

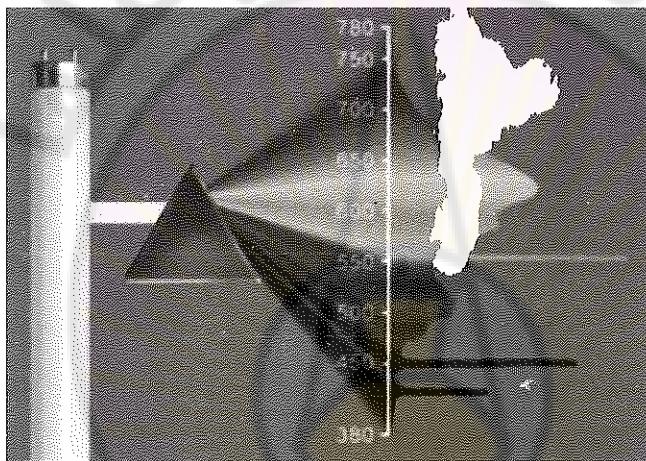


منشورات جامعة دمشق

كلية الفنون الجميلة الثانية

# الصوت والضوء

في  
العمارة الداخلية



الدكتور المهندس

سعيد وهبي

أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

٥١٤٣٣-١٤٣٢  
م ٢٠١٢-٢٠١١

جامعة دمشق

السنة الثالثة  
قسم العمارة الداخلية  
كلية الفنون الجميلة



منشورات جامعة دمشق

كلية الفنون الجميلة الثانية

# الصوت والضوء

في  
العمارة الداخلية

الدكتور المهندس

سعید وهبی

أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

٥١٤٣٣-١٤٣٢  
م ٢٠١٢-٢٠١١

جامعة دمشق



# الفهرس

الصفحة	الموضوع
١١	مقدمة عامة
١٣	الفصل الأول
١٣	تعريف الصوت
١٥	سرعة الصوت
١٨	الإدراك السمعي للصوت
٢٣	جهازة الأصوات
٢٣	الصفات الفيزيولوجية للصوت
٢٦	الخصائص الفنية في دراسة الأصوات
٢٨	الأنظمة الصوتية الداخلية
٢٩	خصائص الحواجز أمام الأصوات
٣٠	امتصاص الأصوات
٣٥	انعكاس الأصوات
٣٧	انتقال الأصوات
٣٨	الظل الصوتي
٣٩	التركيز البوري للأمواج الصوتية
٤٠	انتشار الأمواج الصوتية
٤١	ارتداد أو دوي الأصوات
٤٤	صدى الأصوات
٤٧	الرنين الناتج عن الأصوات
٤٨	مسارات الأصوات
٥٠	ضجيج الأصوات
٥٢	الانتقال الضجيج عبر الحواجز

٥٢	انتقال الضجيج عبر الحاجز	-١٦-١
٥٤	الهندسة الصوتية	-١٧-١
٥٥	الأنظمة الصوتية	-١٨-١
٥٦	اللواقط (الميكروفونات)	-١-١٨-١
٥٨	مكبرات الصوت	-٢-١٨-١
٦١	معالجات الإشارة الصوتية ( وحدات تضخيم الإشارة أو المضخمات )	-٣-١٨-١
٦٢	النظام الصوتي لقاعات الاستماع	-١٩-١
٦٣	تصميم النظام الصوتي لقاعات الاستماع	-٢٠-١
٦٥	العزل الصوتي	-٢١-١
٦٥	أسس العزل الصوتي	-١-٢١-١
٦٨	العزل الصوتي لقاعات الاستماع	-٢-٢١-١
٦٨	المواد والتراكيب الماصة للصوت	-٣-٢١-١
٧١	متطلبات النظام الصوتي	-٤-٢١-١
٧٦	التصميم المعماري الصوتي لقاعات الاستماع	-٢٢-١
٧٩	دراسة بعض قاعات الاستماع	-٢٣-١
٧٩	الصالات الكلامية ( الندوات والمؤتمرات والمدرجات )	-١-٢٣-١
٨٢	الصالات الموسيقية	-٢-٢٣-١
٨٦	أماكن العبادة	-٣-٢٣-١
٨٤	القاعات المتعددة الأسلوبات	-٤-٢٣-١
٨٥	استخدامات صوتية أخرى	-٢٤-١
٨٦	تقنيات تركيب المواد الصوتية	-٢٥-١
٩١	الفصل الثاني الضوء	-١-٢
٩١	مقدمة	-٢-٢
٩٣	الإضاءة والعمارة الداخلية	-٣-٢
٩٨	المفاهيم الأساسية في الإضاءة	-١-٣-٢
٩٨	الضوء	

١٠٥	الضوء والرؤية	-٢-٣-٢
١٠٧	المفاهيم الأساسية في الإضاءة	-٣-٣-٢
١٠٧	الفيض الضوئي أو المساللة الضوئية	-١-٣-٣-٢
١٠٨	الشدة الضوئية	-٢-٣-٣-٢
١١٠	سوية الإنارة (الإنارة)	-٣-٣-٣-٢
١١١	الوضوح	-٤-٣-٣-٢
١١٤	المردود الضوئي	-٥-٣-٣-٢
١١٦	معامل ومؤشر التعتم	-٦-٣-٣-٢
١١٦	مؤشر عدم راحة الرؤيا	-٧-٣-٣-٢
١١٦	البهر الضوئي	-٨-٣-٣-٢
١١٧	خواص السطوح أمام الضوء	-٤-٢
١١٨	الانعكاس	-١-٤-٢
١٢٤	الانتقال	-٢-٤-٢
١٢٧	منابع الضوء الكهربائية	-٥-٢
١٢٨	التوهج الحراري	-١-٥-٢
١٢٨	المصابيح المتوهجة العادية	-١-١-٥-٢
١٢٩	مصابيح الها洛جين	-٢-١-٥-٢
١٣١	التأين أو التألق الكهربائي	-٢-٥-٢
١٣٢	المصابيح الانفراغية	-١-٢-٥-٢
١٤٢	استخدامات مصابيح الإضاءة	-٦-٢
١٤٣	أجهزة الإنارة	-٧-٢
١٤٤	المنابع الضوئية	-١-٧-٢
١٤٥	عواكس الضوء	-٢-٧-٢

١٤٦	نوافر الضوء	-٣-٧-٢
١٥٢	القيم اللازمة في حسابات الإضاءة	-٨-٢
١٥٢	مخططات الشدة الضوئية	-١-٨-٢
١٥٤	حرارة ألوان الإضاءة	-٢-٨-٢
١٥٦	عامل إظهار اللون	-٣-٨-٢
١٥٨	المشعات الضوئية	-٩-٢
١٦١	الانطباع البصري للإضاءة	-١٠-٢
١٦٤	الإنارة الداخلية الفنية	-١١-٢
١٧٣	تصميم الإنارة الداخلية	-١٢-٢
١٧٥	توزيع أجهزة الإنارة	-١-١٢-٢
١٧٦	اختيار نظام الإنارة	-٢-١٢-٢
١٧٧	حساب الإنارة للفراغات الداخلية	-٣-١٢-٢
١٨٨	المخططات الكهربائية التنفيذية	-٤-١٢-٢
١٩٢	أشكال تركيب أجهزة الإضاءة	-١٣-٢
١٩٨	إنارة بعض الفراغات الداخلية	-١٤-٢
٢٩٨	إنارة المحل التجارية (صالات البيع)	-١-١٤-٢
٢٠٠	إنارة واجهات المحل التجارية	-٢-١٤-٢
٢٠٣	إنارة الفنادق وسكن الضيافة	-٣-١٤-٢
٢٠٦	إنارة المطاعم	-٤-١٤-٢
٢٠٩	إنارة غرف المؤتمرات والاجتماعات والسيminارات	-٥-١٤-٢
٢١٠	إنارة المكاتب الإدارية	-٦-١٤-٢
٢١١	إنارة الغرف والقاعات الدراسية	-٧-١٤-٢
٢١٢	إنارة البيوت السكنية	-٨-١٤-٢

٢١٣	إنارة الأدراج	-٩-١٤-٢
٢١٣	إنارة غرف المعيشة في المنازل	-١٠-١٤-٢
٢١٦	إنارة غرف المطابخ وغرف الغسيل والكوي	-١١-١٤-٢
٢١٧	إنارة الحمامات	-١٢-١٤-٢
٢١٩	إنارة غرف الأبناء (الأطفال واليافعين)	-١٣-١٤-٢
٢٢٠	إنارة غرف النوم	-١٤-١٤-٢
٢٢١	إنارة الغرف ذات الاستخدامات الخاصة في المنازل	-١٥-١٤-٢
٢٢٢	إنارة الشرفات	-١٦-١٤-٢
٢٢	إنارة مداخل الأبنية	-١٧-١٤-٢
٢٢٣	إنارة المتاحف والمعارض الفنية	-١٨-١٤-٢
٢٢٥	إنارة المسارح	-١٩-١٤-٢
٢٦	مثال عملي في تصميم الإضاءة لمحل تجاري (بوتيك Boutiques)	-١٥-٢
٢٣٩	الفصل الثالث ملحق الصور الملونة	
٢٥٩	المراجع العلمية	
٢٦١	المصطلحات العلمية عربي إنكليزي	



## مقدمة عامة:

بعد فهم وإدراك التصميم من الناحية الصوتية وناحية الإضاءة في العمارة الداخلية جزءاً لا يتجزأ من عملية تصميم الفراغات الداخلية على وجه العموم، فللمواد المستخدمة في الإكساء الداخلي للجدران والأسقف والأرضيات، إضافةً إلى المفروشات، أثرٌ كبيرٌ في توزع الصوت في فضاء الفراغ، زيادةً أو نقصاناً أو حتى تشويهاً. وكذلك هي الإضاءة فيما أن تناسب مع الفراغ الداخلي بمكوناته المختلفة لتحقيق الجو المطلوب إضافةً إلى تأدية الوظيفة المطلوبة منها، أو لا تناسب معه فتلعب دوراً قد يكون معاكساً. وكلاهما، الصوت والضوء يعول عليهما الكثير في إحداث انتطاب سمعي وبصري عالي الجودة لدى الآخرين.

إن تلك المعرفة وذلك الإدراك لا يعني أبداً أن يحل المصمم الداخلي محل مهندسي الصوت والضوء ويقوم بوظائفهما في الحساب والتصميم الصوتي والضوئي، إلا أن طبيعة اختصاصه تفرض عليه الإمام بشكل جيد بالأثر المتبادل بين كلٍ من الصوت والضوء من ناحية والإكساء الداخلي للفراغات الداخلية من ناحية أخرى.

فالأصوات طبيعية كانت أم صناعية ناتجةً عبر مجموعات صوت ستفاصل مع المواد المتواجدة في محبيتها في القاعات والغرف وستتغير طبيعتها بإيجاباً أو سلباً وستؤثر وبالتالي على مجموع الأشخاص المتواجدين في مثل هذه الأمكنة، والذين يتوقعون سماع أصوات صديقة للأذان، غير مزعجة.

نظراً لوجود الخيارات المتعددة من أشكال أجهزة الإنارة، بمنابعها المختلفة، ووجود ألوان خاصة للإضاءة، فإن لدى المصمم الفنان الكثير من الخيارات في تصميم الإنارة للأماكن الداخلية، فهو يستطيع من خلال الأضواء أن يغير الكثير من الانطباعات التي يمكن للأمكنة أن تتركها لدى الناظرين، ويبوحي لهم بما يشاء، فيمكن له أن يخلق لديهم حالة من الإشارة والاستكشاف أو الاستفزاز، كما هو في إثارة الإعلانات التجارية والطرفيّة، أو يجعل من بيوتهم أماكن جميلة محببة لقلوبهم يقضون فيها أوقاتاً طويلة يشعرون فيها بالراحة والطمأنينة دون ملل، وكذلك التأثير في الأماكن الأخرى العامة والخاصة.

إن المعرفة الجيدة بالإضاءة وزيادة حرافية المصمم فيها تجعله يصل بعمله الفني - وهو المكان أو الحيز من الفراغ، الذي يريد أن يزيشه بفنّه وعلمه - إلى قيمة جمالية مميزة وتحفة فنية فريدة.

يتضمن هذا الكتاب فصلين، أحدهما يعنى بموضوع الصوت والآخر بالضوء في العمارة الداخلية، وقد آثرنا معالجة كلا الموضوعين من الناحية الفنية والجمالية، أكثر من الخوض في العمليات العلمية الحسابية التخصصية الهندسية والتصميمية فيها، ليكون عوناً للمختصين والمهتمين في مجال الفنون الجميلة، وبالأخص اختصاص العمارة الداخلية منها.  
إن افتقد مكتبتنا العربية لكتب تعالج مثل هذه الموضوعات المتخصصة جعلنا نبذل جهداً مضاعفاً لإخراج هذا المخطوط على أحسن وجه.

أمل أن يحقق هذا الكتاب الغاية المرجوة منه

دمشق ٢٠١١ م

المؤلف

د. م. سعيد وهبي

# الفصل الأول

## ( The sound ) ١ - الصوت

### ١-١-تعريف:

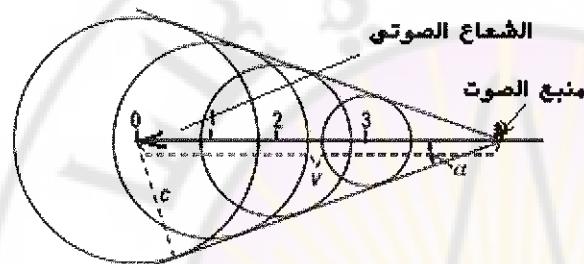
يعرف الصوت على أنه اهتزاز ميكانيكي للوسط الذي يتحرك فيه، فإذا انتشر في الهواء مثلاً، فإنه يتسبب بتخلخل ضغط الهواء، وبالتالي باهتزازه، ليصل إلى أذن السامع فيضغط على طبلة الأذن. تستجيب الطبلة لهذا الضغط وفق توافق الصوت (تردد) فتحريك وفقاً لشدة التهتز. تنتقل الحركة إلى الأذن الوسطى ومنها إلى الأذن الداخلية عبر الحلزون لتنقل الحركة كسيالات عصبية (إشارات كهربائية) عبر نوافل عصبية شعرية (رفيعة جداً) يقدر عددها بـ ٣٠٠٠٠ ناقل شعري. تنتقل هذه السيالات (الإشارات) إلى مركز السمع في الدماغ فيسمعها الإنسان ويحللها. ويمكن للمرء تعداد الكثير من الأمثلة التي تبين أن الصوت هو عبارة عن خلخلة أو اهتزاز ميكانيكي للوسط المتحرك فيه. ذكر على سبيل المثال أصوات الرياح التي نسمعها وهي تعصف، عندما تكون شديدة. وكذلك يكفي أن يضرب أحدهنا بسوط في الهواء ليسمع صوت حركة الصوت، وما إلى ذلك... وتسمع معظم الكائنات الحية الأصوات من خلال آذانها [٩] و [١١].

إن لدى الصوت إمكانية للانتقال والانتشار في أوسع مختلفة ومتعددة، مثل الأجسام الصلبة والسائلة، كما ينتقل عبر الغازات بأنواعها المختلفة. وحده الخلاء لا يسمح بالانتقال والانتشار الصوت فيه. إلا أن سرعة انتقال الصوت تختلف حسب الوسط المتحرك فيه.

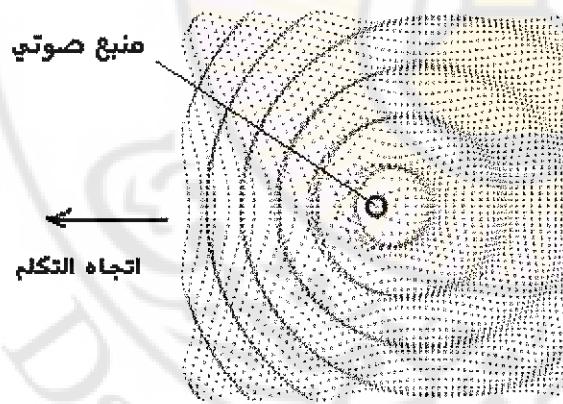
عند إصدار صوت من منبع فإن جزيئات المادة المنتقل عبرها الصوت ستتهرّب في مكانها، مبتعدةً عن بعضها، مسببةً تخلخلاً (rarefaction)، أو مقربةً من بعضها، مسببةً انضغاطاً (compression) في وسط المادة. إن عملية التخلخل تؤدي إلى انخفاض في ضغط المادة، وعملية الانضغاط تتسبب في ارتفاع ضغط المادة. تنتقل عملية انخفاض وارتفاع الضغط في المادة أو الوسط، وتنتشر، وإذا وصلت إلى أذن إنسان يتعرف عليها على أنها صوت. فالصوت إذاً هو باختصار الإدراك السمعي لتغيرات ضغط الوسط [٣].

ينتشر الصوت بشكل عام في جميع الاتجاهات انطلاقاً من منبعه، على شكل كرة، مركزها هو منبع الصوت. ويكبر محيط هذه الكرة كلما ابتعد الصوت عن منبعه، أي كلما زاد قطر هذه الكرة.

الشكل (١-١) يمثل جزءاً من صوت ينتشر من منبع نقطي (Point source) في الفضاء في نظرة مجسمة. والشكل (٢-١) يمثل مسقط مستوٍ أفقى لانتشار الصوت من منبع نقطي في الفضاء في اتجاه واحد [٩].



الشكل (١-١) جزء من صوت منتشر في الفضاء على شكل زاوية دائرية مجسمة



الشكل (٢-١) صوت ينتشر في الهواء بجميع الاتجاهات في مستوٍ أفقى

تسمى عملية انتشار الحركة الاهتزازية للصوت بالموجة الصوتية (wave). واتجاه حركة الموجة الصوتية الواحدة يسمى بالشعاع الصوتي. وهو يمثل سهماً مركزه هو منبع الصوت. كما تسمى منطقة الفراغ التي ينتشر فيها الصوت بالحقل الصوتي (Sound field). يتآخى الصوت (attenuation) كلما ابتعد عن منبعه، بفعل الضياعات التي تحصل عليه، وبالتالي يقل الضغط الصوتي الذي يحدثه المنبع. ولو لم تحصل ضياعات في شدة

الصوت، بفعل انتشاره وممانعة الوسط المنتشر فيه له، لوصول الصوت إلى أقصى وأبعد الأماكن، أي إلى الالاتية.

#### ١-٢- سرعة الصوت:

تقدر سرعة الصوت (Speed of sound) في الهواء وسطياً بـ  $340 \text{ m/s}$  بشكل تقريري. وتختلف سرعة الصوت تبعاً للوسط المنتشر فيه؛ ففي الأجسام الصلبة تكون سرعته متعلقة بعامل صلابة هذه الأجسام، أو كثافة مادتها ودرجة حرارتها بالإضافة إلى عوامل أخرى ذات تأثير أقل. وبشكل عام تتراوح سرعة الصوت في المعادن في المجال: (  $3000 - 6000 \text{ m/s}$  ) وهو كما يلاحظ أسرع منه في الهواء بأضعاف. أما في الغازات فإن سرعة الصوت تزيد كلما نقصت كثافة الغاز وهي في الغازات الخفيفة كالهيدروجين والأوكسجين أكبر منها في غازات أكسيد الكربون. وكذلك تغير سرعة الصوت عند اختلاف الوسط الغازي أو السائل الذي يتحرك فيه، أما تغيير الضغط الجوي فقد وجد بالتجربة أنه لايلعب دوراً يذكر في تغيير سرعة الصوت.

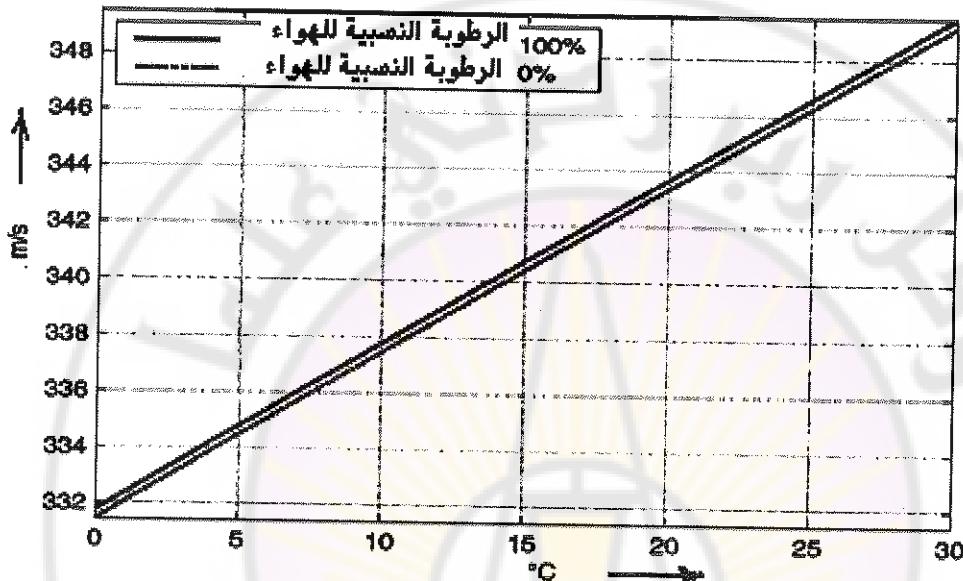
نبين في الجدول (١-١) سرعة الصوت في بعض الأوساط الغازية والصلبة والسائلة.

الجدول (١-١) سرعة الصوت في بعض الأوساط المختلفة [٩] و[١١] و[١٢]

الوسط أو المادة	سرعة الصوت مقدرة بالـ $\text{m/s}$
ماء درجة حرارته $15^\circ \text{C}$	١٤٥٠
وسط من الماء المقطر	١٤٩٢
ماء بشكل عام	١٤٨٠
الحديد الصافي	٥٠٠٠
لفولاذ الصافي	٥٠٥٠
الألمينيوم الصافي	٥٢٠٠
النحاس الصافي	٣٩٠٠
الرصاص الصافي	٤٣٠٠
الزجاج الصافي	٥٢٠٠

٥٤٠٠	زجاج الكوارتز
٣٦٥٢	الجص
٣١٠٠	جدار من الإسمنت
٣٨٥٠	الغرانيت
٣٦٠٠	الأجر أو القرميد
(٥٠٠ ) (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)	الفلين
(٥٠ ) (سرعة ضعيفة جداً للصوت)	المطاط
١٨٠٠	البوليستيرول
٤٥١٠	الحجر
٣٦٠٠	خشب الصنوبر
٤٣٨١	خشب السنديان
٤٧٨٠	خشب الجوز
٣٢٨٠	خشب الحور
٤١٠٠	خشب البلوط
(٣٠٩ ) (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)	وسط من الهايدروجين
(٣٢٦ ) (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)	وسط من الأوكسجين
(٢٦٦ ) (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)	وسط من أوكسيد الكربون
(٣٤٤ ) (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)	وسط من الهواء عموماً
٣٤٠ (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً ) وهي قيمة وسطية عامة	وسط هوائي درجة حرارته : $20^{\circ}\text{C}$

في الحقيقة فإن سرعة الصوت في الجو ليست ثابتة وإنما تتعلق بدرجة حرارة الوسط المنتشر فيه. فهي في وسط من الهواء درجة حرارته  $20^{\circ}\text{C}$  تساوي  $340 \text{ m/s}$  تقريباً وتزداد هذه السرعة طرداً مع زيادة درجة حرارة الجو ومع زيادة نسبة الرطوبة بشكل خطى تماماً وفق المنحنيات البيانية المبينة بالشكل (١-٣) التالي [١١].



الشكل (١-٣) يبين تغير سرعة الصوت وفق درجة حرارة الجو ونسبة رطوبة الهواء

#### واحدات قياس الصوت:

إن واحدة قياس الصوت هي البيل (bel) أو الديسيبل (decibel). حيث إن:  $1 \text{ bel} = 10 \text{ dB}$ . هذه الواحدة تقابل أيضاً بواحدة أخرى وهي واحدة قياس الضغط التي تقدر بالباسكال (Pascal).

وبمقارنة سرعة الصوت بسرعة الضوء (سرعة الضوء:  $300000 \text{ km/S}$ ) نجد أن الضوء أسرع من الصوت بما لا يقaren، وهذا ما يفسر ظاهرة رؤيتنا للبرق قبل سماع صوت الرعد المرافق له. فإذا حدث برق ورعود على مسافة  $10 \text{ km}$  من موقع شخص ما على سبيل المثال فإن هذا الشخص سيرى البرق المرافق للرعد بعد مضي مدة تساوي:

$$t = \frac{d}{s} = \frac{10000}{300000000} = 0.00033S = 0.33mS \quad (1-1)$$

من لحظة حدوثه. أما صوت الرعد فسيسمعه الشخص بعد مضي:

$$t = \frac{d}{s} = \frac{10000}{340} = 29.4S \approx 0.5\text{ min} \quad (1-2)$$

من لحظة حدوثه وهذا فارق زمني طويل نسبياً بين زمن رؤية البرق وزمن سماع أصوات الرعد المرافقة له. حيث  $t$ : هو الزمن (time)، و  $d$ : هي مسافة (distance)، و  $s$ : السرعة (speed).

### ١-٣- الإدراك السمعي للصوت:

إن الأذن البشرية لا يمكن لها أن تسمع جميع الأصوات الصادرة في المحيط، وإنما تسمع بعضها فقط، وهي تلك التي تقع تردداتها وشدةاتها ضمن مجال سمعها فقط. فلأن حدود أو مجال معين للسمع. وأي صوت خارج هذا المجال لن تتمكن الأذن من سماعه، أو أنه قد يشكل ألمًا أو ضررًا عليها حسبما تكون شدته. وقد بين العلم أن لكثير من الكائنات الحية إمكانيات أكبر بكثير في السمع من تلك التي يمتلك بها الإنسان.

إن أعلى قيمة تردد صوت يمكن للأذن شخص من سماعه هي  $20000\text{ Hz}$ ، ومع تقدم الإنسان بالعمر تنخفض قيمة التردد هذه أكثر. إن الأصوات التي تكون تردداتها أعلى من القيمة السابقة تقع خارج مجال السمع (Ultrasound)، ولا يمكن للأذن من سماعها. أما مجال الترددات الدنيا للأصوات التي يمكن للأذن سماعها فيتراوح بين القيمتين  $(16-20\text{ Hz})$ . وأي نغمة صوت ذات تردد أقل من هذه المذكورة لا يمكن للأذن البشرية أبداً من سماعها، لذلك تسمى هذه بالأصوات تحت السمعية (Infrasound).

إن قيمة أقل شدة صوت (ضغط صوتي) يمكن للأذن بشرية من سماعها، أي تحدث تبليها صوتياً لها تدعى بعتبة السمع الدنيا أو حساسية السمع (Sound sensitivity). وهذه ليس من السهل معرفتها. وهي متعلقة بعوامل مختلفة، منها عمر الشخص وحالته الصحية، أي متعلقة بالأفراد من ناحية، ومتعلقة بتردد الموجة الصوتية من ناحية ثانية. فهذه القيمة على سبيل المثال تساوي:  $20\text{ dB}$  عند التردد  $125\text{ kHz}$ . بينما تكون  $5\text{ dB}$  - عند التردد  $(4-3\text{ kHz})$ . و  $10\text{ dB}$  عند التردد  $1000\text{ Hz}$   $[2] \text{ و } [3] \text{ و } [10] \text{ و } [11]$ .

وتحتستطيع الآذان البشرية على العموم سماع أصوات تقع تردداتها بين  $(20-20000)$  Hz. وتتحفظ قدرة الأشخاص على سماع الأصوات مع تقدمهم بالعمر، كما سبق الذكر. وأفضل قدرة على سماع الأصوات لدى الإنسان هي الأصوات التي تقع تردداتها بين  $(5-8)$  kHz.

وتشتمي الأمواج الصوتية التي تزيد تردداتها عن  $20$  kHz بـالأمواج فوق السمعية (Ultrasound)، والتي تنقص تردداتها عن  $20$  Hz بـالأمواج تحت السمعية (Infrasound). والأصوات ذات الترددات فوق وتحت السمعية لا تستطيع أذن الإنسان سماعها، لذلك أخذت هذه التسمية. وأهم مصادر الأصوات تحت السمعية المعروفة هي تلك التي تصدر عن الزلزال والبراكين. وهذه تستطيع بعض الكائنات الحية أن تسمعها. إن المبدأ الأساسي لرصد حركات الزلزال وتنبئ النشاط البركاني هو تحويل الأمواج تحت السمعية التي لا تسمعها أذن الإنسان إلى إشارات كهربائية يتم قراءتها وبالتالي التنبؤ بوقوع نشاط تحت أرضي (زلزال أو بركان).

كما أن الأصوات التي تزيد شداتها عن  $(120-130)$  dB تعد أصواتاً مزعجة ومؤلمة للإنسان، بسبب تغيير الضغط الشديد على طبلة الأذن. لذلك يفترض لا تزيد شدات الأصوات المراد سماعها عن هذا الحد. الجدول (٢-١) يبين شدات الأصوات من بعض المصادر المعروفة.

الجدول (٢-١) شدات الأصوات من منابع مختلفة ورد فعل الأذن البشرية تجاهها [١٠] و[١١].

منبع الصوت	بعده عن الأذن:	شدّة الصوت بالـ dB	ضغط الصوت بالـ (Pa ) pascal
طلقة بارودة	١ m	١٤٠ dB	٢٠٠ Pa
طائرة مقاتلة	١٠٠ m	( ١١٠ - ١٤٠ ) dB	( ٦٠٣١ - ٢٠٠ ) Pa
جهاز تلفزيون بصوت مناسب للغرفة	١ m	٦٠ dB تقريباً	٠٠٢ Pa
أصوات حفيـف أوراق الأشجار	عند الأذن تقريباً	١٠ dB	٠٠٠٠٦٣ Pa
تنفس هادئ لشخص	عند الأذن	١٠ dB	٠٠٠٠٦٣ Pa

(٠٠٠٢- ٠٠٦٣) Pa	(٥٠-٦٠) dB	١ m	صوت محادثة طبيعى
٠٠٠٢ Pa	٤٠ dB	١ m	صوت موسيقى منخفض
٠٠٠٦٣ Pa	٢٠ dB	١ m	صوت دقات ساعة جدارية
٢ Pa	١٠٠ dB	١ m	كمبرسة هواء مضغوط/ ديسكو
(٠٠٢-٠٠٦) Pa	(٨٠-٩٠) dB	١٠ m	شارع رئيس للسيارات
(٠٠٢-٠٠٢) Pa	(٦٠-٨٠) dB	١٠ m	صوت سيارة صغيرة/تاكسي
(٠٠٢-٠٠٦) Pa	(٨٠-٩٠) dB	١٠ m	صوت شاحنة كبيرة
٢٠ Pa بداعاً من	١٢٠ dB	عند الأذن	تضارر الأذن عند سمع صوت قوي يدوم لمدة قصيرة جداً
٦٣.١ Pa	١٣٠ dB		بداية الإحساس بالألم
٠٠٠٠٠٢ Pa	٠ dB		بدء الإحساس السمعي
١٠٠ Pa	١٣٤ dB	عند الأذن	حد الألم للأذن

والجدول (٣-١) التالي يبين قيم شدات الصوت العظمى، المسموح بها في بعض الأماكن من محيط الحياة المعيشية [١٠] و [١١].

الجدول (٣-١) الشدات العظمى للصوت في بعض الأماكن

المكان	شددة الصوت بالـ dB
غرف النوم ( ليلاً )	٣٠ dB
غرف المعيشة ( نهاراً )	٣٥ dB
منطقة سكنية هادئة ( وسطياً )	٤٥ dB
غرف النوم في المشافي نهاراً	٣٥ dB
غرف النوم في المشافي ليلاً	٣٠ dB
غرف العمليات وغرف فحص المرضى وقاعات الانتظار في المشافي	٤٠ dB

١٥ dB	استوديو تسجيل إذاعي
٢٥ dB	استوديو تسجيل تلفزيوني، وقاعات الكونسرت والأورا
٣٠ dB	صالات المسارح
٣٥ dB	صالات السينما، المدرجات، غرف المطالعة، غرف المؤتمرات، أماكن الراحة دور العبادة
٤٠ dB	قطار سريع أثناء سفره (وسطياً)
٤٥ dB	شارع ممتليء بالعربات المسافرة (قيمة وسطية)
٥٠ dB	غرف المناقشة وغرف المدارس والاستراحة، والمكاتب الصغيرة والمتاحف
٥٠ dB	المكاتب الكبيرة، صالات قطع التذاكر وصالات المطارات وقاعات الألعاب الرياضية
(٤٠-٥٥) dB	المطاعم العامة، وفقاً للاستخدام
(٤٥-٦٠) dB	المطابخ وصالات البيع، وفقاً للاستخدام

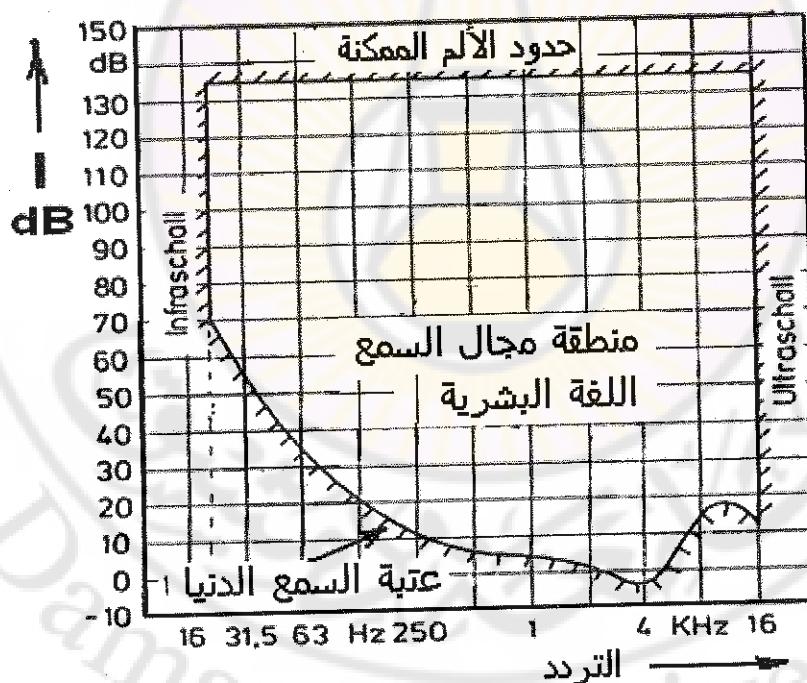
ولا تتضرر الأذن البشرية من مصادر الأصوات العالية فقط وإنما من انعكاسات هذه الأصوات على سطوح عاكسة لها أيضاً. فالصوت يصل إلى الأذن من المصدر مباشرة وكذلك يصل أيضاً من ارتطامه بالسطح العاكسة له.

كما أن تحسس الأذن البشرية للأصوات ليس متجانساً أو واحداً على كامل مجال السمع المذكور (Hz ٢٠-٢٠٠٠)، وإنما يختلف عند كل تردد. على سبيل المثال: فإن القيمة الدنيا لسوية أو شدة الصوت التي يمكن للأذن سماعها عند الترددات: (4-3) kHz هي -٥dB . وهي dB، عند التردد 1 kHz . أي أنه عند بعض القيم لترددات الأصوات تكون حساسية الأذن للسمع عالية أو أعظمية أحياناً، وعند ترددات أخرى تكون حساسيتها للسماع أقل بدرجات متفاوتة وفقاً لترددات تلك الأصوات. فإذا لفظ إنسان مثلاً بعض الأحرف الأجدية بشدة صوت معينة (ليكن: 10 dB ) فسيسمع شخص على بعد معين منه هذه الأحرف بوضوح ويفهمها كاملاً، وعند لفظه أحرواً أخرى وبنفس شدة الصوت السابقة (10 dB) قد لا يتتمكن الشخص السابق نفسه وهو لم ي听过 مكانه من فهم الأحرف الأخرى، إنه سيسمعها ولكنها قد لا تبدو بالنسبة إليه واضحةً. فالأذن البشرية أكثر حساسية للسماع (تسمعها بقوة

ولكنها قد لا تبدو بالنسبة إليه واضحة. فاللأن البشرية أكثر حساسية للسمع (تسمعها بقوه ووضوح) عند أصوات بترددات معينة، وأقلها عند أصوات بترددات أخرى. أعلى حساسية للأذن هي لأصوات تردداتها بحدود 4 kHz. إن المنحنى الذي يبين أقل شدات يمكن للأذن إنسان سمعها عند الترددات السمعية المختلفة يدعى بمنحنى عتبة السمع الدنيا.

إن حدود السمع العليا، أي أعلى قيمة صوت يمكن للأذن شخص سمعها دون أن تحدث في الأذن ألمًا هي عند الشدة 134 dB، وعلى كامل مجال تردد السمع للإنسان، أي أنها مستقلة عن التردد أو غير متعلقة به، لذلك تسمى شدة الصوت هذه بحد الألم للأذن البشرية. وأي زيادة لشدة الصوت عن القيمة السابقة، 134 dB، ستكون غير محتملة للسمع، وقد تسبب بألم وضرر آني للأذن، وفي بعض الأحيان، وخاصةً عند تكرار هذه الشدات في الأصوات فقد تسبب بأذنة دائمة للأذن البشرية.

وإذا رسم شخص حدود أو مجال السمع للأذن إنسان من حيث شدة الصوت والتردد يحصل على ما يسمى بمساحة السمع للأذن وهي المبينة في الشكل (1-٤) و[٩] و[١٠]:



الشكل (١-٤) مجال وحدود السمع للأذن البشرية (مساحة السمع)

#### ٤- جهارة الأصوات:

يمكن فهم جهارة صوت (Sound volume, loudness) على أنها الحجم (volume) من الفراغ المغلق الذي يشغل الصوت، إذا اعتبرنا أن الصوت بمثابة فراغ مغلق متحرك، وتقدر الجهارة الصوتية بوحدة تدعى الفون (Phon) [٣] و [٩]. وعندما يكون لعدة أصوات نفس الجهارة الصوتية يكون لها نفس النغمة.

#### ٥- الصفات الفيزيولوجية للصوت:

تصنف الأصوات عموماً إلى صنفين [٢] و [١٢]:

- أ - الصنف الأول وهو النوع من الأصوات الذي لا تكون الأذن البشرية سعيدة أو مررتاحه في سماعه. وهذه هي عموماً أصوات الضجيج أو التشويش أو تلك التي لا يكون لها مبرر أو مغزى بالنسبة للأذن. مثل هذه الأصوات تذكر جميع تلك الصادرة عن حركة الشارع أو المعامل والآلات أو حتى عبث الأطفال المجتمعين.
- ب - الصنف الثاني وهو النوع الذي تجهز نفسها الأذن لاستقباله، أو أنها تتنظره، مثل الكلام وأنغام الموسيقى وما شابه.

الصنف الأول نسميه عموماً بالضجيج نظراً للازعاج الذي يحدثه. والضجيج هو عبارة عن أصوات عالية متكررة، تحدث من مصدر واحد أو مصادر متعددة في الوقت نفسه، ويصعب في الكثير من الأحيان على أذن المرء التمييز بين مصادر هذه الأصوات، نظراً لعدم إمكانية الأذن والدماغ البشري الاستجابة بالسرعة المطلوبة لتحليل مصادر الأصوات متعاقبة الصدور. إلا أن أقوافها إجمالاً أو أكثرها نشازاً هو الذي يثير الفضول البشري لمعرفة مصدره وسببه.

وبعد الضجيج على العموم من أهم ملوثات العصر الحديث. ولم يكن للضجيج أهمية تذكر قبل التطور الصناعي الهائل الذي حصل في العالم منذ بداية القرن الماضي. إن أهم مصادر الضجيج الطبيعية هي أصوات الناس العالية، وربما بعض الكائنات الحية أيضاً. وهذه وإن كان بعض الناس يتضايق منها ويشعر على أنها مؤذية لآذانه، إلا أنها لم تعد يوماً من المسببات المرضية للبشر التي يتوجب البحث عن حلول لها.

أما مصادر الضجيج الصناعية فلا تخفي على أحد، إنها عبارة عن أصوات الآلات الدوارة عموماً مثل السيارات على أنواعها وأشكالها المختلفة وكذلك الطائرات والقطارات وما تصدره هذه وسواءها من صافرات وزمامير، وفي المعامل حيث يعلو ضجيج أصوات الآلات الكهربائية فوق جميع الأصوات.

إن البحث عن حلول للحد من الضجيج أياً كان مصدره، مسألة تبدو في غاية الصعوبة، فهذا يتطلب باختصار وضع كواكب لأصوات الآلات جميعها، أو جعلها تتحرك أو تدور دون شدات أصوات عالية، أو صم آذان الناس عن السمع.

الصنف الثاني، وهو الذي يشكل محور دراستنا وسنقتصر فيه على الأصوات الكلامية (خطابات وندوات) والموسيقية فقط، التي تصدر عن تجهيزات الهندسة الصوتية، وترتكب في الفراغات والأماكن المناسبة لغاية سماعها.

تتميز الأصوات بعضها عن بعض بفضل ثلاثة عوامل رئيسية هي:

١- شدة الصوت (قوة الصوت).

٢- درجة الصوت (ارتفاع الصوت).

٣- نوع الصوت (طابع الصوت).

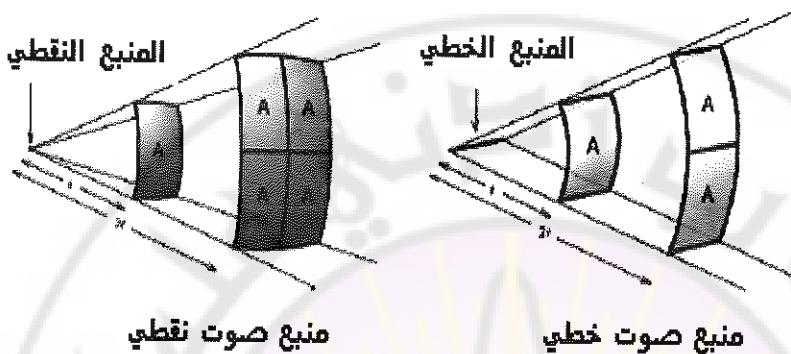
١- **شدة الصوت (Sound Intensity)**: إن شدة الصوت هي بالتعريف الطاقة الصوتية التي تجتاز واحدة السطوح خلال ثانية واحدة، أو أنها القدرة الصوتية التي تجتاز سطحاً مساحته متر مربع واحد. أما من حيث أثرها على الأذن البشرية فإن شدة أو قوة الصوت هي إمكانية الأذن البشرية لتمييز الصوت القوي من الصوت الضعيف أو الخافت. وتتعلق شدة الصوت بعدة عوامل هي:

- سعة أو مطال (amplitude) حركة الصوت الإهتزازية: ويقصد بها البعد بين قمتين متلاقيتين من منحني الصوت الإهتزازي أو الجيب للشعاع الصوتي.

- مساحة سطح المنبع الصوتي: فكلما كبرت المساحة التي تصدر الصوت ازدادت شدته. نذكر على سبيل المثال صوت القرع على الطبل الكبير الذي يكون أشد فيما لو كان القرع على طبل أصغر.

- البعد عن المنبع الصوتي: فكلما ابتعد الشخص عن مصدر الصوت أصبح الصوت أقل شدة. وتتناقص شدة الصوت عكساً مع مربع البعد عن منبعه نتيجة لضعفه بفعل

انتشاره على مساحة أكبر. وباعتبار أن انتشار الصوت (ذى المنبع النقطي) بشكل كروي، الشكل (٥-١)، فإن مساحة سطح موجة الانتشار تزداد كلما ابتعد الصوت عن منبعه وبالتالي تضعف شدته. فإذا ازداد بعد موجة الصوت بمقدار الضعف عن المنبع فإن شدتها ستقل إلى الرابع.



الشكل (٥-١) منبع صوت نقطى وآخر خطى

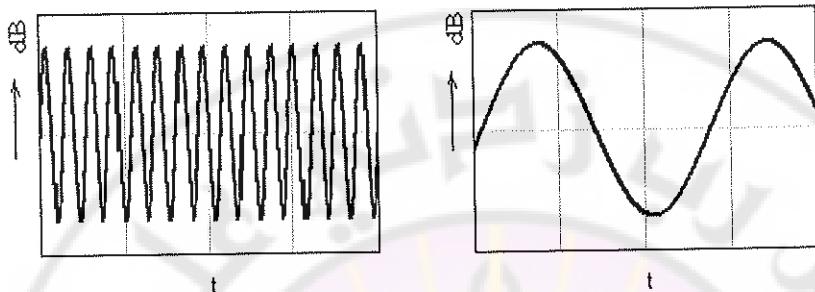
- **كثافة الصوت:** وكلما ازدادت شدة الصوت ازدادت كثافته والعكس صحيح.

- **اتجاه الرياح أو الهواء:** فشدة الصوت تزداد كلما ازدادت شدة الرياح وتتناسب معها طرداً، عندما يكون الصوت في اتجاه حركة الرياح، والعكس صحيح.

بالنتيجة نجد أنه إذا أردنا الحصول على شدة صوت مناسبة وقوية يتوجب استخدام عواكس صوتية ملائمة وقوية للصوت، خاصة في الفراغات الكبيرة. أما في الفراغات والقاعات الصغيرة فإن هذا الأمر محلول أصلاً من خلال العواكس الطبيعية للصوت كالسلق والجدران على سبيل المثال.

٢- **درجة الصوت:** من خلال هذه الخاصية نتمكن الأدنى من التمييز بين الأصوات الثخينة أو الغليظة (المنخفضة الدرجة) وبين الأصوات الحادة (المترتفعة الدرجة). وتحدد درجة الصوت من خلال عدد الهرزات في الثانية الواحدة، أو من خلال التواتر أو التردد(Frequency). ويعبر عن درجة الصوت أحياناً بتعبير الطبقة، فيقال صوت ذو طبقة غليظة وآخر طبقة حادة، الشكلان (٦-١) و(٧-١). ويصدر كل منبع صوتي ترددًا أساسياً، يحدد طبقة هذا الصوت، مرافقاً بمجموعة من الترددات تتمحه بصماته الصوتية

المميز. تسمى مجموعة الترددات هذه بالتركيب الطيفي للصوت (sound spectrum). فالصوت إذاً يتألف من مجموعة من الأمواج الصوتية ذات الترددات المختلفة، بما فيها تردد الأساسي.



الشكل (٦-١) منحني صوت بطبقة حادة      الشكل (٧-١) منحني صوت بطبقة غليظة

٣- نوع الصوت: إن نوع الصوت يبين التأثير الذي يمكن الأذن من الإحساس باختلاف الأصوات أو النغمات على الرغم من اتفاقهما في الدرجة والشدة. مثال على ذلك نذكر نغمة معينة تصدر من آلتين موسيقيتين مختلفتين لهما نفس الشدة والدرجة، ورغم ذلك تستطيع الأذن التمييز بين النغمتين على أن كلاً منها ناتج عن مصدر مختلف.

#### ٦-١ - الخصائص الفنية للأصوات:

تتميز الأصوات بعضها عن بعض من الناحية الفنية بمجموعة من العوامل الرئيسية التالية [٢] [١٢] [١١] [٩] [٣]:

١- شدة الصوت (I) (Sound intensity): وشدة الصوت هي القيمة الوسطية للطاقة الصوتية العابرة في واحدة الزمن، أو في كل لحظة زمنية لواحدة السطح العمودي على جهة انتشار الموجة الصوتية. وبما أن الاهتزاز الصوتي عبارة عن حالة خاصة من الاهتزاز الميكانيكي، فيمكن اشتقاق الاستطاعة الصوتية التي يمكن أن تتحدد من العلاقة:

$$P = F \cdot v \quad (1-3)$$

حيث  $F$  هي عبارة عن القوة الميكانيكية التي يتسبب بها الصوت. و  $v$  هي سرعة حركة الصوت في الوسط. فإذا كانت واحدة السطح هي:  $S$  فإن الاستطاعة الوسطية لواحدة السطح، أي:

$$I = \frac{F \cdot v}{S} \quad (1-4)$$

هي التي تعبّر عن الشدة الصوتية، والتي تقدر بـ  $\frac{W}{m^2}$  (الواط على المتر المربع).

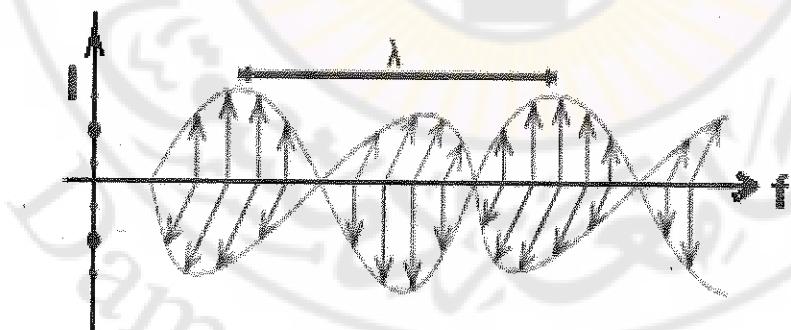
- تردد الصوت ( $f$ ) (Sound frequency): الذي يقدر بالهرتز (Hz). وتردد (تواتر أو اهتزاز) الصوت هو عدد هزات الصوت في الثانية الواحدة. حيث:

$$f = \frac{1}{\lambda} \quad (1-5)$$

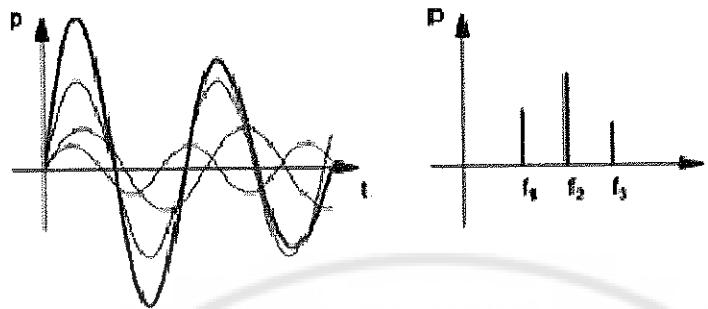
$\lambda$ : هو دور الصوت (طول موجته)، ويقدر بالثانية ( $S$ )، والذي يكون عبارة عن المسافة الزمنية بين قمتين متجاورتين ولهم نفس الاهتزاز. الشكل (٨-١) يمثل شكل موجة صوتية مثالية واحدة، مرسوم فيها الانتشار العمودي والانتشار الأفقي فقط للموجة. دور موجة الصوت ( $\lambda$ ) وشنته (I).

الشكل (٩-١) يمثل عدة أمواج صوتية كل منها ذات شدة مختلفة وتردد مختلف، في منظر جانبي وآخر رأسي.

- الضغط الصوتي (Sound Pressure): الذي يقدر بالديسيبل. إن الضغط الصوتي هو عبارة عن القيمة المنتجة من تغيرات الضغط نتيجة مرور موجة صوتية. وهو يرتبط بالشدة الصوتية بعلاقة رياضية خاصة تبعاً للوسط المنشر فيه الصوت.



الشكل (٨-١) يبين موجة صوتية



**عدة أمواج صوتية متحاددة ذات ترددات مختلفة في منظر جانبي وآخر رأسي**

الشكل (٩-١) عدّة موجات صوتية

٤- **كثافة الطاقة الصوتية ( $\omega$ )**: هي عبارة عن كمية الطاقة الصوتية في واحدة الحجم. وتكون

واحدتها هي:  $\frac{J}{m^3}$ . (جول على المتر المربع). وليس من الصعب استنتاج علاقة كثافة الطاقة الصوتية بالشدة الصوتية.

٥- **الممانعة الصوتية ( $Z$ )**: وهي تصف ممانعة أو مقاومة الوسط لانتشار الصوت فيه. إنها

نصف بشكل عام طبيعة الوسط المنتشر فيه الموجة الصوتية وواحدتها هي:  $\frac{N.s}{m^3}$  (نيوتن في ثانية على المتر المكعب).

