

محاضرات الإنارة

لطلاب السنة الثانية

قسم التغذية الكهربائية

مدرس المقرر: الدكتور نصر القاسم

المراجع العلمية:

١. الإنارة والصوت للدكتور بسيم عمران. منشورات جامعة البعث. كلية الهندسة المعمارية.
٢. هندسة الإنارة للدكتور المهندس فاروق القاعي. منشورات جامعة البعث. عام ٢٠٠٧/٢٠٠٨.
٣. التجهيزات الفنية للمنشآت (القسم الكهربائي) للدكتور فاروق القاعي. منشورات جامعة البعث ٢٠٠٧/٢٠٠٨.
٤. التجهيزات الفنية للمنشآت للدكتور فاروق القاعي والدكتور أسير إبراهيم. منشورات جامعة البعث ١٩٩٦/١٩٩٧.
٥. هندسة الإنارة الكهربائية للمهندس أوس محمود غباش. منشورات دار الرضوان. ٢٠٠٦.

تعاريف هامة في هندسة الإنارة

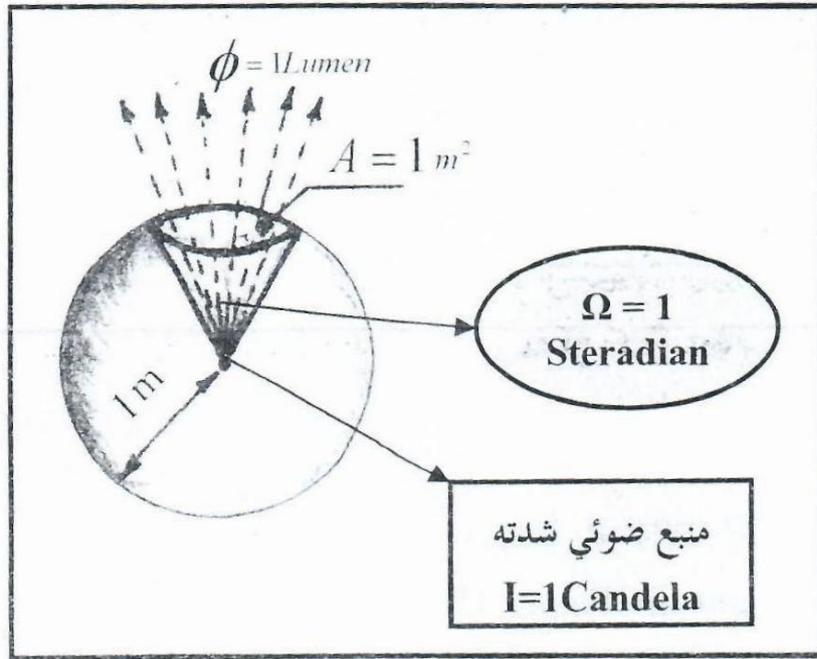
Important Definitions in Illumination Engineering

مقدمة:

في هذا الفصل سيتم عرض أهم التعاريف التي تتعلق بعلم الإنارة، وقد قمت بوضع رسوم توضيحية بجانب كل تعريف لكي تجعلك أكثر فهماً لمعنى هذه التعاريف.

1-1- التدفق الضوئي (الفيض) Φ : (Luminous flux)

يُعرف التدفق الضوئي بأنه: كمية القدرة الضوئية الصادرة من مصدر ضوئي، والقادرة على تحريك الإحساس بالرؤية، وهو بصورة عامة جزء من القدرة الإجمالية للمصدر الضوئي، ومثال ذلك: المصابيح الوهاجة، حيث أن القسم الأكبر من طاقتها يصدر على شكل طاقة حرارية أما ما تبقى من الطاقة فهي القدرة الضوئية. يقاس التدفق الضوئي بوحدة (اللومن Lumen) ويرمز له عادة بالرمز: Φ (فاي phi). يوضح الشكل (1-1) ذلك.

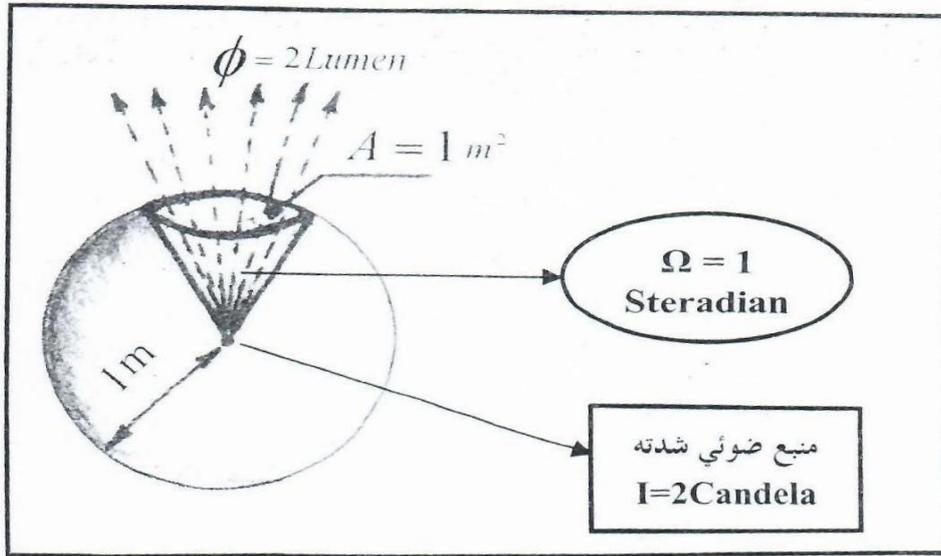


الشكل (1-1) : توضيح معنى التدفق الضوئي

- ◆ تعريف اللومن: هو كمية القدرة الضوئية Φ ، الصادرة من منبع ضوئي على شكل نقطة، بحيث تكون شدة هذا المنبع الضوئي مساوية إلى (1 كانديلا)، وتتبعث منه بشكل منتظم في كل الاتجاهات من خلال زاوية مجسمة وقدرها: (1 سترديان) ($\Omega = 1 \text{ steradian}$) الشكل (1-1).
- ◆ تعريف السترديان: هي الزاوية المجسمة التي تحدد مساحة قدرها: ($A = 1 \text{ m}^2$) على سطح كرة نصف قطرها (1m).

1-2- شدة الإستضاءة I: (Luminous intensity)

هي كمية التدفق الضوئي Φ المنبعث في زاوية فراغية معينة Ω (أوميغا Omega)، أي أنها نسبة التدفق الضوئي إلى الزاوية الفراغية التي ينبعث منها هذا التدفق، ويرمز لها عادة بالرمز: I ، حيث أن: ($I = \frac{\Phi}{\Omega}$)، وواحدة قياس شدة الإستضاءة هي الشمعة: (الكانديلا Candela)، والشكل (2-1) يوضح مثالاً على ذلك حيث: $I = \frac{\Phi}{\Omega} = \frac{2}{1} = 2 \text{ cd}$.



الشكل (2-1): توضيح معنى شدة الإستضاءة

فكرة هامة:

في الحياة العملية غالباً ما يُعطى على غلاف المصباح أو في جداول تابعة له مقدار اللومن Φ (Lumen) الصادر عنه، ولكن هذا التدفق لا يكون على شكل كرة متجانسة الشدة الضوئية حول المصباح وفي كل الاتجاهات، فمثلاً بوجود عاكس حول المصباح سيجعل الشدة الضوئية مختلفة التوزيع وليست على شكل كرة، كما سنرى لاحقاً في الشكل (1-14)، حيث أن الشدة الضوئية موزعة بشكل غير منتظم وخاصة بوجود عاكس حول المصباح، وبالتالي لمعرفة:

الشدة الضوئية المتوسطة الكروية Mean Spherical Candle Power (M.S.C.P)

$$I_{MSCP} = \frac{\Phi}{4 * \pi}$$

نطبق العلاقة التالية:

حيث:

Φ : الفيض الضوئي الكلي الصادر من المصباح وفي كل الاتجاهات، والذي يخرق كرة حوله.
(Steradian) $4 * \pi$: الزاوية المحسمة Ω ، والتي تحدد مساحة كامل الكرة المحيطة بالمصباح، حيث يخرق الفيض الكلي لهذا المصباح (والذي ربما يكون ذو شدة غير منتظمة) هذه الكرة.

الاستنتاج:

مساحة سطح الكرة تُعطى بالعلاقة: $S = 4 * \pi * R^2$ ، حيث: R نصف قطر الكرة، ومن تعريف السيتريديان نجد أن كرة بنصف قطر: R=1m تكون مساحتها: $S = 4 * \pi m^2$ ، وبما أن كل:

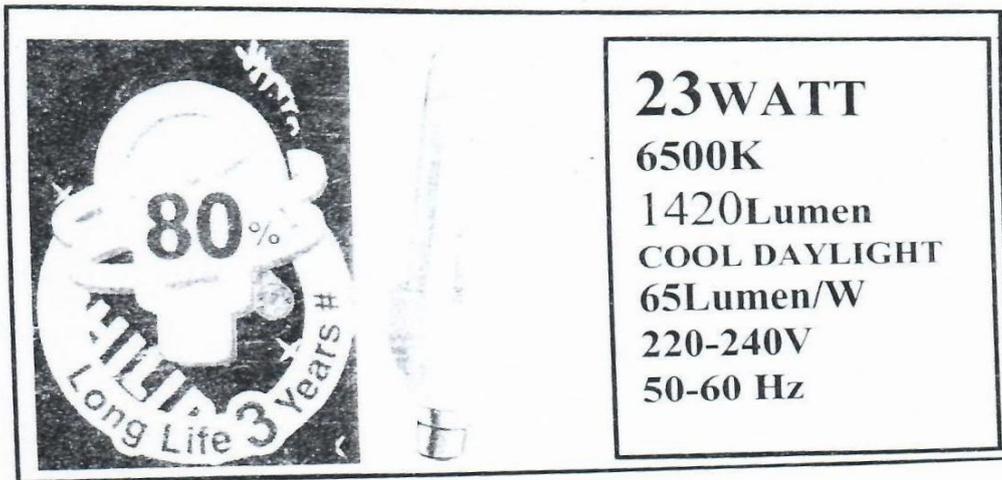
\leftarrow	1 Steradian*	من سطح هذه الكرة يحجز	1 m²
	4 * π Steradian	من سطح هذه الكرة تحجز	4 * π m²

مثال عملي 1:

مصباح موفر للطاقة باستطاعة $P = 23 W$ يعطي فيضاً ضوئياً وقدره: $\Phi = 1420 \text{ Lumen}$ ، كما هو واضح على الغلاف الخارجي التالي لإحدى الشركات الشكل (1-3)، حيث نجد أن شدته

$$I_{MSCP} = \frac{\Phi}{4 * \pi} = \frac{1420}{12.56} = 130 \text{ Candela}$$

الضوئية المتوسطة الكروية تساوي :

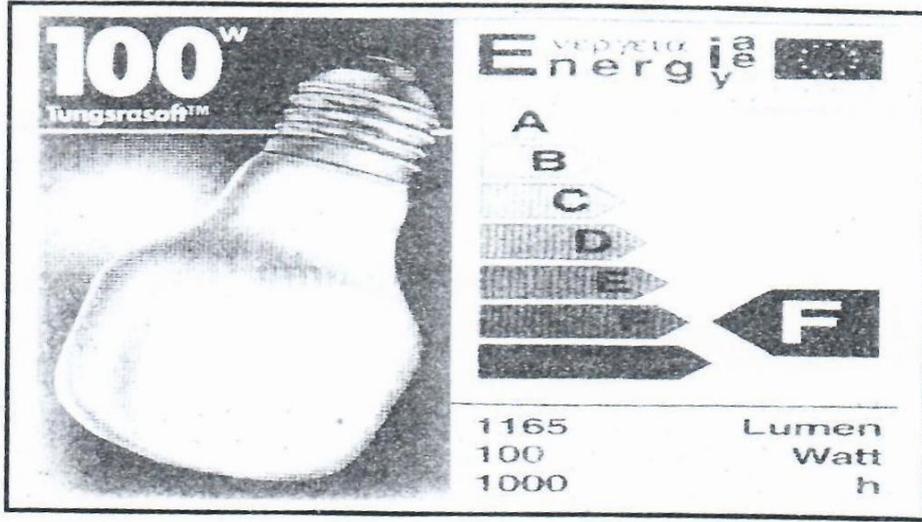


الشكل (1-3) : غلاف مصباح توفير الطاقة لإحدى الشركات

مثال عملي 2:

مصباح وهاج باستطاعة $P=100 W$ ، يُعطي فيضاً ضوئياً وقدره: $\Phi=1165 \text{ Lumen}$ ، كما هو موضح في الشكل (1-4)، حيث نجد أن الشدة الضوئية المتوسطة الكروية تساوي إلى :

$$I_{MSCP} = \frac{\Phi}{4 * \pi} = \frac{1165}{12.56} = 92.75 \text{ Candela}$$

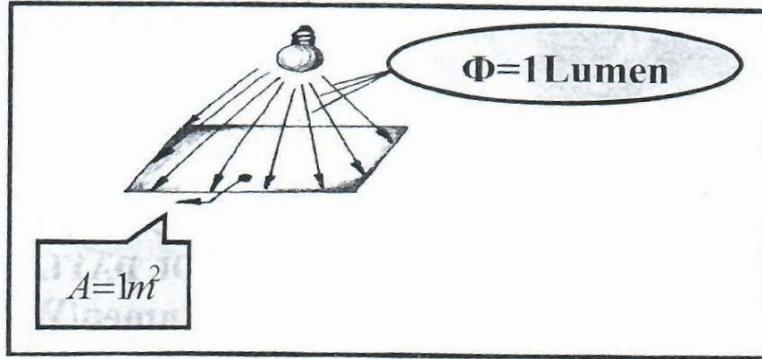


الشكل (1-4) : غلاف مصباح وهاج

1-3- شدة الإنارة (الإضاءة) E: (Illumination)

هي كمية التدفق الضوئي الذي يسقط على واحدة السطح، ورمزها (E)، ووحدتها

اللومن لكل متر مربع والتي تدعى عادة بـ (اللوكس Lux)، حيث: $1Lux = \frac{1Lumen}{1m^2}$ الشكل (1-5).



الشكل (1-5) : توضيح معنى شدة الإنارة

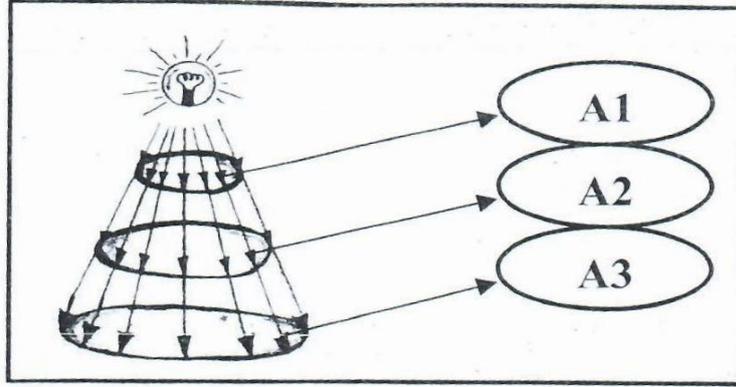
فكرة هامة:

لاحظ أخي القارئ الفرق بين شدة الإستضاءة I وشدة الإنارة E حيث أن:
 شدة الإستضاءة : هي كمية الضوء الصادرة من المنبع الضوئي، الشكل (1-2).
 شدة الإنارة : هي كمية الضوء الساقطة على سطح ما، الشكل (1-5).

مثال عملي:

يبين الشكل (1-6) مصباح وهاج استطاعته $P=100W$ ، والفيض الضوئي الصادر عنه $\Phi=1165 Lumen$ ، حيث نجد أن الفيض الضوئي الصادر عن هذا المصباح يحدد عدة شدات إنارة على سطوح مختلفة، وذلك حسب البعد عن المصباح أي:

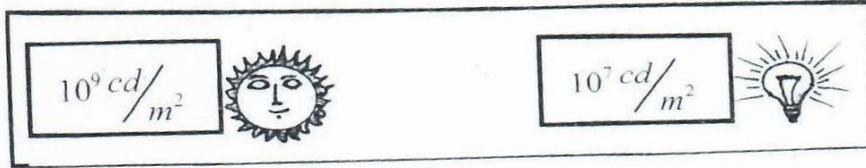
$E1=116.5\text{Lux}$	عليه شدة إنارة	$A1=10\text{ m}^2$	السطح
$E2=11.65\text{Lux}$	عليه شدة إنارة	$A2=100\text{ m}^2$	السطح
$E3=1.165\text{Lux}$	عليه شدة إنارة	$A3=1000\text{ m}^2$	السطح



الشكل (1-6) : شدة الإنارة على أسطح مختلفة حسب البعد عن المنبع

1-4- السطوع (اللمعان) B: (Brightness)

هو مقدار شدة الإستضاءة I المنبعثة من واحدة السطح لمنبع ضوئي، ورمزه عادة : (B)، ووحدته هي : $(\text{Candela}/\text{m}^2)$ ، والشكل (1-7) يبين السطوع الناتج عن الشمس وكذلك السطوع الناتج عن مصباح ذو فتيلة (وهاج) .



الشكل (1-7) : سطوع الشمس وكذلك سطوع مصباح وهاج

مثال عملي :

يمكنك ملاحظة أنه من الصعب جداً أن تنظر بعينيك وبشكل مباشر إلى مصباح وهاج في مترلك باستطاعة وقدرها $P=100\text{W}$ ، مع العلم أن الفيض الضوئي الصادر عنه هو $\Phi=1165\text{Lumen}$ ، ولكن يمكن أن تنظر إلى مصباح فلوريسانت $P=40\text{W}$ بفيض ضوئي أكبر $\Phi=2000\text{ Lumen}$!!!

التعليل :

إن مساحة سطح المصباح الوهاج صغيرة بالمقارنة مع مساحة سطح مصباح الفلوريسانت، لذلك نجد أن كمية الفيض الصادرة من واحدة السطح للمصباح الوهاج أكبر بكثير من الفلوريسانت، عندها نقول أن المصباح الوهاج أكثر سطوعاً من مصباح الفلوريسانت.

1-5- مردود المصباح η : (Lamp Efficiency)

هو نسبة التدفق الضوئي للمصباح إلى استطاعته، ويقاس باللومن لكل وات أي : $(\text{Lumen}/\text{Watt})$.

مثال عملي 1: يبين الشكل (1-8) مصباح فلوريسانت مستقيم (Fluorescent Lamp) له

البيانات التالية:

$$P=(40(\text{Lamp})+9(\text{Ballast}))W$$

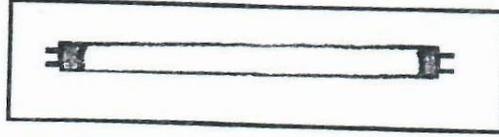
استطاعته الإجمالية : $P=49 \text{ Watt}$ ، حيث :

$$\Phi=1700 \rightarrow 2400 \text{ Lumen}$$

والفيض الضوئي له:

$$\eta = 35 \rightarrow 49 \text{ Lumen/Watt}$$

وبالتالي مردوده:



الشكل (1-8) : مصباح فلوريسانت مستقيم

مثال عملي 2: يبين الشكل (1-9) مصباح موفر للطاقة (Energy Saver Lamp):

$$P=23 \text{ Watt}$$

استطاعته الإجمالية:

$$\Phi=1420 \text{ Lumen}$$

والفيض الضوئي له:

$$\eta = 61.73 \text{ Lumen/Watt}$$

وبالتالي مردوده يعتبر جيداً:

ملاحظة هامة: هناك بعض أنواع مصابيح التوفير غير الأصلية مردودها منخفض وعمرها قصير.



الشكل (1-9) : مصباح توفير الطاقة

مثال عملي 3:

يبين الشكل (1-10) مصباح وهاج (Incandescent Lamp):

$$P=100 \text{ Watt}$$

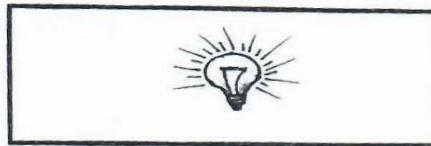
استطاعته الإجمالية:

$$\Phi=1165 \text{ Lumen}$$

والفيض الضوئي له:

$$\eta = 11.65 \text{ Lumen/Watt}$$

وبالتالي مردوده:



الشكل (1-10) : مصباح وهاج

1-6- الاستهلاك النوعي (Specific Consumption)

هو نسبة استطاعة منبع الضوء إلى متوسط شدته الضوئية، ويقاس بوحدة الوات لكل كانديلا:

(Watt/Candela)، أي كم من الاستطاعة الكهربائية يستهلك المنبع الضوئي ليعطي شدة استضاءة

معينة، ومثال ذلك:

	
<p>مصباح فلوريسانت باستطاعة: $P = 49\text{Watt}$ استهلاكه النوعي تقريبا: 0.2 Watt Candela</p>	<p>مصباح وهاج باستطاعة: $P = 100\text{Watt}$ استهلاكه النوعي تقريبا: 0.7 Watt Candela</p>

ملاحظة:

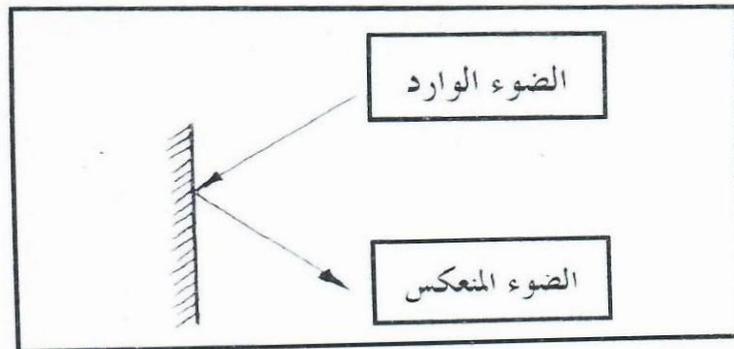
نجد عمليا أن الاستهلاك النوعي للمصابيح الوهاجة أكبر من الاستهلاك النوعي لمصابيح الفلوريسانت.

1-7- عامل الانعكاس (Reflection Factor)

هو العامل الذي يعبر عن عملية امتصاص الضوء من قبل السطح العاكس وذلك عند ورود الضوء عليه أي :

$$\text{عامل الانعكاس} = \frac{\text{الضوء المنعكس}}{\text{الضوء الوارد}}$$

يبين الشكل (1-11) أن الجدار يقوم بامتصاص جزء من الطاقة الضوئية وعكس الباقي، ويتبع هذا العامل لون طلاء الجدار وحشونته ومادته وكمية الأتربة المتراكمة عليه ... الخ.



الشكل (1-11) : عملية الانعكاس عن الأسطح

مثال عملي:

عندما يكون طلاء جدران المكان بألوان فاتحة (عامل انعكاسها كبير)، ومثال ذلك: اللون الأبيض، عندها يكون عدد المصابيح اللازمة لإنارة المكان أقل بكثير مما هي عليه في الألوان الغامقة.

1-8- عامل الاستنثار أو الاستخدام أو الاستفادة CU:

(Coefficient of Utilization)

هو نسبة التدفق الضوئي الكلي الواصل إلى مستوى العمل إلى التدفق الكلي الصادر عن جهاز الإنارة.

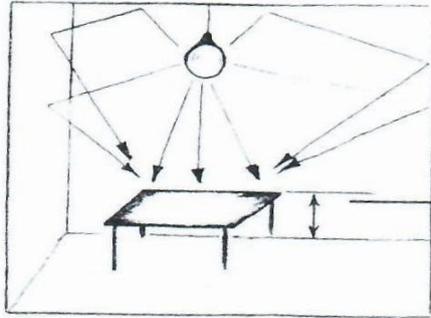
أي:

التدفق الكلي الواصل إلى مستوى العمل

= عامل الاستفادة CU

التدفق الكلي الصادر عن المصباح

يُظهر الشكل (1- 12) انعكاس الضوء عن: (السقف - الجدران - العاكس).



ارتفاع مستوى العمل

الشكل (1- 12) : يبين الانعكاس عن السقف و الجدران و العاكس و يظهر ارتفاع مستوى العمل عن الأرض

ملاحظة هامة جداً:

يعتبر عامل الاستفادة من أهم العوامل التي تحدد كمية الفيض الضوئي اللازم لإنارة مكان ما، ويتعلق هذا العامل بعدة أمور وهي:

1- عامل انعكاس السقف ρ_c (Rho Ceiling):

يتبع لون طلاء السقف أو حتى ورق الجدران وكذلك تركيب مادة السقف (حجر - خشب - ألنيوم... الخ)، وأيضاً فيما إذا كان السقف مستعاراً أو طبيعياً، حيث: (قيمة هذا العامل هي أقل من الواحد).

2- عامل انعكاس الجدران ρ_w (Rho Wall):

يتبع أيضاً لون طلاء الجدران أو ورق الجدران و فيما إذا كان الجدار ملبس بالزخارف الخشبية أو ما شابه ذلك... الخ، حيث: (قيمة هذا العامل هي أقل من الواحد).

3- كفاءة العاكس المستخدم V (Nu):

عندما يوضع عاكس حول المصباح فإن الفيض الضوئي المكافئ للمصباح سوف ينخفض، وذلك بسبب امتصاص العاكس لجزء من ضوء المصباح الأصلي فيما لو كان العاكس غير موجود، ولذلك تعطى قيمة كفاءة العاكس بالعلاقة التالية:

الفيض الضوئي المكافئ للمصباح مع العاكس $\Phi(\text{Lamp+Reflector})$

= كفاءة العاكس V

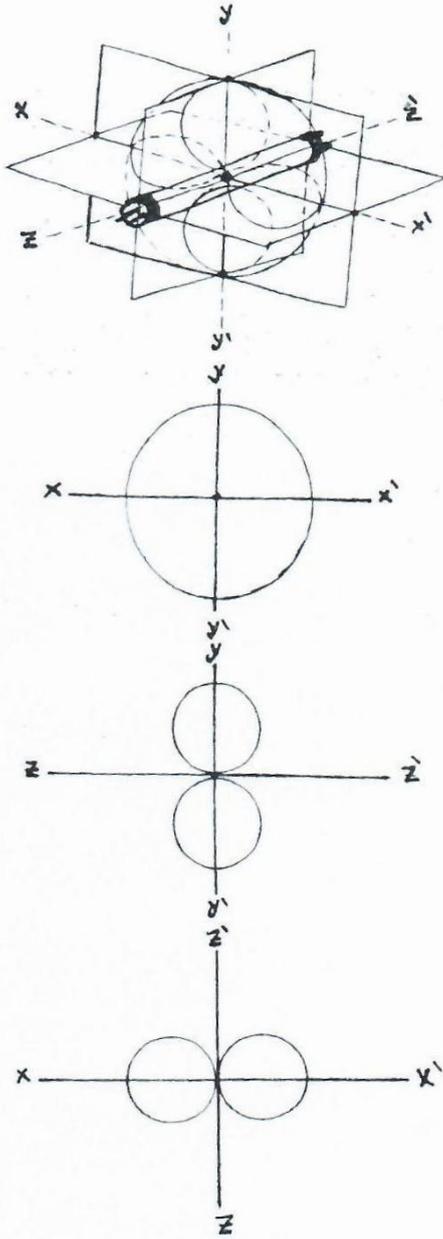
الفيض الأصلي للمصباح بدون عاكس $\Phi(\text{Lamp Only})$

ملاحظة عملية:

من أجل ذلك كله تصنع العواكس من مواد ذات عامل انعكاس عالي، وألوان فاتحة، وسطوح صقيلة.

1-9- المنحنيات القطبية: (Polar Curves)

إن كل التعاريف السابقة أخذت على أساس أن الشدة الضوئية للمنبع موزعة بانتظام في كافة الاتجاهات، إلا أنه في الواقع لا يوجد مصباح يعطي هذا التوزيع، وبما أننا نحتاج إلى معرفة توزيع الضوء الصادر عن المنبع الضوئي، كان لا بد لنا من استخدام منحنيات تدعى بالمنحنيات القطبية. يبين الشكل (1-13) المنحنيات القطبية لتوزيع شدة الإضاءة حول مصباح فلوريسانت على ثلاثة مستويات:



المنحنى القطبي الشاقولي 1:

وذلك عندما نرسم الشدة الضوئية في المستوي المصباح (ZZ') الشاقولي والعمودي على محور $(XX'-YY')$.

المنحنى القطبي الشاقولي 2:

وذلك عندما نرسم الشدة الضوئية في المستوي المصباح $(ZZ'-YY')$ الشاقولي والمار من محور المصباح (ZZ') .

المنحنى القطبي الأفقي:

وذلك عندما نرسم الشدة الضوئية في المستوي المصباح $(XX'-ZZ')$ الأفقي والمار من محور المصباح (ZZ') .

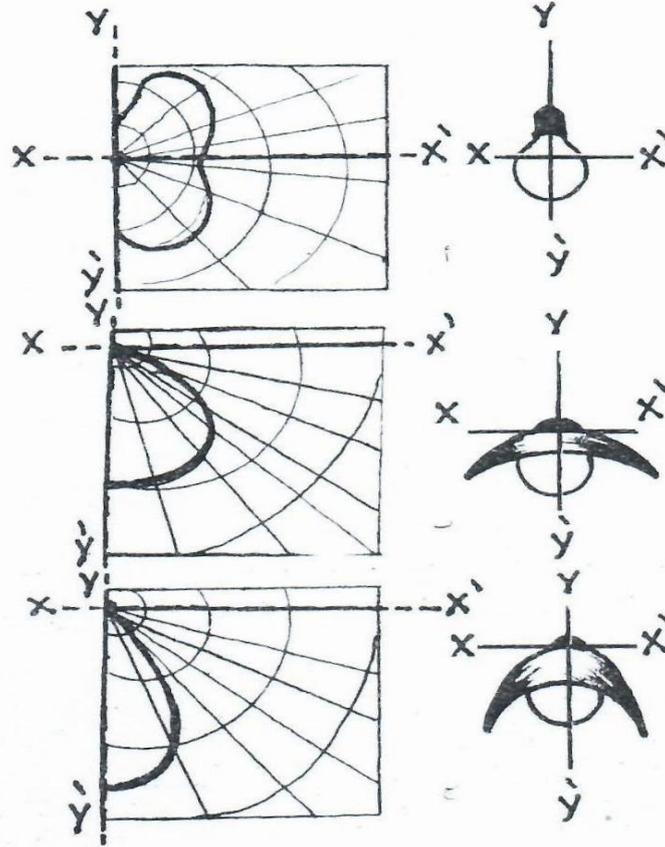
ملاحظة عملية:

الشكل (1-13): المنحنيات القطبية

في الحياة العملية يمكن أن نعرف توزيع الشدة الضوئية حول أي مصباح من خلال مخططات مرفقة مع المصباح من قبل الشركة الصانعة له، وإلا فإنه من الممكن أن نقدر هندسياً شكل توزيع الشدة الضوئية لمصباح ما وذلك تبعاً لشكل المصباح نفسه، وبوجود عاكس أو عدم وجوده.

مثال عملي:

مصباح وهاج عادي يكون توزيع شدته الضوئية كما هو مبين في الشكل (1-14-أ) حيث نلاحظ أن الفيض الضوئي يحيط بالمصباح من كل جهة وبشدات مختلفة. لكن الشكل (1-14-ب) يُبين كيف أن وجود عاكس غير من توزيع الشدة الضوئية حول المصباح بحيث لم يبق هناك فيض ضوئي باتجاه الأعلى، بل جميعه أصبح باتجاه الأسفل، أما الشكل (1-14-ج) فيبين توزيع الشدة الضوئية باتجاه الأسفل بشدة أكبر، وذلك بسبب أن العاكس أصبح أشد تقعرًا من العاكس السابق .



الشكل (1-14) : توزيع الشدة الضوئية لمصباح وهاج

ملاحظة عملية هامة:

إن وجود العواكس يُغيّر من اتجاه وشدته الفيض الضوئي من جهة إلى جهة أخرى، ولكن كل ذلك على حساب نقص الفيض الكلي بسبب عامل الامتصاص والانعكاس للعاكس نفسه.

1-10- عامل اتساخ جهاز الإنارة :

Luminaire Dirt Depreciation (LDD)

هو العامل الذي يُعبر عن نقصان كمية الضوء الناتجة عن أجهزة الإنارة، بسبب اتساخها الناجم عن

(الغبار-الدخان-الأوساخ-... الخ)، وكذلك اتساخ الجدران والأسقف والأرضية العاكسة للضوء وأحياناً يدعى عامل الصيانة (Maintenance Factor) ويعبر عنه بالعلاقة التالية:

الإضاءة عند الشروط الطبيعية (المتسخة)

عامل اتساخ جهاز الإضاءة LDD =

الإضاءة عند الشروط النظيفة

الإضاءة عند الشروط الطبيعية (المتسخة):

(حيث يوجد اتساخ للمصباح وكل السطوح العاكسة من سقف-جدران- أرضية-عاكس).

الإضاءة عند الشروط النظيفة:

(عند بداية تركيب التجهيزات حيث كل شيء نظيف المصباح وسطح كل من السقف، والجدران، والأرضية، والعاكس).

1-11- التباين: (Contrast)

هو الفرق بين مظهري جزأين أو شيئين في مجال الرؤية يُنظر إلى كليهما معاً أو كلاً على حدى، وقد يكون الاختلاف ناتج عن اللون أو درجة السطوع، ويعبر عن التباين بالعلاقة التالية:

سطوع الثاني - سطوع الأول

= التباين

سطوع الأول

مثال توضيحي:

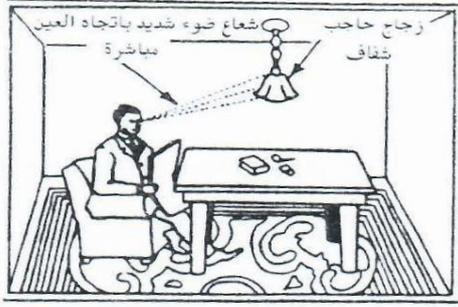
لو نظرت إلى ورقة كتاب قد كُتبت عليها بعض الأسطر، عندها سيكون الجزء الأول هو الورقة، والجزء الثاني هو الأسطر المكتوبة، وبالتالي نقول أن هناك تبايناً كبيراً إذا كانت الورقة شديدة السطوع، أي أكثر بياضاً، والأسطر أقل سطوعاً أي أكثر سواداً.

1-12- الانبهار: (Glare)

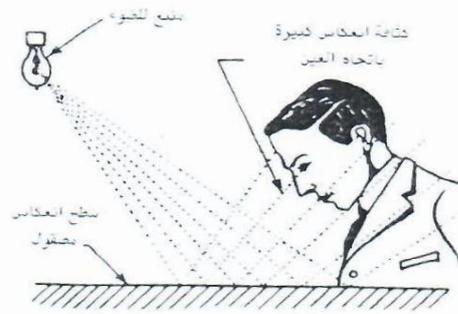
هو الظاهرة المزعجة للبصر، والتي تترك انطباع للصورة في العين لمدة من الزمن عندما ينظر الإنسان إلى منبع ضوئي بشكل مباشر (مثلاً النظر إلى المصباح مباشرة)، أو غير مباشر (مثلاً الضوء المنعكس عن عاكس ما)، ويكون ذلك المنبع ذو شدة ضوئية ودرجة سطوع (لمعان) كبيرين بالنسبة لشدة إضاءة ودرجة سطوع المحيط بهذا المنبع، وأكبر مثال على الانبهار هو الانبهار الناتج عن نظر سائق سيارة بشكل مباشر إلى ضوء سيارة أخرى مقابلة له، طبعاً ذلك يكون في الليل فقط وذلك بسبب التباين الشديد بين المنبع الضوئي والشدة الضوئية للمنبع المحيط به وهو هنا الظلام، أما في النهار فلا يحدث الانبهار، يوضح الشكل (1-15) الانبهار غير المباشر (أ)، وكذلك الانبهار المنعكس (ب).

ملاحظة عملية هامة:

في الحياة العملية يجب توخي الحذر من حدوث انبهار البصر أثناء دراسة مشاريع الإضاءة، وذلك من خلال عدم وجود مصابيح ذات شدة ضوئية كبيرة و سطوع كبير في زاوية نظر الإنسان المباشرة.



الانبهار المباشر (ب)



الانبهار غير المباشر (المنعكس) (أ)

الشكل (1-15) : الانبهار المباشر و المنعكس

أنواع الانبهار:

1- الانبهار المزعج: (Discomfort Glare)

هو الانبهار الذي يؤدي إلى إزعاج أو عدم ارتياح في الرؤية ولكن يمكن الاستمرار في الرؤية.

2- الانبهار المعجز (المعوق): (Disability Glare)

هو الانبهار الذي يؤدي إلى عدم الرؤية للأشياء بغض النظر عن الإزعاج أو عدم الارتياح في الرؤية.

