كمية الفيض الصادر منهما ، وعندها ربما تختار الأعلى سعرا لأنه الأعلى في الكفاءة الضوئية . (**ملحوظة :** أعلى كفاءة ضوئية نظرية لأي مصباح - بفرض انعدام المفقودات – هي 680 ليومن لكل واط) . و من ثم فكلما اقتربت الكفاءة الضوئية من هذا الرقم كلما كان المصباح أقرب للمثالية .

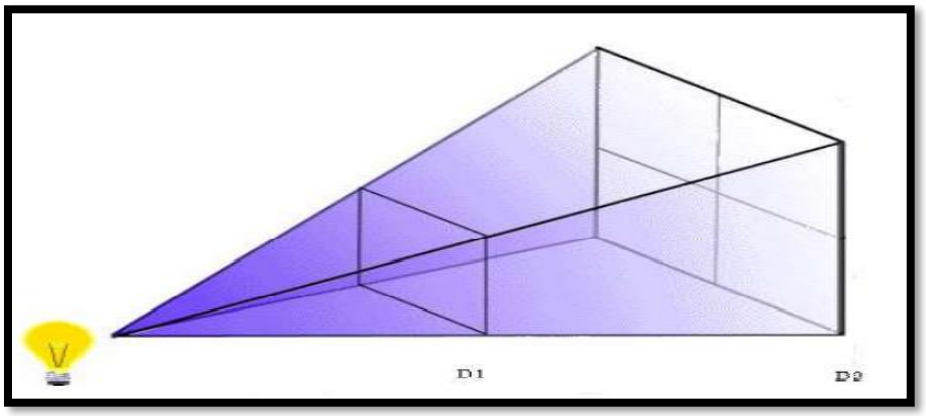
9 – حساب شدة الإضاءة illumination :-

ونشير مرة أخرى إلى أن البعض قد يسميها حسابات " شدة الاستضاءة " أو حسابات " شدة الإضاءة " و إن كنا سنلتزم بمصطلح شدة الاستضاءة عند الحديث عن E لنميزها عن شدة الإضاءة التي نقصد بها الـ I . المهم أننا نقصد هنا الكمية التي يرمز لها بالرمز E ، وتعرف بأنها كمية الفيض الضوئي (Lm) الساقطة عموديا على وحدة المساحة A من هذا السطح ، وتمثل بالمعادلة التالية :

$$E = \frac{\emptyset}{A} \quad lux \qquad 4-$$

و وحدة قياس الاستضاءة **Lux** وتساوى Lm/m^2 في المقاييس المترية ، و هو وحدة قياس تكافئ الضوء المباشر الساقط على سطح يبعد متراً واحداً عن مصدر ضوئي نقطي يعادل شمعة واحدة ، و هو يساوي أيضاً ليومناً واحداً في المتر المربع . وتقاس شدة الاستضاءة **E** في الولايات المتحدة الأمريكية باللومن/ قدم^2 ، أو شمعة / قدم^2 ، و هي تساوى كمية الضوء الصادرة عن شمعة واحدة وساقط على سطح مساحته قدم مربعة واحدة على مسافة قدم واحدة (30 سم) .

أي إن اللومن / ^{2}قدم " يعادل 10.76 لوكس (للتقريب نعتبرها تساوى 10 لكس) . ويقدر ضياء ضوء النهار المباشر من سماء تغطيها غيوم بيضاء ناصعة بنحو 10.000 لوكس أي 1000 لومن/ ^{2}قدم تقريباً .



أ- قانون التربيع العكسي :-

ويمكن كتابة معادلة شدة الاستضاءة E بصورة أخرى كالتالي :-

$$E = \frac{\emptyset}{A} \quad and \quad A = \omega R^2 \qquad 5-$$

$$I = \frac{\emptyset}{\omega} \; cd \qquad 6-$$

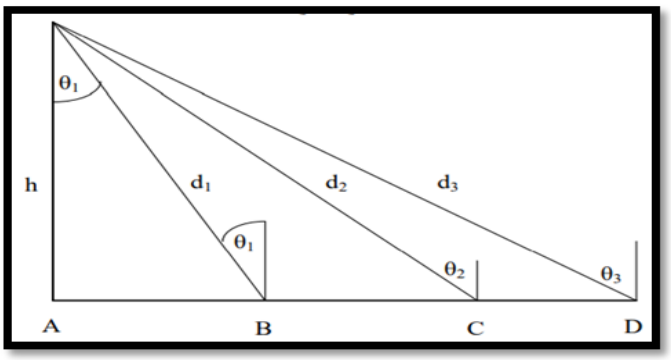
$$E = \frac{\emptyset}{\omega R^2} = \frac{I}{R^2} \; lux \qquad 7-$$

ويسمى القانون الأخير بقانون التربيع العكسي ، حيث يتضح منه أن شدة الاستضاءة على سطع عمودي على اتجاه الضوء تتناسب عكسيا مع مربع المسافة (R^2) بين المنبع والسطح ، وبالطبع تتناسب طرديا مع إضاءة المصدر (I) . والشكل التالي يبرز هذه الحقيقة كما هو ظاهر من مستوى شدة الاستضاءة على المستويات المختلفة . ومن الواضح من الشكل أنه كلما ابتعدنا عن المصدر ضعفت شدة الاستضاءة .

$$E_1 = \frac{I}{D_1^2}$$

$$E_2 = \frac{I}{D_2^2}$$

ويلاحظ ان قانون التربيع العكسي قد استنتج على اساس ان منبع الضوء مركز عند نقطة , ولكن من الناحية العملية نجد ان الضوء يسقط بزوايا ميل مختلفة على الاسطح المراد اضاءتها , كما في الشكل التالي :-



وعندها تكون المعادلة العامة لحساب شدة الاستضاءة E عند نقطة B مثلا هي :

$$E_B = \frac{I \cos\theta_1}{d_1^2} \quad 8-$$

حيث :-

d_1 هي المسافة المباشرة من المصدر الى النقطة B .

E شدة الاستضاءة عند نقطة B .

H هو ارتفاع المصدر

لاحظ مرة اخرى ان شدة الاستضاءة تتناسب عكسيا مع مربع المسافة .

ويمكن اعادة صياغة المعادلة السابقة لتصبح على صورة :-

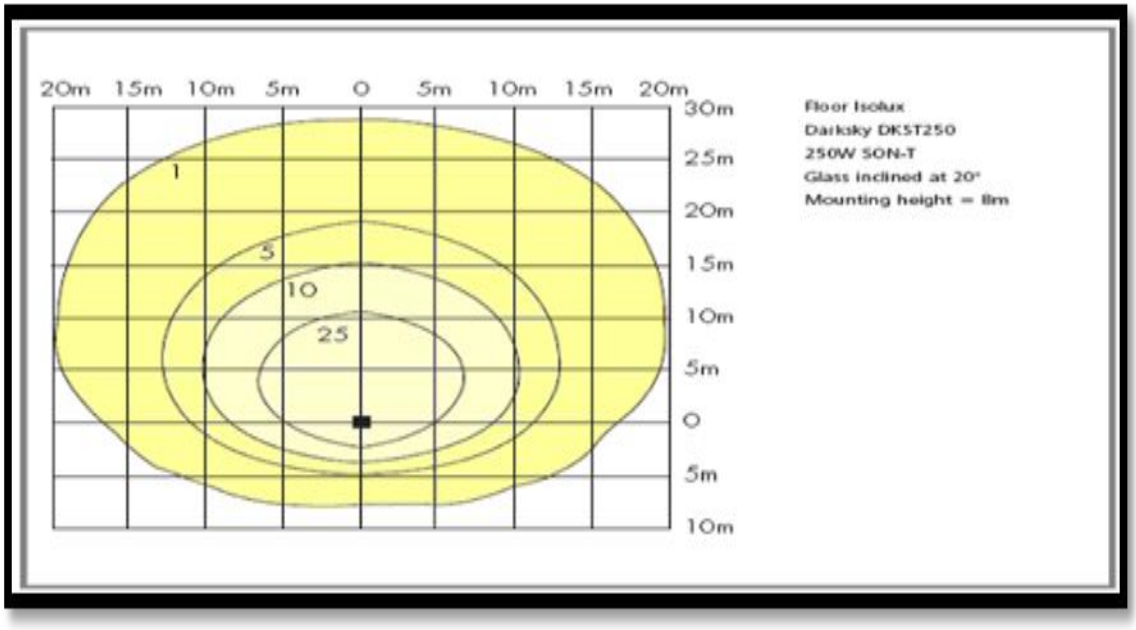
$$E_B = \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta_1 \quad 9-$$

وبالمثل يمكن حساب شدة الاستضاءة E عند النقطة C او D كما يلي :-

$$E_C = \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta_2 \quad 10-$$

$$E_D = \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta_3 \quad 11-$$

مع ملاحظة أن جميع هذه النقاط (A , B , C , D) تقع في مستوى أفقي واحد ، ويسمى هذا القانون بقانون Lambert Cosine Law . وتسمى هذه الطريقة للحسابات بطريقة Point by Point ، أو الحساب نقطة بنقطة, وغالبا توضع هذه القيم على منحنيات تسمى Iso - Lux Diagram كما تظهر في الشكل التالي الذي يبين توزيع شدة الاستضاءة على أرضية غرفة نتيجة مصباح واحد قدرته 250 واط ، موضوع على ارتفاع قدره 8 متر .