#### ٦- الأنظمة الصوتية الداخلية:

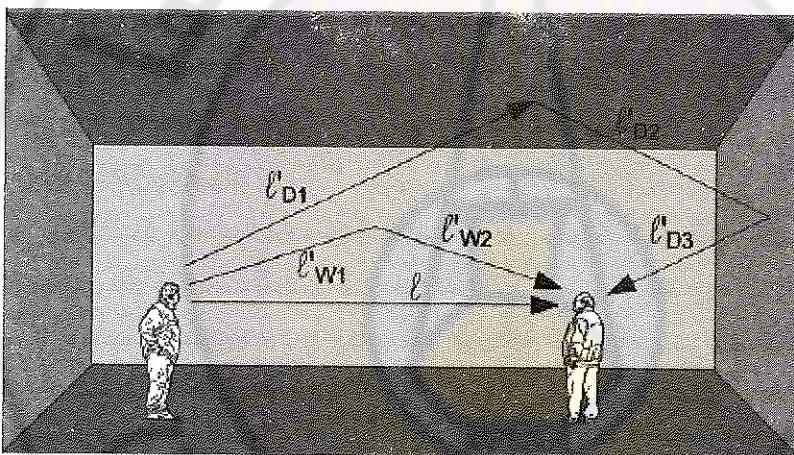
عندما ينتشر الصوت في وسط (حيز) مغلق فإنه سيصطدم بالحواجز الموجودة في هذا الوسط، من جدران وسقف وأرض، وكذلك بحواجز أخرى قد تتوارد في المكان مثل الأعمدة التزيينية والكراسي والطاولات والخزن وما شابه. وعندما يصطدم الصوت بهذه الحواجز فإن جزءاً منه سينعكس عبرها وجزءاً آخر سيتم امتصاصه منها. فالصوت إذاً في أي نقطة من الوسط المغلق هو عبارة عن مجموع الأصوات في تلك النقطة، والمؤلفة من الصوت المباشر والأصوات المنعكسة أو المرتدة بفعل الحواجز [٢] و[٣] و[٩].

فإذا كان الانعكاس كبيراً في الغرفة أو الحيز فتسمى هذه الغرفة أو الحيز بالحيز المردد للصوت. إلا أن هذه الحالة نادرة الوجود، لأن أكثر الغرف لا تنساك هذا السلوك. ومثل هذه

الغرف يكون فيها عادةً ثلاثة حقول، الحقل القريب (Near field)، والحقن الحر (Free field)، والحقن المرتد أو المنعكس عبر الحواجز الجدارية (Reverberant field). والحقن القريب للصوت هو عادةً ذلك الذي يكون قريباً من المنشئ. والحقن المرتد هو الذي يكون على مقربةٍ من الجدران. بينما الحقن الحر هو الذي يكون بعيداً عن الجدران والمنشئ، أي أنه الحقن الذي يتوسط الحقنين القريب والمرتد.

إن كمية الأشعة المنعكسة وبالتالي شدة الأشعة في هذا الحقن تعتمد على خواص الحواجز الجدارية للحيز أو الغرفة، فيما إذا كانت هذه من النوع الممتص أو العاكس للصوت، وشدة تأثير انعكاسها [11] ..

الشكل (١٠-١) يبين انتشار الصوت بشكل مباشر وانعكاسه (ارتداده) على حواجز عاكسة (جدران وسقف)

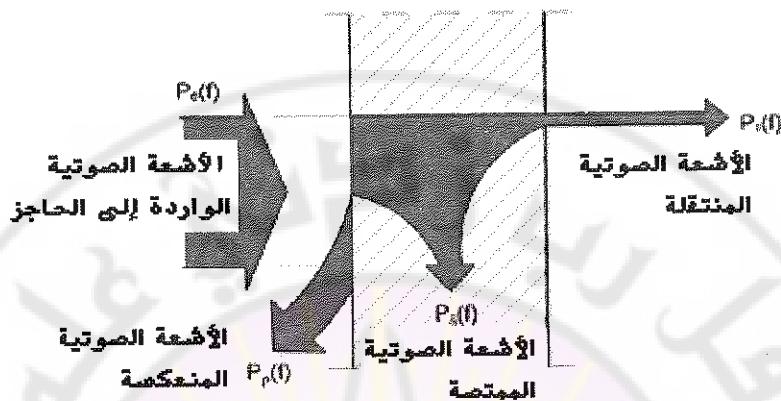


الشكل (١٠-١) صوت مباشر وانعكاساته في حيزٍ مغلق

#### ١-٨- خصائص الحواجز أمام الأصوات:

عندما يصل صوت ما إلى حاجزٍ معين، جدار أو سقف أو أرض وما شابه، فإن هذا الصوت، ويحسب طبيعة الحاجز وسطحه، إما أن ينعكس عنه، أو يتم امتصاصه من قبل الحاجز، كما أسلفنا الذكر، أو أن ينتقل أيضاً إلى الجهة الأخرى منه، أو أن يحدث الصوت

أكثر من حالة من الحالات الثلاث السابقة معاً، وهي الحالة الأكثر شيوعاً في الحياة العملية، ويبينها الشكل (١١-١). وسنستعرض كل واحدة من الحالات السابقة تبعاً للحاجز وسطورها أمام الصوت بشكل مفصل [٩] و[١١].



الشكل (١١-١) أشعة صوتية بأشكالها المختلفة عند وصولها إلى الحاجز

#### ١-٨-١ - امتصاص الأصوات:

على فرض أنه عند ارتطام أشعة صوتية بحاجز ما، فإن جزءاً من هذه الأشعة سيتم امتصاصه من قبل الحاجز، فإذا كان مقدار أو كثافة الجزء المرتبط الكلي أو الواصل إلى الحاجز من الأشعة الصوتية هو:  $I_a$  وكان مقدار أو كثافة الجزء الذي تم امتصاصه من قبل الحاجز هو  $I_i$  فيمكن وبالتالي كتابة علاقة، نسميها عامل أو نسبة الامتصاص، على الشكل التالي:

$$a = \frac{I_a}{I_i} \quad (1-6)$$

وبحسبما تكون طبيعة أو نوع الحاجز يكون له عامل أو نسبة امتصاص ( $a$ ) خاص به. فنسبة الامتصاص هي عبارة عن مؤشر دال على قدرة الحاجز للتخفيف من شدة الصوت أو إخماده. فإذا كانت هذه على سبيل المثال تساوي الواحد ( $a=1$ ) فهذا يعني أن كامل القدرة الصوتية التي وصلت إلى الحاجز قد تم امتصاصها من قبله.

وإذا رمنا القدرة الصوتية الكلية التي امتصها سطح ما لحاجز، مساحته هي ( S ) بالرمز  
( A ) فيمكن التعبير عن القدرة الممتصة بالعلاقة:

$$A = Sa \quad (1-7)$$

وتقدير هذه بوحدة تدعى السابين ( Sabine ). وباعتبار أن نسبة الامتصاص ليس لها واحدة، وإذا كانت مساحة السطح مقدرة بالقدم المربع فتكون الواحدة المعتبرة عن الجزء الممتص من القدرة الصوتية هي بالقدم المربع. وقد اتفق على أن تكون هذه الواحدة بالسابين نسبة إلى الباحث في علم الصوتيات: W.C.Sabine .

إن معظم الحاجز مكونة من مجموعة من المواد المختلفة وليس من مادة واحدة، ولكل من المواد المختلفة عامل امتصاص خاص بها. فيكون عامل أو نسبة الامتصاص الكلية متساوية لمجموع نسب الامتصاص لكل مادة من مواد الحاجز المشكّله له.

ويجب أيضاً الأخذ بالحسبان أن الامتصاص يتبع تردد الأشعة الصوتية، فكل شعاع صوتي بتردد معين من الأشعة الصوتية الوارضة للحاجز، امتصاص قد يختلف عن امتصاص شعاع صوتي آخر بتردد آخر. فعوامل الامتصاص إذاً تختلف باختلاف ترددات الأشعة الصوتية، لذلك يجب حسابها منفردةً عند الترددات التي يدرس عندها النظام.

بشكل عام يمكن القول: إن الامتصاص عند الأشعة ذات الترددات العالية يكون أكبر منه عند الترددات المنخفضة. وكذلك فإن زيادة سماكة المادة الممتصة للصوت لا يعني أبداً زيادة كمية الامتصاص للطاقة الصوتية، إلا في بعض الحالات الخاصة، فالامتصاص يتعلق بنوع المادة وطريقة تركيبها أكثر من تعلقه بسمakanه هذه المادة بكثير.

في الواقع العملي تستخدم جداول خاصة لمختلف المواد التي تستخدم في العزل الصوتي، والتي غالباً ما ترتكب على الأسطح الداخلية للأماكن لتخفيض الانعكاسات الصوتية. ونورد هنا على سبيل المثال في الجدول ( ٤-١ ) التالي عوامل الامتصاص ( Coefficients of Absorption ) لبعض المواد المستخدمة في العزل الصوتي الداخلي ولمواد أخرى أيضاً للمقارنة وفقاً لترددات الأشعة الصوتية الساقطة عليها.

الجدول (٤-١) نسب عوامل امتصاص بعض المواد [١١]

التردد مقدراً بالهرتز (Hz)								اسم المادة
٦٠٠٠	٤٠٠	٢٠٠	١٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥		
٥	٠.٠٧	٠.٠٥	٠.٠٤	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٣	أجر غير صقيل	
٠.٠٤	٠.٠٣	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠١	٠.٠١	أجر غير صقيل ومطلبي	
٠.٢٩	٠.٦٥	٠.٦٠	٠.٠٤	٠.١٤	٠.٠٦	٠.٠٢	سجاد تقيل فوق طبقة اسمنت	
٠.٥٥	٠.٧٣	٠.٧١	٠.٧٩	٠.٥٧	٠.٢٤	٠.٠٨	سجاد تقيل فوق طبقة مطاطية أو رغوية	
٠.٧٣	٠.٦٣	٠.٤٧	٠.٣٤	٠.٣٩	٠.٢٧	٠.٠٨	سجاد تقيل فوق طبقة شعرية ناعمة أو مطاطية رغوية عيار ٤٠ أونصة	
٠.٣٥	٠.٢٥	٠.٣٩	٠.٢٩	٠.٣١	٠.٤٤	٠.٣٦	بلوك اسمنتي خشن	
٠.٠٥	٠.٠٨	٠.٠٩	٠.٠٧	٠.٠٦	٠.٠٥	٠.١٠	بلوك اسمنتي مدهون	
٠.١٥	٠.٣٥	٠.٢٤	٠.١٧	٠.١١	٠.٠٤	٠.٠٣	ألياف فيلور (مخمل) خفيف على الجدار	
٠.٥٥	٠.٧١	٠.٧٠	٠.٧٥	٠.٤٩	٠.٣١	٠.٠٧	ألياف فيلور متوسطة ١٤٠ أونصة	
٠.٧١	٠.٧٥	٠.٧٠	٠.٧٢	٠.٥٥	٠.٣٥	٠.١٤	ألياف فيلور تقيلة ١٨٠ أونصة	
٠.٠٣	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠١٥	٠.٠١	٠.٠١	أرضية اسمنتية أو اسمنتية مع قطع رخام	
٠.٠٥	٠.٠٢	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٣	١.٠٢	أرضية بمشمع أرضي أو زفت أو مطاط أو رقاقة من الفلسين على الأرض	
٠.٠١	٠.٠٧	٠.٠٦	٠.٠٧	٠.١٠	٠.١١	٠.١٥	أرضية من الخشب	
٠.٠٥	٠.٠٧	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.٠٧	٠.٠٤	٠.٠٤	أرضية من الخشب فوق طبقة من الزفت	
٠.٠٥	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٣	٠.٠٤	٠.٠٦	٠.١٨	لواح زجاج كبيرة وسميكه	
٠.١٥	٠.٠٤	٠.٠٧	٠.١٢	٠.١٨	٠.٢٥	٠.٣٥	لواح زجاج نافذة عادي	
٠.٠٥	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٥	٠.٠٨	٠.١٠	لوح جيس نصف إيش معلق بمسمار	
٠.٠٣	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠١	٠.٠١	٠.٠١	٠.٠١	رقائق رخامية أو صقيقة	

٠٠٥	٠٠٥	٠٠٤	٠٠٣	٠٠٢	٠٠١	٠٠١٣	جصين أو كلس مطلي على الأجر
٠٠٥	٠٠٣	٠٠٤	٠٠٥	٠٠٦	٠١٠	٠١٤	جصين أو كلس مطلي على الخشب
٠٠٥	٠٠٣	٠٠٤	٠٠٤	٠٠٦	٠١٠	٠١٤	رقائق خشبية مغارة سماكة ٣/٨ إنش
٠٠٣	٠٠٢	٠٠١٥	٠٠١٥	٠٠١٣	٠٠٠٨	٠٠٠٨	سطح الماء في بركة سباحة
٠.٨٥	٠.٩٣	٠.٩٧	٠.٩١	٠.٧٦	٠.٨٨	٠.٦٨	ألواح سقف من الفيبر كلاس المدهون ٥/٨ إنش
٠.٩٠	٠.٩٨	٠.٩٩	٠.٩٤	٠.٧٢	٠.٨٥	٠.٦٦	ألواح سقف من الفيبر كلاس المدهون ٣/٤ إنش
٠.٩٠	٠.٩٩	٠.٩٩	٠.٩٩	٠.٧٩	٠.٩١	٠.٦٩	ألواح سقف من الفيبر كلاس المدهون ١ إنش
٠.٨٠	٠.٥٧	٠.٨٣	٠.٨٦	٠.٦٨	٠.٨٢	٠.٦٤	ألواح سقف من الفيبر كلاس مشقة عشوائياً سماكة ٥/٨ إنش
٠.٨٥	٠.٩٨	٠.٩٦	٠.٩٠	٠.٦٨	٠.٨٩	٠.٧١	ألواح سقف من الفيبر كلاس متقدة سماكة ٥/٨ إنش
٠.٩٠	٠.٩٩	٠.٩٩	٠.٩٣	٠.٧٠	٠.٩١	٠.٧٥	ألواح سقف من القماش الزجاجي ٣/٤ إنش
٠.٩٠	٠.٩٩	٠.٩٩	٠.٩٣	٠.٧٠	٠.٩١	٠.٧٥	ألواح سقف من القماش الزجاجي سماكة ٣/٤ إنش ذات عقد أو نتوءات
٠.٩٠	٠.٩٩	٠.٩٩	٠.٩٩	٠.٧٧	٠.٩٣	٠.٦٨	ألواح سقف من القماش الزجاجي سماكة ١ إنش ذات عقد أو نتوءات
٠.٨٠	٠.٩٢	٠.٩١	٠.٧٨	٠.٦٣	٠.٨٣	٠.٧٠	رقائق سقافية من الفيبر كلاس سماكة ٣/٨ إنش
٠.٦٥	٠.٨٠	٠.٨٦	٠.٧٥	٠.٥١	٠.٤٩	٠.٤٧	رقائق فيبر معدنية من السيلولوكس منقحة طبيعياً سماكة ٣/٤ إنش
٠.٧٠	٠.٨٣	٠.٩٤	٠.٨٠	٠.٥٣	٠.٥٥	٠.٤٩	رقائق فيبر معدنية من السيلولوكس منسوجة سماكة ٣/٤ إنش
٠.٥٥	٠.٥٣	٠.٦٨	٠.٧٥	٠.٥٢	٠.٢٦	٠.٢٧	رقائق فيبر معدنية من السيلولوكس ذات تصميم مربع أو متscalب سماكة ٣/٤ إنش

٠.٦٥	٠.٧٩	٠.٧٣	٠.٧١	٠.٤٩	٠.٦٥	٠.٦٠	الواح أسبستوس مقوبة منتظمة سماكة ١ إنش
-	٠.٨٥	٠.٩٣	٠.٩٦	٠.٨٨	٠.٧٤	٠.٦٠	المستمعون جالسون على مقاعد منجدة بقماش
-	٠.٧٠	٠.٨٢	٠.٨٨	٠.٨٠	٠.٦٦	٠.٤٩	المقاعد منجدة بالقماش وغير مشغولة
-	٠.٥٠	٠.٥٨	٠.٦٢	٠.٦٠	٠.٥٤	٠.٤٤	المقاعد منجدة بالجلد وغير مشغولة
-	٠.٨٦	٠.٩١	٠.٨٦	٠.٧٥	٠.٦١	٠.٥٧	المقاعد خشبية طويلة ومشغولة بجالسين عليها
-	٠.٣٠	٠.٣٨	٠.٣٩	٠.٢٢	٠.١٩	٠.١٥	المقاعد خشبية أو معدنية غير مشغولة بجالسين

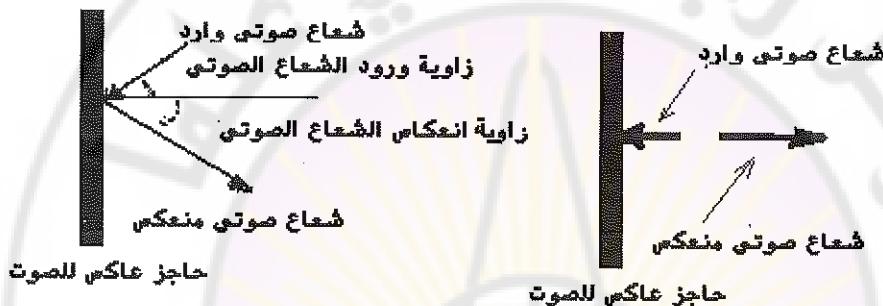
وكذلك يجب الذكر بأن الهواء المتواجد ضمن أي حيز سيمتص أيضاً جزءاً من الطاقة الصوتية المنتشرة في هذا الحيز، سواء كان هذا الصوت مباشرأ أم منعكساً. وامتصاص الهواء للجزء من الطاقة الصوتية ناجم عن الجزيئات المتواجدة فيه. إلا أن كمية الصوت الممتصة من الهواء يمكن في معظم الحالات الصوتية إهمالها، نظراً لصغر قيمتها.

بالإضافة إلى امتصاص الهواء لجزء من الطاقة الصوتية فإن الأشخاص الحاضرين، في أي حيز مغلق، بفعل ملابسهم، وكذلك المقاعد القماشية أو الخشبية أو غيرها، يقومون بامتصاص جزء لباس به من الطاقة الصوتية، لدرجة أن زيادة أو نقصان عدد الحضور بشكل كبير عن العدد المتوقع المدروس قد يؤثر بشكل سلبي على الصوت في جهارته ووضوحيه.

وإذا تواجد في أي حيز مغلق عدد لباس به من النباتات، وبالخصوص الكبيرة منها، فإن هذه أيضاً ستشارك بامتصاص جزء من طاقة الصوت غير معروفة كميته، وإنما يكون ذلك تبعاً لكمية هذه النباتات. إلا أن هذه الحالة لحسن الحظ قلما تتوارد.

## ١-٨-٢- انعكاس الأصوات:

عند سقوط أو ارتطام طاقة صوتية (أمواج صوتية) على حاجز عاكس للصوت فإن جزء منها، بشكل عام، سيرتد عائداً، كما سبق وذكرنا. إن كمية الأمواج الصوتية المرتدة (المنعكسة) وكيفية ارتدادها يتعلّق بعدة عوامل، أهمها نوعية وشكل سطح الحاجز الذي ارتطمت به وكذلك الوسط المنتشر فيه الأمواج الصوتية. إن اتجاه أي شعاع صوتي منعكّس سيُخضع، وبشكل مشابه لقواعد الانعكاس كما في الضوء تماماً. الشكل (١٢-١) يبيّن شعاعاً صوتيّاً وارداً ومنعكّسّه على حاجز صوتي في حالتين مختلفتين لزاوية ورود الشعاع الصوتي [٣] و [١١] و [١٢].



الشكل (١٢-١) شكلان لإنعكاس الأشعة الصوتية على حواجز عاكسة للصوت

وفي الحالة الخاصة التي تكون فيها المسافة بين منبع الصوت والجاجز كبيرة وكافية وشعاع الموجة الصوتية عمودياً على السطح العاكس فإن الموجة الصوتية ستتعكس عائداً إلى المنبع. هذه الظاهرة تسمى بالصدري.

وبما أن لكل المواد أو الحواجز معامل أو نسب الامتصاص يكون أيضاً للأصوات معاملات أو نسب انعكاس وتحسب كنسبة مئوية من كامل الطاقة الصوتية الوافدة أو المرتقطة بسطح الحاجز. ونسبة الانعكاس للصوت تساوي الطاقة الصوتية المنعكسة مقسومةً على كامل الطاقة المرتقطة بالجاجز، على الشكل التالي:

$$B = \frac{I_b}{I_i} \quad (1 - 8)$$

حيث:  $I_b$  هو الجزء المنعكّس من سطح الحاجز من كامل الطاقة الصوتية المرتقطة به.

I: الطاقة الصوتية الكاملة المرتقطة بالجاجز.

الجدول التالي: (٥-١) يبين نسبة أو معاملات انعكاس الصوت عن سطوح مواد مختلفة

الجدول (٥-١) النسبة المئوية لانعكاس بعض المواد

نسبة الانعكاس المئوية للصوت عن سطح المادة العاكسة %	اسم المادة العاكسة للصوت:
٩٥	حجر لامع
٩٥	أعمال جص
٩٥	خشب لامع أو مغطس
٩٠	خشب مدهون أو مصبوغ
٨٠-٨٥	جدار بطبقة جص ناعمة
٧٥	جدار قرميدي غير مصقول (محبب)
٦٤	جدار بأعمال نقش بارزة
٣٥	أعمال جصية خشبية، سواتر وستائر وطبقات من السجاد
٧٥	طبقات سجاد من دون بطانات أو طبقة تحتية
٥٠	طبقات سجاد على بطانيات سميكه
٣٠	خشبة المسرح
٢٥	النسيج المطرز واللباد التقيل وما شابه معلق بمسافة قليلة على الجدار
٢٠	أقمشة أو ستائر من المخمل

مع العلم أن أكثر الأمواج الصوتية انعكasa هي الأمواج ذات الترددات المنخفضة. فالأمواج ذات الترددات العالية يتم امتصاصها من قبل المواد بشكل كبير.

ويرجح في معظم القاعات والأماكن المغلقة أن يحدث على الصوت مجموعة من الانعكاسات المتتالية، وهو ما قد يتسبب بالإيساءة للصوت والتشویش عليه ويتوّجّب الحد منه، أو تتم الاستفادة منه أحياناً كما سنرى فيما بعد. الشكل (١٣-١) يبيّن على سبيل المثال أشعة صوتية

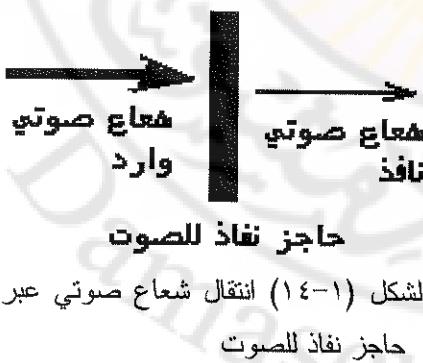
تصل لأذن السامع عن طريق ثلاثة طرق مختلفة. بشكل مباشر، ومن الانعكاس الأول، ومن الانعكاس الثاني للصوت.

هذا وتشكل الزوايا، وبالأخص الحادة منها في الأماكن المغلقة كالغرف مثلاً بيئاتً مناسبة لانعكاسات متعددة للأصوات. هذه الانعكاسات يتوجب في الكثير من الحالات إما الاستفادة منها لقوية الأصوات عموماً، أو على الأغلب التخلص منها، إذا كانت هذه تلعب دوراً سلبياً في الحيز الصوتي مسببة الضجيج والتشویش أو الرنين غير المرغوب فيه.



الشكل (١٣-١) الصوت وبعض انعكاساته المختلفة في وسط مغلق

### ٣-٨-١- انتقال الأصوات:



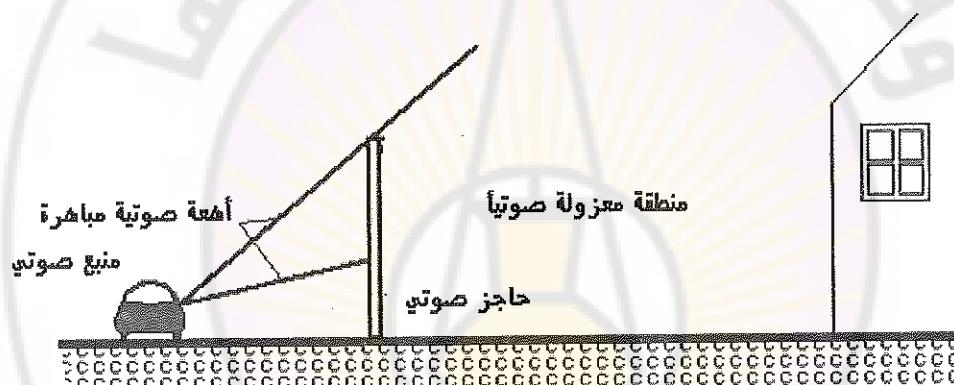
الشكل (١٤-١) انتقال شعاع صوتي عبر حاجز نفاذ للصوت

تنطلق الأصوات عبر الحاجز بشكل مشابه تماماً للضوء. فارتفاع الصوت بحاجز سيتسبب في قلة نفاذ الصوت للحاجز، مما يسمح وبالتالي بانتقال جزء من الصوت المرتضم إلى الجهة الأخرى من الحاجز، كما يبين الشكل (١٤-١). إن انتقال الأشعة (الأمواج) الصوتية للطرف

الآخر من الحاجز يكون متعلقاً بترددات هذه الأشعة، أي أن بعض الأشعة الصوتية تنتقل بشكل أفضل من سواها [٣] و [١٢].

#### ١-٨-٤- الظل الصوتي:

إذا صادف الصوت عائقاً أو حاجزاً أمامه، فإن شدة الصوت خلف هذا الحاجز ستقل، وفقاً لخصائص هذا الحاجز. يسمى الصوت الواصل لمنطقة خلف الحاجز بالظل الصوتي، ويكون هذا الظل مشابهاً تماماً للظل الذي يشكله ضوء خلف حاجز معتم. مثل هذه الحالة يمكن مشاهدتها في الكثير من المناطق في العالم، حيث يتم الفصل بين مناطق السكن القرية من الطرقات التي تمر عليها العربات والآليات المختلفة، بغية الحد من شدات أصوات هذه العربات الوالصلة إلى البيوت السكنية [١١]. الشكل (١٥-١) يبيّن مثل هذه الحالة.

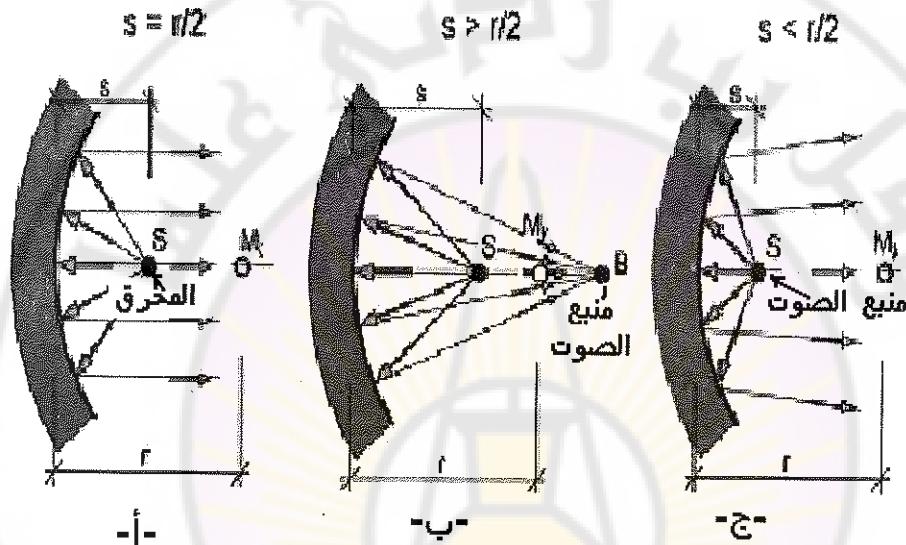


الشكل (١٥-١) حاجز صوتي ( حاجز ماص للصوت) يفصل شارعاً عن منطقة سكنية

#### ١-٩- التركيز البؤري للأمواج الصوتية:

إن القبب المقعرة سوف تركز الصوت (Focusing) في منطقة معينة من الحيز أو الفراغ أو الغرفة عندما تتعكس الأشعة الصوتية من على أسطحها المقعرة [٣] و [١١]. وتعمل السطوح المقعرة العاكسة للصوت هنا نفس عمل المرايا أو العدسات عندما يتسلط عليها ضوء. فإذا وقع المنبع الصوتي في محرق السطح المقعر العاكس (على مسافة ربع القطر من السطح) انعكست الأشعة الصوتية عن هذا السطح بخطوط متوازية وموازية للمستقيم الواصل بين

نقطة المحرق ومركز الدائرة التي يشكل السطح الم incur جزءاً منها، كما في الشكل (١٦-١-أ). أما إذا كان المنبع الضوئي أبعد من المحرق عن السطح الم incur العاكس فإن الأشعة المنعكسة للصوت ستتلاقى في نقطة واحدة، مثل B، كما في الشكل (١٦-١-ب). والعكس بالعكس كذلك فيما لو كان منبع الصوت في نقطة أقرب من المحرق للسطح العاكس فإن أشعة الصوت المنعكسة ستتباعد عن بعضها، كما في الشكل (١٥-١-ج).



الشكل (١٦-١) انعكاس الأشعة عن الأسطح الم incur ( تجميع الأشعة )

الشكل (١٦-١-أ) منبع الصوت في محرق السطح الم incur

الشكل (١٦-١-ب) منبع الصوت أبعد من محرق السطح الم incur

الشكل (١٦-١-ج) منبع الصوت أقرب إلى السطح من محرق السطح الم incur

ونسمي ذلك بانتشار الأشعة الصوتية، أو انتشار الصوت. إن مثل هذه الأسطح العاكسة للصوت، إن وجدت في الفراغات أو الأماكن، يجب أن تؤخذ بالحسبان، فهي قد تتركز الصوت في موضع ويكون فيها عالياً، وربما أكثر من المطلوب، وتحرم وبالتالي مستمعين آخرين من الاستفادة من الصوت المنعكсы، فيكون مستوى الصوت عندهم ليس كما يتوجب،

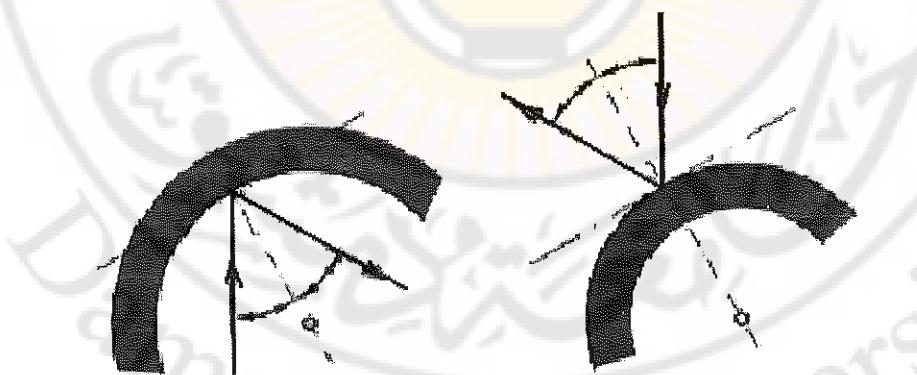
كما في الشكل (١٦-١-ب). كذلك يمكن للزوايا الحادة في الفراغات والأماكن الداخلية أن تعمل على تجميع الأصوات كما في الأسطح المقررة، كما يبين الشكل (١٧-١) [١٢].



الشكل (١٧-١) تجميع الأشعة الصوتية عبر الزوايا الحادة

الأشعة الصوتية على سطوح عاكسة محدبة، حيث تبتعد الأشعة المنعكسة عن بعضها، أي تنتشر. وتكون حدة الانتشار متعلقة بتحبيب السطح العاكس، فكلما ازداد هذا تحدباً ازدادت مساحة انتشار الصوت.

إن مستوى الصوت في حقل انتشاره يكون ثابتاً نسبياً في كل حيز من الحقل. وعادة يكون ذلك مرغوباً به إلى حد كبير في بعض الاستخدامات. لذلك ينسقى من هذه الظاهرة في الكثير من القاعات المخصصة لحفلات الموسيقية. الشكل (١٨-١) يبين ظاهرة انتشار الأشعة الصوتية عند ارتطامها بسطح محدبة الشكل واتجاهات الأشعة الصوتية المنشرة [٣] و[١١] و[١٢].



الشكل (١٨-١) انتشار الأشعة الصوتية من على سطوح عاكسة محدبة، ومن على سطوح عاكسة مقررة

## ١١- ارتداد (ترداد) أو دوي الأصوات:

يعرف ارتداد أذوي الأصوات على أنه الأصوات الحاصلة، أو تلك التي يستمر سماعها، بعد أن يتوقف المنبع الصوتي عن إصدار الصوت. وهو يحصل نتيجةً للانعكاسات المتعددة. ويشاع استخدام مصطلح الدوى للأصوات المنعكسة عن الحاجز، وذلك للأماكن أو الغرف المغلقة، ويعرف على أنه مجموعة الأصوات التي يستمر سماعها أو صدورها في الحيز المغلق بعد انقطاع الصوت الأصلي. وتحدد هذه الأصوات (الدوى) نتيجةً للانعكاسات المتعددة التي يخضع لها الصوت داخل الحيز المغلق [١٢].

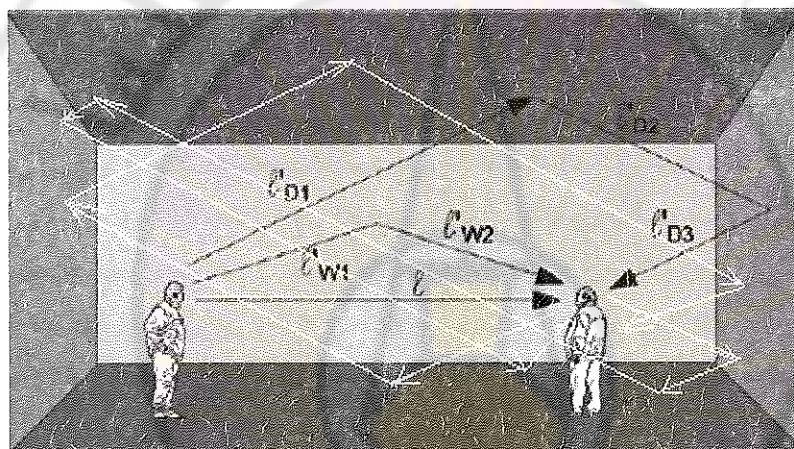
إن الصوت قد يخضع للعديد من الانعكاسات المتنكرة المتعاقبة على الأسطح أو الحاجز العاكسة، كما سبق الذكر؛ فالصوت المباشر سيكون الأسرع في السماع. أما الصوت المنعكس فيقطع مسافة أطول للوصول إلى المستمع، وبالتالي سيسمع بعد فترة وجية من سماع الصوت المباشر. وكلما انعكس الصوت من سطح إلى آخر ازداد الزمن الذي يستغرقه للوصول إلى أذن السامع. فالشخص إذاً سيسمع أولاً الصوت المباشر، وبعد مدة زمنية قصيرة سيسمع صوت الانعكاس الأول للصوت. ثم بعد مدة أطول سيسمع صوت الانعكاس الثاني وبعد مدة أطول صوت الانعكاس الثالث، وهكذا ... إلى أن تتلاشى جميع الأصوات المنعكسة فيتوقف الشخص عن سماع أي صوت، أي يتوقف دوى أو ترداد الأصوات.

إن الأمواج الصوتية تخف شدتها كلما اصطدمت بحاجز، لأن الحاجز العاكس سيمتص جزءاً من الصوت ويعكس الجزء الآخر. وهذا يفسر ضعف شدة الصوت المنعكس على أكثر من حاجز.

فإذا نطق شخص نعمةً ما في حيز مغلق وسكت، فسيسمع بشكل مباشر النعمة التي أطلقها، ثم سيسمع المنعكس الأول لنغمته على الحاجز (الجدار مثلاً) بشدة أقل ثم المنعكس من المنعكس الأول بعد فترة أطول وبشدة أقل أيضاً وهكذا يتراوح سماعه للأصوات المنعكسة بشدات صوت تتناقص ثم يتلاشى سماعه للأصوات. إن سماع هذه الأصوات المتعاقبة في الحيز المغلق هو ما يسمى بالدوى أو الترداد. وعادةً ما يسمى انعكاس صوت على حاجز بالمرحلة. وعندما ينعكس الصوت على عدة حواجز وبالتالي فإنه ينتقل من مرحلة إلى أخرى، أي يخضع الصوت لعدة مراحل من الانعكاس.

أما عندما تكون الحواجز ذات أسطح شديدة العكس فإن الصوت المنعكس سيسمع بنفس شدة ووضوح الصوت المباشر تقريباً، حتى إنه يسمع وكأنه تكرار له. هذه الظاهرة تسمى بصدى الأصوات ( Echo ). فصدى الصوت هو إذاً ظاهرة سماع الأصوات المنعكسة من على أسطح الحواجز وكلها إعادة للصوت الأساسي.

نسمع ارتداد الأصوات، على سبيل المثال، بشكل واضح في المناطق الجبلية العارية (الصخرية). ويغلب سماع الدوي في الكثير من الصالات غير المعالجة صوتيًا مثل بعض الكنائس. الشكل ( ١٩-١ ) يبين بعض انعكاسات الصوت على الجدران والأرض والأسقف في حيز مغلق وإمكانية حدوث دوي.



الشكل ( ١٩-١ ) انعكاسات متعددة للصوت في حيز مغلق

يحسب زمن تردد أو دوي الصوت في معظم الدراسات الصوتية للأماكن المغلقة عند الترددات: ( ٢٠٠٠ , ٢٠٠٠ , ١٥٠٠ , ١٠٠٠ , ٥٠٠ ) Hz وهناك معدلات خاصة لحساب زمن ارتداد الصوت عند هذه الترددات، والتترددات الأخرى أيضًا.

وإذا لم يتواجد أي ارتدادات لأصوات تم لفظها فسيسيطر على المكان حالة من السكون أو نقول حالة سماع أصوات صافية. لذلك يسمى عكس ارتداد الصوت بالصوت الساكن. فيكون **المحيط الصوتي الساكن** هو ذلك الوسط الذي يمكن فيه المحافظة على الأصوات متفردة دون أن تتدخل بعضها بعض ( لا يوجد فيه ارتدادات للأصوات )، لذلك فإن الأماكن المخصصة

عادةً للمحادثة يجب أن تكون أقل ارتداداً، أي أكثر سكوناً صوتياً، من تلك المخصصة للموسיקה العاطفية أو الشاعرية.

إن ارتداد الصوت بشكل أحياناً، وحسب الوظيفة المطلوبة، تشوشاً (ضجيجاً) غير مرغوب فيه ويجب التخلص منه. وفي بعض الحالات قد يخدم الوظيفة المطلوبة بشكل غير مسيء. فعلى سبيل المثال: في غرفة محادثة مثالية يجب أن يصل الكلام إلى أذن السامع بشكل واضح، أي يجب الحفاظ على زمن ارتداد معين وصغير للصوت، وبالتالي يمكن التحكم بالضجيج وتكون نسبة التخادم صغيرة. لكن الخبراء الموسيقيون ينصحون، ومن خلال التجربة، أن يكون لقاعات الكونسرت (concerthall) زمن ارتداد يقع بين القيمتين:

1.6 Sec و 1.8 Sec

ويجب التنوية بأنه من غير المرغوب فيه أن يكون زمن الارتداد صغيراً جداً، أي امتصاصاً عالياً جداً للصوت، أو انعكاساً أصغرياً له، وذلك للسبعين التاليين:

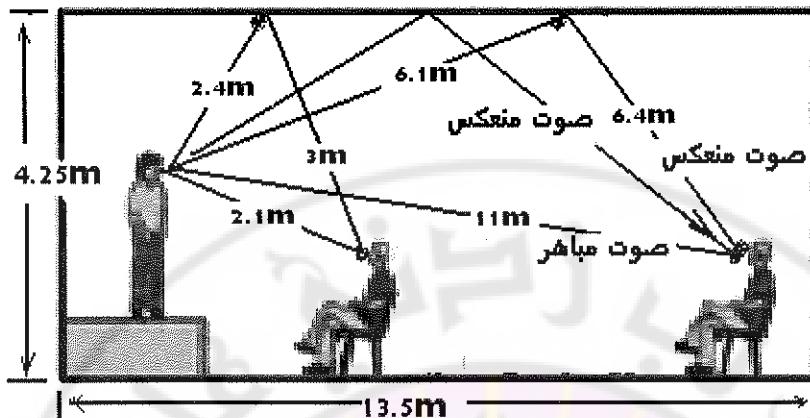
- ١- يجب تغطية المكان بالصوت المباشر فقط. وهذا يتطلب تحديد حجم المكان.
- ٢- سيضطر المتحدث للتكلم بصوت عالٍ، نظراً لعدم وجود انعكاس للصوت، أي سيضطر لبذل جهد إضافي في الصوت (رفع صوته، أو الصراخ).

بالتالي فإن التصميم الصحيح للمكان يتطلب الموازنة بين أمرين:

الأول: حدوث انعكاسات متعلقة بالارتداد بنسب قليلة.

الثاني: الرغبة في تقليل الانعكاسات للبقاء على درجة وضوح جيدة في الصوت.

فالانعكاسات كما نرى قد يكون لها تأثير إيجابي أو تأثير سلبي. وباعتبار أن الأذن لا تستطيع أن تميز بين الأصوات التي تصل إليها بفارق زمني زمني مقداره  $50\text{ mSec}$  (معظم الباحثين يدعون هذا الزمن  $35\text{ mSec}$ )، ومن أجل التخلص من حدوث انعكاسات في الصوت تتسبب بالصدى فإن معظم القاعات، أو الغرف، تصمم ليكون الفرق بين المسافة التي يقطعها الصوت المنعكس الأولى والمسافة التي يقطعها الصوت المباشر بين:  $12m$  و  $17m$  فقط. الشكل (١-٢٠) يبين غرفة مصممة بأبعاد مناسبة لتجنب صدى الأصوات.



الشكل (٢٠-١) غرفة مصممة بأبعاد مناسبة لتجنب انعكاسات الصدى. يصل للشخص المتنقلي صوت مباشر والعديد من الأصوات المنعكسة بفارق زمني بينهم أقل من  $50\text{ms}$ . الأصوات المنعكسة تساهم في تقوية شدة الصوت المباشر.

#### ١٢-١ - صدى الأصوات:

إذا وصل إلى أذن الإنسان صوتان مختلفان بفارق زمني بينهما أقل من  $50\text{ms}$ ، فإن الأذن لا تستطيع التمييز بينهما (ليس لديها أو لدى مركز السمع في الدماغ الإمكانيّة أو السرعة المناسبة للتمييز بين هذين الصوتين بسبب قصر الزمن بينهما) فهي تسمعهما كصوت واحد فقط. أما إذا كان الفاصل الزمني بين الصوتين أكبر من الزمن السابق المذكور فإن الأذن ستسمع الصوت الأول أولاً ثم تسمع الصوت الثاني بعده.

فلو وقف شخص أمام حاجز غير ماص للصوت (عاكس للصوت، جبل صخري مثلاً)، على مسافة بعيدة عنه (تزيد مثلاً عن تسعة أمتار)، وتكلم أمامه أو صرخ بصوت عالٍ فسيصل الصوت إلى الجدار، الذي سيقوم بدوره بعكس هذا الصوت ليصل ثانية إلى آذاني مطلقه ليسمعه ثانية وكأنه آتٍ من شخص آخر. وباعتبار أن سرعة الصوت الوسطية في الهواء تساوي  $S=340\text{m/s}$  والזמן الحدي الفاصل بين الصوت وصداه (Echo) هو

$t=5$  mS فيمكن حساب المسافة (d) التي سيقطعها الصوت وصداه منذ لحظة انتلاقه من قم المتكلم ليصطدم بالجدار وليعود ثانية إلى أنه قاطعاً نفس مسافة الذهاب وفق العلاقة:

$$s = \frac{d}{t} = \frac{m}{S} \quad (1-9)$$

$$d = s \times t = 340 \frac{m}{S} \times 50 mS = 17m \quad (1-10)$$

وهي مجموع مسافة ذهاب الصوت إلى الجدار واصطدامه به ومن ثم إيابه إلى أذن المتكلم. نصف هذه المسافة تساوي  $8.5m$  وهذا يعني أن ابتعاد الشخص المتكلم عن الحاجز العاكس لمسافة أكثر من  $8.5m$  سيجعله يسمع صوته وبعده بأجزاء من الثانية سيسمع صداه. أما إذا كانت المسافة أقل من ذلك فسيسمع صوته فقط. وفي الحقيقة فإنه سيسمع صوته مندجاً بمنعكسه في نفس الوقت، ولا يمكن له أن يميز بينهما. حتى إنه لا يظن أبداً بأنه يسمع منعكس الصوت مع الصوت بأن واحد. والصوت المنعكس في هذه الحالة يزداد في شدة الصوت. وكلما زاد بعد المتكلم عن  $8.5m$  فإن الشخص سيسمع صدى صوته بعد فترة زمنية أطول من لحظة تكلمه أو صرخته. ولن يكون صدى الصوت قوياً كالصوت وإنما سيصل إليه أخفت بفعل ضياعات الطاقة الصوتية التي تترجم عن ارتطام الصوت بالحاجز وانتشاره في الجو [11] و [12].

وظاهرة الصدى مثل ظاهرة الارتداد أو الدوي فمن الممكن أن يسمع الشخص صدى الصوت بشكل متكرر، حسب الحاجز العكosome التي ستعمل على انعكاس الصوت، كلما وصل إليها. فلو كان بعد الشخص عن الحاجز العاكس يساوي  $10m$  مثلاً فسيسمع المتكلم صدى صوته

$$t = \frac{d}{s} = \frac{10 \times 2}{340} = 0.0588S \quad (1-11)$$

بعد:

أما إذا كان بعد الشخص عن الحاجز العاكس يساوي  $50m$  فسيسمع المتكلم صدى صوته

$$t = \frac{d}{s} = \frac{50 \times 2}{340} = 0.294S \quad (1-12)$$

بعد:

أي سيصل صدى صوت المتكلم ليعود إلى أذنه فيسمعه بعد فترة زمنية أطول بأضعاف فيما لو كان بعده عن الحاجز العاكس  $10\text{ m}$  فقط.

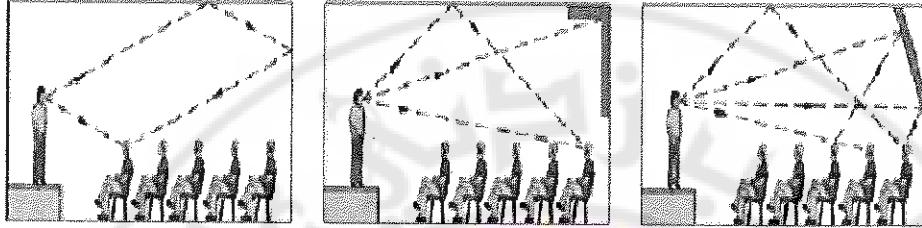
إن صدور أصوات للأصوات جعلت المصممين المعماريين يدرسون أبعاد القاعات، وخاصة القاعات ذات الاستخدامات الاحتفالية العامة آذنين بالحسبان هذه الخاصية. فإذاً أن تكون هذه القاعات بأبعاد أقل من أن يحدث فيها الصدى، أو تلبس هذه على العموم من الداخل بمواد ماصة لأصوات الصدى، علماً أن سرعة الصوت في الجو ليست ثابتة بالمقدار المحدد سابقاً، وإنما تختلف كما ذكرنا ولكن بنسب قليلة حسب درجة حرارة الجو المحيط، ولأسباب أخرى أيضاً مثل كثافة الأتربة والغبار والأجزاء الصلبة في الجو وسوى ذلك.

بشكل عام يمكن القول: إن الصدى الواضح للصوت يظهر عند فاصل زمني أكبر من الفاصل الزمني المذكور سابقاً ويساوي  $70\text{ ms}$  تقريباً عن صوت المتكلم، وليس  $50\text{ ms}$  كما سبق الذكر. ويتم في بعض الدراسات تعريف الصدى على أنه الصوت المنعكس الذي يصل إلى أذن السامع بعد  $70\text{ ms}$  من وصول الصوت المباشر [٢] و [٣] و [٩].

إن وصول الصدى، هذا الصوت المنعكس، هو بشكل عام أمر غير مرغوب به لأنه يؤدي إلى التشويش على الصوت الأساسي ويقلل من جهارته ووضووحه ويشكل إزعاجاً للمستمعين، لذلك يتم دوماً العمل على تلافيه، إما عند بدء الدراسة والتصميم المعماري، أو من خلال الإكساء الداخلي للقاعات بمواد ذات طبيعة معينة ماصة للأصوات المنعكسة.

وفي الواقع العملي ينشأ الصدى على سبيل المثال من سطوح القاعات التي فوق خشبة المسرح أو السطوح الخلفية للقاعة. للتخلص من هذه الظاهرة يتم اقتراح وضع سطوح عاكسة للصوت تؤثر على مواصفات المكان بالشكل المطلوب، بحيث تقوم هذه السطوح بعكس الأصوات ليستفاد منها في تقوية أو دعم الأصوات المباشرة. ولا يفضل أبداً وضع سطوح ماصة للصوت لأن هذه ستؤدي إلى فقد كبير في الطاقة الصوتية، إلا في الحالات الخاصة التي لا يمكن فيها تنفيذ سطوح عاكسة وفق المطلوب. وفي معظم الحالات يتم وضع مواد ماصة للصوت على الجدران والاستفادة من العواكس في الأقف. الشكل (٢١-١) يبين قاعة كبيرة يحدث فيها صدى، وإمكانيتين مختلفتين للتخلص منه، إما من خلال سطوح ماصة للصوت (للصدى)، أو من خلال سطوح عاكسة [١١] و [١٢].

ولعل الحالة الأكثر سوءاً من الناحية الصوتية هي الغرف ذات الزوايا القائمة في أعلىها، تحت الأسفف، فعلى أسطح الزوايا القائمة سينعكس الصوت من على السطح إلى الجدار المواجه للمتكلم، ومن الجدار سينعكس الصوت عائداً باتجاه المتكلم. (الشكل ٢١-١-أـ)) ليشوش على صوت المتكلم المباشر. فنهابات بعض الكلمات أو الجمل التي يتحدث بها المتكلم



-أ-

-ب-

-ج-

الشكل (٢١-١) يبين غرفاً يحدث فيها صدى وإمكانين للتخلص منه  
الشكل (٢١-١-أـ) يبين المسار الطويل للأشعة الصوتية وإمكانية حدوث أصوات له  
الشكل (٢١-١-بـ) يبين إمكانية إلغاء الأصوات من خلال وضع مواد ماصة للصوت في زاوية الغرفة العلوية المواجهة للمتكلم

الشكل (٢١-١-جـ) يبين إمكانية وضع لوح عاكس للصوت بشكل مدروس (مائل مثلاً)  
في الزاوية العلوية للغرفة لعكس الصوت والاستفادة منه (منبع صوت وهمي)

قد تعود ثانيةً معكوسهً إليه لتتدخل مع كلمات المتكلم التي يقولها للتو، مما يتسبب بالتشویش على صوت المتكلم وقدانه لوضوحةه، لذلك فإن معالجة هذه النقطة صوتياً أمر هام، ولابد منه في بعض الأماكن. انظر الشكل (٢١-١-بـ) والشكل (٢١-١-جـ) لكيفية التخلص من تأثير الزوايا في الغرفة على وضوح الصوت. فقد تم في الشكل بالمتناصف وضع مخمد صوت في الزاوية. وفي الشكل (٢٠-١-جـ) تم وضع عاكس للصوت ليستفاد منه. هذه العملية في الحالتين السابقتين تسمى في بعض المراجع بكسر الزوايا.

### ١٣-١ - الرنين الناتج عن الأصوات:

لقد ذكرنا بأن الصوت هو عبارة عن أمواج من الأشعة الصوتية، يتميز بعضها عن بعض بتردداته، ويتمتع أيضاً بقوة ميكانيكية. فإذا اصطدمت الأمواج الصوتية بسطح حاجز ما، فإن

هذا الحاجز سيهتز، نظرياً، بفعل القوى الميكانيكية للأمواج الصوتية. وحركة الحاجز الاهتزازية سيكون لها نفس ترددات الأشعة الصوتية المؤثرة عليها. وشدة اهتزاز الحاجز تتعلق بطبيعة الحاجز، كالمواد أو العناصر الدالة في تركيبه، وطريقة تركيبه أو ثبيته. إن حركة الحاجز التردديّة ستتصدر بدورها صوتاً أو أصواتاً مماثلة للأصوات المصطدمه بها. إن ظاهرة الأصوات الناتجة عن الحواجز بفعل اصطدام أصوات بها إلى جانب الأصوات الأساسية تسمى بالرنين [٩] و [١٠] و [١١] و [١٢].

إن جميع الحواجز من جدران وأسقف وأعمدة وسواء تتأثر بالأصوات وتتجاوب مع الأمواج الصوتية المصطدمه بها. وتتجاوب هذه الحواجز يكون، كما ذكرنا، متعلقاً بعدة عوامل. فالحواجز ذات الكثافة الثقيلة كالأعمدة وجدران الإسمنت مثلاً لن تتجاوب وتهتز كالجدران الخشبية الرقيقة والخفيفة الوزن وما إلى ذلك. وبالتالي لن تصدر هذه أصواتاً كالحواجز الأقل كثلاً وثباتاً. ويكون لكل مادة تجاوب تابع لتردد الموجة الصوتية الساقطة عليها. هذا التجاوب يكون مختلفاً عن تجاوب مادة أخرى يسقط عليها شعاع موجة آخر بتردد مختلف. والتجاوب الأعلى يدعى ذبذبة التجاوب. فذذبة التجاوب هي إذاً الذبذبة التي تتنج عندها المادة أعلى تجاوب.