1-13- الجسم الأسود: (Black Body)

هو الجسم الذي يمتص كل الإشعاعات الساقطة عليه، كما أنه الجسم الذي إذا ارتفعت درجة حرارته تبعت منه في بادئ الأمر حرارة إشعاعية غير مرئية، ومع ازدياد درجة الحرارة يبدأ الجسم في التوهج بلون أحمر قاتم ثم بلون أحمر قاني ثم يمر بمجموعة من الألوان حتى يشع ضوء أبيض (الحرارة البيضاء) ثم ضوء أزرق. يبين الجدول (1-1) العلاقة بين لون الجسم الأسود ودرجة حرارته، حيث عند بداية التسخين يكون اللون أحمر - كما ذكرنا - وأخيراً يصبح اللون أزرق سماوي ناصع.

الجدول (1-1) : العلاقة بين لون الجسم الأسود ودرجة حرارته

900 → 2500 K	أحمر
3000 K	أصفر
5000 K	أبيض
8000 → 10000 K	أزرق باهت
60000 → 100000 K	أزرق سماوي ناصع

1-14- درجة حرارة اللون: (Colour Temperature)

إن أي منبع للضوء يصدر لوناً محدداً لهذا الضوء، ويتصف عادة هذا اللون بدرجة حرارة الجسم الأسود الذي تم تسخينه للدرجة التي أصدر عندها الجسم الأسود لوناً مماثلاً للون الذي أصدره المنبع الضوئي. فمثلاً يمكن أن نصف الضوء الناتج من مصباح فلوريسانت بأن درجة حرارته هي 4000 K لأن الضوء الناتج عنه له لون يطابق اللون الناتج عن جسم أسود تم رفع درجة حرارته إلى 4000 K.

ملاحظة:

يجب ملاحظة أنه ليس من الضروري أن يكون التوزيع الطيفي للطاقة للمنبع الضوئي (والذي سنشرحه في الفقرة التالية) متساوي مع التوزيع الطيفي للطاقة للجسم الأسود عند درجة حرارة التطابق، ولكن إن حصل ذلك نطلق على المنبع الضوئي اسم المصدر الطبيعي للضوء، وفيما يلي الجدول (1-2) الذي يبين المصادر الطبيعية للضوء ودرجات حرارتها:

الجدول (1-2) : المصادر الطبيعية للضوء ودرجات حرارتها

$2000 K^\circ$	شمعة أو مصباح زيت
$2500 \rightarrow 3000 K^\circ$	مصباح متوهج
$4000 K^\circ$	ضوء الشمس عند الأصيل
$5000 K^\circ$	ضوء الشمس عند الظهر
$6500 K^\circ$	سماؤها غيوم
$10000 K^\circ$	سماؤها زرقاء

الشرح:

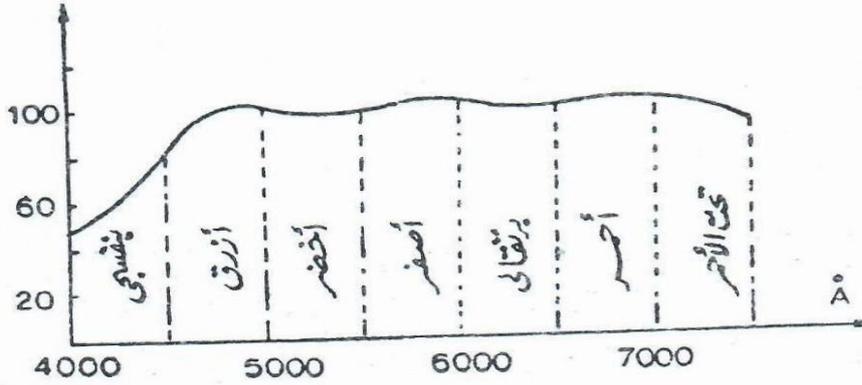
هذا يعني أنه إذا تم تسخين الجسم الأسود إلى درجة حرارة $10000 K^\circ$ فإن الضوء الناتج عنه سوف يكون بلون السماء الزرقاء، وإذا تم تسخينه إلى درجة حرارة $2000 K^\circ$ فإن الضوء الناتج عنه سوف يكون بلون شمعة أو مصباح زيتي.

1-15- التوزيع الطيفي للطاقة (الطاقة النسبية):

(Percent Energy)

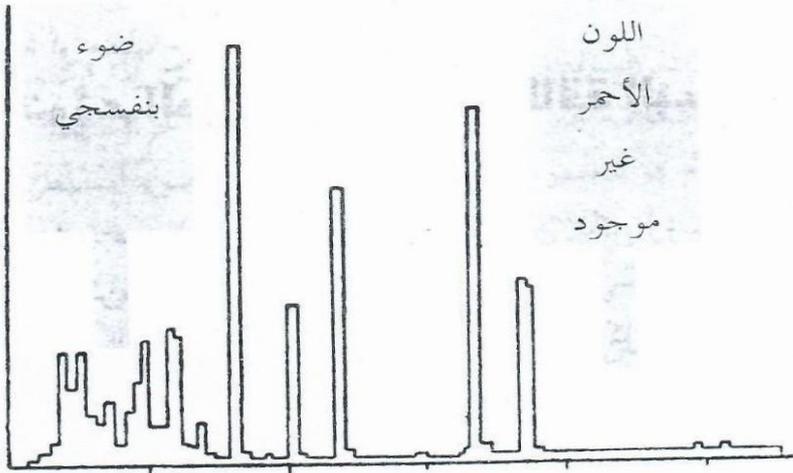
يوجد للضوء الصادر عن المصابيح الكهربائية لون معين يمكن رؤيته بالعين المجردة لأنه في المجال المرئي من طيف الطاقة، لكن هذا الضوء ليس وحيد التركيب بل هو مزيج من عدة أطيايف لونية تكون محصلتها اللون المرئي الكلي. على هذا الأساس يعطى مع كل نوع من أنواع المصابيح في الحياة العملية منحني التوزيع الطيفي للطاقة، والذي يُظهر طاقة كل لون من الألوان التي يصدرها هذا المصباح، فنجد مثلاً على ذلك التردد الطيفي لضوء الشمس المبين بالشكل (1-16) حيث نلاحظ أن جميع الألوان لها نفس الطاقة النسبية تقريباً أي أن الطيف مستمر، بينما الشكل (1-17) يبين التوزيع الطيفي للطاقة والناتج عن مصباح بخار الزئبق ذو الضغط العالي، حيث نلاحظ أن الخطوط الطيفية الغالبة هي (البنفسجي - الأخضر - الأصفر)، حيث أن الطيف هنا غير مستمر لذلك فإن الضوء الناتج عن المصباح لونه أبيض مائل إلى الأزرق المخضر، وهذه هي محصلة الألوان السابقة. كما نلاحظ أن اللون الناتج يبدو غير مريح للعين لأنه لا يملك إشعاع يقع في الجزء الأحمر من الطيف المرئي، وبما أن جزء كبير من الطاقة الإشعاعية يقع في المجال فوق البنفسجي من الطيف، لذلك يتم إكساء السطح الداخلي للغلاف الخارجي للمصباح بطبقة متفسفرة تقوم بتحويل جزء من هذه الطاقة إلى ضوء مرئي، وباستخدام مادة متفسفرة مناسبة يمكن إضافة كمية من اللون الأحمر إلى الإشعاع الضوئي الناتج مما يرفع من دليل أمانة نقل الألوان، عندها سيكون التوزيع الطيفي للطاقة موضحاً بالشكل (1-18) حيث نلاحظ وجود طيف لونه أحمر.

الطاقة النسبية
Percent Energy

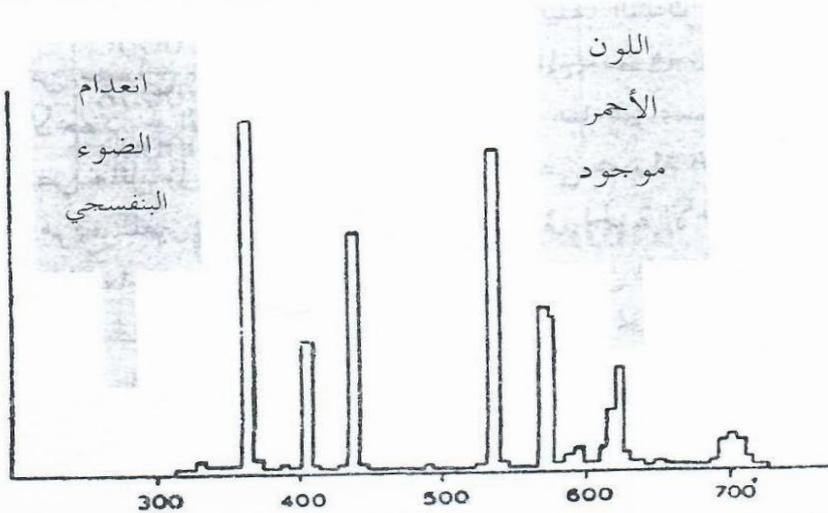


الشكل (1-16) :
التردد الطيفي للألوان
ضوء الشمس
طول الموجة (انغستروم)

الطاقة النسبية
Percent Energy



الشكل (1-17) :
التردد الطيفي للألوان
مصباح بخار الزئبق
ذو زجاجة شفافة
طول الموجة (nm)



الشكل (1-18) :
التردد الطيفي للألوان
مصباح بخار الزئبق
ذو زجاجة متفسفرة
طول الموجة (nm)

مثال عملي:

تم مرة اختبار اللون الناتج عن احتراق الصوديوم فتبين أنه يشبه لون البرتقالة (كما يراها الإنسان في ضوء النهار)، وعند اختبار الضوء المنتشر من الطبقة السطحية للبرتقالة تبين أنه يحتوي على كل الترددات المرئية تقريباً في حين أن الطيف الناتج عن بخار الصوديوم لا يعطي إلا خطين فقط من الطيف الضوئي والتي أطولها (589.6 nm , 589 nm)، وبالتالي يمكن القول أنه يمكن للونين متماثلين من مصدرين غير طبيعيين أن يكون لهما توزيعين طيفيين للطاقة مختلفين.

1-16- دليل أمانة نقل الألوان R: (General Colour Rendering Index-R)

لو أجرينا التجربة التالية وذلك بإحضار جسماً له ألون (أحمر، وأزرق، وأصفر) وسلطنا عليه تبعاً:

1- ضوء طبيعي (ضوء النهار الطبيعي) .

2- الضوء الأصفر لمصباح الصوديوم .

3- ضوء مصباح فلوريسانت له نفس درجة حرارة مصباح الصوديوم.

سنجد عند تسليط الضوء الأصفر لمصباح الصوديوم أن جميع ألوان الجسم تبدو كدرجات مختلفة من اللون الرمادي، أي أن الألوان غير واضحة تماماً تحته. أما عند مصباح الفلوريسانت فسنجد تمييزاً أكبر بين الألوان ولكنها تختلف اختلافاً كبيراً عن الألوان عند تسليط الضوء الطبيعي. يعود السبب الرئيسي في ذلك إلى أن اللون الظاهري لأي سطح يعتمد أساساً على التركيب الطيفي للضوء الساقط على السطح وعلى مدى انعكاس مركباته المختلفة، ومنه نجد أن درجة حرارة اللون لأي مصدر ضوئي غير طبيعي غير كافية لوصف مقدرة هذا المصدر على إظهار الألوان الحقيقية للأشياء التي تنار بضوئه ولذلك وضعت اللجنة الدولية للاستنارة:

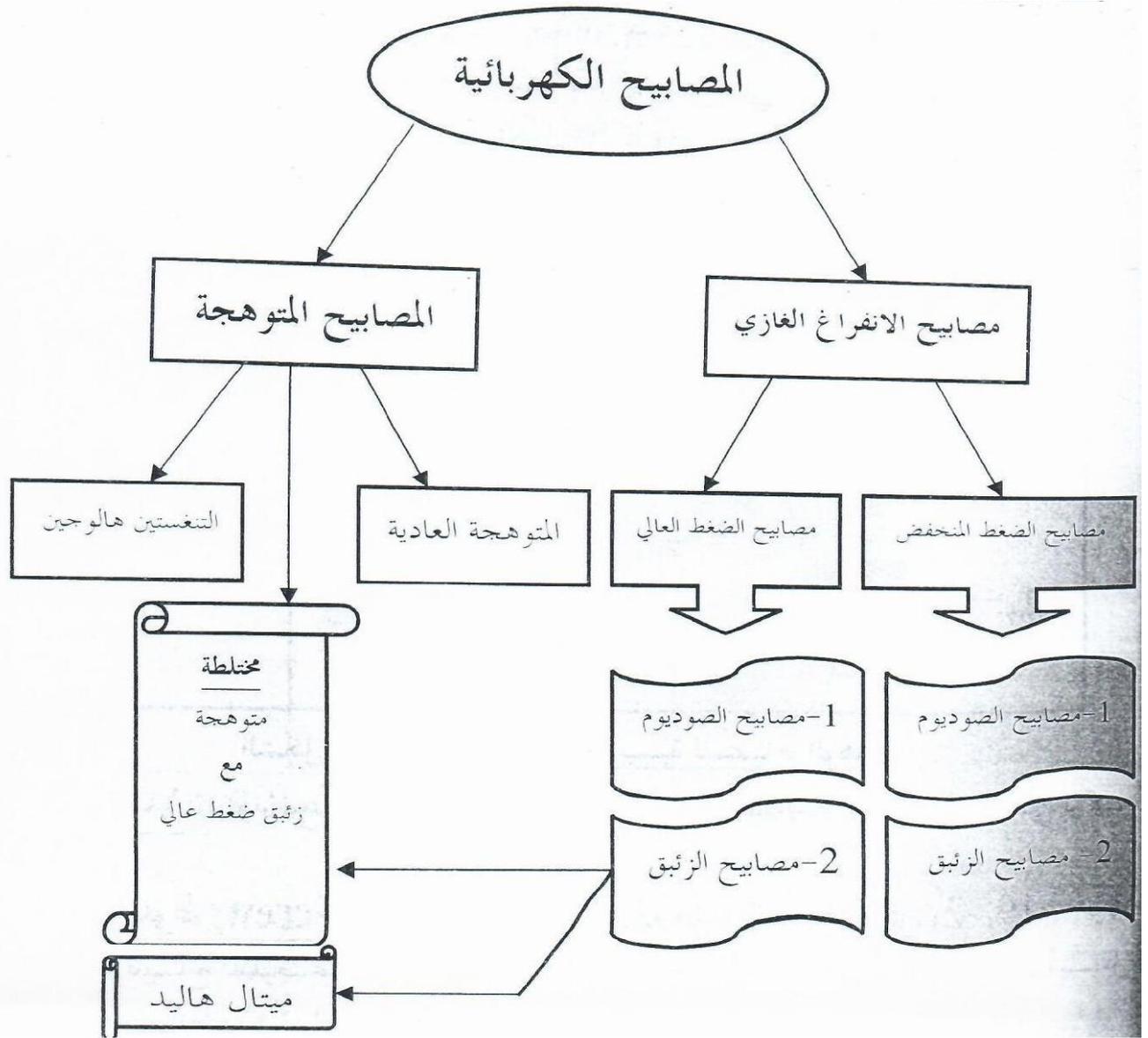
(CIE) (International Commission On Illumination) معياراً لقياس درجة أمانة

نقل الألوان، وإيجاد قيمة هذا الدليل يتم على الشكل التالي: يتم تحديد الفارق في اللون عندما تضاء ثمان عينات، وكل عينة من العينات لها ألوان قياسية محددة و مختلفة عن بعضها البعض باللون، بحيث أولاً تضاء بالمنبع المراد تعبيره ومراقبة الألوان الظاهرة والمنعكسة عن العينات الثمانية، مثلاً (ضوء مصباح صوديوم)، وثانياً تضاء بمنبع قياسي، ومن القيمة المتوسطة للفروقات الثمانية بين إضاءة المنبع المختبر والمنبع القياسي يتم حساب دليل أمانة نقل الألوان لمنبع الضوء المختبر.

في حال تطابق جميع القراءات (أي تطابق التوزيع الطيفي لمنبع الاختبار وللمنبع القياسي) تكون قيمة الدليل 100 ، وكلما زادت الفروقات بين القراءات كلما قلت قيمة هذا الدليل.

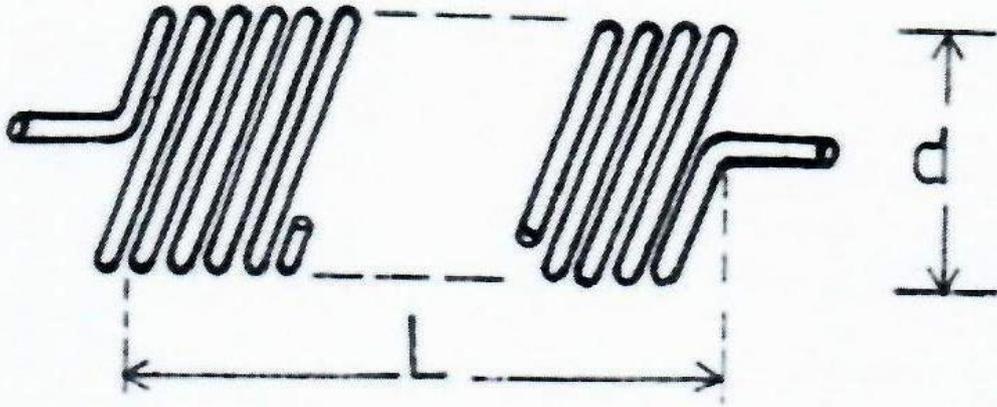
مثال عملي:

نجد أن في مصباح الانفراغ الزئبقي الشفاف - ذو الضغط العالي المبين طيفه الطافي بالشكل (1-17) ذو دليل أمانة نقل اللون رديئة جداً، وتصل من (20→15) وذلك بسبب عدم وجود اللون الأحمر، ولكن بوضع المادة المتفسفرة وظهور اللون الأحمر عنها كما هو واضح في التوزيع الطيفي للطاقة المبين بالشكل (1-18) فإن دليل أمانة نقل اللون يرتفع ليصبح (40).



الشكل: يبين أهم المصابيح المستخدمة في هندسة الإنارة الكهربائية.

كهربائية كبيرة للحفاظ على درجة حرارة الفتيل مما يؤدي إلى تخفيض مردوده وجعله أدنى من مردود مصباح الفراغ ويمكن التغلب على هذه الصعوبة بلف الفتيل على شكل اهليلجي مغلق تقريباً (كما هو موضح في الشكل (٦-١)). حيث تتكون طبقة رقيقة من الغاز على الفتيل وبتزلق تيار الحمل فوق هذه الطبقة.



الشكل (٦-١) فتيل اهليلجي نصباح منوهج مملوء بالغاز

وإذا كان الفاصل بين لفتين متجاورتين من الفتيل أقل سماكة من اثنتين من تلك الطبقات العازية فلا يمكن للغاز أن يمر بين اللغات ليمس المعدن.

فالسطح الذي يمكن للغاز أن يمسه هو عملياً سطح قضيب طوله (L) وقطره (d) . وبما أن سطح هذا القضيب هو أقل بكثير من سطح الفتيل فإن ضياع الحرارة بالحمل ينقص بمقدار محسوس.

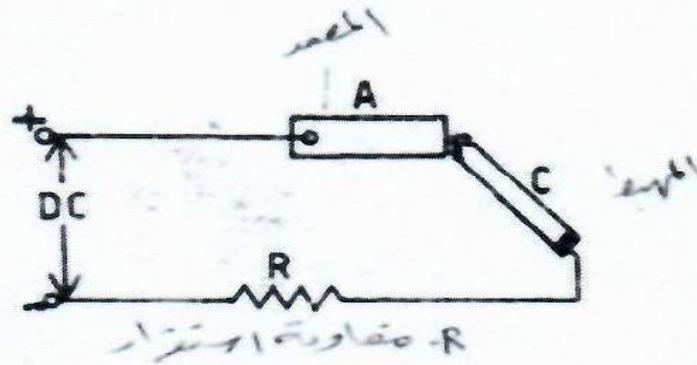
وفي المصابيح الغازية ذات الاستطاعة $100 [W]$ (واط) يمكن لف الفتيل الأهليلجي ضمن اهليلج خشن وتنقيص المساحة المعرضة للغاز لمدى أبعد، وبذلك يزداد مردود المصباح بمقدار (10% إلى 20%) فوق مردود المصباح الغازي ذي الأهليلج المفرد.

إن مردود هذه المصابيح الذي يمثل نسبة كمية الضوء المنبعث إلى الطاقة الكهربائية المستخدمة هو منخفض. وكذلك فإن عمرها قصير (حوالي 1000 ساعة) لذلك فإن استعمالها في إنارة الشوارع أصبح قليلاً.

وتبين الجداول من (١-٣) حتى (٣-٣) في الملحق (I) مواصفات مصابيح فيليبس (Philips) المتوهجة للإستعمالات المختلفة.

٢-٣-١- مصباح القوس الكهربائي Electric - Arc Lamp:

يتألف مصباح القوس الكهربائي من قضيبين من الفحم، أحدهما يسمى المصعد (A) والثاني المهبط (C) موصولين مع بعضهما البعض على التسلسل عن طريق مقاومة استقرار (Stabilizing Resistance) كما هو موضح في الشكل (٧-١). وينشأ القوس الكهربائي باتصال القضيبين مع بعضهما، وعندما يكون القضيبان على وشك الانفصال تكون مساحة الإتصال (التلامس) صغيرة جداً ومقاومة الإتصال عالية جداً. وبذلك تكون الحرارة المولدة كافية لرفع حرارة نهايتي القضيبين إلى درجة التوهج التي تجعل القطب السالب (C) يصدر إلكترونات فور انفصال القضيبين. وتنتج هذه الإلكترونات باتجاه المصعد (A) وتصل إلى سرعة عالية تكفي لتأيين بخار الفحم الذي يملأ الفراغ بين القطبين. وترحل الشوارد الموجبة الناشئة عن هذا التأين إلى المهبط (C) فتصطدم به وبذلك تحافظ على درجة حرارة نهايته ليستمر بإصدار الإلكترونات.



الشكل (٧-١) دائرة مصباح القوس الكهربائي

تصل درجة حرارة المصعد المتوهج حوالي $3500^{\circ}C$ ، حيث تجعله يصدر حوالي (85%) من القدرة الضوئية للمصباح. كما أن القطب الموجب يُستهلك بسرعة أكبر من القطب السالب ويبلغ فرق الكمون عبر القوس الكهربائي حوالي (45-60) فولط وتوتر التغذية (70-100) فولط وتستخدم هذه المصابيح في آلات الإسقاط السينمائي (Cinema Project) والأضواء الكاشفة (Search Lights) التي تتطلب منبعاً ضوئياً مركزياً.

٢-٣-١- مصابيح الإنفراغ الكهربائي Electric Discharge Lamps:

تعتمد مصابيح الإنفراغ الكهربائي في مبدأ عملها على الوميض الذي يصحب

تأين الغازات وهناك أنواع عديدة من تلك المصابيح، من أهمها:

أ- المصابيح التي يصدر إشعاعها عن الإنفراغ الكهربائي مباشرة كما في مصباح بخار الزئبق ذي الضغط العالي (*High-Pressure-Mercury-Vapour*) وفي مصباح بخار الصوديوم ذي الضغط المنخفض (*Low Pressure Sodium Vapour*) وفي مصابيح النيون (*Neon Lamps*).

ب- المصابيح التي يحرض فيها الإشعاع الناتج عن الإنفراغ مادة وضاءة (*Flourescent Material*) كما في مصباح بخار الزئبق الومضاء.

١-٣-١- مصباح بخار الزئبق ذي الضغط العالي:

يتألف من أنبوب من السيليكات (الكوارتز)، له قطبان من التنغستين مطلين بأكسيد بحسن من إرسال الإلكترونات، وكذلك له قطب مساعد للإشعاع.

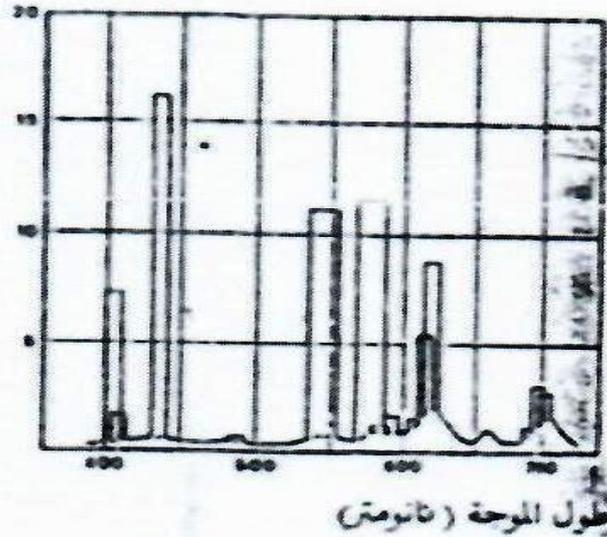
يبدأ الأنبوب بكمية قليلة من الغاز الذي هو غالباً ما يكون الأرجون والزئبق. يتندى الإشعاع عند القطب المساعد الذي يسخن تدريجياً، ثم يتبخر الزئبق ويرتفع ضغط المزيج الغازي، فيؤدي ذلك إلى تحسين عملية التفريغ بشكل كبير فتشكل الشرارة بين القطبين الرئيسيين بعد ذلك بقليل.

وتستقر عملية التفريغ بواسطة ملف خائق يوضع على التسلسل، ويصل ضغط الغاز هنا إلى 10 ضغط جوي، كما تقل درجة حرارة السيليكات إلى حوالي $700 [C^{\circ}]$ وترتفع الحرارة تدريجياً حتى تستقر عملية التفريغ الرئيسية وذلك خلال ما يقارب خمس دقائق. ويتغير اللون خلال هذه الفترة من الأحمر الخاص بالأرجون إلى الأزرق المحضر الخاص بالزئبق.

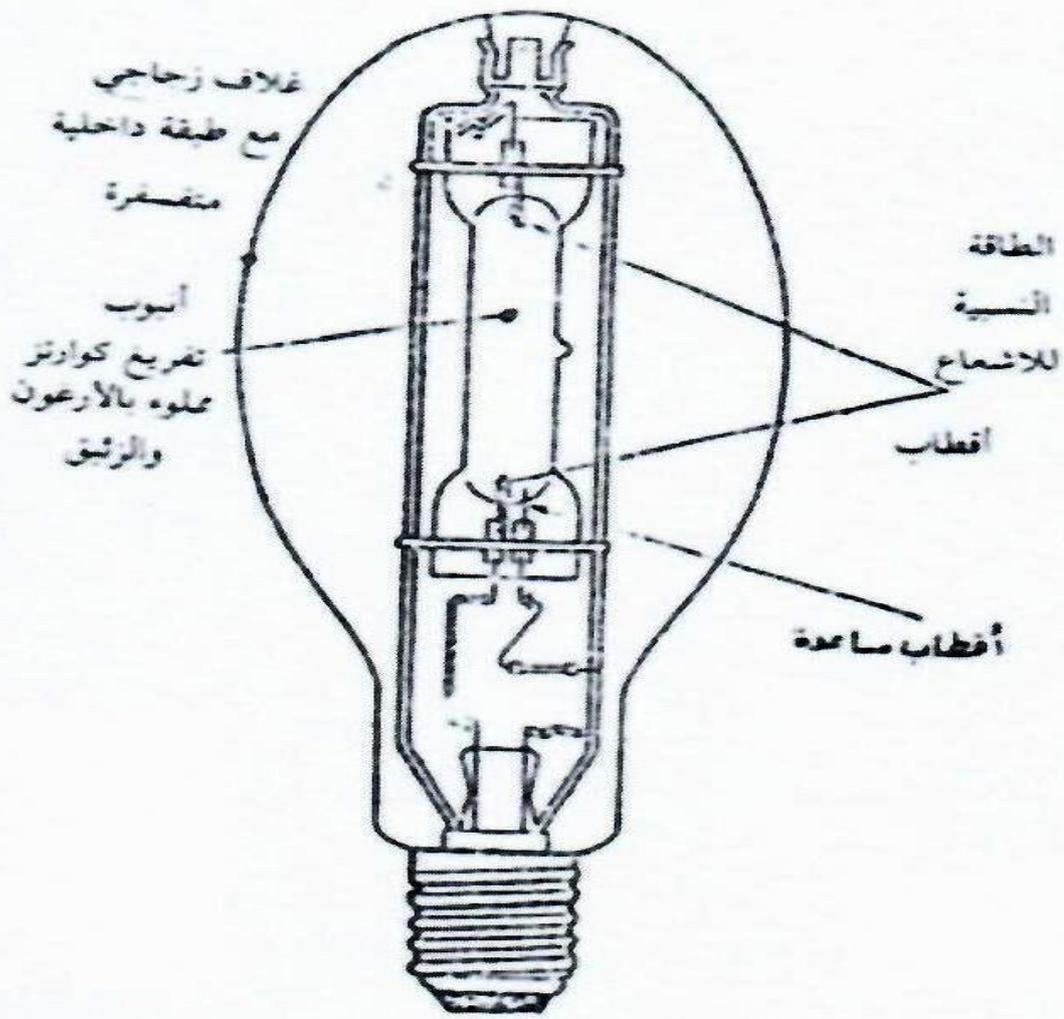
ويتطور التفريغ بشكل رئيسي في أنبوب الكوارتز، الأشعة الزرقاء - الخضراء مع قسم كبير من الأشعة فوق البنفسجية. ويتم الحصول على الضوء الأبيض المصحح بطلي السطح الداخلي للأنبوب الزجاجي الواقى بيودرة متأججة.

ويمثل الشكل (١-٨) منحنى التوزيع الطيفي لمصباح بخار الزئبق ذي الضغط العالي

كما يبين الشكل (١-٩) الرسم التخطيطي للمصباح المذكور



الشكل (٨-١) منحنى التوزيع الطيفي لصباح بخار الزئبق ذي الضغط العالي



الشكل (٩-١) الرسم التخطيطي لصباح بخار الزئبق ذي الضغط العالي

كما يعطي الجدول (١-١) مميزات مصابيح بخار الزئبق

السيارة	الأبعاد [mm]		المردود [lm/W]	الفيض الضوئي [lm]	تيار المصباح [A]	الإستطاعة [W]
	الطول	القطر				
27	129	56	40	2 000	0.62	50
27	156	71	44	3 500	0.80	80
27	177	76	50	6 200	1.15	125
40	227	91	54	13 500	2.1	250
40	290	121	58	23 000	3.2	400
40	329	141	60	42 000	5.4	700
40	400	166	60	60 000	7.5	1 000
40	445	185	60	120 000	8	2 000

الجدول (١-١)

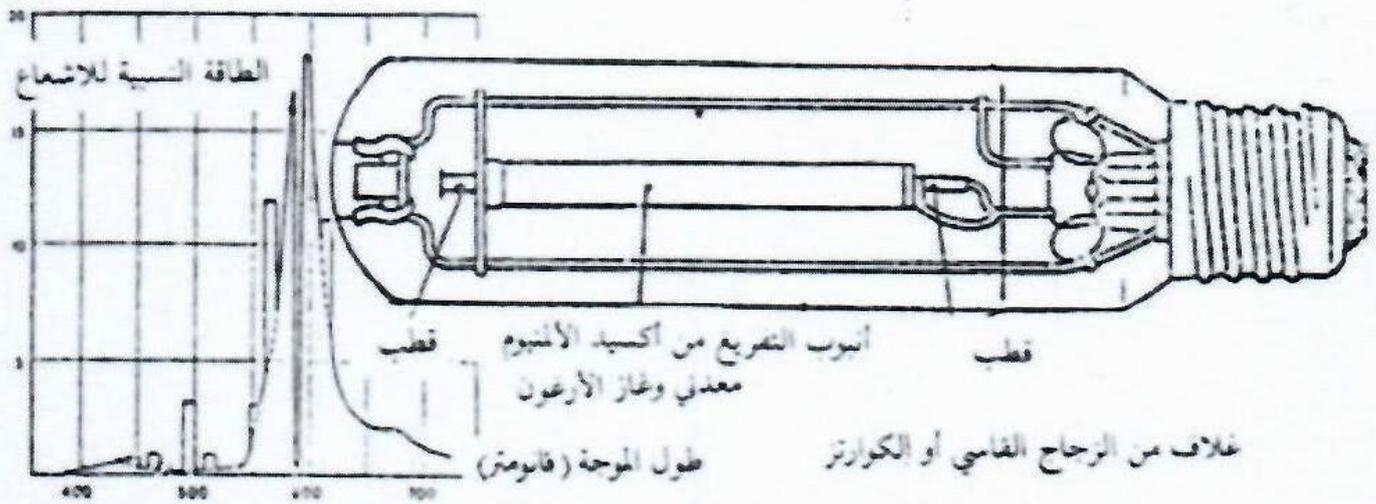
١-٣-٣-٢ مصباح بخار الصوديوم ذي الضغط العالي:

إن مبدأ عمل هذا المصباح يشابه بعض الشيء مبدأ عمل مصباح بخار الزئبق، حيث يبدأ أنبوب التفريغ بالصوديوم المعدني وغاز الأرغون. ونظراً للنشاط الكيميائي الكبير للصوديوم عند الضغوط ودرجات الحرارة العالية، فإن أنبوب التفريغ يُصنع من أكسيد الألمنيوم المتبلد، وتصنع حبابة التغليف من الزجاج القاسي أو من الكوارتز. تعطي هذه المصابيح لوناً أبيض ذهبياً، ولها مردود إضاءة عالي جداً، ويجب استعمال بالاست (BALASTE)، وأداة إقلاع خارجية.

- البالاست: هو عبارة عن عنصر منظم يتكون من صفائح الصاج المغناطيسية التي تشكل النواة، ومحاطة بلقائف من السلك النحاسي ومغلقة بمادة صمغية من البولستر (POLYSTER) لحماية الوشيمة ولتفادي اهتزازات الصاج الصوتية، لذلك فإن هذه الأجهزة صامتة وغير قابلة للاشتعال.

إن زمن التشغيل أو زمن التسخين هو 3 إلى 4 دقائق فقط

ويبين الشكلان (١٠-١) و (١١-١) رسماً تخطيطياً لمصباح بخار الصوديوم ذي الضغط العالي ومنحني التوزيع الطيفي له.



الشكل (١١-١) منحنى التوزيع الطيفي لمصباح بخار الصوديوم ذي الضغط العالي

الشكل (١٠-١) الرسم التخطيطي لمصباح بخار الصوديوم ذي الضغط العالي

١-٣-٣-٣-١- مصابيح النيون Neon Lamps:

وتصنف إلى زمريين هما:

أ- زمرة التوتر العالي

ب- زمرة التوتر المنخفض

أ- مصابيح النيون عالية التوتر:

يشابه هذا النوع من المصابيح بنية مصابيح الإنفراغ الغازي الأخرى، حيث تتغذى هذه المصابيح عن طريق محولة ذات مفاعلة عالية، ويهبط توتر دائرة الثانوي للمحولة بسرعة عند ازدياد التيار، هذه الخاصة تعطي التوتر العالي اللازم للإقلاع وتسعى لجعل دائرة القوس الكهربائي مستقرة. وبواسطة هذه المحولة يمكن تطبيق توتر بين أقطاب المصباح يتراوح بين (2000 إلى 15000) فولط وذلك حسب طول وقطر الأنبوب ونوع الغاز المستعمل.

ويمكن الحصول على ألوان مختلفة من هذه المصابيح، وهذا يتعلق بنوع الغاز المستعمل ولون الأنبوب الزجاجي وحسب ما إذا كان الأنبوب يحتوي على الزئبق أم لا.

ب- مصابيح النيون منخفضة التوتر:

يشبه الشكل الخارجي لهذه المصابيح شكل المصابيح المتوهجة العادية وتعمل بالجهد المنخفض (110[V]) مستمر أو متناوب. ويتألف المصباح من قطبين يضيء أحدهما

عند استعمال التيار المستمر في التغذية بينما يضيء القطبان معاً عند استعمال التيار المتناوب، لذلك يمكن استعمال هذه المصابيح كأداة للتمييز بين التيار المتناوب والتيار المستمر، وبملا بين القطبين غاز النيون أو الأرجون.

توفر هذه المصابيح بثلاثة ألوان رئيسية هي: الأحمر - الأخضر - الأصفر. ويمكن استعمالها كمصابيح إشارة في لوحات التغذية الكهربائية أو المنشآت الصناعية. كما تستعمل في أجهزة قياس السرعة وكمصابيح إضاءة ليلية في المنازل. تمتاز باستهلاكها البسيط للإستطاعة الكهربائية وحياتها الطويلة وتركيبها المتين ولا تعطل إلا بسبب احتراق المقاومة الموجودة في داخلها.