وبالطبع يصعب حساب كافة النقاط يدويا ، ولاسيما إذا وجد أكثر من مصباح بالغرفة ، حيث ستتوقف قيمة شدة الاستضاءة عند نقطة ما على بعد النقطة عن مصادر الإضاءة ، وهذا يستلزم دراسة توزيع الضوء من كل منبع على حدة عن طريق المنحنيات القطبية ، وهذه عملية معقدة جدا ، ولذا يستخدم الحاسوب للقيام بهذه العملية بسهولة .

ولكن يمكن استخدام هذه الطريقة إذا كان عدد المصابيح المؤثرة محدودا كما في حسابات إضاءة الشوارع.

لاحظ أن البرامج الخاصة بالحسابات تعطى نتائج صحيحة فقط بشرط استخدام المصابيح من إنتاج الشركة المصممة للبرنامج .

والواقع أن معظم المصممين يعتمدون على طريقة أسهل في التصميم وهي طريقة الليومن التي سنعرضها لاحقا .

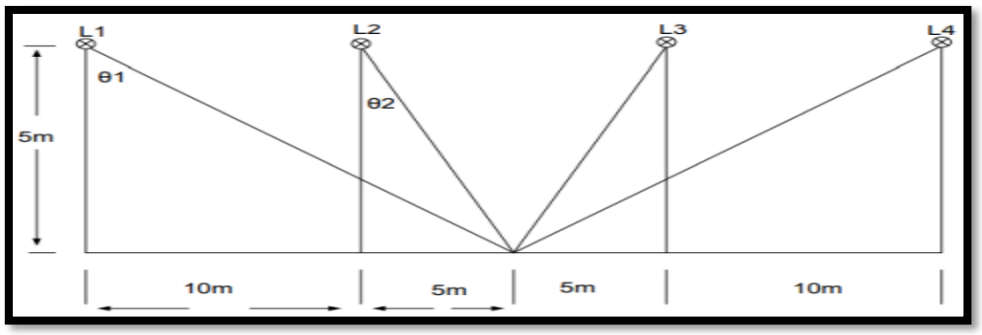
لاحظ ان شدة الاستضاءة الكلية عند اي نقطة E_p تعطي من مجموع الاستضاءات من كافة المصادر الضوئية N القريبة من هذه النقطة , بمعنى أن :-

$$\mathbf{12-} \qquad \mathbf{E_P = \sum_{N} \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta}$$

لاحظ اننا فرضنا **I** ثابته في جميع الاتجاهات , وهذا الفرض قد يتغير مع تغير نوعية اللمبة ومنحنى الـ Polar Curve الخاص بها .

مثال //

يراد إضاءة ممر بأربعة مصابيح كما في الشكل , يبعد كل واحد عن الاخر m10 , وموضوعة على ارتفاع m5 من سطح الأرض, فإذا كانت شدة الإضاءة للمصباح cd 200 في جميع الاتجاهات . أوجد الاستضاءة عند منتصف المسافة بين المصباحين الثاني والثالث .



الحل

لحل هذه المسألة نوجد الاستضاءة بتأثير المصباح الأول و الثانى أولا ، وحيث أنه يوجد تماثل بينهما وبين الثالث والرابع فإن شدة الاستضاءة الكلية نحصل عليها بالضرب فى 2.

أولا شدة الاستضاءة نتيجة المصباح L1

$$E_{L1} = \frac{I \cos^3 \theta_1}{h^2}$$

ويمكن من المبادئ البسيطة لحساب المثلثات أن نحسب قيم الزاوية θ_1 كما يلى

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{15}{5} = 71.5°$$

ومنها نستنتج قيمة $\cos \theta_1 = 0.316$

وبالتعويض

$$E_{L1} = \frac{200}{5^2} \cos^3 \theta_1 = 0.25 \quad lux$$

وبالمثل يمكن حساب قيمة الزاوية $\theta_2 = 45°$. ومنها نحسب شدة الاستضاءة نتيجة المصباح الثانى L2 :

$$E_{L2} = \frac{200}{5^2} \cos^3 \theta_2 = 2.83 \quad lux$$

ومن ثم تكون مجموع شدة الاستضاءة من المصباحين الأول والثانى تساوى 3.08 lux ، وهذا يعنى أن شدة الاستضاءة نتيجة المصابيح الأربعة تساوى :

$$2 * 3.08 = 6.16 \text{ ux}$$

ب- حسابات الإضاءة الداخلية بطريقة الليومن :-

تعتمد حسابات كمية ونوعية الإضاءة المطلوبة لإنارة مساحة معينة على الأغراض المستخدم له المبنى ونوعية العمل . وطريقة الليومن هي طريقة سريعة وبسيطة ولا قيود فيها على نوعية أو مكان المصابيح ، فهي تعطيك العدد المناسب من المصابيح (أيا كان نوعها) للحصول على استضاءة معينة أو العكس ، أي تعطيك الاستضاءة الناتجة عن عدد معين من المصابيح ، وهي من أكثر الطرق شيوعا لحسابات الإضاءة الداخلية .

وطريقة الليومن لها صورتان ، أحداهما مبسطة جدا ، حيث يتم حساب شدة الاستضاءة فقط بقسمة الفيض الكلى على المساحة الكلية دون أخذ أي عوامل أخرى في الاعتبار ، كما في المثالين التاليين .

مثال // عند إضاءة غرفة معيشة مساحتها 40 مترمربع . استخدم – طبقا لمتطلبات الديكور - عدد 4 لمبات متوهجة قدرة 150 وات مدفونة بالسقف ، وكان الفيض الصادر من هذه المصابيح يساوى 2830 Lm لكل مصباح ، واستخدم أيضا عدد 5 لمبات فلورسنت في الكرانيش أيضا مدفونه بالسقف (كل منها لـه 4160 Lm) وأخيرا استخدمت ثلاثة مصابيح هالوجين خارجية(4730 lm لكل منها) . فإذا كان مستوى شدة الاستضاءة المطلوبة يساوى 800 lux ، فالمطلوب التأكد من أن هذا الأعداد من المصابيح المختلفة كافية لتحقيق مستوى شدة الاستضاءة المطلوبة . (اعتبر أننا نستفيد فقط من 60 % من فيض المصابيح المدفونة بالسقف) ؟

الحل :

طبقا لمستوى شدة الاستضاءة المطلوبة ومساحة الغرفة فإن إجمالي الليومن المطلوب يساوي :

$A * E = 40 * 800 = 32000$ ليومن

فإذا حقق الفيض الصادر من مجموعة المصابيح الواردة في المثال هذه القيمة فسيعتبر التصميم سليما ، وهو ما سنفتش عنه في الخطوات التالية :

بما ان الفيض من المصابيح المتوهجة يساوي :

$4*2830*0.6=6792$ ليومن

(لاحظ أنها مدفونة اي أننا نستفيد فقط من 60% من الفيض الكلي)

وبما ان الفيض من اللمبات الفلورنست يساوي :

$4160 * 5 * 0.6 = 12480$ ليومن

(تم الضرب في 0.6 لأنها إضاءة غير مباشرة فهي مدفونه بالكرانيش)

أما الفيض من اللمبات الهالوجين فيساوي :-

$3 * 4730 = 14190$ ليومن

اذن الفيض الكلي من كافة المصابيح = **$6792+12480+14190=33462$ ليومن**

وهو اعلى من مستوى الفيض المطلوب , اذن فعدد المصابيح كاف . ورغم بساطة الطريقة الا أنها بالتأكيد غير دقيقة , وتعتبر تقريبية ومناسبة فقط للحاسبات السريعة.