إن ظاهرة ذبذبة التجاوب هي ظاهرة مزعجة وغير مرغوب فيها على الإطلاق من الناحية الصوتية، ويتم العمل على التخلص منها في الكثير من الحالات.

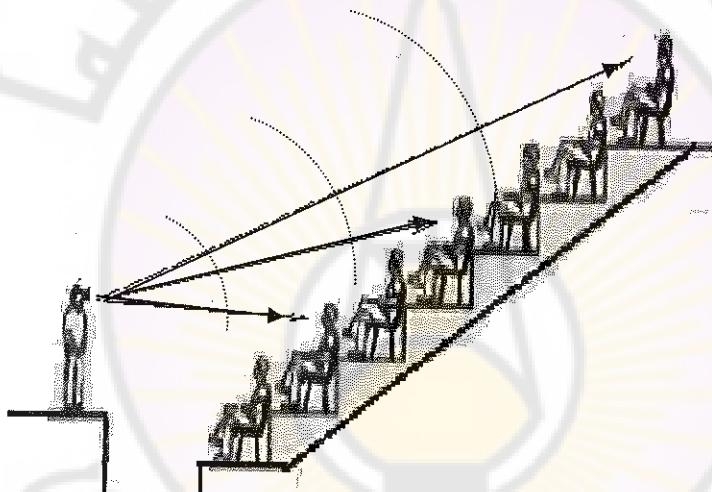
في الغرف والاستوديوهات المعدة لتسجيل وسماع الموسيقى يتم الاستفادة من هذه الظاهرة، وذلك بوضع ألواح خشبية كبيرة المساحة تتجاوب بهذه وتتسبب بالرنين عند الترددات المنخفضة للأصوات فتعطي للأصوات الموسيقية نغماً وإيقاعاً أفضل للسماع. لذلك تعد ألواح الخشبية أساسية في أعمال الموسيقى كحواجز جدارية أو سقفية أو حتى أرضية.

#### ١٤-١ - مسارات الأصوات:

يتوجب على كل مسموع في قاعة محاضرات أو مسرح أو مشابه أن يستمع للصوت بنفس درجة الوضوح والجهارة. وهذا الأمر ليس دوماً بالسهل والممكن من خلال الصوت المباشر فقط للمتحدث. إن التصميم الأساسي لتجهيزات الصوت يعتمد على تقوية وإظهار الانعكاسات المرغوب فيها وحذف وتصحيح تلك الأخرى غير المرغوب فيها.

عند دراسة النظام الصوتي يتم الأخذ بالحسبان الانعكاس الأول فقط لأنه الأقوى، ولكن الانعكاسات التالية والمتتابعة تخدم عادةً إلى الحد الذي يمكن عنده إهمالها، أي لا يمكن سماعها، وبالتالي لا تشكل ضجيجاً أو تشويشاً، (باستثناء بعض الحالات الخاصة للضجيج والصدى) [٩] و [١٠] و [١١] و [١٢].

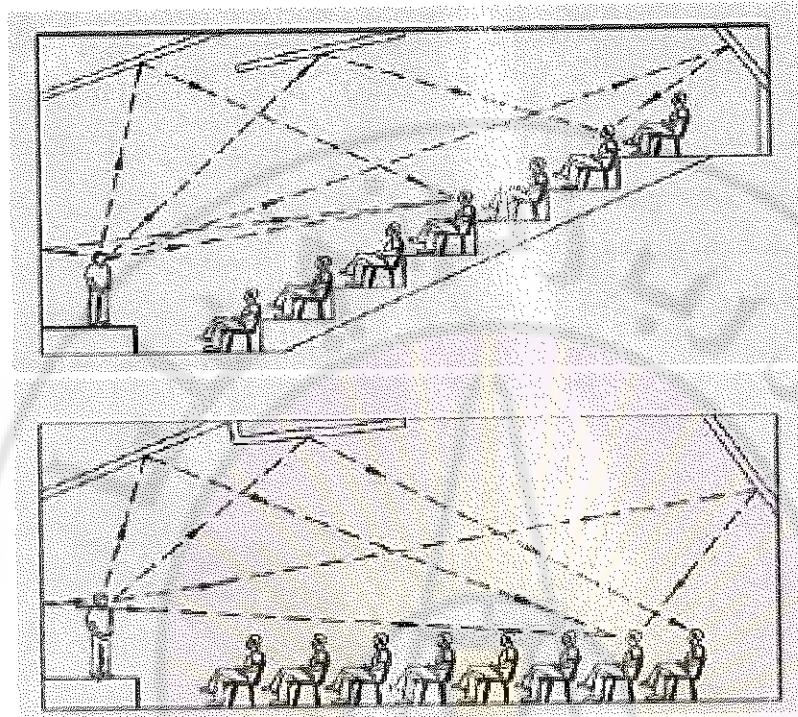
إن الانعكاس الجيد هو الذي يحدث عادةً من سطح لامع (Poished). ويعد هذا السطح العاكس في هذه الحالة عبارة عن منبع آخر للصوت، نسميه بالمنبع الوهمي الفعال؛ ففي مسارح الرومان واليونان القديمة تم بناء المقاعد مرتبةً على منحدر وبشكل أسطواني حول المتحدث، بحيث يتوزع الصوت إلى كل مكان في المسرح بشكل مسموع وواضح وبخميد منخفض كما يبين الشكل (٢٢-١).



الشكل (٢٢-١) مدرج روماني قديم مفتوح ومدروس من الناحية الصوتية

وفي يومنا هذا يمكن الحصول على نفس الغاية بوضع منبع صوتي فوق مقاعد الجمهور، إلا أن هذا غير ممكن عملياً، لذلك يتم وضع ألواح عاكسة للصوت تؤدي نفس الغرض كما يبين الشكل (٢٣-١). وأبعد هذا اللوح يجب أن تكون مدروسة بحيث يعكس أصغر موجة تردد مستخدم عند سرعة الصوت المعروفة في الهواء:  $340 \text{ m/S}$ . هذا مع العلم بأن مهندس أو أخصائي الصوت يقوم بحساب عدد وزوايا وأبعاد ونوعية وأمكانية وضع الألواح العاكسة المناسبة لتقوم بعكس الأمواج الصوتية المراده وإخماد تلك التي قد تتسرب بالتشویش أو

الضجيج وفقاً لتردداتها، آخذًا بالحسبان وضعية مقاعد جلوس الحضور وميولها وكذلك ارتفاع السقف وسوانحه، بما في ذلك الناحية الجمالية للمكان والتكلفة الاقتصادية الأقل.



الشكل ( ٢٣-١ ) يبين إمكانيتين لوضع عواكس صوت ( الواح صقيقة ) في مدرج وفي صالة مغلقين

#### ١٥-١ - ضجيج الأصوات:

يعرف الضجيج ( Flutter ) على أنه تلك الأصوات التي يتم سماعها أو إدراكتها كهمس أو فرقعة أو تشويش، تؤثر على جهارة ووضوح الصوت المراد سماعه، ويكون غير مرغوب أو مطلوب سماعها. والضجيج قد يكون ذا مصدر خارجي أو مصدر داخلي [ ٤ ] و [ ١٠ ] و [ ١١ ] و [ ١٢ ].

الضجيج ذو المصدر الخارجي وهو الذي ينبع من مصادر متعددة ومختلفة، مثل وسائل النقل والمصانع ومواقع البناء والبحر وسوانحها. وتلعب العوامل الجغرافية كقرب أو بعد منبع

الضجيج من المكان دوراً في شدته، وكذلك يكون أحياناً لعامل الفترة من اليوم أهمية خاصة في كمية وشدة الضجيج، فمقدار الضجيج ليلاً يختلف عنه نهاراً، وكذلك هو الأمر مابين فترة قبل الظهر، وهي فترة العمل إجمالاً، وفترة بعد الظهر، حيث تخف حركة الشارع .... الخ.

الضجيج الداخلي هو الذي ينتج عن الأجهزة والمعدات، كالمضخات والمصاعد وأجهزة التكييف والآليات المختلفة وكل ما هو متواجد ضمن الأبنية. كذلك ينتج من المحادثات بين البشر فيما بينهم. أو نتيجة احتكاك أجسام ببعضها أو جر صناديق على الأرض أو السير بحذاء يصدر صوتاً وما إلى ذلك.

والضجيج الداخلي يتراكب عادةً من عدة أصوات متكررة تذهب وتتعود بين السطوح غير الماصة للصوت، أي العاكسة له. الجدول التالي (٦-١) يعطي سويات الضجيج القياسية لأماكن متعددة [١٠] و [١٢].

الجدول (٦-١) سويات الضجيج القياسية في بعض الأماكن

نوع المكان	الضجيج بالـ dB	ملحوظة خاصة بالتحدث
الصغير عن طريق الفم	١٠	لأشوش على الحديث *
حفيظ الشجر	٢٠	لأشوش على الحديث
استوديوهات التسجيل والإذاعة	٣٠	لأشوش على الحديث
منطقة سكنية هادئة	٤٠	لأشوش على الحديث
المخازن الكبيرة والمطاعم والبوفيه	٦٠	التحدث بصوت عالٌ *
المسارح	٧٠	التحدث بصوت عالٌ
غرف الانتظار في محطات السكك الحديدية والأسواق المركزية ومعامل الطباعة	٨٠	التحدث بصوت عالٌ
غرف محركات التهوية في الفنادق الكبيرة	٩٠	يصعب التحدث
محطات السكك الحديدية داخل المدن	١٠٠	يصعب التحدث
صافرات الإنذار في المعامل	١١٠	يصعب التحدث
قيمة أعلى صوت يحدث ازعاجاً وألمًا في الأذن، مثل الصوت الناتج عند إقلاع طائرة	١٢٠	تعذر إمكانية التحدث لتعذر السمع

♣ لا يشوش على الحديث تعني أيضاً إمكانية التحدث بسهولة نظراً لشدة الضجيج المنخفضة.

♣ التحدث بصوت عالٍ يعني الاضطرار لرفع الصوت من أجل الإسماع، فالضجيج ذو قيمة عالية في المكان.

♦ يصعب التحدث نظراً لصعوبة إسماع الآخرين من شدة الضوضاء (الضجيج) المسيطرة على المكان.

إن حل ظاهرة الضجيج، أو التخلص منه قدر المستطاع يكون إما بتغيير شكل العواكس على الجدران والأسقف أو بإضافة مواد ماصة للصوت على الجدران. ويعتمد الحل في النهاية على متطلبات الارتداد والتکلفة والناحية الجمالية أيضاً.

إن الضجيج عبارة عن إشارات صوتية غير مرغوب فيها. تكون بترددات مختلفة حسب نوع الضجيج. وينتشر الضجيج إلى الأماكن المغلقة بطرق مختلفة. إما عن طريق الهواء، أو عن طريق البناء، من جدران وسقف وأرض كالصوت تماماً. والضجيج ليس فقط غير مرغوب فيه لأنه يتسبب بالتشویش على الأصوات التي يراد سماعها، وبالإزعاج للبشر، وإنما، عندما يكون عالياً، ويتجاوز حد الألم للأذن البشرية فإنه قد يتسبب بأذية صحية للأذن، وخاصة عند تكراره، كنقص السمع مثلاً أو المرض المعروف باسم طنين الأذن، أو الإرهاق والتعب الدائمين للأشخاص.

وقد أصبح الضجيج أحد الأعراض السيئة المزمنة في عصرنا الحالي، وخاصة في المجتمعات الصناعية. وهو ينشأ بشكل أساسى بفعل حركة الشوارع وصخبتها وما يسير عليها من آليات بأصواتها وبزماءيرها المزعجة. وكذلك في المصانع، حيث حلت الآلة في كثير من الأحيان بدلاً من العامل. وصارت هذه تشكل عيناً نقلاً عليه بفعل الأصوات العالية المزعجة الناجمة عن حركتها.

#### ١٦-١ - انتقال الضجيج عبر الحواجز:

باعتبار أن الضجيج هو عبارة عن مجموعة من الأصوات، فيمكن له أن ينتقل عبر الحواجز الفاصلة للصوت، كما تنتقل الأصوات تماماً. إن دراسة وتحليل عملية انتقال الضجيج عبر الحواجز، من وإلى القاعات أو الأماكن المغلقة، تساهم في معرفة الوسائل والسبل

والاحتياطات الواجب اتخاذها عملياً للحد من هذا الانتقال قدر الإمكان. وينتقل الضجيج عبر

الحواجز إجمالاً في ثلاثة طرق، وهي [٩] و[١٠] و[١١] و[١٢]:

١- **الانتقال الهوائي:** يقصد به عملية انتقال الضجيج في الهواء بشكل مباشر عبر الثقوب والشقوق الموجودة في الحواجز. إن قيمة أو كمية الضجيج الصوتي المنقول بهذه الطريقة تتعلق بأبعاد الثقوب وتوزعها في الحاجز واحتكاك الهواء بجداران الثقوب. وقد وجد بالدراسة والتحليل الصوتي أن الأشعة الصوتية ذات طول موجة معين (أو تردد الموجة) تدخل في ثقوب الجدار عن طريق التعرج، وذلك عندما تبعد الثقوب عن بعضها بمسافة أكبر من طول الموجة الصوتية، وتزيد هذه من عامل النفاذية النسبي للحاجز. بينما إذا كانت الثقوب متوزعة بشكل متقارب من بعضها فإن الأشعة التي ستدخل في الثقب عن طريق الانبعاث ستقل، وسيصبح وبالتالي معامل النفاذية أقل من قيمته في حالة الثقب المتباعدة. إن الانتقال الهوائي للضجيج يتعلق إذاً بتردد الأمواج الصوتية، فهو يكون للأمواج الصوتية ذات الترددات المرتفعة أقل من سواها من الأمواج.

من أجل الإقلال من الانتقال الهوائي للأشعة الصوتية يتوجب إذاً الإقلال من الثقوب والشقوق في الجدار قدر الإمكان، وذلك إما بإغلاقها أو الإقلال من مساحاتها، أو الإغلاق المحكم للفتحات التي قد تتشكل بفعل الأجزاء المتحركة في الحاجز، مثل الفراغات التي قد تتشكل حول الأبواب أو النوافذ عند إغلاقها.

٢- **الانتقال عبر مادة الحاجز:** إن عملية انتقال الضجيج أو الصوت عموماً عبر الحاجز تشبه إلى حد ما عملية انتقال الضوء؛ فعند اصطدام صوت بحاجز تنقل النفاذية الصوتية للحاجز، ويسمح وبالتالي الحاجز بانتقال جزء من الصوت عبره إلى الجهة الأخرى منه. وانتقال الأشعة الصوتية غير متعلق بتردد أمواجهها، لأن الممانعات الصوتية تختلف بشكل لا يذكر تبعاً لاختلاف تردد الأمواج.

يتم الحد أو إلغاء انتقال الضجيج عبر الحاجز عن طريق وضع طبقة أو أكثر من الطبقات المختلفة التراكيب ذات الممانعات الصوتية المختلفة على هذه الحاجز، على سبيل المثال توضع مع البيتون مواد إسفنجية قاسية (برلون)، أو يوضع حاجزان بينهما طبقة عازلة من مادة مختلفة. أو توضع عدة طبقات خلف بعضها على سطح الحاجز الأساسي إلخ.....  
والمثير بالذكر في هذا المجال أن سمكة الحاجز لا تؤثر عملياً على انتقال الصوت عبرها،

بل إن تكرار طبقات التخميد المختلفة النوعيات هي العامل الرئيس في عملية تخميد الصوت عموماً أو الضجيج على وجه الخصوص.

٣-الانتقال الغشائي: ويقصد بعملية الانتقال هذه استجابة الحاجز للأمواج الصوتية واهتزازه معها. أي وكأن الحاجز عبارة عن غشاء من تصل إليه طرقات ميكانيكية فتحركه، ويصبح هو وبالتالي مصدر الصوت في الجهة الأخرى منه. نذكر على سبيل المثال، زجاجاً رفيراً بمساحة كبيرة أو بلاطة بيتونية رقيقة بمساحة واسعة أيضاً. إلا أن تجاوب الحاجز واهتزازه لا يتم إلا في الحالة التي ينطوي فيها تردد الاهتزازات الصوتية مع تردد الرنين الخاص بالحاجز، حيث يكون الانتقال عندها أعظم ما يمكن.

إن زيادة كثافة الحاجز تؤدي إلى الإقلال من الانتقال الغشائي له. وكذلك يمكن استخدام مخدمات صوت ماصة للاهتزازات الميكانيكية، إضافة إلى زيادة قساوته أو سماكته التي تساعده في الحد من الانتقال الغشائي للضجيج، أو الصوت عموماً.

#### ١٧- الهندسة الصوتية:

إن كل شكل من أشكال الاتصال الصوتي يخضع لما يسمى بحلقة نقل، وهذه تتكون من: المنبع أو المصدر الصوتي ووسيل نقل الصوت، والذي يكون في الغالب هو الهواء، بالإضافة طبعاً للسماعات، أو المستمع، في حال لم تدخل مجموعات صوتية في عملية النقل الصوتي. وبشكل طبيعي أن يؤثر كل واحد من المكونات الثلاثة السابقة لفهم الرسالة المنقولة؛ فعاذف الموسيقي مثلًا أو الممثل أو المتحدث بشكل عام يمكن له أن يتحكم بالرسالة التي يريد إيصالها عن طريق زيادة أو نقصان شدة الصوت، أو توضيحه أو عموماً التحكم به عن طرق التحكم بأي واحد من المكونات الثلاثة السابقة لحلقة نقل الصوت [٩].

في هندسة الصوت يتم إجراء عمليات فنية خاصة لتسجيل ونقل وتخزين وإعادة إرسال الإشارات الصوتية إلى أن تصل هذه الإشارات في نهاية حلقة النقل بشكل مسموع ضمن المجال الترددية لسمع الإنسان الواقع بين: ٢٠ kHz و ٦ Hz.

وقد أصبحت في وقتنا الحاضر جميع مكونات حلقة النقل تعمل بشكل رقمي بعد أن دخلت في نهاية السبعينيات من القرن الماضي تقنيات النقل الرقمية في الخدمة، إلا طبعاً وصول

الصوت المستمع فسيقى بشكل تماثلي دواماً، لأن شكل الإشارة الصوتية التي تسمعها أذن الإنسان هي إشارة تماثلية حسراً [٩].

#### ١٨-١ - الأنظمة الصوتية:

يتتألف أي نظام صوتي، بشكل عام، من أجزاء مختلفة تكون بمجملها ضرورية لعمل وأداء هذا النظام. وتسمى هذه الأجزاء أيضاً بـ مكونات، (مركبات) النظام الصوتي (Audio-system- components). ولعل أهم مفهوم يعنينا في الهندسة الصوتية عند نقل أو تقوية الصوت هو الكسب أو الربح الصوتي، والذي يعرف على أنه النسبة بين سوية الصوت عند إذن مستمع مع تشغيل النظام الصوتي إلى سوية الصوت عند نفس إذن هذا المستمع بدون استعمال نظام التقوية الصوتي. إن الكسب الصوتي هو في الحقيقة مقدار زيادة جهارة أو شدة أو مستوى الصوت بعد استخدام نظام التقوية الصوتي. ويعد أي نظام صوتي قد أدى وظيفته على أكمل وجه، عندما يكون الكسب الصوتي ، أو كذلك السوية الصوتية في الموضع المتوجب دراسته قد أدى الغرض المطلوب منه، من دون وجود سلبيات صوتية، كالتشويش والضجيج ..... الخ. وكذلك من المهم معرفة المسافة التي يستطيع من خلالها المستمع سماع المتكلم مباشرةً، أو من خلال مكبر صوت، الصوت بالسوية والجهارة والوضوح المطلوبين. هذه المسافة تدعى بالمسافة الطبيعية العظمى.

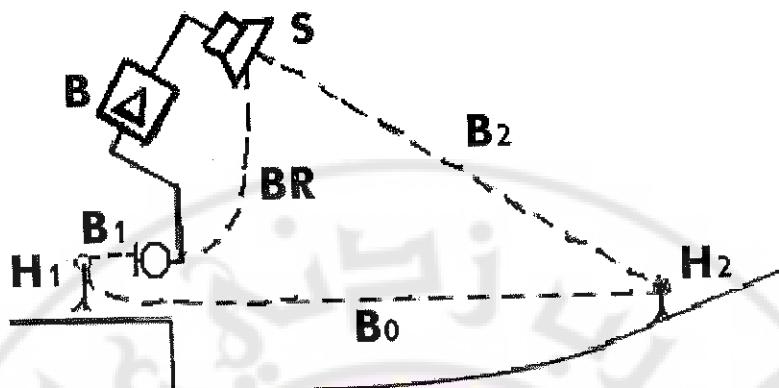
يتكون النظام الصوتي بشكل عام من ثلاثة مركبات رئيسية [٩]، وهي:

١- لواقط الصوت (الميكروفونات).

٢- مكبرات الصوت.

٣- معالجات الإشارة (وحدات تضخيم الإشارة أو المضخمات).

وسنقوم فيما يلي بإلقاء الضوء بشكل مختصر على كل واحد من مكونات النظام الصوتي السابقة، ولن ندخل في تفاصيل وآلية عمل أي منها، إلا بالشكل العام، لأنها خارج مجال دراستنا. الشكل (٢٤-١) يبين نظاماً صوتياً ببساطة مكوناته الثلاث السابقة.



الشكل (٢٤-١) يبين نظاماً صوتياً بسيطاً متكاملاً، يظهر فيه اللاقط والمكبر ومعالج الإشارة، حيث:  $B_0$  هو الصوت المباشر من المتكلم إلى المستمع من دون تكبير.  $B_1$  صوت المتكلم إلى اللاقط  $S$  مكبر الصوت  $B_2$  الصوت المنقول عبر اللاقط والمعالج إلى المتكلم  $BR$  الصوت المرسل من المكبر إلى المستمع  $H_2$  الشخص المتكلم  $H_1$  المستمع

#### ١-١٨-١ - اللوافط (الميكروفونات):

بعد اللاقط (الميكروفون) ( Microphones ) عبارة عن جهاز لتحويل ( Transducers ) الطاقة الصوتية، أو الاهتزازات الصوتية ( الحركية أو الميكانيكية ) إلى طاقة كهربائية. وكلما كانت الإشارة الكهربائية الخارجة من اللاقط متوافقة مع إشارة الدخل الصوتية من حيث التردد وشدة الصوت كان اللاقط أكثر جودة وأمانةً في نقل الصوت. فالمطلوب من اللاقط إذاً :

- ١- أن يكون خرجه الكهربائي متوافقاً مع دخله الصوتي، من حيث التردد وشدة الصوت.
- ٢- أن تكون نسبة الضياعات فيه أقل ممكناً.
- ٣- أن يعمل على أوسع مجال للترددات ضمن المجال السمعي للإنسان.

**أنواع اللواقط:** توجد أنواع مختلفة ومتميزة من اللواقط. وقد زادت هذه الأنواع في السنوات الأخيرة نتيجة للتطور المتتالي والسريري في أجهزة الاتصالات. إلا أنها بشكل عام تميز بين نوعين رئيين منه:

- ١- **اللقطة المتعددة الاتجاهات** (اللقطة غير الاتجاهي).
- ٢- **اللقطة الاتجاهي** (الكارديوئيدي).

ويختلف النوعان عن بعضهما بصفات التوجيه والاستجابة التردديّة. عادةً تعطى هذه الخواص للواقط في النشرات الفنية ( الكاتلوکات ) من قبل الشركات الصانعة. فاللقطة المتعددة الاتجاهات يستقبل الإشارات الصوتية من كافة الاتجاهات وبشكلٍ متساوٍ كما يدل اسمه، لذلك يتأثر هذا اللقطة بإشارات التشويش التي قد تأتي من الخلف.

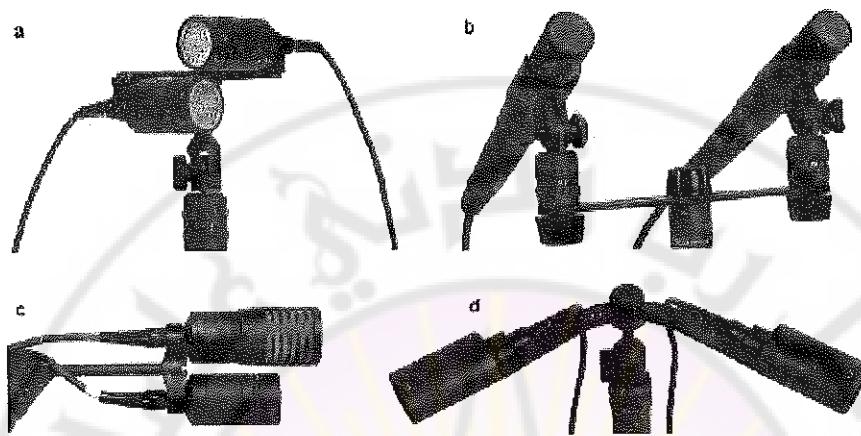
أما اللقطة الاتجاهي ف تكون حساسيته للأصوات من الجهة الأمامية أعظمية، ومن الجهة الخلفية أقل ملحوظة. لذلك فهو قليل التأثير بالضوضاء والتشويش غير المرغوبين اللذين قد يأتيان من الخلف. وبشكلٍ عام تميز بين ثلاثة أصناف للواقط:

١- **اللقطة القلادي** ( Lavalier microphone ): وهو لقط على شكل قلادة، وصمم على شكل جهاز صغير جداً يمكن تعليقه في حبل قصير حول العنق، أو يوضع مخفياً داخل الملابس، ومنه اللواقط الحديثة التي تستخدم مع أجهزة الاتصال الحديثة كالهواتف المحمولة والكمبيوتر وما شابه.

٢- **اللقطة اللاسلكي** ( wireless microphone ): ليس لهذا اللقط أي اتصال بالمعالج أو المكبر، إنه يعمل لاسلكياً على نقل الإشارة الكهربائية إلى المعالج. لذلك فهو يسمح بحرية الحركة لحامله على مسافة معينة من موضع وجود المعالج. وتوجد منه أشكالاً مختلفة أيضاً، إما أن يكون على شكل قلادة كسابقه أو يحمل يدوياً.

٣- **لقط إلغاء التشويش** ( The noise- canceling microphone ): يعتمد مبدأ عمل هذا اللقط على الترددات السمعية للأذن البشرية، والتي تسمع أصواتاً في مجال الترددات العالية بشكل عام. أما الضجيج فيتشكل في الغالب من أصوات ذات ترددات منخفضة؛ لذلك فالضجيج الصادر عن الأصوات البشرية يتم امتصاصه بسرعة عن طريق القماش الماصل المجهز به هذا اللقط، وبالتالي يلغى أثر الأصوات ذات

الترددات المنخفضة. و مجال عمل هذا اللاقط هو الأماكن ذات المحيط العالي من ترددات الضجيج.



الشكل (٢٥-١) بعض أنواع اللوافط في وضعيات اتجاه مختلفة

#### ١٨-٢ - مكبرات الصوت:

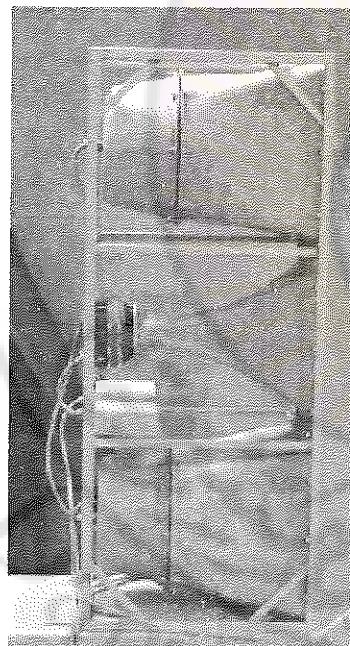
إن مكبرات الأصوات (Loud-speakers) هي عبارة عن أجهزة كهربائية تعمل بعكس اللوافط، فهي تحول الطاقة الكهربائية الواردة إليها إشارات عبر المعالج أو المضخم إلى طاقة ميكانيكية، أي طاقة صوتية حركية.

توجد أنواع عديدة وأشكال مختلفة لمكبرات الصوت ذكر منها [٩][١٢] :

- ١ - مكبرات الصوت المخفية (الضمينة) : (Cbuilt-inloud speakers ) يركب هذا النوع من المكبرات بشكلٍ مخفي ضمن الأسقف والجدران المستعار، بحيث لا يمكن رؤيتها ولا معرفة مكانها بسهولة. وتكون على مسافات مدروسة وقريبة من بعضها بحيث تصدر جميعها صوتاً متجانساً واحداً ثابتاً في أي مكان من القاعة أو الغرفة. وتكون هيكل هذه المكبرات مصنوعة من الخشب أو الفيبر.
- ٢ - مكبرات الصوت الصندوقية (Box type louds speakers) : يتوفّر هذا النوع من المكبرات بكل الأحجام والنماذج. منها ما يمكن تركيبه بحرية في أي مكان، ومنها

مما يمكن تثبيته في الجدران والأعمدة وغير ذلك، سواء ضمن مكانٍ مغلق أو في الهواء الطلق، وذلك وفقاً لطبيعة الاستخدام. ويكون الصندوق الخارجي للمكبر مصنعاً من البلاستيك المقوى، أو من مواد معدنية مختلفة.

٣- المكبرات البويقية (Horn loud-speakers): يستخدم هذا النوع من المكبرات بشكل رئيس في الهواء الطلق (الاستخدام الخارجي). في محطات القطارات وفي الملاعب وجميع الأنشطة الرياضية والشعبية التي تتطلب رفع الصوت بغية وصوله إلى الحد الذي يمكن لجميع أو أكثر الحضور سماعه. كما تستخدم في أماكن العمل ذات الظروف القاسية والصعبة، مثل الأماكن الرطبة، كمناجم الفحم مثلاً، وكل عمل تحت الأرض. يكون الغلاف الخارجي للمكبر مصنوعاً من مواد معدنية أو بلاستيكية، ويحمي من الظروف المحيطة كالغبار والرطوبة والأترية... كما يتم استخدامه على سطوح البواخر والمركبات. وتتوارد منه أنواع خاصة لأماكن العمل المعرضة لحدوث انفجارات. كما يستخدم في المصانع الصالحة بفعل وجود الآلات.



الشكل (٢٦-١) عمود صوتي

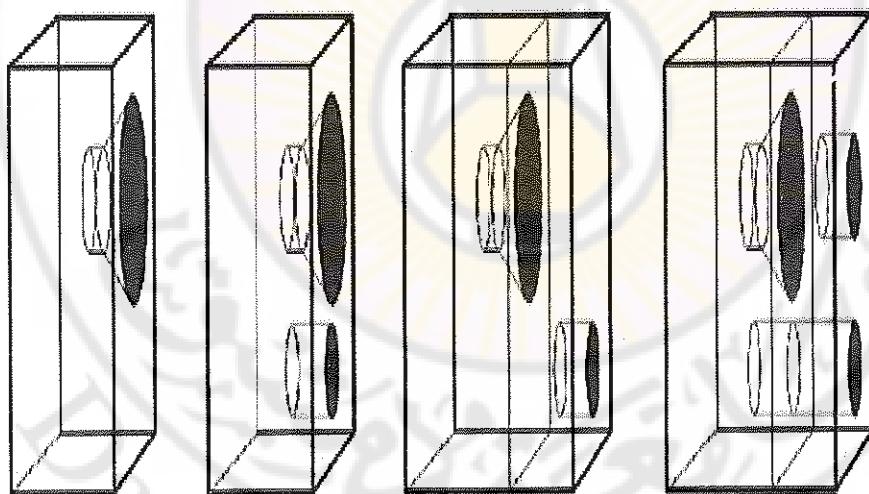
#### ٤- الأعمدة الصوتية (Sound columns)

(columns): وهي عبارة عن مجموعة من المكبرات المفردة من نفس النوع مثبتة ضمن غلاف مشترك، و موضوعة الواحدة فوق الأخرى، بشكل طولي. إن هذا النوع من الترتيب والتوضع للمكبرات المفردة يكون ملائماً لاستخدام اللواقط باحتمال أقل مما يمكن لحدث تغذية عكسية بالنسبة للشخص المتواجد أسفل المكبر أو خلفه مباشرةً. الشكل (٢٦-١) يبين عموداً صوتيّاً بثلاثة مكبرات صوت.

يتتميز العمود الصوتي بأنه يكون فعالاً في

المستوى الشاقولي من أجل الترددات العالية. وبأن شدة الصوت المنتشر منه تبقى ثابتة ضمن مساحة معينة، ولهذا السبب تعد الأعمدة الصوتية ملائمة جداً للصالات أو الغرف الكبيرة والساحات الخارجية (في الهواء الطلق). وتركيب عادةً هذه المكبرات، بحيث تكون الحافة السفلية للمكبر عند أذن السامع.

٥- مجموعات التكبير (loud speaker combinations) : إن هذا النوع من مكبرات الصوت هو عبارة عن مجموعة من المكبرات غير المتماثلة والمركبة معاً، بحيث يبرز بعضها الأصوات ذات الترددات الحادة، والأخر يبرز الأصوات ذات الترددات المتوسطة، ومكبرات أخرى لإظهار الأصوات ذات الترددات العالية. تقييد هذه المجموعات المختلفة من المكبرات في إعادة إظهار المجال الطبيعي لكامل الترددات السمعية. وأكثر مجال استخدام لها هو في الأعمال الموسيقية والمسرحية، أو تلك التي تتطلب نقاً صافياً ونقياً للأصوات والنغمات المختلفة. الشكل (٢٧-١) يظهر واحدة من مجموعات التكبير هذه، والشكل (٢٨-١) في ملحق الصور الملونة يبين صورة لمجموعات تكبير مركبة على عمود، والشكل (٢٩-١) في نفس الملحق السابق يبين العديد من مجموعات التكبير المستخدمة في مدرج مفتوح.



الشكل (٢٧-١) أشكال مكبرات مختلفة لأشعة صوتية بترددات مختلفة

ففي المسارح، على سبيل المثال، حيث تقام الأعمال الموسيقية بالإضافة لأعمال التمثيل توضع عدة مجموعات تكبير لتفويرة الأصوات الصادرة من على خشبة المسرح، فتوضع عدة مجموعات تكبير لتقطن الاستجابة الترددية على كامل مجال الترددات، وهو يضمن نفلاً وتكييراً أميناً للأصوات أو النغمات الموسيقية المختلفة.

### ١٨-٣-١- معالجات الإشارة الصوتية (وحدات تضخيم الإشارة):

تسمى مجموعة الأجهزة أو التجهيزات الكهربائية ( Electrical-devices ) الازمة لعمل المجموعة أو النظام الصوتي كمضخمات الصوت ومخدماته والمرشحات والمولدات وتجهيزات تخزين الصوت بوحدات معالجة الإشارة الصوتية. إلا أن أهم جزء في تجهيزات معالجات الإشارة هو المضخمات، لذلك يتم أحياناً تجاهل بقية مكونات المعالج والتحدث فقط عن هذا الجزء الهام لعمل المجموعات الصوتية [٩] و [١٢].

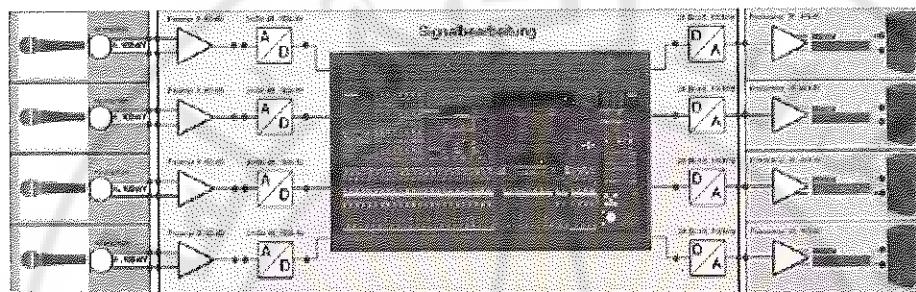
إن مضخمات الإشارة هي عبارة عن تجهيزات كهربائية تربط خرج اللواقيط بدخل المكبرات. وعملها هو مضاعفة استطاعة الإشارات الكهربائية المستلمة من خرج اللواقيط ( أو أحياناً مصادر أخرى كما هو في آلات التسجيل ). ويكون تكبير الإشارة إلى الحد الكافي لتشغيل مكبرات الصوت. إن عمل هذه المضخمات عبارة عن مرحلتين متتاليتين. الأولى هي في رفع توتر إشارة الدخل من السوية المنخفضة جداً لللواقيط ( من حوالي  $0.25 \text{ mV}$  ) إلى سوية عالية ( حوالي  $200 \text{ mV}$  ). والمرحلة الثانية هي تضخيم الاستطاعة لتصبح مناسبة لاستطاعة المكبرات الموصولة بها، لذلك يرفع توتر الإشارة ثانيةً ليصل عادةً إلى  $100 \text{ V}$ .

إن آلية عمل المضخم معقدة جداً. ومنه أنواع مختلفة في كيفية وأنظمة العمل وتضخيم الإشارة ولن ندخل في تفاصيلها في هذا الكتاب، لأنها خارج مجال اختصاصنا، وإنما يكفي هنا معرفة لمحه بسيطة عن آلية عملها وما تقوم به ليس أكثر.

يمكن التحكم بالمضخم على شكلين [٩] و [١٢]:

- التحكم يدوياً بالجهارة. حيث تتم عملية التحكم بجهارة الصوت عن طريق بزال موضوع في مقدمة المضخم.

- تحكم آلي عن طريق وحدة تحكم تمنع التغذية الصوتية العكسية عند وضع مفتاح التحكم على الوضعية العظمى. ووحدة التحكم هذه يكون عليها:
  - تحقيق التوافق الترددى بين مصدر الصوت والمضمخ.
  - ضبط الخصائص الترددية للصوت الصادر من مكبر الصوت بشكل يتناسب مع الوضع الصوتي للقاعة.
- جعل الكلام أكثر وضوحاً عن طريق تحقيق رجحان فعال للترددات العالية.



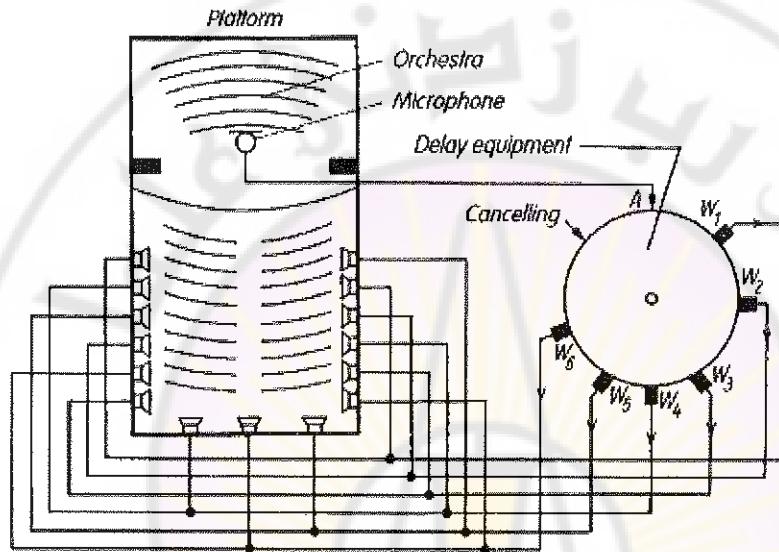
الشكل (٣٠-١) وحدة معالجة إشارة (تضخيم) لعمل أربعة لوافط وأربعة مكبرات اللوافط أربعة على أقصى الجهة اليسرى وأربعة مكبرات في الجهة اليمنى للصورة

#### ١٩-١- النظام الصوتي لقاعات الاستماع:

يغلب استخدام مصطلح قاعات الاستماع على جميع الأماكن الكبيرة والواسعة المغلقة، التي يتواجد فيها جمهور سواء لحضور الحفلات الموسيقية أو المسيرية أو قاعات المحاضرات أو المهرجانات الخطابية وكذلك القاعات المتعددة الاستخدامات وما شابه. فهذه جميعها تعد أصلاً قاعات استماع لأي مما سبق ذكره. وقبل الشروع في تصميم مثل هذه القاعات يتوجب في البدء تقدير نوع وحجم الاستخدام، فكل واحد من الفعاليات المختلفة تتطلب نظاماً صوتيّاً قد يختلف عن سواه؛ فقاعة إلقاء المحاضرات تتميز بأسلوب تصميم صوتي يختلف بدرجة كبيرة عن تلك التي تستخدم للنشاطات الموسيقية.... إلخ [٩] و [١٠].

الخطوة الأولى في التصميم الصوتي تكون في تحديد النشاطات التي يتوجب القيام بها. ويمكن تغيير المحيط السمعي بإجراء تغيير في الحجم أو بإضافة سطوح عاكسة متراكمة، أو بتعديل الامتصاص الصوتي بإضافة أو إزالة بعض معالجات الامتصاص.

الشكل (٣١-١) يبين قاعة استماع تحتوي على لاقط واحد ومجموعة موزعة من المكبرات موصولة عبر وحدة تضخيم أو معالجة في شكل تمثيلي.



الشكل (٣٠-١) يبين قاعة استماع فيها لاقط واحد ومجموعة مكبرات صوت متوضعة على الجانبين وفي صدر القاعة موصولة عبر وحدة معالجة إشارة

#### ١-٢٠-١- تصميم النظام الصوتي لقاعات الاستماع:

في البداية، وبعد معرفة نوع الاستخدام، كما ذكرنا، يتوجب تحديد حجم الصوت (شدته) المراد سماعه في قاعة الاستماع، ومنه يمكن تحديد مساحة الأرض الفعالة لقاعة، التي يمكن منها أيضاً حساب حجم الغرفة وفق متطلبات الارتداد الصوتي، فقد يتم تعديل سطوح جرانها وسقفها، وإلغاء التركيز في الصوت وكذلك الصدى، ليصبح التوزيع مناسباً للصوت.

إن الخصائص الضرورية المناسبة للتصميم الصوتي تتضمن مايلي [٩] و [١٠]:

١- يتوجب على السقف والجدران الجانبية في القاعة بتوزيع الصوت إلى حيز الاستماع بشكل مناسب، بأن يؤخذ بالحسبان أن تكون السطوح قريبة بما فيه الكفاية من منبع الصوت (المتحدثين أو الموسيقيين أو ....) بهدف التقليل من التأخير الزمني بين الصوت المباشر والصوت المنعكس.

٢- يتوجب أن يساعد السقف والجدران في عملية انتشار الصوت بشكل مناسب.

٣- اختيار المواد الصوتية المناسبة للاستخدام في القاعة لتغطية السقف والجدران وكل ملائم للحصول على الصوت المناسب، آخذين بالحسبان المواد المستخدمة أصلًا، ففي جميع الأماكن المغلقة توجد أصلًا مواد ماصة للصوت وأخرى عاكسة بشكل بدائي ( سطوح السقف والجدران والأرض والنوافذ والفرش ( المقاعد ) إن وجد ... إلخ. يمكن أيضًا التعديل بالسطح الموجودة أصلًا باستخدام مقاعد منجدة بشكل كامل ( Upholstered ) مثلاً لغاية امتصاص الصوت. ويمكن التمييز بين ثلاثة حالات من قاعات الاستماع وفقاً لخواص الارتداد:

أ- الحالة الأولى وهي استخدام القاعة للنشاطات الموسيقية فقط. في هذه الحالة يكون امتصاص الصوت من قبل المقاعد والمستمعين ( الجمهور ) فقط. إن حدوث ارتداد أو رنين في هذه الحالة أمر محزن، إذا بقي ضمن الحدود المسموحة.

ب- الحالة الثانية التي تستخدم فيها القاعة للنشاطات قابلة للتعديل موسيقية أو خطابية. في هذه الحالة تضاف سطوح أخرى، وهي عبارة عن ستائر ماصة للصوت على طول الجدار الخلفي وقسم من الجدار الجانبي، لإلغاء الأصداء والانعكاسات التي تسبب التشوش.

ت- الحالة الثالثة التي تكون فيها القاعات للعرض السينمائي وللقاء المحاضرات فقط. وهنا يتم استخدام معالجة دائمة لامتصاص الصوت بواسطة السقف والجدران الجانبية والخلفية كذلك. إن هذه المعالجة للصوت تؤدي إلى زمن ارتداد صغير، لهذا فهي غير مناسبة للنشاطات الموسيقية.

وفي جميع الحالات السابقة يجب الأخذ بالحسبان إزالة الظواهر غير المطلوبة صوتيًا مثل التركيز ( Focusing ) أو الصدى ( Echo )، وخاصةً إذا كانت القاعات ذات أسطح

على شكل قبة مثلاً، فيجب عندها تغطية سطح القبة بمادة ماصة للصوت لإلغاء تركيز الصوت في بعض الأماكن من القاعة كما نعرف. وفي حالة الخشية من حدوث أصداء فيجب معالجة الجدار الخلفي، إما بوضع أسطح عاكسة للاستفادة من الصوت المنعكس أيضاً أو أسطح ماصة لإلغاء الأصداء (انظر الشكل (٣٤-١)).

وبعد دراسة معظم العوامل التي تؤثر على الصوت في وسط مغلق يتم وضع المعادلات الناظمة التي تحسب السوية الصوتية، من قبل مهندس أو فني الصوت، في أي نقطة من نقاط هذا المكان المغلق، اعتماداً على استطاعات الأجهزة الصوتية المتواجدة في الأسواق وسويات الضغط الصوتي التي تعطيها (استطاعة المجموعة والضغط الصوتي لها تؤخذ من كتالوجات الشركات المصنعة). بعدها يتم حساب وتقدير عدد المضخمات والميكروفونات وأماكن توضعها لتؤدي الغاية المطلوبة.

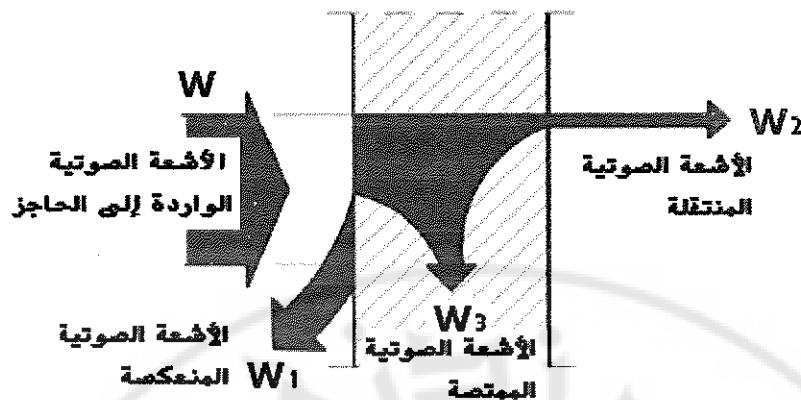
#### ١-٢١-١ - العزل الصوتي:

يقصد بالعزل الصوتي لمكان ما مجموعة الإجراءات والتدابير التي يتم اتخاذها لعزل المكان عن الصوت وفق المتطلبات من هذا المكان، بحيث لا يسمح بزيادة شدة الأصوات الداخلة إليه أو الخارجة منه عن المطلوب.

إن العزل الصوتي هو عبارة عن الإجراءات التي تتخذ لعزل أي حيز مكاني مغلق، كقاعة استماع أو غرفة أو سواها، عن المحيط الخارجي عزلاً صوتياً تماماً، بحيث لا يتأثر الحيز المدروس بالأصوات التي تأتي من خارجه، ولا تصدر منه أصوات تصل إلى خارجه، سواء كان ذلك عن طريق الهواء أو عن طريق هيكل الحيز أو غير ذلك [٩] و[١٠].

#### ١-٢١-١-١ - أساس العزل الصوتي:

لقد ذكرنا أن سقوط موجة صوتية على حاجز ما سيؤدي - بشكل عام - إلى انعكاس جزء من هذه الموجة الصوتية على سطح الحاجز، وجزء آخر سيمتصه جسم الحاجز، وجزء ثالث سينتقل أو سينفذ عبر جسم الحاجز إلى الجهة الأخرى منه [٩] و[١٠]، الشكل (٣٢-١).



الشكل (٣٢-١) سلوك الموجة الصوتية بشكل عام عند سقوطها على حاجز ما

إذا كانت طاقة الموجة الصوتية الساقطة على الحاجز هي:  $W$

وطاقة الجزء المنعكس منها على سطح هذا الحاجز هي:  $W_1$

وطاقة الجزء الممتص من الموجة من جسم الحاجز هي:  $W_3$

وطاقة الجزء النافذ إلى الطرف الثاني من الحاجز هي:  $W_2$

فيمكن وضع المصطلحات للتعريف التالية:

معامل الامتصاص الصوتي:  $\alpha$  وهو عبارة عن النسبة بين الجزء الممتص والنافذ من طاقة الموجة الصوتية المرتقطة بالحاجز وبين كامل الطاقة الصوتية المرتقطة بهذا الحاجز. وهو يساوي المقدار:

$$\alpha = \frac{W_2 + W_3}{W} \quad (1-13)$$

ومعامل الانعكاس الصوتي:  $\beta$  وهو عبارة عن النسبة بين الجزء المنعكس من طاقة الموجة الصوتية المرتقطة بالحاجز وبين كامل الطاقة الصوتية المرتقطة بهذا الحاجز. و هو يساوي المقدار:

$$\beta = \frac{W_1}{W} \quad (1-14)$$

ومعامل النفاذية (الانتقال) الصوتي:  $\gamma$  وهو عبارة عن النسبة بين الجزء النافذ أو المنتقل من طاقة الموجة الصوتية المرتقطة بالحاجز وبين كامل الطاقة الصوتية المرتقطة بهذا الحاجز. و يساوي المقدار:

$$\gamma = \frac{W_3}{W} \quad (1-15)$$

حيث يكون:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \quad (1-16)$$

و

$$\alpha + \beta = 1 \quad (1-17)$$

إن جميع المعاملات السابقة ذات قيمة هي أقل من الواحد حتماً، وقيمة كل واحدة منها تتعلق بعوامل عديدة، أهمها: الخصائص التركيبية والهندسية للحاجز، تردد الأمواج الصوتية الساقطة على الحاجز وزاوية سقوطها.

إذا كانت مساحة مقطع الحاجز هي:  $S$  فتكون النفاذية الصوتية للكامل الحاجز هي:

$$\gamma' = \gamma \cdot S \quad (1-18)$$

والتي تقدر بالـ  $m^2$ . ومن الواضح أنها تزداد بزيادة مساحة مقطع الحاجز ومقدار هذا الحاجز على السماح للأمواج الصوتية بالانتقال إلى الطرف الآخر منه.

أما العزل الصوتي للحاجز، والذي يقاس بالديسيبل ويعبر عن مقدار تخميد مستوى الضجيج للحاجز فيعطي عادةً بعلاقات تقريرية بسيطة تتعلق بتردد الموجة الصوتية وبعض خواص الحاجز كباقي المعاملات السابقة، أو يعطى في جداول خاصة به.

إذا كان الحاجز مؤلفاً من عدة طبقات أو عدة حواجز جزئية، عددها مثلاً هو:  $N$  ومساحات مقاطعها هي على الترتيب:  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  وكان معامل النفاذية لكل واحد من هذه الحواجز الجزئية هو على الترتيب:  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$  فإن النفاذية الصوتية للكامل الحاجز يمكن حسابها على الشكل التالي:

$$\gamma' = \sum \gamma_i \cdot S_i = \gamma_1 \cdot S_1 + \gamma_2 \cdot S_2 + \gamma_3 \cdot S_3 + \dots + \gamma_n \cdot S_n = \gamma_m \quad (1-19)$$

حيث:  $\gamma_m$  هو معامل النفاذية الوسطي للحاجز.

$S$  هي المساحة الكلية لمجموع مساحات الطبقات المشكلة للحاجز.

## ١-٢-٢- العزل الصوتي لقاعات الاستماع:

عندما يصل الضجيج إلى الأماكن المغلقة (قاعات الاستماع) تحدث له انعكاسات على السطوح الداخلية للحيز المغلق. وهذه الانعكاسات قد تكون متعددة أيضاً كما سبق ورأينا، تماماً مثل أي صوت. وتردد شدة هذه الانعكاسات كلما زادت السطوح عكساً للأمواج الصوتية، أي كانت ذات خصائص عاكسة أفضل للأشعة الصوتية . وبالتالي فإن انعكاس الضجيج في الأماكن المغلقة تزداد قيمته بفعل الانعكاسات الحاصلة عليه. كذلك يخضع الضجيج كالصوت إلى امتصاص من قبل الجدران وغيرها في قاعات الاستماع [٩] و [١٠]. إلا أن ما يتوجب معرفته بالنسبة للمصمم الداخلي للأماكن المغلقة من الناحية الصوتية أن العزل الصوتي للمكان المغلق سيكون كبيراً كلما زاد معامل الامتصاص الوسطي للجدران الداخلية والمواد أو السطوح الأخرى المضافة لجداره.