١-٢-٤- مصباح بخار الزئبق الوضاء (مصابيح الفلوريسانت):

تتكون هذه المصابيح من أنبوب زجاجي طويل مطلي من الداخل بمسحوق وضاء (*Flouroscent Pouder*) يحتوي في داخله على كمية ضئيلة من الأرجون والزئبق وعلى قطب واحد في كل من طرفيه مكون من سلك حلزوني من التنغستين المطلي بمزيج من أكاسيد الباريوم والسترونيوم ويتصل كل قطب بصفحة من النيكل.

تكون درجة حرارة سطحه الداخلي أثناء عمله حوالي $37(C)$ وأثناء حدوث شرارة التفريغ فيه تؤدي إلى رفع نسبة انبعاث الأشعة فوق البنفسجية وما بعدها. لذلك يكون القسم المرئي من ضوء هذا المصباح بلون أزرق. ولكي يتم الحصول على الضوء الأبيض يطلى السطح الداخلي للأنبوب بيودرة وضاء (كما ذكرنا سابقاً) لكي تعطي الضوء الأبيض عندما تثار من قبل الأشعة فوق البنفسجية.

وفي الأنابيب الفلوريسانتية ذات الأقطاب الساخنة يمكن الحصول على تركيبات طيفية مختلفة تبعاً لطبيعة مسحوق الفلوريسانت.

أما الألوان الأكثر شيوعاً فهي:

١- الأبيض الشديد (سوبر): وله أفضل مردود، ولكنه لا يحتوي نسبياً على العدد الكافي من الإشعاعات الحمراء، ولا يناسب في حالة رغبتنا تجنب التشوهات الكبيرة في الألوان.

٢- الأبيض اللامع: هو بفضل الإزداد النسبي في الإشعاعات الحمراء مناسب جداً لتنوير المخازن والمكاتب (اللون الدموي للوجوه غير مشوه).

٣- الأبيض الشمسي: تزداد الإشعاعات مع الإبقاء على نسبة مثوية كبيرة من الإشعاع الأحمر.

يتم الإشعال بواسطة الستارتر (Starter) للمصابيح التي تحتوي على قطبين حيث يحدث قوس بينهما، يؤدي إلى ارتفاع حرارة بغير شكل أحد القطبين المرين (Bilame) وتغلق الدارة، ثم يحدث فصل مفاجيء للدارة بسبب التبريد ويرتفع التوتر فجأة لإطلاق التفريغ في الأنبوب.

توجد انواع مختلفة لمصابيح الفلوريسانت ذات الأقطاب الساخنة أهمها الأنابيب الإسطوانية المستقيمة باستطاعات مختلفة، الأنابيب المطوية باستطاعات منها: [32/W] و [40/W] وهناك أنابيب فلوريسانت ذات أقطاب باردة تتغذى بتوتر عالٍ بواسطة محولات رافعة.

يمكن أن تغذى هذه المصابيح بواسطة التيار المستمر بعد تحويله إلى تيار متناوب باستخدام ما يسمى بالمقومات التي تحول التيار المستمر إلى تيار متناوب.

١-٢-٤- مقارنة بين المصابيح المتوهجة ومصباح التفريغ:

مصباح التفريغ	المصابيح المتوهجة
- مردودها الضوئي أعلى	- مردودها الضوئي سيء
- عمرها أطول	- عمرها أقل
- تحتاج لجهاز تحكم (عادة ملف خائق (بالاست) ومكثف)	- لا تحتاج لجهاز تحكم
- أغلى ثمناً	- أرخص ثمناً
- هناك تأخير زمني ملحوظ عند التشغيل	- تعمل مباشرة دون تأخير زمني ملحوظ
- تتعلق بنوع الجهاز وقد يصل عند إعادة التشغيل لبعض الأجهزة إلى خمس دقائق.	- غير حساسة كثيراً لتغيرات التوتر، لكن
- حساسة لتغيرات التوتر ويجب أن لا يكون التغير أكثر من 7% ±	- عمرها يتعلق بذلك وهذا ما سبب بتقلص استعمالها تدريجياً.

والجدول (١-٢) يعطي مقارنة لبعض المصابيح أيضاً.

سوية الإنارة وواحدة اللوكس:

تعرف سوية الإنارة (Illuminance) في نقطة من سطح ما: بأنها مقدار الفيض الضوئي بوحدة السطح وتقدر بوحدة (lm/m^2) أو ما يسمى باللوكس (lux) ويمكن كتابة العلاقة:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2-3)$$

حيث

E - شدة الإنارة وتقدر بوحدة اللوكس (lux)

Φ - الفيض الضوئي الساقط على السطح وتقدر بوحدة اللومن (lm)

S - مساحة السطح المنار وتقدر بوحدة المتر المربع (m^2)

وعند وجود كرة جوفاء شفافة نصف قطرها يساوي r وموجود في مركزها منبع

ضوئي نقطي منتظم استطاعته I كانديلا. عندها ستكون سوية (متوسط) الإنارة في أية نقطة من السطح معطاة من خلال العلاقة التالية:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I \omega}{4\pi r^2} = \frac{I \cdot 4\pi}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}$$

حيث أن الزاوية المحيطة للجسم الفراغية للكرة $\omega = 4\pi$

وبما أن سطح الكرة متعامد مع جميع أنصاف أقطار الكرة المتمثلة بشكل مسارات انتشار الأشعة الضوئية الصادرة عن المنبع النقطي، لذلك يمكن القول بأن سوية الإنارة في أية نقطة من سطح يتعامد مع مسار انتشار الأشعة الضوئية يجب أن تكون متناسبة عكسياً مع مربع المسافة بين المنبع الضوئي والسطح المنار فإذا كانت المسافة بين المنبع الضوئي النقطي (S) والسطح المنار هي (d) متر. تكون سوية الإنارة في النقطة (A) الواقعة على السطح العمودي على الاتجاه (SA) هي:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2-4)$$

كما هو موضح في الشكل (٢-١)

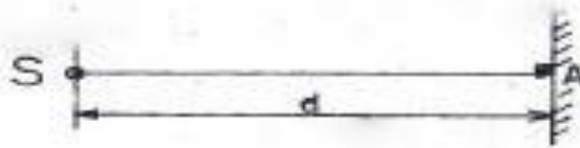
أما إذا كان السطح مائلاً على اتجاه الفيض الضوئي فإن سوية الإنارة تصبح بالشكل:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos\theta \quad (2-5)$$

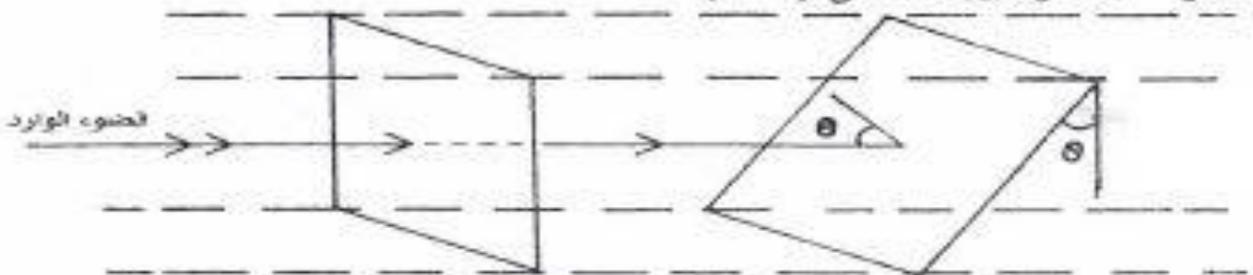
حيث: θ - الزاوية بين اتجاه

الفيض الضوئي والناظم على السطح

المنار، كما هو مبين بالشكل (٢-٢):



الشكل (١-٢) سوية الإنارة على سطح متعامد مع اتجاه الفيض الضوئي



الشكل (٢-٢) سوية الإنارة على سطح مائل على اتجاه الفيض

من الشكل (٢-٢) نلاحظ أن مساحة السطح المائل الذي يتعرض للضوء تزداد عما هي عليه في حالة السطح المتعامد مع انتشار الضوء بمقدار $\cos \theta$ ، فإذا كانت مساحة السطح المتعامد مع انتشار الضوء هي S فإن مساحة السطح المائل هي $S/\cos \theta$ تقريباً أما اللوكس (lux) فيعرف بأنه مقدار سوية الإنارة الناتجة على سطح مساحته متر مربع واحد عندما يسقط عليه فيض ضوئي مقداره لومن واحد أي:

$$[lux] = \frac{I[lm]}{I[m^2]}$$

٦- شدة الإشعاع أو اللمعان:

تعرف شدة الإشعاع لمنبع ما في اتجاه معين بأنها مقدار الشدة الضوئية بوحدة المساحة المسقط على مستوى متعامد مع الاتجاه المعطى وتقدر بالكانديلا / سم^٢ (وهي واحدة تسمى ستيلب [Stilb]) أو بوحدة الكانديلا / م^٢ (وهي واحدة تسمى نيت [Nit]) وأحياناً يسمى اللمعان بالوضوح.

٧- متوسط الإسطاعة الكروية:

هو القيمة المتوسطة لإسطاعة المصباح في جميع الاتجاهات. وعليه فإن الفيض الضوئي الناتج عن منبع ضوئي متوسط إسطاعته الكروية I كانديلا هو $4\pi I$ لومن.

٨- متوسط الإسطاعة الأفقية وعامل النقصان:

هو القيمة الوسطية للإسطاعة الضوئية في كافة الاتجاهات في مستوى عمودي على محور المنبع ومار من مركزه.

أما عامل النقصان لمنبع ضوئي: فهو عبارة عن النسبة بين متوسط الإسطاعة الكروية ومتوسط الإسطاعة الأفقية للمنبع.

٩- متوسط الإسطاعة النصف كروية:

هو القيمة المتوسطة للإسطاعة في كافة الاتجاهات ضمن نصف كرة واقعة فوق أو تحت المستوى الأفقي المار في مركز المنبع.

٢-٢- بعض القيم العملية لواحدات الإنارة:

تبيّن الجداول التالية قيم تقريبية لكل من الفيض الضوئي، سويات الإنارة، الشدة الضوئية، اللمعان (الوضوح) لبعض الأمثلة التي تصادفها في الحياة العملية:

١- الفيض الضوئي [لومن]:

10 [lm]	مصباح دراجة عادية
1940 [lm]	مصباح متوهج [W] 150
1800 [lm]	مصباح فلوريسانت [W] 40
13000 [lm]	مصباح بخار صوديوم [W] 140
20000 [lm]	مصباح بخار زئبقي [W] 400

٢- سوية الإنارة: [لوكس]:

100 000 [lux]	منتصف النهار في فصل الصيف وموقع مكشوف وسماء صافية
10 000 [lux]	منتصف النهار في فصل الشتاء وموقع مكشوف
2000-5000 [lux]	منتصف النهار في فصل الصيف وتحت الشرفة
1000-3000 [lux]	منتصف النهار في فصل الصيف وخلف النافذة
500 [lux]	شروق وغروب الشمس
0.25 [lux]	ليلة فيها القمر بدر والسماء صافية
500 [lux]	على طاولة عمل في غرفة معيشة إنارتها جيدة
800 [lux]	مكتب إنارة جيدة

٣- الشدة الضوئية [كانديلا]:

1 [cd]	مصباح دراجة أمامية دون عاكس
2.50 [cd]	مصباح دراجة عادية أمامية بعاكس
20 000 [cd]	مصباح مرآة عاكسة [W] 150 وعلى المحور الرئيسي
2000 000 [cd]	منارة وعلى المحور الرئيسي

٤- اللمعان [Cd | m²] أو [Cd | cm²]:

165000 [cd cm ²]	الشمس
0.25 [cd cm ²]	القمر
700 [cd cm ²]	فتيلة مصباح متوهج
650 [cd cm ²] 100 [W]	مصباح متوهج شفاف مملوء بالغاز باستطاعة

مصباح فلوريساتي باستطاعة $80[W]$ $0.9 [cd/cm^2]$

مصباح بخار الزئبق ذو الضغط العالي باستطاعة $400[W]$ $120 [cd/cm^2]$

مصباح بخار الصوديوم الشفاف باستطاعة $140[W]$ $8 [cd/cm^2]$

مصباح متوهج أبيض مملوء بالغاز باستطاعة $100[W]$ $8 [cd/cm^2]$

يسبب تباين شدة الإشعاع (اللمعان) في اتجاه خط النظر الوهج وإعياء العين، ويتبين من جدول اللمعان السابق أن شدة إشعاع المصباح المتوهج الحليبي (الأبيض) تعادل نسبة $1/80$ من شدة إشعاع المصباح المتوهج الشفاف. ومع أن المصباحين السابقين بنفس الإستطاعة $100[W]$ لكل منهما فإن المصباح الأول يكون مريحاً جداً للنظر بالمقارنة مع المصباح الثاني. أما القيمة المنخفضة لشدة إشعاع مصباح الفلوريسانت فهي ميزة من ميزاته الرئيسية.

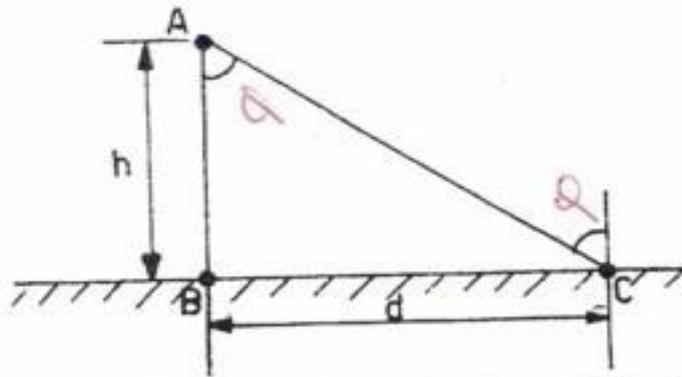
٣-٢- الإنارة:

بفرض أن منبعاً ضوئياً نقطياً منتظماً معلقاً في النقطة (A) من الشكل (٣-٢) على ارتفاع (h) متر فوق سطح الأرض، استطاعته I كانديلا.

تكون الإنارة في النقطة B هي

$$E_B = \frac{I}{r^2} = \frac{I}{h^2}$$

بنع منتهي



الشكل (٣-٢) سوية الإنارة في نقطة من سطح أفقي

حيث:

I - استطاعة المصباح في الإتجاه AB

بينما تكون شدة الإنارة في النقطة C التي تبعد مسافة مقدارها d متر عن النقطة B (مسقط النقطة A على الأرض) هي:

$$E_C = \frac{I}{r^2} \cos \theta = \frac{I}{(AC)^2} \cos \theta = \frac{I}{(AB)^2 + (BC)^2} \cos \theta = \frac{I}{h^2 + d^2} \cos \theta$$

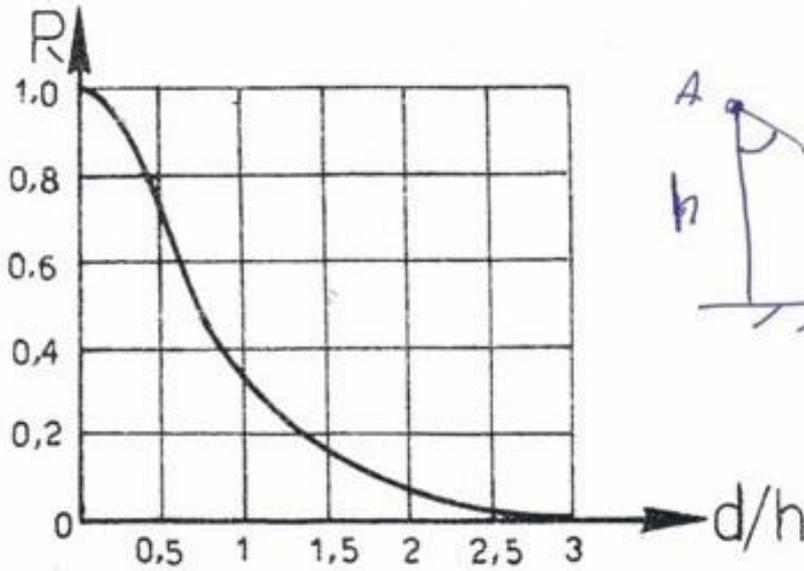
ومن الواضح أن النقطة B تقع في مستوى متعامد مع مسار الانتشار للأشعة الضوئية (AB) بينما تقع النقطة C في مستوى مائل بزاوية θ عن مسار انتشار الأشعة

(AC). لذلك كتبت المعادلات السابقة بالنسبة للنقطتين B و C بشكل مختلف.

بفرض ان استطاعة المصباح منتظمة في نصف الكرة السفلي، عندها يمكن حساب النسبة R بين سوية الإنارة في النقطة C وسوية الإنارة في النقطة B كما يلي:

$$R = \frac{E_C}{E_B} = \frac{[I/(h^2 + d^2)] \cos \theta}{I/h^2} = \frac{h^2}{(h^2 + d^2) \cdot \sqrt{h^2 + d^2}} = \frac{h^3}{(h^2 + d^2) \sqrt{h^2 + d^2}} = \frac{1}{[1 + (\frac{d}{h})^2]^{\frac{3}{2}}}$$

ويمكن تمثيل هذه النسبة بالشكل (٢-٤)



الشكل (٢-٤) المنحني البياني لإختلاف الإنارة في نقطة من سطح أفقي

من هذا المنحني نلاحظ أنه كلما كانت d/h صغيرة كلما كانت R كبيرة. بينما كلما ازدادت المسافة d تزداد النسبة d/h وبالتالي تنقص قيمة R . أي أن شدة الإنارة تنخفض مع ازدياد بعد النقطة المنارة عن النقطة الواقعة تحت نقطة التعليق مباشرة. وتستعمل عادة عواكس توزع الضوء ضمن زاوية تميل بمقدار يتراوح بين 60° و 75° عن الشاقول من أجل تعديل هذا الأثر. ويمكن الحصول على إنارة منتظمة نوعاً ما باستعمال عدد من المصابيح الموزعة بصورة مناسبة ضمن الغرفة بحيث لا تزيد نسبة التباعد الأفقي بين كل جهازين متتاليين إلى ارتفاع المصباح فوق السطح المطلوب إنارته عن (1.5) مرة.

أجهزة وطرائق الإنارة

١-٣- تعريف جهاز الإنارة:

هو عبارة عن أداة لنشر وتوجيه أو تعديل الضوء الصادر عن المنبع، من أجل زيادة فعاليته ومردوده وجعله أكثر راحة للعين.

ويشمل جهاز الإنارة: المنبع الضوئي مع توصيلاته الكهربائية - أدوات تثبيته - العاكس - الهيكل - الغطاء. ومن المفيد ذكره أن شكل جهاز الإنارة يكون ذا قيمة جمالية حيث يجب أن يكون لائقاً لترتيب المكان، وسهلاً للتركيب والصيانة.

٢-٣- تصنيف أجهزة الإنارة:

توجد تصنيفات كثيرة لأجهزة الإنارة منها:

١- تصنيف أجهزة الإنارة بحسب الخصائص البصرية:

أ- الأجهزة العاكسة: تستعمل قوانين الانعكاس والانتشار، وهي تعدل الحزمة الواردة عن طريق الانعكاس.

ب- الأجهزة الكاشفة: تستعمل قوانين الانعكاس، وهي تعتمد على خصائص العدسات، كما أنها ترد الضوء في زاوية فراغية محددة تماماً في الفراغ.

ج- الأجهزة الناشرة: تنشر الضوء وتجعله يشع في اتجاهات متعددة عن طريق الانتقال بصورة عامة، من خلال جسم ناشر (مثلاً زجاج لبني اللون).

د- الأجهزة العاكسة الناشرة: تحتوي على عاكس معتم وعلى ناشر، الأول يغير اتجاه قسم من الفيض بالانعكاس والثاني ينشر الفيض المنعكس والفيض المباشر.

هـ- الأجهزة الكاسرة: تغير شكل المنحني الفوتومتري للمصباح العادي باستعمال قوانين الإنكسار، ويمكن أن تكون هذه الأجهزة دورانية (أي متناظرة بالنسبة لمحور يسمى محور الدوران) أو أن تكون غير متناظرة بالنسبة للمحور.

٢- تصنيف أجهزة الإنارة حسب توزيع الفيض الضوئي:
تصنف أجهزة الإنارة على الشكل التالي:

أ- مباشرة: وفيها يكون حوالي 90% أو أكثر من الفيض الضوئي للمصباح في نصف الكرة السفلي.

ب- نصف مباشرة: وفيها يكون أكثر من 60% وأقل من 90% من الفيض الضوئي للمصباح في نصف الكرة السفلي.

ج- مختلطة: وفيها يكون أكثر من 40% وأقل من 60% من الفيض الضوئي للمصباح في أحد النصفين من الكرة.

د- نصف غير مباشرة: حيث يكون أكثر من 60% و أقل من 90% من الفيض الضوئي للمصباح في نصف الكرة العلوي.

هـ- غير مباشرة: حيث يكون 90% أو أكثر من الفيض الضوئي للمصباح في نصف الكرة العلوي.

٣- تصنيف أجهزة الإنارة حسب طريقة تركيبها:
تصنف كما يلي:

أ- معلقة

ب- مركبة على السطح

ج- مخفية

كما يمكن تصنيف أجهزة الإنارة بحسب المواد المصنعة منها، وبحسب استعمالاتها، وبحسب ظهور المصباح منها وغيرها.

٣-٣ طرق الإنارة الداخلية:

تصنف طرق الإنارة بحسب نوع جهاز الإنارة المستخدم إلى:

١- الإنارة المباشرة:

تتجه الأشعة الضوئية الصادرة من منبع ضوئي ما نحو السطح المراد إنارته. وفي حال كون المنبع الضوئي معلقاً في السقف أو بمكان مرتفع شيئاً ما عن الأرضية فإن الفيض الضوئي يتجه ليس فقط باتجاه الأرضية بل يتجه نحو الجدران أيضاً.

وإذا كان المنبع الضوئي يسبب اللمعان والبهر في النظر فلا بد من حمايته وحجبه للتخلص من ذلك والحجب هذا يطبق بالإضافة للمصاييح العادية على مصاييح الفلوريسانت بالرغم من أن هذه المصاييح ذات لمعان أقل من المصاييح المتوهجة. ومن أجل تحقيق هذا الهدف تتبع الطرق التالية:

١- ندخل المنبع الضوئي في جهاز الإنارة بصورة جيدة وكافية. أي يجب أن يحاط المصباح بجهاز إنارة يحجب الضوء الساقط مباشرة في عين الشخص المتواجد في المكان المنار.

٢- نستخدم الحجب الدائري للمصاييح المتوهجة، وتستخدم الريش أو خلايا النحل للمصاييح الفلوريسانتية.

٣- نغلق الجهاز بسطح ناشر أبعاده كافية، ومصنوع من زجاج لبني اللون أو بلوحة من مادة بلاستيكية (خصيصاً لمصاييح الفلوريسانت).

٤- نضع زجاجة موشورية (عدسات، لوحات مقربة) في القسم السفلي، أو مواد بلاستيكية مخططة أو محززة، أو خلايا نحل، أو مربعات مكونة من منحنيات مقربة. وقد أصبح استعمال مثل هذه الأجهزة عادياً ورائجاً بالنسبة لأجهزة الإنارة الفلوريسانتية وخاصة بعد الزيادة والتطور الذي طرأ على مستويات الإضاءة. ومن أشكال الإنارة المباشرة:

١- السقوف المضيئة أو المنشآت المضيئة للإنارة المباشرة:

من الممكن تحقيق منشآت مضيئة للإنارة المباشرة على مستوى سقف، وذلك باستعمال أنابيب الفلوريسانت الخطية والمخفية عن النظر المباشر بواسطة لوحات من مادة بلاستيكية، أو من الحجب، أو بواسطة أجهزة عاكسة مدخلة ضمن السقوف. وهذه المنشآت المضيئة موجودة بأشكال مختلفة، منها مجموعات مستطيلة، ومنها سقوف مضيئة بكاملها وهي مسماة بالسقوف المضيئة.

٢- أبراج نجوم المصابيح المتوهجة ذات المرآة المفضضة:

لقد لاقت هذه الطريقة من الإنارة المباشرة رواجاً كبيراً، ويتوقف الأمر على تعدد منابع الإنارة المباشرة بواسطة لمبات ذات مرآة مفضضة على سقف يشمل حجرة بأكملها.

فإذا كان السقف على ارتفاع كبير، يمكننا بدون أية محاذير دهنه بلون غير اللون الأبيض، فنحصل على إنارة مفرحة، وتناسب هذه الطريقة جداً الصالات الكبيرة.

- ميزات ومحاذير الإنارة المباشرة:

للإنارة المباشرة مزايا فهي الأكثر اقتصادية - عدا إنارة السقوف المضيئة أو الأبراج - في حالة الحصول على شدة إنارة معينة على مستوى معين، ولكن لها المحاذير التالية:
أ- من الصعب تفادي اللمعان المبهر.

ب- السطوح الأخرى (غير السطح المراد إنارته) تبقى في الظليل، وبذلك تبدو الإنارة كثيبة، إلا إذا أضيفت إليها تجهيزات أخرى.

ج- تشكل ظلالاً واضحة المعالم، وتضارب الظلال مع النور يتعب البصر، وكذلك تضارب شدات الإشعاع (النصوع) المرتفعة بين السطح المعني والسطوح الأخرى، ولكن وضوح المعالم للظلال في هذا النوع من الإنارة، يجعلها مرغوبة ويوصى بها لإضاءة بعض التماثيل.

تستعمل طريقة الإنارة المباشرة كذلك في إنارة الواجهات لإظهار الأشياء المعروضة وخاصة المتلاعبة البراقة، كالحلي والأواني الفضية، وينصح بهذه الطريقة إذا اشتركت مع نوع آخر من الإنارة، مع تفادي رؤية المصابيح. كما تستعمل لإنارة مائدة غرفة الطعام، أما لإنارة اللوحات فنستخدم الأجهزة العاكسة والناشرة.

ب- الإنارة غير المباشرة:

لقد أحرزت هذه الطريقة نجاحاً لأنها تتجنب رؤية المنابع تماماً وتؤدي إلى شدة إشعاع (لمعان) ضعيفة.

ومن محاذير هذه الطريقة ما يتعلق بإرجاع الفيض الضوئي الإجمالي على سطح أو عدة سطوح تستخدم كمنابع ثانوية. والمشاكل التي ينبغي حلها في استعمال هذه الطريقة من الإنارة يمكن تصنيفها إلى فئتين:

١- إنارة السطوح المعمارية الموجودة دون اللجوء إلى تعديل هذه السطوح:

عند إنارة السطوح المعمارية الموجودة يمكن أن تنار الجدران والسقف في حالة كون الإنارة داخلية أو ينار كامل المبنى في حالة كون الإنارة خارجية.

ونتيجة للتجارب فقد تبين أن القيمة المطلقة لسوية الإنارة بين (10 و 150) لو كس ليس لها أي تأثير على تبدلات اللمعان التي تعطي مظهر التساوي في الإنارة. كما أن نسبة اللمعان القصوى يمكن أن تكون بين 1.5 و 2 بدون أن تدرك العين أي فارق ملحوظ.

ويكون هذا الكلام صحيحاً بالنسبة للتبدل المستمر أما بالنسبة للتبدل المفاجيء فإن النسبة المذكورة سابقاً تنخفض كثيراً.

ويجب أن يتخذ بعض الاحتياطات لكي لا يكون المنبع مرئياً، لذلك فإنه من الضروري إخفاء هذا المنبع إخفاء تاماً، أو على الأقل أن يكون المستقيم المتشكل بين حافة الجهاز وغطاء المصباح متجهاً فوق حدود حقل الرؤيا.

ويمكن أن تستخدم الجدران في بعض الحالات كمنبع للإنارة غير المباشرة، وفي هذه الحالة يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار قرب منطقة الانعكاس على الجدران من المكان المراد إنارته بشكل غير مباشر، وعدم حدوث انقطاع في الأشعة الضوئية الواردة إلى السطح المنار نتيجة لمرور شخص ما مثلاً، وهذا ما يحتم اختيار مكان مرتفع للانعكاس شيئاً ما. ويمكن أن تتم الإنارة بشكل موجه من الأسفل إلى الأعلى أو بالعكس من الأعلى إلى الأسفل وفي كلا الحالتين يجب العمل على إخفاء أجهزة الإنارة وعدم اظهارها سواء أكان خلف سقف مستعار أو إفريز ما أو غيره.

كما توجد إنارة مماسية للسقف، حيث يتم وضع المنابع الضوئية بشكل قريب جداً من السقف، وهذا النوع من الإنارة من الصعب تحقيقه بدقة، وذلك لأن أقل العيوب الموجودة في السقف تظهر مع ظلال محمولة بأبعاد كبيرة. كما يظهر ذلك في الشكل (١-٣) لذلك يجب أن يكون السقف مستوياً تماماً ودهانه ناشفاً وذا حبيبات ناعمة جداً، ولذلك فإن متعهدي الدهان يعارضون هذا الطراز من الإنارة.

غير أنه يمكن تدارك هذا المحذور جزئياً، وذلك بجعل إنارة المستوي من اتجاهين متعاكسين كما هو موضح بالشكل (٢-٣)، أو من أربعة أطراف السقف المستطيل، وهذا أفضل .



الشكل (٣-٣) إنارة مماسية من جهتين



الشكل (١-٣) إنارة مماسية لمنبع من جهة واحدة

٢- وضع سطوح مضيئة ظاهرة مدخلة في البنيان المعماري:

عندما تكون المنابع الضوئية قريبة جداً من السقف، فإنه من الصعب جداً أن نتجنب في حالة كون السطح منبسطاً سوية إنارة كثيفة للسطح القريب جداً من المنابع الضوئية، لذلك يمكن تقويس السقف بشكل نجعل فيه زاوية ورود الأشعة الضوئية حادة جداً في تلك المنطقة وبذلك نحصل على إنارة مخفضة في تلك المنطقة.

وللحصول على سطح متناسق متساوي الإنارة، من الضروري إعطاؤه شكلاً معيناً خاصاً ويمكن تصنيف هذه السطوح لفتتين رئيسيتين:

١- الشكل الإسطواني:

إذا استعملنا كمنابع ضوئية، صفافاً مستقيماً من لمبات ذات سلك محوري يشع بنفس الشدة في كافة الإتجاهات الواقعة ضمن سطح منكسر معين، فيمكننا أن نبرهن أن اسطوانة ناشرة ذات طول غير متناهٍ تكون مضاءة بشكل متناسق في إحدى الحالتين التاليتين:

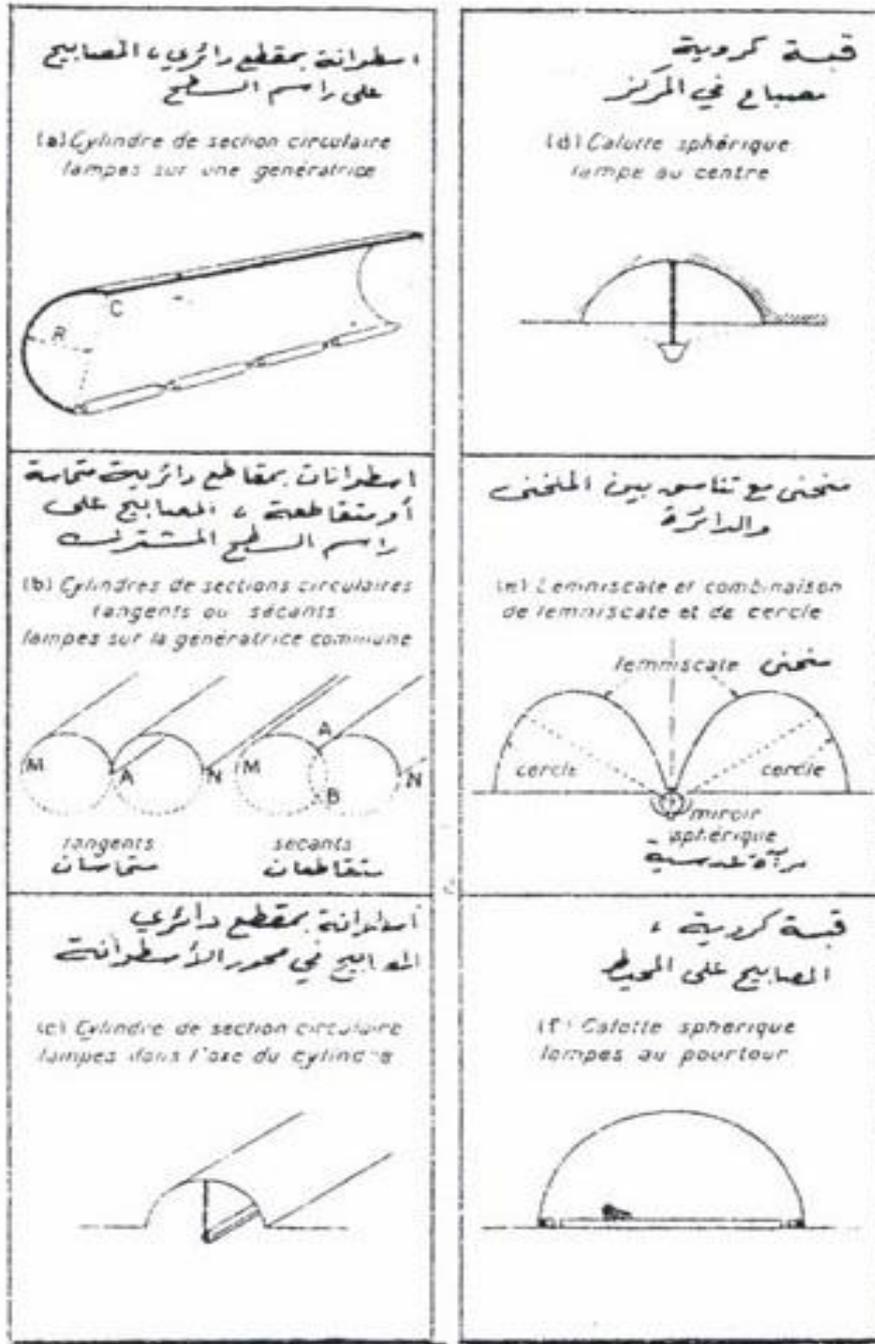
١- إذا كانت المصابيح موضوعة على الخط الراسم للسطح الشكل (٣-٣-أ)

٢- إذا كانت المصابيح مرتبة حسب محور الإسطوانة الشكل (٣-٣-ب)

كما ويمكن تحقيق إنجازات بشدات إشعاع متناسقة (لمعان متوازن) حسب الأوضاع التالية:

١- اسطوانة، ومصابيح على خط راسم السطح.

٢- اسطوانتين متماستين، ومصابيح على خط راسم السطح المشترك.



الشكل (3-3) السقوف المضيئة، منحنيات شدة الإشعاع المتناسقة

3- اسطوانتين متقاطعتين، والمصاييح على أحد خطي راسم السطح المشترك (إذا كانت المساحة محددة بـ MAN فالأفضل ترتيب اللمبات على خط راسم السطح B الذي يبعد أكثر عن السطح، وهذا ما يمنع ارتفاع الحرارة) كما هو في الشكل (3-3-ب)

4- صف من اللمبات في المحور المار بمركز الدائرة، ومقطع من اسطوانة كما في الشكل (3-3-ج)

إن كافة هذه الترتيبات تبقى تقريباً صحيحة إذا بدلت اللمبات ذات السلك المحوري بأنابيب فلوريسانت مستقيمة الخط، وخاصة بأنابيب فلوريسانت عالية التوتر (أقطاب باردة والتي لا يبلغ قطرها سوى $18 [mm]$)

٢- الأشكال الدورانية:

للحصول على سطح دوراني ذي شدة إشعاع متوازنة، وبفرض ان المصادر لا يتغير شكل منحنيتها الفوتومتري، يمكننا اعتماد الأجهزة التالية:

١- قبة كروية مع مصباح في وسطها كما في الشكل (٣-٣-d)

٢- منحنى دوراني، ممتد ليمر بالسلك كما في الشكل (٣-٣-e)

٣- منحنى موصول بقطعة كرة كما في الشكل (٣-٣-e)

٤- قبة كروية محاطة بعنق يحتوي على المصابيح، وهذا الحل تقريبي، ولكنه بنتيجة الإنعكاسات المتداخلة وتسامح العين تجاه التبدلات في اللمعان، فإن هذا النوع من القبة يظهر وكأنه متوازن الإنارة كما في الشكل (٣-٣-f)

- ميزات ومساوىء الإنارة غير المباشرة:

من ميزات الإنارة غير المباشرة هي إتاحتها الفرصة للحصول على لمعات منخفضة بنتيجة انتشار السطوح التي يمكن للفيض الضوئي إن ينتشر فوقها.