مثال// ملعب لكرة القدم مساحته 120m x 60m يراد إضاءته ليلا بمصابيح قدرة كل واحد منها 1000W وأن تكون الاستضاءة منتظمة حول الملعب باستخدام أبراج عددها 12 برج ، ويفرض أن 40 % فقط من الإضاءة تصل إلى الملعب . فإذا كانت شدة الاستضاءة المطلوبة $1000\text{Lm}/m^2$ وأن كفاءة المصابيح المستخدمة 30Lm / W. احسب عدد المصابيح في كل برج .

الحل //

مساحة الملعب =

$$\mathbf{120 \text{ x } 60 = 7200\ } m^2$$

الفيض المطلوب يساوي

$$\mathbf{E * A = 7200 \text{ x } 1000 = 7.2 \text{ x } 10^6 \text{ Lm}}$$

وحيث ان 40% من الفيض يصل الى ارض الملعب فإن **الفيض الكلي المطلوب** من المصابيح :

$$\mathbf{= 7.2 \text{ x } 10^6 / 0.4 = 18 \text{ x } 10^6 Lm}$$

الفيض المطلوب من كل برج = الفيض الكلي \ عدد الابراج

$$\mathbf{= 18 \text{ x } 10^6 / 12 = 1.5 \text{ x } 10^6 \text{ Lm}}$$

الفيض الخارج من كل مصباح = الكفاءة \ شدة الاستضاءة

$$\mathbf{= 30 \text{ Lm/w } \text{ x } 1000w = 3 \text{ x } 10^4 \text{ Lm}}$$

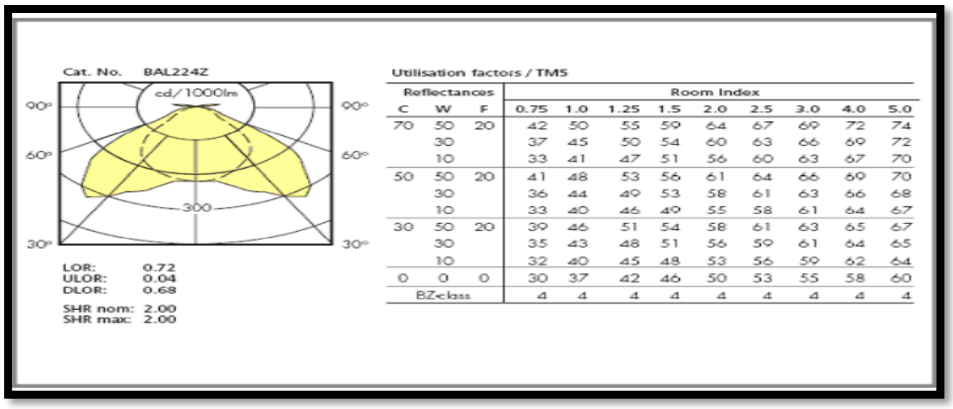
عدد المصابيح في كل برج = الفيض المطلوب من كل برج \ الفيض الخارج من كل مصباح

$$\mathbf{= 1.5 \text{ x } 10^6 / 3 \text{ x } 10^4 = 50 \text{ Lamp}}$$

ت-حساب معامل الانتفاع :-

ويعرف معامل الانتفاع UF Utilization Factor ، بأنه نسبة الفيض الضوئي عند مستوى التشغيل مقسوما على الفيض الكلى المتولد من المصباح . وهذا المعامل يتأثر بعوامل عدة منها :-

- أبعاد الحجرة (طول L ، عرض W ، والارتفاع H) و يتأثر أيضا بطول المسافة بين المصباح ومستوى التشغيل ، وقد أخذت جميع هذه القيم في الاعتبار عند حساب الـ Room Index في الخطوة السابقة .
- يتأثر الـ UF أيضا بدرجة انعكاس الضوء من الحائط W ومن الأرضيات F ومن السقف C كما في الجدول الموجود بالشكل التالي ، حيث يتأثر بلون الحائط (فاتح ، غامق) ، وهل الحائط مثلا مغلفة او مصبوغة . لاحظ أن هذه الجداول ستختلف من مصباح لأخر ومن شركة لأخرى .



Utilisation factors / TM5

Reflectances			Room Index								
C	W	F	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
70	50	20	42	50	55	59	64	67	69	72	74
	30		37	45	50	54	60	63	66	69	72
	10		33	41	47	51	56	60	63	67	70
50	50	20	41	48	53	56	61	64	66	69	70
	30		36	44	49	53	58	61	63	66	68
	10		33	40	46	49	55	58	61	64	67
30	50	20	39	46	51	54	58	61	63	65	67
	30		35	43	48	51	56	59	61	64	65
	10		32	40	45	48	53	56	59	62	64
0	0	0	30	37	42	46	50	53	55	58	60
BZ-class			4	4	4	4	4	4	4	4	4

كما يمثل الجدول التالي نموذجا آخر (حسب الكود المصري) لتحديد معامل الاستفادة Utilization Factor .

مع ملاحظة أن الـ Room Index التي تظهر في الجدول اعلاه يتم اختيارها أولا من الجدول التالي بناء على أبعاد الحجرة . ويمكن الرجوع لمثل هذه الجداول كاملة في كتالوكات الشركات ، أو الكود الخاص بدولتك .

No	Polar curve	LUMINAIRE	Ceiling	75 %			50 %			30 %	
			Walls	50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
			Room Index	COEFFICIENT OF UTILIZATION							
1			J	.38	.36	.35	.38	.36	.35	.36	.35
			I	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.44	.42
			H	.49	.49	.48	.49	.48	.47	.48	.47
			G	.53	.52	.51	.52	.51	.50	.51	.49
			F	.55	.54	.53	.53	.53	.52	.53	.51
			E	.57	.57	.36	.37	.56	.55	.55	.54
			D	.61	.59	.58	.59	.58	.57	.57	.56
			C	.62	.61	.59	.60	.59	.58	.58	.57
			B	.63	.62	.61	.61	.60	.59	.59	.58
			A	.64	.63	.62	.62	.61	.60	.60	.59
2			J	.31	.26	.23	.30	.26	.23	.26	.23
			I	.38	.34	.31	.37	.33	.31	.33	.31
			H	.41	.38	.34	.41	.38	.34	.37	.34
			G	.45	.41	.39	.44	.41	.39	.40	.39
			F	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41
			E	.51	.48	.46	.50	.48	.46	.46	.46
			D	.55	.52	.50	.54	.52	.50	.51	.50
			C	.56	.54	.52	.55	.53	.52	.52	.51
			B	.59	.57	.55	.58	.56	.54	.55	.54
			A	.60	.58	.56	.59	.57	.56	.56	.55
3			J	.25	.22	.20	.24	.22	.20	.22	.20
			I	.31	.28	.26	.29	.28	.26	.28	.26
			H	.34	.31	.29	.32	.31	.29	.30	.28
			G	.36	.33	.32	.34	.33	.31	.32	.30
			F	.38	.35	.34	.36	.34	.33	.34	.32
			E	.40	.39	.38	.39	.37	.36	.37	.35
			D	.43	.41	.40	.42	.40	.39	.39	.38
			C	.45	.43	.42	.44	.41	.40	.40	.40
			B	.48	.45	.44	.47	.43	.42	.42	.41
			A	.50	.47	.46	.48	.46	.45	.45	.44
4			J	.52	.49	.47	.51	.49	.47	.48	.47
			I	.55	.53	.51	.54	.52	.51	.51	.50
			H	.57	.55	.53	.56	.54	.53	.53	.53
			G	.58	.57	.55	.57	.56	.55	.55	.54
			F	.59	.58	.57	.58	.57	.56	.56	.56
			E	.61	.60	.59	.60	.59	.58	.58	.57
			D	.63	.62	.61	.61	.61	.60	.60	.59
			C	.64	.64	.63	.63	.63	.62	.62	.61
			B	.65	.65	.64	.64	.64	.63	.63	.62
			A	.66	.66	.65	.65	.65	.64	.64	.63
5			J	.38	.32	.28	.37	.32	.28	.31	.28
			I	.47	.42	.39	.46	.41	.38	.40	.37
			H	.51	.47	.44	.50	.47	.43	.46	.43
			G	.55	.51	.48	.54	.51	.47	.50	.47
			F	.58	.54	.51	.57	.53	.51	.52	.50
			E	.63	.60	.57	.62	.59	.56	.58	.53
			D	.68	.64	.61	.66	.64	.61	.63	.60
			C	.70	.67	.63	.68	.65	.64	.64	.62
			B	.73	.70	.68	.71	.68	.67	.67	.66
			A	.74	.72	.70	.72	.70	.68	.69	.67
6			J	.34	.29	.25	.33	.29	.25	.28	.25
			I	.42	.38	.35	.41	.37	.34	.37	.34
			H	.46	.42	.39	.44	.42	.39	.41	.39
			G	.50	.46	.43	.48	.45	.41	.44	.41
			F	.53	.49	.46	.51	.47	.44	.47	.44
			E	.57	.54	.51	.56	.52	.50	.52	.50
			D	.61	.58	.55	.59	.56	.54	.56	.54
			C	.63	.60	.57	.61	.58	.56	.58	.56
			B	.66	.64	.61	.64	.60	.59	.60	.59
			A	.67	.63	.62	.66	.62	.61	.62	.60
7			J	.33	.28	.25	.33	.28	.25	.28	.25
			I	.41	.37	.34	.40	.36	.33	.36	.33
			H	.45	.41	.38	.44	.41	.38	.40	.38
			G	.48	.45	.42	.48	.45	.42	.43	.42
			F	.51	.48	.45	.50	.47	.45	.46	.45
			E	.55	.53	.50	.55	.52	.50	.51	.50
			D	.60	.57	.54	.58	.56	.54	.55	.54
			C	.61	.59	.56	.60	.57	.56	.57	.55
			B	.64	.62	.60	.62	.60	.59	.60	.58
			A	.63	.63	.61	.64	.62	.60	.61	.60