## ١-٢-٣- المواد والتركيب الماصة للصوت:

يوجد بشكل عام تصنيفات مختلفة للمواد الماصة للصوت. وعند الحديث عن كل من المواد الماصة على حدة فلابد أن تختلف هذه التصنيفات جميعاً في الوصف العام للمواد الماصة أو في خصائصها. فوقاً لتركيبها تكون المواد الماصة إما مصممة أو مسامية. وحسب استخدامها تكون هذه جدارية أو للإكساء فقط أو كليهما معاً. كذلك يمكن أن تصنف المواد الماصة للصوت حسب أشكالها أو قابليتها للاشتعال وغير ذلك [٢] و [٣] و [٩] و [١١].

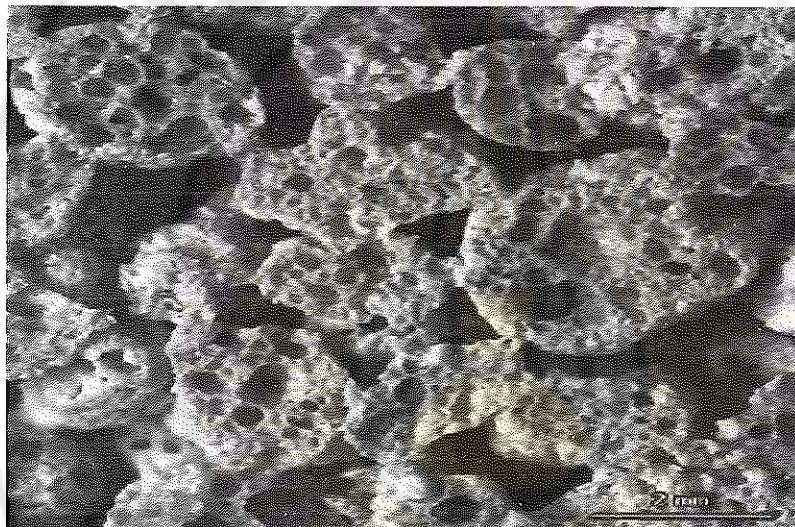
- إن المواد المصممة الماصة للصوت تكون في العادة قاسية وصلبة مثل البيتون والأحجار الإسمنتية والرخام والخشب وغيرها. وتكون لهذه جميعاً معاملات امتصاص صغيرة جداً، ولا تزيد عن ٠.١ ويستخدم بعضها كالرخام والخشب كمواد إكساء خارجية أو داخلية جدارية. الجدول (٥-١).

- كما توجد من المواد المصممة العازلة أو الماصة للصوت أنواع لينة منها كالملطاط الكثيف المستخدم في الإكساء. ومعامل امتصاصه ٠.٠١ أيضاً كالمواد المصممة الصلبة القاسية. الجدول السابق (٥-١).

- إن المواد المسامية الماصة للصوت ذات استخدام أوسع في العزل الصوتي. وهي مواد مركبة من مادتين، الأولى تعطي الطبيعة المسامية، وتكون أحياناً على شكل

حببات مختلفة الأحجام والأشكال، بينما الثانية تعمل على تثبيت وجمع وحماية المادة الأولى كالإسمنت مثلاً، إن هذا يجعل التركيب العازل ذا متانة ميكانيكية من ناحية، ومن ناحية أخرى فإن المسامية الموجودة في التركيب تعطيه خواص عزل صوتي أفضل.

إن هذه التراكيب العازلة للصوت تستخدم عادةً في الممرات العامة وأماكن العمل ولا تمتاز بظهور جميل كذلك المستخدمة في الإكساء والعزل الخارجي مثل الصوف الصخري والألياف الخشبية والنسيج أو الصوف الزجاجي المستخدم مع عناصر مسامية أخرى. الشكل (٣٣-١) يبين صورة مكبرة لمادة الصوف الزجاجي كمادة عازلة للصوت.



الشكل (٣٣-١) صورة مكبرة للصوف الزجاجي كمادة مسامية مستخدمة كعازل

إن الخاصية المسامية في التراكيب العازلة للصوت هي المسؤولة بشكل رئيسي عن عملية عزل الصوت أو عزل الضجيج، ففضل المسامات الموجودة فيها تحول الطاقة الصوتية إلى طاقة حرارية عند سقوط هذه على أسطح المواد المسامية للتركيب. فجزيئات الهواء المدفوعة بفعل الطاقة الصوتية تهتز في المسامات فتتسبب باحتكاك في جرمان المسامات، وبذلك تحول الطاقة الصوتية إلى حرارية. ويسود كذلك

الاعتقاد بأن بعضًا من طاقة الصوت يضيع عندما يتسبب هذا باهتزاز طفيف في هيكل المادة الماصة. وفي الحقيقة فإن المواد الماصة للصوت ذات أثر امتصاصي مضاعف، فهي من ناحيةٍ تخمد أو تمنص الصوت، ومن ناحيةٍ ثانية عندما تكون هذه المواد ملتصقة بجدار مصنوع مثلًا فإنها ستمنع من الانعكاس، بل ستعمل أيضًا على امتصاص الصوت الذي قد ينعكس عن الجدار الصلب. لذلك لا يكون عامل الامتصاص الصوتي لهذه المواد سيئاً. الجدول (٥-١).

يتعلق امتصاص المواد المسامية بالتردد بشكلٍ كبيرٍ جداً. فكلما كبر تردد الأمواج الصوتية زاد الامتصاص أكثر.

تستخدم المواد المسامية لامتصاص الصوتي في كل من دور السينما والمسارح وصالات الحفلات والاستديوهات وقاعات المحاضرات، كما تستخدم أحياناً في الأبنية ذات الاستخدامات العامة.

نذكر من أهم المواد المسامية السجاد بأنواعه المختلفة. ومن أجل زيادة الامتصاص للأمواج الصوتية ذات الترددات المنخفضة نقوم إما بزيادة سمك المادة المسامية، أو ترك فاصل هوائي بينها وبين السطح (الجدار مثلاً) الصلب، الذي يجب توضعها عليه. الجدول (٥-١).

تستخدم أحياناً مواد مسامية ذات أسطح مصقوله من أجل سهولة تنظيفها ومسحها. وفي أحيانٍ أخرى توضع المادة المسامية ويوضع فوقها طبقة أخرى متينة لحمايتها من الأضرار والطرقات أو الضربات الميكانيكية. وتكون عادة طبقة الحماية هي عبارة عن شبك معدني أو بلاستيكي. كذلك توضع أحياناً طبقة رقيقة لحماية المادة المسامية من الغبار أو التفتت. إن هذا التركيب من الحاجز يسمح بالحصول على عوامل امتصاص كبيرة نسبياً ولجميع ترددات الأمواج الصوتية. ويستخدم في المنشآت المختلفة. ويتم التحكم بعامل الامتصاص وبالتالي شدة الامتصاص ولجميع الترددات للأمواج الصوتية عن طريق سمكة المادة المسامية وسمكة غطائها الواقي وبأبعاد وشكل الفتحات المسامية.

ومن أجل زيادة معامل الامتصاص أكثر ليصل حتى ٠.٩ يمكن وضع عدة طبقات مسامية يفصل بينها الهواء، أو وضع ألواح من الخشب أو أي مواد أخرى ماصة للصوت.

وفي النهاية يجب القول: إن عملية العزل الصوتي أو عزل الضجيج للأماكن المغلقة تتم عادة من خلال معادلات رياضية حسابية ناظمة يقوم بها المهندس أو الفني المختص في علم الصوتيات، وإن أي عملية تعديل في السطوح الداخلية من أجل الديكور أو سواها يجب أن تأخذ بالحسبان الناحية الصوتية للمكان بحيث لا تؤثر هذه على الوظيفة المطلوبة وعلى صحة الأداء الصوتي للمكان المغلق. ويفضل أن يتم التنسيق بين المصمم الداخلي للمكان وبين أخصائي الصوت قبل كل خطوة. وإذا لم يكن هذا بالإمكان فإن تجريب النظام الصوتي في نهاية أي عملية تعديل للمكان المغلق، وبالأخص سطوحه الداخلية هو الحكم النهائي على صحة عمل هذا النظام.

إن العزل الصوتي لقاعات الاستماع ليس واحداً وإنما يتعلق هذا بوظيفة هذه الأماكن. وعندما تتعدد وظيفة أي مكان، أو الغاية من القاعة يتم تقدير الشدة الصوتية المسموح بها. وكذلك التفكير في عملية العزل الصوتي وماهية المواد العازلة الممكن استخدامها وطريقة تركيبها. وسنقوم لاحقاً في هذا الكتاب بدراسة بعض القاعات كامثلة، والتي هي أكثر شيوعاً في الاستخدام وتحتاج إلى دراسة صوتية وإلى عزل صوتي.

#### ١-٢-٤- متطلبات النظام الصوتي:

إن دراسة النظام الصوتي لمكان ما، تشمل الاعتبارات الرئيسية التالية [٩] و [١٠]:

- ١- اختيار نظام التغطية الصوتية الملائم للمكان المطلوب دراسته.
- ٢- تحديد مستوى شدة الحقل الصوتي عند المستمع.
- ٣- تحديد الأماكن الملائمة لوضع مكبرات الصوت، وتحديد مواصفات هذه المكبرات.
- ٤- تأمين التباين في منسوب الصوت.
- ٥- تأمين معدل سمعي جيد.
- ٦- دراسة متطلبات النظام الصوتي.

وسنقوم فيما يلي بدراسة كل واحدٍ مماسيق بشكل موجز.

#### ١- اختيار نظام التغطية الصوتية الملائم:

إن الأنظمة الصوتية المعروفة بها في وقتنا الحاضر هي ثلاثة وهي:

**١- النظام الصوتي المركزي:** يعتمد هذا النظام على وجود مكبر واحد للصوت أو عدة مكبرات قريبة من بعضها ضمن المكان بشكل أن يكون هذا أو هؤلاء قادرين على إيصال مستوى الصوت المطلوب بالشروط المناسبة إلى كافة الحضور. يركب المكبر أو مجموعة المكبرات عادةً على الواجهة الأمامية للمكان.

بعد هذا النظام الأفضل من الناحية الصوتية، إنه يستخدم مجموعات مكبرات مركبة تحتوي على مخاريط (horn) صوتية عالية الجودة والتوجيه، خاصةً في مجال الترددات العالية. ويحتوي كذلك على أبواق عالية الجودة والتوجيه، خاصةً بالترددات المنخفضة. إن هذه المجموعات ضخمة جداً وأبعادها تتراوح بين ستة أقدام عرض وثمانية أقدام طول وثلاثة أقدام ارتفاع. وهذه الأرقام يتوجب على الأخصائي أن يكون على بينة منها ويأخذها بالحسبان عند دراسة الديكور الداخلي للمكان. وتستخدم مثل هذه المكبرات في قاعات المحاضرات الكبيرة والمسارح الصغيرة. ويوضع هذا النوع من المكبرات عادةً في مكان قريب من المتحف؛ ففي المسارح توضع هذه المكبرات المركزية فوق خشبة المسرح وعلى الخط المتوسط للمسرح. إن هذا التوضع للمكبرات يؤمن اتجاهية صحيحة للمكبرات وسهولة في التصميم.

**٢- نظام المناطق:** ويعتمد هذا النظام على تقسيم المكان المدروس إلى عدة مناطق، بحيث يغطي كل مكبر (أو مجموعة مكبرات قريبة من بعضها) منطقة محددة من هذه المناطق.

**٣- النظام الموزع:** ويعتمد هذا النظام على توزيع مكبرات الصوت في العديد من النقاط داخل المكان المدروس، على الجدران أو الأسقف أو على كليهما معاً، بشكلٍ ظاهر أو مخفى، بحيث تكون الشدة الضوئية في أي موضع من المكان متساويةً لمحصلة ما تعطيه جميع المكبرات أو معظمها معاً. إن هذا النظام مستخدم لتوزيع المكبرات على المساحة المطلوبة. يحتوي هذا النظام عادةً على مجموعة من المكبرات ذات سوية الصوت المنخفضة والموضوعة في الأعلى، على السقف أو الجدران، كما ذكرنا، بحيث يغطي كل مكبر مساحة صغيرة من كامل مساحة المكان، بشكل مشابه تماماً لطريقة توزيع أجهزة الإنارة. يستخدم هذا النظام في الأماكن التي تكون فيها ارتفاعات الأسقف منخفضة، بحيث لا يمكن فيها تركيب نظام المكبرات المركزي. كما يستخدم هذا النظام أيضاً في أماكن

الإعلان الجماهيري، والتي يكون فيها التوجيه غير ضروري، مثل المعارض ومحطات القطارات ومحطات الباصات وما شابه.

إن زوايا التغطية في هذا النوع من التوزيع للمكبرات يكون ٦٠ درجة، إذا كان المكان للحفلات الموسيقية ذات الجودة العالية. و ٩٠ درجة للمهرجانات الخطابية ( تدعى أيضاً مهرجانات كلامية).

وتوجد جداول خاصة يمكن الحصول عليها من الشركات المنتجة تعطي البعد بين المكبرات ومساحة التغطية للمكبر الواحد، وذلك لارتفاعات المختلفة للأسقف وزوايا تغطية ٦٠ و ٩٠ درجة وفي الحالتين المختلفتين والحضور في وضعية الوقوف، أو الحضور في وضعية الجلوس.

ومن أجل حساب عدد المكبرات المطلوبة يتم تقسيم المساحة الكلية المراد تغطيتها بالصوت على المساحة الجزئية التي يغطيها المكبر الواحد.

أما إذا كان هناك تداخل صوتي في المكبرات فيتم استخدام علاقة حسابية أخرى لتحديد عدد المكبرات.

وفي جميع الحالات السابقة لتركيب المكبرات يجب الأخذ بالحسبان توجيه هذه المكبرات حتى تصل إلى أذني المستمعين بالسوية المطلوبة. أما بالنسبة لمسافة بين اللاقط والمكبر فيجب لا تزيد عن ٥٠ قدم. فإذا زادت عن ٥٠ قدم فإن المتحدث سيسمع صوته بتأخير زمني مزعج. وكذلك يتوجب على اللاقط لا يقع ضمن مساحة تغطية المكبرات، حتى لا تحدث تغطية خلفية وصفير.

## ٢- تحديد مستوى شدة الحقل الصوتي عند المستمع:

تحدد سوية الصوت المطلوبة أو شدة الحقل الصوتي عند المستمع بناءً على سوية الضجيج في الموضع أو المكان الذي نريد دراسة النظام الصوتي له، بحيث تكون شدة الصوت أعلى من مستوى الضجيج السائد في المكان المدروس بقيمة تتراوح بين: (٢٠ - ٢٥) dB، أو على الأقل أعلى بـ ١٠ dB عن بعد مستمع. أما في القاعات المتعددة الأغراض، والتي تستعمل للاجتماعات والمحاضرات وما شابه، فيجب أن تكون سوية الصوت أعلى بحوالي ٢٥dB عن مستوى الضجيج في القاعة. وتقى من خلال جداول خاصة قراءة قيم سويات الضجيج للأماكن المختلفة كما بينها الجدول (٦-١) السابق.

ونورد في الجدول (٧-١) التالي سويات الصوت المطلوبة لقاعات الاستماع المختلفة وبعض الأماكن الأخرى.

**الجدول (٧-١) المتطلبات الصوتية من القاعات والأماكن**

نوع المكان أو القاعة	سوية الصوت المطلوبة dB
قاعات الكونسرت، دور الأوبرا وقاعات العزف المنفرد.	٢٠-٣٠
استوديوهات التسجيل والإذاعة.	٢٥-٣٠
قاعات الاستماع الكبيرة، مسارح الأعمال الكبيرة، دور العبادة، استوديوهات الإذاعة والتسجيل والتلفزيون.	٣٠-٣٥
قاعات الاستماع الصغيرة، المسارح والكنائس الصغيرة، غرف التمارين الموسيقية، قاعات المؤتمرات والاجتماعات الكبيرة. غرف النوم، المشافي والفنادق والموتيلاط وما شابه من كل ما هو مخصص للنوم والراحة.	٣٥-٤٠
المكاتب الخاصة وشبه الخاصة، قاعات الاجتماع الصغيرة، الصوفوف الدراسية	٤٠-٤٥
غرف المعيشة في المنازل وما شابه	٤٥-٥٥
المكاتب الكبيرة، غرف الاستقبال، محلات ومخازن البيع بالفرق، الكافيريات والمطاعم وما شابه.	٤٥-٦٠
الأروقة، المخابر، غرف الهندسة والرسم الهندسي والسكرتارية	٥٠-٥٥
المطابخ العامة، أماكن الصيانة وغسل الملابس العامة، المحل التجارية بشكل عام، الكراجات، غرف التحكم في المصانع الكبيرة وما شابه. وجميع الأماكن التي لا تتطلب المحادثة الشفوية أو الهاتفية على ألا تشكل خطراً على السمع	٤٥-٦٠

وفي الأماكن التي يطلب فيها الوضوح في الصوت كالمسارح وقاعات المؤتمرات والمحاضرات وما شابه تؤخذ القيمة عادة: ٢٥dB.

يتطلب تحديد مستوى شدة الحقل الصوتي أيضاً، بالإضافة إلى معرفة مستوى الضجيج في المكان، دراسة طبيعة الوسط المحيط بقصد معرفة جميع الظواهر التي يمكن أن تتوارد فيه مثل الامتصاص والارتداد والصدى والانعكاس وتحقيق زمن الارتداد المطلوب وكل مايلزم. فالمطلوب من المكان تحقيق الغاية الصوتية المنشودة. وإذا ثبنت أن ذلك لم يتحقق فيتوجب القيام ببعض المعالجات الخاصة للأسطح، كإضافة مواد ماصة للصوت أو عاكسة له.

**٣- تحديد الأماكن الملائمة لوضع مكبرات الصوت، وتحديد مواصفات هذه المكبرات:**  
بعد معرفة نظام توزيع المكبرات يتم اختيار أمكنة توزيعها المناسبة، آخذين بالحسبان الشدة الصوتية المناسبة والمتجانسة في كامل المكان وبقدر الإمكان تبعاً للوظيفة المطلوبة من المكان.

**٤- تأمين التباين في منسوب الصوت:**  
ويقصد بذلك تأمين حد أدنى من التباين في الصوت بين نقطة من المكان وأخرى، والسعى إلى جعل هذا التباين أقل ما يمكن، بحيث يضمن توزيعاً صوتياً متجانساً داخل المكان المدروس. الجدول (٨-١) يعطي بعض القيم الدالة للحدود العظمى لهذا التباين.

الجدول (٨-١) بعض القيم الدالة للحدود العظمى للتباين الصوتي

مجال استخدام نظام التغطية الصوتية	المنسوب الصوتي الواجب توفره [dB]	المنسوب المنسوب بين مختلف النقاط [dB]	تبابن المنسوب الصوتي بين مختلف النقاط	النسبة العظمى للمعدل السمعي [R <sub>max</sub> ]
أماكن عزف الموسيقى وعرض المسيرحيات والمؤتمرات الصوتية	١٠٠	٦		٨-١٠
عزف موسيقى مرافق لمطرب منفرد	٩٤-٩٦	٦		٨-١٠
عزف موسيقى مصاحب لخطابة أو شعر في قاعة ضوضاؤها مرتفعة نسبياً	٩٤-٩٦	٨		٤-٦
صوت محاضر أو خطيب في	٨٠-٨٦	٦		٤-٦

			قاعة ضوضاؤها منخفضة
٨-١٠	٨	٦٠-٧٠	عزف موسيقى هادئة

#### ٥ - تأمين معدل سمعي جيد:

يتوجب تأمين معدل سمعي جيد من أجل الحصول على أفضل درجة من الوضوح في الكلام لجميع الحضور في المكان. مع العلم بأن المقصود بالمعدل السمعي هو النسبة بين كثافة الطاقة الصوتية المنعكسة عن الحواجز والمتتالية في أجواء المكان وبين كثافة الطاقة الصوتية المباشرة الصادرة عن مكبر الصوت.

#### ٦ - دراسة متممات النظام الصوتي:

مثل عدد اللواقط التي يتوجب أن تعمل في آنٍ واحد، وتصميم الشبكة الصوتية مثل الكابلات ومساراتها، وتحديد مواصفات المجموعة الصوتية بجميع عناصرها ومكوناتها لتحقيق الغاية المطلوبة.

#### ١-٢٢-١ - التصميم المعماري الصوتي لقاعات الاستماع:

إن المبادئ العامة لدراسة النظام الصوتي في الأماكن المغلقة ( قاعات الاستماع ) هي واحدة، إلا أن طرائق دراسة كل واحدة من قاعات أو صالات الاستماع تختلف وفق الغاية من هذا المكان [٣] و [٩] و [١٢].

إن المعطى الأساسي لأي قاعة استماع هو معرفة الغاية منها ( مثلاً صالة مسرح، سينما، سماع موسيقى، كونسرت، باليه، قاعة محاضرات، مهرجانات خطابية، أو صالة متعددة الاستخدامات ) وعدد الأشخاص المطلوب استيعابهم. وهذا يتحدد من خلال الجهة صاحبة المشروع. كأن يطلب مثلاً: صالة مسرح تستوعب ٥٠٠ مشاهد، ويتم في هذه الصالة إجراء عرض الأعمال المسرحية وكذلك الحفلات الموسيقية المختلفة...إلخ من فعاليات ونشاطات أخرى قد تطلب إضافةً لمسبق. إن الخطوات التصميمية لتنفيذ المطلوب تكون على الشكل التالي [٢]:

- تحديد أبعاد الصالة الرئيسية وشكلها العام.
- تصميم شكل الأرض، على مستوى واحد أو بشكل مدرج مثلاً.

- توزيع أماكن الحضور (المستمعين) وتصميم الشرفات (أماكن أو منصات الجلوس المرتفعة في الصالات).
  - تحليل الانعكاسات الصوتية الممكنة.
  - تعديل شكل الصالة حسب الانعكاسات الصوتية.
  - تأمين شدة صوت متجانسة لكافة الحضور.
  - اختيار الإكساء الداخلي والديكورات المختلفة وفق الترددات الصوتية و زمن الرنين.
- يضع المهندس المعماري مساقط الصالة الأفقية والأمامية العمودية بمقاييس مناسبة، ويبيّن عليه مستوى الأرض. وكذلك يضع مذكرة نظرية تتضمن توزيع الحضور والمرات والشرفات والأبعاد كاملة.
- يتم تحديد الأبعاد الرئيسية للصالات، ومن ثم شكلها العام إنطلاقاً من الحجم الهوائي لكل واحد من الحضور وفقاً لمهام المكان وعدد الحضور بناءً على الخبرات العالمية وفق الجدول التالي (٩-١):

**الجدول (٩-١) القيم المسموحة للحجم الهوائي في أماكن الاستماع المغلقة**

نوع قاعة الاستماع (المكان المغلق)	الحجم الهوائي لكل مستمع مقداره $m^3$
قاعة محاضرات، مسارح دراما	٤-٥
دور سينما	٤-٦
صالات النوادي المختلفة	٤-٧
مسرح موسيقى، دراما	٥-٧
صالات أوبرا أو باليه	٦-٨
صالات استعراض	٨-١٠

ويسمح باختلاف القيم عن القيم المذكورة في الجدول بمقدار ٢٠% فقط، وإلا سينجم عن أي تغيير كبير عن القيم المذكورة في الجدول السابق مساوى في الصوت يصعب تقاديمها فيما بعد. فزيادة الحجم الهوائي سيسبب بضياع في الصوت، وزيادة في جهارة الأصوات. وبؤدي نقصان الحجم الهوائي إلى مشاكل معاكسة، بالإضافة لمشاكل في التهوية (زيادتها). وتكون مساحة الأرض من المكان المغلق لكل مستمع وفق الجدول (١٠-١) التالي:

**الجدول (١٠-١) القيم الدنيا لمساحة أرض قاعات الاستماع**

نوع قاعة الاستماع	المساحة لكل مستمع مقدرة بـ $m^2$
صالات سينما	١
نالٍ لأغراض مختلفة	٠.٩
مسرح، صالة عامة أو استعراضية	٠.٧

حيث تدخل في حساب القيم مساحة الشرفات، وأي مساحات أخرى في المكان. ففي صالات السينما والمسارح تحسب المساحة من طرف الشاشة أو بداية خشبة المسرح، أي لا تدخل مساحة خشبة المسرح في الحساب. بناءً على قيم الجداول السابقة تتحدد أبعاد المكان. ويتم الأخذ بالحساب أن تكون المسافة إلى أبعد مستمع، وبالتالي طول المكان وفق قيم الجدول

(١١-١):

**الجدول (١١-١) بعد الطولي المسموح به**

نوع المكان المغلق	الطول الأعظمي له بـ $m$
صالات سينما	٤٥
قاعات محاضرات	٢٤
مسرح دراما	٢٥
صالات استخدامات عامة تسع حتى ٧٠٠ مستمع	٣١
صالات استخدامات عامة تسع أكثر من ٧٠٠ مستمع	٤٣
صالات أوبرا أو باليه	٣١
صالات استعراضية من دون استخدام تكبير صوت	٤٥
صالات استعراضية مع استخدام تقوية أصوات	٦٠

ثم يتم بناءً على علاقات معمارية معروفة تحديد عدد صفوف المستمعين وتوزيع الصفوف، آخذين بالحساب وجود شرفات للاستماع، أو عدم وجودها... إلخ.

بشكل عام يمكن القول: إن صالات الاستماع الموسيقي يفضل فيها أن يكون الطول ليس كبيراً، ويفضل زيادة ارتفاعها مما يسمح بحرية أكبر لمعالجة سطوح الجدران. أما زيادة

طول الصالة فيتسبب بتخادم في الصوت في الصفوف الأخيرة وبالتالي يقل مستوىه، وخاصةً عندما تكون الأرض مستوية، لذلك ينصح برفع منصة المسرح، وتصميم الأرض بزيادة ارتفاعها التدريجي بدءاً من المقدمة أمام المنصة ووصولاً إلى نهايتها.

#### ١-٢٣- دراسة بعض قاعات الاستماع:

سنعمل في هذه الفقرة على تبيان الأسس العامة في تصميم بعض الفراغات الداخلية الهامة من الناحية الصوتية، أو تلك التي تحتاج إلى دراسة صوتية خاصة، سواء كانت هذه بحاجة لمجموعة صوتية خاصة بها، أو لا. ولن ندخل في تصميم المجموعات الصوتية بقدر اهتمامنا بالناحية التصميمية، فيما يخص الأسقف والجدران والأرض للفراغ المطلوب.

#### ١-٢٣-١- الصالات الكلامية (الندوات والمؤتمرات والمدرجات):

إن أهم ما يحدد الصالات التي تكون الغاية منها هي سماع الكلام أو الخطاب الشفوي فقط هو جودة الصوت الكلامية، من حيث الوضوح والجهارة والشدة الصوتية. ويقصد بالصالات الكلامية في هذا المجال قاعات الاجتماعات وقاعات المهرجانات الخطابية وما شابه.

يتم عند تصميم الصالات الكلامية مراعاة النقاط التالية [٣] و [١٠]:

- ١- أن يكون طول الصالة صغيراً.
- ٢- زمن الارتداد قليل.

٣- أن يصل الصوت المباشر بشدة كبيرة ويصل صوت آخر منعكس لمرة واحدة فقط وبزمن تأخير بسيط إلى آذان المستمعين.

إن تحقيق القواعد السابقة يتطلب:

- تغريب منطقة جلوس المستمعين قدر الإمكان إلى المصدر الصوتي.
- أن يراعى عدم توزيع أماكن المستمعين بشكل منفصل (كل مقعد أو كرسي لوحده) وأن تكون هذه الأماكن على مسافات أو مقطوعات متباينة عن بعضها. وإذا بقي رغم ذلك طول الصالة كبيراً فيجب وضع شرفات.

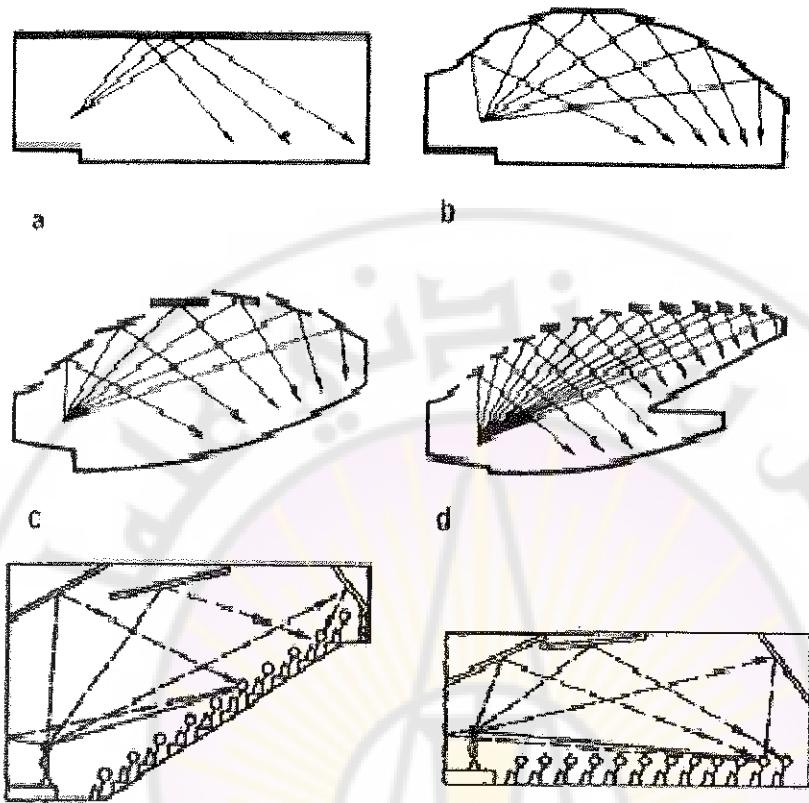
- أن ترفع خشبة الكلام (المنصة أو مكان وقوف الخطيب أو المتحدث) بشكل كبير وواضح وكافٍ، كما تصمم الأرض بميلٍ معين، تكون فيها أخفض نقطة هي المقاعد الأولى الأقرب للمنصة.
- لا يتجاوز عرض الصالة عن  $20\text{m}$  ، وأن تكون الزوايا بين الجدران الجانبية عريضة.
- يؤخذ عادة، نتيجة الخبرات والتجارب، ارتفاع الصالة قرب منصة الكلام ليكون أقل من  $10\text{m}$  وتوضع عواكس صوتية حول منصة الكلام لتوجيه الانعكاسات الفليلة التأخير الزمني إلى أمكانة المستمعين.

وتوخذ عادة، نتيجة الخبرات والتجارب الملاحظات التالية بالحسبان:

- لا يزداد استيعاب القاعة عن  $400$  مكان جلوس للأشخاص، انظر الجدول (١١-١) حجم القاعة يساوي  $2000\text{m}^3$ . فزيادة عدد المستمعين بشكل أكبر من ذلك سيؤدي إلى صعوبة إيصال الصوت إلى الصنوف البعيدة عن المصدر الصوتي، مما يتطلب وضع أنظمة صوتية اصطناعية لتفوية الصوت.
- إن تصميم قاعات كلامية باستيعاب أقل من  $200$  شخص، كقاعات المحاضرات مثلاً، عملية سهلة. فيكفي أن يكون السقف أعلىً وأستوياً، مسقطه ذو مقطع مستطيل. وارتفاع وعرض القاعة غير كبيرين.
- أما إذا تتطلب الأمر عدداً أكبر من المستمعين، أي حجم ومساحة أكبر أيضاً فيجب عددها وضع عواكس للصوت خلف وحوانب المتكلم وأحياناً في الجدار المواجه له من جدران القاعة.

الشكل (٣٤-١) يبين مثل هذه الحالة، وفيه أيضاً مساقط جانبية لقاعات استئناع كلامية ذات أشكال ومساحات مختلفة مروسة صوتياً.

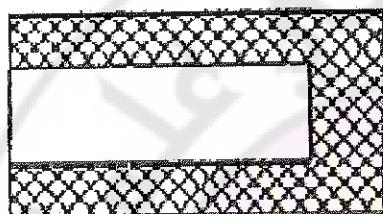
- بعد الحجم الصغير نسبياً لكل مستمع من قاعات المستمعين الكلامية، كما هو مثلاً في صالات مسرح الدراما، الميزة الأهم لمثل هذه الصالات. وباعتبار أن صوت الممثلين وفناني الدراما هو عادةً قوي وأشد من صوت المحاضر، لذلك قد يصل استيعاب صالة المسرح حتى  $1200$  مستمع. ويكون الحجم الأعظمي للصالة في هذه الحالة بحدود  $6000\text{m}^3$ .



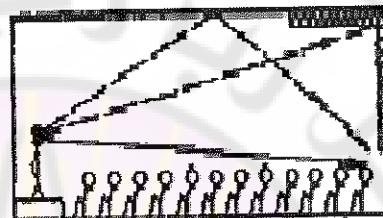
الشكل (١) قاعات استماع كلامية مدرسوة صوتيًا، العواكس السقفية فيها تعمل على توزيع متجانس للصوت في جميع أرجاء القاعة ولم تستعمل في هذه القاعات مواد ماصة للصوت على الأسطح

من المزايا الرئيسية أيضاً للقاعات التي تستخدم تصاميم مسرحية أنها لا تصمم عادةً بسقفٍ مستويٍ ولا تصمم الجدران الجانبية متوازية (المسافة بين الجدران مثلاً تتسع كلما ابتعدنا عن المنصة)، وخصوصاً أن الممثلين ينتقلون أحياناً إلى صالة المترجرجين فتتغير وبالتالي الانعكاسات الأولية لأصواتهم، ولا يسمعها المترجرجون، لذلك يجب وضع عواكس كبيرة المساحة قرب المنصة، ويكون في هذه العواكس عناصر منحنية ومحدبة، بحيث تحقق هذه العواكس الانعكاسات الصوتية على أماكن المستمعين عند حركة الممثل على

خشب المسرح وكذلك بين الحضور، كما يمكن الاستفادة من هذه العواكس أو بعضها في عملية الإضاءة بشكلٍ ما بما يخدم الغرض. وبفضل في المسارح أن تكون عواكس الصوت من النوع الأمثل قدر الإمكان (جيدة العكوس) ويراعى أن تكون عناصر الديكور على المنصة من النوع العاكس أيضاً للصوت، بشرط ألا تكون قريبة جداً من موضع حركة وكلام الممثل. انظر الأشكال السابقة (٢٠-١) لقاعات كلامية مدرستة صوتيًا.



**مسقط أفقى للسقف**



**مسقط جانبي**

الشكل (٣٥-١) قاعة استماع كلامية مدرستة صوتيًا. لقد تم في هذه القاعة إلغاء الأصداء والانعكاسات غير المرغوب فيها عن طريق مادة ماصة للصوت في جزء من سقف القاعة. لاحظ أيضًا الشكل (٢٠-١)

بكثير في قاعات الاستماع الكلامية الخطابية، ونتيجة الخبرات، استخدام مكبرات صوتية عمودية مركبة، أي ذات توجيه مركز. ويغلب وضع الأعمدة الصوتية فوق المنصة أو بالقرب منها، بحيث يظهر الصوت وكأنه قادم من المتحدث مباشرةً

#### ١-٢-٢- الصلات الموسيقية:

إن ما يميز قاعات سماع الموسيقى عن تلك الكلامية هو أنه يجب تأمين شدة حقل صوتية منتظم داخل الصالة. إضافة إلى زيادة زمن الارتداد الذي يكون هنا مطلوباً، و إعطاء انطباع فراغي لدى المستمعين.

إن الانعكاسات الصوتية الأولية ذات التأخير الزمني البسيط والشدة العالية تكون غير مرغوبة لدى بعض المستمعين، لأنها ترفع من وضوح الموسيقى ولكنها تخلل من الانطباع الفراغي

لصالحة. لهذا السبب تعد دراسة هذا النوع من قاعات الاستماع معقدة للغاية وبجاجة إلى مختصين ماهرين [١٠].

إن تصميم قاعات الاستماع للأوبرا والباليه تختلف قليلاً عن قاعات مسرح الدراما بما يلي:

١- باعتبار أن هذا النوع من القاعات بحاجة لإحساس صوتي حجمي أفضل فإن زمن الارتداد يزداد بنسبة تتراوح بين (٢٥% - ٢٠%) لذلك يزداد حجم الفراغ لكل مستمع بشكل بسيط.

٢- يسمح بابتعاد المقاعد الأخيرة عن المسرح، على ألا يتجاوز هذا البعد  $31m$ . فلمغني الأوبرا عادةً صوت أشد وأقوى من صوت ممثل الدراما.

٣- يمكن زيادة زمن تأخير الانعكاسات الصوتية ليصل حتى  $35ms$  وبالتالي يزداد ارتفاع وعرض الفراغ المسرحي.

٤- تختلف العواكس حول المنصة لتصبح أحياناً أفقية مع مظلة عاكسة، بينما تفتح العواكس الجانبية على الصالة بشكل متدرج.

٥- يجب أن يكون الحقل الصوتي منتظمًا أكثر، لذلك يلزم استخدام مشتقات فعالة للصوت.

٦- يبلغ الإستيعاب الأعظمي لصالات الأوبرا عادةً حوالي ١٥٠٠ حتى ١٧٠٠ شخص. ويكون الحجم الأعظمي مابين  $10000m^3$  وحتى  $12000m^3$ . الجدول (١٢-١) يبيّن معطيات بعض قاعات الاستماع المستخدمة للأوبرا في العالم [٣].

الجدول (١٢-١) محددات بعض صالات الأوبرا في العالم

اسم القاعة	عدد المستمعين	حجم القاعة $m^3$	حجم كل مستمع $m^3$	زمن الارتداد منسوبًا إلى الترددات المتوسطة
مسرح لاسكار في ميلانو	٢٤٨٩	٩٠٠٠	٤.٣	١.٢
مسرح البولشوي في موسكو	٢١٣٠	١٢٠٠٠	٥.٢	١.٣٥
دار الأوبرا الوطني في أوديسا	١٧٢٨	٩٠٠٠	٥.٢	١.١
دار الأوبرا الوطني في باريس	٢٢٣١	٩٩٦٠	٤.٥	١.١
دار الأوبرا في فيينا	١٩٣٨	١٠٦٦٠	٥.٥	١.٣

إن الشكل الشائع لقاعات الأوبرا هو الشكل البيضاوي، ويغلب فيها استخدام الشرفات المتعددة، بحيث تؤمن عدم ابعاد المستمعين كثيراً عن مصادر الأصوات المنطقية من المنصة.

أما القاعات التي يتم فيها عزف الموسيقى بأنواعها، عزفاً منفرداً أو جماعياً فيزداد فيها الحجم الهوائي لل المستمع الواحد وكذلك زمن التردد مقارنة بتلك التي تكون في الغالب مخصصة للأوبرا. الشكل (٣٦-١) في ملحق الصور الملونة يبين قاعة لاستخدامات الموسيقية.

#### ١-٢-٣-٣- أماكن العبادة:

إن الإنشاءات المعمارية في أماكن العبادة، كالأعمدة الإسمنتية الضخمة والصلبة وكذلك الجسور الساقطة والأسقف العالي وسواءها تتسبب بصعوبات في انتشار الصوت في كافة أنحاء المكان. فيغلب في أماكن العبادة استخدام مجموعات من الأعمدة الصوتية (واحدة أو اثنان على الأغلب) التي توضع على المنصة خلف المتحدث أو على جانبيه، وفقاً لأبعاد مكان العبادة، لتوصيل هذه الصوت للمستمعين وكأنهم يسمعون المتحدث مباشرةً [٣] و [١٠].

#### ١-٢-٣-٤- القاعات المتعددة الاستعمالات:

هذا النوع من القاعات يصمم ليلاً إلى حد ما لاستخدامات المختلفة لقاعات، سواء لعزف الموسيقى أو المهرجانات الخطابية والاحتفالات المختلفة. يفضل الكثيرون تصميم مثل هذه القاعات لاعتبارات مادية بحتة، فهي تفي بجميع أغراض قاعات الاستئناف. إلا أن هذا النوع من القاعات لا يمكن أن يؤدي الوظيفة المطلوبة منه إلا إذا صمم من الناحية الصوتية ليناسب جميع الأغراض المطلوبة، لذلك تكون قيمة من الناحية الصوتية واقعة ضمن الوسط، ولن تكون الجودة الصوتية فيه كما في القاعات المخصصة لنوع واحد فقط من الاستخدام. تصمم مثل هذه القاعات أو الصالات، وفقاً للخبرات، كما يلي [٣] و [١٢]:

- استيعاب وسطي للحضور يساوي ٣٠٠ وحتى ١٢٠٠ مستمع. وحجم يساوي  $1500 \text{ m}^3$  وحتى  $6000 \text{ m}^3$ .
- زمن ارتداد وسطي مناسب وفقاً للحجم لكل مستمع.
- يتم الأخذ بالحسبان أن يكون زمن التأخير بسيطاً، فهو يكفي لسماع الكلام جيداً وكذلك صوت الموسيقى، لذلك يتم استخدام عواكس صوت مناسبة، بأن يتم مثلاً استبعاد استخدام العواكس المحدبة للصوت وكل ما يسعى لتشتيت الصوت بشكل كبير.
- يكون الارتفاع والعرض قرب المنصة، بحيث يؤمن تأخير زمنياً للإعكاسات الأولية في المجال من  $20 \text{ mS}$  وحتى  $30 \text{ mS}$ .
- يمكن استخدام سطوح عاكسة للصوت أو ماصة له بشكل مؤقت ومناسب وفقاً للغرض، من أجل تحسين الأداء الصوتي.

#### ١-٤- استخدامات صوتية أخرى:

لم تعد تستخدم الدراسات الصوتية لقاعات الاستماع فقط، وإنما ومع تطور الحياة وتعدد وإختلاف أشكال الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية فرضاً هذه أنماطًا جديدة تتطلب أحياناً الحفاظ على وسط خالٍ، أو قليل الضجيج قدر الإمكان يستطيع الإنسان من خلاله أن يمارس حياته بأقل قدر ممكن من التلوث الصناعي. والتلوث الصناعي الذي فرضه التطور الطبيعي للحياة، وخاصةً في الدول الصناعية المتقدمة، يشكل الضجيج والتشویش أحد أشكاله؛ فعلى سبيل المثال وجود الكم الهائل من العربات المتحركة على الطرقات القريبة من أماكن السكن والمدارس والجامعات وجميع المؤسسات التي يتحرك ضمنها البشر، تطلب التخفيف من الضجيج الذي تسبب به حركة العربات على الشوارع، وخاصةً السريعة منها، لذلك يعمد المختصون لوضع جدران على مسار الطرقات تحتوي على سطوح ملائمة للأصوات عليها، على الجانب الداخلي منها، من جهة الشارع، تكون مهمتها امتصاص أو حجب الضجيج الذي تسبب به حركة العربات على هذه الشوارع [٣] و[٩] و[١٠]، انظر الشكل (١٥-١).

تتحدد طبقات العزل وارتفاع الجدار وفقاً لقرب وبعد الأبنية عن الطريق، ونوع الطريق والحافلات التي تسير عليه؛ فضجيج الفاطرات والحافلات الكهربائية على السكك الحديدية يختلف على سبيل المثال عن ذلك الذي تتسرب به الحافلات العادية على طرقات الإسفلت.

ذلك الأمر فقد فرضت طبيعة الحياة بعض الأعمال المكتبية التي لا تخلو من وجود الضجيج والكلام المتواصل عبر أجهزة الإتصال، كالهواتف مثلاً، أو المباشر مع الناس المراجعين، مما يتسبب ذلك بوجود وسط عمل يسيطر عليه الكلام المتواصل والضوضاء لمجموعة من الموظفين أو المتعاملين معهم أو كليهما. ومن أجل التخفيف من هذه الضوضاء والتشویش المتبادل يتم عزل أماكن العمل عن بعضها قدر الإمكان بمواد ماصة أو مخمدة للأصوات، بحيث يبقى مجموعة الموظفين ضمن المكتب الواحد نظراً لاحتاجهم الدائمة لبعضهم البعض أثناء العمل، وبنفس الوقت يكون كل واحد منهم مفصولاً صوتياً، لحد ما عن الآخر. الأشكال (٣٧-١) و (٤٠-١) و (٣٩-١) في ملحق الصور الملونة تبين أمثلة على مثل تلك الأوساط [١١] و [٩] و [١٠].

#### ١-٢٥- تقنيات تركيب المواد الصوتية:

يقصد بالمواد الصوتية تلك المواد العاكسة للصوت والماسحة له. ومن هذه المواد ماهو طبيعي، مثل تلك المواد الأساسية الموجودة في الأمكنة والقاعات، كالجدران والأعمدة الحاملة والنوافذ الزجاجية والأبواب الخشبية وغير الخشبية والدهان والأسقف الإسمنتية أو المستعارة وجميع مواد الإكساء الداخلي الأخرى، التي تكون الغاية الأساسية منها هي إما إنشائية أو من أجل الديكور، وليس الحالة الصوتية. أما المواد الصوتية الأخرى فهي تلك المواد التي يتوجب إضافتها من أجل أن يكون الأداء الصوتي في الفراغ الداخلي وفق الحاجة أو الغاية المنشودة، وهي تكون إما لغاية امتصاص الصوت أو انعكاسه [١٢].

وكما ازدادت حرفية المصمم الداخلي المختص، وخبرته في الأمكنة الداخلية ، كلما كانت الأعمال الإضافية المطلوبة للأداء الصوتي أقل تكلفةً وتعقيداً، وسمحت أيضاً بالتحكم أكثر بالديكور الداخلي للمكان.

يقوم عادة في التصميم الصوتية الخاصة والمعقدة، كما هو في الاستديوهات الإذاعية والتلفزيونية وقاعات الاستماع المختلفة، كقاعات الموسيقى والمؤتمرات وما شابه، مهندس

الصوت بإجراء الدراسة الصوتية اللازمة، بما في ذلك وضع عواكس الصوت وماصاته، ويتم ذلك عادةً بالتعاون مع المهندس المعماري المصمم. أما المعمار الداخلي ف تكون وظيفته جمالية بالدرجة الأولى؛ فإما أن يتم التنسيق معه مسبقاً لأخذ هذه الناحية بالحسبان، أو يقوم بإجراء تعديلاته الجمالية، فيضيف ديكوراته أو يعدل بالأسطح الداخلية دون أن يتناهى عن الناحية الصوتية المعدة والمدروسة.

لقد كانت مهمة المصمم الداخلي في السابق أكثر صعوبةً مما هي عليه الآن. ففي وقتنا الحاضر يوجد من الأنواع والأصناف المختلفة الجاهزة للتركيب الكثير جداً من المواد الديكورية، والتي يمكن الاستفادة منها في تأمين النظام الصوتي المطلوب، وتتوارد هذه بسماكات ومساحات حسب الطلب يستطيع المصمم الداخلي استخدامها بسهولةٍ ويسرٍ، ويختار منها الملائم والمناسب بما يحافظ على الناحية الصوتية إضافةً إلى الناحية الجمالية.

يتم اختيار المواد المعاصرة للصوت أو العاكسة له بناءً على عوامل الامتصاص أو الانعكاس لها، التي سبق ورودها في جداول خاصة بها، مع العلم أن هذه الجداول ليست نهائية، ففي كل فترة من الزمن يتم إنتاج صنف أو نوع جديد من هذه المواد، والتي غالباً ما تكون مركبة الوظيفة، فهي لغاية الديكور ويفيد بعضها في العزل الحراري إضافةً إلى العزل الصوتي، وقد يختلف وجود هذه المواد بين دولةٍ وأخرى. وبعد التطور العالمي المتتسارع في إنتاج الحديث والأفضل من المواد الصوتية صارت الشركات الصانعة لها تضع نشرات فنية خاصة تبين طريقة تركيب هذه المواد، للأرضيات أو للجدران أو للأسقف بما يتاسب مع حالة إشغال الفراغ الداخلي وطبيعة بيته [١٢]. عندما يكون المطلوب إجراء عزل صوتي لفراغ معين فيمكن عموماً التمييز بين حالتين:

- الأولى هي إجراء العزل للفراغ ضمن بناء موجود وقائم أساساً.
- الثانية هي إجراء العزل لفراغ في بناء يراد تشييده. وهذا يسمح بحرية أكثر في خيارات أعمال العزل الصوتي.

وفي كلتا الحالتين يتم اختيار طريقة العزل الصوتي ومواده تبعاً للغاية من استخدام الفراغ الداخلي؛ فعزل مسكن أو مكتب، مثلاً، يختلف عن عزل استديو إذاعي.... الخ. إن معظم الدول المتقدمة في العالم وضعت قيماً محددة لشدات الأصوات المسموح بها في عووم الفراغات الداخلية لتكون الأصوات مريرة السمع للأذن البشرية. هذه الشادات لاتزيد،

وفق النظام الألماني [٩]، مثلاً، عن dB(٧٥-٨٠). وبناءً عليه حددت هذه الدول قيم الشادات الصوتية المطلوب من الجدران عزلها وفقاً لموضع الجدار كما يلي:

يجب أن يكون مقدار العزل الصوتي dB(٤٠-٤٧) لجدار منزل داخلي (يفصل بين غرفتين متجاورتين في نفس المنزل، مثلاً). و dB(٥٣-٥٥) لجدار يفصل بين منزلين سكينين متجاورين، و dB(٣٧-٤٢) لجدار يفصل بين مكتبين متجاورين. و dB(٥٢-٥٥) لجدار يفصل منزلاً سكنياً عن الأدراج والفسح في البناء. وكذلك الحال بالنسبة للأسقف والأرضيات. وقد قامت هذه الدول بتصنيع أحجار بناء (طوب) ذات طبيعة محددة، وبالتالي قيم عزل صوتي تناسب الاستخدامات المختلفة ليتم البناء بها. وكذلك فقد تم صنع ألواح من مواد عازلة للصوت يمكن شراؤها وتركيبها على الجدران، المبنية أساساً لتقوم بمهمة العزل الصوتي. الشكل (١-٤) في ملحق الصور الملونة يبيّن، على سبيل المثال، مقطعاً من حجر (طوبية) بناء يعزل شادات أصوات بمقدار ٥٨dB وأمور المستخدمة فيها مع سماكتها. والشكل (٤٢-١) في نفس الملحق يبيّن مقطعاً في لوح من مواد عازلة تعزل شادات أصوات بمقدارها ٤٠dB وألمور المستخدمة فيها أيضاً مع سماكتها.

يمكن بشكل عام القول "إنه كلما كان الجدار مرناً وتقليل الوزن كان العزل الصوتي له أفضل". لذلك يتم العزل الصوتي للجدران تبعاً لوزن المتر المربع منها وهي على الهيكل، فيضاف إليها طبقات عزل للحصول على العزل الصوتي المطلوب. ويتم عادةً البحث عن مادة عازلة خفيفة الوزن نسبياً للحد من تحويل البناء.

من أفضل المواد المستخدمة في العزل الصوتي للجدران ذكر:

- ألواح الخشب المضغوط وألواح الجص والكريتون (الجيسيبورد).
- ألواح رغوة الميلامين وألواح الفلين.
- الألواح ذات الألياف المعدنية وألياف السيليلور والألياف الصوفية.
- مواد مرنة من الكاوتشوك أو المطاط وألواح البوليستيرين وألواح البوليبرitan.
- كذلك يفيد وجود القراغ بين الجدران في عملية العزل الصوتي لها.

إذا كان البناء مشاداً ويراد عزل جدرانه من الناحية الصوتية فيمكن أن يتم ذلك بطرق مختلفة، ولعل أسهلها وأبسطها هو تثبيت ألواح من المواد العازلة صوتياً، وأهمها ألواح

الجص والكرتون، بسماكة معينة على الجدار ومن ثم بناء جدار آخر موارٍ للجدار الأساسي، من جهة الداخل أو الخارج، كما يبين الشكل (٤٣-١) في ملحق الصور الملونة.

ويمكن أن تتم عملية العزل الصوتي بشكل أرخص، ولكن أسوء من ناحية العزل، وذلك ببناء جدار ثانٍ إلى جانب الجدار الأساسي ويبعد عنه مسافة هوائية معينة من دون أن يكون بين الجدارين أي مادة عازلة للصوت.