وفضلاً عن ذلك فإن هذه الميزة تجنب التغير في الشكل المعماري نتيجة إضافة أجهزة إنارة، لأن هذه الأجهزة تكون مخفية وكذلك المصادر الضوئية الأولية، (ولكن هذه الملاحظة لا تنطبق على منشآت الإنارة غير المباشرة المحصورة التي لها شكل معين لاعتبارات بصرية).

فالإنارة التي نحصل عليها يمكن أن تكون متوازنة على مستوى العمل، نظراً لأن كافة نقاط السقف تساهم في تلك الإنارة، وبذلك تزول الظلال، وهذا أمر هام في تلك الحالات (كالرسم مثلاً)، ولكنه يحظر في حالات أخرى.

مساوىء هذا النوع من الإنارة هي:

١- من أجل نفس الإضاءة: يكون الإستهلاك أكبر من حالة الإنارة المباشرة، وذلك بسبب استخدام منابع ثانوية، ويتناسب الإستهلاك مع الاستعمال الكلي أو الجزئي

لفيض اللمبات الضوئي، ويمكن تحقيق إنارة غير مباشرة بمصاييح موضوعة ضمن علب بسيطة أو ضمن عاكسات حسنة الاختيار، ومن المهم تجنب الأجهزة العميقة، حيث تحدث انعكاسات متداخلة هامة.

كما أن للون السقف أهمية كبرى عندما يستخدم كمنبع ثانوي للضوء.

٢- إزالة الظلال: إن الإنارة غير المباشرة لا تصلح للأشياء المنحوتة، لأنها تظهر الوجوه دون أي نفور.

٣- الإنارة غير مفرحة: وذلك ناجم جزئياً عن شدات اللمعان الضخيمة المستعملة ويمكن معالجة ذلك باستعمال أجهزة إنارة غير مباشرة محصورة.

٤- تعب النظر: هناك محذور يجهله الكثيرون وهو ظاهرة تعب العين، وهي تنجم عن وجود سطح مضاء كبير المسافة، وهذه الظاهرة تعود لأثر سطح المنابع على اللمعان المبهر الذي يكون متناسباً مع الزاوية الفراغية التي يرى من خلالها هذا السطح.

وإن جميع هذه الاعتبارات لا تُلزمننا إلغاء الإنارة غير المباشرة، ولكن يوصى باستعمالها بشكل مدروس ونظامي.

ج- الإنارة المختلطة:

وتدخل في هذه الزمرة، كافة المنشآت وأجهزة الإنارة المصممة بشكل يعكس فيه، الفيض الضوئي نحو السقف والأرض والجدران. ويوجد العديد من الأجهزة الناشرة للإنارة المختلطة، ونفذت كذلك صناديق بشكل مستطيل أو مربع. مجهزة بمصاييح فلوريسانت. والمواد المستعملة لها هي الصفائح البلاستيكية، والميتراكريلات الميتيل.

د- الإنارة النصف مباشرة - النصف غير مباشرة:

توجد العديد من أجهزة الإنارة التي تحقق أحد هذين النوعين من الإنارة. هذا وإن دراسة الإنارة نصف المباشرة مثلاً لا تختلف كثيراً عن الإنارة المباشرة إلا في بعض الاختلافات كنسبة الضوء الساقط على السطح المراد إنارته، فمن المعلوم أن مقدار اللمعانات وسوية الإنارة في حالة الإنارة نصف المباشرة تكون أقل مما هي عليه في حالة الإنارة المباشرة. وكذلك الأمر بين الإنارة غير المباشرة ونصف غير المباشرة.

كما يمكن تصنيف طرق الإنارة الداخلية بحسب ترتيب أجهزة الإنارة إلى:

١- موضعية: (Localized)

٢- عامة (General)

٣- مجموعة أو موضعية عامة (Group Of Localized and General)

٤- مزيج من الموضعية والعامة (Combination Of Localized and General)

وتعتمد الإنارة الموضعية على تجهيز مكان عمل كل عامل أو طاولة عمل أو دراسة بجهاز إنارة خاص يثبت في مستوى منخفض لتقريب الضوء من مكان العمل وتأمين مقدار أكبر من الفيض الضوئي دون حدوث ظلال في المكان المراد إنارته. بينما تثبت أجهزة الإنارة العامة على السقف مباشرة أو تكون مرتفعة عن مستوى العمل في طريقة الإنارة العامة وتوزع بشكل ما ضمن الغرفة من أجل الحصول على إنارة منتظمة قدر الإمكان.

أما الطريقة الثالثة فهي عبارة عن جمع بين الطريقتين الأولى والثانية حيث تثبت أجهزة الإنارة في الأعلى قرب السقف ولكن لا توزع بانتظام بل تجمع في مجموعات فوق الآلات أو الأماكن التي يتواجد فيها العمال (مكان العمل).

وفي طريقة المزيج من الموضعية والعامة يتم تأمين إنارة عامة فوق المنطقة ويضاف إليها وحدات إنارة موضعية لبعض الأعمال التي تتطلب شدة إنارة أقوى من غيرها في المنطقة.

تعتبر الإنارة الموضعية في المصانع والمحلات التجارية من النوع القديم نظراً لأنها تنتج ظلالاً كثيفاً وإنارة ضعيفة في الغرفة بكاملها بالإضافة إلى إحداث الوهج المباشر الذي قد يسبب أضراراً كثيرة، والإنارة العامة شائعة الإستعمال في المنشآت الحديثة وتستهمل طريقة المزيج في الأماكن التي تتطلب شدة إنارة عالية لبعض الأعمال فقط، لذلك يتم تأمين إنارة عامة مناسبة للمكان بكامله وتضاف إليها الإنارة الموضعية اللازمة لتلك الأعمال الدقيقة على أن لا تزيد النسبة بين شدة الإنارة الموضعية والعامة عن (10 الى 1) وتعتبر الطريقة المجمع مناسبة للصالات التي تحتوي على عدد من الآلات المتماثلة المرتبة في الصفوف أو الصالات التي تحتوي على آلات ومعدات مرتفعة، حيث تؤدي طريقة المجموعات إلى توجيه النور نحو أماكن العمل أفضل من طريقة الإنارة العامة.

٤-٣- تصميم الإنارة الداخلية:

عند تصميم الإنارة الداخلية يجب مراعاة الأمور التالية:

١- حجب أشعة النور المباشرة عن العين وتجنب مواجهة المناطق شديدة الإنارة بقدر الإمكان، إذ أن ذلك يتعب العين ويؤدي إلى تقلص البؤبؤ فيحد من مقدار دخول الضوء الصادر عن الجسم المرئي إلى العين.

٢- جعل الإنارة منتظمة قدر الإمكان، وإلا فإن العين تتعب في تكيف نفسها مع الضوء بين منطقة وأخرى، كما في حالة الإنارة غير الثابتة.

٣- إن عدسة العين لا تستطيع رؤية الألوان المختلفة بنفس الوضوح في نفس الوقت، لذلك فإن العين ترى الأشياء أكثر وضوحاً في ضوء أحادي اللون مما في الضوء الأبيض.

وللحصول على إنارة جيدة يجب تحقيق الأمور التالي:

١- اسقاط مقدار كاف من النور ذي شدة ثابتة على كافة السطوح الرئيسية سواء أكانت أفقية أم شاقولية أم مائلة.

٢- تأمين شدة إنارة ثابتة على الجدران والمناطق المجاورة قريبة من شدة الإنارة على السطوح الرئيسية.

٣- استخدام ضوء ذي لون وظيف مناسب للغرض.

٤- تجنب الوهج (Glare) والانعكاسات المزعجة

٥- توجيه وتوزيع النور لتجنب الظلال أو التباينات الواضحة في شدة الإنارة.

٦- تأمين شدة إنارة مناسبة للمنطقة واستخدام أجهزة منسجمة مع الأشياء المحيطة بها بحيث تكون بسيطة وسهلة الصيانة وجيدة وبأسعار تتماشى مع النتائج المطلوبة.

٣-٤-١- تأثير أبعاد وجدران الغرفة:

يتكون النور الساقط على مستوى العمل من جزئين رئيسيين، جزء صادر عن المصباح مباشرة وجزء منعكس من السقف والجدران. لذلك فإن مستوى الإنارة النافعة فوق مستوى العمل ينخفض بازدياد نسبة الجزء المنعكس من الجدران. او بتعبير آخر يزداد الفيض الضوئي المطلوب من جهاز الإنارة بازدياد نسبة الجزء المنعكس من الجدران بالنسبة لسوية إنارة ثابتة في مستوى العمل ويعتمد الجزء الساقط على الجدران على حجم الغرفة وارتفاع المصباح فبازدياد حجم الغرفة تزداد نسبة سطحها إلى جدرانها

وتقل نسبة النور المتجه نحو الجدران وبزيادة ارتفاع المصباح فوق مستوى العمل تزداد نسبة النور المتجه نحو الجدران.

إلا أن انخفاض المصباح يسبب تكوّن الظلال، ويتطلب من المصمم تقريب المصابيح من بعضها لجعل الإنارة أكثر انتظاماً لذلك يفضل ارتفاع المصباح لاختصار عدد المصابيح اللازمة وتحقيق وفر أكبر من الوفر الناتج عن تقليل جزء النور المتجه نحو الجدران، كما تؤثر طبيعة ولون الجدران على مردود الإنعكاس الذي يرتفع بالنسبة للألوان الفاتحة والسطوح الصقيلة، إلا أن المردود ينقص بالتقدم. لذلك ينبغي استعمال الألوان الفاتحة والدهانات الجيدة الثابتة للحصول على أفضل النتائج مع ملاحظة ضرورة تجنب الوهج واللمعان الذي يؤثر على الرؤية.

ولدراسة تأثير أبعاد الغرفة بشكل تحليلي، يعطى ما يسمى بعامل الغرفة أو عامل المكان والذي يرمز له بالرمز K . ويتم حسابه من خلال العلاقة التالية:

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} \quad (3-1)$$

عامل الفراغ

حيث:

a - طول الغرفة مقدراً بالمتر.

b - عرض الغرفة مقدراً بالمتر.

h - الارتفاع المفيد للغرفة بالمتر.

ويحسب الارتفاع المفيد h من العلاقة التالية أيضاً:

$$h = H - (h_b + h_c) \quad (3-2)$$

حيث:

H - الارتفاع الطائقي (الارتفاع الكلي) للغرفة مقدراً بالمتر.

h_b - مقدار تدلي المصباح مقدراً بالمتر.

h_c مقدار ارتفاع مستوى العمل في الغرفة مقدراً بالمتر.

٣-٤-٢- توزيع أجهزة الإنارة في الغرفة:

توزع أجهزة الإنارة في المكان المراد إنارته بشكل تحقق توازن في توزيع الضوء أكثر

ما يمكن وبحيث يبقى الوهج في حدوده المسموح بها.

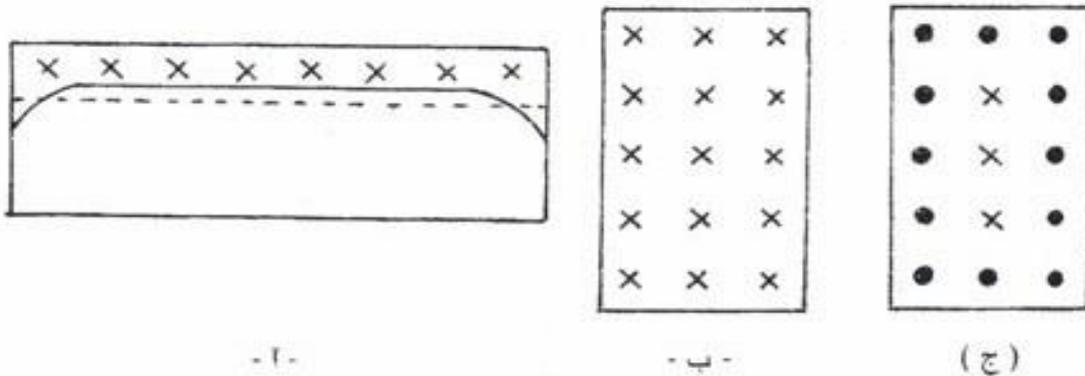
ويعتمد التوزيع هذا على عدة أسس منها:

آ- يجب أن تكون المسافة بين جهازي إنارة متتالين مساوية لضعف المسافة بين الجهاز المجاور للجدار والجدار.

وفي حال كون شكل الغرفة الهندسي مربعاً أو مستطيلاً مثلاً غير مناسب تماماً لاختيار توزيع الأجهزة بشكل يحقق شرط توازن الضوء فيجب السعي قدر الإمكان لزيادة عدد أجهزة الإنارة المستخدمة لغرض الإنارة. وهنا بالتأكيد تدخل عدة اعتبارات منها اعتبارات اقتصادية أيضاً، ولذلك يتم التسامح بعض الشيء أحياناً في شرط التوازن ويكون التسامح هذا متعلقاً بالشكل الهندسي أولاً وبأهمية المكان المراد إنارته ثانياً.

وقد يلجأ أحياناً إلى زيادة استطاعة الأجهزة الضوئية المجاورة للجدران من أجل التخلص من مقدار تدني سوية الإنارة بجوار الجدران. ويبين الشكل (٣-٤-أ) منحنى توزيع سوية الإنارة في الغرفة المستطيلة المبينة في الشكل (٣-٤-ب)، بينما يظهر الشكل (٣-٤-ج) نفس الغرفة، لكن أجهزة الإنارة المجاورة للجدران مغايرة لأجهزة الإنارة الأخرى من حيث الإستطاعة.

ب- العلاقة بين تباعد الأجهزة وارتفاع الجهاز: لضمان انتظام جيد للإنارة على سطح العمل يجب أن تراعى العلاقات العملية بين ارتفاع الجهاز وبعده عن الأجهزة عن بعضها، وتختلف هذه العلاقات حسب نوع الجهاز وخواصه الضوئية. ففي الإنارة



الشكل (٣-٤) تلمي سوية الإنارة في جوانب الغرفة وكيفية معالجته

الاجتهاد يجب ان تكون نسبة المتاحدين الاجتهاد (10) على ارتفاع مستوى العمل الجيد
(h) ما بين (1 و 1.2) أي أن المقدار a/h محصور في المجال [1.2 و 1]. بينما يكون هذا
المقدار محصوراً داخل المجال [1.5 و 1] للإضاءة نصف المباشرة وضمن المجال [2 و 1.5]
للإضاءة المختلطة.

ج- التوزيع غير المنتظم: يمكن أن يُلجأ أحياناً إلى توزيع غير منتظم لأجهزة الإنارة
بغرض الحصول على سويات إنارة مختلطة داخل الغرفة أو المكان وبشكل عام يعمل
لرفع سويات الإنارة في الغرفة قرب النوافذ بينما تستخدم بقية الأماكن في الغرفة لوضع
الخزائن وغيرها داخل الغرفة.

3-2-3- اختيار نظام وسويات الإنارة:

يتم اختيار نظام الإنارة بعد معرفة نوعية العمل الذي سيجري في المكان المراد
إنارته وبعد اختيار أحد الأنظمة السابقة المذكورة في الفقرة (3-3) حسب ترتيب
أجهزة الإنارة يتم العمل من أجل ترتيب وتوزيع الأجهزة بشكل يضمن توزيع الضوء
بالشكل المطلوب.

أما اختيار سويات الإنارة فيتم وفق جداول خاصة تعطى فيها قيم محددة لكل نوع
من أنواع الغرف، هذا وستعطى في الملحق رقم III بعض سويات شدة الإنارة
المستخدمة.

3-5- طرق حساب الإنارة الداخلية:

لحساب الإنارة الداخلية توجد طريقتان هما: طريقة اللومن وطريقة الإنارة النقطية
(المباشرة) حيث تمكن الطريقة الأولى من حساب الإنارة الوسطية فقط بينما تمكن
الطريقة الثانية من حساب الإنارة المباشرة في أية نقطة من الفراغ ومن ثم حساب الإنارة
الوسطية بعد معرفة الإنارة الفردية في عدة نقاط يجري اختيارها بشكل مناسب.

3-5-1- طريقة اللومن:

تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً وتأخذ بعين الإعتبار الانعكاسات الضوئية
الناجمة عن الجدران والسقف والأرضية وتتميز عن الطرق الأخرى بأنها سهلة وتعطي
مباشرة الإنارة الوسطية.

وللقيام بهذه الطريقة يجب اتباع الخطوات التالية:

أ- يتم اختيار سوية الإنارة الوسطية حسب أحد النظم العالمية أو الوطنية المعروفة وذلك وفقاً لفتحة المكان ووظيفته وهذا يتم من خلال الجداول.

ب- عامل الإستخدام (*Utilisation Factor*) ويرمز إليه بالرمز (*U*)

يعرف عامل الإستخدام (الإستعمال) بأنه النسبة بين الفيض الضوئي المستفاد منه فعلاً إلى الفيض الضوئي الكلي الصادر عن المصابيح المستخدمة. حيث أن الفيض الناتج عن المصباح يصل قسم منه إلى المكان المنار وقسم آخر يمتص من الجهاز نفسه، كما يتجه قسم أيضاً باتجاهات مختلفة فيضيع جزء من الفيض الضوئي نتيجة الإمتصاص والإنتشار والإنعكاس. هذا ويعتمد عامل الإستخدام على عدة عوامل أهمها:

التوزيع الضوئي للجهاز، نسبة الخرج الضوئي للجهاز (*Light Output Ratio*)، الخواص الإنعكاسية للسقف والجدران وسطوح العمل. وتؤخذ القيم الوسطية لعوامل الإنعكاس لغرفة ذات ألوان فاتحة (0.7) للسقف و (0.5) للجدران و (0.3) للأرضية، كما يتعلق عامل الإستعمال بعامل الغرفة *K* الذي يتعلق بدوره كما رأينا بأبعاد الغرفة والإرتفاع المفيد لجهاز الإنارة.

تعطى عوامل الإستعمال حسب عامل الغرفة والخواص الإنعكاسية للأسقف والجدران وسطوح العمل ونوعية الجهاز المستخدم في جداول خاصة لعدد من الأجهزة النموذجية، كما تعطي الجهات الصانعة جدول تفصيلي لكل جهاز، وتأخذ كهذه الجداول أشكالاً مختلفة. والملحق رقم *II* سيعطي بعضاً من جداول عوامل الإستعمال المستخدمة.

ج- عامل الصيانة والتقاعد (*Maintenance Factor*) ويرمز إليه بالرمز (*MF*):

يعبر عامل الصيانة عن مدى الصيانة الدورية التي يمكن تنفيذها، كما يتعلق بكتامية الجهاز ضد الغبار وبنظافة المكان ومدى التلوث في أجواء المنشأة وتتراوح قيمته بين (0.5-0.8)

د- حساب الفيض الضوئي اللازم:

يُحسب الفيض الضوئي الكلي اللازم لإنارة غرفة من العلاقة:

$$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{u \cdot MF} \quad (3 - 3)$$

حيث:

E - متوسط الإنارة المطلوبة مقدرة باللوكس [lux].

S - مساحة المكان المراد إنارته مقدرة بالمتر المربع [m^2]

u - عامل الإستعمال

MF - عامل الصيانة

أما عدد الأجهزة N فيحسب من العلاقة:

$$N = \frac{\Phi_T}{n\phi_L} \quad (3 - 4)$$

حيث:

N - عدد أجهزة الإنارة اللازمة

Φ_T - الفيض الكلي اللازم مقدراً باللومن [lm]

ϕ_L - فيض المصباح التصميمي مقدراً باللومن [lm]

n - عدد المصابيح في الجهاز الواحد.

٢-٥-٢ طرق الإنارة المباشرة:

تستعمل هذه الطرق في حساب سويات الإنارة في نقطة أو عدة نقاط من المكان المضاء سواء أكانت على المستوى الأفقي أو الشاقولي وذلك من الإشعاعات المباشرة للجهاز، ثم تستخدم العلاقات أو الجداول أو مخططات الايزولوكس العائدة لهذه الأجهزة والتي هي عبارة عن منحنيات يمر كل منحنى منها بجميع النقاط المتساوية الإنارة وبذلك تحدد هذه المخططات سويات الإنارة في نقطة ما.

٦-٢-١ اقتراحات في الإنارة الداخلية:

١-٦-٢-١ بالنسبة للمساكن:

عند إنارة المساكن يجب مراعاة العامل التزييني، إضافة إلى العوامل الخاصة باللون والظلال والوهج وسوية الإنارة، ويفضل وجود الظلال الخفيفة على عدم وجودها مطلقاً. وتختلف الإنارة داخل المساكن ما بين غرفة وأخرى وذلك حسب استخدام كل غرفة. وفيما يلي بعض الملاحظات الخاصة بالغرف المختلفة:

١- المطبخ:

يتطلب المطبخ إنارة جيدة موزعة، وذلك من أجل القيام بأعمال التحضيرات المطلوبة للطبخ وإعداد الأغذية المرادة. وتؤخذ قيم مقادير الإنارة الوسطية اللازمة من الجداول الخاصة بذلك، ويفضل استخدام المصابيح المتوهجة عن مصابيح الفلوريسانت في المطبخ وذلك لأن الدخول والخروج إلى المطبخ كثير وسرعة استجابة المصباح المتوهج أكبر وأسرع من استجابة مصابيح الفلوريسانت. كما يفضل تعليق المصباح في السقف مباشرة ويحدد عدد المصابيح المطلوب واستطاعتها من خلال معطيات مسافة المطبخ وأبعاده وشكله الهندسي.

٢- غرف النوم:

يجب تأمين إنارة موزعة بواسطة مصباح أو مصباحين معلقين بالسقف ضمن بوتقة زجاجية بشكل مريح، كما يمكن تأمين إنارة موضعية على التواليت بواسطة بوتقات متحركة على طرفي المرأة. ويفضل أن يجعل التحكم بمصباح ما على الأقل من خلال مفتاح موضوع بقرب السرير وذلك لتأمين إمكانية تشغيله وإغلاقه من السرير مباشرة.

٣- غرف الجلوس:

يمكن تأمين إنارة عامة بواسطة مصابيح متوهجة من خلال ثريات يحدد عددها وشكلها حسب اتساع وحجم المكان (الغرفة) مع الأخذ بعين الاعتبار الشكل التزييني للثريا الموضوع والمعلقة في السقف. كما يمكن استعمال مصابيح فلوريسانت لتأمين الإنارة العامة نفسها بدلاً من المصابيح المتوهجة. أما الإنارة موضعية فقد تستخدم بشكل كlobات موضوعة على أعمدة مركزية في مكان ما من الغرفة أو قريبة لطاولة يمكن استعمالها للكتابة والمطالعة وتؤخذ القيم الوسطية لسوية الإنارة من الجداول أيضاً.

٤- غرف الطعام:

توجد عدة طرق مناسبة لإنارة غرف الطعام، منها تأمين إنارة عامة بواسطة بوتقة إنارة غير مباشرة معلقة في منتصف الغرفة أو استخدام مصابيح فلوريسانت على كورنيش حول الغرفة وتحت السقف مباشرة للإنارة غير المباشرة، كما يمكن استخدام المصابيح المثبتة على الجدران للإنارة التزيينية.

٥- غرف الإستحمام:

تشغل المرأة في غرف الإستحمام الموضع الرئيسي من الأهمية ويتم الحصول على

أفضل النتائج باستخدام كلويين زجاجيين مثبتين في الجدار على طرفي المرآة فوق مستوى الوجه وحين تعذر ذلك يمكن استخدام كلوب واحد أو أنبوب فلوريسانت فوق المرآة وهذه الإنارة وحدها تكفي عادة في غرف الإستحمام الصغيرة ويمكن استخدام مصباح معلق في وسط السقف في الغرف الكبيرة. وينصح باستخدام مصباح شمسي للحصول على أشعة فوق بنفسجية مفيدة للصحة خلال أشهر الشتاء.

٢-٦-٣- إنارة المكاتب:

يوصى باستعمال مستويات إنارة كبيرة تصل حتى $600 [lux]$ من أجل الأعمال الدقيقة ويجب تجنب المصابيح المتحركة، وتفرض هنا الإنارة بالمصابيح المتألقة كما ويفضل ان تكون الأجهزة مخفية غالباً في السقوف المستعارة (التي تقي من الضجيج وانتشاره) وذلك بفرض نظام في أبعاد خاصة لهذه الأجهزة التي يمكن أن تكون أحياناً مشتركة في المكان مع أجهزة تكييف الهواء.

وعندما يتطلب استعمال نبات مكتب لاستكمال الإنارة نستعمل مصباحاً مستوفياً للشروط المفروضة من أجل إنارة مريحة وبدون إبهار للنظر.

أما في الأبنية ذات المكاتب الحديثة، فيجب أن تكون صالة الإستقبال منارة بشكل يحوز على إعجاب الزائر.

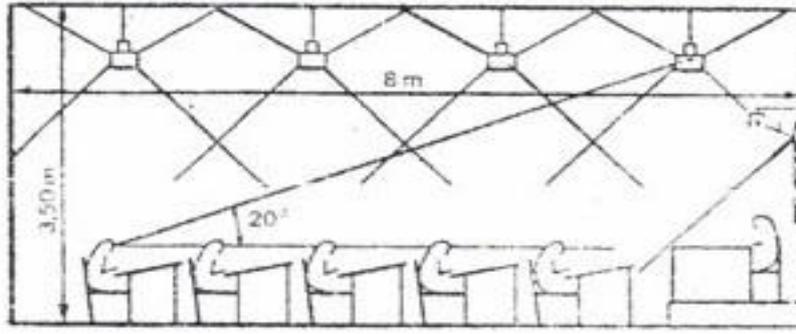
٢-٦-٣- إنارة الغرف المدرسية والجامعية:

يوصى بمستويات إنارة تتقدم باستمرار في الصفوف والمدرجات، فيوصى بمقدار $150 [lux]$ لمكان الطلاب و $200 [lux]$ لمكان الأستاذ و $300 [lux]$ للسيرورة. أما في الصفوف الخاصة بالطلاب ضعيفي الرؤية فيتم تأمين مستويات إنارة أعلى من ذلك.

ومن جهة أخرى فإن شدة إشعاع (نصوع) المحارق في حقل الرؤية قد حددت بمقدار $0.2 [cd/cm^2]$. ويجب أن لا يزيد ميل المستقيم الواصل بين العين والمحرق على 30° للنظر الأفقي. كما في الشكل (٣-٥)

كذلك يجب أن تعطي المنابع الضوئية أية صورة على السبورة تظهرها بالشكل الجيد لجميع الجالسين في القاعة كما هو موضح بالشكلين (٣-٥) و (٣-٦)

وبما أن مستويات شدات الإنارة الكبيرة، يصعب تحقيقها بالمصابيح المتوهجة، لذلك نستعمل الفلوريسانت ذي الألواح المركزة (باراليم أو مواد بلاستيكية كاسرة).

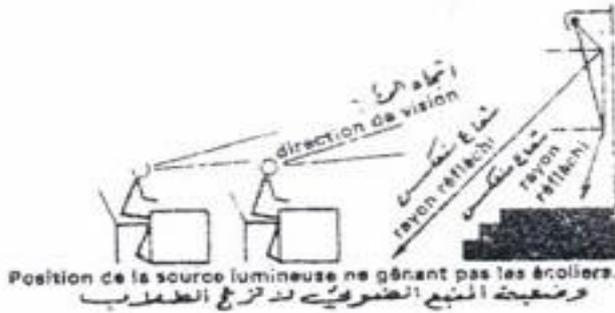


الشكل (3-5) ترتيب جيد للمحارق في الصف

وفي المدرجات الكبيرة تضاف كذلك إنارة للطاولات، ليتمكن الطلاب من تدوين الملاحظات.

3-6-4- تنوير المشافي:

عند تنوير المشافي يجب مراعاة بعض الظروف لغرف المرضى وغرف العمليات. فبالنسبة لغرف المرضى، يجب أن يراعى الجو



الشكل (3-6) وضعية المنبع الضوئي لا تززع الطلاب

المطلوب توفيره مختلف العوامل الناجمة عن حالة المرضى، أي يجب أن يكون الجو العام هادئاً ومريحاً بدون وجود أية نقطة بلمعان مرتفع. واستخدام الأكواع خلف الأسرة مع إنارة غير مباشرة هي مناسبة تماماً وشريطة تجنب النور ذات اللمعانات القوية على الجدار عندما تكون الأسرة متقابلة مع بعضها.

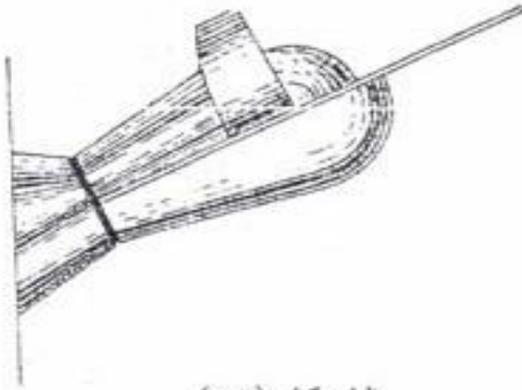
أما سوية الإنارة فهي قليلة الإرتفاع من: $40-50 [lux]$

كذلك يجب أن يتاح للمريض القراءة في سريره، وذلك بفضل إنارة محصورة تحمل سوية إنارة قدرها $150-200 [lux]$ دون ان تحدث ظلالاً محمولاً لجسم المريض على سطح القراءة، ويمكن الحصول على هذه النتيجة باستعمال جهاز عاكس طويل الشكل مع أنابيب فلوريسانت ذات تركيب مزدوج، أو لمبات متوهجة مركبة بطرف مقابل طرف.

وفضلاً عن ذلك يجب أن يتمكن الطبيب من القيام بالفحوصات، وأن تقوم

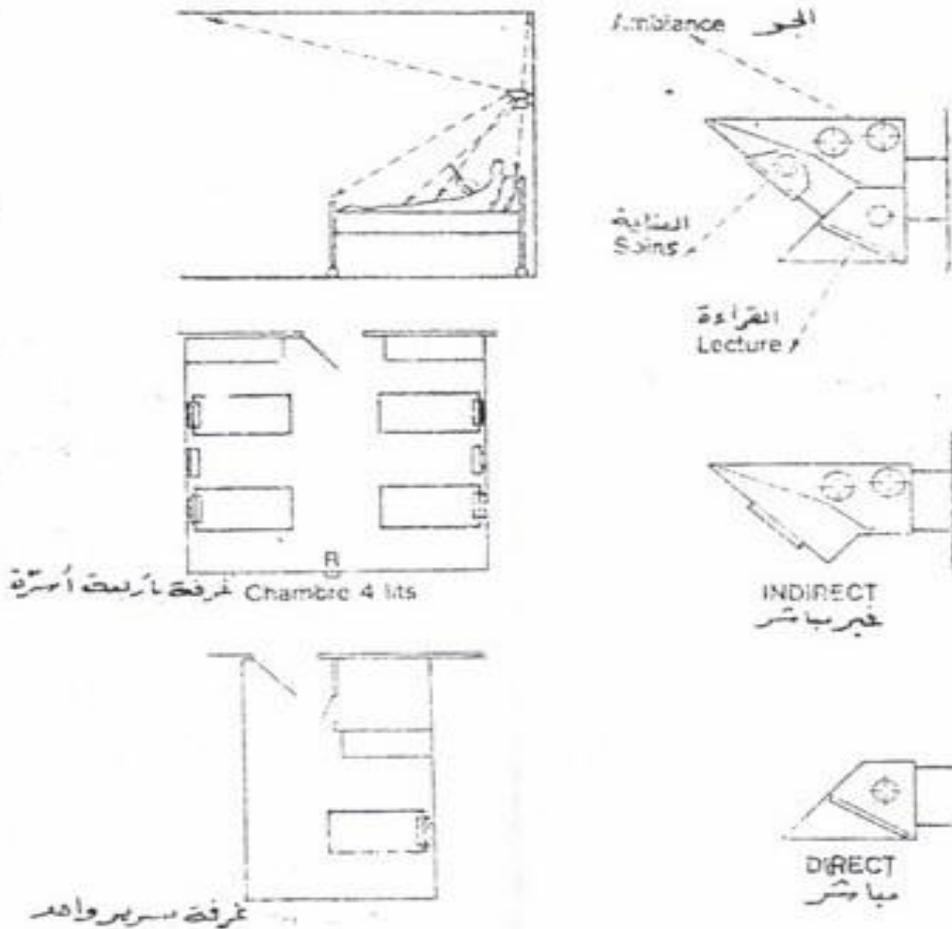
المرضة بمهماتهما تحت مستويات إضاءة قوية نوعاً ما.

ويبين الشكل (٧-٣) شكل
جهاز إنارة غير مباشرة يستعمل في
غرف المرضى



الشكل (٧-٣)
جهاز إنارة غير مباشرة ، نلسن ، لغرفة المرضى

كما يبين الشكل (٨-٣) أجهزة
إنارة قابلة للتركيب والتركيب في
غرف المرضى



الشكل (٨-٣) جهاز مركب قابل للتركيب لغرفة المرضى

ويمكن تصميم عدة طرق لهذه الغاية:

- طريقة نقاط مضيئة في السقف (SPOT)

- طريقة مجموعة (داربين) إضافية في الكوع.

كما أن هنالك إضاءة خاصة للطواف ليلاً يمكن الحصول عليها بواسطة جهاز مخفي مركب فوق نعل الغرفة يتيح للممرضات القيام ليلاً بالطواف لإسداء بعض المساعدة للمرضى، ويستعمل كوع للطواف الليلي أحياناً كما يستعمل مصباح نقل يعمل بواسطة مأخذ تيار مركب إلى جانب المريض.

إن الإضاءة في غرف العمليات الجراحية تشكل مشكلة معقدة جداً، وهناك التصميمات المختلفة تحقق جميعها الشروط التالية:

١- سوية إنارة مرتفعة جداً (لغاية $1000 [lux]$) في موقع منطقة العمليات.

٢- إزالة الظلال التي يحدثها جسم الطبيب الجراح ويده.

٣- درجة حرارة منخفضة بالرغم من سوية الإنارة المرتفعة.

٤- مناورة للحركة سهلة، دون أية غبار على المريض.

وإن المبدأ المستعمل هنا للإنارة هو:

١- إنارة متنقلة وبدون ظل صادرة عن جهاز ذو مرآة مفضضة أو عاكس كبير مع منابع محيط دائرته.

٢- برج نجوم مؤلف من العديد من الأجهزة الكاشفة المخفية في السقف، والتي تركيب بتصميم خاص لكل نوع من العمليات، وتستخدم حالياً أجهزة عاكسة عدسية مع لمبات نصف مفضضة.

٣-٥-٦- إنارة المسارح، قاعات المحاضرات، صالات الأعياد:

تتضمن إنارة المسارح:

أ- تجهيز خشبة المسرح.

ب- تجهيز صالة المسرح.

وتختلف أهمية تجهيز المسرح باختلاف المشاهد المرتقبة، حيث يكون تنظيم قاعات

. والمحاضرات أبسط من تنظيم القاعات المستخدمة فقط للمشاهد المسرحية.

كما ويُكرّس حديثاً جزءاً كبيراً من سقف القاعة لتركيب العديد من الأجهزة الكاشفة وتحتوي تنويرات خشبية المسرح على مجموعة مفاتيح تتيح بواسطة منظمات خاصة إمكانية استعمال كافة عمليات التغيير لمختلف الأجهزة الكاشفة والملونة، ويمكن عند القيادة تركيز هذه المنظمات على رافعة واحدة دليلها مثلث الألوان، وتعمل هذه المنظمات باستخدام وشيعة للتحريض الذاتي مع مضخات مغناطيسية، وليس بواسطة مقاومات بسيطة تستهلك استطاعة كبيرة دون فائدة.

كذلك يوجد منظمات للفلوريسانت تعمل على أدوات إلكترونية تتيح تنظيم طريقة الإنارة. أما في قاعات المحاضرات، فيجب مراعاة أهمية القاعة نفسها، وإظهارها. وتمكننا مجموعة المفاتيح من تغيير التنويرات في القاعة، وتتيح إمكانية الإبقاء على مستوى إنارة كافٍ لتدوين الملاحظات.

وتشمل الإنارة العامة على سقوف مضيئة بأنابيب متألقة ذات التوتر العالي ويحيط بها حزام من مصابيح الإنارة المباشرة المتوهجة ذات المرآة. ويجب أن تتناسب الإنارة مع هذه الوظائف، فالضوء السقفي الوسط محاط ببرج من الأضواء يتيح (ياشراك الألوان الثلاثة) كافة العمليات الممكنة.

٦-٦-٢- إنارة الملاعب الرياضية والمسابع:

تشكل إنارة الملاعب الرياضية مشكلات خاصة جداً، والحلول التي يجب اعتمادها ترتبط بالأمرين التاليين:

أ- طبيعة الألعاب

ب- استعمال الأرض التي تشمل على حالتين: حالة التمرين (البروفات)، وحالة المباراة أمام الجمهور.