إرتفاع السقف (م)							
		15.0–11.10	10.80–9.10	9.0 – 750	7.20 – 6.30	6.00 – 510	5.00 – 4.20
منسوب التعليق فوق سطح الشغل (م)							
15.00–11.10	10.80–9.10	9.00 – 7.50	7.20 – 6.10	6.00 – 5.10	5.0 – 4.20	4.0 – 3.60	3.50 – 3.00
معامل الحجرة							
							J
							J
						J	J
					J	J	I
				J	J	J	I
				J	J	I	H
						J	J
					J	J	J
					J	J	I
				J	J	I	H
				J	J	I	H
				J	I	H	H
					J	J	I
					J	J	I
				J	J	I	H
				J	J	I	H
				J	I	H	G
				J	I	H	G

ت- حساب معامل فقد الضوء (معامل الصيانة) :-

عندما تستعمل المصابيح لفترة زمنية طويلة فإن الفيض الخارج منها سيتأثر لاشك خلال هذه الفترة بعدة عوامل ، و تغير معاملات الانعكاس ، ومعدلات احتراق المصابيح أهمها تغيير جهد التشغيل ، و عمر المصابيح ، وأيضا بمستوى نظافة المصباح ، وكل هذه الاعتبارات تؤخذ في الاعتبار عند تعيين معامل فقد الضوء $\mathbf{L_L}$. وتتراوح قيمة معامل الصيانة من 0.76 إلى 1 في حالة الصيانة الدورية المنتظمة ، في حين تبلغ قيمته من 0.66 إلى 0.75 في حالة الصيانة غير المنتظمة لوحدات الإنارة .

ث- حساب عدد المصابيح :-

بعد حساب **UF** في الخطوة الرابعة ، وحساب الـ $\mathbf{L_L}$ في حساب معامل فقد الضوء ، وبمعلومية قيمة الفيض Ø الصادر من المصباح الذي تم اختياره في الخطوة الثالثة ، وبمعلومية مستوى الاستضاءة المطلوبة E والتي تم تحديدها في الخطوة الثانية ، بعد كل ذلك يمكن حساب عدد المصابيح N تمهيدا لتوزيعها بالشكل الملائم باستخدام المعادلة :-

$$\mathbf{N = \frac{EA}{\emptyset\ U_F\ L_L}} \qquad \mathbf{13-}$$

حيث :-

E شدة الاستضاءة المطلوبة ووحداتها $\mathbf{Lm/m^2}$.

A مساحة مستوى التشغيل ووحدتها $\mathbf{m^2}$.

Ø الفيض الضوئي لكل مصباح ووحداتها بالليومن .

$\mathbf{U_F}$ معامل الاستفادة , وهو رقم اقل من الواحد .

$\mathbf{L_L}$ معامل فقد الضوء , وهو رقم اقل ايضا من الواحد .

N عدد المصابيح.

مع ملاحظة أن بعض الشركات تضرب عدد المصابيح التي نحصل عليها من المعادلة السابقة في 1.25 كمعامل أمان إضافي لمتغيرات غير منظورة . وفيما يلى أمثلة منوعة لتطبيق طريقة الليومن المعدلة . والبعض الآخر يضيف عنصر كفاءة المصباح الضوئية في الاعتبار ، ومن ثم تصبح المعادلة السابقة على الصورة التالية:

$$\mathbf{N = \frac{EA}{\emptyset P \eta_{Lamp}\ U_F\ L_L}} \qquad \mathbf{14-}$$

η_{Lamp} كفاءة المصباح (Lm/w|)

P قدرة المصباح بالواط

ج- توزيع المصابيح :-

عندما تكون قيمة (N) المحسوبة من العلاقة السابقة عدداً كسرياً ، يتم تقريب القيمة المحسوبة إلى العدد الصحيح التالي مباشرة ، (مثال : 10.3 تصبح 11 وهكذا) . ويمكن زيادة عدد وحدات الإنارة إلى الرقم الذي يحقق عدة حلول لتوزيع هذه الوحدات ، (فمثلا 11 يمكن زيادتها إلى 12 والتي تعطي توزيع 2 صف × 6 وحدات إضاءة أو 3 صفوف × 4 وحدات) .

مثال // مطلوب تصميم إضاءة مكتب ابعاده 7 x 14 متر , وارتفاع 3 متر , ومستوى الاستضاءة المطلوبة يساوي 1000 Lux , علما لأن انعكاس السقف 70% و الحوائط 50% , والأرضيات 20% , وان مستوى العمل يرتفع 75 سم من الأرض , وأن وحدة الإضاءة المستخدمة تنتج فيضا قدره 2250 ليومن ومعلقة تحت السقف بمسافة 60 سم، افرض انه معامل الاستفادة هو 0.7 و وبفرض ان معامل فقد الضوء يساوي 0.69.

الحل/

يجب اولا تحديد فجوة الحجرة $\mathbf{h_{RC}}$ وستساوي :

$$\mathbf{h_{RC} = 3 - 0.6 - 0.75 = 1.65\,m}$$

ثم بمعلومة ابعاد الحجرة :

$$\mathbf{L = 14m \quad / \quad W = 7m \quad / \quad H = 3m}$$

نحسب منها الـ **Room Index** من المعادلة التالية :-

$$\mathbf{15 - \qquad K = \frac{L\,xW}{h_{RC}\,(L + W)}}$$

$$\mathbf{k = \frac{14x7}{1.65(14 + 7)} = 2.8}$$

الان بمعلومية هذه القيمة (تقرب الى 3 كما في شكل جداول حساب معامل الانتفاع) وبمعلومية أيضا نسبة الانعكاس من السقف (70%) , وانعكاس الحوائط (50%) , وانعكاس الأرضيات (20%) , وبما ان معامل الاستفادة UF يساوي 0.7 , وبفرض ان معامل فقد الضوء يساوي 0.69 ثم بالتعويض في المعادلة لحساب عدد المصابيح N نجد ان العدد يساوي :-