ومن طرائق العزل الصوتي للجدران الشائعة الاستخدام حالياً ذكر على سبيل المثال هذه الطريقة السهلة والبسيطة، التي يمكن القيام بها من دون إجراء عمليات صوت حساسية. في هذه الطريقة يتم تثبيت عارضتين خشبيتين بسماكة تتراوح بين ٣٠٠ مم أو أكثر بشكل طولاني على جسم الجدار مباشرةً، كما يبين الشكل (٤٤-١) في ملحق الصور الملونة. وعلى العارضتين الخشبيتين تثبت ألواح الجص والكرتون العازلة. يمكن ترك الفراغ بين ألواح الجص والجدار على حاله، كما يمكن، ولزيادة العازلية الصوتية، تعيئته بطبقة من مواد عازلة صوتياً، كاللباب المعدني أو الصوف الزجاجي وسواهما، كما يبين الشكل (٤٤-٢). وإذا اطلبت زيادة العزل الصوتي أكثر فيمكن ذلك من خلال زيادة سماكة ألواح الجص والكرتون أو زيادة سماكة العوارض الخشبية (المسافة بين ألواح الجص والكرتون من ناحية الجدار من ناحية ثانية)، كما يمكن اختيار مواد أكثر عازلية للصوت لتعيئتها الفراغ بين الألواح والجدار. ومن الجدير بالذكر أن جميع طرائق مواد العزل الصوتي تفيد أيضاً إلى حد ما في العزل الحراري.

أما عزل الأرض في الحالة التي يكون فيها البناء مشاداً فيمكن أن يتم ببساطة ما يمكن من خلال وضع مفرش أو سجادة أو ما شابه على كامل مساحة الأرض. وكلما ازدادت سماكة هذا المفرش ازداد عزله الصوتي. ويمكن كذلك زيادة العزل الصوتي أكثر من خلال مد مفرش آخر من مادة عازلة للصوت، مثل الكاوتشوك أو اللباد، بسماكة معينة، على الأرض الصلبة، تحت كامل مساحة المفرش الأول. أما إذا لم تسمح طبيعة وظيفة الفراغ الداخلي بعزله صوتياً حسبما سبق فيمكن أن تتم عملية العزل الصوتي بوضع طبقة من المواد العازلة صوتياً، والمناسبة، مثل الصوف المعدني أو البوليستيرين أو المواد الرغوية أو الفلين ... إلخ بسماكة معينة على الأرض الصلبة (الإسمنتية) مباشرةً. وفوق هذه المادة توضع صبة إسمنتية، لتركيب عليها البلاطات الأرضية.

أما الفراغات الداخلية التي يكتسب العزل الصوتي فيها أهمية خاصة فيفضل فيها عزل الجدران عن الأسفار وعن الأرضيات أيضاً لتجنب انتقال الأصوات عبرها. مثل هذه العملية يصعب تحقيقها إذا كان البناء قائماً، وإنما يجب أحذتها بالحسبان في أثناء تشييد البناء. ويمكن لها أن تتم، مثلاً، كما يبين الشكل (٤٧-١)، حيث يتم عزل الجدار عن موضع تركيبه على السقف أو على الأرض الإسمنتية بواسطة طبقة من الكاوتاشوك أو المطاط المرن، وكذلك يتم عزل الجدار بلوح من الصوف الزجاجي، ليتوسط الجزأين المشكلين له من الطوب. أما الأرض ف يتم عليها أولاً إجراء تمديدات الماء والكهرباء وغيرهما اللازمان ضمن طبقة من الشاب والإسمنت، ثم تتركيب مادة العزل الصوتي المناسبة على هذه الطبقة. وعلى الطبقة العازلة يتم صب طبقة إسمنتية ليركب عليها البلاط، أو توضع قبل ذلك تجهيزات التدفئة الأرضية، حسبما يبين الشكل (٤٧-١)، ملحق الصور الملونة.

أما العزل الصوتي للأسطح فيمكن أن يتم بشكل سهل عن طريق وضع سقف مستعار من مادة عازلة صوتياً، كألواح الجص والكرتون، أو أي مادة أخرى فاسية وعازلة صوتياً تحت السقف الأساسي على مسافة معينة منه. وكلما ازدادت المسافة بين السقفين ازداد العزل الصوتي أكثر، وكذلك كلما ازدادت سماكة ألواح الجص والكرتون. ولزيادة العزل أكثر يمكن إضافة مادة عازلة أخرى، مرنة، في جزء من الفراغ الهوائي بين السقفين مثل الصوف الزجاجي أو الألياف المعدنية، أو أي مادة أخرى يسهل تركيبها على السقف المستعار. وبالمثل فإن ازدياد سماكة المادة العازلة هذه سيتسبب بازدياد العزل الصوتي أكثر.

يتم تركيب السقف المستعار على عوارض خشبية متينة تثبت بالسقف الأساسي على مسافة معينة منه بأي طريقة ممكنة، كما بين الشكل (٤-١) في ملحق الصور الملونة. وعلى هذه العوارض من جهة الأسفل تثبت الألواح العازلة الفاسية، ويتوتر عليها من جهة الأعلى المادة العازلة الأخرى، المرنة.

بعد انتهاء أعمال العزل الصوتي للسقف يمكن معالجة السقف المستعار الجديد من الجهة المرئية منه عن طريق دهانه أو تلبيسه بورق جدران أو ..... إلخ، حسبما يرثيه المصمم الداخلي مناسباً للمكان.

في النهاية يجب أن نذكر دوماً بأن نجاح الأعمال الصوتية في الفراغات الداخلية على المستويين التقني والفني وبالشكل الأمثل يتطلب تعاوناً وتضافر جهود جميع المختصين فيها، نهندس الصوت والمهندس المعماري والمصمم الداخلي. ويكون الحكم أخيراً على نجاعة ونجاح هذه الأعمال هو اختبارها في الواقع العملي.

## الفصل الثاني

### ٢ - الضوء (The light)

#### ١-٢ - مقدمة:

في البدء لم يعرف العالم طبيعة الضوء، لذلك فهموه على أنه عكس العتمة فقط.اليوم ومع تطور الأبحاث والعلوم صار الفيزيائيون يعرفون الضوء على أنه عبارة عن شكل من أشكال الطاقة، وتحديداً الطاقة الإشعاعية. هذه الطاقة تنتشر على شكل أمواج، كما تنتشر الأمواج على سطح بحيرة ماء، عندما يُرمى فيها حجر [٥].

إن الأشعة الضوئية، أو كما تدعى أحياناً، الأمواج الضوئية، تنتشر في الفضاء خلال المواد الشفافة أو الفارغة، وفي جميع الاتجاهات بشكل مستقيم. إن هذه الأشعة التي تصل إلى شبكة العين هي ما يُعرف بالحاسة الخامسة لدى الإنسان، أو حاسة الرؤية، والتي تسمح للإنسان برؤية الأشياء من حوله. وهي تشع من على جميع الأشياء التي يمكن رؤيتها، بما فيها أيضاً أجسام البشر، لذلك، مثلاً، نستطيع قراءة هذه الأسطر من على صفحات هذا الكتاب من خلال الأشعة المنعكسة من على صفحاته، والتي تصل إلى أعيننا. وإذا أطبقنا أجنف أعيننا، فإننا لن نسمح للأشعة الضوئية بالوصول إلى أعيننا وبالتالي لن تظهر أسطر الكتاب. باختصار يمكن القول: إن الضوء المشع، أو بالأحرى المنعكس عن الأشياء، والذي يصل إلى أعين الإنسان هو الذي يجعله يرى هذه الأشياء.

إن الشمس والنجوم وكذلك المصايبح الكهربائية هي عبارة عن مصادر للضوء أو منابع مضيئة، وتسمى منها منابع ضوء ذاتي. إنها جمياً تصدر أشعة بيضاء أو حمراء متوجة، بفعل حرارتها العالية جداً.

إن الإشعاعات الواسطة إلينا ناشئة عادةً عن أكبر منبع ضوئي مشع للون الأبيض، كبير وبعيد جداً، هذه الكتلة المتلبة هي الشمس. أما الأشعة الصادرة عن المنابع الصناعية، مثل المصايبح المتوجة (المصايبح المتوجة بأنواعها) أو أجهزة إشارات الفلوريست (النيونات)، التي نعرفها، وماشابه، فيغلب فيها أن يكون الغاز الذي يدخلها هو الذي يتسبب بالإضاءة. وهي تصيب بألوانٍ مختلفة، لذلك تستخدم أيضاً لأغراض الديكور والإعلان والدعائية [٥] و [١٣].

إن الضوء الذي يسقط مباشرة على أعين البشر من خلال الشمس أو من المنابع الصناعية يسمى بالضوء المباشر. أما الضوء المنعكس من على سطح معين ليصل إلى الأعين، كما ترتد الكرة عن جدار، فيدعى بالضوء غير المباشر أو المنعكس (المرتد). مثل هذا الضوء هو ذلك الذي يصل إلى الأرض عبر الفجر أو الكواكب الأخرى. فالأقمار والكواكب لا تشع ضوءاً وإنما تعكس الأشعة الضوئية الواردة إليها أصلاً من الشمس أو النجوم من على سطحها قبل وصولها إلى الأعين.

إن الضوء، كشكل من أشكال الطاقة، يمكن له أيضاً من إحداث تغييرات في الأجسام والمواد الكيميائية؛ فعلى سبيل المثال إن أشعة الضوء تمد النباتات الخضراء بالطاقة، التي تسمح لها بأخذ غذائها من الماء وثاني أوكسيد الكربون. ومن دون الضوء لن تستطيع النباتات أن تعيش. وكذلك لن يكون هناك أغذية للبشر ولجميع الكائنات الحية الأخرى، سواء تلك التي تتغذى من النباتات مباشرةً، أو تلك التي تتغذى من لحوم الحيوانات العاشبة. فكل ما هو حي على سطح الأرض بحاجة للنباتات. ومن أشكال التحول الكيميائي للضوء نذكر أيضاً، الإضاءة التي تسقط على فيلم كاميرا تصوير وتتسبب بإظهار الصورة. وكذلك فإن الضوء الساقط على خلية شمسية ينتج عنها توتراً كهربائياً يمكن له أن يساعد في تشغيل جهاز كهربائي، كمصباح مثلاً أو محرك ..... إلخ، وهذا ما يدعى بالتحول الضوئي للشمس، أو اختصاراً التحول الكهروضوئي [٥] و [١٣].

إن الأشعة الضوئية هي من العوامل الرئيسية لوجود الحياة على سطح الأرض، فبدونها لن تكون حياة على الأرض قابلة وسيكون الجو بارداً جداً، حتى إن الأمطار لن تسقط وكذلك الرياح لن تهب، لأن الرياح تنشأ أصلاً بفعل اختلاف درجات الحرارة على سطح الأرض، المتنسبية بها الشمس. فعندما يسخن الهواء على سطح الأرض يتمدد ويرتفع إلى الأعلى فيسارع الهواء البارد لتعبئته الفراغ وهكذا ينشأ جريان للهواء أو للرياح، الذي قد يكون ضعيفاً أو شديداً. كذلك فإن الحرارة الناشئة عن ضوء الشمس تسبب بتبخّر مياه البحار والأنهار والمستنقعات وسواتها. هذه الأبخرة تنقلها الرياح مع الجزيئات الصغيرة الأخرى من الغبار والأوساخ الموجودة في الهواء إلى الأعلى، وأحياناً إلى أماكن أخرى أيضاً، فإذا هبطت درجة الحرارة في الأعلى إلى قيمة متدنية فإن هذه الأبخرة ستكتشف وتشكل الغيوم، وعندما يزداد

تكافئ هذه الغيوم أكثر فإنها ستساقط على شكل قطرات أو على شكل قطع ثلجية وفقاً لدرجة حرارتها.

وعندما يسقط ضوء على جسم فإن هذا الجسم يترك ظلأً، سواء كانت هذه الإضاءة من أشعة طبيعية كالشمس أو صناعية. أما الأجسام التي لا يكون لها ظلال ف تكون أجساماً شفافة كالزجاج أو الهواء أو الماء

بالإضافة إلى ما سبق يوجد نوع ثالث من الأجسام، وهذه تعكس الأشعة باتجاهات مختلفة وتسمح لجزء منها فقط باختراقها، وهذه تدعى بالزجاج المت. وهو نفس نوعية الزجاج المستخدم في صناعة المصايد المترهلة. كذلك فإن الورق أو القماش المنسوج الرقيق أو الناعم لهما نفس سلوك الزجاج المت (غير الشفاف).

وتؤثر المسافات بشكل كبير على الإضاءة فكلما اقترب جسم من ضوء لمسافة أقل، أصبح هذا الجسم أكثر إضاءةً ووضوحاً للعين البشرية، لأن الإضاءة على هذا الجسم تصبح أقوى وأشد. وهناك علاقة تحكم بين البعد وشدة الإضاءة. وهي أن شدة الإضاءة على مساحة معينة تزداد وفقاً لربع البعاد عن المنبع الضوئي. على سبيل المثال إن إضاءة جسم على مسافة متراً واحداً من منبع ضوئي تكون بأربعة أضعاف إضاءته عند بعده بمترتين عن هذا المنبع. وإذا ابتعد الجسم أربعة أمتار عن المنبع تصبح شدة الإضاءة عليه تساوي  $1/16$  فقط من كمية الضوء عند بعده متراً واحداً فقط. وبتعبير آخر يمكن القول: إنه إذا توجب إثارة جسم ببعدين مترين عن المنبع الضوئي بنفس شدة الإنارة عندما يكون بعده متراً واحداً فقط فتحتاج عندها إلى منبع ضوئي جديد يعطي إثارة بأربعة أضعاف المنبع السابق [٥] و [١٣].

## ٢-٢ - الإضاءة والعمارة الداخلية:

لقد اعتقاد الفلسفه الإغريقي قبل حوالي ثلاثة آلاف عام بأن العين البشرية هي من ترسل أشعة ضوئية على الأجسام، ثم تقوم هذه الأجسام بعكس الأشعة إلى العين، فترى العين الأجسام. أما اليوم وبفعل تطور العلوم صار الإنسان يعرف بأن الأجسام تعكس الأشعة الضوئية الوالائلة إليها أصلًاً من منبع ضوئي، فتُفصل هذه الأشعة المنعكسة إلى العين. أما المنابع الضوئية فيتم استقبال أشعتها المنبولة عنها بشكل مباشر. وبمعنى آخر يمكن القول: إن كل جسم يصبح

مرئياً، عندما يعكس هذا الجسم الأشعة الواردة إليه عبر منبع ما لتصل هذه إلى العين، والجسم الذي لا يعكس أشعة لاتراه العين، كالزجاج الشفاف مثلاً.

إن الأشعة الضوئية، كما ذكرنا، تنتشر بشكل مستقيم. أما إذا أردت لهذه الأشعة أن تغير اتجاهها فيمكن بسهولة وضع مرآة عاكسة أو ما شابه لحرف هذه الأشعة في الاتجاه المراد. وهذا تماماً ما يفعله طبيب الأسنان عندما يتخصص أسنان المريض من الخلف، وكذلك تفعل المرايا الجانبية للسيارات ليرى السائق خلفه.....[١٣].

أما من حيث علاقة الإنارة بالألوان فيعود الفضل في الكثير مما يعني هذا الموضوع للعالم الإنكليزي إسحاق نيوتن (Isaac Newton) الذي أجرى تجارب عام ١٦٦٦م على الألوان وبين كيفية تحليل لون الضوء الأبيض إلى مجموعة ألوان قوس قزح (الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي) عبر موشور زجاجي. هذه الألوان التي سميت فيما بعد بألوان الطيف. وقد برهن هذا العالم أيضاً بأن أيّاً من ألوان الطيف المذكورة لا يمكن تحليله كما تم تحليل اللون الأبيض، وأثبت أيضاً هذا العالم إمكانية إعادة تجميع ألوان الطيف عبر الموشور الزجاجي في لون واحد هو الأبيض.

أما العالم الهولندي كريستيان هوغنس (Christian Huygens) فقد كان أكثر دقة من سابقه في معرفة حركة الضوء، وعرف الضوء على أنه عبارة عن أمواج دورية كأمواج الماء عندما يرمي فيها حجر. إلا أن الباحث الألماني ماكس بلانك (Maxs Planck) هو من استطاع في عام ١٩٠٠ أن يبين ماهية الضوء الحقيقة وكيفية حركته، وبأنه عبارة عن شكل من أشكال الطاقة، التي تنتشر على شكل موجي. وأضاف، بأن الطاقة الإشعاعية، كالضوء، هي عبارة عن جزيئات صغيرة جداً محملة بالطاقة وذات مواصفات ثابتة، أسموها كوانتن (Quanten)، وهذه الطاقة يمكن امتصاصها، كما أن أوراق الأشجار الخضراء تمتص الضوء، أو بشها، كما تبث الشمس أشعتها. وبعد خمس سنوات من نظرية فرانك حدد العالم الألماني الآخر ألبرت أينشتاين (Albert Einstein) النظرية التي لازالت قائمة حتى هذا اليوم، والتي تنص على أن الإشعاعات الضوئية هي عبارة عن حركة مستمرة لجزيئات الضوئية، أطلق عليها اسم الفوتونات (Photons)، وهو الاسم الذي لازال يستخدم حتى يومنا هذا [٥].

إن وظيفة الإنارة بشكل عام هي تحسين إمكانية الرؤية للأشياء وللأماكن، أي جعلها مرئية للعين البشرية. وعند وضع الدراسة الهندسية والتصميمية لإنارة الأماكن يُؤخذ بالحسبان الغاية الأساسية من استخدام الأماكن من أجل الحصول على سوية إنارة مناسبة للمكان وفق الغرض المخصص لها، فسوية الإنارة المطلوبة في قاعة درسية، على سبيل المثال، ستختلف عن سوية الإنارة في صالة سينما أو مشابه، حتى لو كان لكليهما نفس الأبعاد. ومن المسائل الرئيسية التي لابد من أخذها بالحسبان للحصول على إضاءة جيدة و المناسبة هي: منحنى توزع كثافة الإنارة ولون أو حرارة الإنارة والتوزع المتساوي للإنارة وحرية الانعكاس وكذلك إمكانية إظهار اللون الحقيقي للأشياء، كما سنرى فيما بعد.

أما الوظيفة الأخرى للإنارة، بألوانها المختلفة، وهي حقيقة أكثر ما يهمنا في هذا الكتاب، فهي في التصميم الداخلي للأماكن أو الفراغات المختلفة، كالغرف والقاعات والصالونات والمتاحف ودور العبادة والمطاعم والفنادق والأماكن العامة وما شابه من الأماكن الداخلية، فهي إضفاء الصبغة الملائمة للمكان بما يلزم. فقد تكون الغاية جمالية بحثة. وقد تكون في البحث عن مكان مريح للأشخاص. ومن الممكن أن تكون أيضاً خلق حالة استفزازية لدى الآخرين وإشارة فضولهم لجعلهم يعاينون هذا المكان، كما هو الحال مثلاً في واجهات محل البيع، والإعلانات التجارية. وفي كثيرٍ من الحالات يمكن من خلال الإنارة وألوانها المختلفة عمل الكثير في مجال التصميم الداخلي للأماكن المختلفة. إن استخدام الضوء بشكل فني يعمل على تغيير المشهد أو المظهر للفراغات وللأشياء وفق رؤية المصمم. إلا أن هذه العملية تحتاج إلى حرفة وخبرة في التصميم والتنفيذ [٥].

وعلى اعتبار أن للإضاءة ألواناً مختلفة، يمكن اختيارها أو التحكم بها، كذلك يمكن الاستفادة من هذه الخاصية في الإضاءة أيضاً، فمن المعروف أن اللون يساهم كثيراً في تحديد جمالية الأماكن، ويساعد أيضاً في إيجاد جو نفسي معين، كما أنه يؤثر كثيراً في نفسية الإنسان ومزاجه، فيمكن من خلال الألوان على سبيل المثال إثارة أحساسات شخص أو تهذبه. إن اللون يعطي إحساساً بالحرارة. وبتغيير اللون يتغير هذا الإحساس. فاللون الأحمر مثلاً يدل على الحرارة، بينما اللون الأزرق المخضر يدل على البرودة. وكذلك فإن الألوان تساعد في تقويب وتبعيد الأشياء أو تشويه المسافات.

إن وضع أو اختيار إلارة بلون معين في مكانٍ ما يعد مهمـةً فنيةً أساسية في التصميم والديكور، لذلك يتوجب على مصمم الديكور إدراك كيفية تعامل السطوح مع الألوان المختلفة للإشارة وفقاً للطيف الضوئي لأجهزة الإضاءة المستخدمة؛ فالمصمم الفنان يستطيع بواسطة الإلارة وألوانها أن يوحي للناظر بما يشاء، من خلال اختياره لألوان الإلارة المتواقة مع المواد والفراغات وكل الأشياء المستخدمة. إنه يستطيع أن يخلق من مكانٍ كثيـر حزيناً مجلساً للأنس والمتنة والراحة. والعكس بالعكس أيضاً. لوحته الفنية هي المكان أو الفراغ الداخلي، الذي يمارس فيه عمله وهو ابته ويتلاعب به، والإلارة بألوانها المختلفة هي إحدى أدواته الأساسية في تصميم لوحته [١٣].

إن سوية الإلارة المطلوبة في مكانٍ ما تتعلق أيضاً بدرجة انعكاس الإلارة نفسها من على السقف والجدران والغرس أو الأثاث المتواضع في هذا المكان. إن الأسطح الفاتحة تعكس الإلارة على العموم بشكلٍ جيد وتزداد وبالتالي في سوية الإلارة على عكس الأسطح الغامقة، ومن أجل نفس شدة الإلارة:

يوجد تفاعل بين ثلاثة مكونات مع الإضاءة. وهذه هي الأجسام المراد إبرازها، أو عدمـه. والإضاءة بألوانها المختلفة، ومن ثم ردود فعل، أي انعكاس الإلارة من على الأجسام على بعضها. إن هذا التفاعل بين المكونات الثلاثة الأساسية هو الذي سيخلق أو يترك الانطباع لدى الناظر. على سبيل المثال، لو نظر شخص إلى وجهه مساءً من خلال مرآة بإلارة جهاز فلوريسنت (نيون) لبـدا وجهه أصفر شاحباً، وكأن عالمـه المرض بادية عليه. أما لو أعاد نفس العملية بإلارة مصباح متوجه لبـدا وجهه وردياً محـراً، وكأنـه في أوج صحتـه وعافـته. فالإلارة بنوعيتها وألوانها وانعكاسـها أشـعتها من على سطح المرأة إلى وجه الشخص، صـبغـت وجهـ هذا الشخص بلـونـ محدد، وهو ما قد يترك أثـراً أو انطباعـاً نفسـياً عندـ هذا الشخصـ فيـ هـمهـ فيـ الحـالـةـ الأولىـ بأنهـ مـريـضـ، مـثـلاًـ، فيـخـلـدـ لـلـنـومـ مـكتـشاًـ حـزـيناًـ، يـبـحـثـ عنـ سـبـبـ عـلـتهـ، وـفـيـ الحالـةـ الثـانـيةـ يـنـامـ مـرـتـاحـاًـ وـيـذـهـبـ نـشـيطـاًـ لـلـعـملـ [١٣].

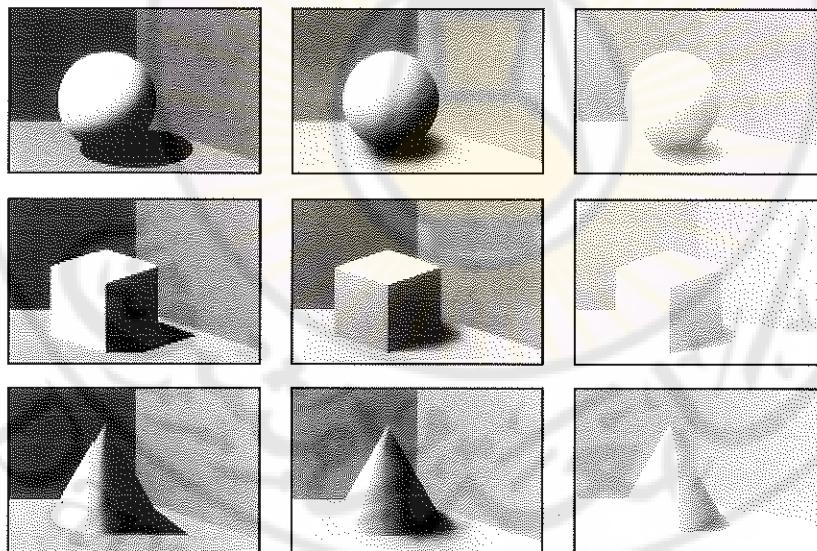
إن وضع إلارة استفزازية في واجهة محل لبيع الأشياء قد يثير فضول المارة لدخول هذا المتجر، فقد يظهر مصمم الديكور المعروضـاتـ فيـ الـواـجهـةـ بأـلوـانـ، وـربـماـ باـشـكـالـ أـيـضاـ تـثيرـ الفـضـولـ منـ خـلـالـ تـسـليـطـ إـلـارـةـ مـعـيـنةـ مـلـونـةـ عـلـيـهاـ، أوـ عـلـىـ بـعـضـ جـوـانـبـهاـ المـثيرـةـ لـلـجـدـلـ فقطـ،

اختارها لهذه الغاية، فاستقرت فضول المارة وجعلتهم يدخلون بالأشياء المعروضة ويدخلون المتجر . وبشكل مشابه أيضاً للإعلانات التجارية.

كذلك هي الحال عند تصميم غرفة للمعيشة، فالمطلوب أن يكون المكان مجلساً للراحة والطمأنينة. هنا تكون مهمة الإنارة هي في المساعدة على إضفاء هذه الصبغة المطلوبة لهذا المكان، بحيث تكون مناسبة للأشخاص وأعينهم .

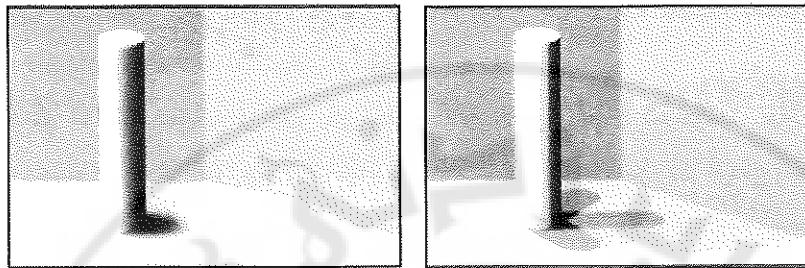
إن المصمم الداخلي يستطيع أن يغير من خلال ألوان الإنارة، ألوان الموجودات الأخرى في المكان، بحيث تبدو هذه أكثر جمالاً أو راحة أيضاً، فكل الأشياء لها سطح ستتفاعل مع الإضاءة بشكل ما، تعكسها وتتغير ألوانها معها. وبقدر زيادة خبرة وحرفية المصمم، بقدر استطاعته أن يوحى للآخرين بما هو يريده.

يمكن من خلال زيادة شدة الإنارة في المكان أو تغيير جهتها، عن طريق تسليطها، مثلاً، إلى جهة معينة وحجبها عن جهة أخرى، توجيه الناظر إلى جهة محددة لمعاينتها، وبالتالي ترك انطباع مختلف لديه. الشكل (١-٢) التالي يبين، على سبيل المثال إنارة ثلاثة أجسام مختلفة من زوايا وشدات إنارة مختلفة. لاحظ ماذا فعلت الإنارة الشديدة بالأجسام! أي صورة من صور كل واحد من الأجسام تبدو أوضح وأجمل وأكثر إرادة للنظر وللعين؟



الشكل (١-٢) يبيّن إنارة أجسام من أوجه وشدات إنارة مختلفة

في الشكل (٢-٢) جسم أسطواني موضوع في زاوية غرفة، مضاء بطريقتين مختلفتين، من جهة واحدة ومن ثلاث جهات مختلفة. في أي من الصورتين يبدو الجسم أوضح؟ وأيهما أكثر راحة للعين؟



الشكل (٢-٢) جسم مضاء بطريقتين مختلفتين

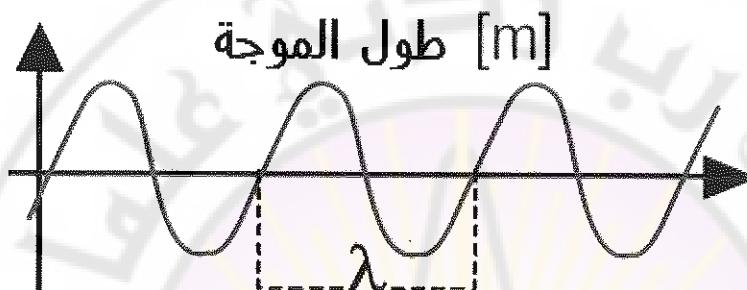
### ٣-٢ - المفاهيم الأساسية في الإضاءة:

#### ١-٣-٢ - الضوء:

عندما يمارس الإنسان حياته يتعرف على الأشياء من حوله عن طريق حواسه المختلفة، فمن خلال أعيته فقط يتعرف على ٨٠٪ من الأشياء حوله. أما بقية حواسه فلا تقيده سوى في التعرف على الـ ٢٠٪ الباقية من الأشياء. من هنا يمكن القول: إن الأعين السليمة هي شرط أساسي لسلوك وتصرف سليم للبشر سواء في أعمالهم أو في أوقات راحتهم، شريطة وجود الضوء المناسب واللازم والمثالي لتتعرف أعينهم على الأشياء. فالنقص بسوية الضوء يتسبب بالنعمان والكسل، والإمساع إلى الأعين وأوجاع في الرأس، وإجمالاً عدم الراحة. هذا وتنص التعليمات العالمية: أن الحصول على إنارة طبيعية كافية في أي مكان، منزل أو متجر أو مكتب وسواءاً يتطلب مساحة نوافذ تساوي تقريباً مساحة أرض هذا المكان على الأقل، لتسمح هذه النوافذ بدخول ضوء طبيعي وكافي للمكان. وما عدا ذلك فإن هذا يتطلب إضافة إنارة صناعية. هذه الإنارة المضافة يتطلب معرفة نوعها وعدها ومواقع تركيبها، وكل ماسبق وفقاً لطبيعة استخدام الأمكنة [٦].

والضوء يمكن تعريفه بال اختصار على أنه عبارة عن قدرة مشعة (radiant energy) يمكنها من خلق شعور رؤيوي في العين. وفيزيائياً فإن الضوء عبارة عن مجموعة من

الأمواج الكهرومغناطيسية (الأمواج الكهرومغناطيسية أو الكهربائية المقاومية)، التي تشتمل جزءاً صغيراً من الطيف الكهرومغناطيسي، الذي تقع أطوال أمواجه التقريرية بحدود:  $(10^{-1} - 10^1)$  (نانو متر)، وتتردداته إشعاعاته بحدود  $(10^1 - 10^3 \text{ Hz})$ . إلا أن العين البشرية لا تملك القدرة لرؤية جميع إشعاعات الضوء، وإنما فقط تلك الواقعية أطوال أمواجها بين  $(380 - 780 \text{ nm})$  وتردداتها بين  $(385 - 790 \text{ GHz})$ . الشكل (٣-٢) يبيّن موجة شعاع ضوئي وحيد [٥].



الشكل (٣-٢) موجة لشعاع ضوئي

ويجدر بالذكر القول: إن ما وصلنا من نتائج الأبحاث حتى يومنا هذا لم يبيّن لنا حدود رؤية الكائنات الحية الأخرى للأشياء، فقد تبيّن أن لأعين بعضها مجال رؤيا أكبر أو أقل مما تراه العين البشرية [١٣].

الشكل (٤-٢) يبيّن إشعاعات الطيف الكهرومغناطيسي، والإشعاعات المرئية منها من قبل العين البشرية [٧].

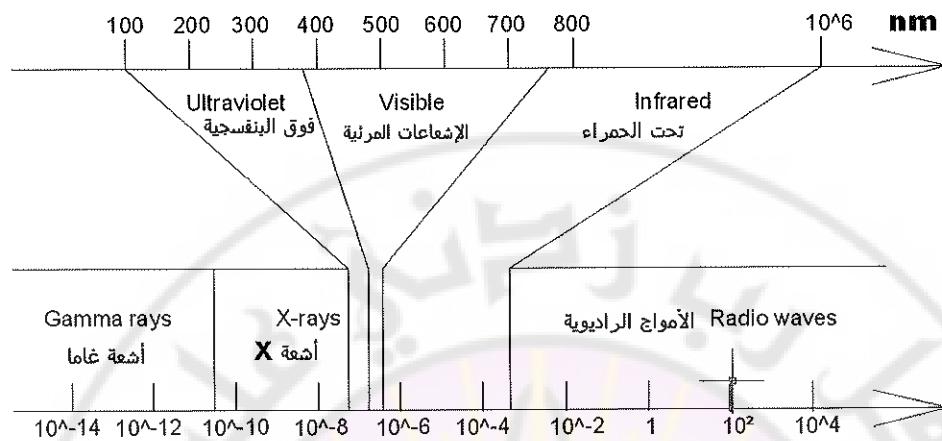
ويكون لكل شعاع ضوئي سرعة تحسب من العلاقة:

$$C = \lambda \cdot f \quad (2-1)$$

حيث:  $C$  هي سرعة الضوء أو أي شعاع ضوئي.

$\lambda$  هو طول موجة الشعاع الضوئي المعين، ويقدر بأجزاء من المتر الطولي.

$f$  هو تردد موجة الشعاع الضوئي المعنى، ويقدر بالهرتز أو الدورة على الثانية الواحدة.



الشكل (٤-٢) إشعاعات الطيف الكهرومطيسي والإشعاعات المرئية منها

وقد أثبتت أينشتين في نظريتها " النسبية " بأن سرعة الضوء في الجو ثابتة ولا تتغير، وتساوي المقدار :  $300000 \text{ km/S}$ . وهذه القيمة هي في الحقيقة قيمة أعلى سرعة يمكن الحصول عليها على الإطلاق. ولا يوجد في العالم حتى يومنا هذا ما هو أسرع من الضوء. أما سرعة الضوء في الخلاء فهي وفقاً لتجارب Leon Foucault تساوي  $298000 \text{ km/S}$ . ووفقاً لسرعة الضوء في الهواء فإن ضوء الشمس المنبعث منها يصلنا بعد حوالي  $8.333$  دقيقة. والضوء المنعكس من القمر إلى الأرض يصل إلى الأرض بعد  $1.3$  ثانية تقريباً فقط.

وتقدر أطوال أمواج الأشعة الضوئية عادة بالметр، أو بأجزاءه، وهذه هي:  
 $\mu\text{m}=10^{-6} \text{ m}$  (الميكرومتر) و  $\text{Nm}=10^{-9} \text{ m}$  (النانومتر) و  $\text{A}^\circ=10^{-10} \text{ m}$  ( الأنغستروم ).  
وهذه الأخيرة هي أكثر الوحدات استخداماً في أطوال أمواج الضوء.  
أما ترددات إشعاعات الضوء فتقدر بالهرتز (Hz). أو بمضاعفاته، وهي:  
 $\text{GHz}=10^9 \text{ Hz}$  ( الكيلو هرتز ) و  $\text{MHz}=10^6 \text{ Hz}$  ( الميغا هرتز ) و  $\text{kHz}=10^3 \text{ Hz}$  ( الغيغا هرتز ). والهرتز هو مقلوب الثانية، أي:  $1 \text{ Hz}=1/\text{S}$ ، ويعني الدور في الثانية الواحدة.  
وبالتالي تكون العلاقة بين التردد وطول الموجة وسرعة الضوء على الشكل التالي:

$$f = \frac{3.10^8}{\lambda} \quad (2-2)$$

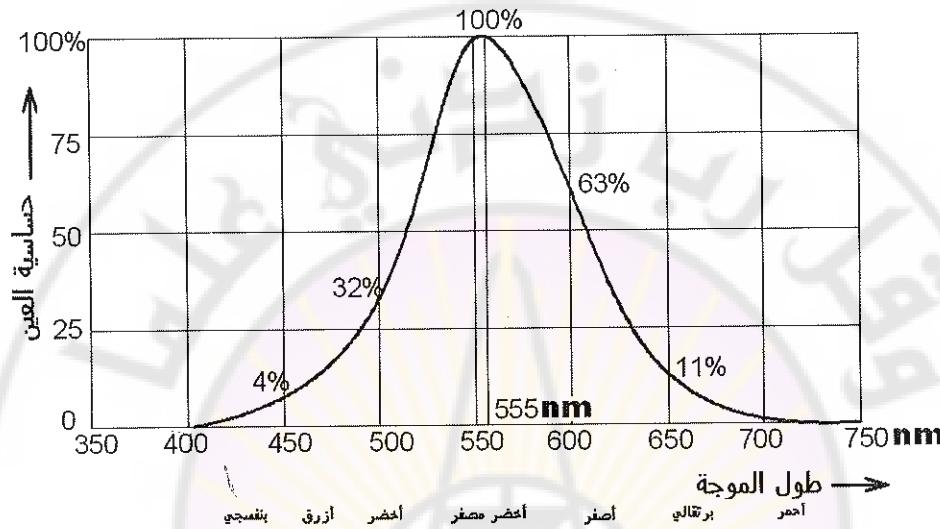
إن العين البشرية ترى جزءاً فقط من إشعاعات الطيف الضوئي، ولهذه الإشعاعات ألوان محددة، وهي وفق ترتيبها التصاعدي في الطيف المرئي بالنسبة لطول الموجة الضوئية: بنفسجي - أزرق - أخضر - أصفر - برتقالي - أحمر، وتتراوح أطوال الأمواج للأشعة المرئية بين nm (٣٨٠.....٧٨٠) حيث يقابل اللون الأزرق أو البنفسجي أطوال الأمواج القصيرة، بينما يقابل اللون الأحمر الأمواج الطويلة حسب الشكل (٤-٢) والشكل (٥-٢) في ملحق الصور الملونة.

يمكن بالتالي إظهار الطيف الضوئي، أو الألوان الضوئية، التي تراها أعين الإنسان في منتصف النهار، على سبيل المثال، بالشكل (٦-٢) في ملحق الصور الملونة. ويختلف هذا الطيف في كل لحظة زمنية من لحظات اليوم الكامل البالغ عدد ساعاته أربعاً وعشرين ساعة. إن ألوان الطيف الضوئي المرئي في واحدة من لحظات الظلام الدامس ليلاً، مثلاً، أو لحظات غروب الشمس أو شروقها لن تشبه بالتأكيد ألوان الطيف في منتصف النهار المبينة في الشكل (٦-٢). وما تراه أعين الإنسان حقيقة هو محصلة ألوان الطيف مجتمعة، ومحصلة هذه هي منتصف النهار هي اللون الأبيض.

تدعى الإشعاعات الكهرومغناطيسية التي تكون أطوال أمواجها أعلى من أطوال أمواج الطيف المرئي بالأشعة تحت الحمراء (infrared)، كما بين الشكلان (٤-٢) و (٥-٢)، بينما الأشعة ذات أطوال الأمواج الأقل من أطوال أمواج الطيف المرئي فتسمى بالأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet).

لقد ذكرنا بأن الضوء يتكون من مجموعة من الإشعاعات الضوئية ذات أطوال أمواج أو الترددات المختلفة. إن اختلاف طول الموجة الضوئية يترك انطباعاً مختلفاً لدى العين البشرية من حيث اللون وشدة هذا اللون أو وضوحيه؛ فعلى سبيل المثال إن الإشعاع الضوئي ذو المطال الموجي ٥٥٥nm، وهو الذي يميز اللون الأخضر المصفر (yellow-green) يعطي انطباعاً ضوئياً قوياً في العين، أي تراه العين بشكل واضح تماماً. بينما الإشعاعات الضوئية ذات اللون الأحمر أو اللون البنفسجي تعطي انطباعات ضوئية خفيفة في العين، أي تراها العين بشكل خفيف أو خافت. وهناك علاقة إذاً بين لون الضوء، أي أطوال أمواجه وتردداته،

ويبين حساسية العين لرؤيتها. هذه العلاقة تأخذ المنحني المبين بالشكل (٧-٢)، الذي يبيّن حساسية العين تجاه الألوان المختلفة للضوء. ويسمى هذا المنحني بمنحني المردود الضيائي النسبي للعين (relative efficiency curve)، أو بمنحني نورانية العين (luminosity curve).



الشكل (٧-٢) منحني حساسية العين تجاه الألوان المختلفة أو منحني نورانية العين

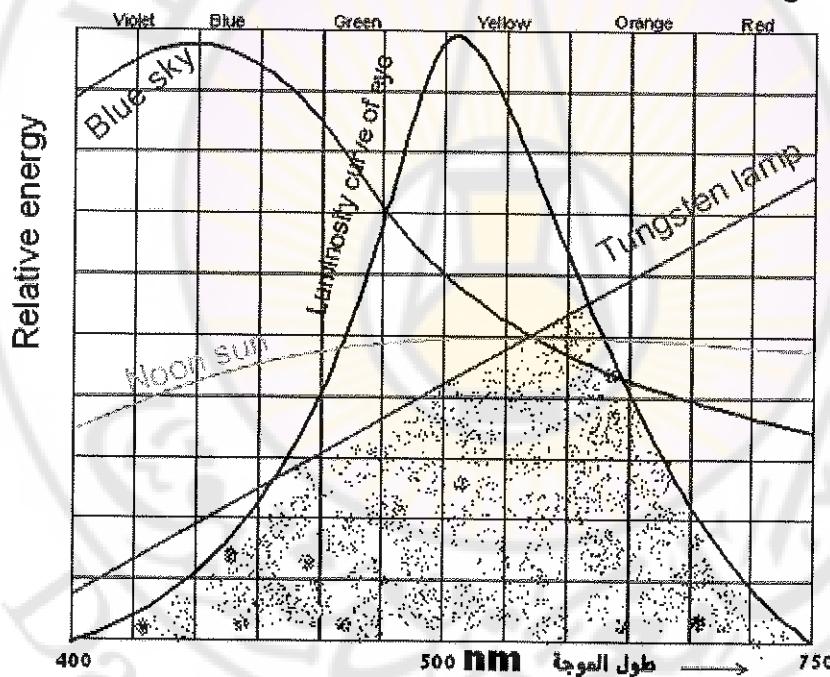
تنسب حساسية العين الضوئية لجميع الألوان إلى القيمة العظمى في منحني حساسية العين، وهي الحساسية ١٠٠٪ عند اللون الأخضر المصفر. وعلى سبيل المثال فإن حساسية العين للون البرتقالي هي ٦٣٪، وهذا يعني أن العين ترى من شدة اللون البرتقالي ٦٣٪ فقط. وهكذا بالنسبة لبقية ألوان الطيف المرئي. وبالتالي يمكن الاستدلال بأن تأثير المنابع الضوئية الطبيعية على العين، كالشمس مثلاً، لا يزال محدوداً رغم تطور حساسية الرؤية للعين خلال أحقاف طويلة من الزمن.

وتتجدر الإشارة بأن منحني نورانية العين ليس واحداً خالماً كامل ساعات اليوم. وهو يختلف كثيراً ما بين ساعات الضوء وساعات العتمة، ففي الليل يختلف عنه كثيراً عن النهار، إنه

يشابهه تقريباً، وإنما ينزاح عنه قليلاً إلى اليسار، باتجاه مركز الإحداثيات، بمقدار يساوي  $100 \text{ nm}$ ، كما يبين الشكل (٨-٢) في ملحق الصور الملونة.

إذا أخذنا ضوء مصباح متوجه (مصابح عادي، Tungsten Lamp)، وهو عبارة عن مجموعة الإشعاعات الضوئية التي ينتجه المصباح عند تطبيق توتر كهربائي عليه، والمبين في الشكل (٩-٢) في ملحق الصور الملونة، وقارناه بضوء الشمس في منتصف النهار (Noon sun)، المبين في الشكل (٦-٢)، وبمنحي نورانية العين، الشكل (٧-٢) أو الشكل (٨-٢) لنتجت المنحنى المبين بالشكل (١٠-٢). والعين ترى حقيقةً في الشكل (١٠-٢)، فقط جزءاً من ضوء المصباح المتوجه العادي، وهو الواقع تحت كلا تقاطعي الخط الأحمر (الخاص بضوء المصباح المتوجه) والخط الأسود (منحي نورانية العين) معاً، والمبين في الشكل (١٠-٢) منقطاً باللون الأسود.

ومن الواضح أن هناك جزءاً كبيراً من ضوء المصباح الشديد لا تراه العين، وترى منه الجزء

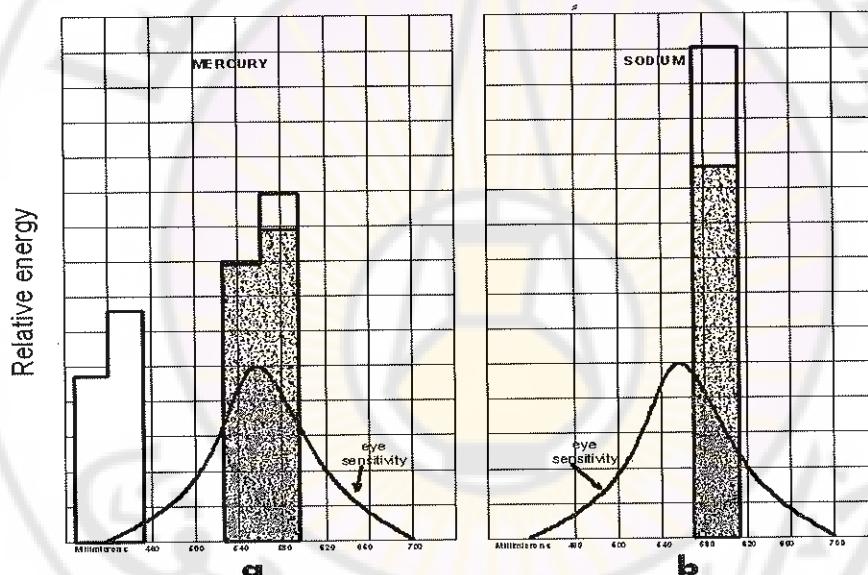


الشكل (١٠-٢) وضع منحي نورانية العين بالنسبة لضوء مصباح متوجه وبالنسبة لضوء الشمس في منتصف النهار

الذي تصل مطالات أمواجه إلى القيمة  $750\text{ nm}$  فقط. إن أكبر شدة ضوئية من المصباح تراها العين هي تلك الأقرب للون البرتقالي، لذلك يبدو ضوء هذا المصباح مابين الأحمر والأصفر أحمر يميل للأصفر قليلاً.

أما إذا رسم منحنى نوراني العين مقارنة بضوء مصباح الزئبق ذي الضغط العالي أو بضوء مصباح بخار الصوديوم ذي الضغط المنخفض فتتضح المنحنيات المبينة في الشكل (11-2). والضوء الذي ستراه العين هو المبين في الشكل (11-2) باللون الغامق تحت منحنى نورانية العين.

ومن الواضح من الشكل (11-2) أن حساسية العين لضوء مصباح بخار الصوديوم ذي الضغط المنخفض عالية، بسبب انتباق منحنى ضيائه على قمة منحنى نورانية العين، وأعلى من ذات بخار الزئبق بضغط عالٍ.



الشكل (11-2) وضع منحنى نورانية العين بالنسبة للطيف الضوئي لمصباح بخار الزئبق ذي الضغط العالي (a)، ولبخار الصوديوم ذي الضغط المنخفض (b)

## ٢-٣-٢ - الضوء والرؤية:

نعلم أن ضوء الشمس الأبيض عندما يتسلط على مشور زجاجي فسيتحل هذا الضوء عبر المنشور إلى مجموعة ألوان، نسميتها ألوان الطيف الشمسي، كما في الشكل (١٢-٢) بملحق الصور الملونة. هذه الألوان هي على الترتيب التصاعدي بالنسبة لطول الموجة المبينة في الأشكال (٤-٢) و (٥-٢) و (١٢-٢)، وهي نفسها ألوان قوس قزح. ولو قام شخص بعملية تسليط هذه الأضواء ثنائية على مشور زجاجي لتجمعت هذه الألوان، وأعطت لون الضوء الأبيض ثانيةً، كما يبيّن الشكل (١٢-٢) في ملحق الصور الملونة.

إن تحليل ضوء الشمس حقيقة لا يعطي أشعة ألوان طيف الشمس المرئية فقط وإنما مجموعة أخرى من الألوان، لم تتمكن عين الإنسان من رؤيتها جميعاً لأنها خارج مجال الرؤية للعين البشرية (خارج منحني نورانية العين) كما يبيّن الشكلان (٤-٢) و (٥-٢). من هذه الأشعة المعروفة نذكر الأشعة فوق البنفسجية، التي تقل أطوال أمواجها عن: ٣٨٠ nm والأشعة تحت الحمراء، التي تزيد أطوال أمواجها عن: ٧٥٠ nm.... إلخ.

### - الأشعة فوق البنفسجية:

وهي عبارة عن أشعة ضوئية ذات تأثير بيولوجي سيء على أعين الإنسان، وعلى جلده فتتسبب له بالحرق. ويمكن لهذه الأشعة أيضاً عند أطوال أمواج محددة لها (١٠٠ nm - ٢٨٠ nm) أن تعمل على تلف خلايا الجسم الحية وتخربيها. تظهر هذه الأشعة أيضاً عند حدوث الأقواس الكهربائية، كما هو عند اللحام الكهربائي. وهي تؤثر بشكل سيء على الدهان واللدائن البلاستيكية. وهي تحرض كذلك بعض المواد، كالفوسفور مثلاً، على الإضاءة، لذلك يستفاد منها في أجهزة الإنارة، كما سترى فيما بعد. وتستخدم أيضاً لتحليل عناصر بعض المواد. من فوائد هذه الأشعة على جسم الإنسان أنها تساهم في تركيب فيتامين D لديه.

### - الأشعة تحت الحمراء:

تشاً هذه الأشعة عند سخونة بعض الأجسام أو المواد. إنها تؤثر كمشع حراري. يمكن بواسطتها هذه الأشعة مثلاً الرؤية الليلية. عندما تسقط الأشعة تحت الحمراء على جسم فإن الجسم يمتصها وتعمل هي على تسخين هذا الجسم. ولولا وجود هذا النوع من الأشعة في طيف الشمس الضوئي لبقت الأرض متجمدة على الدوام. ومنذ سنوات بعيدة بدأ العالم

يستفيد أيضاً من هذه الأشعة في تسخين المياه، ومنذ عدة سنوات استفاد منها في توليد الطاقة الكهربائية، وفي الإضاءة بصناعة أجهزة إلإارة كهربائية مناسبة من خلال ما يعرف بالديودات الباعثة للضوء، والتي سنتعرف عليها لاحقاً.

ومن أجل الاستفادة من الضوء في فن العمارة عموماً، وبالخصوص التربية منها، يتوجب أن نعلم بأن رؤية الأشياء أو الأجسام تتم بشكل جيد إذا توافرت أربعة شروط، وهي:

١- وجود الحد الأدنى من الشدة الضوئية الساقطة على الأشياء أو الأجسام. فكما نعلم فإن الأشياء التي يمكن رؤيتها بسهولة خلال النهار والتعرف على تفاصيلها الدقيقة، تصبح تفاصيلها مع تراجع ضوء النهار وتقدم العتمة. وعندما تصبح العتمة كاملة لا يرى من هذه

الأشياء أي شيء، لأن الضوء الذي كان يسقط عليها غاب عنها كلية.

٢- من أجل التعرف على شيء أو جسم بشكل جيد يتوجب أن يكون هناك فرق ما بين إثارته (ضياءه) وبين الإلإارة في محيطه المتواجد ضمنه (Light contrast). إن هذا يدعوه المختصين لإقامة هذا الفرق في اللون (colour contrast) وفي شدة أو سوية الإلإارة (brightness) أيضاً، وذلك من خلال تسلیط إضاءة إضافية ذات شدة أقوى على الجسم المراد إبرازه، أو أيضاً تسلیط إضاءة بلون مختلف عن لون إضاءة المحيط (للمقارنة تماماً كما في أجهزة المشاهدة (التلفزيون)).

٣- يجب أن يكون للأجسام المراد إيضاحها أو إبرازها حد أدنى من الكبر أو الحجم.

٤- من أجل ترك الانطباع الرؤوي لدى العين فإنه يتطلب حدأً أدنى من الزمن لمشاهدة الأشياء أو الأجسام. فال أجسام التي ترى بسرعة من نافذة سيارة مسرعة، مثلاً، لا تعلق في الذهن أو الذكرة كالأجسام التي ترى لفترة أطول، لأن تكون السيارة بطيئة جداً أو متوقفة. وكذلك يمكن ملاحظة بعض تفاصيل عجلات دراجة عندما تدور عجلاتها ببطء، أما إذا دارت مسرعة جداً فستغيب كل تفاصيل العجلات.

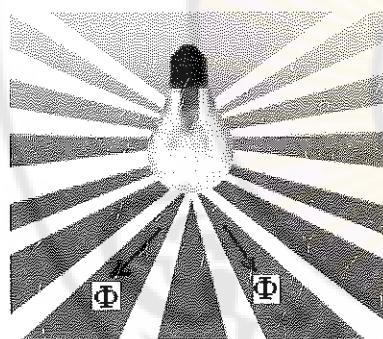
إن الشروط الأربع السابقة لإبراز وإظهار الأشياء والأشكال تعتمد حقيقةً على الخصائص البيولوجية لأعين البشر، ويجري تطبيقها والاستفادة منها أيضاً في فنون السينما والتلفزيون والإعلانات التجارية.