ونميز بين الألعاب الرياضية الداخلية، والألعاب الرياضية التي تجري في الملاعب المكشوفة كذلك توجد ملاعب تغطي جميع أنواع الألعاب الرياضية.

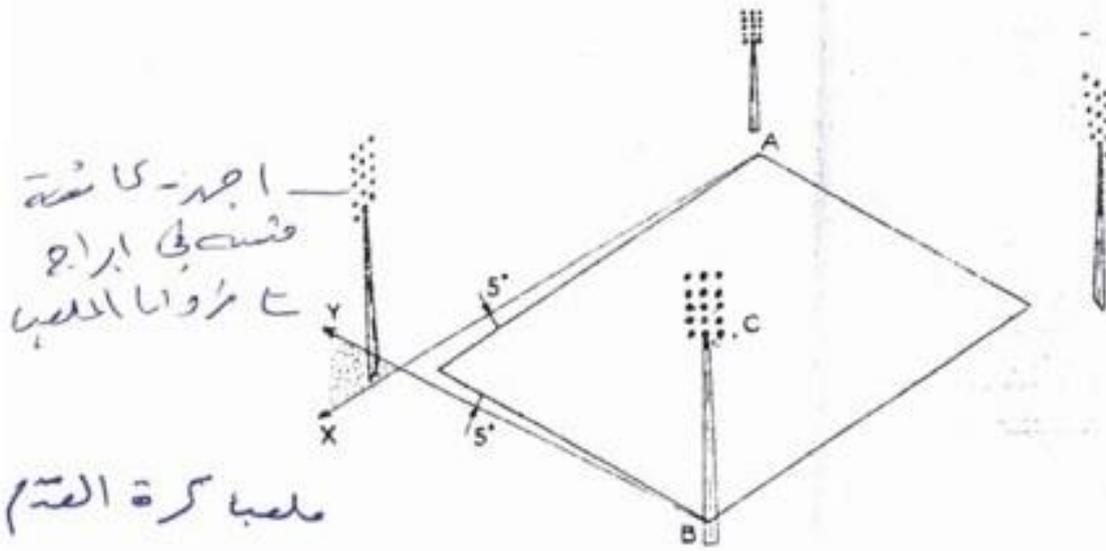
وتوصي مؤسسات التنوير المختلفة بملاحظة العوامل التالية:

مستويات شدات الإنارة، عدم وجود نور مبهز في اتجاهات أنظار اللاعبين، وضعية

الأبراج الحاملة لأجهزة الإنارة.

أما بالنسبة للتظاهرات الرياضية الكبرى فقد تجاوزت مستويات الإنارة القيم السابقة (مثلاً: ملعب «ستاد» مدريد ذو مستوى شدة إنارة $700 [lux]$)

إن وضعية المناهج الضوئية هامة جداً، لأن العديد من أنواع الرياضة يستلزم رؤية الكرة وهي في الفضاء ويكون النظر متجهاً نحو الأعلى كما هو مبين في الشكل (٩-٣) (وهذه حال كرة المضرب وكرة الطائرة... الخ).



الشكل (٩-٣) إنارة أرض ملعب كرة قدم

ويبين الشكل (١٠-٣) أشكال وأبعاد الملاعب الرياضية المختلفة.

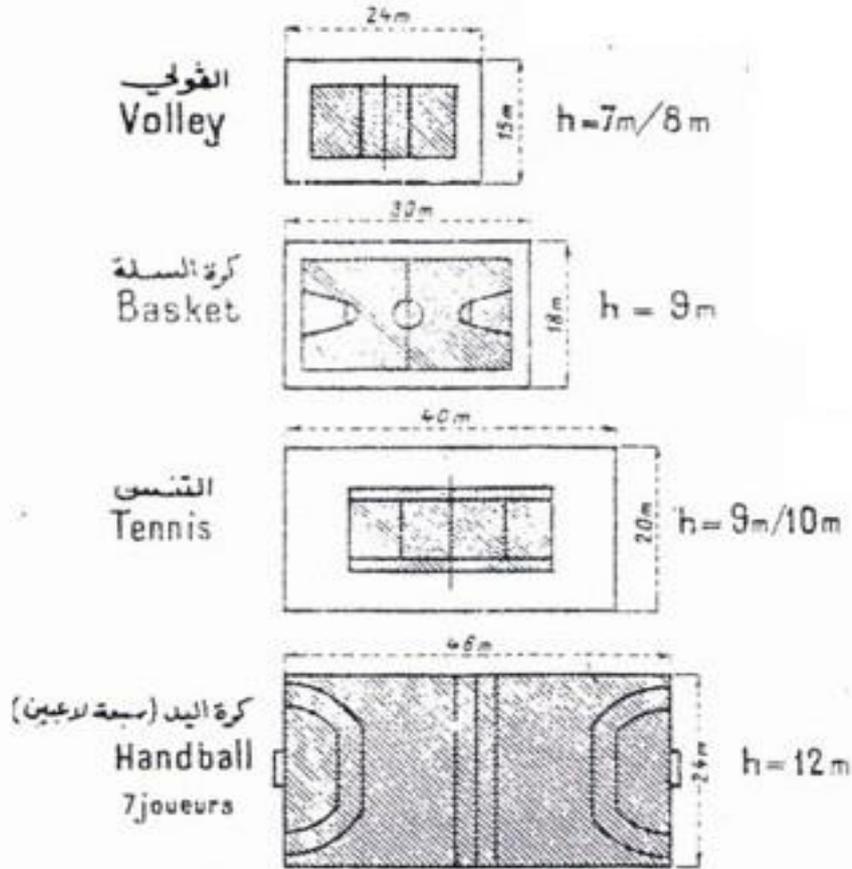
كما يستعمل عادةً، بصورة عامة للملاعب الخارجية، أجهزة كاشفة مثبتة فوق أبراج في زوايا الملعب.

ويبين الشكل (١١-٣) كيفية إنارة ملعب كبير.

وهكذا فإن ملعب الأولومبيك في طوكيو الذي يتسع 80000 مقعداً، مضاء بواسطة أربعة أبراج زاوية $45-50[m]$ يحتوي كل منها على أجهزة عاكسة مع 45 لمبة على بخار الزئبق باستطاعة $1500[W]$ و 20 لمبة على اليود باستطاعة $1500[W]$ و 20 لمبة على بخار الزئبق باستطاعة $1000[W]$

إن صالات الرياضة الداخلية، تكون منارة غالباً بواسطة إنارة جانبية.

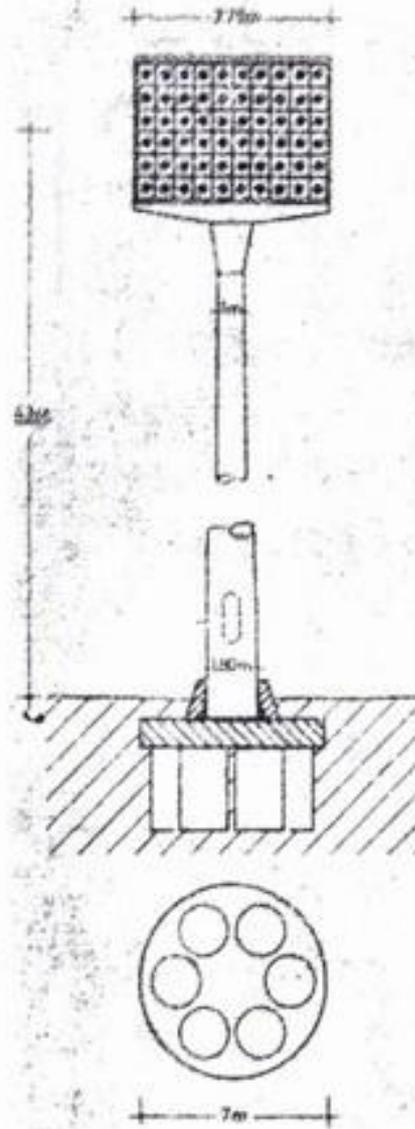
وهذه المجموعات، يمكن أن تشمل على أنابيب فلوريسانت، شريطة انتشار الفيض الضوئي على سطوح ناشرة عريضة بقدر كافٍ لتفادي الابهار.



الشكل (١٠-٣) الأراضي المختلفة للاعب الرياضة

ويبين الجدول (١-٣) مقادير شدة الإنارة المقترحة للملاعب.

أما إنارة المسابح فتتم من خلال إنارة قعر الحوض بواسطة أجهزة كاشفة مركبة ضمن صندوق محكم الإغلاق. كما توجد أجهزة كاشفة غاطسة شديدة الإحكام، ويجب اتخاذ تدابير شديدة ضد اخطار الصدمة الكهربائية التي يخشى منها في الماء.



كيفية اضاءة ملعب كبير

الشكل (11-3) إنارة ملعب

المباراة		التصميم		نوع الملعب
الموصى به [lux]	الحد الأدنى [lux]	الموصى به [lux]	الحد الأدنى [lux]	
300	150	100	70	كرة القدم
500	300	200	150	كرة السلة - كرة الطائرة
200	100	-	75	التزلج (باتيناج)
300	200	150	100	تنس (كرة المضرب)
200	150	200	120	ملاعب سباق الدراجات
200	150	200	150	ملاعب سباق الخيل - سباق الكلاب
100	50	100	50	التزلج (سكي) - قفز
-	2000	1500	-	ملاكمة

الجدول (1-3) شدة الإنارة المقترحة للملاعب

أ- أن يكون جهاز الإنارة مرناً بحيث يتيح لنا تقديم اللوحات على درفات متحركة أو غيرها.

ب- تفادي حدوث صور بسبب السطوح اللماعة الصقيلة.

ج- حل المشكلات الناتجة عن الحفظ في مكان ثابت (تأثير النور وتركيبه، الحماية من الغبار لبعض الأشياء).

د- ضرورة وجود ظلال بالنسبة لأعمال النحت. إذ يتعلق التنظيم الضوئي بطبيعة الأشياء المعروضة التي غالباً ما تكون كثيرة التغير.

وتشمل الإنارة العامة في صالات المتحف كافة السقف الحاوي على ألواح شافة من مواد بلاستيكية. وتبعاً لوضعية الدرفات، يمكننا وضع حواجز معتمة بدلاً من المواد الشافة وحجب النور لتجنب حدوث الصور.

ويمثل الشكل (٣-١٢) وضعية المنابع الضوئية وسير الأشعة الضوئية للإنعكاس المباشر والتي لا تمر بعين الناظر.

وبصورة عامة، في المتاحف يجب تجنب الإنارة العامة من لمبات الفلوريسانت، وذلك بفضل تحسين لون الضوء، وهناك دستور يقضي بخلط الفلوريسانت مع المتوهجة (مثلاً لمبة فلوريسانت بطول $1.2[m]$ يعقبها لمبة متوهجة باستطاعة $100[W]$)

هذا وإن مشكلة التنظيم الضوئي للواجهات الزجاجية (الفيترينات) تستدعي القيام بالعديد من الدراسات، ولقد أخذت جميع الحلول بعين الإعتبار المقبول المؤذي للحرارة وللإنارة الشديدة الكثافة، وعدم وجود تكييف للهواء، ودخول الغبار ... الخ. ولقد نفذت واجهات زجاجية لبعض المتاحف، وهي محكمة ضد الغبار وتفتح الواجهة كهربائياً لأجل أعمال الصيانة، وتستعمل أجهزة كاشفة صغيرة مجهزة بمصابيح ذات توتر منخفض لإبراز بعض المعروضات.

٣-٦-٨- إنارة أماكن العبادة:

تعتبر الإنارة عنصراً أساسياً لتأمين الجو الخاص لأماكن العبادة، فمن الضروري إبراز

المنطقة التي يقوم فيها رجل الدين بشعائره الدينية، كما وأن باقي الأجزاء يجب أن تتلقى إضاءة كافية ونستخدم لذلك مصابيح ذات مرابا مخفية بواسطة حجب يثونية في الشق، اما في الجوانب فتستخدم ثريات معلقة.

٣-٦-٩- التنويرات التجارية - الأرمات المضيفة،

يشكل التنوير الخارجي عنصراً هاماً في ديكور الطريق، لذا فيجب أن يصمم خصيصاً لجلب الزبائن، ولهذه الغاية يمكننا اعتبار النقاط التالية:

أ- للمسافات البعيدة: نستخدم الأرمات المضيفة.

ب- للمناطق الأكثر قرباً: نستخدم إطار المخزن نفسه حيث تحتل إنارة المستويات العمودية مكاناً هاماً، ويجب أن يشكل المخزن مستطيلاً مضيئاً بشكل حقيقي.

ج- الواجهات الزجاجية (الفيرينات): يجب أن يتمكن الزبائن من فحص الأشياء المعروضة وهم في الشارع، ويمكن أن يصل مستوى شدة الإنارة حتى $3000/lux$

د- الإنارة العامة الداخلية: لها أهمية كبرى - خاصة في بعض المخازن التي ليس فيها فيرينات - ويمكن أن يكون مستوى الإنارة بحدود $1000/lux$ انظر الشكل (٣-١٣)

كذلك فإن للفيرينات الداخلية إضاءتها الخاصة التي ترفع من شأن الإضاءة العامة.

أما الأرمات المضيفة فتنفذ كلها تقريباً بواسطة أنابيب فلوريسانت للتوتر العالي متعددة الألوان، يحصل عليها بمساحيق متنوعة. وهذه الأنابيب تكون معبأة بالزئبق وتسمى خطأ بالنيون (لأن النيون غاز يعطي نوراً أحمر ولم يعد يستعمل عملياً).

كما ويمكننا تصميم أرمات تبرز فيها الحروف بشكل ظلال محمولة أو باستعمال مفعول الخيال (الشبح)، أي تظهر أحرف مظلمة فوق أرضية مضيئة، لكن مجال هذه الأرمات يكون أدنى من المجال الذي يتحقق بالأنابيب الفلوريسانتية.

مسائل مطولة في الضوء والإنارة

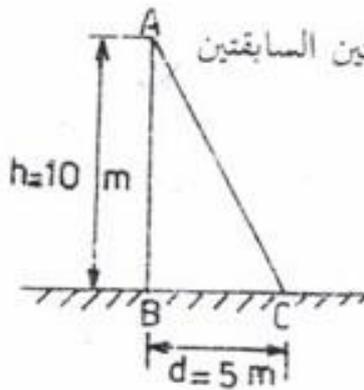
مسألة (١):

يعلق منبعاً ضوئياً استطاعته الضوئية $I = 10000 \text{ [Cd]}$ على ارتفاع مقداره $h = 10 \text{ [m]}$ والمطلوب:

١- احسب سوية الإنارة في النقطة B التي تمثل مسقط نقطة وجود المصباح الضوئي مباشرة.

٢- احسب سوية الإنارة في نقطة C تبعد عن مسقط نقطة وجود المصباح مسافة

مقدارها 5 m



٣- احسب قيمة النسبة R بين سويتي الإنارة عند النقطتين السابقتين

$$R = \frac{E_c}{E_B}$$

الحل:

$$E_B = \frac{I}{h^2} = \frac{10000}{(10)^2} = 100 \text{ [lux]} \quad -1$$

$$E_c = \frac{I}{h^2 + d^2} \cos \phi = \frac{I}{h^2 + d^2} \cdot \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}} \quad -2$$

$$= \frac{10000}{(10)^2 + (5)^2} \cdot \frac{10}{\sqrt{(10)^2 + (5)^2}} = \frac{100000}{(100 + 25) \cdot \sqrt{125}} = 71.55 \text{ [lux]}$$

$$R = \frac{E_c}{E_B} = \frac{71.55}{100} = 0.7155$$

-3

المصباح

$$h = 10 \text{ m}$$

$$I = 10000 \text{ cd}$$

مسألة (٢):

يعطى منبع ضوئي نقطي منتظم استطاعته الضوئية $I = 1000 \text{ [Cd]}$ والمطلوب:

١- احسب سوية الإنارة في نقطة من الفراغ تبعد عنه مسافة $d = 10 \text{ [m]}$ (نقطة

واقعة على سطح متعامد مع مسار انتشار الأشعة الضوئية).

٢- احسب سوية الإنارة في نقطة تقع على مستوى يميل عن اتجاه الفيض الضوئي

زاوية مقدارها 60° ويبعد عن المركز مسافة مقدارها 2 m

العيب الضوئي

الحل:

$$E = \frac{\phi}{S} = \frac{I}{d^2} = \frac{1000}{(10)^2} = 10 \text{ [lux]} \quad (-1)$$

$$E = \frac{\phi}{S} \cos\theta = \frac{I}{d^2} \cos\theta = \frac{1000}{4} \cdot \frac{1}{2} = 125 \text{ [lux]} \quad (-2)$$

مسألة (٣):

احسب مقدار الفيض الضوئي الساقط على سطح مساحته $S = 12\text{ m}^2$ ، إذا علمت أن متوسط سوية

الإضاءة على السطح S هي $E = 10\text{ [lux]}$

الحل:

$$\phi = E \cdot S = 10 \times 12 = 120 \text{ Lm}$$

مسألة (٤) - مصباح ذو فتيلة معنبة مملوء بالعز يستهلك تياراً شدته 0,42 A من

منبع تغذية توتره 220 V وينشر فقط صوتياً مقدار 1120 Lm. احسب:

١ - المردود الضوئي للمصباح.

٢ - متوسط الاستطاعة الضوئية الكروية للمصباح.

٣ - متوسط الاستطاعة الكروية بالواط.

الحل:

١ - المردود الضوئي للمصباح $K_L = \frac{\Phi}{P} = ?$, $I = 0,42 \text{ A}$, $V = 220 \text{ V}$

$$P = I \cdot V = 0,42 \cdot 220 = 92,4 \text{ W}$$

$$K_L = \frac{1120}{92,4} = 12,12 \text{ Lm/W}$$

٢ - $\Phi = I \cdot \omega \Rightarrow I = \frac{\Phi}{\omega} = \frac{1120}{4\pi} = 89,127 \text{ cd}$

٣ - متوسط الاستطاعة الكروية $\frac{I}{P} = \frac{89,127}{92,4} = 0,965 \text{ cd/W}$

مسألة (٥) - تستخدم ستة مصابيح لإنارة غرفة، فإذا كان المردود الضوئي لكل

مصباح $K_L = 11 \text{ Lm/W}$ وكان على المصابيح أن تصدر مجتمعة إجمالاً قدرة

10000 Lm. احسب:

١ - متوسط الاستطاعة الضوئية الكروية لكل مصباح.

٢ - القدرة الكهربائية المستهلكة خلال شهر إذا كانت المصابيح تعمل 6 ساعات يومياً.

الحل:

١ - الفيض الضوئي الذي يصدره المصباح الواحد:

$$\Phi_L = \frac{\Phi_T}{6} = \frac{10000}{6} = 1666,67 \text{ Lm}$$

$$\Phi_L = I \cdot \omega \Rightarrow I = \frac{\Phi_L}{\omega} = \frac{1666,667}{4\pi} = 132,63 \text{ cd}$$

متوسط الاستطاعة الضوئية الكروية لكل مصباح

$$K_L = \frac{\Phi_L}{P} \Rightarrow P = \frac{\Phi_L}{K_L} = \frac{1666,667}{11} = 150 \text{ W}$$

المردود الضوئي للمصباح

وهي الاستطاعة الكهربائية للمصباح الواحد.

والقدرة الكهربائية المستهلكة خلال شهر عندما تعمل المصابيح 6 ساعات يومياً:

$$W = P \cdot t = 6 \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 30 = 162 \text{ kW.h}$$

- تبلغ المساحة الفعالة لقبلة مصباح من نوع حوالي (19.4 cm^2) حين النظر إليها من الأسفل، ومتوسط الاستطاعة الضوئية نصف الكروية للمصباح في الاتجاه السفلي 153 cd . احسب شدة ضياء (سطوح) المصباح حين النظر إليه من الاتجاه السفلي مباشرة.

$$B = \frac{J}{S} = \frac{153}{19.4} = 7.886 \text{ cd/cm}^2$$

الحل:

مسألة (٦) - يبلغ طول طلاء الطوريسات لمصباح ومساء 146 cm وقطره 3.8 cm . فإذا كانت الاستطاعة الضوئية في اتجاه نصف القطر 340 cd . ما هي شدة ضياء المصباح؟

$$B = \frac{J}{S} = \frac{340}{3.8 \cdot 146} = 0.613 \text{ cd/cm}^2$$

الحل:

- مصباح استطاعته الضوئية في كافة الاتجاهات تحت المستوى الأفقي 200 cd وذلك عندما يعلق على ارتفاع 180 cm فوق مركز طنولة مربعة الشكل طول ضلعها 90 cm كما هو مبين في الشكل (٨ - ١). والمطلوب: احسب القيمة العظمى والصفرى لشدة الإنارة على سطح الطنولة.

الحل:
إن القيمة العظمى لشدة الإنارة تقع في مركز الطنولة حيث سقوط الأشعة من المصباح عمودياً.

$$I = 200 \text{ cd}$$

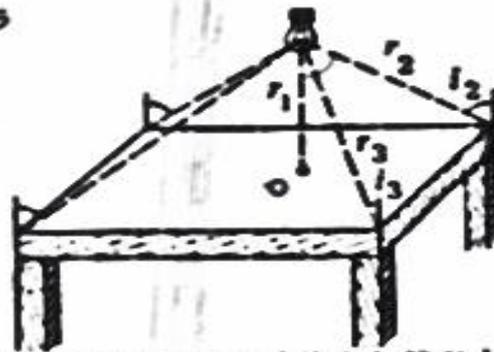
$$r_1 = 180 \text{ cm}$$

$$\text{طول الطنولة} = 90 \text{ cm}$$

$$E_o = \frac{J}{r_1^2} = \frac{200}{(1.8)^2} = 61.73 \text{ Lm/m}^2 \text{ or Lux}$$

بما أن المصباح يعلق فوق مركز الطنولة فإن شدة الإنارة في كل زاوية من زوايا الطنولة هي قيمة ثابتة وأصفرية.

$$AB = \sqrt{(0.45)^2 + (0.45)^2} = 0.636$$



الشكل (٨ - ١): اختلاف شدة الإنارة على نقاط سطح مستوي تبعا لبعده عن تلك النقاط عن مصدر الإنارة

$$E = \frac{J}{r_2^2} \cdot \cos \theta = \frac{J}{r_2^2} \cdot \frac{1.8}{\sqrt{(1.8)^2 + (0.636)^2}}$$

$$E = \frac{200}{3.645} \cdot \frac{1.8}{1.909} = 51.73 \text{ Lm/m}^2$$

$\sqrt{0.45^2 + 0.45^2} = 0.636$

إنارة الشوارع والإنارة الفائضة

Street Lighting and Floodlight

٥ - ١ - إنارة الشوارع:

٥ - ١ - ١ - مقدمة:

إن الهدف من إنارة الشوارع هو تأمين سلامة المارين بها من مشاة أو آليات في الليل ورفع مستواها الحضاري وتحسين مظهرها. وبسبب المتطلبات المتزايدة لسلامة الإنسان وتزايد نسبة الحوادث فقد أصبحت إنارة الشوارع من الأمور الهامة لكل من السائق والممشي. وتهدف إنارة الشوارع إلى تحقيق الأمور التالية:

١ - تسهيل حركة السيارات والمشاة في الليل.

٢ - التقليل من الحوادث ليلاً التي تسبب خسائر بشرية ومادية.

٣ - تشجيع وتسهيل العمل التجاري والصناعي أثناء الليل.

٤ - خلق أجواء جذابة في المناطق الأهلة بالسكان وما حولها وإبعاد الوحشة عنها.

والتوزيع السليم لأجهزة الإنارة في الشارع يؤدي إلى انتشار الضوء بشكل جيد، مع تجنب نشوء الظلال الحادة وتجنب اللمعان والوهج. ويسمح للسائق بالتعرف السريع على المعالم المحيطة به ويجعل السير آميناً.

وأهم العوامل التي تؤثر على الرؤية ليلاً:

١ - عدم وضوح الجسم أو التباين في الوضوح بين الجسم وما يحيط به.

٢ - انبهار العين.

٣ - عدم وضوح خلفية الطريق أو عدم التجانس في إنارة الرصيف والشارع.

٤ - الوضع الصحي للطريق (حفر، أتربة، قمامة، ...).

٥ - لون الفيض الضوئي الصادر عن أجهزة الإنارة المستخدمة في إنارة الشارع.

٥ - ١ - ٢ - القواعد الفنية لتصميم إنارة الشوارع:

١ - من الجولة الاستطلاعية على الواقع، أو من المخططات التنظيمية للمشروع، نحدد الأمور التالية:

١ - تصنيف حركة السير من آليات ومشاة في الشارع حسب الجدول (1 - 5).

٢ - نوع وصنف الشارع.

٣ - أبعاد الشارع والرصيف والمنعطفات.

٤ - نوع ولون سطح الشارع والرصيف وصفاتها العاكسة.

٥ - نوع واستعمال الأبنية على طرفي الشارع.

٦ - وجود وسائل النقل العامة.

٧ - أماكن وقوف السيارات.

٨ - وجود الأشجار ونوعها وطولها وانتشار أغصانها فوق الشارع والرصيف.

٩ - المبالغ المتوفرة والرغبات التزيينية.

جدول (1 - 5): تصنيف حركة السير في الشوارع.

الحد الأعظمي في الليل بالاتجاهين " سيارة في الساعة "	الصنف
أقل من 150	حركة سير خفيفة جداً
150 - 500	حركة سير خفيفة
500 - 1200	حركة سير متوسطة
1200 - 2400	حركة سير قوية
2400 - 4000	حركة سير قوية جداً
أكثر من 4000	حركة سير عظمى

ب - اختيار شدة الإنارة المناسبة حسب نوع الشارع وحركة السير فيه وذلك بالاستعانة

بالجدول (2 - 5).

الجدول (2 - 5): شدة الإنارة المقترحة (Lm/m^2) لأنواع الشوارع المختلفة عند

استخدام المصابيح المتوهجة حسب شركة General Electric Co.

ملاحظة هامة جداً: في جداول عالمية أخرى قد يجد المهتم في علم هندسة الإنارة بالنسبة لإنارة الشوارع أن

القيم المدرجة في الجدول (2 - 5) مضروبة بقيمة تقع ما بين (4 - 5). وهذا عائد إلى أن مردود المصابيح

الزئبقية وبخار الصوديوم أكبر من المصابيح المتوهجة بـ (4 - 5) مرات.

حركة سير قوية جداً		حركة سير قوية		حركة سير متوسطة		حركة سير خفيفة		حركة سير خفيفة جداً		نوع الشارع
أقصى	وسطى	أقصى	وسطى	أقصى	وسطى	أقصى	وسطى	أقصى	وسطى	
4	15	3	12	2	8	1	4	-	-	شارع تجاري رئيسي
3	13	2,5	10	1,5	6	0,7	3	-	-	شارع تجاري ثانوي
3	13	2,5	10	1,5	6	0,7	3	-	-	شارع عريض غير تجاري
3	12	2	8	1	4	-	-	-	-	شارع مزدوج للمسير
-	-	-	-	1	4	0,5	2	0,2	1	شارع سكني
-	-	-	-	1	4	0,5	2	0,2	1	شارع داخل مصنع

الجدول (3 - 5): الحد الأدنى لارتفاع أجهزة إنارة الشوارع.

ارتفاع الجهاز (m)			الفيض الضوئي الصادر (عن مصباح متوهج) (Lm)
أجهزة موزعة	أجهزة نصف مركزة	أجهزة مركزة	
5	5	5	1000
6	6	6	2500
6	6	6,7	4000
6	6	7,1	6000
6	7	8,1	10000
6	8	9,1	15000
6,7	9	11	25000

الجدول (4 - 5) : قيم مقترحة لاستطاعة المصباح المتوهج (الفيض الضوئي) وارتفاع التعليق وتباعد أجهزة إنارة الشوارع.

ملاحظات	التباعد (m)	ارتفاع التعليق (m)	الفيض (Lm)	تصنيف الشارع
الطرفان غير متقابلين	50 - 65	5	1000	شوارع ضيقة
الطرفان غير متقابلين	30 - 35	5	1000	
الطرفان غير متقابلين	40 - 55	6 - 7	2500	
في الوسط	65 - 80	8 - 10	4000	حركة سير خفيفة جدا
الطرفان غير متقابلين	30 - 40	5 - 6	2500	
الطرفان غير متقابلين	40 - 55	6 - 8	4000	حركة سير خفيفة
الطرفان غير متقابلين	40 - 55	7 - 8	6000	
الطرفان غير متقابلين	30 - 40	6 - 8	6000	
الطرفان غير متقابلين	40 - 55	7 - 9	10000	حركة سير متوسطة
الطرفان غير متقابلين	40 - 55	8 - 10	15000	
الطرفان غير متقابلين	30 - 50	8 - 9	10000	
الطرفان متقابلان	25 - 30	8 - 9	10000	حركة سير قوية
الطرفان متقابلان	50 - 60	8 - 9	15000	
الطرفان غير متقابلين	30 - 50	8 - 10	15000	
الطرفان متقابلان	30	8 - 10	15000	حركة سير قوية جدا
			15000	حركة سير عظمى

ج - اختيار جهاز الإنارة :

ترفق كل شركة عالمية، تنتج أجهزة للإنارة، مع كل جهاز تنتجه نشرة استعلامات تبين فيها شكل الجهاز وأبعاده ووزنه والمصابيح الملانمة له ونوع المعدن والزجاج المصنوع منها وطريقة استخدامه وتعليقه. والشكل (1 - 5) يبين الأقسام الرئيسية لأحد أجهزة إنارة الشوارع المعروف على الشكل (2 - 33) من إنتاج شركة Iwasaki Electric Co. "إيو (EYE) اليابانية":

- ١ - قلب العاكس: ذو حجم صغير إذا ما قورن بحجم الجهاز ولكن مردوده عالي.
- ٢ - فلتر فحمي: وظيفته امتصاص الغازات التي تتبخر من العاكس أثناء عمل الجهاز.
- ٣ - طبقة الألمنيوم - زجاج: إن طبقة الألمنيوم محاطة بطبقتين من الزجاج المقاوم

1 Multi-focus reflector

Small size, yet high coefficient of utilization exceeding that of large size reflectors.



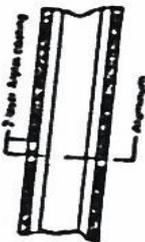
2 Charcoal filter

Completely shuts out the air stream and prevents air pollution up to keep the reflector clean and maintains efficiency for almost maintenance free life.



3 Alphas finish

Excellent corrosion resistance and stainless Alphas finish with improved maintenance factor.

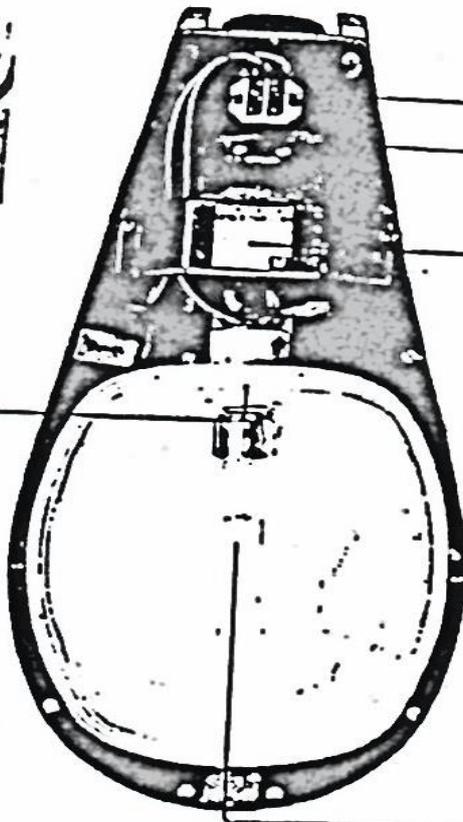


4 Compact and light weight

External components are made of aluminum die casting and stainless steel for high durability. 600 L x 22 W x 8 H to 8 1/2 Hg

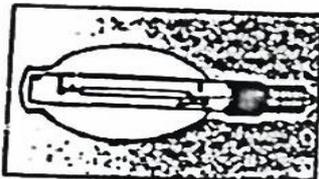


5 Can operate close at a flip.



6 Lamps

You can select lamps of Sylvania, Philips, Osram, High pressure sodium lamp and mercury lamps in the range of 150W to 400W to match the illuminance level from former case consideration.



7 Built-in ballast

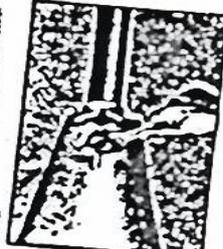
New type built-in ballast Simple construction with increased reliability and easy maintenance by the use of the new built-in ballast. It is to reduce the size of the lamp ballast up to 250W High pressure sodium lamp ballast up to 250W

8 Card clamping terminals

Always easy connected work

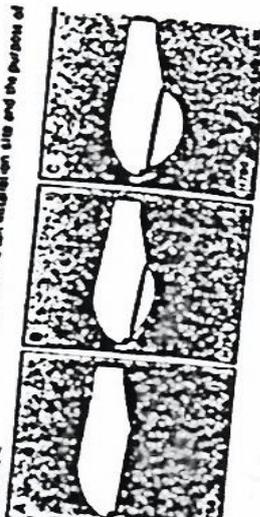
9 Easy installation

All you need to complete installation is to tighten simply 2 standard sized bolts.



10 Three types of globe available

Either A, B or C type globe can be chosen to suit installation site and the purpose of application.



الشكل (1 - 5) : مكونات جهاز الإنارة.

للتآكل والحرارة العالية.

٤ - غطاء الجهاز: يصنع من الألمنيوم والفولاذ (ستانلس ستيل) من أجل المتانة العالية.

٥ - ظفر لفتح وإغلاق غطاء الجهاز.

٦ - المصباح: يمكن استخدام المصابيح الزئبقية ومصابيح بخار الصوديوم عالية الضغط

ذات الاستطاعات 150 W وحتى 400 W مع بقاء مستوى مردود الضوء ثابتاً.

٧ - البلاست (الملف الخائق): مصممة للعمل على أكثر من 250 W.

٨ - رباط لتثبيت الأسلاك ويكون عادة من البورسلين الذي يتحمل درجات الحرارة

العالية.

٩ - برغي لتثبيت الجهاز بوصلة العمود المعدنية والتي تمر من خلالها الأسلاك

الكهربائية أيضاً.

١٠ - زجاج الغطاء وله أشكال عديدة، كل شكل منها يناسب إنارة معينة.

كما أن الشكل (2 - 33) يظهر مواصفات الجهاز (الوزن، الأبعاد، أنواع المصابيح

الكهربائية المناسبة، نوع المعدن والزجاج).

ويظهر على الشكل مخروط الضوء الصادر عن الجهاز والذي يسمى بمنحنيات توزيع

الضوء Light Distribution Curves أو منحنيات بولر (Polar Curves). وعلى

أساسه يتم اختيار جهاز الإنارة. إذ يجب أن يغطي مخروط الضوء الصادر عن الجهاز

عرض الشارع (Road Side) والرصيف (Pavement Side) مع المحافظة على

شدة إنارة ثابتة في المسافة الواقعة بين عمودين متجاورين وهذا متعلق بارتفاع جهاز

الإنارة عن الرصيف.

كما يُظهر الشكل (2 - 33) المسقط الأفقي لشدات إنارة المخروط الضوئي الصادر عن

جهاز الإنارة وتسمى هذه المنحنيات بالمنحنيات الإيزولوكسية (منحنيات شدات الإنارة).

وقد رسمت هذه المنحنيات من أجل زاوية ميلان لجهاز الإنارة إلى الأمام (إلى عرض

الشارع) مقدارها 5° إلى الأمام.

إن النقطة O تمثل الجهاز وعلى محور الترتيب وضعت النسبة B/H التي تمثل عرض الشارع إلى ارتفاع جهاز الإنارة عن الرصيف. يقابل القسم الموجب من المحور B/H شدات الإنارة على الشارع، وعلى القسم السالب من المحور B/H شدات الإنارة على الرصيف. تحت شكل المنحنيات الإيزولوكسية توجد النسب المثالية B/H تبعاً لارتفاع جهاز الإنارة عن الرصيف. يتم تحديد عامل الاستثمار (Utilization Factor) إما من منحنيات الاستثمار المبينة على الشكل (2 - 33) والموجودة تحت منحنيات توزيع الضوء تبعاً للنسبة W/H وهي النسبة بين نصف قطر قاعدة مخروط الضوء W إلى ارتفاع جهاز الإنارة عن الرصيف H. أو من منحنيات الاستثمار المجاورة لشكل المنحنيات الإيزولوكسية تبعاً للنسبة B/H وجهاز الإنارة المبين على الشكل (2 - 33) يحوي على خلية ضوئية تعمل بضوء النهار. فعندما تتأثر الخلية الضوئية بضوء النهار، وبحسب شدته يضعف تيار الشبكة المار بالجهاز ويكون تابعاً عكسياً لضوء النهار. وفي الليل لا تعمل الخلية الضوئية بسبب غيابه، أي أنها لا تعيق عمل جهاز الإنارة الذي يتغذى من الشبكة العامة.