$$\mathbf{N = \frac{1000\ x\ 7\ x\ 14}{2250\ x\ 0.69\ x\ 0.7} = 30.1 \cong 91}$$

10 – مصابيح الإضاءة :-

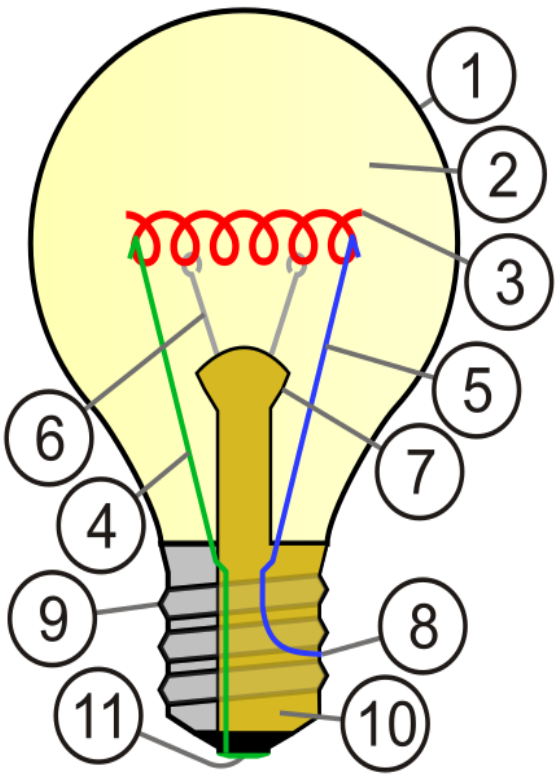
المصابيح هي مصدر الإضاءة الكهربائية حيث تقوم بتحويل القدرة الكهربائية إلى قدرة ضوئية . ويوجد أنواع كثيرة من المصابيح الكهربائية تختلف في تركيبها وطرق تشغيلها وكفاءتها ولون إضاءتها . ويمكن تصنيف المصابيح الكهربائية في أربع مجموعات :

1. المصابيح المتوهجة وتتضمن ما يلي : -
   - **مصابيح التنجستن العادية Incandescent Lamps .**
   - **مصابيح التنجستين الهالوجينية Tungsten Halogen Lamps.**

2. مصابيح التفريغ الغازي (Gas Discharge Lamps) وتتضمن ما يلي : -
   - **مصابيح الفلورسنت Fluorescent lamps (وتعرف أيضا بمصابيح الزئبق منخفض الضغط)**
   - **مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي (HPS) High Sodium lamps (Pressure) .**
   - **مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض Low Pressure Sodium lamps SOX .**
   - **مصابيح الزئبق ذات الضغط العالي ( ) High Pressure Mercury lamps HPM .**
   - **مصابيح الهاليد المعدني Metal Halide lamps .**
   - **مصابيح النيون Neon lamp**
3. المصابيح الموفرة للطاقة
4. مصابيح الـ LED .

أ- المصابيح المتوهجة Incandescent lamps :-

تنتج مصابيح الفتيلة المتوهجة ضوءا عند تسخين فتيلة التنجستن حتى التوهج ، ولذا تسمى أيضا بالمصابيح الحرارية ، وقد استخدام التنجستن فيها لما يتميز به من صلابة ، وتحمل للحرارة العالية ، كما أنه يتميز كذلك بضعف معدل البخر له (المقصود تبخر السلك المعدني مع ارتفاع درجة حرارته) . وتوضع الفتيلة في وسط مفرغ من الهواء (بصيلة) تحتوى على غاز خامل (أرجون أو أرجون + نيتروجين) . وقد يرفع الضغط داخل البصيلة إلى 1.5 جوى ، لأن الضغط المرتفع يخفض معدل البخر ويطيل عمر المصباح . ووظيفة هذا الغاز الخامل أن يمنع أكسدة الفتيلة عند ارتفاع درجة حرارتها ، ويقلل من تبخر معدن الفتيلة ، ومن ثم يطيل من عمر المصباح ، كما أنه يقلل من السواد الذي يغطي المصباح من الداخل نتيجة البخر . ويوضح شكل التالي مكونات المصباح :-



1. الغلاف الزجاجي
2. غاز خامل
3. سلك تنغستين
4. سلك ناقل متصل بنقطة تماس سفلى
5. سلك ناقل متصل بتماس القلنسوة
6. سلك دعم لسلك التوهج
7. ركيزة دعم زجاجية
8. القلنسوة
9. قلنسوة حلزونية
10. عازل
11. نقطة التماس السفلى

و البصيلة لها أنواع متعددة :-

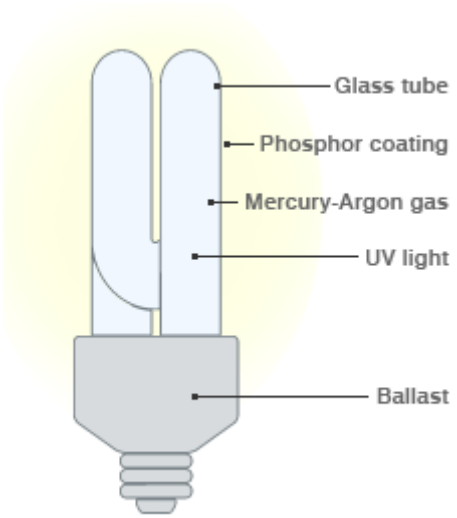
- زجاج عادي وله أشكال متنوعة (شفاف – مفضض) .
- أبيض ديلوكس (سيليكا تخفى السواد الناتج عن البخر) .
- ضوء النهار (زجاج أخضر مزرق يمتص جزء من الأحمر) .

والكفاءة الضوئية للمصابيح المتوهجة المستخدمة في الطرق حوالي10 Lm/W وتعتبر كفاءة منخفضة حيث يضيع جزء كبير من الطاقة على صورة حرارة . وأكثر استخداماته تكون في مجالات الخدمة الشاقة مثل القطارات و السيارات وإشارات المرور . **وهذه بعض الخواص الهامة :-**

- المظهر — دافئ (2800 درجة)
- أمانة النقل — قرب 100
- العمر — 1000 - 4000 ساعة
- الفتح والغلق — لا يحتاج لدائرة خاصة ولا يتأثر عمره بعددها
- التحكم — يمكن خفض جهد حتى 50 %

ب- مصابيح الهالوجين :-

الأصل أنها مصابيح تنجستن وأضيف لها أحد الهالوجين (يود ، بروم ، فلور) ويصدر عنها حرارة عالية لذا نستخدم الكوارتز في زجاج البصيلة الخاصة بها, كما في الصورة التالية :



وفكرة عمله أنه عندما يتحد بخار التنجستن مع الهالوجين المضاف فإن الجزيئات الناتجة تقترب من الفتيل التنجستن الساخن وترسب عليه وبالتالي فقد اختفت معه ظاهرة السواد الداخلي ، وهذه الدورة استرجاعية **Regenerative cycle** . بمعنى أن المادة المتكونة مع ارتفاع درجة حرارة الفتيلة تتحلل مرة أخرى إلى تنجستن وهالوجين ، وهكذا .

و قد أدت فكرة هذه الدورة إلى إطالة عمر المصباح إلى 2000 ساعة كحد أدنى بدلا من 1000 ساعة ، وإلي زيادة الكفاءة الضوئية إلى 21 لومن / واط مع الاحتفاظ بأمانة نقل ألون عالية تقترب من 100 ، لكن لا يفضل معه خفض الجهد . لاحظ أن التخلص التام من ظاهرة التسويد أدي إلي خفض الغلاف الزجاجي إلى 90 % من حجم مصباح متوهج عادي له نفس القدرة .

وأبرز مجالات الاستخدام في المناطق التي تحتاج إلى قدرة صغيرة وإضاءة عالية ، وأمانة عالية لنقل الألوان مثل أجهزة تسليط الشرائح Projectors ، ومصابيح السيارات ، وإضاءة المسارح ، كما يستخدم في المنازل و المحلات ومصابيح الغمر الضوئي Flood Light والبؤر الضوئية Spot Light .

<u>أنواعها من حيث الجهد :-</u>

لها نوعين رئيسيين نوع يعمل على الجهد الأساسي أو ما يسمى جهد الشبكة 230 فولت (يختلف باختلاف البلد) ونوع يعمل بالجهاد فائق الانخفاض ويسمى للسهولة الجهد المنخفض 12, V أو 24, V .

الميزة الرئيسية لنوع الأول (الذي يعمل على الجهد الأساسي)

1. لا يحتاج إلى محول
2. أن تنوع الواط فيه كثير فمثلا 300 واط و 500 واط و 2000 واط تواجد بجهد أساسي فقط ولا يمكن الحصول عليها بجهد المنخفض .