### ٣-٣-٢- المفاهيم الأساسية في الإضاءة:

توجد عدة وحدات (units) (كميات، مفاهيم) أساسية تستخدم في الإضاءة أو الإنارة. وهذه الوحدات هي التي تشكل الأساسيات الازمة والمطلوبة، من ناحية، من أجل فهم موضوع الإضاءة بشكل عام، ومن ناحية ثانية تساعد هذه في إجراء حسابات الإضاءة لفراغ معين. ولن نتطرق في هذا الكتاب لتبيان وشرح جميع هذه المفاهيم، وإنما سنقتصر على الأساسية منها، وبالأخص تلك التي تهمنا في موضوع الإضاءة في العمارة الداخلية. ثم سنقوم بشرح المفاهيم الأخرى الهامة الخاصة بالإضاءة للفراغات الداخلية بإسهاب وتفصيل، وخاصة تلك التي يكون فيها للناحية الفنية أهمية بالغة. إن أهم وحدات الإضاءة هي [١٦]:

#### ١-٣-٣-١- الفيض الضوئي (السيالة الضوئية):

إن أي منبع ضوئي يبعث بإشعاعات ضوئية في كل لحظة زمنية، تماماً كما يضخ أي منبع للمياه في كل لحظة زمنية بكمية من الماء. وتختلف كمية الماء التي يضخها منبع في كل لحظة زمنية عن كمية ماء يضخها منبع آخر في نفس اللحظة الزمنية، كذلك الفيض الضوئي المتذبذق من منبع ضوئي، إنه عبارة عن كمية الضوء التي يعطيها المنبع الضوئي في واحدة الزمن، وهي هنا الثانية الواحدة، ويرمز له بالرمز  $\Phi$  ويقاس باللولمن (lumen) وتختصر بـ Lm.



الشكل (١٤-٢) الفيض الضوئي  
لمصباح متوج يشع في جميع  
الاتجاهات بشدات مختلفة

ويقدر الفيض الضوئي عند طول موجة مثالية بـ  $550\text{nm}$ ، أي عند المردود النسبي الكامل لحساسية العين وهو  $100\%$ .

الشكل (١٤-٢) يبين الفيض الضوئي الساقط من منبع مصباح متوج، ( لا حظ فيض الإنارة المختلف حسب الاتجاه. قارن، مثلاً، بينه تحت وفوق المصباح).

الجدول (١-٢) يبين بعضاً من قيم الفيض الضوئي بعض أجهزة الإنارة المعروفة والشائعة في الاستخدام [١٦].

الجدول (١-٢) الفيض الضوئي لبعض أجهزة الإنارة

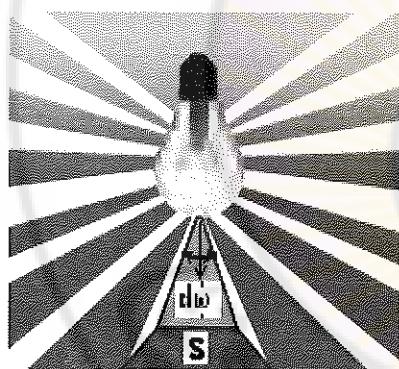
المنبع الضوئي	الفيض الضوئي [Lm]
مصابح دراجة عادية ( دينامو دراجة عادية)	١٠
مصابح متوجه استطاعته W ١٠٠	١٣٨٠
مصابح متوجه استطاعته W ١٥٠	١٩٤٠
مصابح فلوريسنت استطاعته W ٤٠	١٨٠٠
مصابح بخار صوديوم استطاعته W ١٤٠	١٣٠٠
مصابح بخار صوديوم استطاعته W ٢٥٠	٢٥٠٠
مصابح بخار زئبق استطاعته W ٤٠٠	٢٠٠٠

#### ٢-٣-٣-٢ - الشدة الضوئية:

تعرف الشدة الضوئية (luminous intensity) لمنبع ضوئي بمقداره هذا المنبع على إشعاع

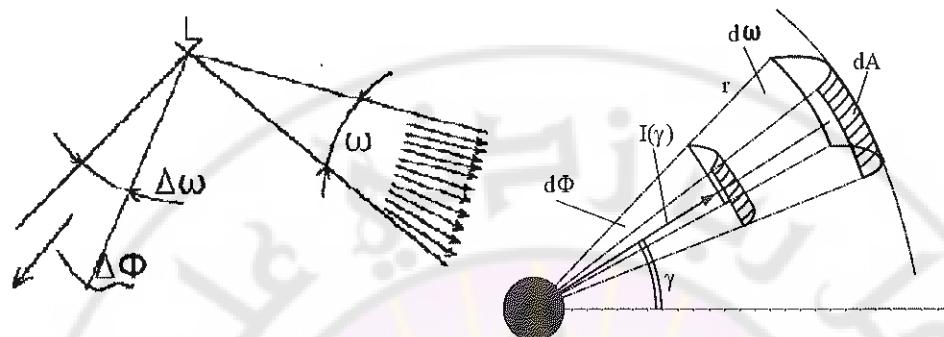
الضوء في وحدة الزوايا المحسنة في اتجاه معين ويرمز لها بالرمز I وتقاس بالكانديلا (candela)، وتحتضر بـ cd، ويستخدم الستيريديان (steradian) كواحدة لقياس الزوايا المحسنة. ولحساب الزوايا المحسنة  $d\omega$  يمكن تصور وجود نقطة في مركز كرة، كما يبين الشكلان (١٥-٢) و (١٦-٢) يرى منها وضمن المخروط الذي زاويته المحسنة  $d\omega$  المساحة dA على سطح الكره. في هذه الحالة فإن الزاوية المحسنة  $d\omega$  هي عبارة عن المساحة dA مقسومة على مربع نصف قطر الكرة، أي:

$$d\omega = \frac{dA}{r^2} \quad (2-3)$$



الشكل (١٥-٢) الإشعاع الضوئي في واحدة الزوايا المحسنة

وإذا تم عد أن مساحة سطح الكرة تساوي:  $S = 4\pi r^2$  فإن الزاوية المحسنة للكرة تكون:  $d\omega = 4\pi$ .



الشكل (١٦-٢) العلاقة بين الشدة الضوئية والفيض الضوئي

يمكن التعبير عن الشدة الضوئية بشكل عام بأنها كمية الضوء (الفيض الضوئي  $\Phi$ ) التي تشع خلال زاوية محسنة مقدارها  $\omega$  فتصبح علاقة الشدة الضوئية على الشكل التالي:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (2-4)$$

الشكل (١٦-٢) يبين الإشعاع الضوئي في واحدة الزوايا المحسنة  $d\omega$ .

وإذا كان الفيض الضوئي للمنبع متغيراً  $\Delta\Phi$ ، وكذلك زاوية إشعاعه ( $\Delta\omega$ ) يكون:

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega} \quad (2-5)$$

الجدول (٢-٢) يبين الشدات الضوئية الناتجة عن بعض أنواع أجهزة الإنارة للمقارنة

الجدول (٢-٢) الشدات الضوئية الناتجة عن بعض أنواع أجهزة الإنارة

الشدة الضوئية للإنارة [cd]	نوع الإنارة
١	مصابح دراجة عادية أمامي من دون عاكس للضوء
٢٥٠	مصابح دراجة عادية أمامي ووجود عاكس للضوء
٢٠٠٠	مصابح على مرآة عاكسة W ١٥٠ وعلى المحور الرئيسي

### ٣-٣-٣-٢- سوية الإنارة:

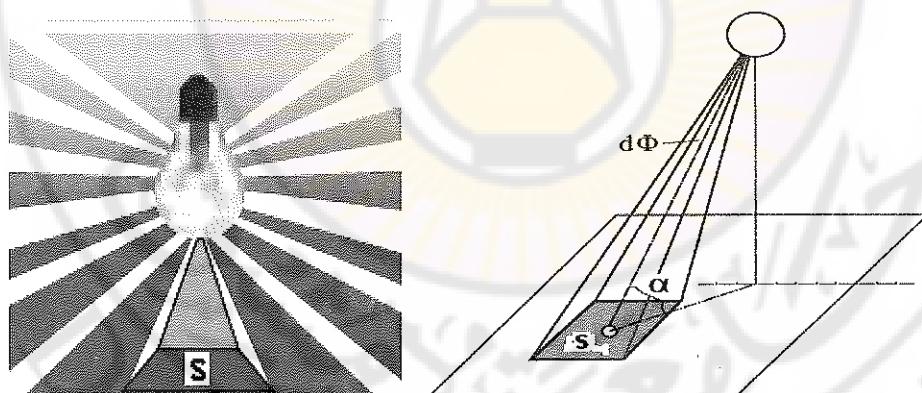
إن سوية الإنارة (Luminance)، والتي يعبر عنها أحياناً بشكل مختصر بتعبير الإنارة فقط، هي عبارة عن مقياس درجة تركيز الضوء الساقط على سطح ما. ويرمز لها بالرمز  $E$  وتبيّن سوية الإنارة الشدة الضوئية الوارضة للسطح. تفاصي سوية الإنارة باللوكس (lux) وتختصر بـ  $L_x$ . حيث:

$$1L_x = \frac{1Lm}{m^2} \quad (2-6)$$

إذا فرضنا وجود إنارة ذات قيمة وسطية هي  $E_{av}$  وكان الفيض الضوئي  $\Phi$  هو الساقط على السطح المضاء  $S$  فيمكن حساب سوية الإنارة الوسطية بالعلاقة:

$$E_{av} = \frac{\Phi}{S} \quad IX \quad (2-7)$$

إلا أن سوية الإنارة تعتمد أيضاً على جهة ورود الفيض الضوئي على السطح المراد إضاءته، فقد يكون الفيض عمودياً على السطح أو يصنع معه زاوية معينة، مثلًا  $\alpha$ ، كما في الشكل (٢-١٧). وبالتالي فإن سوية الإنارة على سطح  $S$  ستنقل بنسبة  $\cos \alpha$  عندما تصبح زاوية ورود أشعة الفيض الضوئي هي  $\alpha$  بدلاً من الورود النظامي أو العمودي للأشعة الضوئية (زاوية



الشكل (٢-١٧) تغيير الإنارة بتغيير زاوية ورود الأشعة الضوئية  
الورود العمودي للأشعة الضوئية هي ٩٠ درجة، وفقاً للعلاقة:

$$E_{av} = \frac{\Phi}{S} \cdot \cos\alpha \quad IX \quad (2-8)$$

تعد سوية الإنارة القيمة الأساسية التي يتم على أساسها حسابات الإضاءة بشكل عام، بما في ذلك أيضاً الفراغات الداخلية.

الجدول (٢-٣) يبين قيم سويات الإنارة التقريرية في بعض الأوقات والأمكنة على سبيل المثال [١٤].

**الجدول (٢-٣) سويات الإنارة في بعض الأوقات والأمكنة**

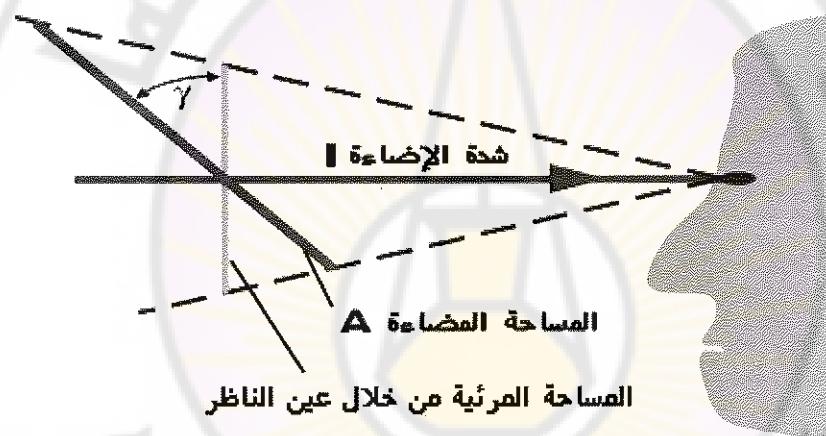
سوية الإنارة [lx]	المكان والزمان
١٠٠٠٠	في منتصف النهار في فصل الصيف، موقع مفتوح والسماء صافية
٢٠٠٠	يوم صيفي غائم بعض الشيء
١٠٠٠	في منتصف النهار في فصل الشتاء، موقع مفتوح
٤٠٠	يوم شتوي غائم
١٠٠٠-٣٠٠٠	في منتصف النهار في فصل الصيف وخلف نافذة منزل
٥٠٠	شروق وغروب الشمس
٠٠٣	ليلة فيها القمر بدر والسماء صافية
٠٠٠١	ليلة منارة بالنجوم ومن دون وجود القمر
٥٠٠	على طاولة عمل في غرفة معيشة إنارتها جيدة، وإنارة مكتب عادية
٨٠٠	على سطح مكتب بإنارة جيدة
٢٠٠	ملعب رياضي وإنارة لنقل تلفزيوني
١١٠	مصابح متوجّه استطاعته ١٠٠ W على مسافة متر واحد منه

#### ٤-٣-٤- الوضوح:

يعرف الوضوح (Luminance) لسطح مضيء أو سطح عاكس بأنه عبارة عن الشدة الضوئية لهذا السطح في اتجاه معين مقسوماً على مساحته الساقطة عليها الضوء من هذا الاتجاه. أو أنه بعبارة أخرى كثافة الشدة الضوئية في اتجاه معين. لذلك يستخدم أيضاً تعبير كثافة الإضاءة في بعض الأنظمة عوضاً عن تعبير الوضوح. إن تعبير كثافة الإضاءة هو

حقيقة الذي يبين مقدار وضوح الأشياء، فاتحة أو غامقة، مرئية بوضوح أو غير مرئية بوضوح... إلخ. ومن هنا جاء التباس التسميين ببعضهما. يرمز للوضوح أو لكثافة الإضاءة بالرمز  $L$  ويقال بواحدة هي:  $\frac{Cd}{cm^2}$  أو  $\frac{Cd}{m^2}$ . وكثافة الإضاءة لمتبع ضوئي أو لمساحة مضاء هي المسؤولة عن حساسية العين الناشطة بفعل الضوء، وبالتالي يمكن للدماغ البشري من خلالها معرفة أو تمييز ضغط الضياء أو النور.

الشكل (١٨-٢) يمثل سطحاً مضاء وموضع عين الناظر منه، والمساحة المضاء، التي يراها الناظر في هذه الحالة. الشكل (١٩-٢) يبين شدة الإضاءة في هاتين: الأولى عندما تكون الإنارة عمودية على سطح الأرض، والثانية عندما تكون الإنارة مائلة بزاوية  $\gamma$ ، وشكل ثالث يبين موضع عين ناظر للسطح المضاء.



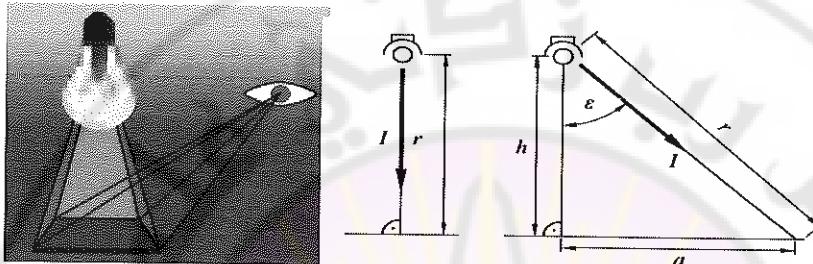
الشكل (١٨-٢) يبين وضوح سطح مضاء، والسطح المرئي من خلال عين ناظر يمكن حساب الوضوح وفقاً لتعريفه، ومن الشكل (١٨-٢) من العلاقة التالية:

$$L = \frac{I}{A \cos(\gamma)} \quad \frac{Cd}{m^2} \quad (2-9)$$

حيث:  $\gamma$  هي الزاوية التي يصنعها السطح المضاء، أو المضيء على العمود الذي ترسمه عين الناظر للسطح.

$A$  تمثل المساحة الحقيقة للسطح المضاء أو المضيء أو العاكس. و  $A \cos(\gamma)$  هي المساحة المسقطة أو الظاهرة، أو التي تبدو مضاءة بالنسبة لعين الناظر، وهي أيضاً في اتجاه الشدة الضوئية I.

يمكن التعبير بشكل عام عن الوضوح بطريقة أخرى، من خلال القول: إن وضوح سطح ما، مثلاً، كالسطح A في الشكل (١٩-٢) هو عبارة عن الوضوح باعتبار السطح عمودياً على



الشكل (١٩-٢) الإنارة على سطح في حالة عمودية وأخرى مائلة تصنف زاوية مع العمود على السطح، وعين ناظر ترى السطح مضاء من خلال منبع ضوئي

عين الناظر مضروباً بتجيب الزاوية التي يصنعها السطح حقيقة بينه وبين السطح العمودي على عين الناظر على الشكل التالي:

$$L = L_{(\gamma=0)} \cdot \cos(\gamma) \quad (2-10)$$

يعبر المعان عن مدى الوهج وإعياء العين عند النظر إلى المصدر الضوئي فتكون قيمته مرتفعة مثلاً، من أجل شمس ساطعة أو مصباح تغيسين شفاف (مصباح متوجع عادي)، بينما أقل لمصباح تغيسين أبيض أو مصباح فلوريسبانست. في السطوح العاكسة والتي تتميز بخاصية النثر المنتظم، والتي ستنعرف عليها فيما بعد، يعطى الوضوح بالعلاقة:

$$L = \frac{E \cdot r_v}{\pi} \cdot \frac{cd}{m^2} \quad (2-11)$$

حيث  $E$  تمثل الإنارة أو سويتها.  $r_v$  عامل الانعكاس للسطح. وبالنظر للمعادلة الأخيرة يظهر أنه كلما كان عامل الانعكاس للسطح أكبر كلما كان سطوعه أو وضوحيه أكثر، هذا يعني أن السطوح الفاتحة اللون تظهر مضاءة أكثر من السطوح الداكنة.

وكذلك فإن وضوح السطوح أو الأشياء، بشكل عام، كما يبدو من المعادلة الأخيرة، يزداد بزيادة سوية الإنارة عليها أو ينقص بنقصانها.

الجدول (٤-٢) التالي يبين قيم الوضوح لبعض الأمكنة والأجسام المنارة والمنيرة بشكل تقريري [١] و [١٤].

**الجدول (٤-٢) وضوح بعض الأجسام المنيرة والمنارة**

الجسم أو المادة أو الموضع	الوضوح [ $\frac{Cd}{cm^2}$ ]
الشمس	١٦٠٠٠
القمر	٠.٢٥
سماء صافية	٠.٣-٠.٧
سماء غيوم	٠.١-٠.١
فنتيله مصباح متوج	٧٠٠
مصباح متوج استطاعته W ١٠٠ زجاجه مغبيش	٦
شمعة مشتعلة	٠.٨
مصباح فلوريسنطي في الاتجاه العرضي	٨
مصباح فلوريسنطي في الاتجاه الطولي	٥
ورق أبيض (عامل الانعكاس ٨٠%) وسوية الإنارة X ٤٠٠	٠.٠١
ورق رمادي (عامل الانعكاس ٤٠%) وسوية الإنارة X ٤٠٠١	٠.٠٥
ورق أسود (عامل الانعكاس ٤%) وسوية الإنارة X ٤٠٠١	٠.٠٠٥
ورق أبيض وسوية الإنارة عليه L ٥٠٠	٠.٠١٥
شارع مضاء بشكل جيد	٢
الحدود الدنيا للإحساس بالنور	١٧١٠ <sup>-٤</sup>

#### ٤-٣-٣-٥ - المردود الضوئي:

يعرف المردود الضوئي بأنه نسبة الفيض الضوئي الذي يعطيه منبع كهربائي على الاستطاعة الكهربائية المقدمة لهذا المنبع. أي:

$$\mu = \frac{\Phi}{P} \quad \frac{Lm}{W} \quad (2-12)$$

حيث:  $P$  هي الاستطاعة الكهربائية للمنبع، والتي تقدر عادةً بالـ  $W$  (الواط) أو مصاعفاته. و  $\Phi$  هي الفيض الضوئي للمنبع ويقدر بالـ  $Lm$ . وبين المردود الضوئي حقيقةً مدى فعالية أو جدوى المنبع الضوئي.

إن أعلى قيمة مردود ضوئي يمكن الحصول عليه نظرياً هي القيمة  $632 Lm/W$ . إن مفهوم المردود الضوئي يعطي فكرة على الأقل عن مقدار الاستفادة من الطاقة الكهربائية التي يستهلكها جهاز الإنارة، أو عن مقدار الوفر الكهربائي فيه عند استخدامه لغرض معين. الجدول (٥-٢) يبين المردود الضوئي التقريبي لبعض المنابع الكهربائية [١] و [٤].

الجدول (٥-٢) المردود الضوئي لبعض أجهزة الإنارة الكهربائية

المردود الضوئي [Lm/w]	الفيض الضوئي للمنبع [lm]	الاستطاعة الكهربائية [W]	المنبع الكهربائي
١٠-١٥			لعموم المصايبخ المتوجهة
١٣.٨	١٣٨٠	١٠٠	مصابح متوجه
١٥-٢٥			لعموم مصايبخ الهالوجين المتوجهة
١٦.٦	٥٠٠٠	٣٠٠	مصايبخ هالوجين متوجهة
٦٠-١٠٠			لعموم مصايبخ الفلوريسنت
٥٥	٣٣٠٠	٦٠	مصابح فلوريسنت
٤٠-٥٥			لعموم مصايبخ بخار الزئبق بضغط عالي
٨٠	٢٠٠٠٠	٢٥٠	مصابح بخار الزئبق ذات الضغط العالي
١٠٠	٢٥٠٠٠	٢٥٠	مصابح بخار الصوديوم بضغط العالٰ
١٥٠-٢٠٠			لعموم مصايبخ بخار الصوديوم بضغط منخفض
١٨.٣	٣٣٠٠٠	١٨٠	مصابح بخار الصوديوم بضغط منخفض
٦٠-١٠٠			لعموم مصايبخ الميتال هاليد

### **٢-٣-٦-٣ - معامل ومؤشر التعيم :**

تؤثر المصادر الضوئية الثانوية بشكل إيجابي أو سلبي على عملية الإدراك الضوئي للعناصر المراد مشاهدتها. ويقصد بالمصدر الضوئي الثاني بأنه المصدر الضوئي الذي يقع في مجال رؤية العين، إلا أنه لا يؤثر أو يضيء العنصر المراد مشاهدته. إن توزع الضوء بشكل غير منظم في حقل نظر الإنسان يسبب انخفاضاً في فعالية عملية الرؤيا لديه، وعندما توجد في حقل نظر الإنسان مصادر ضوئية شديدة الإضاءة فتختفي قدرة الرؤيا لديه. إن انخفاض مقدرة الرؤيا لدى الإنسان يسمى بالتعيم.

### **٢-٣-٧-٧ - مؤشر عدم راحة الرؤيا:**

عند التوزيع السيئ للمصادر الضوئية ذات اللمعان الشديد في مكان معين يحدث إزعاج وعدم راحة في الرؤيا، بالإضافة طبعاً إلى التعيم، الذي أشرنا إليه سابقاً. لتجنب هذه الظاهرة يراعي ذلك في تصميم أنظمة الإنارة، وإنزعاج الرؤيا أو عدم راحة الرؤيا يختلف عن التعيم بأنه لا يعبر عن صعوبة الرؤيا مباشرة ، بل يظهر الإحساس غير المريح في الرؤيا عند وجود الإنسان لفترة طويلة في مكان يتصرف نظام إنارته بعدم الراحة، مما يسبب عدم التركيز وانخفاض انتباه الإنسان أو الإحساس بالإرهاق العام. تسمى هذه الظاهرة بمؤشر عدم راحة الرؤيا.

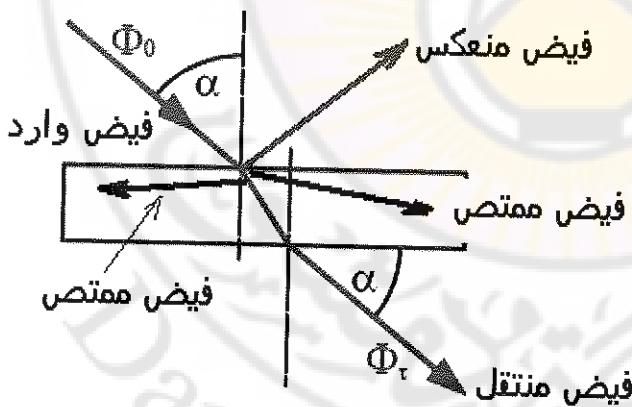
### **٤-٣-٣-٨ - البهار الضوئي:**

إن تسلط ضوء قوي على الأعين سبب بما هو شائع الاستخدام بالبهار، أو ما معناه عدم قدرة العين على الاستجابة، وبالتالي عدم قدرتها على الرؤية مع هذا النور الساطع الموجه إليها، وبالتالي عدم قدرتها على تحليل وإدراك الأشياء. والبهار يمكن أن ينبع من ضوء مسلط مباشرة على الأعين أو من ضوء جاء منعكساً من على سطح عاكس ووصل إلى الأعين. والبهار الضوئي متعلق بشدة الإضاءة، وحجم المنبع الضوئي، وموقع الشخص، الذي سمح بوصول هذه الأشعة القوية إلى عينيه. ويتم التخلص من هذه الظاهرة في الإضاءة من خلال التوضع والترتيب الصحيح لأجهزة الإنارة بالإضافة إلى لون هذه الإضاءة وحجوب الأشعة التي يمكن أن تسبب بالبهار، وكذلك مناسبة الإضاءة لحجم الفراغ المراد إضاءته. وليس من

السهل أبداً التخلص من هذه الظاهرة السيئة في الإضاءة، وإنما يتوجب قدر الإمكان الحد منها. إن أخطر البهار الذي يحدث هو في إنارة الشوارع، إذا حدث لأعين سائق سيارة مسرعة. ومن الشائع في الآونة الأخيرة ما تسبب به شاشات الحواسيب على أعين المستخدمين، وخاصةً عند الاستخدام المتواصل وال دائم للحواسيب، عندما تكون المنابع الضوئية تقع خلفهم وتنعكس أشعتها على أعينهم من خلال شاشات هذه الحواسيب. إن البهار هنا لا يترك أثراً سيناً مباشراً على الأعين، وإنما تراكمياً تظهر نتائجه بعد فترة من الزمن. لهذا السبب يتوجب الحرص على عدم وضع أجهزة إنارة بمقابل شاشات الحواسيب بشكل مباشر، كما ينصح بوضع مواد شفافة خاصة أمام شاشات الحواسيب تعمل على التخفيف من سطوع الإضاءة الناتجة عن الشاشة نفسها ومن احتمال انعكاس ضوء ما عبرها. أما في أجهزة الإنارة فيعمل مصمموها على وضع حواجز تحجب الإنارة الساطعة المباشرة الناتجة من المنبع الضوئي لتخفف من شدتتها أو لتشتيتها في اتجاهات مختلفة مفيدة.

#### ٤-٤- خواص السطوح أمام الضوء:

إن الضوء الذي يصل إلينا ليس ناتجاً فقط من الإشعاع الضوئي المباشر الذي تعطيه المنابع الضوئية، بل يصل جزء كبير منه عن طريق الانعكاسات الضوئية من الأجسام المحيطة بنا، والتي لها خواص انعكاسية ضوئية، وهذه يطلق عليها اسم المنابع الضوئية الثانوية. وعندما



الشكل (٢٠-٢) شكل تمثيلي لاحتمالات رد فعل السطوح

على الفيض الضوئي الوارد إليها

- يسقط شعاع ضوئي على جسم ما فإن الفيض الساقط على هذا الجسم يمكن تجربته، بشكل عام، كما يبين الشكل (٢٠-٢) إلى ثلاثة مرکبات [١] و [٥] و [٦] و [٧] و [١٣] :
- ١- فرض ضوئي منعكس.
  - ٢- فرض ضوئي منتظر .
  - ٣- فرض ضوئي منتظر.

**فالفيض الضوئي المنعكس** هو الجزء من الفيض الكلي، الذي سيرتد منعكساً عند اصطدام الضوء بسطح مادة عاكسة للضوء. **والفيض المنتقل** هو الجزء من الفيض الكلي، الذي سينفذ إلى الجهة الأخرى من مادة نافذة للضوء عند اصطدام الضوء بسطح هذه المادة. **والفيض الممتص** هو الجزء من الفيض الكلي، الذي سيتم امتصاصه من قبل المادة عند وصول الضوء لسطحها.

فإذا اعتبرنا أن الفيض الكلي الساقط على سطح مادة ما يساوي ١٠٠٪، وحدث أن انعكس جزء من هذا الفيض على سطح المادة وامتصت المادة أيضاً جزءاً آخر من الفيض، وسمحت لجزء ثالث أن ينتقل إلى الجهة الأخرى منها، وإذا رمزنا لعامل الانعكاس المئوي بالرمز  $r\%$ ، ولعامل الانتقال المئوي بالرمز  $t\%$ ، ولعامل الامتصاص المئوي بالرمز  $a\%$  يمكن وبالتالي كتابة العلاقة:

$$r\% + a\% + t\% = 100\% \quad (2-12)$$

حيث يعرف عامل الانعكاس بأنه النسبة بين الفيض الضوئي المنعكس إلى الفيض الكلي الساقط. وعامل الانتقال هو النسبة بين الفيض الضوئي المنتقل إلى الفيض الكلي الساقط. وعامل الامتصاص هو النسبة بين الفيض الضوئي الممتص من قبل المادة إلى الفيض الكلي الساقط عليها. وليس بالضرورة أن يخضع الضوء الساقط على سطح مادة إلى تجزئته إلى ثلاثة أجزاء وفق الظاهرة المبينة في الشكل (٢٠-٢)، فبعض المواد قد لا يحدث عندها انعكاس أبداً، وبعضها الآخر قد لا يحدث عنده امتصاص أو انتقال وبعضها قد يخضع لظاهرتين فقط من الثلاث السابقة... إلخ. على سبيل المثال فإن الخشب أو الحجر يعكسان قسماً من الأشعة ويامتصان القسم الآخر بينما الزجاج والورق فإنهما بالإضافة إلى ذلك يحدث عبرهما انتقال لقسم من الأشعة.

#### ٤-١-٤ - الانعكاس:

نتعامل المواد المختلفة مع الضوء بشكل مختلف، وذلك تبعاً لطبيعة كل مادة، وبالأخص سطح المادة الذي يصل إليه الضوء. وفي الحياة العملية يوجد الكثير من المواد التي تعكس سطوحها الضوء. وهذا السطوح تكون على عدة أنواع وفقاً لعكسها للضوء، أي لكل منها خاصية

انعكاس مختلف عن الآخر، ويمكن التمييز بين خمسة أصناف من الانعكاس (Reflection) الضوئي للسطح، كما تبينها الرسومات في الشكل (٢١-٢).

١- الانعكاس المباشر (المرآوي).

٢- الانعكاس الناشر.

٣- الانعكاس المنتشر أو نصف الناشر.

٤- الانعكاس المختلط.

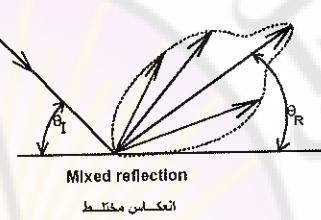
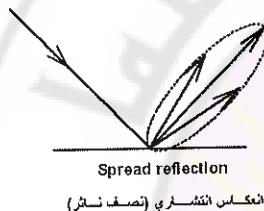
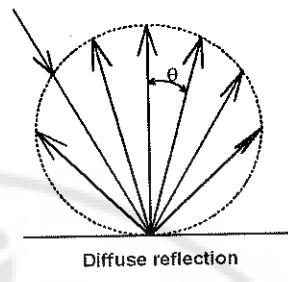
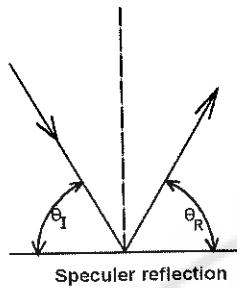
٥- الانعكاس المتباير (المبعثر).

في الانعكاس المباشر يعكس السطح الأشعة الساقطة عليه كما تفعل المرأة تماماً، فتكون زاوية أي شعاع ضوئي وارد تساوي زاوية الشعاع المنعكس عنه، أما في الانعكاس الناشر فتُنعكس الأشعة في جميع الاتجاهات بشكل منظم، لذلك يسمى هذا الانعكاس أحياناً بالانعكاس الناشر المنتظم، حيث يبدو السطح ساطعاً بشكل متساوٍ من كافة الاتجاهات. إن هذا النوع من السطوح نادر الوجود حقيقةً في الحياة العملية. وبشكل عام تعطي السطوح انعكاسات إما من النوع النصف الناشر أو المختلط. في الانعكاس النصف الناشر يحدث انعكاس منتشر للأشعة، أي يحدث لكل شعاع ضوئي وارد مجموعة غير كبيرة من الأشعة المنعكسة، أو نقول تنتشر منه عدة أشعة ضوئية. ويكون الانتشار وفق قانون الانعكاس المباشر. إن معظم السطوح الطافية (المات) تعطي هذا النوع من الانعكاس.

في الانعكاس المختلط تتعكس بعض الأشعة الضوئية انعكاساً ناشرًا، وبعضها الآخر ينعكس انعكاساً مباشراً، ومثال على ذلك سطوح البورساليين والدهان الزيتاني اللامع.

أما في الانعكاس المتباير فينكسر الشعاع الساقط إلى عدة أشعة منعكسة، وفي نفس اتجاه الأشعة الضوئية الواردة أيضاً. مثال على ذلك سقوط الأشعة على زجاج محجر أو مغشى. هذا ويوجد جداول خاصة تبين عوامل الانعكاس للمواد المستخدمة في الإكساء الداخلي للأبنية. وتؤخذ هذه بالحساب عند دراسة الناحية الضوئية للأمكنة.

الجدول (٦-٢) يبيّن درجات الانعكاس الضوئي لبعض الألوان والمواد الشائعة الاستخدام [١] و [٦] و [١٤].



الشكل (٢١-٢) تمثيل لأنواع الانعكاس على السطوح

الجدول (٦-٢) نسب الانعكاس الضوئي لبعض الألوان والمواد

درجة الانعكاس %	اللون / المادة	درجة الانعكاس %	اللون / المادة
٧٥	العاجي الفاتح	٧٠-٨٠	الأبيض، الكريم
٤٥-٥٠	الأخضر الفاتح/ الزهر	٥٥-٦٥	الأصفر الفاتح
٤٠-٤٥	أزرق سماوي	٥٠	البرتقالي
٣٠	البني الفاتح	٤٠	رمادي فاتح
٢٠-٣٥	البرتقالي/ أحمر قوي جداً	٢٥-٣٥	البني الفاتح/ الأخضر الزيتوني/ الأصفر الغامق
١٠-١٥	الأخضر والأحمر والرمادي الغامقين	٢٠	الرمادي بلون الإسمنت
٤	الأسود	١٠	الأزرق الصافي
٣٠-٤٠	خشب البلوط	٥٠-٦٠	خشب القيقب (إسفندان)
٨٠	الجبيسين/ الطلاء	١٥-٢٠	خشب الجوز
٣٥-٤٠	آجر أصفر	٦٠-٧٥	بلاط أبيض
١٠-٢٥	آجر أحمر	٢٠-٤٠	إسمنت مسلح
٥٥-٦٠	المنيوم مات	٦٠-٦٥	أبيض ملمع
		٦-١٠	زجاج صافٍ

الجدول (٧-٢) والجدول (٨-٢) يبينان عوامل الانعكاس لألوان متعددة مدهونة بها سطوح لها خاصية الانعكاس الناشر ولمواد مختلفة مستخدمة في الحياة العملية عند تعرضها لضوء أبيض اللون يسقط عليها [١] و [٦] و [١٤].

الجدول (٧-٢) عوامل الانعكاس لألوان متعددة من السطوح لها خاصية الانعكاس الناشر

اللون	الغامق	الوسطي	الفاتح
أصفر	٠.٣٠	٠.٥٠	٠.٧٠
بيج	٠.٢٥	٠.٤٥	٠.٦٥
بني	٠.٠٨	٠.٢٥	٠.٥٠
أحمر	٠.١٠	٠.٢٠	٠.٣٥
أخضر	٠.١٢	٠.٣٠	٠.٦٠
أزرق	٠.٠٥	٠.٢٠	٠.٥٠
رمادي	٠.٢٠	٠.٣٥	٠.٦٠
أبيض	—	٠.٧٠	٠.٨٠
أسود	—	—	٠.٠٤

الجدول (٨-٢) عوامل الانعكاس لأنواع مواد مختلفة ومستخدمة بكثرة في الحياة العملية عند

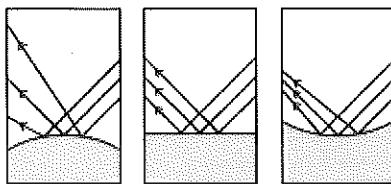
عرضها للضوء الأبيض

المادة	عامل الانعكاس
أعمال بلاستر (لاصق) أبيض، جديد وجاف	٠.٧٠-٠.٨٠
أعمال بلاستر (لاصق) أبيض قديم	٠.٣٠-٠.٦٠
طلاء مائي أبيض	٠.٦٥-٠.٧٥
طلاء أبيض زيتاني	٠.٧٥-٠.٨٥
طلاء المنيوم	٠.٦٠-٠.٧٥
إسمنت جديد	٠.٦٠-٠.٧٥
إسمنت قديم	٠.٠٥-٠.١٥
أعمال حجر (طوبية) بناء جديد	٠.٤٠-٠.٥٠
أعمال حجر (طوبية) بناء قديم	٠.٠٥-٠.١٥
ألوان فيبر خشبية (كريم، جديد)	٠.٥٠-٠.٦٠
ألوان فيبر خشبية (كريم، قديم)	٠.٣٠-٠.٤٠
شجر القصبان وشجر القيقب	٠.٥٥-٠.٦٥
خشب بلوط مع طبقة ورنيش فاتح	٠.٤٠-٠.٥٠
خشب بلوط مع طبقة ورنيش غامق	٠.١٥-٠.٤٠
خشب الماهوغاني وخشب الجوز	٠.١٥-٠.٤٠

٠.٣٠-٠.٤٥	ستائر صفراء
٠.١٠-٠.٢٠	ستائر حمراء
٠.١٠-٠.٢٠	ستائر زرقاء
٠.١٥-٠.٢٥	ستائر رمادية وفضية
٠.١٠-٠.٢٠	ستائر بنية غامقة
٠.٠٠٥-٠.٠١	مخمل أسود
٠.٨٨-٠.٩٣	فضي (لماع)
٠.٦٥-٠.٧٥	طلاء زجاجي أبيض غير شفاف
٠.٥٣-٠.٦٣	نيكل لامع
٠.٤٨-٠.٥٢	نيكل مت (matt)
٠.٦٥-٠.٧٥	المنيوم لامع
٠.٥٥-٠.٦٠	المنيوم مت
٠.٤٨-٠.٥٠	نحاس
٠.٦٠-٠.٧٠	كروم لامع
٠.٥٢-٠.٥٥	كروم مت
٠.٦٨-٠.٧٠	صفيحة قصدير

وتتجدر الإشارة إلى أن الخواص الانعكاسية لبعض المعادن تتعلق بطول موجة الضوء الساقط عليها. في هذا المجال يمكن التمييز بين نوعين من المواد ، بعضها يملك خواص انعكاسية حيادية (Neutral reflection) وبعضها يملك خواص انعكاسية انتقائية (selective reflection )، في النوع الأول فإن المادة تعكس تقريباً كافة الألوان بنفس القوة ، مثل الفضة، حيث تشاهد بلون أبيض، بينما بعض المواد تعكس بعض الألوان بشكل أقوى من الألوان الأخرى، مثل الذهب، الذي يملك أفضلية عاكسية لللون الأصفر، وهو ما يفسر ظهوره بهذا اللون. وبشكل مشابه توجد في الانتقال أيضاً مواد لها خاصية الانتقال الحيادي ومواد أخرى لها خاصية الانتقال الانتقائي.

وإذا حدث الانعكاس على سطوح ذات ميل كبير، كالسطح المحدبة أو المقعرة فإن انعكاس



(٢٢-٢) انعكاس مباشر لأشعة عن سطوح محدبة ومقعرة ومستوية للمقارنة  
ولعل أكثر المواد المستخدمة في أجهزة الإنارة لعكس الضوء هي تلك التي تتمتع سطوحها بخاصية الانعكاس الناشر المنتظم، نظراً لتوزيعها المنظم للأشعة الضوئية في كافة الاتجاهات. وإذا تنظرى سطح العاكس بشواشب كالغبار وما شابه يمكن للانعكاس أن يصبح تبعثرياً. ويغلب في أجهزة الإنارة، وبالأخص الدائرية الشكل أن يكون الانعكاس فيها من على سطوح مقعرة.

#### ٤-٤-٤- الانتقال:

عندما تسقط أشعة ضوئية على مادة نافذة للضوء، كالزجاج مثلاً أو الورق غير السميك، تتنقل أشعة الضوء، كلها أو جزء منها إلى الطرف الآخر من المادة النافذة أو الشفافة، كما بين الشكل (٢٠-٢). وكما هو الحال في حال انعكاس الأشعة الضوئية عند سقوطها على السطوح، يمكن التمييز أيضاً عند انتقال الأشعة عبر المواد بين خمسة أنواع من الانتقال (Transmission)، يبينها الشكل (٢٣-٢)، وهي:

- ١- الانتقال المباشر.
- ٢- الانتقال الناشر المنتظم.
- ٣- الانتقال الناشر (نصف الناشر).
- ٤- الانتقال المختلط.
- ٥- الانتقال المبعثر.

يظهر الانتقال المباشر في الزجاج أو البلاستيك الصافي الشفاف حيث تخترق الأشعة السطح المعرض للضوء، بعد أن تفقد قسماً كبيراً من طاقتها نتيجة الانعكاس أو الامتصاص الجزيئي وتظهر من الجانب المقابل للسطح الساقطة عليه الأشعة الضوئية، بحيث تكون زاوية الأشعة المنتقلة متساوية لزاوية الأشعة الساقطة.

في الانتقال الناشر فإن الأشعة المنتقلة تتبعث بشكل منتظم في جميع الاتجاهات، ويظهر سطوع المادة متساوياً في كافة الاتجاهات. يصعب في الحياة العملية مصادفة مواد من هذا النوع،

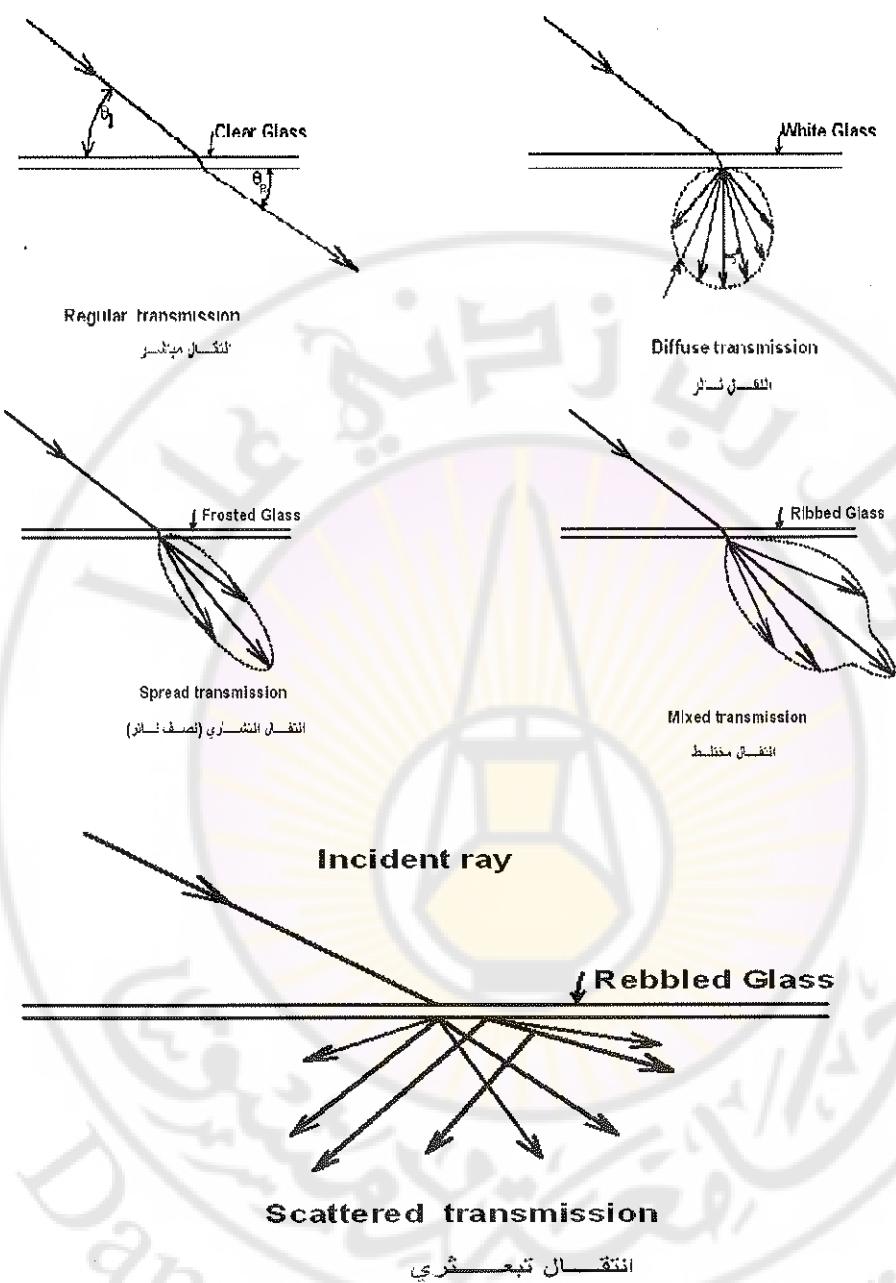
ولكن الزجاج الحلبي أو الزجاج ذو اللون الأبيض له خواص انتقائية قريبة من ذلك في الانتقال النصف الناشر، حيث تتفذ الأشعة وتتشتت ليأخذ منحاتها العام اتجاه الانتقال المباشر، ومثل على ذلك الزجاج المقسى (المثلج)، حيث يظهر للناظر الزجاج ساطعاً في اتجاه معين أكثر من الاتجاهات الأخرى.

في الانتقال المختلط فإن جزءاً من الأشعة النافذة ينتشر، والجزء الآخر ينتقل انتقالاً مباشراً، ومثل على ذلك الزجاج المضلع (الموشوري).

يحدث الانتقال المبعثر عندما تكسر الأشعة النافذة إلى مجموعة من الأشعة النافذة المباشرة. مثل على ذلك الزجاج المبلل (سطح غير مستو) فهذا النوع من الزجاج يظهر وكأنه متلاين عندما يتعرض لضوء. والشكل (٢-٢) يبين الأنواع المختلفة للانتقال عبر السطوح الزجاجية. الجدول (٩-٢) يبين عوامل الانتقال لبعض المواد المستخدمة في الحياة العملية والنافذة للضوء.

الجدول (٩-٢) قيم عوامل الانتقال لبعض المواد المستخدمة في الحياة العملية

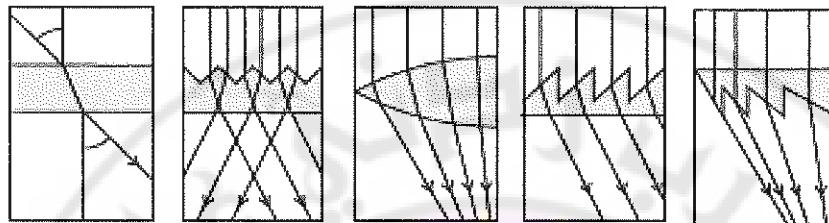
عامل الانتقال	المادة
٠.٩٠-٠.٩٣	زجاج صافٍ
٠.٥٥-٠.٦٥	زجاج غير صافٍ
٠.٦٥-٠.٧٥	زجاج محجر
٠.٥٩-٠.٨٤	زجاج براق (متلاين)
٠.١٠-٠.٣٨	زجاج حلبي
٠.٣٥-٠.٦٥	زجاج أوبال (opal) نصف معتم
٠.٦٠-٠.٧٠	حرير أبيض
٠.١٥-٠.٥٥	حرير ملون
٠.٤٠-٠.٤٥	ورق الرق أو البرشمان



الشكل (٢٣-٢) أنواع الانقال في السطوح المختلفة

وكما في الانعكاس عبر سطوح ذات ميلان معين، محدبة أو مقعرة مثلاً، كذلك يكون الانتقال عبر هذه السطوح، إنه يأخذ بالحسبان ميل هذه السطوح إضافة إلى الخواص الانتقالية لها.

الشكل (٢٤-٢) يبين على سبيل المثال بعض أنواع الانتقال لمواد زجاجية ذات سطوح مختلفة الأشكال.



الشكل (٢٤-٢) انتقال الأشعة الضوئية عبر مواد زجاجية مختلفة الأشكال  
(في أجهزة الإنارة تدعى هذه عادةً بالنواثر)

#### ٤-٥- منابع الضوء الكهربائية:

يقصد بمنابع الضوء الكهربائية (Electric Light Sources)، الأجهزة الكهربائية الصناعية التي تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية، أو اختصاراً، إلى ضوء. وتسمى جميع هذه الأجهزة عموماً بأجهزة الإنارة. توجد لمنابع الضوء الصناعية خيارات كثيرة ومتعددة، بدءاً من مردود ضوئي يساوي  $183 \text{ Lm/W}$  فقط وحتى  $20 \text{ Lm/W}$  وتعتمد هذه المنابع لإنتاج الضوء على واحد من المبادئ الرئيسية التالية [١] و[٦] و[٨]:

- ١ - التوهج الحراري.
- ٢ - التألق الكهربائي.
- ٣ - الاستشعاع.
- ٤ - التقسيف.

وسنقوم بدراسة كل واحد من المبادئ السابقة بالتفصيل، بما في ذلك أجهزة الإنارة الكهربائية التي تصنع معتمدةً عليها.

## ١-٥-٢ - التوهج الحراري:

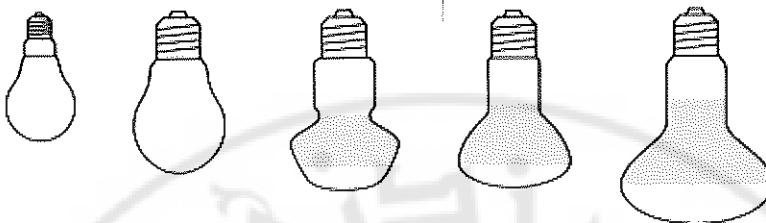
يعني التوهج الحراري (Incandescence) تسخين بعض المواد المعدنية حتى الاحمرار والتلوهج (حتى  $2500^{\circ}\text{C}$ ) وإصدار الضوء. إن أجهزة الإنارة الكهربائية التي تعتمد على هذا المبدأ تحتوي بداخلها على سلك معدني ملفوف على شكل وشيعة، يسمى عادةً فتيلًا معدنيًا (Filement)، وهو قادر على تحمل درجات حرارة عالية، يمر فيه تيار كهربائي لمدة زمنية غير محددة فيسخن السلك ويتوهج ويعطي ضوءاً. يكون السلك المعدني عادةً من مادة قادرة على تحمل درجات الحرارة العالية والتسخين المستمر، وهو على الأرجح التنجستين (Tungsten)، وموضعه ضمن حبابة من الزجاج، تحتوي بداخلها على غاز خامل لمنع تفاعل السلك مع محيطه الغازي، أو تكون الحبابة مفرغة من أي غاز. تتحج المصابيح التي تعمل على هذا المبدأ باستطاعات قليلة وصولاً إلى استطاعة تساوي  $2000\text{ W}$ .