٥ - ١ - ٣ - بعض الإرشادات لإنارة الشوارع:

١ - حين تركيب أجهزة إنارة مفردة في جزر الأمان على طريق مزدوج (الطرفان متقابلان، أو توستراد) ينبغي أن تمتد تلك الأجهزة على كلا طرفي الطريق بمقدار يتراوح بين (30 - 45) cm من الرصيف الفاصل بين الطرفين للحصول على أفضل النتائج.

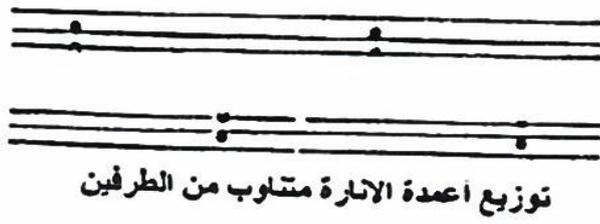
٢ - عند إنارة شارع من جهة واحدة فقط، يجب الامتداد فوق الشارع بمقدار يتراوح بين (90 - 120) cm.

يبين الشكل (2 - 5) الاحتمالات الممكنة للطرق والشوارع الرئيسية وتمييز نوع الشارع يعود إلى عملية توزيع أجهزة الإنارة.

والجدول التالي يبين الاحتمالات الممكنة لتوزيع أعمدة الإنارة وعلاقة الارتفاع H بعرض الشارع B.

طريقة التوزيع	علاقة H بـ B	نوع الشارع
من طرف واحد	$H \geq B$	شارع وحيد الحارة واتجاه السير واحد
متقابل من الطرفين	$H < B$	شارع ذو حارتين باتجاهي سير
متناوب من الطرفين	$H < B$	شارع ذو حارتين باتجاهي سير
محوري	$H > B$	الشوارع ذات جزر الأمان

٣ - إذا كانت الشوارع مزينة بالأشجار، ينبغي تعليق أجهزة الإنارة تحت الأغصان بحيث لا تنشأ الظلال وتؤثر على إنارة الشارع. ويمكن استخدام قوائم بدلاً من الأعمدة عند اللزوم.



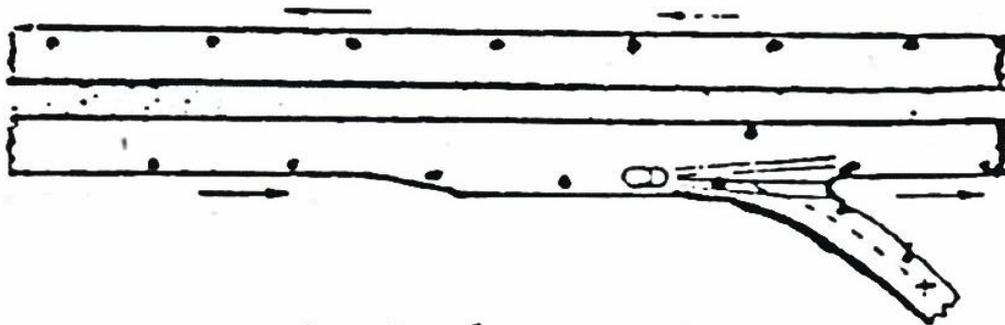
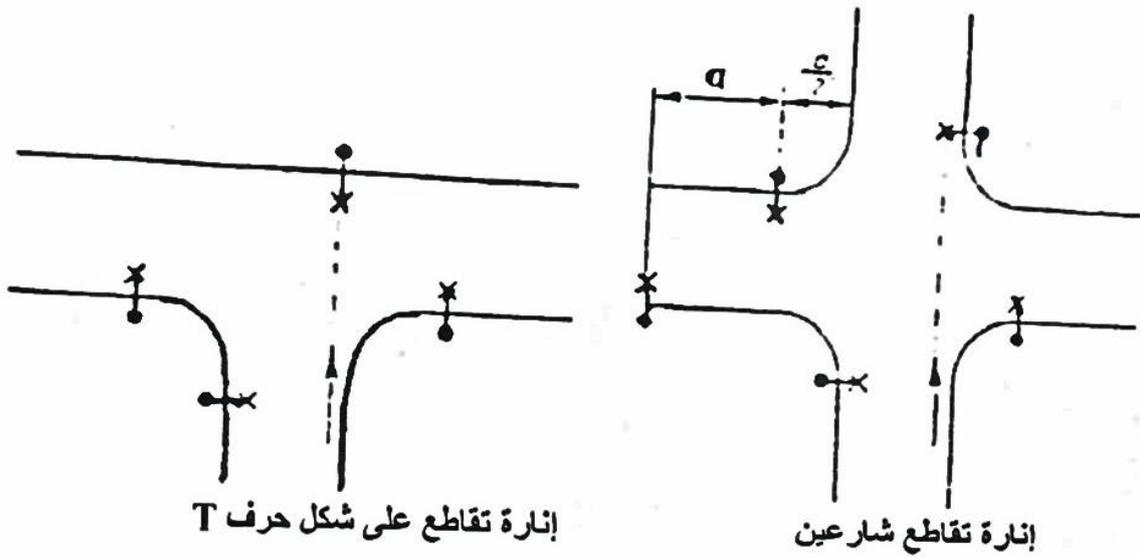
الشكل (2 - 5): احتمالات توزيع أعمدة الإنارة في الطرقات والشوارع الرئيسية.

٤ - عند وجود منعطفات في الشارع، يفضل توزيع أجهزة الإنارة على جانبي المنعطفات بدلاً من تركيبها في جهة واحدة فقط، إذ أن الرؤيا تتحسن بصورة محسوسة ويفضل تركيب جهازين متقابلين حين الانتقال من طرف إلى آخر وذلك لتمييز اتجاه الطريق وبصورة خاصة عند المنعطفات الحادة.

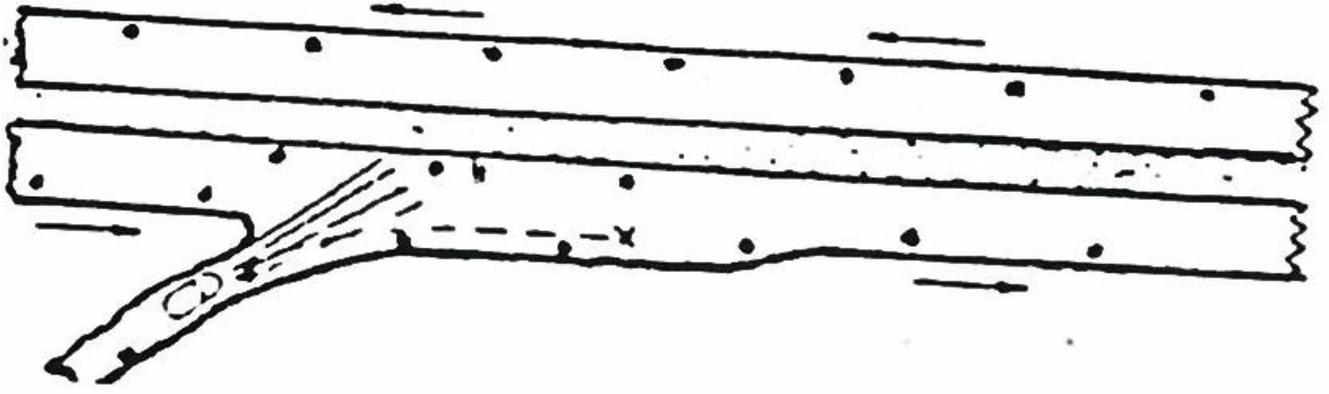
٥ - عادة عند تقاطعات الطرق والعقد يتم تنظيم حركة السير فيها باستعمال الإشارات الضوئية. وعند وجود حركة للمشاة تصبح حركة السير أعقد، فذلك تركيب أجهزة الإنارة في التقاطعات بحيث تسلط الضوء على المركبات وعلى المشاة وممرات المشاة والمناطق المجاورة لها.

ويبين الشكل (3 - 5) كيفية إنارة المنعطفات وعقد السير وتقاطعات الطرق.

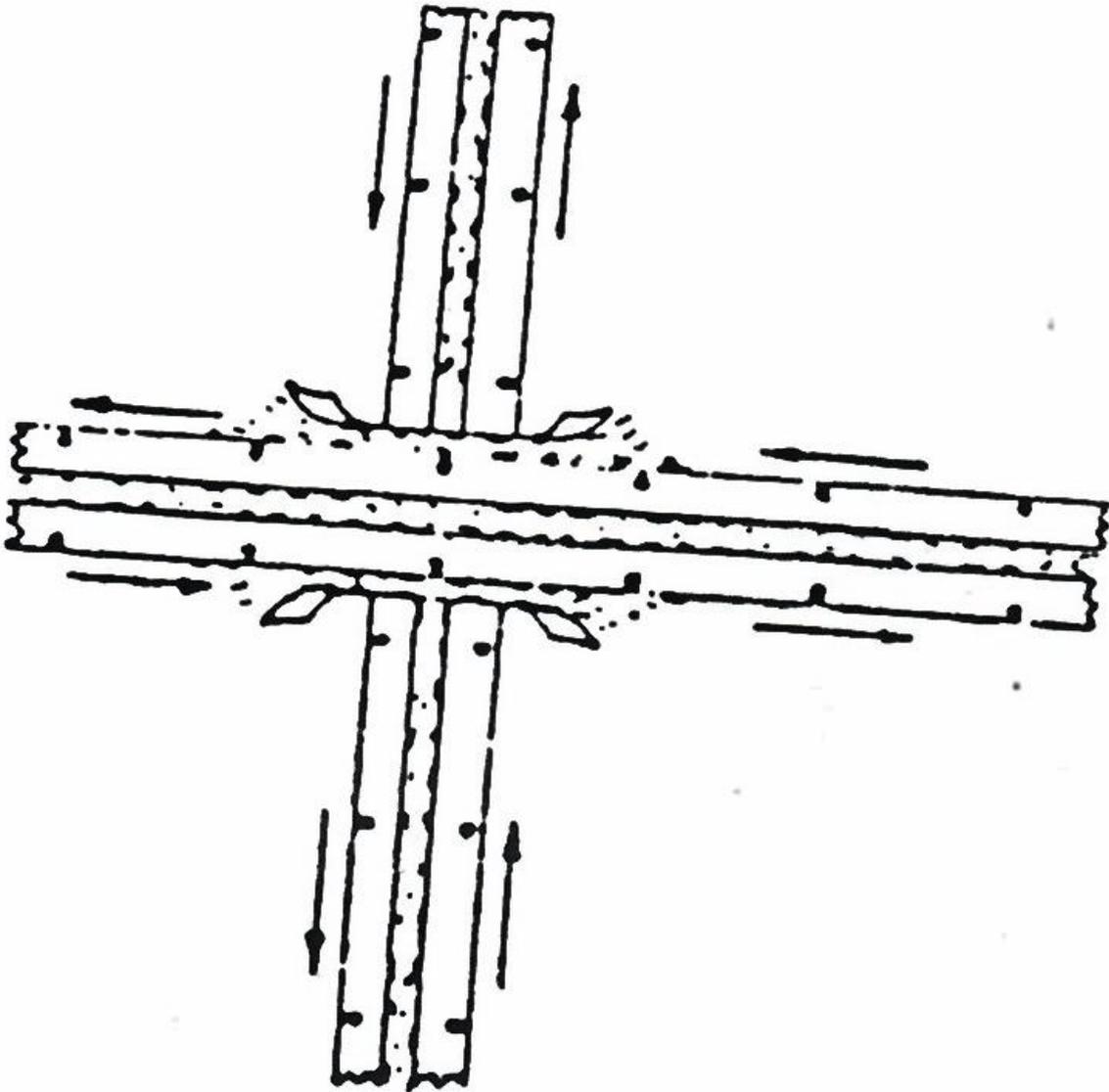
٦ - حين خروج المركبة من الشارع الرئيسي إلى شارع فرعي يجب توسيع مسافة معينة من الشارع الرئيسي حتى التقائه بالشارع الفرعي. ويجب تركيب أجهزة إنارة في الشارع الفرعي على يسار السائق حتى تتضح له معالم الطريق الجانبي. وفي حالة دخوله إلى الشارع الرئيسي يجب تركيب أجهزة الإنارة على يمين السائق حتى ينتهي للمركبات التي تسير في الشارع الرئيسي أن ترى المركبة القادمة من الطريق الجانبي.



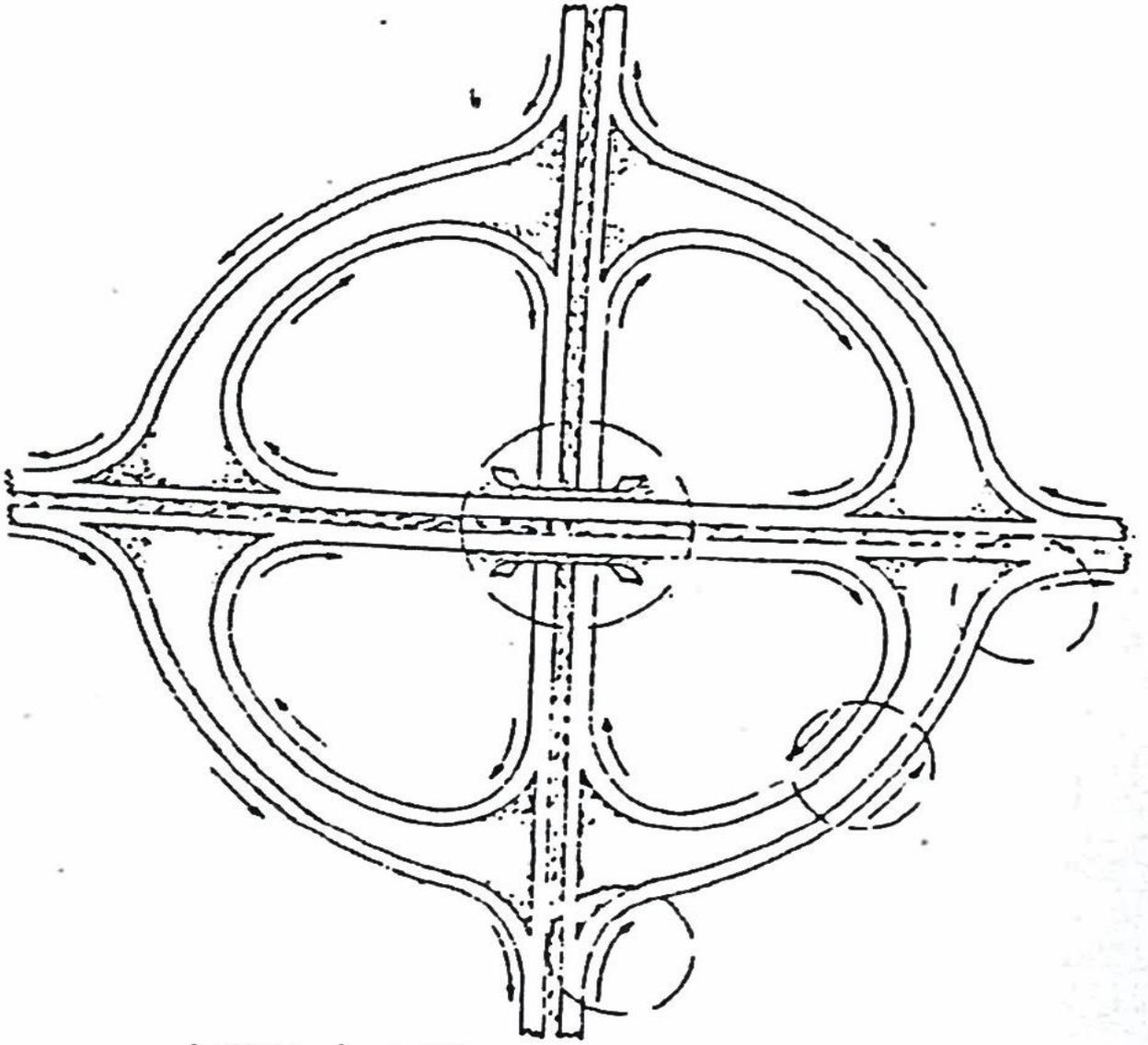
إنارة منعطف خروج المركبة من الشارع الرئيسي.



إنارة منعطف دخول المركبة إلى الشارع الرئيسي.



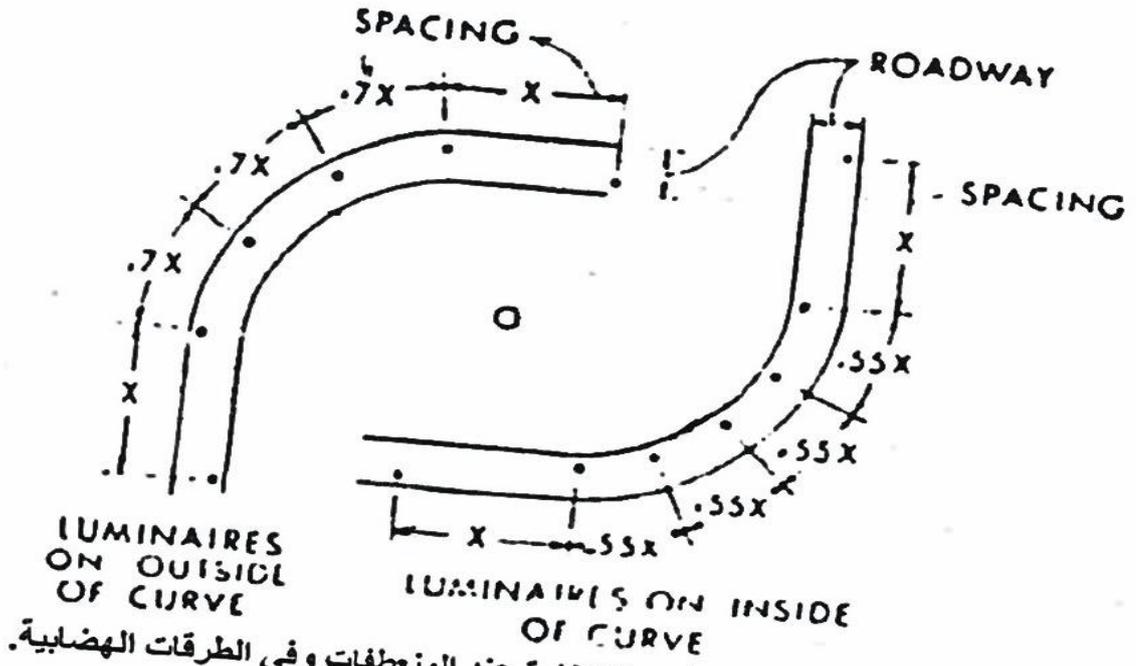
تقاطع على منسوبين (جسر).



عقدة سير تحوي كل الاحتمالات السابقة لتوزيع أجهزة الإنارة.

الشكل (3 - 5): طرق توزيع أجهزة الإنارة عند تقاطعات الطرق والمنعطفات وعقد السير.

٧ - تتم إنارة المنعطفات ذات نصف القطر الكبير والطرق الخفيفة الانحدار وكأنها طرق مستقيمة ومستوية. بينما لإنارة المنعطفات الحادة والطرق الهضابية، وخاصة التي لها قمة في ذروة الهضبة والتي فيها يصبح المصباح الأمامي لمركبة السير غير فعال على كشف المسافة المطلوبة حيث تظهر مشاكل الرؤية للسائق، هنا يلزم تباعد أقل بين أعمدة الإنارة للوضوح وزيادة شدة الإنارة. أيضا إنارة المناطق المحيطة بالمنعطفات تساعد السائقين على تمييز الطريق الصحيح. ويبين الشكل (4 - 5) توزيع أعمدة الإنارة عند المنعطفات وفي الطرق الهضابية.



تابع للشكل (4 - 5): توزيع أعمدة الإنارة عند المنعطفات وفي الطرقات الهضابية.

٥ - ١ - ٤ - مواصفات المصابيح المستخدمة في إنارة الشوارع:

تعتبر مصابيح بخار الزئبق (الزئبقية) ومصابيح بخار الصوديوم مناسبة لإنارة الشوارع. فمصابيح بخار الزئبق تمتاز بشدة إنارتها وتسهيلها لرؤية التفاصيل بوضوح ولون ضونها أبيض مزرق وتستخدم لإنارة الشوارع الفرعية. والجدول (5 - 5) يبين استطاعة مصابيح بخار الزئبق المستخدمة في إنارة الشوارع. وتتمتاز مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط العالي بجودة مردودها وبإصدارها ضوءاً أبيضاً ذهبياً سهل رؤية التفاصيل بوضوح زائد، وباختراقه للضباب. وتعتبر مثالية لإنارة مداخل المدن والطرقات الرئيسية، إلا أنها لا تناسب الشوارع التجارية نظراً لأنها تؤثر على لون البشرة. والجدول (5 - 6) يبين استطاعة مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط العالي المستخدمة في إنارة الشوارع. أما مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض فإنها تصدر ضوءاً أصفر برتقالياً وتعمل لإنارة ساحات التخزين والتخديم وفي المناطق الصناعية وفي إنارة الشوارع الرئيسية الفرعية. والجدول (5 - 7) يبين استطاعة مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض المستخدمة في إنارة الشوارع.

الجدول (5 - 5): استطاعة مصابيح بخار الزئبق (الزئبقية) المستخدمة في إنارة

الشوارع.

Type	Lumen output lm	Correlated colour temperature K	Ordering number
HPL COMFORT			
HPL COMFORT 50W E27	2000	3500	9280 505 06600
HPL COMFORT 80W E27	4000	3500	9280 510 06600
HPL COMFORT 125W E27	6700	3400	9280 520 06600
HPL COMFORT 125W HGE E27	NA	NA	9280 520 06400
HPL COMFORT 250W HGE E40	14200	3300	9280 530 06700
HPL COMFORT 400W HGE E40	24200	3500	9280 535 06700
HPL-N			
HPL N 50W E27	1800	4200	9280 505 07300
HPL N 80W B22D-3	3700	4300	9280 512 07300
HPL N 80W E27	3700	4300	9280 510 07300
HPL N 100W E27	NA	NA	9280 534 07300
HPL N 125W B22D-3	6200	4100	9280 522 07300
HPL N 125W E27	6200	4100	9280 520 07300
HPL N 125W E40	6200	4100	9280 523 07300
HPL N 125W HGE E27	6200	4100	9280 520 07400
HPL N 250W HGE E40	12700	4100	9280 530 07400
HPL N 400W HGE E40	22000	3900	9280 535 07400
HPL N 700W HGE E40	38500	3900	9280 541 07400
HPL N 1000W HGE E40	58500	3900	9280 545 07400
HPL-R			
HPL R 125W HGE E27	5700	4200	9280 620 08600
HPL R 250W HGE E40	12000	4100	9280 625 08600
HPL R 400W HGE E40	20500	3900	9280 630 08600
HPL R 700W HGE E40	36000	3900	9280 636 08600
HPL R 1000W HGE E40	54000	3900	9280 640 08600

الجدول (6 - 5): استطاعة مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط العالي المستخدمة

في إنارة الشوارع.

Type	Lumen output lm	Correlated colour temperature K	Ordering number
SON			
SON 50W E E27	4300	1800	9281 529 08800
SON 50W T E27	4300	1800	9281 508 08800
SON 70W E E27	5800	1800	9281 518 08800
SON 70W T CLEAR E27	6000	1800	9281 501 00000
SON 70W T E27	5400	1800	9281 501 08800
SON 150W E E40	14500	1800	9281 503 09800
SON 250W E E40	27000	1800	9281 510 09800
SON 400W E E40	48000	1800	9281 520 09800
SON 1000W E E40	130000	2000	9287 540 09800
SON COMFORT			
SON COMFORT 150W E E40	12500	2100	9281 502 09800
SON COMFORT 250W E E40	20000	2100	9281 551 09800
SON COMFORT 400W E E40	47000	2100	9281 552 09800
SON PLUS			
SON PLUS 100W E E40	15000	1800	9281 516 08800
SON PLUS 150W E E40	18000	1800	9281 514 09800
SON PLUS 250W E E40	28000	1800	9281 533 09800
SON PLUS 400W E E40	48000	1800	9281 534 09800
SON-H			
SON-H 220W E40	20000	2000	9281 524 09800
SON-H 350W E40	34000	2000	9281 535 09800
SON-T			
SON-T 70W E E27	6000	1800	9281 528 00000
SON-T 150W E E40	15000	1800	9281 504 09200
SON-T 250W E E40	28000	1800	9281 515 09200
SON-T 400W E E40	48000	1800	9281 445 09200
SON-T 1000W E E40	130000	1800	9281 545 09200
SON-T AGRO			
SON-T AGRO 400W E E40	50000	2000	9281 446 09200
SON-T COMFORT			
SON-T COMFORT 150W E E40	13000	2100	9281 536 09200
SON-T COMFORT 250W E E40	24000	2100	9281 540 09200
SON-T COMFORT 400W E E40	38000	2100	9281 542 09200
SON-T DECO			
SON-T DECO 150W E E40	7100	2000	9281 521 09200
SON-T DECO 250W E E40	13500	2000	9281 526 09200
SON-T DECO 400W E E40	25000	2000	9281 527 09200
SON-T PLUS			
SON-T PLUS 50W E E27	4300	1800	9281 519 00000
SON-T PLUS 70W E E27	6000	1800	9281 527 00000
SON-T PLUS 100W E E40	10000	1800	9281 517 09200
SON-T PLUS 150W E E40	16000	1800	9281 509 09200
SON-T PLUS 250W E E40	31000	1800	9281 447 09200
SON-T PLUS 400W E E40	45000	1800	9281 448 09200
SON-T PLUS 600W E E40	67000	1800	9281 561 09200

الجدول (7 - 5) : استطاعة مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض المستخدمة في إنارة الشوارع.

Type	Lumen output lm	Ordering number
SOX		
SOX 30W BY22D	3500	9281 455 00000
SOX 50W BY22D	5800	9281 460 00000
SOX 90W BY22D	10300	9281 465 00000
SOX 135W BY22D	15800	9281 470 00000
SOX 180W BY22D	21000	9281 475 00000
SOX-E		
SOX-E 18 BY22D	1800	9281 452 00000
SOX-E 26 BY22D	3600	9281 457 00000
SOX-E 36 BY22D	6100	9281 458 00000
SOX-E 66 BY22D	10500	9281 459 00000
SOX-E 91 BY22D	17000	9281 461 00000
SOX-E 141 BY22D	25000	9281 451 00000

مثال: ٥ - ١ - المطلوب تصميم إنارة مناسبة لطريق أوتوستراد طوله 5 km يتألف من قسمين: الأول طوله 3 km يقع خارج المدينة ويقع القسم الآخر داخل المدينة ويلاحظ عليه وجود حركة للمشاة على الرصيف. عرض الطرف الواحد من الطريق 12 m وعرض جزر الأمان 3 m.

الحل :

نحسب عدد الأعمدة وعدد الأجهزة والتكاليف الإنشائية والاستثمارية ونناقش الحالات الاقتصادية حسب الأموال المتوفرة لتنفيذ المشروع .

واضح أنه على المسافة 3 km يجب نصب الأعمدة في جزر الأمان ووضع جهازي إنارة على كل عمود بحيث يقابلان طرفي الطريق. وعلى القسم الآخر من الطريق داخل المدينة يجب وضع الأعمدة بشكل متقابل على طرفي الطريق المزدوج للأخذ بعين الاعتبار إنارة الرصيف.

بعد القيام بجولة ميدانية على الموقع، إذا كان الطريق قيد التنفيذ لمعرفة عرضه. أو الإطلاع على المخططات المقدمة، إذا كان الطريق قيد الدراسة.

أولاً - بفرض أن الدراسة ما زالت على الورق، عندها: اختيار جهاز الإنارة يفرض علينا طبيعة التصميم. وإذا كانت المعطيات في النشرة الفنية المرفقة مع الجهاز تحتوي على كافة المعلومات المطلوبة كالجهاز المعروض على الشكل (1 - 5) ومواصفاته الفنية المبينة على الشكل (2 - 33) فإن التصميم يتم، بشكل عام، كما يلي:

- ١ - من الجدول (1 - 5) نحدد كثافة حركة السير ولتكن عظمى.
- ٢ - من الجدول (2 - 5) نجد أن شدة الإنارة المقترحة : 12 Lm/m^2 .
- ٣ - من شكل المنحنيات الإيزولوكسية المبينة على الشكل (2 - 33) نأخذ المنحني ذا شدة الإنارة 6 Lm/m^2 لأن شدات الإنارة بين عمودين متجاورين تجمع فيما بينها. هذا المنحني يقطع المخور B/H في النقطة 1,25 تقريباً من جهة الطريق.
- ٤ - نحدد ارتفاع جهاز الإنارة عن الرصيف:

$$B/H = 1,25 \Rightarrow H = B/1,25 \text{ m}$$

وحسب اختيار المصمم لعرض الطريق نحدد ارتفاع عمود الإنارة أو بالعكس. ولنفرض كما في نص المسألة أن عرض الطريق المفرد 12 m عندها فإن ارتفاع العمود 10 m .

- ٥ - نحدد عامل الاستثمار من منحنيات الاستثمار المرسومة تبعاً لزاوية ميلان جهاز الإنارة عن الأفق (15°). من أجل $B/H = 1,25$ نجد أن $u = 0,3$ تقريباً.
- ٦ - نحدد عدد الأعمدة وذلك في حالتين:

أ - المصباح المستخدم: بخار الصوديوم ذي ضغط عالي استطاعته 250 W يعطي 26500 Lm .

ب - المصباح المستخدم: بخار الصوديوم ذي ضغط عالي استطاعته 150 W يعطي 13700 Lm .

ومن الشكل (33 - 2) نجد أن عامل الصيانة أو المردود من أجل الارتفاع 10 m هو $M = 1$. وأن قاعدة المخروط الضوئي الصادر عن جهاز الإنارة إلى حد ما دائرية الشكل ومن العلاقة:

$$\Phi = \frac{E \cdot A}{u \cdot M} \Rightarrow A = \pi \cdot W^2 = \frac{\Phi \cdot u \cdot M}{E} \Rightarrow$$

$$W = \sqrt{\frac{\Phi \cdot u \cdot M}{\pi \cdot E}} = \sqrt{\frac{26500 \cdot 0,3 \cdot 1}{\pi \cdot 6}} \approx 20 \text{ m}$$

وبشكل تقريبي فإن $2W = 40 \text{ m}$ وهو التباعد بين جهازين (عمودين) متجاورين. إن الحل النموذجي حسب معطيات النشرة الفنية وذلك بعد النظر إلى شكل المنحنيات الإيزولوكسية (منحنيات شدة الإنارة) الخاصة بالجهاز نجد على المحور الأفقي الممثل لنصف البعد بين جهازين متجاورين W ، ومن شدة إنارة 6 Lux نرفع عموداً فيقطع المحور الأفقي عند القيمة 1,9 وهذا يعني:

$$W/H = 1,9 \Rightarrow W = 1,9 \cdot 10 = 19 \text{ m} \Rightarrow 2W \approx 38 \text{ m}$$

وفي الحالة الثانية عند استخدام المصباح 150 W نجد أن: $2W \approx 30 \text{ m}$ تقريباً. اختيار جهاز آخر:

في بعض الأحيان تكون المعلومات الصادرة في النشرات الفنية حول أجهزة الإنارة لبعض الشركات العالمية كذلك المعروضة في الشكل (5 - 5). عندها طريقة الحساب التصميمية تختلف ونلجأ إلى العلاقة (23 - 1) في تحديد البعد بين عمودين متجاورين (انظر المثال ٢ - ١).

$$E = \frac{J}{r^2} \cdot \cos \theta = \frac{J}{W^2 + H^2} \cdot \cos \theta$$

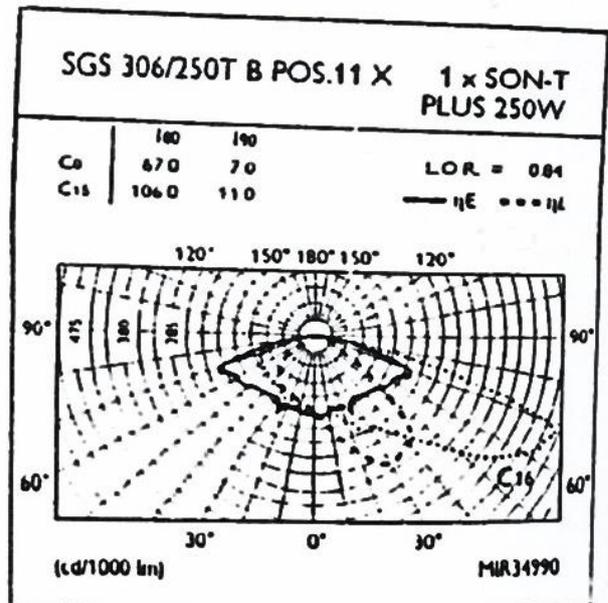
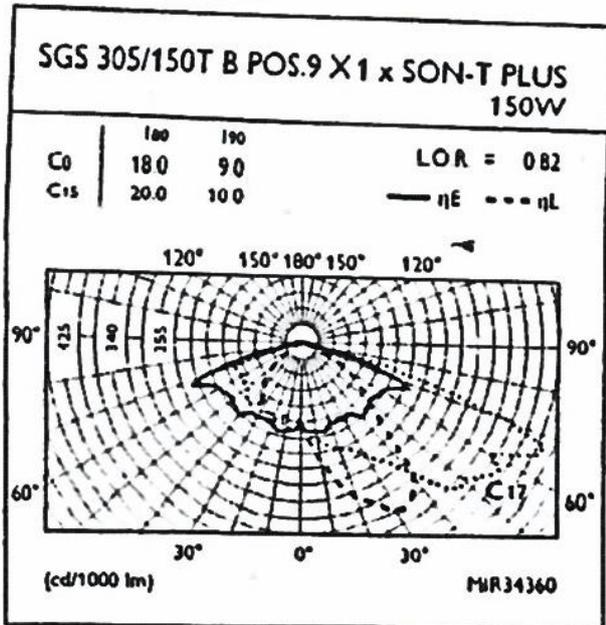
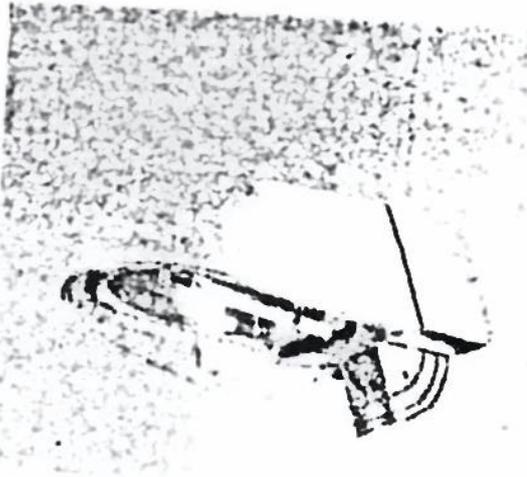
نحسب الاستطاعة الضوئية J استناداً إلى أن المصباح المستخدم بخار الصوديوم استطاعته 250 W ويصدر فيضاً ضوئياً مقداره 27000 Lm :

$$\Phi = J \cdot \omega \Rightarrow J = \frac{\Phi}{\omega} = \frac{\Phi \cdot r^2}{S} = \frac{\Phi \cdot r^2}{\pi \cdot W^2}$$

$$E = \frac{J}{r^2} \cdot \cos \theta = \frac{\Phi}{\pi \cdot W^2} \cdot \cos \theta \Rightarrow$$

$$E \cdot \pi \cdot W^2 = \Phi \cdot \cos \theta \Rightarrow W = \sqrt{\frac{27000 \cdot 0,84 \cdot \cos 70^\circ}{6 \cdot \pi}} \approx 20 \text{ m}$$

والتباعد بين عامودين متجاورين $2W = 40 \text{ m}$. علماً أن $0,84$ هو مردود الجهاز وهو معطى على الشكل. والزاوية 70° هي زاوية رأس المخروط الضوئي الصادر عن جهاز الإنارة.



الشكل (5 - 5) : نماذج من أجهزة إنارة الشوارع (إنتاج شركة Philips).

ومن أجل الجهاز ذي المصباح 150 W الذي يصدر فيضاً ضوئياً 14500 Lm، والذي يمتاز عن الجهاز السابق بوجود ناثر ضوئي يوزع الفيض الضوئي بصورة مماثلة تقريباً للجهاز ذي المصباح 250 W من أجل الزاوية 70° :

$$W = \sqrt{\frac{14500 \cdot 0,82 \cdot \cos 70^\circ}{6 \cdot \pi}} \approx 15 \text{ m}$$

أي أن البعد بين عمودين متجاورين $2W = 30 \text{ m}$.