الميزة الرئيسية للنوع الثاني (مصابيح الجهد المنخفض)

1. حجم المصباح صغير بالمقارنة مع النوع الأول وكذلك حجم جهاز الإنارة يكون صغير جدا قد يصل إلى 50 ملم أو حتى أصغر وقد تصل فتحة جهاز الإنارة إلى 30 ملم .
2. عمره أطول لذلك يكثر استخدامه فقد يصل عمر الصابح تقنية الـ IRC إلى 6000 ساعة عمل .

ت- مصابيح التفريغ الغازي :-

تنتج مصابيح التفريغ الغازية الضوء من طريق مرور الكهرباء عبر غاز تحت الضغط ، بدلاً من توهج الفتيلة كما في المصابيح المتوهجة . ومثل هذه العملية تسمى بالتفريغ الكهربائي **Electric Discharge** . ولذا تسمى هذه المصابيح أحياناً بمصابيح التفريغ الكهربائي .

وتضم هذه العائلة من المصابيح :-

المصابيح الفلورية . ومصابيح النيون ، ومصابيح الصوديوم منخفضة عالية الضغط ، ومصابيح بخار الزئبق عالية الضغط ، ومصابيح الهاليد المعدنية .

الفكرة العامة لمصابيح التفريغ الغازي :-

الفكرة العامة لكافة هذه المصابيح هو حدوث قوس كهربائي **Electric Arc** خلال غاز تحت ضغط منخفض أو مرتفع . وفي أغلب هذه المصابيح يكون هناك غازين خاملين بداخل المصباح :

الأول يكون سريع التأين ويسمى غاز البدء ، ويحتاج لجهد عالي عند البدء .

أما الغاز الثاني فتستثار ذراته باصطدام الالكترونات المنبعثة من إلكترودات اللمبة (التي تصنع غالبا من التنجستن) ، ويصاحب ذلك انبعاث للخطوط الطيفية Light Spectrum الخاصة بهذه الذرات ، ولذا ستختلف الألوان الصادرة من هذه المصابيح حسب الغاز الثاني الموجود بداخلها ، وتسمى اللمبة غالبا باسم هذا الغاز (الصوديوم ، النيون ، الزئبق ، إلخ) .

وظيفة الملف الكابح :

وينشأ عن الـ **Electric Arc** في الغاز الثاني تيار عالي جدا ، لاسيما وأن مقاومة الـ **Arc** سالبة أي أنها تنقص مع زيادة التيار فتحدث زيادة مضطردة في قيمة التيار ، ولذا نحتاج غالبا إلى ملف كابح **Ballast** يوصل على التوالي مع المصباح للحد من هذا التيار طوال مدة تشغيل المصباح . وللملف الكابح وظيفة أخرى هي المحافظة على فرق الجهد خلال اللمبة ثابتا طوال فترة التشغيل . ومع وجود هذه الملفات أصبح من الضروري استخدام مكثفات لتحسين معامل القدرة في هذه النوعية من المصابيح بسبب انخفاض الـ **Power Factor** .

وتجدر الإشارة هنا إلى أن لهذا الـ **Ballast** وظيفة أخرى تحدث تحديدا عند البدء فقط ، حيث يساهم بصورة أساسية في توليد الجهد العالي اللازم لعملية البدء .

فعند توصيل الكهرباء لدائرة المصباح يقوم البادئ **(Starter or Igniter)** بتوصيل تيار صغير يمر خلال ملف الـ **Ballast** ، وينشأ هذا التيار مجالا كهربيا صغيرا في الملف ، لكن هذا البادئ سرعان ما يفصل وينقطع التيار ، وهنا نستفيد من الـ **Inductance** العالية التي يتميز بها هذا الملف ، حيث سيحاول هذا الملف الإبقاء على التيار داخله ومنعه من الانهيار (تذكر أن من أساسيات الكهرباء أن أي ملف **Coil** يحاول دائما منع أي تغير في التيار , فإذا زاد التيار خلاله فإنه يحاول منعه من الزيادة ، وإذا نقص فإنه يحاول منعه من النقصان ، و هي القاعدة المعروفة بقاعدة لنز **Lenz Rule**) .

وهذه الخاصية مفيدة جدا هنا لأن محاولة الملف منع التيار من التناقص سينشأ عنها ظهور جهد عالي لحظي بين أطراف الملف وتتأثر اللمبة بهذا الجهد العالي فيحدث انهيار لعازلية الغاز الموجود بداخلها فيحدث تفريغ للغاز **Electric Discharge** ، ويصبح موصلا . وقد يحتاج لعدة محاولات للوصول إلى التوصيل الدائم حيث تصبح درجة الحرارة داخله مناسبة . وهذه الفكرة العامة تكاد تكون مشتركة في كافة أنواع مصابيح التفريغ .

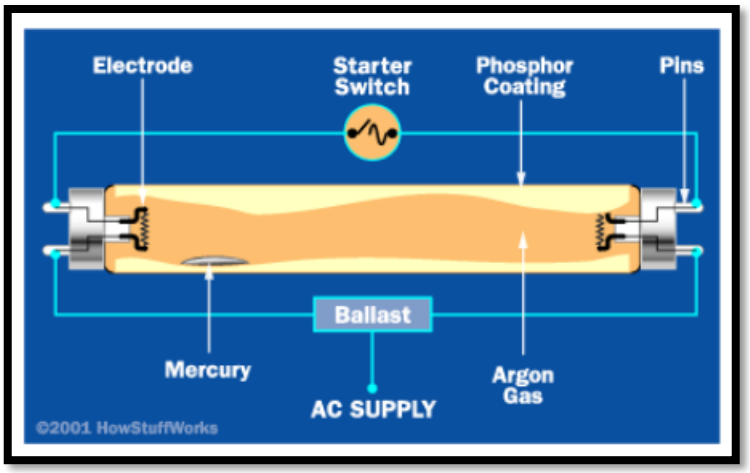
وباستثناء المصابيح الفلورية فإن مصابيح التفريغ الغازي لا تستخدم في المنازل ، حيث تبدو ألوان الأشياء مختلفة عن لونها الطبيعي بدرجة كبيرة على الرغم من أنها تعمر مدة أطول ، وتعطي ضوءاً أشد ، مقابل كل واط من القدرة ، وهي من هذا الجانب أكفأ من المصابيح المتوهجة .

ث- مصابيح الفلورسنت (الزئبق منخفض الضغط) :-

يتركب المصباح الفلورسنت من إلكترودين عند الأطراف (يسميان بالأنود والكاثود) تنبعث منهما الكترونات عند تسخينها ، وغالبا تكون مصنوعة من تنجستن مطلي بالباريوم ، وتوضع الـ **Electrodes** داخل أنبوب اسطواني يحتوى على خليط من بخار الزئبق والأرجون تحت ضغط منخفض جدا (وهذا يساعد على إبقائه على هيئة غاز) ، كما يحتوي السطح الداخلي للأنبوب على مادة فسفورية تقوم بامتصاص الأشعة الفوق البنفسجية التي تنطلق لدى مرور تيار في غاز بخار الزئبق (والتي هي في الأصل موجات غير مرئية) ، وتطلق هذه المادة بعد امتصاصها لهذه الأشعة موجات ضوئية بجميع الأطوال الموجية مما ينشئ اللون الأبيض المميز لهذه اللمبات .

ويحتاج المصباح إلى بادئ تشغيل **Starter** (انبوب صغير بداخله غاز الأرجون سريع التأين وبه الكترودين قريبين لبعضهما لتسهيل عملية التفريغ) ، ويحتاج كذلك إلى الملف الكابح **Ballast** .

وعند توصيل طرفي اللمبة إلى مصدر كهربائي **AC supply** فإن جهدا كهربائيا سينشأ بين طرفي اللمبة وطرفي الـ **Starter** كما في الشكل التالي :-



لكن و بسبب كون الغاز داخل الأنبوب باردا في بداية التشغيل فإن الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة ستلاقي مقاومة للمرور عبر الغاز ، لهذا ستمر عبر الـ **Starter** الذي يتأين غازه أسرع ، ثم تمر عبر إلكترودات مصباح النيون ، وبمرور التيار فإن الإلكترودين سيسخنان بشكل كبير (وهي اللحظة التي يحمر فيها طرفي المصباح) .