يوجد نوعان من المصابيح المتوجهة [٨]:

## ٢-١-٥-١ - المصابيح المتوجهة العادية:

في المصابيح المتوجهة العادية (Incandescent Lamps) تكون حبابة المصباح مفرغة من الغاز، أو تحتوي بداخلها على أحد الغازات الخاملة كغاز التتروجين (Nitrogen) أو الأرغون (Argon) أو الكريتون (Krypton) الخامل. نظراً لقدرة هذا المصباح على إعطاء الضوء مباشرةً من دون تأخير عند إشعاله فهو يستخدم في جميع مناحي الحياة تقريباً، وخاصةً للأماكن التي تحتاج لإنارة سريعة، كالمرارات والأدراج والحمامات ودورات المياه. وكذلك لجميع الأماكن، التي لا تحتاج لسوية إنارة عالية. ضوؤها يميل للإحمرار قليلاً. إن المردود الضوئي للمصابيح المتوجهة العادية ليس جيداً مقارنةً بسواء من المصابيح ويخالف وفقاً لاستطاعتها الكهربائية كما يبين الجدول (١٠-٢). وهو  $\text{Lm/W} (18.8-6)$ . وזמן العمل الوسطي لها بحدود ١٠٠٠ ساعة. نظراً للمردود الضوئي السيء لهذه المصابيح فلا ينصح عادةً باستخدامها إلا في الحالات الازمة لها. تمتاز هذه المصابيح عن مثيلاتها برخص ثمنها نسبياً، لذلك نرى شيوعاً عنها في الاستخدام في كثير من البيوت. إن مقارنة الطيف الضوئي لهذا المصباح البسيط، كما بينه الشكل (٩-٢) السابق، مع منحنى نورانية العين، الشكل (٧-٢)

يعل لماذا يظهر لون هذا المصباح أقرب إلى الأحمر. الشكل (٢٥-٢) يبين بعض أشكال المصابيح المتوجهة الشائعة الاستخدام.



الشكل (٢٥-٢) يبين بعض أشكال المصابيح المتوجهة الشائعة الاستخدام  
باستطاعات وأحجام مختلفة

الجدول (١٠-٢) يبين قيمًا للمردود الضوئي لمصابيح المتوجهة الشائعة في الاستخدام.

الجدول (١٠-٢) مردود المصابيح المتوجهة

١٠٠٠	٥٠٠	٣٠٠	٢٠٠	١٥٠	١٠٠	٧٥	٦٠	٤٠	٢٥	١٥	الاستطاعة الكهربائية
١٨.٨	١٦.٨	١٦.٧	١٥.٧	١٤.٨	١٣.٨	١٢.٨	١٢.٢	١٠.٧	٩.٢	٦	المردود Lm/W

#### ٢-١-٥-٢ - مصابيح الهايوجين:

إن مصابيح الهايوجين (Halogen Lamps) هي إحدى أنواع المصابيح المتوجهة، إلا أنها تحتوي بداخلها على غاز خامل إضافي، هو الهايوجين، بأحد أنواعه، مثل البروم (Brom) أو اليود (Jod) أو الفلور (Fluor). وتميز عن المصابيح العادية بحبتها الأصغر حجمًا من العادية والمصنعة من بلور الكوارتز، القادر على تحمل درجات حرارة أعلى من الزجاج العادي. وكذلك فإن مردودها الضوئي أفضل، ويبلغ بحدود (٣٦-١٧) Lm/W وعمر عملها أطول، وبساوي ضعف عمر المصابيح العادية، بفضل غاز الهايوجين ضمنها، الذي يتمتع بقدرة أفضل على حماية السلك المتوجه من التأكسد والتخريب. تستخدم هذه المصابيح بشكل عام في الإضاءة الخارجية والتزيينية وإنارة الأماكن والقاعات الكبيرة، والصالات، التي

تم فيها العمليات البصرية كالتصوير وما شابه. يوجد هذا النوع من المصايب بـ  $W(20-200)$ . ومنها ما يعمل على التوترات المنخفضة (LV)، وهي عادةً  $12V$ . وهذه بحاجة إلى محولات لتعمل.

تتميز المصايب على أنواعها بأنها:

١- ذات وصل مباشر بالكهرباء. فهي ليست بحاجة إلى دارات إقلاع مساعدة إضافية أو سواها.

٢- ذات وثوقية عمل عالية. فهي لا تتأثر بالوسط المحيط، درجة الحرارة أو الرطوبة.

٣- ذات حجم صغير نسبياً وتناسب جميع الأمكنة تقريباً.

٤- تعطي ضوءاً متجانساً تقريباً في جميع الاتجاهات.

٥- تعمل على الشبكة مهما انخفض توترها. إلا أن إضاءتها تقل كلما انخفض التوتر، وتزداد بزيادة استطاعتها.

٦- تستخدم لإلأضافة جميع الغرف عموماً، كما يمكن استخدامها للإلأضافة الخاصة.

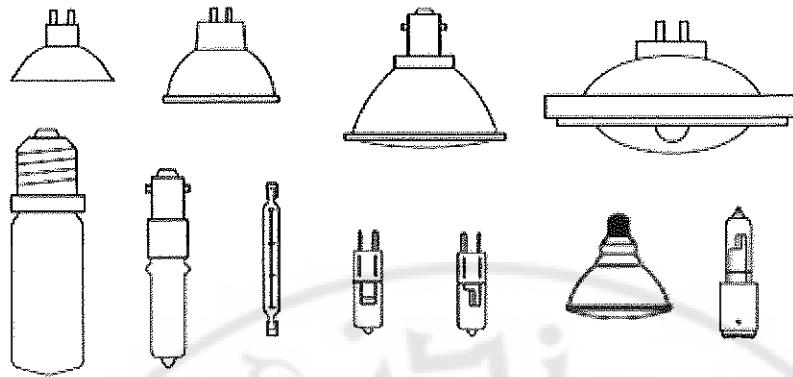
٧- مردوداتها الضوئي منخفض نسبياً ويتساوی  $W(36-6)$ .

٨- عمر عملها قصير نسبياً ولا يتجاوز  $1500$  ساعة عمل وسطياً للمصايب العادية و  $2000$  ساعة عمل للهالوجين منها.

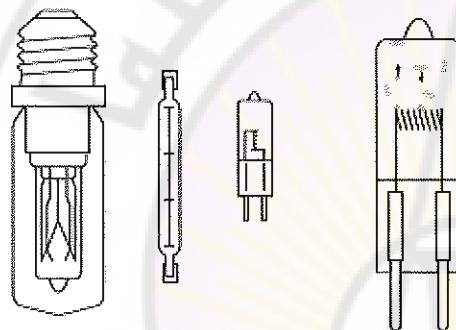
٩- لون إضاءتها بشكل عام أحمر يميل للإصفار في المصايب العادية، ويميل للبياض قليلاً في ذات الهالوجين. وهو ضوء أبيض حار.

الشكل (٢٨-٢) يبين الطيف الضوئي لمصايب الهالوجين المتوجهة. (قارن مع الطيف الضوئي للمصايب العادية في الشكل (٩-٢)؟ ماذا تستنتج؟).

تكون مصايب الهالوجين المتوجهة بـ  $12V$ ، أحد النماذج المبينة في الأشكال (٢٦-٢). أما المصايب الهالوجينية التي تعمل على التوترات الأحادية الطور المتاوية المعروفة،  $220V$ ، فمعظمها يأخذ أحد الأشكال العامة المبينة في الشكل (٢٧-٢).



الشكل (٢٦-٢) بعض أشكال مصابيح الها洛جين المتوجهة، التي تعمل على التوتر المنخفض ١٢٧



الشكل (٢٧-٢) مصابيح الهالوjen المتوجهة التي تعمل على التوتر المتناوب ٢٢٠ V

#### ٤ - ٥ - التأين أو التألق الكهربائي:

ينشأ الضوء نتيجةً للانفراغ في الغازات وأبخرة بعض المعادن. ويمكن التمييز في عملية الإضاءة وفق مبدأ التأين أو التألق الكهربائي (Electric Luminescence) بين:

- الانفراغ المتوجه.
- الانفراغ (التأين) بفعل الأقواس الكهربائية. وفي هذا الانفراغ يمكن التمييز أيضاً بين:
  - ١ - الانفراغ بالضغط العالي. كما هو في مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط العالي ومصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط العالي (NAV). ومصابيح بخار المعden-الهالوjenين (إن التسمية الشائعة لهذا النوع من المصابيح هو الميتال - هاليد. والهاليد هو أحد أنواع الهالوjenين، Metal-Halide Lamps).

٢- الانفراج بالضغط المنخفض. كمصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض (NA). وتعد أيضاً مصابيح الفلوريسانت أحد أنواع مصابيح الانفراج بالتوتر المنخفض، وكذلك مصابيح الفلوريسنت المدمجة.

- أو ينشأ الضوء بفعل التأين الديودي (الديودات الباعثة للضوء: Light Emitting Diodes: اختصاراً LED).
- كما يمكن للضوء أن ينشأ أيضاً كأشعة ليدية.

#### ١-٢-٥-٢ - المصايبح الانفراجية:

يقصد بالمصايبح الانفراجية (Discharge Lamps) مصابيح أبخرة المعادن، حيث يحدث فيها الانفراج بضغط منخفض أو عالٍ.  
١- مصابيح الفلوريسنت:

تعد مصابيح الفلوريسنت (Fluorescent Lights) من مصايبح الانفراج ذات الضغط المنخفض. يتكون هذا المصباح من أنبوب زجاجي، بأطوال مختلفة، وفقاً لاستطاعته. هذا الأنبوب مطلي من الداخل بمادة فوسفورية تصدر ضوءاً مرئياً عندما تتعرض لإشعاعات فوق بنفسجية. والإشعاعات فوق البنفسجية تتشكل عند الانفراج (التأين) ضمن الأنبوب. يملأ الأنبوب ببخار الزئبق بضغط منخفض (بحدود  $10 \text{ N/m}^2$ ) مع أحد الغازات النادرة كالأرغون أو مزيج من الأرغون والكريتون أو الأرغون والنبلون، التي تساعده في عملية الإقلال والانفراج وتوليد الأشعة فوق البنفسجية. ومن أجل الحصول على ألوان مختلفة من الإنارة يضاف إلى المواد الفوسفورية مواد ملونة حسب الطلب. وتلعب الألوان دوراً مهماً في المردود الضوئي بفضل اختيار المواد القابلة للإضاءة (التوهج) فيها يتم الحصول على إشارات أفضل تقع ضمن الطيف الضوئي المرئي، حتى إنه يمكن التأثير على اللون الضوء فيها. تأخذ أجهزة إنارة الفلوريسنت ثلاثة ألوان رئيسية حسب خليط الغاز والمواد الملونة بداخلها، وهي:

- الأبيض الدافئ (WW) : وهو لون قريب من ضوء المصايبح المتوجه بشكل جيد. وتكون درجة حرارة اللون فيها أقل من K ٣٣٠٠ (بحدود K ٣٠٠٠). تستخدم في الغرف والأماكن التي تتطلب إشارات هادئة.

- الألوان البيضاء، وتسمى البيضاء الحياتية (nw). وهي الألوان القريبة من ضوء النهار. درجة حرارة اللون فيها تكون بحدود K٤٠٠٠. وهي تستخدم لكافة الأماكن التي تتطلب إشارة كافية وجيدة، مثل إشارة القاعات الدراسية والمختبر والورش وأماكن العمل الدقيق.
- لون ضوء النهار (tw)؛ وهذه تستخدم في الأماكن التي تتطلب الحفاظ على الألوان، وإظهارها على حقيقتها، كمخازن ومحال الأقمشة وورش الدباغة وما شابه. وتكون درجة حرارة اللون فيها أعلى من K٥٠٠٠، (بحدود K٥٠٠٠-٧٥٠٠)).

الشكل (٢٩-٢) في ملحق الصور الملونة بين تحليل الضوء الأبيض الناتج من منبع إشارة فلوريستي عبر موشور. الأشكال (٣٠-٢) في نفس الملحق السابق تبين الطيف الضوئي للألوان أجهزة إشارة الفلوريست المختلفة (قارن بين الطيف الممثل في الشكل (٢٩-٢)، أو الأشكال (٣٠-٢) وبين طيف ضوء النهار في منتصفه (٦-٢)).

تعد إشارة الفلوريست من أفضل المنابع الكهربائية التي يمكن لها أن ترى الألوان على حقيقتها مقارنةً بسواها من المنابع الضوئية الأخرى، نظراً لوجود بعضها الذي تكون إضاءاته قريبة جداً من ضوء النهار، وهذه الإشارة تحتوي عادةً على كمية ضوء من اللون الأزرق أيضاً، إضافةً لضوء بلون أبيض.

تعمل أجهزة الإشارة الفلوريستية على التوتر المنخفض ٧٧٢٠، وتعد اقتصادية في الاستهلاك، ويمكن الاستفادة منها في الأماكن الداخلية والخارجية على السواء، لذلك تستخدم في جميع أنواع الإشارة تقريباً، مثل إشارة المنازل والمكاتب وقاعات الدرس والمختبر والورش، ذات الارتفاعات القليلة نسبياً (ارتفاعات الغرف العادمة)، وفي جميع الأماكن تقريباً التي تحتاج إلى سوية إشارة عالية. إلا أنها غير عملية في الإشارة السريعة والطارئة، كإشارة الأدراج والممرات وما شابه. ومن أجل استطاعاتها التي تصنع بها حالياً W٤٥-٦٥، فإن مردودها الضوئي يبلغ بحدود W١٠٥-Lm٦٠. وعمر عملها الوسطي h٧٥٠٠ تقريباً.

إن إنتاج الضوء في أجهزة إشارة الفلوريست يتم على الشكل التالي:

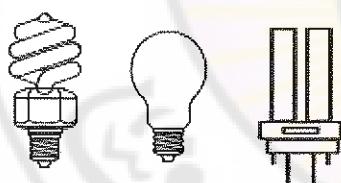
يتم تفريغ (تأين) شحنات كهربائية بين إلكترونين في وسط غازي من بخار الزئبق. بواسطة عملية التأين هذه يُنتج أشعة غير مرئية، وهي الأشعة فوق البنفسجية. هذه الأشعة تسبب بجعل المادة الفوسفورية المطلية بها أنبوب الزجاجة من الداخل تضيء. إن لون إشارة جهاز الفلوريست يتعلق بتركيب المواد الغازية المشتركة في توليد الإضاءة. غاز النيون مثلاً يؤدي

لتوليد إنارة أقرب إلى الأحمر. كما يمكن من خلال استخدام أنابيب زجاجية ملونة الحصول على ألوان مختلفة أكثر.

بالإضافة لأجهزة إنارة الفلوريسانت التقليدية الآلفة الذكر توجد أيضاً أجهزة إنارة فلوريسانت مدمجة (Compact fluorescent Lights)، وهي نفسها التي تسمى في الأسواق بمصابيح توفر الطاقة. وأجهزة توفير الطاقة هذه لها نفس مبدأ عمل سابقتها التقليدية، وإنما تصنع بشكل مختلف أصغر وأقصر بكثير منها، بحيث يمكن تركيبها كما تركب المصايبح المتنوّهة في نفس السوق. ويكون فيها جميع مستلزمات تشغيلها من مقلع وملف خانق ومكثف تحسين عامل الاستطاعة مدمجة مع بعضها لتتصبح أقل حجماً. ولا يختلف مردود هذا النوع من المصايبح عن مردود المصايبح الفلوريسنت العادي بكثير. إلا أنها تتميز بخلاف ثمنها مقارنة بالمصايبح المتنوّهة العادية. الشكل (٣١-٢) يبيّن الأنابيب الزجاجية لمصابيح الفلوريسنت المعروفة في الاستخدام.



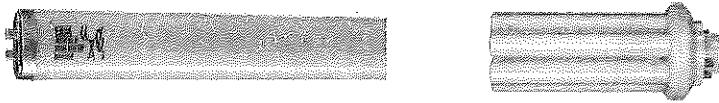
الشكل (٣١-٢) أنابيب إنارة الفلوريسنت ذات  $18\text{W}$  و  $36\text{W}$  و  $58\text{W}$



الشكل (٣٢-٢) يبيّن المصباح المدمج (الموفّر للطاقة) بثلاثة أشكال مختلفة له. والشكل (٣٣-٢) يبيّن صورة فوتوغرافية لأنبوب الفلوريسنت ومصباح الفلوريسنت المدمج.

الشكل (٣٢-٢) نماذج شائعة لاستخدام لمصابيح من النوع المدمج

من أجل إنتاج نبضة القدر، اللازمة لتشغيل المصباح، ولتحديد شدة التيار يوصل بجهاز الإنارة مقلع (ستارتر) وملف خانق ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة. وأحياناً يكون هؤلاء جميعاً من النوع الإلكتروني.



الشكل (٣٣-٢) صورة لجزء من لمبة مصباح الفلوريسنت العادي وصورة لمصباح الفلوريسنت المدمج للمقارنة

## -٢- مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط العالي

يتتألف مصباح بخار الزئبق ذو الضغط العالي (High-pressure mercury vapor Lamps) من حبابة من الزجاج القاسي أو المغطى بطبقة فلوريسنتية أو طبقة فلوريسنتية مضافة إليها مواد تساعد في تحسين الإضاءة. تحتوي الحبابة بداخلها على مزيج من الغازات الخاملة مثل الأرغون أو النتروجين. وكذلك تحتوي الحبابة بداخلها على أنبوبة انفرااغ من الكوارتز، الذي يتحمل درجات حرارة عالية. بطرف الأنبوبة يوجد مسربيان مطليان بمواد باعثة للإلكترونات. كما تحتوي الأنبوبة أيضاً على غاز خامل بداخلها مثل الأرغون أو خليط النيون مع بخار الزئبق. وفي بعض النماذج منها تطلي الحبابة من الداخل بمادة عاكسة. تتم عملية الانفرااغ في بخار الزئبق ضمن الأنبوبة عند ضغط عالٍ. فعند توليد الأشعة فوق البنفسجية وسقوطها على الطبقة الفلوريسنتية المطلية بداخل الحبابة تشع هذه المادة ضوءاً.

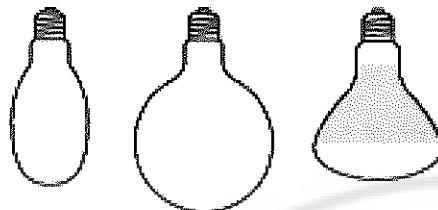
الشكل (٣٤-٢) يبين أشكال المصايبح المتعارف عليها في الأسواق حالياً. يكون شكل الحبابة بيضوياً أو أنبوبياً أو على شكل إجازة. يكون للضوء المشع من المصباح لون كالتالي:

- أبيض درجة حرارته تساوي K (٣٦٠٠-٣٢٠٠) للحبابة المغطاة بطبقة فلوريسنتية مع مواد محسنة للضوء.

- أبيض مزرق حرارته تساوي K ٥٧٠٠ للحبابة غير المغطاة بأي مادة. يبلغ المردود الضوئي لهذا المصباح W/Lm (٣٢-٦٠). ويقدر عمر عمله الوسطي بحوالي ٩٠٠٠ ساعة عمل، وهو بذلك أكثر بثلاثة أضعاف من عمر المصباح المتواهج. ويحتاج المصباح ليعمل إلى ملف خانق ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة. يعطي المصباح

إنارة المطلوبة كاملةً بعد حوالي ( )

(٤-٥ دقائق من لحظة تشغيله، ولا يمكن إعادة إضاءته إلا بعد أن تبرد حبابته.



الشكل (٣٤-٢) بعض مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط العالي، وبشكل عام تستخدم هذه المصا

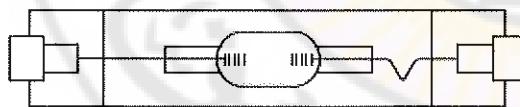
المصا في جميع الأماكن التي تتطلب فيضاً ضوئياً عالياً.

#### ٢- مصباح بخار المعدن - الهايوجينية:

يعرف هذا النوع من المصا في بالاسم التجاري "مصا الميتال هاليد" (Metal Halide Lamps). وتشبه هذه المصا مصابيح بخار الزئبق بضغط عالٍ إلى جدٍ كبير. وتختلف عنها في بعض الأمور؛ فأنبوبة الانفرا غ فيها أقصر، وتحتوي على أملاح الهايوجين مع الزئبق، لذلك يكون مردودها الضوئي أفضل وإمكاناته أفضل لإعطاء الألوان.

تأخذ الحبة شكلاً بيضويأً أو أنبوبياً، كما بين الشكل (٣٥-٢). وتنطلق بداخلها بمادة فوسفورية أو فلوريسنتية ناثرة للضوء. تكون أنبوبة الانفرا غ من الكوارتز ويحتازها سلك تغذية كهربائي من كل طرف يتصل بمسرى من التنجستين. تحتوي أنبوبة الانفرا غ عادةً على

مزيج من غازى الأرغون والنيون للمساعدة في عملية الإقلاع مضافاً إليها بعض أملاح الهايوجين. تتم عملية إنتاج الضوء من خلال تبخّر أملاح الهايوجين (الهايوجين) في جو من بخار الزئبق. إن الطيف الضوئي المتولد



الشكل (٣٥-٢) مصباح الميتال - هاليد

من هذا المصباح المبين في الشكل (٣٨-٢) في ملحق الصور الملونة ينطبق تقريباً على منحني نوراني العين في قمتها، لذلك تكون العين حساسة تجاه ضوء هذا المصباح و ترى منه

النسبة العظمى (قارن منحنى طيف هذا المصباح الضوئي المبين في الشكل (٣٨-٢) مع منحنى نورانية العين).

عمر عمل المصباح بحدود (٦٠٠٠-٢٠٠٠) ساعة عمل. ويبلغ المردود الضوئي لهذا النوع من المصابيح  $W/Lm$  (١٠٠-٦٢). لون الضوء أبيض ودرجة حرارته  $K = ٣٧٠٠$ . يحتاج هذا المصباح ليعمل إلى ملف خائق، ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة وإلى مقلع. ولا يعطي الجهاز ضوءاً إلا بعد (٤-٢) دقائق من بدء تشغيله. ويحتاج إلى (١٥-٢) دقيقة لإعادة إضاءته بعد إطفائه. يستخدم الجهاز لإنارة الساحات والملاعب وعقد السير وجميع الأماكن التي تحتاج إلى سويات إنارة عالية.

#### ٤- مصباح بخار الصوديوم ذو الضغط المنخفض:

يعد مصباح بخار الصوديوم ذو الضغط المنخفض (Low pressure Sodium Lamps) من أفضل أنواع المصابيح الانفراغية من حيث المردود الضوئي. إنه يبدو من الخارج على شكل أنيبوب، أما من الداخل فله شكل الحرف U. أو كدبوس الشعر، كما يبيّنه الشكل (٢-٣٦). تتشكل حجيرات (حجر صغيرة) ضمن أنبوب الانفراج وتحتوي على بخار الصوديوم تحت ضغط منخفض، بحدود  $N/m^5$  وغازات خاملة. الغلاف الزجاجي مغطى بمادة أكسيد الألمنيوم العاكس للأشعة تحت الحمراء.

يعد الفيض الضوئي لهذا المصباح من أفضل ما يكون مقارنة بأنواع المصابيح الأخرى، ويبقى ثابتاً حتى نهاية عمله أو عمره. يبلغ عمر هذا المصباح ٨٠٠٠ ساعة عمل. المردود الضوئي له بحدود  $W/Lm$  (١٨٣-١٠٠). لون ضوئه أصفر برتقالي ووحيد اللون، وهو



الشكل (٣٦-٢) مصابيح بخار صوديوم بالضغط المنخفض  $W = ٣٥$  و  $٩٠$

بذلك يظهر الأشياء الصغيرة ويكشفها بشكل ممتاز، إلا أنه لا يظهر ألوانها. ودرجة حرارة لونه هي  $K = ١٧٤٠$ . يحتاج المصباح ليعمل إلى مقلع ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة وإلى ملف خائق. يستخدم مصباح بخار

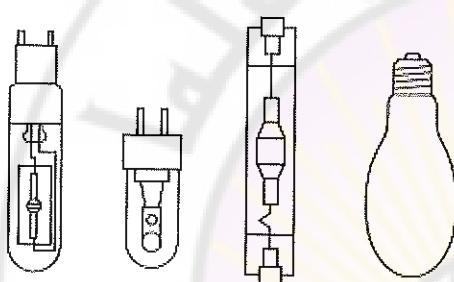
الصوديوم بالضغط المنخفض في إنارة المناطق التي تتطلب شدة ضوء قوية كالساحات والأماكن الأثرية والشوارع والسكك الحديدية والمناطق التي يكثر فيها الضباب.

#### ٥- مصباح بخار الصوديوم ذو الضغط العالي:

يتكون مصباح بخار الصوديوم ذو الضغط العالي (High pressure Sodium Lamps) من حبابة على شكل أنبوب أو على شكل بيضوي أو على شكل إجازة، كما يبين الشكل (٢-٣٧). وتكون من الزجاج القاسي. تغطى الزجاجة من الداخل بمادة فلوريستنية، حيث يكون الهواء داخلها مخللاً، وهي تحتوي على أنبوبة انفرااغ. تصنع الأنبوة من أكسيد الألمنيوم، أو من الفخار في بعض الأحيان، الذي يتحمل درجات حرارة عالية، وهي تحتوي من طرفيها

على قطبين من معدن التنجستين، يشكلان مسربي التيار. تملأ الأنبوة بخليط من الصوديوم والزئبق إضافةً لغاز خامل هو عادةً الزيون أو النيون أو الأرغون. وتكون مهمة الغاز هي بدء الاشتعال.

يعطي هذا المصباح ضوءاً ذهبي اللون وحيداً، وبعد لوناً ضوئياً مريحاً من اللون الأبيض الدافئ، الذي يسمح ببرؤية ألوان الأشياء. درجة حرارته K. ٢٣٠٠. ويبلغ



الشكل (٢-٣٧) بعض أشكال مصابيح بخار الصوديوم بالضغط المرتفع

عمر عمل المصباح بحدود ٩٠٠٠ ساعة عمل. والمردود الضوئي له لا يعد مرتفعاً، ويسلامي W/Lm (١٥٠-٢٠). إلا أن البيض الضوئي لهذا المصباح يقل في نهاية فترة عمله. يحتاج المصباح إلى فترة زمنية ليعطي كامل تياره الضوئي بحدود ٥-٧ دقائق. وهو يحتاج لأقل من دقيقة لإعاقة اشتعاله. كذلك يحتاج الجهاز لتممات لعمله، وهي ملف خائق ومكثف لتحسين الاستطاعة. وفي بعض أنواعه يحتاج لمقلع.

يستخدم جهاز الإنارة هذا في إنارة الأماكن ذات المتطلبات العالية، كالأنفاق والساحات والشوارع وأماكن وورش البناء وكذلك في جميع الأماكن التي يمكن أن يتشكل فيها الضباب. يصنع هذا الجهاز حالياً باستطاعات ٣٥ و ٧٠ و ١٠٠ و ١٥٠ W.

الشكل (٣٩-٢) في ملتقى الصور الملونة يبين الطيف الضوئي الناتج عن مصباح بخار الصوديوم بالضغط المرتفع (قارن منحني الطيف هذا مع منحني نورانية العين ماذا تلاحظ؟)

#### ٦ - المصايبخ المختلطة:

إن المصايبخ المختلطة (Blended Lamps) هي نوع من المصايبخ الإنارة مختلط بين المصايبخ الانفراغية والمصايبخ المتوهجة. إنها تحتوي على كامل مكونات مصباح بخار الزئبق عدا متمماته، تتميز بمردود ضوئي كبير مقارنة بالمتوهجة، ويبلغ (Lm/W) ١١-٢٨، وكذلك بعمر زمني كبير أيضاً، وهو بحدود (٨٠٠٠-٦٠٠٠) ساعة عمل. ضوء هذا المصباح هو أبيض دافئ، وتبلغ درجة حرارته K ٤٠٠٠. يحتاج المصباح، بعد أن ينطفئ، ليعطى كامل ضوئه إلى حوالي ٧ دقائق ليبرد بخار الزئبق ويتكلّف من جديد. لا يحتاج المصباح لأي متممات للعمل. يستخدم في إنارة الحدائق والمنازل كبديل للمصباح المتوهجه.

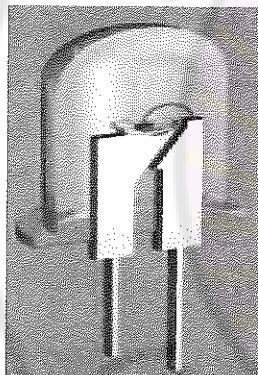
#### ٧- مصايبخ الديودات الباعثة للضوء:

يمكن للضوء أن ينبع بفعل الديودات الضوئية على نفس مبدأ التثنين. فأصناف النوافل، المسماة بالديودات، والتي تسمى اختصاراً بـ (LEDs)، يمكن لها أن تبعث أشعة مضيئة عندما يمر من خلال الطبقتين، المسمياتين  $pn$ ، المشكلتين منها تيار كهربائي. فطبقة الحجز بين الطبقتين  $pn$  هي التي تحول الطاقة المشكلة فيها بفعل مرور التيار عبرها إلى أشعة مضيئة. وبحسب نوعية المواد النصف الناقلة المشكلة للديود ينبع ضوء ذو مطال موجة معين، وبالتالي لون معين. الجدول (١١-٢) يبيّن ألوان وأطوال أمواج الأشعة المنبعثة من الديودات بحسب نوعية موادها [١٦].

يتَّألف المصباح الضوئي عادةً من مجموعة من الديودات الضوئية الموصلة مع بعضها، بطريقة معينة، لتعطي الاستطاعة الضوئية المطلوبة. الشكل (٤-٢) يبيّن مصباح ضوء ديودي بديود ضوئي واحد وآخر بعده ديودات ضوئية وهو من المصايبخ الحديثة العهد نسبياً. تُعد الديودات منابع نقطية للضوء، ويمكن لها أن تعطي ضوءاً أبيضاً أو ملوناً أيضاً. لا يزيد طول الديود الواحد الباعث للضوء عن: mm (٣-٥). وهو ما فسح المجال أمامها واسعاً لتصنع منها أجهزة إنارة ذات أشكال ونماذج مختلفة، ومنها صغر حجم الجهاز أيضاً مقارنة بسواه، وأثبتت وبالتالي جدارتها في الاستخدام في مجال الإنارة التربينية.

الجدول (١١-٢) خصائص الضوء المنبعث من LEDs

نوعية المواد النصف ناقلة	لون أو أشعة الضوء	طول الموجة [nm]
GaAsP (Galliumarsenide Phosphide)	حمراء، برتقالية، صفراء	٩٤٠
AlGaAs (Aluminium-Galliumarsenide)	حمراء	٨٩٠
InGaN (Indium Gallium Nitride)	أخضر، أزرق ( أبيض )	
GaAsP Galliumarsenide Phosphide	أحمر أصفر	٦٦٠/٥٩٠
(Gallium- Phosphide ) GaP	أخضر	٥٦٥
( Silicon-Carbon) SiC	أزرق	٤٨٠



الشكل (٤٠-٢) الشكل على اليسار لديود ضوئي وحيد باعث للضوء. والشكل على اليمين لمصباح ضوئي متعدد الديودات. الدوائر الصغيرة هي عبارة عن الديودات الضوئية

وقد كثُر في الآونة الأخيرة الاستفادة من الديودات في عملية الإنارة الداخلية، الوظيفية منها والتزيينية أيضاً، وبوتيرة متسارعة جداً. كما يستخدم هذا النوع من الإضاءة في الإنارة الخارجية بشكلٍ مضطرب أيضاً. وقد أثبتت هذا النوع من الإضاءة مردوداً اقتصادياً كبيراً. فمردوده الضوئي يساوي  $L/W = 136 - 110$  W. تبلغ درجة حرارة اللون في هذا النوع من الإضاءة حوالي  $K = 1000 - 2600$ . وقد عمر عمل الديود الضوئي الواحد بحوالي ٥٠٠٠٠

ساعة عمل. فإذا كانت أيام العمل السنوية هي ٢٥٠ يوماً، و معدل عمل وسطي يساوي ١١ ساعة عمل يومياً، فإن هذا الديود يعمل لمدة ١٨ عاماً. تتميز الـ LEDs باستجابتها السريعة ووثوقيتها العالية. إلا أن أهم مساوئ هذا النوع من أجهزة الإنارة هو ارتفاع ثمنها مقارنة بأجهزة الإنارة الأخرى. بالإضافة لذلك فهي تتأثر سلباً بارتفاع درجة الوسط المحيط بها بحدود معينة.

وهناك توقعات أن تحتل أجهزة الإضاءة المعتمدة على مبدأ الديودات الباعثة للضوء في السنوات القليلة القادمة، أمكنة الكثير من أنواع الإنارة الأخرى، وليس من المستبعد أبداً أن تحل مكانها جميعاً، فأسعارها تتناقص بسرعة ويتم إنتاج مختلف الأشكال والألوان منها لتناسب التركيب في أي موضع كان.

#### - الضوء الليزري:

(Ligt amplification by stimulated emission of radiation) يبعث أشعة كهرومغناطيسية متراكمة بكتافة طاقية عالية، ذات تماشٍ زمني ومكاني كبير، نبضاتها (أمواجها) مستقرة في مطالها وزمنها. يمكن التمييز بين:

- الليزر ذي الجسم الصلب.
- الليزر الغازي.
- ليزر أنصاف النوافل.
- ليزر المواد الملونة.

يستخدم الليزر الغازي من أجل التحكم والجس (مجس) والرسم الهندسي والأمان (إحكام الإغلاق) والكثير من مهام هندسة القياسات.

ينتج ليزر أنصاف النوافل كالأشعة الضوئية، وإنما أشد إضاءة، وبمساعدة مرنة (عنصر رنين) بصري، أشعة ضوئية متراكمة وحيدة اللون. يستخدم ليزر أنصاف النوافل كمرسل في أنظمة نقل الإشارة. إلا أنه لا يوجد لليزر حتى وقتنا الحاضر أية استخدامات في مجال الإنارة المعمارية، لذلك لن نتوسع أكثر في الشرح عنه.

## ٦-٢ - استخدامات مصابيح الإضاءة (الإنارة):

تبين فيما يلي مقارنةً بين المردود الضوئي وأكثر مجالات الاستخدام لجميع أنواع أجهزة الإنارة المعروفة والسابق ذكرها في الجدول (١٢-٢):

الجدول (١٢-٢) مقارنة بين أنواع مصابيح الإنارة المختلفة في المردود الضوئي والاستخدام

اسم ونوع منبع الإضاءة	المردود الضوئي [Lm/W]	المنبع [Lm/W]	استخداماته العامة
المصابيح المترهجة	٦-١٩	لإنارة السريعة والطارئة عموماً، كالأدراج والمرات	
مصابيح الهايوجين المترهجة	١٧-٣٦	لإنارة الخارجية وإنارة القاعات الكبيرة، وأماكن التصوير وما شابه ويكثر استخدامها في الإنارة التربينية	
مصابيح إنارة الفلوريسنت	٦٠-١٠٥	إنارة المنازل والمكاتب وقاعات الدرس والمخابر والورش، ذات الارتفاعات القليلة، وجميع الأماكن التي تحتاج إلى سوية إنارة عالية، وتستخدم أيضاً للإنارة التربينية	
مصابيح إنارة الفلوريسنت المدمجة	٥٠-٧٥	كسيقتها تماماً، وتمتاز بصغر حجمها وإمكانية تركيبها على سوكة مصباح متوجه عادي أو هاليجي	
مصابيح الميتال هاليد	٦٢-١٠٠	إنارة الصالات والساحات والملاعب وعقد السير ولجميع الأماكن التي تحتاج إلى سويات إنارة عالية	
مصابيح الصوديوم بالضغط العالي	٧٠-١٥٠	لأماكن ذات المتطلبات العالية في شدة وسوية الإنارة كالأفاق والساحات والشوارع وفي جميع الأماكن التي يمكن أن يتشكل فيها الضباب	
مصابيح الصوديوم بالضغط المنخفض	١٠٠-١٨٣	إنارة المناطق التي تتطلب شدة ضوء قوية كالساحات والأماكن الأثرية والشوارع والسكك الحديدية ومناطق الضباب	
مصابيح بخار الزئبق (بالضغط العالي)	٣٢-٦٠	إنارة الشوارع والساحات والأماكن ذات الأسقف العالية ولجميع الأماكن التي تتطلب فيضاً ضوئياً عالياً	
مصابيح الديودات الباعثة للضوء	١١٠-١٣٦	إنها حديثة العهد نسبياً وتستخدم للإنارة الخارجية والداخلية على السواء وكذلك للإنارة التربينية أيضاً وبشكل مضطرب	

نذكر على سبيل المثال أن شدة الإلارة التي يعطيها مصباح توفير طاقة (فلوريست مدمج) ذات استطاعة كهربائية تساوي:  $W_{11}$  تعادل نفس شدة الإلارة التي يعطيها مصباح متواهج عادي باستطاعة كهربائية تساوي:  $W_{60}$ . إن هذا يعني توفيرًا في الطاقة الكهربائية، وفي هذه الحالة يساوي الوفر باستخدام مصابيح التوفير بدلاً من المصابيح المتواهج العادية أكثر من خمس أضعاف تقريبًا، علمًا بأن عمر العمل الزمني لمصابيح التوفير هو أكثر بحوالى ثمان مرات من عمر عمل المصابيح العادية.

#### ٧-٢ - أجهزة الإنارة:

لا يستخدم عادةً المصباح بشكله البسيط لإعطاء النور، لا في الإنارة الوظيفية ولا في الإنارة التربوية منها، فهو من ناحيةٍ ذو شكل غير محبذ جمالياً، ومن ناحيةٍ ثانية فإن مردوده الضوئي يكون بأسوء حالاته، أضف إلى ذلك عدم إمكانية التحكم بتوزيع الضوء في الفراغ كما يلزم، لذلك تصمم أجهزة الإنارة لتؤخذ العوامل الثلاثة السابقة بالحسبان. يتالف جهاز الإنارة بشكل عام من الأجزاء الرئيسية التالية [١] و [٥] و [٦] و [٧] و [٨] و [١٣] و [١٦] :

- المنبع الضوئي.
- عاكس الضوء.
- الناشر الضوئي.

- متممات أخرى، كالتوصيلات الكهربائية والهيكل الحامل أو الغطاء والمثبتات..... إلخ.  
وهذه لاتلعب أي دور يذكر في التأثير بحملية جهاز الإنارة أو مردوده الضوئي.  
وبتصميم الجهاز ليكون سهل الفك والتركيب والصيانة، إذا دعت الضرورة. وجهاز الإنارة هو إذاً المنبع الضوئي الصناعي المجهز بعواكس للإنارة أو مشتقات لها، وبكل ما من شأنه التحكم بشدة الإنارة، زيادةً أو نقصاناً أو تغيير في الاتجاه، أو ما من شأنه أن يؤمن حماية المنبع الضوئي من العوامل الخارجية، كالغبار والرطوبة والطرقات الميكانيكية وسواءً للحصول على الإنارة المثالية. وسنقوم فيما يلي بإلقاء الضوء على كل واحدةٍ من مكونات جهاز الإنارة.

## ١-٧-٢ - المنابع الضوئية:

إن منابع أجهزة الإنارة التي يمكن استخدامها في عملية الإنارة الداخلية، مع أهم مزاياها في الاستخدام، وقد سبق ذكر بعضها، هي:

- المصايبخ المتوهجة: مستخدمة بكثرة. توجد منها أشكال مختلفة، وتنتمي بضوء أبيض حار، مريح جداً للعيون، وهي ذات عامل إظهار لون جيد. مردودها الضوئي سيئ نسبياً وعمر عملها كذلك. ترکب بأجهزة الإنارة بأشكال مختلفة.
  - المصايبخ المتوهجة الاهالوجينية: لون ضوئها أبيض مريح للعيون. وذات عامل إظهار لون جيد جداً وأفضل من سابقتها. مردودها الضوئي وعمر عملها أفضل من سابقتها بكثير.
  - مصايبخ الاهالوجين المتوهجة، التي تعمل على التوترات الضعيفة (١٢٧): لها نفس مواصفات سابقتها ذات التوتر المنخفض، إلا أنها أقل استهلاكاً للطاقة الكهربائية بنسبة ٣٠% من سابقتها لإعطاء نفس الشدة الضوئية.
  - مصايبخ إنارة الفلوريستان: ذات مردود ضوئي عالي وجودة في إعادة إظهار الألوان، وعمر عمل طويل.
  - مصايبخ إنارة الفلوريستان المدمجة: لها نفس حجم المصايبخ المتوهجة (ليس نفس الشكل)، لكنها أقل استهلاكاً للطاقة الكهربائية من المتوهجة العادية بنسبة ٨٠%， وعمر عملها أطول بكثير من المتوهجة.
  - مصايبخ المعدن الاهالوجينية (مصايبخ الميتال - هاليد): يمتاز هذا النوع من المصايبخ بمردود ضوئي عالي وعامل إظهار لون مرتفع جداً.
  - مصايبخ بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض ذات الضغط المرتفع.
  - مصايبخ بخار الزئبق ذات الضغط المرتفع.
  - الديودات الباعثة للضوء (LEDs): يوجد منها العديد جداً من الأشكال والألوان والأحجام أيضاً. لainبعث من إنارتها أشعة فوق البنفسجية أو تحت الحمراء. تتميز بعمر عمل طويل جداً. لون إنارتها أبيض. توتر عملها مستمر.
- إن لكل واحد من الإنارات السابقة مواصفاته الخاصة به، و مجالات استخدامه، كما سبق وذكرنا. وتضاف عادةً للمنابع السابقة تجهيزات أخرى، أهمها تلك التي تدعى بالعواكس

والنوادر لتعطي الإنارة المطلوبة في الاتجاه المحدد، وتضفي على جهاز الإنارة شكلاً جماليًّا مقبولاً، كحد أدنى. فلأسقف العادي يكثر استخدام أجهزة إنارة تعتمد على المصابيح العاديّة المتوجهة وبنسبة أكثر على مصابيح الهالوجين المتوجهة بالإضافة لإدارة الفلوريسنت أو الفلوريسنت المدمج. أما للأسقف العالية فيمكن أيضاً اختيار أحد الأنواع الأخرى من أجهزة الإنارة، أهمها أجهزة الميتال هاليد. إلا أن الأهم، بعد تحديد وظيفة المكان، هو معرفة نوع الإنارة، ولون الضوء وشدة، ويأتي بعد ذلك اختيار شكل جهاز الإنارة. ويجر الذكر بأن بعض دول العالم (المانيا مثلاً) لم تعد تسمح أنظمتها بتركيب مصابيح إنارة من النوع المتوجه العادي إلا في الحالات الخاصة جداً، وذلك بسبب استهلاكها العالي للطاقة، والذي يتسبب من ناحية أولى بزيادة الأعباء المادية على المستهلك، وبالضرر بالبيئة عند إنتاج الطاقة الكهربائية من ناحية أخرى، وخاصةً بعد وجود البديل الكثيرة والمتنوعة الأفضل منها كمصابيح الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج أو حتى، في الآونة الأخيرة المصابيح المعتمدة على الديودات الباعثة للضوء. إلا في الحالات النادرة التي يكون لون الضوء فيها لا ينطبق إلا على هذا النوع من مصابيح الإنارة، أو كانت الإمكانيات المادية المخصصة للمشروع لاتسمح سوى بتركيب هذا النوع من المصابيح الذي يتميز عن سواه برخص ثمنه إلى حدٍ كبير مقارنةً بما يوازيه من المصابيح.

إن استخدام مصابيح بخار الصوديوم والزئبق في الإنارة الداخلية مقتصر فقط على الحالات الخاصة، التي تحتاج إلى خصائص هذه المصابيح.

#### ٤-٧-٢ - عوامس الضوء:

إن وظيفة العواكس في أجهزة الإنارة بشكل عام هي الاستفادة القصوى من الفيض الضوئي للمنبع بتوجيهه أو توجيه الجزء غير المستفاد منه إلى الاتجاه المراد إنارة، إنها تساهم في زيادة المردود الضوئي لجهاز الإنارة، وبالتالي تأخذ الناحية الاقتصادية بالحسبان. وتم عملية توجيه الفيض الضوئي أو الإنارة عن طريق عكسه إلى الاتجاه المطلوب. وتكون العواكس بمثابة مرآة عاكسة للضوء تعكسه في زوايا مختلفة. تستخدم لهذه الغاية مواد جيدة العकوسية للضوء. من العواكس المستخدمة بكثرة في أجهزة الإنارة ذكر الصفائح المعدنية المقاومة للعوامل المحيطة أو المعالجة لأجل ذلك والمعالجة أيضاً لزيادة الانعكاس الضوئي

مثل الستاتلس ستيل الأملس أو الألمنيوم، وخاصة المعالج أو المسبوك واللامع منه. يفضل في الصنائع المعدنية المختلفة (يغلب استخدامها في أجهزة الفلوريسنت) أن تطلى حرارياً بالأفران باللون الأبيض ببودرة بوليستر الإبيوكسي لضمان انعكاس ضوئي أفضل. ويمكن طلي العاكس بأي لون وفق الرغبة بغرض الإنارة التزيينية. وفي الأجهزة البسيطة الفلوريسنتية قد لا تحتوي هذه على عاكس وإنما على جسم حامل للمصباح يكون هذا عادةً من الصفيح المعدني أو البوليستر المقوى. وهذه أيضاً تعكس الأشعة الضوئية، ولكن بحدود معينة. وفي بعض أجهزة التعليق الكهربائية يكون جسم الجهاز كله عبارة عن ناشر للضوء من الأسفل والأعلى أيضاً ولا يحتوي الجهاز على عاكس ضوء بالمعنى الحقيقي. أما أجهزة الإنارة ذات الاستطاعات العالية فيكون العاكس فيها من مادة معدنية مقاومة للحرارة، أو تعالج لتصبح مقاومة للحرارة، وأحياناً مقاومة للحرائق أيضاً. وللعواكس في أجهزة الإضاءة وظيفة أخرى وهي حمل وتنبيه المصباح الإضاءة ومتعمماتها أيضاً. الشكل (٤١-٢) يبين أشكال مختلفة لعواكس توزيع وتوجيه الإنارة.

#### ٤-٧-٣- نواثر الضوء:

يحدث انتقال الأشعة الضوئية في الأجهزة الكهربائية عبر ما يدعى بالنواثر. والنواثر هي المواد التي تسقط عليها الأشعة الضوئية من المصباح فتفوم بنقلها إلى الطرف الآخر منها ومن ثم إلى الوسط باتجاهات مختلفة وفقاً لطبيعة هذه النواثر. إن نواثر الضوء، هي التي تشكل بشكل عام غطاء جهاز الإنارة من الجهة التي يشع منها الضوء.

من النواثر المستخدمة بكثرة في أجهزة الإنارة نذكر جميع أشكال الزجاج، الشفاف الصافي والمغشى والمحجر والكريستالي والفالسي، المقاوم للصدمات، والحراري، الذي يتحمل درجات حرارة عالية ..... إلخ. إضافة إلى مواد لدننة شفافة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية ، مثل البوليكاربونات أو الميتاكريليت والإيكريليك أو الإيكريليك الأوبال والإيكريليك البريزماتيك، إضافة إلى الألمنيوم اللامع أو الصقيل أو البراق، والذي يركب على شكل شرائح أو شفرات من الصفيح المائل أمام مصابيح أجهزة الإنارة، وخاصة الفلوريسنتية منها لتوجيهه وعكس ونشر إضاءة المصباح في اتجاهات مختلفة. وأحياناً تطلى هذه الشرائح باللون الأبيض أو الفضي لزيادة مردود انعكاس الأشعة الضوئية من على أسطحها، ولحمايتها كذلك من عوامل

الجو المحيط (مثل الأكسدة). ويتم أحياناً استخدام نوافر من شباك بلاستيكية من النوع القاسي، الذي يتحمل حرارة عالية، مطلية عادةً باللون الأبيض أو الفضي لضمان مردود ضوئي أفضل. تتوضع الشباك عادةً أمام حبابة الجهاز، وخاصة الفلوريسنتية منها. ويمكن أن تطلّى النوافر بألوان أخرى مختلفة بغرض الزينة. وبإضاف أحياناً للنوافر مواد معينة مثل السيليكون أو البوليبريتان لمقاومة الأشعة فوق البنفسجية. وتحرص الشركات الصناعية لأجهزة الإنارة أن تقلل نوافرها من الإضاءة التي تسبب لمعاناً أو انعكاساتٍ مزعجة للأعين، وأن تكون النوافر أيضاً سهلة الفك والتركيب من أجل الصيانة وتبديل القطع التي قد تتلف أو تتعطل. إن للنوافر في أجهزة الإنارة التي تستخدم في أعمال التصميم المعمارية ، وخاصة أعمال الديكور الداخلي، دوراً على غاية الأهمية، فعندما يراد إخفاء حبابة جهاز الإنارة يتم وضع نافر أمامها من النوع المغشى، أو ما شابه، فيظهر كل النافر كوحدة متكاملة متوجهة ومضاءة ولا تظهر الحبابة متوجهة ومضاءة فقط. وكلما ازدادت غشاوة النافر أخفت الحبابة المتوجهة المضاءة من خلفها. أما النافر الزجاجي العادي فسيظهر، على سبيل المثال، الحبابة من خلفه، حتى وهي مطفأة أيضاً. بعد اختيار النافر ونوعيته في الأجهزة الكهربائية واحدة من مهام المصمم المعماري الرئيسية، أكثر من أن تكون من مهام مهندس الإضاءة الدارس، وبالخصوص في الفراغات الداخلية، التي يلعب فيها التصميم المعماري دوراً كبيراً. ففي القاعات الدراسية، على سبيل المثال لن يكون تدخل المصمم المعماري هاماً في اختيار النوافر في أجهزة الإضاءة بقدر أهميته في صالونات الاستقبال والمدرجات الاحفالية وقاعات سماع الموسيقى والأوركسترا وما إلى ذلك.

هذا ويوجد الكثير من أجهزة الإنارة التي تصمم بدون وجود نوافر فيها، ويكتفى بانتقال الضوء مباشرةً من مصباح الإنارة إلى الوسط الخارجي، علماً أن للنافر وظائف أخرى يقوم بها وهي حماية مصباح الإنارة من الطرق الميكانيكية، ومشاركته في حماية الجهاز أحياناً من دخول الغبار إليه أو الماء إضافةً إلى مساهمته الكبيرة في إعطاء الشكل الجمالي لجهاز الإنارة.

ويصعب في الحياة العملية إيجاد جهاز إنارة كهربائي كمنبع بمفرده، سوى المصباح البسيطة، التي صارت معظم نظم الإنارة العالمية تتصل بعدم استعمالها بشكلها البسيط، من دون وجود عاكس لها، نظراً لمحدودتها الضوئي السيئ في طريقة الاستخدام هذه،

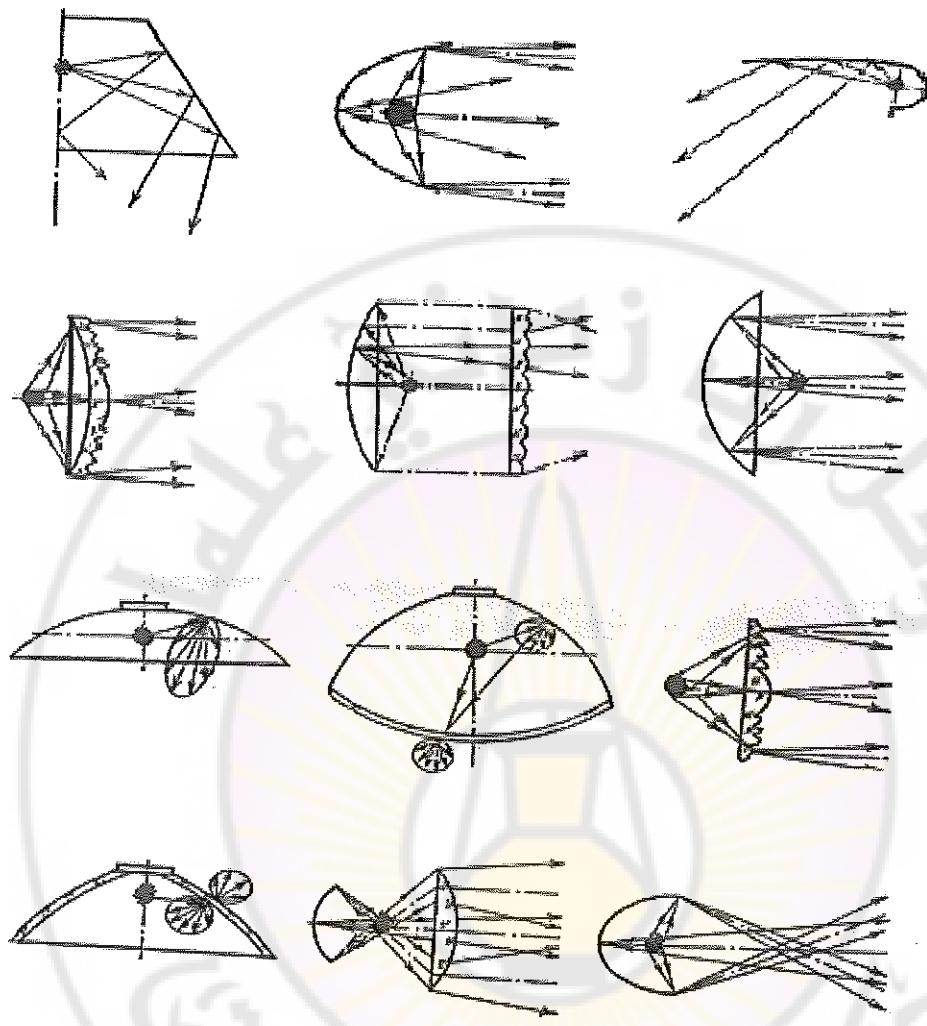
وبالتالي لاستهلاكها الكبير للطاقة الكهربائية، حتى إن بعض دول العالم تمنع استخدامها وبيعها (المانيا مثلاً) بشكل قطعي.