وبالنظر إلى الشكل (5 - 5) فإن الجهاز ذي المصباح 150 W إذا غلق على عمود ارتفاعه 9 m يعطي نفس نتائج الجهاز ذي المصباح 250 W فيما إذا غلق على عمود ارتفاعه 11 m ومن أجل التباعدات المحسوبة بين عمودين متجاورين لكلا الحالتين.

ثانياً - إذا كان الطريق منفذاً وطلبت دراسة إنارته:

في هذه الحالة نلجأ إلى الدراسة التقليدية القديمة لإنارة الشوارع باستخدام المصابيح المتوهجة والتي تعتمد على الفيض الضوئي النافع الصادر عن مصباح جهاز الإنارة ونحسب التباعد بين عمودين متجاورين بالاستعانة بالعلاقة التالية:

$$\Phi_u = A \cdot E = 2W \cdot 2B \cdot E \Rightarrow W = \frac{\Phi_u}{4B \cdot E} \quad (5 - 1)$$

Φ_u - الفيض الضوئي النافع للمصباح المتوهج الواحد ويقدر بالـ (Lm).

A - مساحة المستطيل الذي مركزه مسقط جهاز الإنارة على الأرض.

W - نصف المسافة الفاصلة بين عمودين متجاورين وتقدر بـ (m).

B - عرض الشارع ويقدر بـ (m).

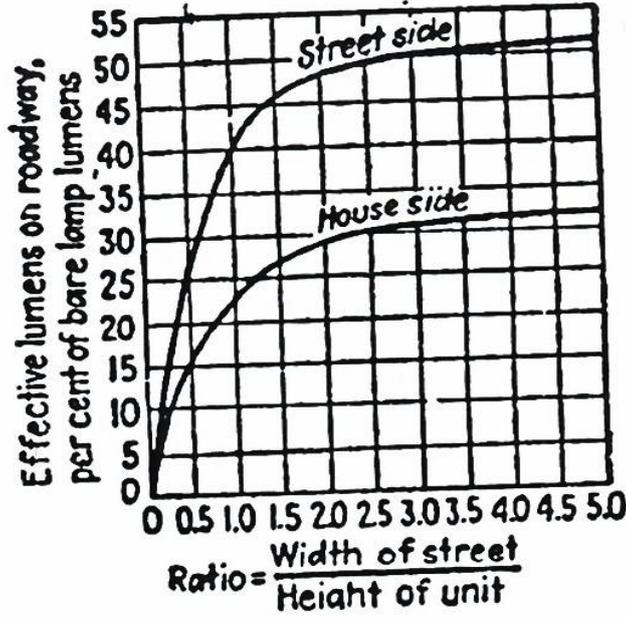
ولمعرفة ارتفاع العمود نستعين بالجدولين (5 - 3) و (5 - 4) وبالشكل (5 - 6)

الذي يحدد الفيض الضوئي النافع للمصباح المتوهج.

وعلى فرض أننا سنستخدم من الجدول (5 - 5) مصباح بخار الصوديوم 250W

والذي يعطي 27000Lm.

$$W = \frac{\Phi_u}{4B \cdot E} = \frac{0,43 \cdot 27000}{4 \cdot 12 \cdot 12} \approx 20 \text{ m}$$



الشكل (6 - 5) : تحديد مقدار الفيض النافع على الشارع.

نقول أن التباعد بين عمودين متجاورين تقريباً $2W = 40 \text{ m}$.

ملاحظة: تم تحديد الفيض النافع للمصباح من الشكل (6 - 5) كما يلي:

إن نسبة عرض الطريق إلى ارتفاع جهاز الإنارة يساوي 1,25. نرفع من القيمة 1,25 عموداً فيقطع منحنى الطريق في النقطة 0,43.

وإذا رغبتنا باستخدام مصباح بخار الصوديوم $W = 150$ الذي يعطي فيضاً ضوئياً 14500 Lm نطبق العلاقة (1 - 5):

$$W = \frac{\Phi_u}{4B \cdot E} = \frac{0,43 \cdot 14500}{4 \cdot 12 \cdot 12} \approx 11 \text{ m} \Rightarrow 2W = 22 \text{ m}$$

كما يمكن تصميم إنارة الشارع استناداً إلى الجدول (4 - 5) مباشرة. حيث نحدد التباعد بين عمودين متجاورين من أجل حركة سير عظمى: 30 m والفيض الضوئي الصادر عن المصباح المتوهج 15000 Lm وارتفاع عمود الإنارة $(8 - 10) \text{ m}$ والطرفان متقابلان. وبالنظر إلى جدول المصابيح المتوهجة نجد أن القيمة 15000 Lm تقع بين القيمتين الناتجتين عن المصباحين 1000 W و 500 W والمتوسط الحسابي لهما 750 W نقسم الرقم الناتج على 4 أو 5 فينتج أن مصباح بخار الصوديوم 150 W هو الملازم لإنارة الشارع.

٥ - ٢ - الإنارة الفائضة Floodlight :

تهدف الإنارة الفائضة إلى تجميل أو تزيين الأبنية والساحات العامة والحدائق والملاعب الرياضية، كما أن لها قيمة إعلانية ممتازة. ويعتمد التأثير الضوئي الناتج على مواقع البروجكتورات وعلى المعالم والتفاصيل المعمارية، وعلى نوع المكان أو المنشأة وما يحيط بها. لذلك يجب على المهندس أن يهتم بالإنارة الليلية ويعتبرها كجزء متكامل من المشروع ويجهز الأماكن اللازمة للبروجكتورات بالتوصيلات الكهربائية. بالنسبة للأبنية الصغيرة ذات المعالم المعمارية البسيطة، يمكن الحصول على أفضل النتائج لدى إنارتها بصورة منتظمة بواسطة بروجكتورات مركبة على أعمدة تبعد عنها بمقدار 70 cm تقريباً حيث تُظهر الإنارة المنتظمة الخالية من الظلال هيئة البناء وقوته وتماسكه. أما بالنسبة للأبنية الكبيرة ذات الأبراج والزخارف فإن الإنارة الفائضة تزيد روعة وجمالاً وذلك باستخدام الظلال والألوان بصورة حسنة، إذ توضع البروجكتورات في جدران الشرفات أو الأماكن المخصصة لذلك الغرض.

أما إنارة الملاعب والساحات العامة وما شابه ذلك، فإنها تهدف لتسهيل الرؤية وتتطلب الانتباه لتجنب الوهج الناتج عن المصابيح إذا كانت في مجال الرؤية.

إن للألوان تأثيراً بالغاً في الإنارة الفائضة، نظراً لأنها تلفت الانتباه وتساعد على الإعلان وتجعل المنظر. وبتغيير الألوان نحصل على جمال زائد للأبنية والنصب التذكارية

والحدائق والنوافير المائية. ويتم تغيير الألوان بتبديل الأغشية الزجاجية للبروجكتورات أو باستخدام مصابيح الإنفراغ الغازي التي تمتاز بجودة المرودد بالنسبة للمصابيح

المتوهجة. وباستخدام التلوين المتحرك (Modile Color)، يمكن الحصول على أروع النتائج بالإنارة الفائضة إذ أنها تغير معالم الأبنية والنوافير المائية بصورة مستمرة

وتحدث أثراً سارة للناظرين. ويمكن تأمين ذلك باستخدام التحكم الآلي بواسطة الثايرستورات الإلكترونية. ويمكن أن تكون عواكس الإنارة الفائضة من النوع المفتوح أو

النوع التزييني، وتستعمل العواكس المفتوحة في إنارة الأبنية في المدن.

إن تصميم الإنارة الفائضة يتطلب دراسة دقيقة للعوامل المتعددة السابق ذكرها. كما أن التجربة الفعلية بواسطة أنواع متعددة من البروجكتورات على هبوط مختلف ومسافات متغيرة تساعد جداً في اختيار التصميم المناسب. وبما أن عدد ساعات تشغيل الإنارة الفائضة هو قليل نسبياً خلال الموسم. لذلك يفضل تغذيتها بتوتر يزيد بمقدار 10% عن التوتر النظامي وذلك بغية التوفير في عدد الأجهزة إذ أن ذلك يؤدي إلى اختصار 25% من عدد الأجهزة اللازمة، مع توفير 14% من مقدار الاستطاعة المستهلكة، علماً بأن عمر المصابيح ينقص بمقدار 30%.

إن الجداول (5 - 8) و (5 - 9) و (5 - 10) تبين قيماً مقترحة لشدة الإنارة الفائضة في الأماكن المختلفة.

جدول (5 - 8) : شدة الإنارة الفائضة للأبنية والنصب التذكارية.

نوع مواد البناء	شدة الإنارة (Lm/m^2) في المدن التي يبلغ عدد سكانها :			عامل الانعكاس التقريبي (%)
	أقل من 5000	5000 - 50000	أكثر من 50000	
حجر أو رخام	50	100	150	75
حجر كلسي	100	150	200	50
حجر رملي أو قرميد فاتح	150	200	300	35
حجر أو قرميد قاتم	200	300	500	20

جدول (5 - 9) : شدة الإنارة الفائضة للأماكن الصناعية.

نوع المكان	شدة الإنارة (Lm/m^2)	نوع المكان	شدة الإنارة (Lm/m^2)
ورشات البناء	50	محطات البنزين (الأبنية والمضخات)	200
أعمال الحفريات	20	الساحات والممرات	50
مواقف السيارات	10	مقالع الحجارة	20
أماكن صناعية	2		
بناء السفن	50		

جدول (10 - 5) : شدة الإنارة الفائضة للأماكن الخاصة.

شدة الإنارة (Lm / m^2)	نوع المكان	شدة الإنارة (Lm / m^2)	نوع المكان
150	المداخن	50 - 200	الأشجار
200 - 2000	النوافذ الفنية	300	الأعلام
100	الشلالات	50	أماكن تعبئة السفن
150	خزانات المياه	50	أرصفة التعبئة
		300	الإشارات

مثال: ٥ - ٢ - ملعب كرة قدم مكشوف أبعاده $(110 \times 55) m^2$. ارتفاع الأعمدة (الصواري) الحاملة للوحات الأجهزة عن أرض الملعب 40 m. متوضعة في رؤوس مربع طول ضلعه 110 m ومركزه مركز الملعب. والمطلوب:

- ١ - صمم إنارة جيدة للملعب. إذا علمت أن شدة الإنارة المقترحة $1000 Lm/m^2$.
- ٢ - حدد طريقة التغذية ومقاطع النواقل المغذية للوحات الإنارة ومساراتها وشدة قطع القواطع الفرعية والقاطع الرئيسي. علماً أن الكابلات المغذية لأجهزة الإبرة تمر من داخل الصواري. وأن هبوط التوتر المسموح به 3% وأن الناقلية النوعية للنحاس $\gamma = 58$. وعامل الاستطاعة يساوي 0,9 متأخر.

$$\Omega . mm^2$$

الحل:

لتحديد الفيض الضوئي اللازم لإنارة الملعب نتبع ما يلي:

على اعتبار لوحة البروجكتورات المثبتة في أعلى الصارية دائرية الشكل تحوي قطرين متعامدين، تُثبت البروجكتورات عليها وعلى محيط الدائرة. وعلى اعتبار لوحة البروجكتورات مركزاً للكرة التي نصف قطرها المستقيم الواصل بين مركز لوحة البروجكتورات ومركز الملعب 88 m فإن الفيض الضوئي اللازم حتى تكون شدة الإنارة على محيطها (مركز الملعب) $1000 Lux$:

$$E = \frac{J}{r^2} \cdot \cos \varphi = \frac{J^4}{H^2 + W^2} \cdot \frac{H}{\sqrt{H^2 + W^2}} \Rightarrow$$

$$J = \frac{E \cdot (H^2 + W^2)^{\frac{3}{2}}}{H} = \frac{1000 \cdot ((40)^2 + (78)^2)^{\frac{3}{2}}}{40} = 16839184 \text{ cd}$$

$$\Phi = J \cdot \omega = 16839184 \cdot 4 \cdot \pi = 211607427 \text{ Lm}$$

وهي قيمة الفيض الضوئي اللازم حتى تكون شدة الإنارة على محيط الكرة التي مركزها لوحة البروجكتورات ونصف قطرها المستقيم الواصل بين لوحة البروجكتورات ومركز الملعب (88 m) مساوية 1000 Lux .

ومن أجل نصف زاوية رأس المخروط 63° التي تتحدد بالمستقيم الواصل بين لوحة البروجكتورات ومركز الملعب ($r = 88 \text{ m}$) والمستقيم الآخر وهو ارتفاع لوحة البروجكتورات (ارتفاع الصارية) عن الأرض 40 m ، فإن:

$$\Phi_u = 16839184 \cdot 2,5 = 42097960 \text{ Lm}$$

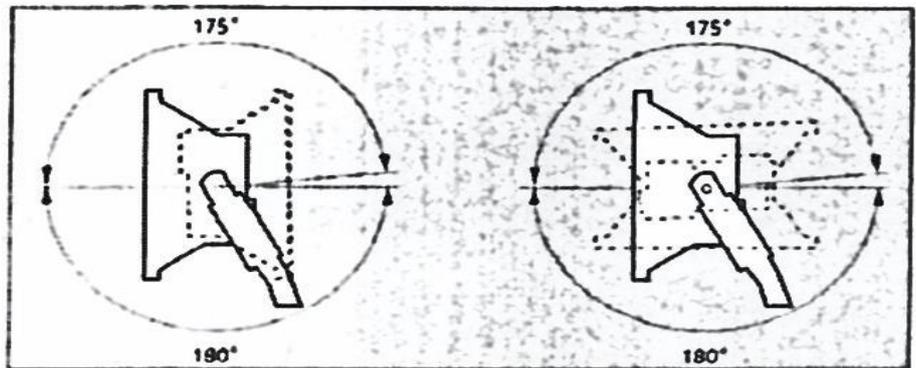
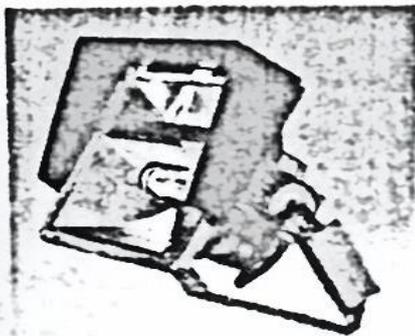
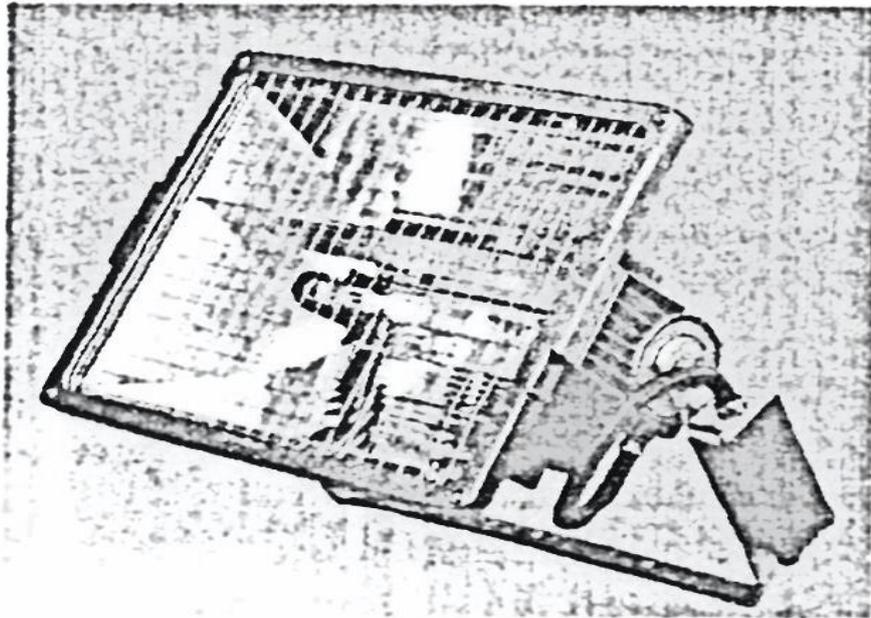
حيث 2,5 قيمة الزاوية الفراغية مقدرة بالستيراديان والمحددة بالزاوية 63° وتحسب كما يلي:

$$\omega_{63^\circ} = S/r^2 = \pi \cdot (W/r)^2 = \pi \cdot (78/88)^2 = \pi \cdot \sin^2 63^\circ = 2,5 \text{ sr}$$

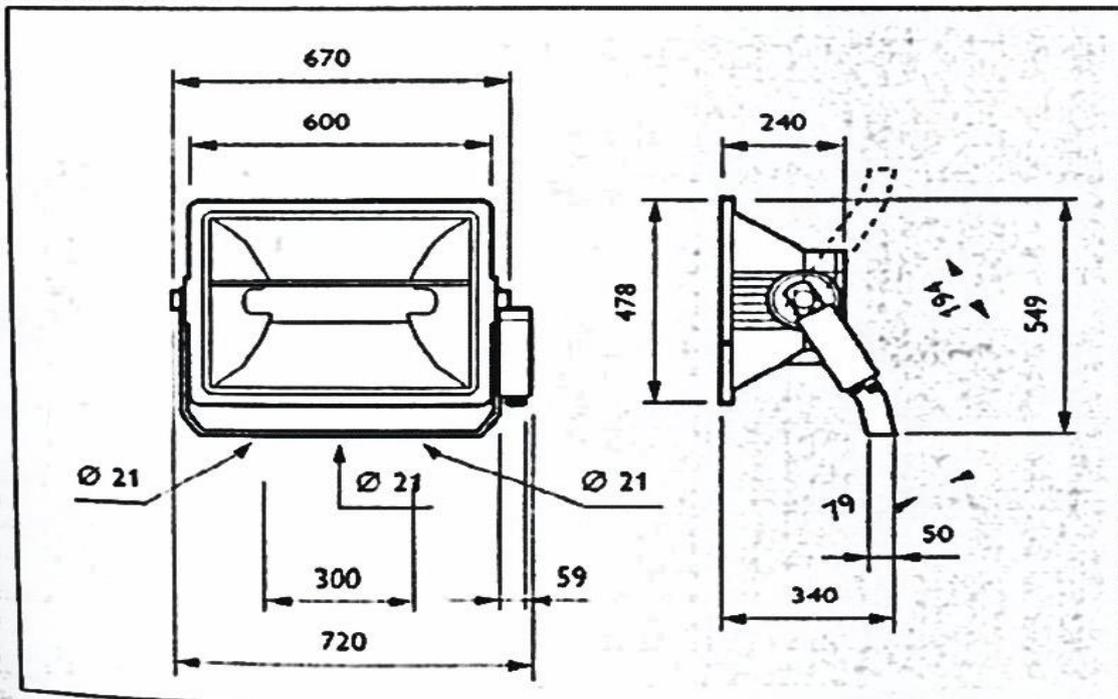
والبروجكتور المختار مبين على الشكل (5 - 7) ونصف زاوية رأس مخروط الفيض الضوئي الصادر عنه تساوي 60° . ومصابيح البروجكتورات ميتال هالايت استطاعة الواحد 2000 W ويعطي 220000 Lm كما هو مبين في الجدول (5 - 11) ومردود الجهاز 0,74 . ويعد عدد البروجكتورات اللازمة لإنارة الملعب بعد تصحيح الزاوية:

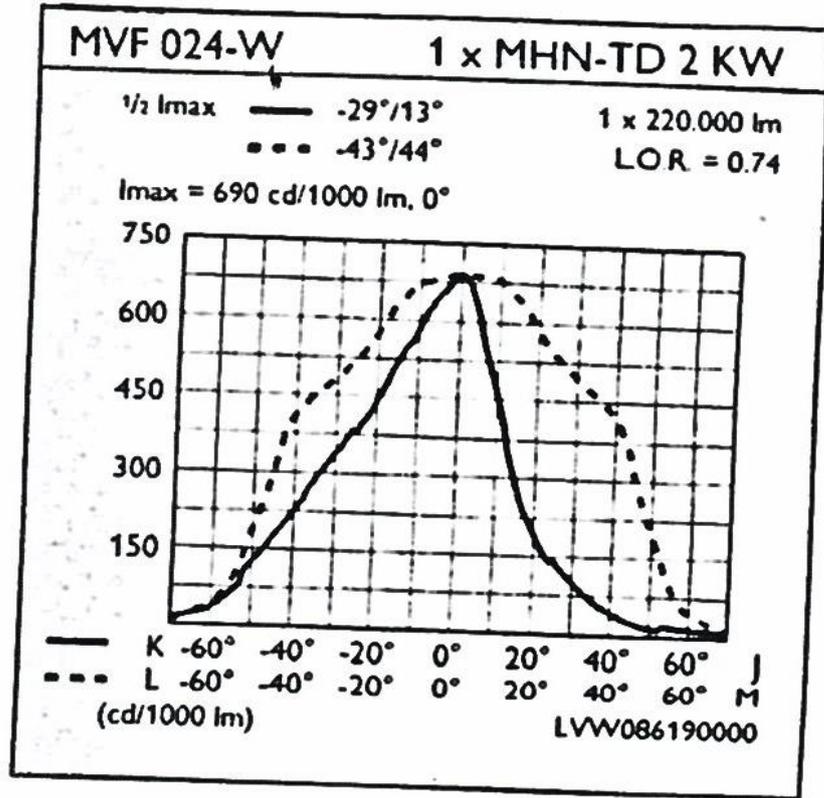
$$n = \frac{42097960 \cdot 2,356}{220000 \cdot 2,5 \cdot 0,74} = 244$$

وهذه الأجهزة سوف توزع على أربع لوحات ويجب أن يكون عدد الأجهزة في كل لوحة قابلاً للقسمة على ثلاثة في حالة التغذية الكهربائية ثلاثية الأطوار . وهذا يعني أن كل لوحة تحوي 61 بروجكتوراً ومن أجل التغذية الثلاثية الأطوار يصبح عدد البروجكتورات في كل لوحة 63 والعدد الكلي اللازم لإنارة الملعب 252 .



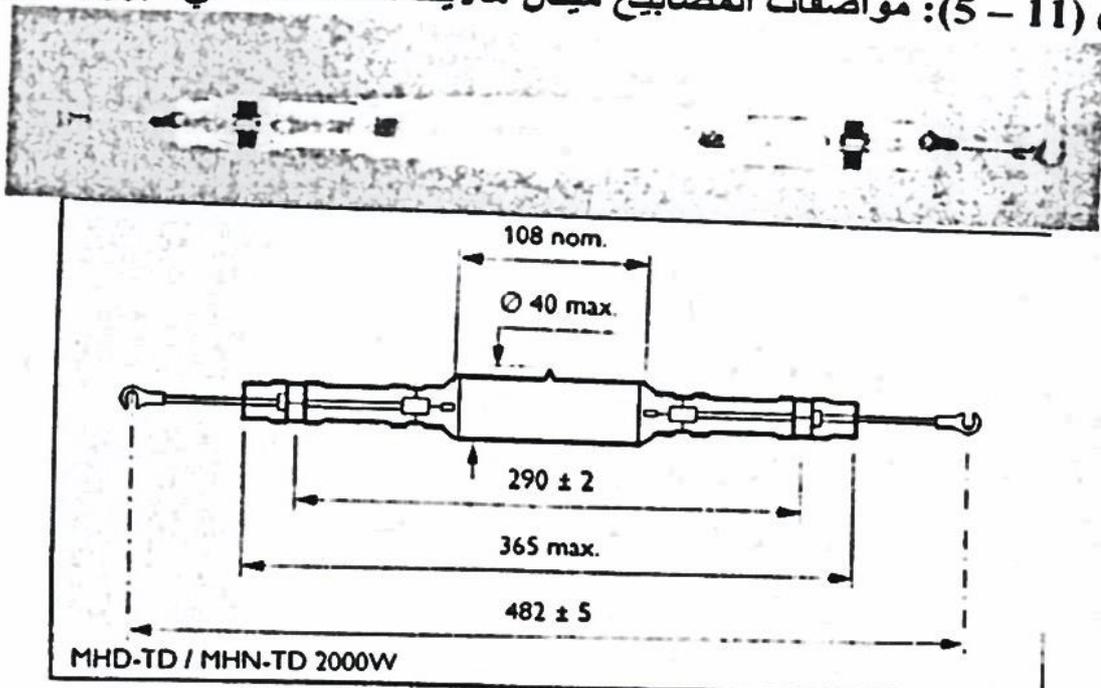
Dimensions in mm

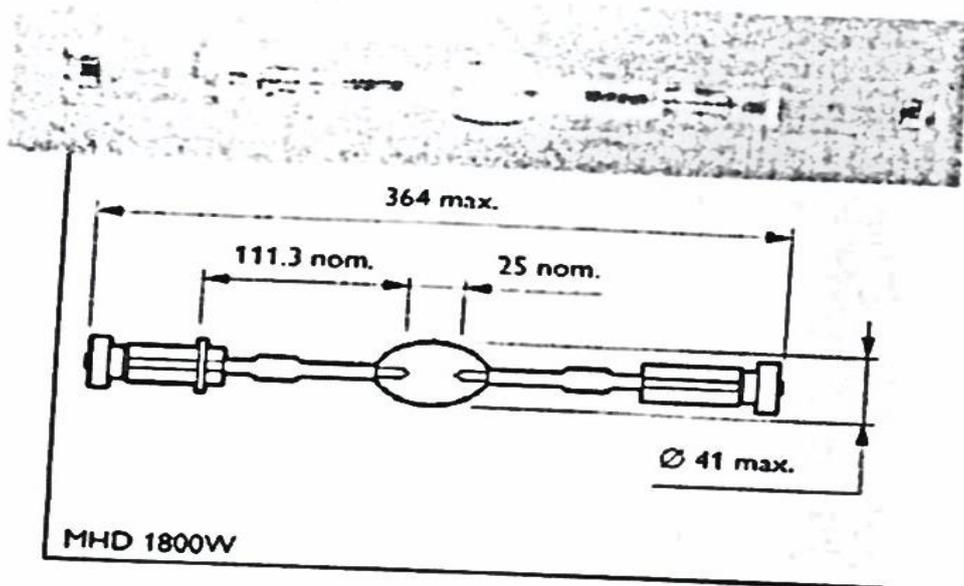




الشكل (5 - 7) : البروجكتور المستخدم في إنارة الملعب ومواصفاته الفنية.

الجدول (5 - 11) : مواصفات المصابيح ميتال هالايث المستخدمة في البروجكتورات.





Type	Cap/base	Lumen output lm	Correlated colour temperature K	Ordering number
MHD			4200	9280 784 15100
MHD-TD			4200	9280 793 15100
MHN-TD			5000	9280 725 05100
MHN-TD			4200	9280 713 05100

ملاحظة هامة جداً: بعد الإنتهاء من تنفيذ المشروع وعند الاستلام نقسم أرض الملعب إلى مربعات ونقيس شدات الإنارة في مركز كل مربع ونحاول قدر الامكان ان تكون شدة الإنارة 1000 Lux وذلك بتوجيه البروجكتورات عن طريق جهاز التحكم التابع لها كما يظهر ذلك على الشكل (5 - 7)، حيث نلاحظ وجود محرك صغير على محور حركة البروجكتور.

في كل بلدان العالم تعتبر ملاعب كرة القدم مستطيلة الشكل، ضلعه الطويل يتجه دوماً من الشمال إلى الجنوب. فعند استثمار المشروع وأثناء المباريات نلاحظ ان للاعب الواحد أربع خيالات وللتقليل من قوة ظهور الخياليين في الاتجاه الغربي نعمد إلى نقل ربع عدد أجهزة كل من اللوحتين الشرقيتين، تقريباً، إلى نظيرتيهما الغربيتين، فنجعل العدد 78

بروجكتوراً على الصاريتين الغربيتين و 48 بروجكتوراً على الصاريتين الشرقيتين.
وبذلك نجعل قوة الخيالات قدر الإمكان قليلة.
لقد حافظنا على أن يبقى عدد الأجهزة في كل لوحة قابلاً للقسمه على ثلاثة (عدد الفازات
أو الأطوار).

٢ - التغذية الكهربائية:

ملاحظة هامة جداً:

١ - إذا حدث انقطاع (رفة) للتيار الكهربائي أثناء عمل البروجكتورات ذات مصابيح الميتال
هالايد فإن الأجهزة تحتاج إلى فترة زمنية لا تقل عن عشرة دقائق حتى يتكاثف بخار الزئبق
وتقلع من جديد، وهذا الكلام أثناء المباريات الرسمية مرفوض. فإذا كانت الشبكة العامة
الرئيسية مصدر موثوق به، تبقى مجموعة التوليد الديزل احتياطياً. وإلا فإن مجموعة التوليد
في كل الحالات تبقى المصدر الموثوق به.

٢ - تنخفض الناقلية النوعية γ للنحاس إلى القيمة ($48 \text{ m/mm}^2 \cdot \Omega$) نتيجة ارتفاع حرارة
الناقل.

٣ - يفضل استخدام علاقة كثافة التيار الاقتصادية إذا كانت المسافة الفاصلة بين اللوحة
المغذية ولوحة البروجكتورات صغيرة. وبالنظر إلى الجدول (12 - 3) نجد:

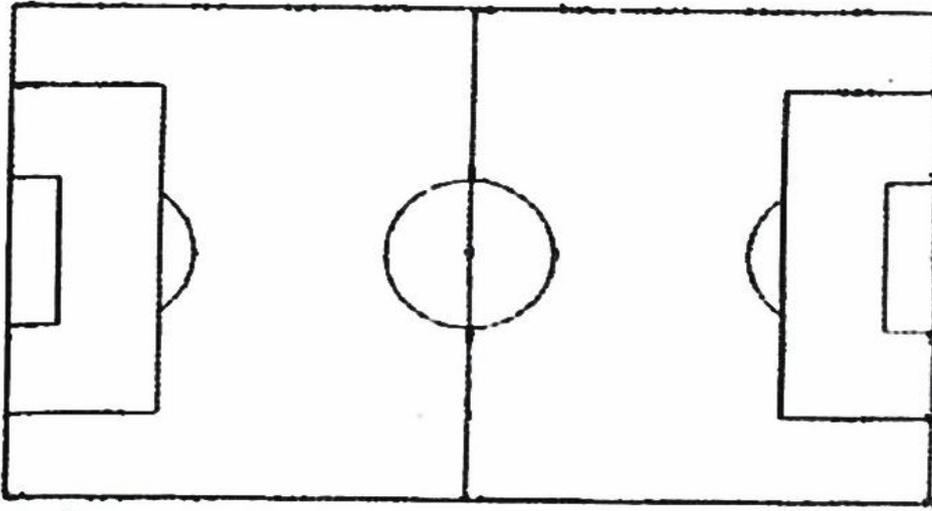
$$J = 3,5 \text{ A / mm}^2 \text{ لأن عدد ساعات التشغيل السنوية لا يتجاوز 1000 ساعة.}$$

٤ - التغذية ثلاثية الأطوار ثلاثية النواقل لأن المنبع متزن والحمولة متزنة على شكل Δ .
مقطع الناقل المغذي للوحة الأجهزة الموجودة على الصارية المركب عليها لوحة التغذية
الكهربائية والواقعة في الجهة الغربية كما هو مبين على الشكل (8 - 5)، مع اعتبار

استطاعة متممات كل مصباح 100 W:

$$F = \frac{I}{J} = \frac{P}{J \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{78 \cdot 2100}{3,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 79 \text{ mm}^2$$

نختار مقطع الناقل الحي 95 mm^2 والكابل 3×95



A

الشكل (8 - 5) : مخطط لملاعب كرة القدم مبيناً عليه موقع لوحات الإنارة ولوحة التغذية الكهربائية. مقطع الناقل المغذي للوحة الأجهزة الموجودة على الصارية المقابلة قطرياً للصارية المركب عليها لوحة التغذية الكهربائية. في هذه الحالة وبما أن المسافة الفاصلة بين لوحة التغذية الكهربائية ولوحة البروجكتورات بعيدة لذلك نلجأ إلى علاقة هبوط التوتر

$$\Delta U = 11,4 \text{ V} = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \Rightarrow F = \frac{48 \cdot 2100 \cdot (40 + 156)}{380 \cdot 48 \cdot 11,4 \cdot 0,9} = 105,57 \text{ mm}^2$$

في هذه الحالة نستخدم كابل $3 \times 120 \text{ mm}^2$

مقطع الناقل المغذي للوحة الأجهزة الموجودة على الصارية المقابلة طولياً (على طول الملعب) للصارية المركب عليها لوحة التغذية الكهربائية:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \Rightarrow F = \frac{78 \cdot 2100 \cdot (40 + 110)}{380 \cdot 48 \cdot 11,4 \cdot 0,9} = 131,3 \text{ mm}^2$$

في هذه الحالة نستخدم كابل $3 \times 150 \text{ mm}^2$

مقطع الناقل المغذي للوحة الأجهزة الموجودة على الصارية المقابلة، على عرض الملعب، للصارية المركب عليها لوحة التغذية الكهربائية :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \Rightarrow F = \frac{48 \cdot 2100 \cdot (40 + 110)}{380 \cdot 48 \cdot 11,4 \cdot 0,9} = 81 \text{ mm}^2$$

في هذه الحالة نستخدم كابل $3 \times 95 \text{ mm}^2$.

ثم نحسب الكلفة التأسيسية للمشروع واستهلاك القدرة الكهربائية المصروفة خلال 1000 ساعة عمل مضافاً إليها الضياعات الحرارية في الكابلات:

$$A = P \cdot t = \left[252 \cdot 2,1 + \frac{3 \cdot 10^{-3}}{\gamma} \cdot \left(\frac{I_1^2 \cdot \ell_1}{F_1} + \frac{I_2^2 \cdot \ell_2}{F_2} + \frac{I_3^2 \cdot \ell_3}{F_3} + \frac{I_4^2 \cdot \ell_4}{F_4} \right) \right] \cdot 1000 =$$

$$A = P \cdot t = \left[252 \cdot 2,1 + \frac{3 \cdot 10^{-3}}{48} \cdot \left(\frac{(276,5)^2 \cdot 40}{95} + \frac{(170)^2 \cdot 196}{120} + \frac{(276,5)^2 \cdot 150}{150} + \frac{(170)^2 \cdot 150}{95} \right) \right] \cdot 1000 =$$

$$= (529,2 + 12,6) \cdot 1000 = 541792 \text{ kW.h}$$

ثم نشكل الجدول الآتي:

البند	الموصفة	الوحدة	الكمية	السعر الإفرادي S.P	السعر الإجمالي S.P
١ -	جهاز إنارة (بروجكتور) نو مصباح ميتال هالايد (2000 W)	عدد	252		
٢ -	كابل 3×150	م.ط	150		
٣ -	كابل 3×120	م.ط	196		
٤ -	كابل 3×95	م.ط	190		
٥ -	تقديم وتركيب لوحة للاجهزة	عدد	4		

وبعد السؤال في السوق المحلية عن أسعار الكابلات والبروجكتورات ولوحاتها وأجور تركيبها وتمديداتها، نضع الكلفة الكلية التقديرية للمشروع. على الطالب العودة إلى الجدول (7 - 3) لتحديد عيار القواطع.