ومعروف أن الإلكترونات تكون سريعة في المواد الساخنة ، مما سيجعل عملية قذف الإلكترونات أسهل ليمر عبر الغاز فتمر أول دفعة من الالكترونات (وهي التي تسخن الغاز داخل الأنبوبة الاسطوانية قليلا) ثم ما يلبث التيار خلال الأنبوب الرئيسي أن ينقطع لأن الغاز لم يسخن لدرجة كافية ، فينتقل مرة أخرى ليمر عبر الـ **Starter** ، لتسخن الإلكترودين من جديد ، وتنتقل الدفعة الثانية من الإلكترونات عبر الغاز . تتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يسخن الغاز بشكل كاف ليكون مرور الإلكترونات عبره أسهل من مرورها عبر الـ **Starter** (لهذا يومض المصباح عدة مرات قبل أن يعمل) ، ويقوم الملف **Ballast** بمنع التيار من الارتفاع لقيم عالية بعد تمام الإضاءة وحدوث التفريغ خلال أنبوبة المصباح الرئيسية .

لاحظ أنه في كل مرة – خلال المحاولات الأولية في بداية التشغيل – عندما ينقطع التيار خلال الـ Starter فإنه يتولد جهد عالي ، فينكسر عزل الغاز في الأنبوب الرئيسي ويحدث تفريغ بين الإلكترودين الأصليين ويمر التيار الذي ما يلبث أن ينقطع لأن الغاز لم يسخن لدرجة كافية . وتتميز هذه المصابيح بأنها تعطى ضعف الكفاءة الضوئية للمصابيح المتوهجة .

السمات والخواص :-

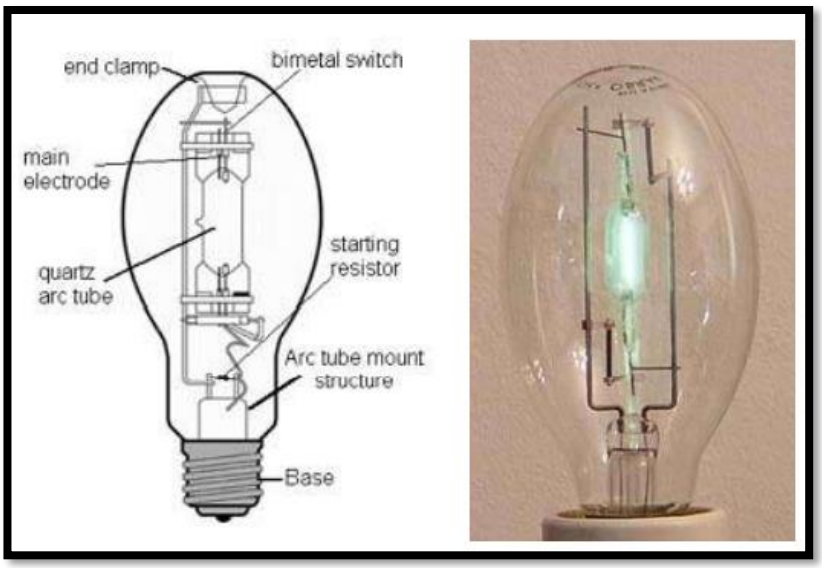
- زمن البدء 2-5 ثواني (الأنواع الجديدة لها بدء سريع) .
- معامل القدرة Power factor منخفض .
- الألوان (الأبيض – دافئ - ديلوكس يشبه المتوهج) .
- العمر 7500 ساعة . الكفاءة الضوئية حوالي 80 ليومن / وات .
- يتأثر الضوء بالتقادم (يتراكم مسحوق على السطح الداخلي) .
- يتأثر بالحرارة (تؤثر على كمية الطاقة الفوق بنفسجية من القوس) .
- لا يعمل إذا انخفض الجهد عن 75 % .
- نستخدم مكثف لتقليل تأثير التداخل **Interference** مع أجهزة الاتصالات وأيضا لتحسين معامل القدرة .

ورغم أن أغلب المصابيح الفلورية عبارة عن أنبوبة اسطوانية الشكل إلا أنه توجد مصابيح علي شكل حرف U أو دائرية الشكل .

كما أنه يوجد ثلاثة أنواع من المصابيح الفلورية حسب تشغيلها :

- مصباح ذو تسخين متقدم " قبل بدء التشغيل " وهو يحتاج إلي بادئ خاص .
- مصباح سريع البدء ولا يحتاج إلي بادئ ، و يستغرق البدء فيه ثانية أو ثانيتين ، وهو مزود بـ Starting Coil داخلي يوضع قريب من الإلكترودين وموصل بالأرض .
- مصباح لحظي البدء ولا يحتاج إلي بادئ بل تتبعث الإلكترونات على البارد من مادة يطلى بها الإلكترودين .

ج- مصابيح بخار الزئبق عالي الضغط :-



يتكون مصباح بخار الزئبق من أنبوبتين زجاجيتين ، إحداهما داخلية (أو أنبوب التفريغ) ، و هي التي يحدث بها القوس الكهربائي ، و الأخرى خارجية تحفظ أنبوبة القوس من تغيرات درجة الحرارة و في بعض الأحيان تعمل كـ **Filter** لإبعاد بعض أطوال الموجات الصادرة من إشعاعات القوس. وقد تحتوي بعض البويصلات الخارجية على طبقة من الفسفور و تعرف هذه المصابيح بمصابيح الزئبق الفلورسنتية , كما في الشكل التالي :-

<u>السمات والخواص :-</u>

- اللون أبيض مزرق لغياب اللون الأحمر .
- أمانة النقل منخفضة (15-52) .
- الكفاءة الضوئية 40-60 ليومن / وات
- العمر 20000 ساعة
- البدء وإعادة التشغيل يحتاج إلى 4- 7 ق .
- يستخدم في إضاءة الشوارع (لاحظ أن البهر المصاحب لهذا المصباح عالى جدا ولذا يجب ألا يوضع في مستوى البصر بل على ارتفاعات عالية) .

ح- مصابيح الصوديوم منخفض الضغط :-

مثل الزنبق منخفض الضغط (الفلورسنت) مع فارق جوهري أنه لا يحتاج لمادة فسفورية لأنه ينتج الضوء مباشرة حيث يتولد الضوء عن طريق التفريغ الغازي الذي يتم في وسط له ضغط منخفض يتكون من غاز صوديوم ، وغاز خامل (نيون) ، أو أرجون تحت ضغط منخفض ، ويقع الإشعاع الناشئ عن التفريغ الغازي في مجال اللون الأصفر فقط ولذا فهو وحيد اللون ، ولا يحتاج لمادة فلورية مثل مصابيح الزئبق .

وتكون أنبوبة التفريغ الداخلية في هذه المصابيح عادة على شكل U كما في صورة التالية :-

ومزودة عند كل طرف بفتيلة مكسية بمادة انبعاثيه ، وعند التسخين يبدأ التفريغ فيظهر أولا بلون أحمر برتقالي حتى ترتفع درجة الحرارة فيبدأ الصوديوم في عملية التفريغ ويتحول الضوء إلى الأصفر ، وتتراوح فترة بداية التشغيل حتى إعطاء الإضاءة الكاملة من 7 إلى 15 دقيقة ، وتتم المحافظة علي درجة الحرارة عن طريق العزل الحراري للأنبوبة .

السمات والخواص :-

- لا يحتاج لوقت لإعادة البدء ، لكنها تحتاج إلى حوالي 10 دقائق لوصول الضوء إلى أقصى شدة .
- أعلى كفاءة ضوئية على الإطلاق (133 – 183) ليومن / واط ولكنه يعتبر الأسوأ من حيث أمانة نقل الألوان (23) حيث لا يمكن تمييز الألوان على ضوئه لذلك يستخدم في الإضاءة الخارجية فقط كما في الشوارع والمطارات .
- ويعتبر البهر الناتج منه أقل من المصابيح الأخرى .
- ويصل عمره إلي 15000 ساعة وقدرته بين 35 إلى 180 وات .
- ورغم أن أمانة النقل له سيئة إلا أن التمييز به أعلى ما يمكن (لذا يستخدم في مصابيح الضباب) .