مثال: ٥ - ٣ - سؤال دورة

ملعب مكشوف، للتدريب على كرة القدم، أبعاده $m^2 (100 \times 60)$. ارتفاع الأعمدة (الصواري) الحاملة للوحات أجهزة الإنارة عن أرض الملعب $m 16$. متوضعة في رؤوس مربع طول ضلعه $m 68$ ومركزه مركز الملعب، كما هو مبين على الشكل أدناه. والمطلوب:

(30) درجة ١ - صمم إنارة جيدة للملعب. إذا علمت أن شدة الإنارة المقترحة في مركز الملعب 500 Lm/m^2 . وأجهزة الإنارة (البروجكتورات) المتوفرة لدينا حسب نصف زاوية رأس مخروط الفيض الضوئي الصادر عنها:

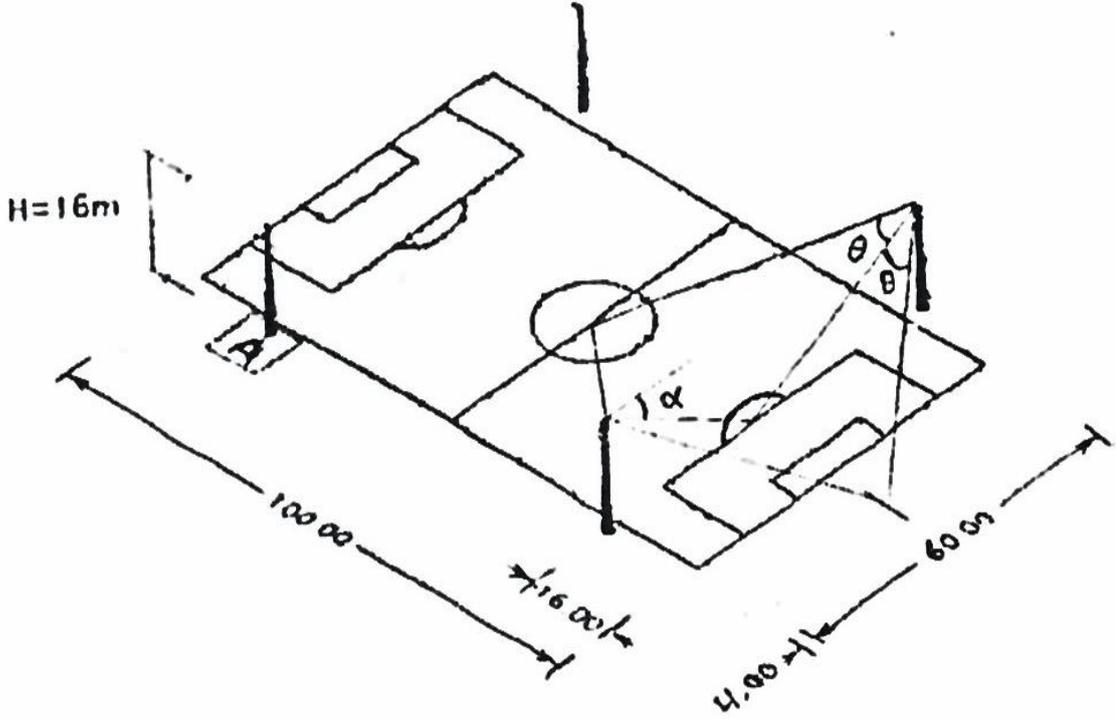
رقم البروجكتور	زاوية ميلان البرجكتور عن الأفق α°	زاوية رأس مخروط الفيض الضوئي الصادر عن البروجكتور 20°
1	35°	35°
2	30°	120°
3	26°	85°

والمردود الضوئي لكل بروجكتور من البروجكتورات $\eta = 0,74$. والمصباح المستخدم في الإنارة ميتال هالايت، استطاعته 2000 W ويصدر فيضاً ضوئياً 170000 Lm ويتغذى بتوتر خطي 380 V .

(30) درجة ٢ - بفرض أن لوحة الإنارة على الصارية A واللوحه التي تقابلها على طول الملعب تحوي كل منها على 24 بروجكتوراً واللوحتين المقابلتين لهما تحوي كل منها على 21 بروجكتوراً. والمطلوب:

حدد مقاطع النواقل المغذية للوحات الإنارة. علماً أن الكابلات المغذية لأجهزة الإنارة تمر من داخل الصواري وتمدد على محيط الملعب. وأن هبوط التوتر المسموح به 3% وأن الناقلية النوعية للنحاس $\gamma = 58 \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$. وكثافة التيار الاقتصادية $J = 3,5 \text{ A}/\text{mm}^2$ وعامل الاستطاعة يساوي $0,9$ متأخر. وتهمل استطاعة متمات الإقلاع ولا تؤخذ بالدراسة. ومنبع التغذية متزن وتوتره الخطي 380 V .

ملاحظة هامة جداً: انظر إلى الشكل جيداً من أجل تحديد زاوية رأس المخروط للفيض الضوئي الصادر عن لوحة البروجكتورات.



مخطط لملاعب كرة القدم مبيناً عليه مواقع الصواري الحاملة للوحات الإنارة وموقع لوحة التغذية الكهربائية A

الحل:

١ - تصميم إنارة الملعب: (30) درجة

من الشكل المعطى نجد أن طول الملعب $X = 100 \text{ m}$ وعرضه $Y = 60 \text{ m}$ وبعد كل صارية من الصواري الأربعة عن محيط الملعب 4 m وبعد مركز الملعب عن أي صارية من الصواري الأربعة: $W = \sqrt{2} \cdot 34 = 48 \text{ m}$ وعلى اعتبار أن إحدى لوحات البروجكتورات مركزاً للكرة التي نصف قطرها المستقيم الواصل بين مركز لوحة البروجكتورات ومركز الملعب فإن: $r = \sqrt{W^2 + H^2} = 50,675 \text{ m}$ والفيض الضوئي اللازم حتى تكون شدة الإنارة على محيط الكرة (مركز الملعب) 500 Lux :

$$E = \frac{J}{r^2} \cdot \cos \theta = \frac{J}{H^2 + W^2} \cdot \frac{\sqrt{H^2 + \left(\frac{Y}{2} + 4\right)^2}}{\sqrt{H^2 + W^2}} \Rightarrow$$

$$J = \frac{E \cdot r^3}{\sqrt{(16)^2 + (34)^2}} = \frac{500 \cdot (50,675)^3}{37,577} = 1731527 \text{ cd} \Rightarrow$$

$$\Phi = J \cdot \omega = J \cdot 4 \cdot \pi = 21759005 \text{ Lm}$$

ومن الشكل نجد:

$$\cos \theta = \frac{37,577}{50,675} = 0,7415 \Rightarrow \theta = 42^\circ$$

$$\alpha = \text{arc tg } \frac{16}{34} = 25^\circ$$

ومن هذه المعطيات نلاحظ أن البروجكتور المناسب لإنارة الملعب هو البروجكتور رقم

3 . وقيمة الزاوية الفراغية مقدرة بالستيراديان والمحددة بالزاوية 85° :

$$\omega_{85^\circ} = S/r^2 = \pi \cdot (34/50,675)^2 = \pi \cdot 0,45 = 1,414 \text{ sr}$$

والفيض الضوئي النافع في هذه الزاوية:

$$\Phi_u = J \cdot \omega_{85^\circ} = 1731527 \cdot 1,414 = 2448379 \text{ Lm}$$

ويصبح عدد البروجكتورات اللازمة لإنارة الملعب:

$$n = \frac{2448379}{170000 \cdot 0,74} \approx 20$$

وهذه الأجهزة سوف توزع على أربع لوحات ويجب أن يكون عدد الأجهزة في كل لوحة قابلا للقسمة على ثلاثة لأن التغذية الكهربائية ثلاثية الأطوار. وهذا يعني أن كل لوحة

تحوي 6 بروجكتورات والعدد الكلي اللازم لإنارة الملعب 24.

٢ - التغذية الكهربائية: (30) درجة

بما أن الحمولة متزنة على شكل Δ والمنبع متزن فإن التغذية ثلاثية الأطوار ثلاثية النواقل.

- مقطع كل ناقل من النواقل الثلاثة المغذية للوحة الأجهزة الموجودة على الصارية المركب عليها لوحة التغذية الكهربائية A والواقعة في الجهة الغربية كما هو مبين على الشكل المفروض، مع إهمال استطاعة متممات الإقلاع للبروجكتورات.

$$F = \frac{I}{J} = \frac{P}{J \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{24 \cdot 2000}{3,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 23 \text{ mm}^2$$

نختار مقطع الناقل الحي 25 mm^2 والكابل 3×25 ونتأكد من أن هبوط التوتر لا يتجاوز 3%:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot R = \frac{24 \cdot 2000 \cdot 16}{380 \cdot 0,9 \cdot 48 \cdot 25} = 1,87 \text{ V} < 11,4 \text{ V}$$

- مقطع كل ناقل من النواقل الثلاثة المغذية للوحة الأجهزة الموجودة على الصارية الواقعة على نفس خط التماس (على طول الملعب) للصارية المركب عليها لوحة التغذية الكهربائية. في هذه الحالة وبما أن المسافة الفاصلة بين لوحة التغذية الكهربائية ولوحة البروجكتورات بعيدة لذلك نلجأ إلى علاقة هبوط التوتر:

$$\Delta U = 11,4 \text{ V} = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \Rightarrow F = \frac{24 \cdot 2000 \cdot (68 + 16)}{380 \cdot 48 \cdot 11,4 \cdot 0,9} = 21,545 \text{ mm}^2$$

في هذه الحالة نستخدم كابل $3 \times 25 \text{ mm}^2$.

مقطع كل ناقل من النواقل الثلاثة المغذية للوحة الأجهزة الموجودة على الصارية المقابلة، على عرض الملعب، للصارية المركب عليها لوحة التغذية الكهربائية:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \Rightarrow F = \frac{21 \cdot 2000 \cdot 116}{380 \cdot 48 \cdot 11,4 \cdot 0,9} = 26 \text{ mm}^2$$

في هذه الحالة نستخدم كابل $3 \times 35 \text{ mm}^2$.

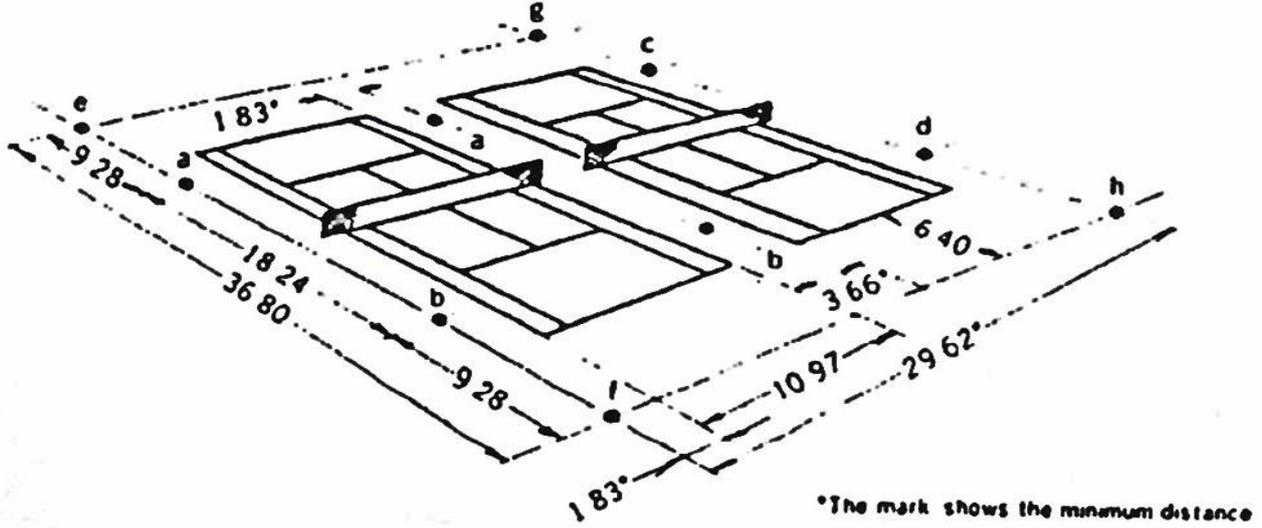
مقطع كل ناقل من النواقل الثلاثة المغذية للوحة الأجهزة الموجودة على الصارية المقابلة، نظرياً، للصارية المركب عليها لوحة التغذية الكهربائية:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \Rightarrow F = \frac{21 \cdot 2000 \cdot 184}{380 \cdot 48 \cdot 11,4 \cdot 0,9} = 41,295 \text{ mm}^2$$

في هذه الحالة نستخدم كابل $3 \times 50 \text{ mm}^2$.

مسائل غير محلولة:

٥ - ١ - المطلوب تصميم إنارة مناسبة لملاعب كرة التنس، يتألف الملعب من قسمين. تفصيلات أبعاد الملعب مبينة في الشكل (٥ - ٩).



الشكل (٥ - ٩): إنارة ملعب كرة التنس.

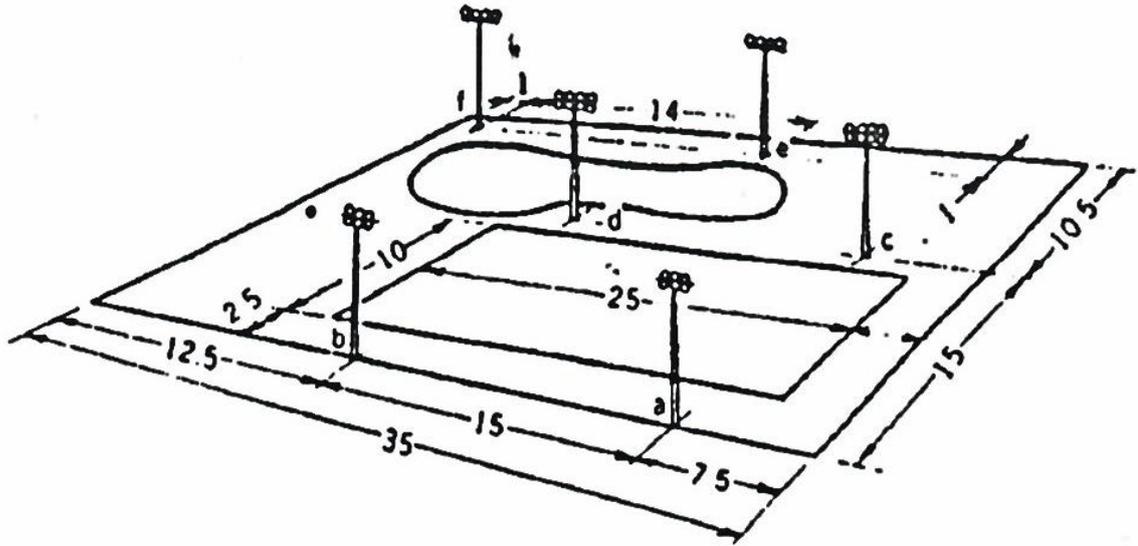
ملاحظة: طبق نفس خطوات المثال السابق في الحل. علماً أنه عند التدريب تشغل أجهزة الإنارة (البروجكتورات) المركبة على الأعمدة: a . b . c . d حول الملعب وفي المباريات الرسمية تشغل كافة الأجهزة المركبة على الأعمدة a , b , c , d , e , f , g . المحيطة بالملعب. وشدة الإنارة المقترحة في المباريات الرسمية 1000 Lux وتنخفض إلى النصف أثناء التدريب.

٥ - ٢ - المطلوب تصميم إنارة مناسبة لحوض سباحة أو استجمام أبعاده :

الطول 25 m والعرض 10 m مقسم إلى خمس حارات عرض كل منها 2 m ويوجد أيضاً بركة للسباحة. البركة مع الحوض تقع في مساحة قدرها 35 m × 25,5 m .

شدة الإنارة المقترحة 500 Lm / m² يجب أن تكون ثابتة تقريباً في كافة نقاط حوض السباحة بشكل خاص ومساحة مكان الاستجمام بشكل عام .

ملاحظة: توزع البروجكتورات على الأعمدة بالتساوي وعلى العمودين c و d تكون مضاعفة في الاتجاهين كما هو مبين في الشكل (٥ - ١٠) .



الشكل (5 - 10) إنارة حوض السباحة .

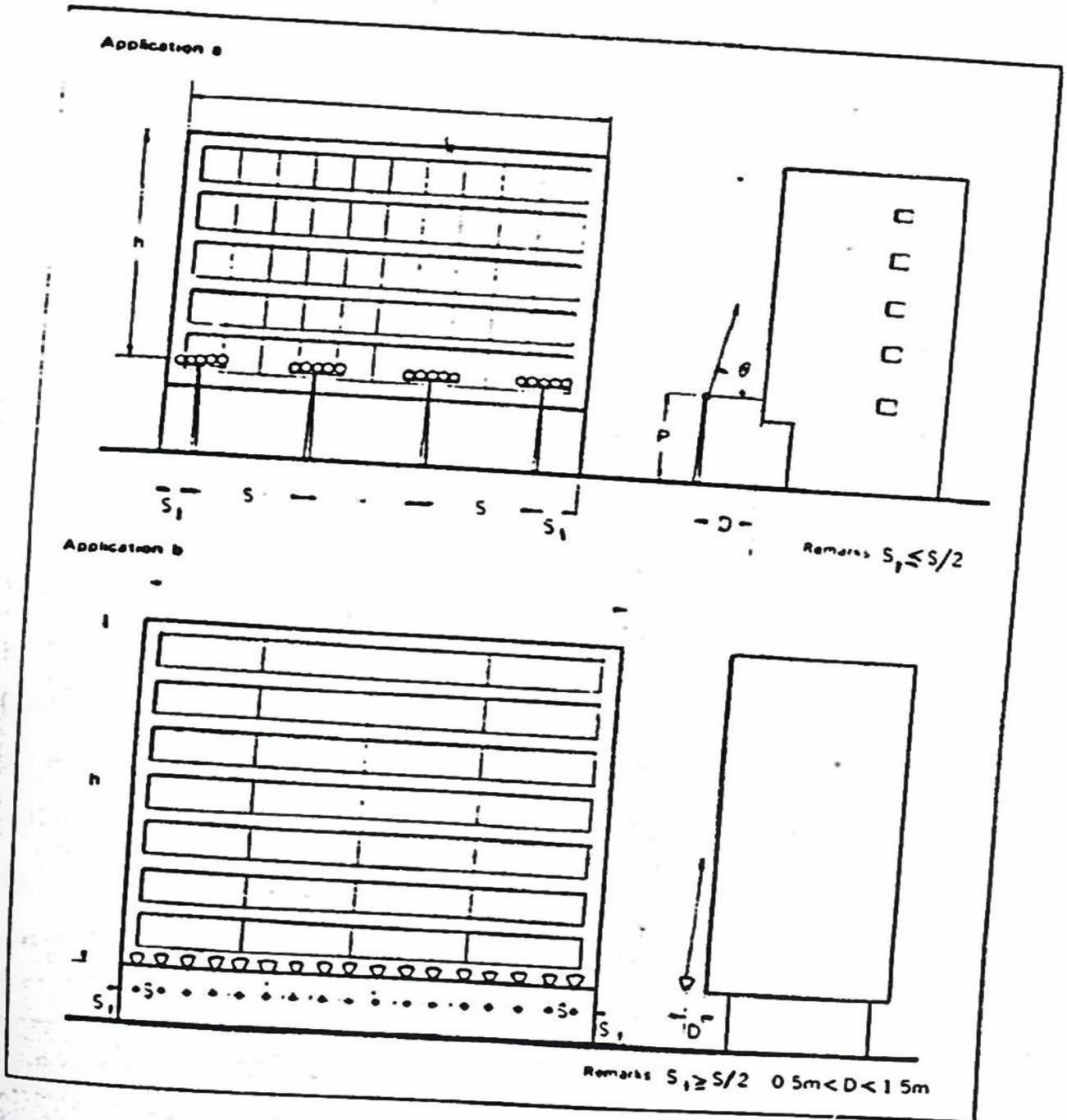
٥ - ٣ - المطلوب تصميم إنارة فائضة لواجهة مبنى تجاري (مصرف) في مركز مدينة كبيرة.

يوجد احتمالان لوضعية الأجهزة :

الاحتمال الأول أن تتركب الأجهزة في مجموعات متساوية أمام المبنى وعلى أعمدة تبعد عنه بمقدار 3 m كما هو واضح في الحالة (a) على الشكل (5 - 11) .

أما الاحتمال الثاني (b) ، على نفس الشكل، فيتم وضع أجهزة الإنارة على بعد 1 m تقريباً من الشرفة الأولى للمبنى وتوجه الأجهزة بزواوية تحقق الغرض المطلوب منها. والجدول التالي يبين التفاصيل اللازمة لإنارة واجهة المبنى:

ارتفاع المبنى (m)	وضعية الأجهزة	الارتفاع بين الأجهزة وسطح المبنى h (m)	بعد الأجهزة عن المبنى D (m)	التباعد بين الأجهزة S (m)	استطاعة المصباح الهالوجيني (W)	شدة الانارة المقترحة E (Lm/m ²)
20	على الأعمدة الحالة (a)	15	3	12	500	150
	على المبنى الحالة (b)	17	1	2	500	150



الشكل (11 - 5): إنارة واجهة مبنى.

٥ - ٤ - المطلوب إنارة اللوحة الإعلانية المبينة على الشكل (12 - 5).

ملاحظة: إنارة اللوحات الإعلانية يجب مراعاة الأمور التالية:

- ١ - معرفة مكان موقع اللوحة، مساحتها، الاتجاه الذي يقابلها ودراسة ما بجوارها من معالم إنشائية.

٢ - معرفة جهاز الإنارة الذي سيستخدم والإطلاع على مواصفاته.

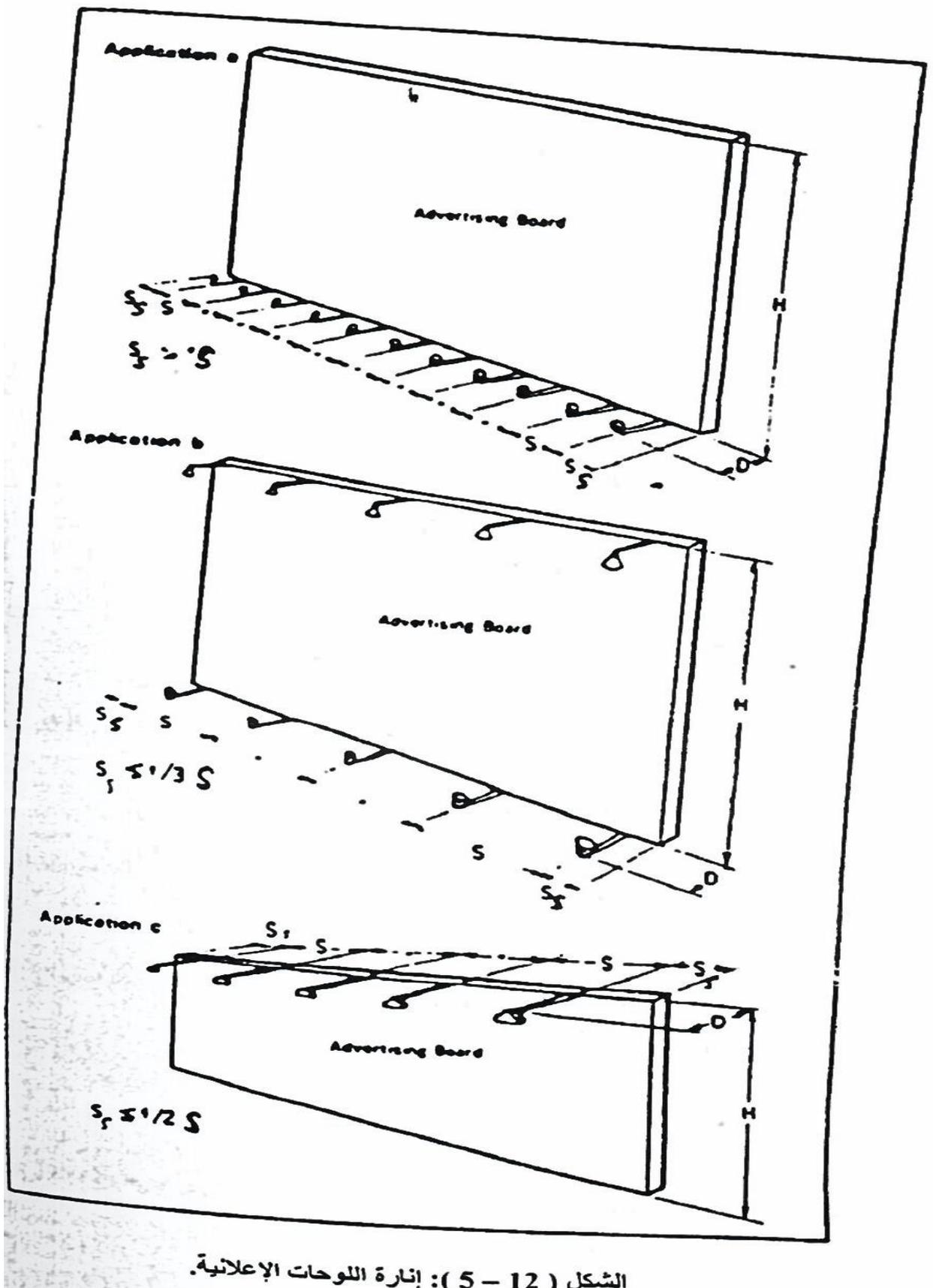
٣ - الألوان المطلوب إظهارها بشكل واضح على اللوحة

٤ - الأخذ بعين الاعتبار شدات الإنارة في الحالات التالية :

شدة الإنارة المقترحة (Lm / m^2)	موقع اللوحة
1000	في مركز المدينة
500	في مركز السوق
300	في ساحة من ضاحية

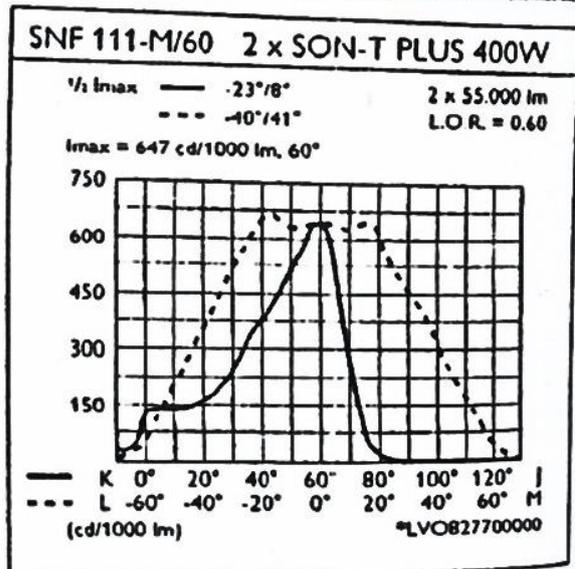
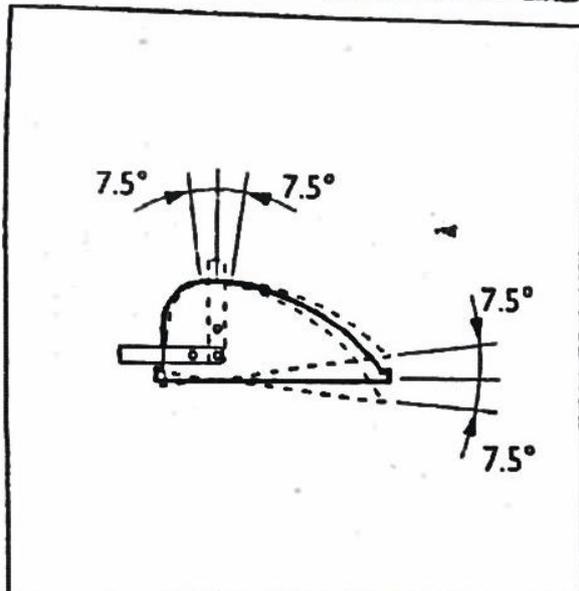
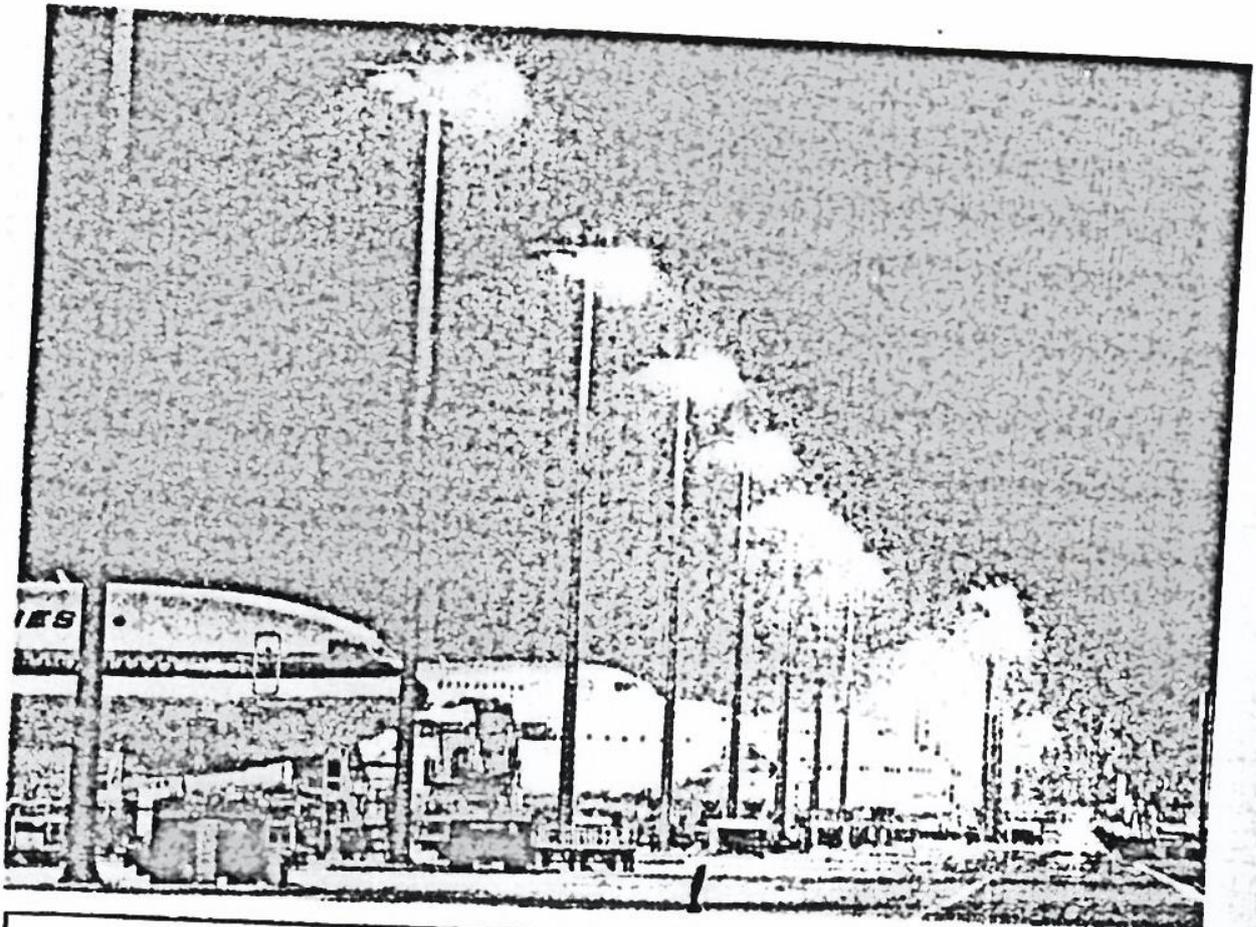
الحالات الممكنة لإنارة اللوحة مبينة في الجدول التالي :

ارتفاع اللوحة $H(m)$	إنارة مباشرة	بعد جهاز الإنارة عن اللوحة m	التباعد بين الأجهزة (m)	استطاعة المصباح الهالوجيني (W)	شدة الإنارة المقترحة Lm / m^2	الحالة
5 - 8	الإنارة من اتجاه واحد من الأسفل	1	1.2	500	1000	A
3 - 5	الإنارة مباشرة من الأسفل ومن الأعلى	1	1.5	250	500	B
1 - 3	الإنارة مباشرة من الأعلى	1	1.4	250	500	C



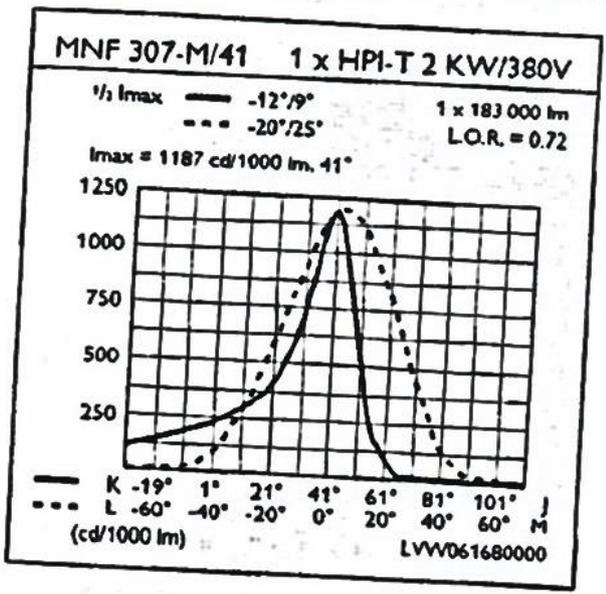
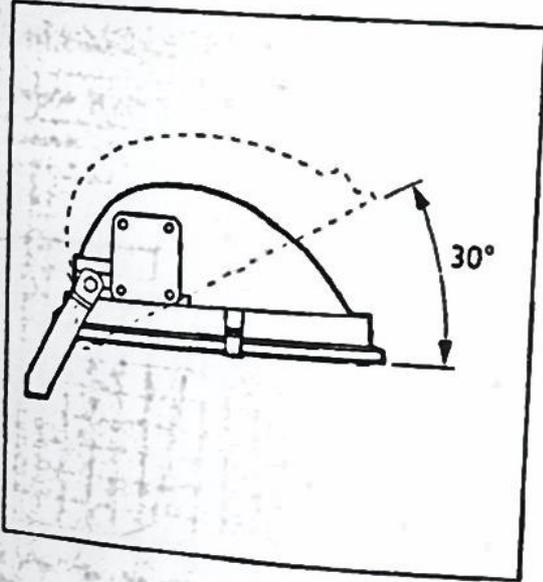
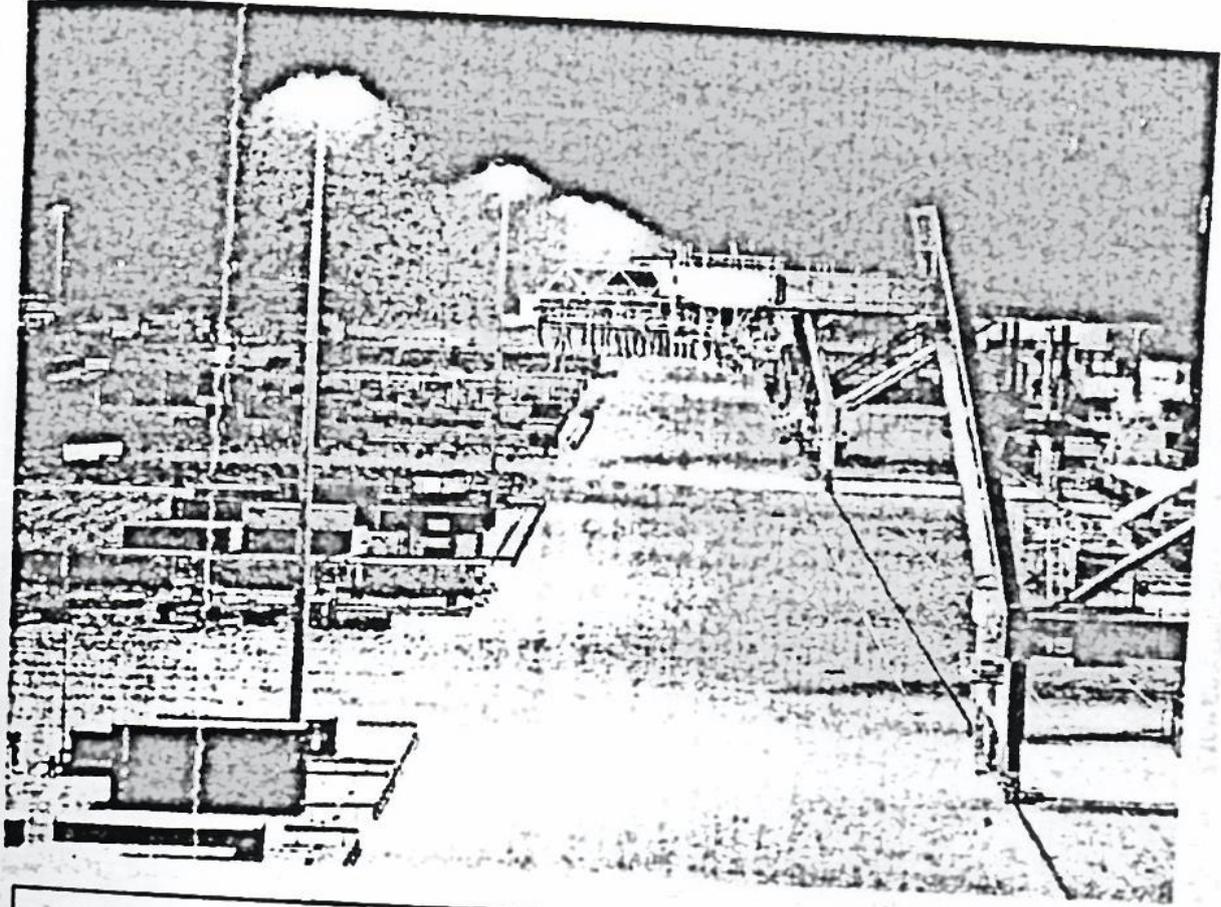
الشكل (12 - 5) : إنارة اللوحات الإعلانية.

٥ - ٥ - ادرس تصميم الإنارة الفائضة لمواقف الطائرات في المطارات الدولية
 بالأجهزة المبينة على الشكلين (5 - 13) و (5 - 14).



الشكلا (5 - 13)

٥ - ٦ - ادرس تصميم الإنارة الفائضة لساحة مرفأ بالأجهزة المبينة على الشكلين (5-13) و(5-14).



الشكل (5-14)