خ- مصابيح الصوديوم عالي الضغط :-

مثل الزئبق عالي الضغط مع اختلاف المادة ، وتعتمد فكرة عمله علي حدوث تفريغ لبخار لصوديوم عند ضغط عالي . والفرق بينه وبين الصوديوم منخفض الضغط أن طول موجات الإشعاع تكون علي مدي أوسع من الطيف المرئي مما يجعل اللون أصفر ذهبي به كمية من اللون الأحمر وكمية صغيرة من الأزرق والبنفسج . وبالإضافة إلي الصوديوم تحتوي الأنبوبة علي كمية من الزئبق وغاز الزينون الذي يساعد على عملية بدء المصباح . والغلاف الخارجي للمبة ينتج على شكل بيضاوي أو أنبوبي كما في الصورة التالية :-

وقد استخدمت هذه التقنية بعد اكتشاف مادة أكسيد الألومنيوم التي لا تتفاعل مع الصوديوم حتى مع المرتفع والحرارة العالية ، كما أنها مادة شفافة تقريبا لا تحجب الضوء . وتوضع الأنبوبة داخل غلاف زجاجي مفرغ لعزلها حراريا . وبالإضافة إلى الصوديوم تحتوي الأنبوبة علي كمية من الزئبق حيث يرفع الزئبق الكفاءة الضوئية للمصباح عن طريق خفض الـ **Losses** الناتجة عند التوصيل الحراري و الناتجة عن التوصيل الكهربي ، كما يحتوى على غاز الزينون الذي يساعد في عملية بدء المصباح .

والمصباح له كفاءة ضوئية عالية (125 ليومن / وات) وأمانة متوسطة للقل الألوان (45) ولذا تستخدم في الإضاءة الخارجية . ويصل عمر المصباح إلي 24000 ساعة ، وعند بدء التشغيل يحتاج المصباح إلى 6 دقائق ليصل إلي 80 % من أقصى شدة ، ويحتاج بعد إطفاءه إلي 3 دقائق لإعادة تشغيله .

د- مصابيح الهاليد المعدني Metal Halide Lamp :-

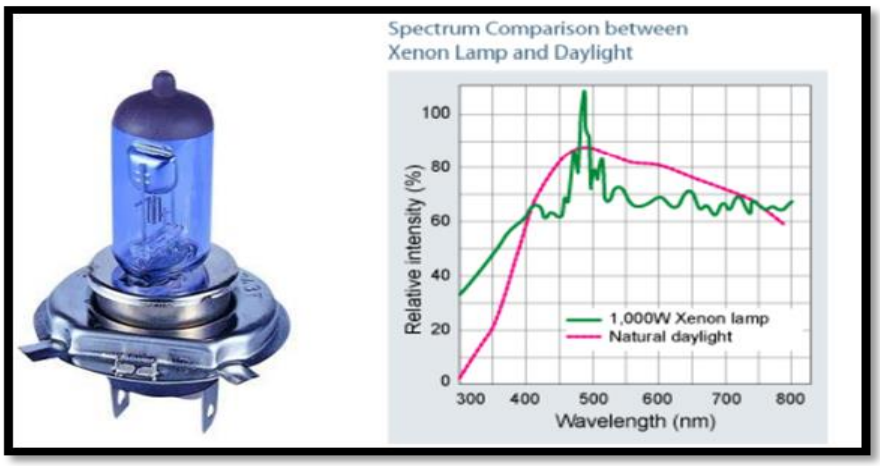
الهاليد المعدني هو مركب ثنائي العنصر من أحد الهالوجينات وهو اليود وعنصر معدني آخر يكون إما الصوديوم أو الثاليوم أو الكانديوم ، ويمكن مع استعمال الهاليد الحصول علي أمانة نقل ضوء ممتازة (60-90) وكفاءة ضوئية عالية 100 : 70 ليومن / وات ، وهو يصنع بقدرات عالية غالبا (1000 و 2000 و 3500 وات) و طريقة التشغيل مثل المصباح الزئبقي الذي سبق شرحه .

السمات والخواص :-

- الكفاءة والأمانة أعلى من السابقين .
- زمن البدء يتراوح 5-6 ق لكن يحتاج إلى ربع ساعة لإعادة التشغيل .
- العمر أقل 7000 ساعة .
- يستخدم غالبا في الشوارع والملاعب .

ذ- مصابيح الزينون :-

من نوعية مصابيح التفريغ عالي الجهد لكن بداخلها غاز الزينون الذي ينتج طيفا هو الأقرب إلى طيف ضوء النهار كما في الشكل التالي :-



وتتميز هذه المصابيح بصغر الحجم وشدة النصوع ولذا تستخدم بكثرة في السيارات ، كما تستخدم في الأعمال التي تحتاج لضوء عالي جدا (سينما أو ملاعب) ، ويبلغ متوسط العمر بين 1000 : 2000 ساعة ، لكنه في البيوت يستخدم منه النوعية ذات الجهد المنخفض (12فولت فقط) بعد إضافة محول 220/12 فولت ، ويعيبها أنه تتولد منها حرارة عالية .

ر- مصابيح النيون :-

هي من عائلة مصابيح التفريغ الغازي ، وتتكون من أنابيب (قطرها من 7 إلى 15 ملم) مملوءة بغاز النيون ذي الضغط المنخفض جدا مخلوطا بقليل من الهيليوم ، ويستخدم معها محول رفع للحصول على جهد الاشتعال في البداية ، فتتوهج عندما تحدث عملية تفريغ كهربائية داخلها ، علما بأن غاز النيون النقي في أنبوب صاف يعطي ضوءاً أحمر اللون ، لكن يمكن إنتاج الضوء في ألوان أخرى بمزج غاز النيون بغازات أخرى ، أو استخدام أنابيب ملونة ، أو مزيج من هاتين الطريقتين . ويمكن تشكيل الأنابيب بأشكال مختلفة على شكل حروف مثلا كما في الصورة الاتية :-

ز- مصابيح الـ LED :-

وتسمى بالدايود الباعث للضوء او اختصارا بـ LED وهي اول حرف من كلمات Light Emitting Dlodes ، ولهذه LED تطبيقات عديدة في مجال الالكترونيات وتدخل في تركيب العديد من الأجهزة الحديثة كلمبات إشارة صغيرة Indication Lamps حيث تضيء الـ LED لتعلم المستخدم ان الجهاز يعمل مثل اللمبة الحمراء التي تضيء عندما يكون جهاز التلفزيون في حالة الاستعداد أو في أجهزة الراديو عند استقبال محطة عليه وتدخل في الساعات الرقمية والريموت كونترول والتلفزيونات الكبيرة التي تستخدم كشاشات عرض كبيرة وفي إضاءة إشارات المرور .

واختصارا فإن الـ LED عبارة عن لمبة ضوء الكترونية اي لا تحتوي على فتيلة ولا تسخن كما في المصابيح الكهربية . فهي تصدر الضوء من خلال حركة الالكترونات في داخل مواد من أشباه الموصلات semiconductor التي تتكون منها الترانزستورات .

لكن حديثا بدأ التوسع في استخدام هذه النوعية من اللمبات ، رغم أن عمر هذه اللمبات طويل إلا أن سعرها يعتبر عالي جدا إذا نظرنا إلى قيمة **Watt / $** ، ولذا يكثر استخدمها في التطبيقات ذات القدرة المنخفضة وخاصة في السيارات . وتتميز بأنها تستهلك قدرا ضئيلا جدا من الطاقة ، لكنها تعاني من مشكلة أن ضوؤها محدد الاتجاه ولذا تستخدم أساسا كنوع من أنواع الـ **spot light** ، وغالبا يستخدم عدد من هذه الـ **LEDs** داخل المصباح فتعطى كفاءة ضوئية أعلى بكثير من اللمبات العادية ذات القدرة المماثلة .

س- المصابيح الموفرة :-

وأشهر أنواعها هو Compact Florescent Lamp CFL وتتميز بأنها تستهلك كمية صغيرة من الطاقة الكهربائية لتعطى نفس كمية الضوء الصادرة من المصابيح العادية ، على سبيل المثال فاللمبة CFL بقدرة 18(وات) تعطى نفس كمية الضوء الصادرة من مصباح (75 وات) كما في الصورة التالية :-

ويضاف إلى ذلك أن عمرها الافتراضي يصل إلى خمسة أضعاف عمر المصباح العادي ، لكن بالطبع سعرها أغلى . وقد أصبحت هذه النوعية من اللمبات (**CFL**) تحل تدريجيا محل لمبات الفلورسنت العادية بسبب هذه الميزات السابق ذكرها .