الشكل (٤-١) يبين منابع إنارة متوضعة أمام سطوح عاكسة، مختلفة العكسية وأخرى ناثرة أو نفاذة، مختلفة الفافية للضوء [١].

حاول التدقق جيداً في الصور المبينة في الشكل (٤-١)، ولاحظ اتجاهات الأشعة الضوئية المختلفة، المباشرة والمنعكسة والمنتشرة، وكيف تبتعد عن بعضها البعض أحياناً، وفي أحياناً أخرى تقترب؟ ومن ثم حدد نوع الانعكاس أو الانتقال في كل منها؟ لاحظ أشكال النواشر المختلفة فيها، وتوضع الحبابة بالنسبة للعاكس والناثر! ما الغاية في هذه الحالة من مثل هذه الأجهزة؟

استكمل على هذه السطوح بعض خطوط الأشعة الضوئية غير المرسومة، والتي لم يتم رسمها، وقد تراها ضرورية.

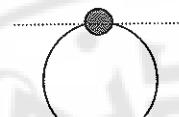
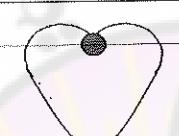
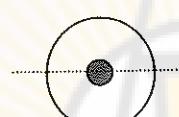
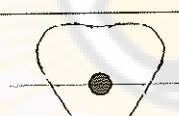
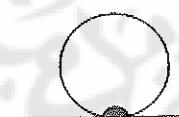
هل يمكن الاستفادة من واحدٍ من أشكال هذا التوزيع الضوئي ليستخدم في الإنارة التزيينية؟ حدد أيها منها، ولماذا؟ وأين مثلاً؟



الشكل (٤١-٢) بعض من سلوك العواكس والنواشر أمام المنابع الصوتية

نقسم أجهزة الإنارة وفقاً لتوزيعها للفيض الصوتي، أو لكيفية نشرها للأشعة الصوتية في الفضاء المحيط بها وفق الأشكال المبينة في الجدول (١٣-٢) [١].

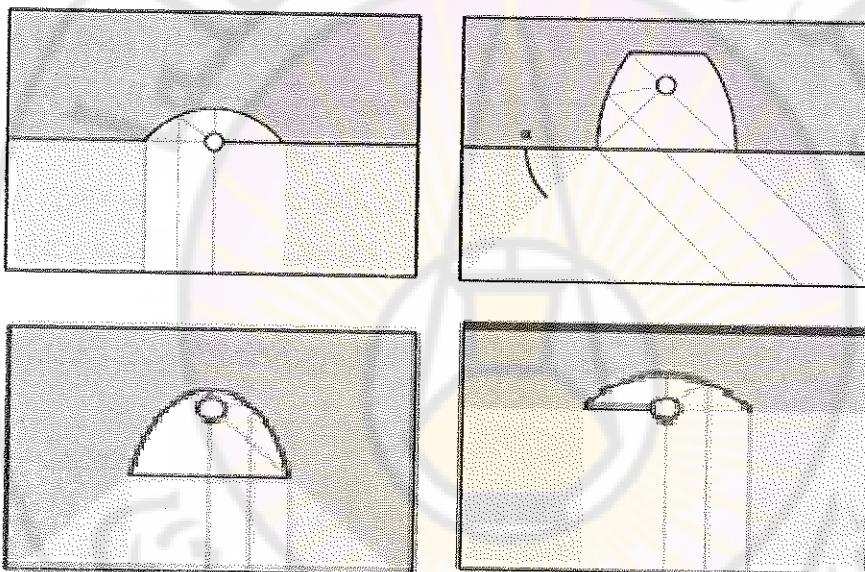
الجدول (١٣-٢) تقسيم أجهزة الإضاءة وفقاً لتوزيع الفيض الضوئي لها

نوع الجهاز	نسبة فيضه إلى الأسفل	المنحنى القطبي للجهاز	مثال
- أجهزة إضاءة مباشرة (direct)	أكثر من ٨٠%		مصابح فلوريسنت مثبتة على عاكس جيد العكوسية بالمستوي العمودي على محور المصباح
- أجهزة إضاءة مباشرة جزئياً (semidirect) (شبه البشرة)	٦٠% - ٨٠%		مصابح متواهج معلق في السقف من دون أي عاكس أو ناثر
- أجهزة إضاءة موزعة للفيض الضوئي (general diffusing)	٤٠% - ٦٠%		مصابح فلوريسنت معلقة وحيدة من دون عاكس وناثر بالمستوي العمودي على المحور
- أجهزة إضاءة عاكسة جزئياً	٢٠% - ٤٠%		مصابح متواهج معلقة بعاكس ضعيف نسبياً ومن دون ناثر
- أجهزة إضاءة عاكسة كلياً	أقل من ٢٠%		مصابح فلوريسنت متواضع على عاكس صقيل جيد العكوسية بالمستوي العمودي على المحور

وتحت الأشكال في الجدول السابق أشكالاً عامة مثالية، لأن توزيع الفيض الضوئي حقيقيًّا لمعظم أجهزة الإنارة يأخذ أشكالاً أكثر تعقيداً من تلك السابقة الموجودة في الجدول، إلا أنها تقترب منها في الشكل العام.

إن أجهزة الإنارة الكهربائية هي إذاً الأجهزة المكونة من منابع الإضاءة، وهي المصابيح، ومن العواكس ومن التواير، إضافة إلى المتممات الأخرى اللازمة لجعل جهاز الإضاءة، مثل الهيكل الحامل والتوصيلات الكهربائية، وأحياناً المحول والمقلع، والمثبتات وكل ما يلزم ليكون جهاز الإنارة جاهزاً يقوم بوظيفته وإعطاء الضوء.

الشكل (٤٢-٢) يبين مقاطع عرضية في أجهزة إنارة حقيقة. وهي هنا مصايبح الفلوريسنت



الشكل (٤٢-٢) مقاطع في أجهزة إنارة تظهر فيها المنابع والعواكس والتواير

في مقطع عمودي على محور المصباح الإنبوبي الشكل، وتظهر في الأشكال المنابع الضوئية فيها وكذلك العواكس والتواير أيضاً. ويلاحظ من هذه الأشكال انعكاس الأشعة الضوئية عبر العواكس مخترقةً التواير، ومنتشرةً في اتجاهاتٍ مختلفةٍ.

يمكن من خلال الأشكال (٤٢-٢) لمصابيح الفلوريسنت ملاحظة تأثير توضع أنبوبة المصباح بالنسبة للعاكس والناثر في انتشار الأشعة الضوئية وتوجيهها، وبالتالي تأثيرها في إضاءة المحيط. إن كل واحدٍ من أجهزة الفلوريسنت السابقة ينشر أشعة ضوئية في المستوى العمودي على محور الجهاز، تكون هذه عريضةً أو ضيقةً، أو تقول بزاوية إشعاع كبيرة أو صغيرة، بحسب التركيب الهندسي، أو التوضع لمنبع الفلوريسنت بالنسبة للعاكس وبمشاركة الناثر أيضاً. وكلما زادت زاوية إشعاع الجهاز، كلما زادت المساحة التي يغطيها بالضوء، والعكس بالعكس أيضاً.

#### ٨-٢- القيم اللازمة في حسابات الإنارة:

بالإضافة إلى القيم والمفاهيم الأساسية اللازمة لفهم موضوع الإنارة وحساباته، التي تعنى بالمنابع الضوئية، والتي تم التطرق إليها وشرحها سابقاً، فإنه توجد بعض المفاهيم الأخرى، الهامة في حسابات الإنارة لفراغ معين. هذه القيم والمفاهيم تتعلق ليس بطبيعة المنابع الضوئية فقط، وإنما بتركيبة جهاز الإنارة ككل أيضاً، مثل العاكس والناثر ونوعيتهما، وكذلك علاقتهما الهندسية بالمنبع الضوئي. إن هذه المفاهيم تعد هامة جداً بالنسبة لاستخدام الإنارة في العمارة الداخلية، سواء الوظيفية منها أو الترفيهية أيضاً. ويتجزء معرفة هذه القيم من أجل إجراء، مائمه حسابات وتصاميم الأنظمة الضوئية بشكل عام. وهذه المفاهيم هي [١] و[١٣] و[١٦]:

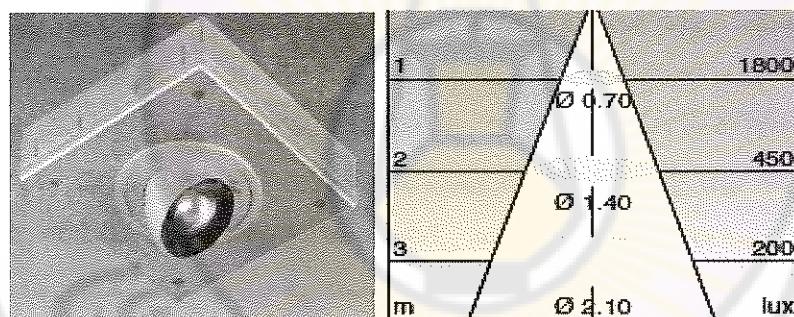
#### ٨-١- مخطوطات الشدة الضوئية:

يشعر المنبع أو جهاز الإنارة الضوء بشكل فراغي، أي في اتجاهاتٍ مختلفة. ولكل نوع وشكل من الأجهزة الكهربائية الضوئية إشعاعات ضوئية باتجاهات وشادات متعددة ومختلفة، نسميتها الحقل الضوئي. وليس من السهل أبداً، ولكل واحد من الأجهزة الكهربائية، تصوير الإشعاع الضوئي له، أو رسم الحقل الضوئي بشكل فراغي، من أجل تمييزه عن سواه من الأجهزة المشعة للضوء. لذلك، ومن أجل تسهيل العملية، يتم تبيان الإشعاعات الضوئية للأجهزة الكهربائية واتجاهاتها من خلال مخطوطات خاصة تدعى بمخطوطات الشدة الضوئية. وعادة يكفي مخططان منها فقط، أو في بعض الأحيان ثلاثة، للاستدلال من هذه المخطوطات على شكل الحقل الضوئي لجهاز الإنارة. إن هذه المخطوطات تبين منحنيات توزيع الشدة الضوئية

في إتجاه نشر الضوء. أحد المنحنيين يكون هو المرسوم بالمستوي العمودي على محور الجهاز، والآخر هو العمودي على الأول.

إن منحني الشدة الضوئية لجهاز إلارة يبين الأسلوب الذي يتم بموجبه توزيع أو نشر الضوء لجهاز الإنارة في الفراغ المحيط بالجهاز، وتسمى منحنيات الشدة الضوئية عادةً بالمنحنيات القطبية لأجهزة الإنارة. إن شكل المنحني القطبي لجهاز إلارة لا يحدده شكل ونوع منبع الإنارة فقط وإنما العاكس والتاثير فيه أيضاً. لذلك توجد أشكال لا تعد ولا تحصى من المنحنيات القطبية لأجهزة الإنارة تتبعاً لأشكالها، ونوعية وأشكال عواكسها ونواترها أيضاً.

تعطي الشركات الصانعة عادةً في دفاترها الفنية الخاصة بأجهزتها (الكتالوك Catalogue) شكل منحنيات الشدة الضوئية لأجهزتها، فهذه المنحنيات، كما ذكرنا، تعد هامة جداً من أجل حسابات الإنارة بشكل عام. كما تعطي بعض الشركات أيضاً في دفاترها الفنية منحنيات خاصة بأجهزتها تبين فيها سويات الإنارة على ارتفاعات مختلفة من أجهزتها. نبين على سبيل المثال في الشكل (٤٣-٢) مثل هذه المنحنيات لجهاز إلارة دائري الشكل بمنبع متوجّه من الهالوجين استطاعته  $50\text{W}$ .



الشكل (٤٣-٢) جهاز إلارة من الهالوجين باستطاعة  $50\text{W}$  وسويات الإنارة التي يمكن أن يعطيها محسوبةً على مسافات مختلفة من الجهاز

نلاحظ من الشكل السابق (٤٣-٢)، ومن الشكل المخروطي لأشعة الإنارة كيف تتناقص سوية الإنارة للجهاز بالابتعاد عنه، فالسوية كانت  $1800\text{ Lux}$  على بعد متر واحد منه، ثم صارت  $200\text{ Lux}$  فقط على مسافة  $3\text{m}$  منه. فسوية الإنارة، كما سبق الذكر، متعلقة بالبعد عن منبع الإضاءة، إلا أنه وبالنظر إلى مخروط الإنارة نلاحظ أن المساحة التي تغطيها إلارة المصباح

تصبح أكبر كلما زاد البعد عنه. والابتعاد إلى مسافة طويلة جداً عن المنشئ تصبح سوية الإنارة في هذه المنطقة ضعيفة جداً، لدرجة أنه بالكاد يمكن رؤية النور. وقد سبق أن ذكرنا بأن شدة أو سوية الإضاءة على مساحة معينة تقل وفقاً لمربع البعد عن المنشئ الضوئي. وبتطبيق هذه القاعدة على المثال المبين بالشكل نلاحظ أن سوية الإنارة على بعد 3m من المنشئ صارت تساوي المقدار :  $1800 \text{ Lux} / (3)^2 = 200 \text{ Lux}$  وإذا قيست سوية الإنارة على مسافة 10m من المنشئ كانت:  $1800 \text{ Lux} / (10)^2 = 1.8 \text{ Lux}$  فقط، وهذه سوية إنارة ضعيفة جداً، وسيبدو ضوء المصباح الهالوجيني على هذه المسافة معدلاً لضوء شمعة عادية صغيرة تقريباً مشتعلة في هذا المكان.

#### ٢-٨-٢ - حرارة ألوان الإضاءة:

تتسبب الإضاءة، كما ذكرنا، بتغيير درجة حرارة الوسط المشعة فيه، لأن مصدر الإضاءة هو الشمس، والشمس هي مصدر حراري، فتكون للإضاءة أيضاً درجة حرارة معينة. وتكون درجة الحرارة وفقاً للون الإضاءة، حيث تقدر درجات الحرارة بالكلفين ( Kelvin ) . فعلى سبيل المثال فإن درجة حرارة ضوء الشمس الوسطي في فترة قبل وبعد الظهر، حسبما ينص النورم العالمي [DIN]، هي K ٥٥٠٠. وفي المساء والصباح هي K ٥٠٠٠. وفي الظهيرة K ٥٨٠٠. وعندما تكون السماء زرقاء وصفافية ( وفي الفيء ) هي K ١١٠٠٠. إلا أن أعين البشر لا تشعر بفارق درجة حرارة الإضاءة أثناء تغييرها خلال اليوم، لأن لديها القدرة الذاتية الآلية على التأقلم مع تغيرات الحرارة هذه، وبالتالي عدم الشعور بها. ويسمى لون الضوء وحرارة اللون بشكل لا يستهان به في إحساس الإنسان بالراحة، من خلال شعوره بالدفء أو بالبرودة. ذكر، على سبيل المثال، درجات حرارة بعض المصادر الضوئية الطبيعية والصناعية:

- ضوء النهار: K ٦٠٠٠.
- سماء زرقاء: K ٢٠٠٠.
- ضوء شمعة: K ١٥٠٠.
- مصابيح الهالوجين: K ٣٤٠٠ - K ٣١٠٠.
- مصابيح الفلوريست: K ٦٥٠٠ - K ٢٨٠٠.

- مصابيح الميثال هاليد: K .٦٠٠٠ - K .٣٠٠٠.
- مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض: K .٢٠٠٠.
- مصباح متوجه باستطاعة W ١٠٠ : K .٢٨٠٠.
- مصابيح الفلوريست ذات اللون الأبيض الحار K .٣٠٠٠.
- مصابيح الفلوريست ذات اللون الأبيض البارد K .٤٠٠.

وتعتبر درجة حرارة اللون لمصابيح واحدة من إحدى أهم خصائص لون الضوء له. ويقسم النظام الألماني DIN ٥٣٥ درجات حرارة الألوان، التي تستخدم في الإضاءة، وهي جميعها من ذوات اللون الأبيض، إلى ثلاثة أقسام هي:

- ١- لون ضوء النهار الأبيض (رمزه  $tw$ ). وتكون درجة حرارته أعلى من K .٥٠٠٠ ويعتبر عنه إنه ضوء أزرق بارد.
- ٢- لون الضوء الأبيض الحيادي (رمزه  $nw$ ). وتبلغ درجة حرارته K (٣٣٠٠-٥٠٠٠).
- ٣- اللون الأبيض الدافئ (الحار أو المائل للحمراء) (رمزه  $ww$ )، ودرجة حرارته أقل من K .٣٣٠٠.

وتشير الخبرات إلى أن درجة حرارة الضوء تؤثر على جسم الإنسان وعلى شعوره النفسي، وإحساسه بالراحة والطمأنينة، وبالتالي على راحته بشكل عام، وإنما ينبع ذلك من إنتاجه اليومي. وكلما كانت شدة الإنارة عالية، كلما اقترب لون الإنارة من لون ضوء النهار. وإذا كانت شدة الإنارة منخفضة اقتربت الإنارة من أن تكون حارة. وتشير الخبرات إلى أن الضوء الأبيض الحار أو الدافئ يساعد في راحة الجسم واسترخائه، أما الضوء الأبيض القريب لضوء النهار فإنه يزداد في نشاط وحيوية الإنسان، لذلك فإن إنارة جهاز الفلوريست ذات اللون الأبيض تزداد في جاهزية الإنسان ونفسيته للعمل. وإنارة التي يطغى فيها اللون الأزرق لا تظهر الأشياء من خلالها على حقيقتها وتتسبّب بقصر في النظر. أما الإنارة التي يطغى عليها اللون الأحمر فهي تتسبّب مشاكل بالرؤية، وخاصةً للأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن ٤٥ عاماً لأنها تزيد في مد النظر عندهم بشكل أكبر.

إن لكل واحدٍ من ألوان الإضاءة أو من حرارة لونها إذاً مجال استخدام مناسب معين. على سبيل المثال اللون الأبيض كضوء النهار لمكاتب العمل والورش والمصانع، واللون الأبيض الدافئ لغرف المعيشة، حيث تخلد الناس للراحة والاسترقاء والتخلص من تعب النهار.

### ٤-٨-٣- عامل إظهار اللون:

يمكن رؤية اللون الحقيقي لجسم ما، إذا كان الضوء المسلط عليه يحتوي على كامل ألوان الطيف الضوئي. فإذا نقص الضوء المسلط عليه أحد الألوان، وكان هذا اللون الناقص هو لون الجسم المراد مشاهدته أو مشاهدة أحد ألوانه، فلن يعكس الجسم هذا اللون عن سطحه، وبالتالي لن ترى عين الشخص الناظر هذا اللون، ولن يظهر الجسم على لونه الحقيقي. من هنا يمكن القول: إن المصايبخ الكهربائية لن تظهر ألوان الأشياء أو الأجسام على حقيقتها كاملاً كما هي، إن لم تحتفظ هذه في طيفها الضوئي على كامل ألوان الطيف الضوئي. إن العامل الذي يبين ويدل على مدى ظهور لون جسم على حقيقته عند تسليط ضوء صناعي عليه نسميه بعامل أو درجة إظهار اللون، ونرمز له بالرمز  $R_a$ . ويحسب هذا منسوباً إلى شعاع نسب ( عند درجة حرارة لون نسبية مقدارها  $K_{500}$  لجسم بلون أسود). فكلما استطاعت مصايبخ الإنارة أن تغطي طيفاً أوسع من الضوء، بشدات متساوية من كل لون، صار بإمكانها إظهار ألوان الأجسام على حقيقتها بشكل أفضل. إلا أن منابع الإنارة الصناعية لا يمكنها من إشعاع جميع ألوان الطيف كما يلزم، بحيث تتحقق هذه الغاية، وهي تتفاوت في ذلك وفقاً لأنواعها. الجدول (١٤-٢) يبين عوامل إظهار الألوان وسمياتها وفق النظام الألماني DIN VDE لأنواع مصايبخ الإنارة المختلفة [١٦].

الجدول (١٤-٢) عوامل أو درجات إظهار الألوان المختلفة وسمياتها

رمز أو تسمية مرحلة أو درجة إظهار اللون	مواصفات إظهار اللون	عامل إظهار	مثال
١A	جيد جداً	$\geq 90$	المصايبخ المتوجهة، ومصايبخ الفلوريست
١B	جيد جداً	٨٠ - ٨٩	مصايبخ الفلوريست الثلاثية الحزمة
٢A	جيد	٧٩ - ٧٩	أنواع مصايبخ الفلوريست الأخرى
٢B	جيد	٦٠ - ٦٩	مصايبخ الميتال هاليد
٣	كافٍ	٤٠ - ٥٩	٢A مثل
٤	غير كافٍ	٢٠ - ٣٩	مصايبخ الصوديوم ذات الضغط المنخفض

إن اللون الذي يظهر به أي جسم، يتعلّق عموماً بثلاثة عوامل:

- مجموع ألوان الطيف الضوئي (الأشعة الضوئية) التي تسقط على هذا الجسم.
- مجموع ألوان الطيف الضوئي (الأشعة الضوئية) التي يعكسها الجسم.
- خصائص الشخصية أو الفردية لحاسة النظر أو الرؤية لدى الشخص الناظر.

على سبيل المثال، إذا ظهر جسم ما بلونٍ أصفر، فهذا يعني أن بالطيف الضوئي الساقط على هذا الجسم يوجد لونٌ أصفر، وقد قام هذا الجسم بعكس اللون الأصفر عن سطحه، فرأى شخص ناظر لون الجسم أصفر. أما الجسم الذي يبدو أبيض اللون فهو الذي سيعكس جميع ألوان الطيف عندما تسقط عليه. والجسم الذي يظهر أسود اللون هو الذي سيمتص جميع ألوان الطيف الضوئي، وبالتالي تراه العين أسود اللون.

يعد إظهار ألوان الأجسام والأشياء المختلفة على حقيقتها أو بشكل مغاير أمراً على غاية الأهمية في الإضاءة بوجه عام، وبالخصوص التزيينية منها. ففي المجال التجاري لبيع الأقمشة أو معامل الأصبغة أو المراسيم الفنية، على سبيل المثال، يتوجب أن تظهر الألوان على حقيقتها قدر الإمكان. أما في الأمور التزيينية فإن ذلك يخضع لمزاج المصمم المعماري نفسه من خلال الانطباع الذي يريد أن يتركه لدى الناظر عند رؤيته للأشياء أو الأجسام المختلفة، ولا يوجد لذلك أية قاعدة معينة.

تضع الشركات الصناعية للأجهزة الكهربائية الضوئية على منتجاتها أو في دفاتر المواصفات الفنية لهذه المنتجات عادةً ما يدل على درجة إظهار اللون للجهاز، رمزاً، مثلاً، من رموز الجدول (١٤-٢)، أو أيضاً قيمةً، بحيث يمكن مسبقاً للمستهلك أن يختار الجهاز الذي يريد. كما وأن بعض الشركات الصناعية لأجهزة الإنارة تضع على جهاز الإنارة نفسه أو في نشرة (دفتر) خصائصه ترميزاً يدل على خصائص لون إنارة الجهاز، أي عامل إظهار اللون فيه، بالإضافة إلى درجة حرارة هذا اللون. هذا الرمز مكون من ثلاثة أرقام. الرقم الأول على اليسار يدل على عامل أو درجة إظهار اللون، والرقمان الآخران على يمين الرقم الأول يدلان معاً على درجة حرارة لون الإنارة. الجدول (١٥-٢) التالي يبيّن خصائص ألوان الإنارة وما يعنيه الرمز المكون من الأرقام الثلاث [١٦].

الجدول (١٥-٢) خصائص لوان الإنارة

الرقم الأول	قيمة عامل إظهار اللون	الرقمان الثاني والثالث	حرارة الإضاءة [K]	أجهزة الإنارة المستخدمة
٩	٩٠ - ١٠٠	٢٧	٢٧٠٠ WW	إنارة متوجهة عادية ومن الهالوجين. الفلوريسانت
	٨٠ - ٩٠	٣٠	٣٠٠٠ WW	و الفلوريسانت المدمج. بخار الصوديوم بضغط عالٍ
٧	٧٠ - ٨٠	٤٠	٤٠٠٠ nw	الفلوريسانت و الفلوريسانت المدمج و مصابيح الميتال
	٦٠ - ٧٠	٥٠	٥٠٠٠ nw	هاليد و مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط العالي
٥	٥٠ - ٦٠	٦٠	٦٠٠٠ tw	أجهزة إنارة الفلوريسانت
	٤٠ - ٥٠	٦٥	٦٥٠٠ tw	و الميتال هاليد

إذا كان الرقم على سبيل المثال هو: ٧٤٠ فهذا يعني أن عامل إظهار اللون لجهاز الإنارة هو بحدود ٧٥ وسطياً وأن حرارة إضاءته هي K ٤٠٠٠، أي ينتمي للضوء الأبيض الحيادي. والرقم ٥٣ يدل على أن عمل إظهار اللون الوسطي لمنبع الإنارة هو ٥٥، وحرارة لون الإنارة هي K ٣٠٠٠ ، وهي إضاءة بيضاء من النوع الدافي.

#### ٩-٢ المشعات الضوئية (السبوتات):

نظراً لأهمية بعض أنواع أجهزة الإنارة الكهربائية للاستخدام في العمارة الداخلية فسنفرد لهذه الأجهزة، المسماة بالمشعات الضوئية (الاسم الشائع لها هو سبوتات Spots )، فقرة خاصة بها.

من أجل توجيه الإنارة على أجسام معينة، كما في المتاحف والمعارض العامة والمعارض الفنية، وكذلك متاجر البيع، يتم استخدام المشعات الضوئية. والمشعات الضوئية ليست سوى أجهزة إنارة كهربائية تحتوي على منبع (مصابح) كهربائي واحد حسراً، وتثبت ضوءاً على

شكل حزمة محددة، وبشدة محددة أيضاً. ويتم العمل في المشعات للتخفيف، قدر المستطاع، من الأشعة المتسربة أو الخارجة عن مجالها الحزمي، لأنها غير مفيدة وتعد ضياعاً في الإنارة، عدا عن أنها تتسبب في بعض الأحيان بالللمعان.

يوجد من المشعات الضوئية خمس مجموعات رئيسية. وتخالف هذه فيما بينها بزايا الإشعاع الضوئي والعواكس الضوئية فيها. وتبيّن الأشكال من (٤٤-٢) وحتى (٤٨-٢) في ملحق الصور الملونة كل واحدٍ من هذه المشعات ومنحني توزع الشدة الضوئية لها. إن أهم أصناف المشعات الضوئية المستخدمة هي:

١- **الصنف الأول:** ويسمى بالمشع النقطي  $8^{\circ}$ ، لأن زاوية بثه للضوء أو فتحة خروج الضوء من المصباح صغيرة جداً. زاوية إشعاع الضوء فيه تصل حتى  $8^{\circ}$  فقط. وتركيب على فتحة خروج الضوء الدائرية عدسة إضافية لمنع تسرب إشعاعات ضوئية خارج الحزمة. الأشعة الضوئية فيه متاظرة، ذات حزمة ضيقة جداً وعالية جداً في شدتها، الشكل (٤٤-٢). تكون لمبتهما عادة من الهايوجين بالتوتر الضعيف.

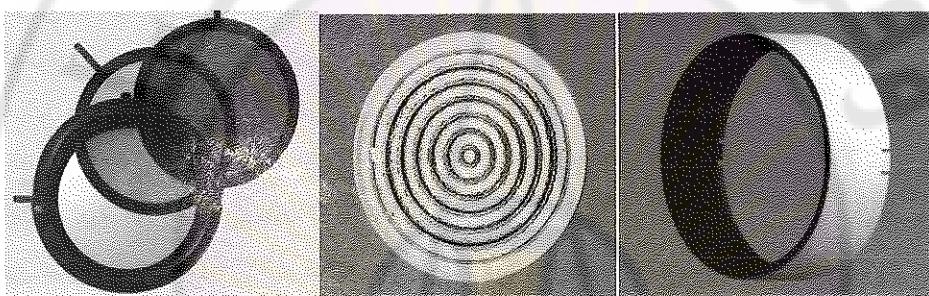
٢- **الصنف الثاني:** ويسمى هذا الصنف كذلك بالمشع النقطي (١٢٠-٢٤٠)، لأن فتحة خروج الضوء منه، أو زاوية إشعاعه للضوء صغيرة أيضاً، ولكنها مع ذلك أكبر من سابقه، وتقع في المجال بين (١٢٠-٢٤٠). مجهز هذا المشع كسابقه بعدسة لمنع تسرب الأشعة خارج حزمتها. وهو كذلك يبث حزمة أشعة ضيقة متاظرة. إلا أن شدة الإنارة فيه مقارنةً بسابقه تساوي النصف فقط، الشكل (٤٥-٢). مصباح الإنارة فيه مثل الصنف السابق له تماماً.

٣- **الصنف الثالث:** وهو المشع الخاص (٢٤٠-٣٨٠). أشعنته تناظرية، إلا أنها أكثر انتشاراً وانتشاراً، مقارنةً بسابقه، وتتركز أكثر في المنتصف، الشكل (٤٦-٢). لمبتهما مثل سابقه من الهايوجين ذي التوتر الضعيف.

٤- **الصنف الرابع:** المشع العريض الحزمة  $24^{\circ}$ . أشعنته تناظرية، لكنها ذات حزمة عريضة جداً، وأقل تركيزاً من الأصناف السابقة، وكذلك في مركز الحزمة، الشكل (٤٧-٢). يشبه إلى حد ما الضوء المنشر. لمبتهما مثل مصباح الأصناف السابقة.

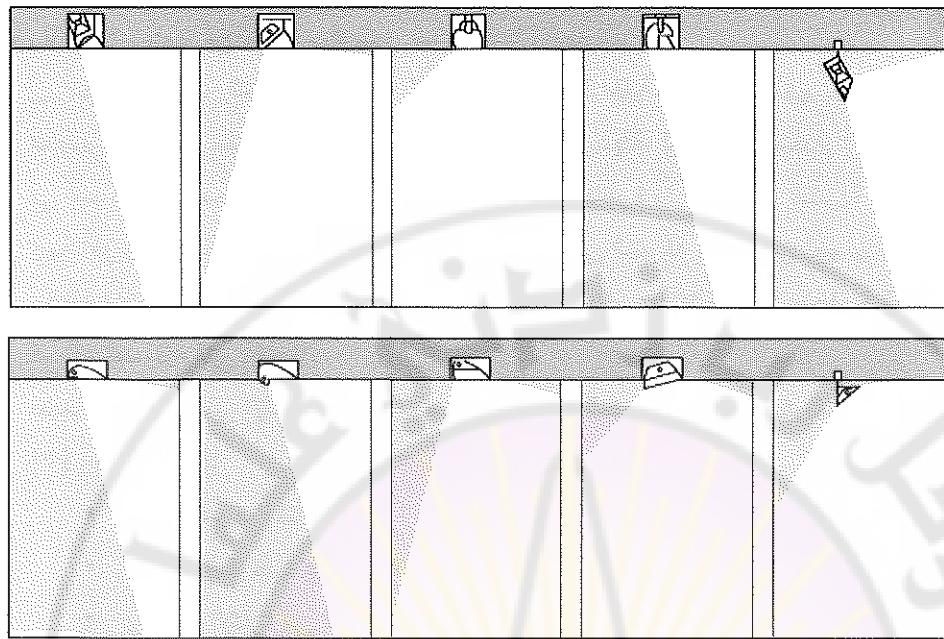
٥- **الصنف الخامس:** إنه عبارة عن مشع من النوع الناشر لحزمة أشعة مربعة الزوايا. أشعته المنتشرة عريضة جداً ومتجانسة في جميع اتجاهات الإشعاع. العاكس فيه يشبه مجرفة الفلاح، الشكل (٤٨-٢). لمبتهما من النوع الأنبوبي الشكل من الفلوريست.

يوجد للأصناف الخمسة السابقة من المشعات العديد من القطع التي يمكن إضافتها إليها، مثل مرشحات الأشعة، والعدسات، وهذه تكون وظيفتها هي في الحد من تسرب الإشعاعات إلى خارج الحزمة المخصصة لها وحصرها أو جمعها ضمن حزمتها. وتركب هذه على موضع خروج الضوء مباشره. كذلك توجد قطع أخرى تركب كسابقتها، وتكون ظيفتها هي في الحد من اللمعان، وقطع أخرى تعمل كمرشحات للألوان غير المرغوب فيها، مثل الأشعة فوق البنفسجية مثلاً، أو سواها من الألوان، كما توجد قطع لتعديل أو تغيير الألوان أيضاً، وأخرى لتغيير في شكل الأشعة الخارجية... إلخ. وتركب هذه جميعاً على مخارج الضوء. الشكل (٤٩-٢) يبين، على سبيل المثال، بعضاً من القطع التي تركب على مخرج الضوء في المشعات للاستخدامات المختلفة.



الشكل (٤٩-٢) قطعة تركب على مخارج الضوء في المشعات. واحدة للحد من اللمعان وأخرى للتغيير في شكل الأشعة المنبعثة من جهاز الإضاءة وثالثة للتغيير لون الإضاءة

نورد في الشكل (٥٠-٢)، على سبيل المثال، بعضاً من المشعات الضوئية (السبوتات) السقافية، مركبة ضمن سقف مستعار أو مثبة عليه، خارجه. وتبيّن هذه الأشكال أيضاً الأشعة الضوئية الموجّهة لهذه المشعات، كما تبيّن عرض حزمها الضوئية المختلفة.



الشكل (٢-٥٠) مشعات (سبوتات) إضاءة سقفية، مخفية وظاهرة، ذات إلارة موجهة

#### ١٠-٢ - الانطباع البصري للإلارة:

لقد بينا بأن إلارة أي جسم هو المسبب برؤيه هذا الجسم من قبل العين البشرية. ولكن يبقى الكثير من التساؤلات المتوجب على مهندس الإنارة الإجابة عليها من أجل أن يرى هذا الجسم على أحسن صورة، غير متسبب بأى أذى للأعين الناظرة إليه. إن هذه التساؤلات جميعها يجب عليها المهندس المختص من خلال حسابات رياضية يجريها وينتهي الأمر. إلا أن الأمر بالنسبة للمصمم المعماري، الفنان، هو أكثر مشقةً، ولا يدخل في حساباته أبداً، وإنما في اختياراته. فالمسائل الحسابية، عندما تكون صحيحة، تكون غير قابلة للجدل والنقاش، أما الاختيارات الفنية فإنها وجهات نظر، وتخالف فيها الأراء وتتضارب، وبالتالي فإن مهمة المصمم المعماري في عملية الإنارة للفراغات الداخلية ستكون محفوفة بالمخاطر إن لم يكن

على قدر من الحرفة، ويمتلك الأسس والقواعد الفنية الصحيحة في التعامل مع تقنيات الضوء ولونه وإنسجامها مع مكونات الديكور ليني عليها وجهة نظره.

إن أساس الحسابات التصميمية العامة لإذابة الفراغات الداخلية، التي يحتاجها المصممون المعماريون، التي ستنطرق إليها فيما بعد تعد، بسيطة وسهلة، لكن آلية استخدام أجهزة الإنارة في إضاءة شيء محدد بعينه، ترضي، من جهة العين الناظرة وتربح النفس البشرية وتزيد، من جهة أخرى، من قيمة الشيء المضاء وجماله وتحتاج إلى المعرفة الدقيقة في أجهزة الإنارة وكيفية استخدام هذه الأجهزة للغرض المطلوب، بعد أن تكون قد تشكلت في مخيلة المصمم الحيثية الصوئية التي يتغيرها.

عندما يتم التكلم على الإنارة، فإن هذا يعني بالضرورة الحديث عن ثلاثة مكونات أساسية، هي [٥] و [٧] و [١٦]:

- الجسم المراد إضاءته.
- الضوء المتوجب عليه إنارة الجسم.
- رد فعل الإنارة من على سطح الجسم.

ولعل المكون الأخير هو الأهم، لأنه في الحقيقة نتيجة عملية الإنارة ككل، وهو الذي ستقرؤه الأعين البشرية، أو هو الذي سيتسبب بالانطباع البصري لدى الإنسان الناظر، ونسميه بشكل أصح "الانطباع الضوئي البصري" على الأعين البشرية، لأن هذا الانطباع البصري ناجم عن عملية إنارة، وبالتالي يتم تمييزه عن أي انطباع بصري آخر.

وعندما نتكلم على رد فعل الإنارة على جسم، فإننا نقصد كيفية تعبير هذا الجسم عن نفسه، أي كيفية إظهاره لنفسه بعد أن تسلطت عليه إنارة. إن هذا الجسم سيظهر بوحدة أو أكثر من الحالات التالية:

- جميع النقاط المشكّل منها ستكون منارة بنفس السوية والوضوح.
- بعض نقاطه منارة بنفس الوضوح والسوية.
- نقاطه منارة بوضوح وبسبعينات مختلفة.

وعندما نتحدث عن إنارة جسم، يجب ألا ننسى ذكر تأثير هذا الجسم بعد إضاءته على جواره أو محيطه أيضاً، فالمحيط أو الجوار من الجسم سيقع تحت تأثير واحدة على الأقل من الحالتين التاليتين:

- سيضاء كالجسم تماماً، يتبعه في واحدة من حالاته الثلاث السابقة.
- سيحجب الجسم الإنارة عن جزء كبير أو صغير منه. أي سيترك الجسم ظلّه، كله أو بعضاً منه على مساحة من الجوار، أو ظللاً، إذا كان الضوء يأتيه من أكثر من مصدر ضوئي موزعين.

إذا أخذنا كل ماسبق بالحسبان فيمكن القول: إن الانطباع الضوئي البصري في الأعين على جسم مضاء سيتشكل من خلال الجسم وجواره، وهو حالة معينة من التفاعل، من ناحية بين أجزاء الجسم المضاءة بسويات مختلفة، ومن ناحية أخرى بين الجسم وظلّاه، التي قد يلقاها على جواره. إن هذا الانطباع الضوئي البصري هو المهمة الأخرى الملقاة على عائق المصمم المعماري لخلق الإيحاء أو الحالة المطلوبة حسبما يتغير، ونسميه بالإنارة الخاصة، بالإضافة إلى عملية الإنارة الوظيفية، والتي يمكن تسميتها جوازاً بالإنارة العامة.

نورد على سبيل المثال في ملحق الصور الملونة بالشكل (٥١-٢) عدة رسومات وتحف فنية مضاءة بطرق مختلفة، من حيث جهة توجيه الأشعة الضوئية وعرض حزمتها وكذلك شدتها (سويتها) وترك لمخيلة الأشخاص الناظرين تقريباً كل واحدة من هذه الرسومات والأشكال المضاءة، وتحديد الانطباع الضوئي البصري الذي تتركه لديهم. يمكن على الأقل ملاحظة إنارة أي من الأشكال أو الرسومات بجهازي إنارة، أحدهما عام ومنتشر الإنارة، والآخر خاص موجه، ومقارنة هذه بالحالة التي تتم فيها الإنارة بجهاز واحد فقط، عام أو موجه. أي من

الرسومات أو الأشكال تبدو أوضح للنظر وأجمل؟

## ١١- الإلارة الداخلية الفنية:

من وجهة النظر الفنية في العمارة الداخلية يمكن التمييز بين أصناف الإلارة كما يلي [٥]

و[٧] و[٨] و[١٦]:

• الإلارة الطبيعية، وهي إلارة ضوء النهار.

• الإلارة الصناعية، وهي الإلارة الوظيفية والمكملة للإلارة الطبيعية، أو البديلة عنها أثناء طول العتمة.

• والإلارة الجمالية أو التربينية.

والإلارة التربينية هي إلارة صناعية بالتأكيد، وهي التي تتم إضافتها، لأسباب فنية بحثة وفقاً لوجهة نظر المصمم المعماري، وليس من قبل مهندس الإلارة المختص، لتؤدي غاية معينة مرجوة في المكان. الأفضل أن تكون الإلارة الصناعية الالزامية هي بنفس الوقت تربينية أيضاً وتفي بكل الغرضين معاً. وهو ما يتوجب على المصمم الداخلي السعي إليه دوماً للحفاظ على سوية الإلارة المطلوبة، كما ارتأتها في دراسته مهندس الإلارة لتكون صحية ومناسبة، ولتحقيق وفر اقتصادي أيضاً. والإلارة التربينية هي ليست بالضرورة الإلارة التي تكون الغالية منها إضفاء صبغة الجمال على الجسم أو المكان فقط، وإنما قد تكون ذلك النوع من الإلارة الذي يتسبب عند تسليطه على الأشياء مظهاً الإبهار والإثارة، بشكل يستهض فضول الأشخاص ويلفت انتباهم و يجعلهم يتوقفون لبرهة من الزمن أو أكثر لمعرفة ماهية هذا الشيء المضاء، كما هو في بعض أنواع الإلارة المستخدمة في الإعلانات وواجهات المحال التجارية وما شابه. يعمل الضوء على التعديل والتأثير في مزاج البشر، وفقاً لخبرة ووجهة نظر الأمريكي Richard Kelly الخمسينيات من القرن الماضي. وقد صنف هذا المعماري الإلارة المستخدمة في إلارة الفراغات الداخلية إلى ثلاثة أصناف:

١- إضاءة عامة من أجل الرؤية السليمة والصحيحة للأشياء.

٢- إضاءة خاصة ووجهة من أجل إظهار أو إبراز الأشياء.

٣- إضاءة الزينة، والتي أسمتها بالإضاءة التي تُري نفسها، أو الإلارة الجميلة؛ وهي لفت النظر والإثارة، ليس أكثر.

- ☒ الإضاءة العامة لأجل رؤية سلية وصحيحة، هي إنارة موزعة بشكل متساوٍ من حيث الوضوح في كامل الفراغ، تتمتع بسوية مناسبة وتتضمن إمكانية رؤية واضحة وجيدة لجميع الأشياء أو الأجسام أو الموجودات عموماً في المكان، وتحد من البهار والسطوع. فإذا كان هذا المكان معرضًا مثلاً، فستكون سوية الإنارة واحدة وواضحة وكافية للمعروضات وكذلك للمراتب بين المعروضات وكل حيزٍ من المكان. إنها باختصار إنارة عامة واحدة منتظمة على كامل مساحة الفراغ الداخلي، يظهر من خلالها كل الموجودات على هذه المساحة بشكل جيد وواضح ومتساوٍ ولا تتسبب بالبهار أو السطوع (اللمعان).
- ☒ الإضاءة الخاصة والموجهة لإظهار أو إبراز الأشياء، هي عبارة عن إنارة موجهة أو مسلطة على أشياء أو أجسام أو موجوداتٍ محددة ليتم إبرازها وإظهارها بشكلٍ واضح من جوارها أو من محيطها، لذلك فهي إنارة خاصة. إن الغاية من الإنارة في هذه الحالة هي توجيه أنظار الأشخاص للرؤية حيث الضوء الموجه. فوظيفة الضوء الموجه هي إذاً لإيصال وإظهار حتى التفاصيل الدقيقة في الجسم أو الشيء المسلط عليه الضوء. فالجسم الذي سيكون الضوء مسلطًا عليه يجب أن يتميز إذاً بسوية إنارة أعلى بالتأكيد من سوية الإنارة في جوار أو محيط أو بقية أركان الفراغ الداخلي.
- ☒ الإضاءة التزيينية أو الجميلة هي عبارة عن نوع من الإنارة تكون وظيفتها للعرض أو لتربي نفسيها فقط، وليس لإنارة أشياء أخرى. إنها بحد ذاتها هي الغاية في العرض. منها الإنارة الملونة، وحبال إنارة الزينة مثلاً، وكل أنواع وأشكال الإنارة التي يتم عرضها واستخدامها، مثلاً، في الأعياد.

ومنذ الخمسينيات من القرن الماضي تم اعتماد وجهة نظر الأمريكي المختص Richard Kelly في موضوع التصميم الضوئي للفراغات الداخلية بشكل عام، وإن تم التعديل فيها بعض الشيء، من حيث الشكل فقط لتتناسب جميع أنواع الفراغات الداخلية على الإطلاق. يعد النوعان الأول والثاني، بشكل عام، من الإضاءات الوظيفية. الأول هو لازم وضروري، والثاني ليس بالضروري في بعض الفراغات، ويكون داعماً وضرورياً في الإنارة لبعض الفراغات الأخرى. أما النوع الثالث فهو لإضفاء صبغة معينة من الجمال أو الإنارة وما شابه على الأمكنة والأجسام وفق ما يرتئيه صاحب المصلحة أو المصمم المعماري.

من العوامل الأساسية المتوجبأخذها بالحسبان في التصميم الضوئي لفراغات الداخلية هي أيضاً، بالإضافة إلى المتطلبات التقنية الوظيفية، لون الضوء وعامل إظهار اللون لأجهزة الإنارة، بالإضافة إلى سوية أو شدة الإذابة وأشكال أجهزة الإنارة (Design)، وكذلك كيفية توزيع أجهزة الإنارة، وأخيراً تحقيق تفاعل سليم بين الضوء والظل، وخاصة في حالة إتاحة المعارض الفنية والمتاحف.

إن السبيل الأفضل للوصول إلى إنارة مناسبة وتحقق الغاية الفنية هو أخذ عملية الإنارة في بدء التصميم المعماري بالحسبان بالتوافق بين مهندس الإنارة الدارس والمصمم المعماري، وذلك عند تصميم الغرف والفراغات الداخلية المختلفة. ولقد صممت الشركات الصانعة أجهزة الإنارة بأشكال وأحجام وألوان مختلفة من أجل أن تكون لها جمالية معينة أيضاً بالإضافة لوظيفتها الأساسية في إعطاء النور.

عند استخدام الإنارة الموزعة يجب أن توجه أجهزة الإنارة الموزعة الضوء إلى جميع الاتجاهات لتؤمن إنارة منتظمة لجميع عناصر المكان أو الفراغ. وتستخدم الإنارة الموزعة عادةً في أغلب الأبنية العامة والتجارية والصناعية، وذلك عندما يكون إكساؤها الداخلي بلسون فاتح.

بالرغم من أن الإنارة المنعكسة عن الأسقف والجدران، وخاصة الجزء الأعلى منها، يضيع جزءٌ من فيضها عند الانعكاس، إلا أنها تعد الأكثر راحة للأعين والأفضل لإدراك تفاصيل العمارة الداخلية ضمن الأمكانة. تستخدم مثل هذه الإنارة في المنازل والأماكن العامة التي تتطلب دقةً كبيرةً في التفاصيل المعمارية والأعمال والنشاطات المختلفة من دون أن تتسبب بإعياء أو تعب للنظر والأعين كالمكاتب والمراسم مثلًا.

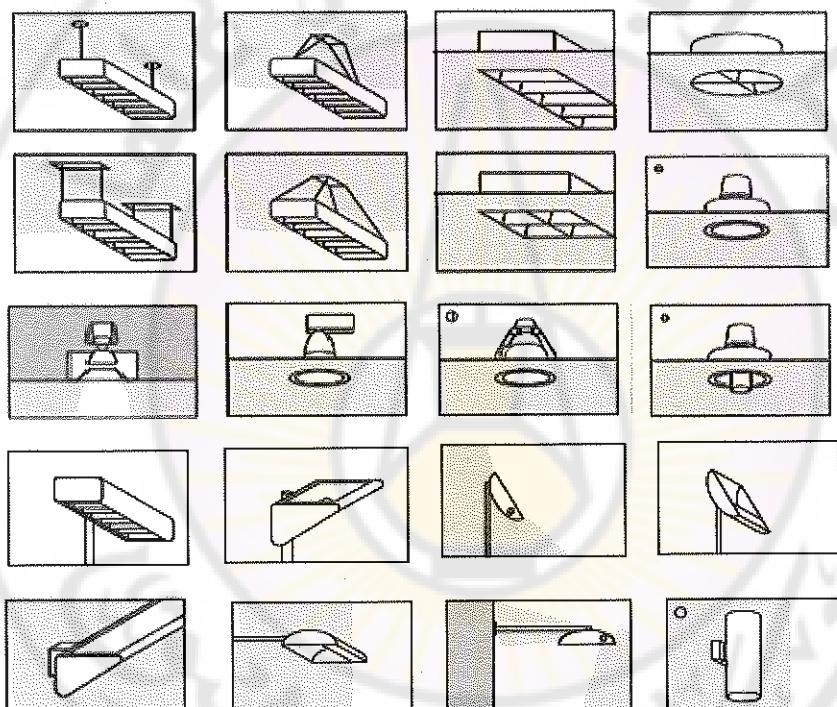
تصنع أجهزة الإنارة عادةً لتركيب في المواقع المحددة لها، فعلى سبيل المثال توجد أجهزة تركب مباشرةً على الأسقف أو على الجدران أو أجهزة تركب ضمن الأسقف المستعارة، أو على سلك معدنية أو مكهربة (تمثل السلك بحد ذاتها نواقل التيار الكهربائي) خاصةً بها .... الخ. فليس من السهل مثلاً تركيب جهاز إنارة مخصص فقط لتركيب على الأسقف لتركيبه ضمن الأسقف المستعارة، أضف إلى ذلك فإن هذه العملية ستتشوه المنظر العام للأسقف.

ومن أشكال أجهزة الإنارة الداخلية المستخدمة يمكن التمييز بين:

- إنارة سقية عادية: وهي عبارة عن أجهزة الإنارة التي تركب على السقف مباشرةً.

- إِنَارَةٌ سُقْفِيَّةٌ عَالِيَّةٌ مَعْلَقَةٌ بِالْأَسْقَفِ، إِمَّا عَبْرِ سَلاسلٍ أَوْ قَضْبَانٍ معدنيَّةٍ، وَهَذِه تَخْصُّ  
الْأَسْقَفَ الْعَالِيَّةَ فَقَطَّ (التي يَكُونُ ارْتِفَاعُهَا عَادَةً بَيْنَ ٣ m وَ ٤ m تَقْرِيبًا).
- إِنَارَةٌ سُقْفِيَّةٌ مُخْفِيَّةٌ: وَهِيَ الَّتِي تَرْكِبُ ضَمِّنَ الْأَسْقَفِ الْمُسْتَعَرَّةِ.
- أَجْهِزَةٌ إِنَارَةٌ فَلُورِيَّسِنْتُ ذَاتُ الْعَوَاقِسِ الضَّوئِيَّةِ: وَيَمْكُنُ تَرْكِيَّبُهَا أَيْضًا ضَمِّنَ الْأَسْقَفِ  
الْمُسْتَعَرَّةِ أَوْ مَبَاشِرَةً عَلَى الْأَسْقَفِ. الشَّكْلُ (٥٢-٢) يَبَيِّنُ أَجْهِزَةً إِنَارَةٌ مَعْلَقَةٌ بِالْأَسْقَفِ،  
وَأُخْرَى مُخْفِيَّةٌ فِي الْأَسْقَفِ الْمُسْتَعَرَّةِ وَأُخْرَى مَثَبَّتَةٌ عَلَى الْجَدْرَانِ أَوْ عَلَى أَعْمَدَةٍ عَلَى  
سَبِيلِ الْمَثَالِ.
- إِنَارَةٌ بِوَاسِطَةِ كَلُوبَاتِ الإِنَارَةِ: وَهَذِهُ الْأَنْوَاعُ مِنْ أَجْهِزَةِ الإِنَارَةِ يَمْكُنُ كَذَلِكَ تَرْكِيَّبُهَا عَلَى  
الْجَدْرَانِ أَوْ الْأَسْقَفِ مَبَاشِرَةً أَوْ مَعْلَقَةً بِالْأَسْقَفِ أَوْ كَذَلِكَ عَلَى سَكَكِ سُقْفِيَّةٍ أَوْ جَارِيَّةٍ  
خَاصَّةٌ بِهَا. وَيَوْجُدُ مِنْهَا أَنْوَاعٌ مُتَحْرِكَةٌ وَقَابِلَةٌ لِلتَّوْضُعِ عَلَى الطَّاواُلَاتِ أَوْ عَلَى الْأَرْضِ  
وَسَوَاهَا. وَهَذِهِ الْأُخْرَى مِنْهَا مَا يَتَغَذَّى عَادَةً مِنْ مَأْذُنٍ كَهْرَبَائِيٍّ وَيُضَافُ فِيمَا بَعْدٍ وَلَا يَسِّرُ  
جَزْءًا لِلِّيْتِرَجُوِّ مِنَ الْدِرَاسَةِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ لِلِّإِنَارَةِ.
- الْمَشَعَّاتُ (السَّبُوْنَاتُ): وَهَذَا النَّوْعُ مِنْ أَجْهِزَةِ الإِنَارَةِ، وَقَدْ كَانَ قَدْ تَعْرَفَنَا عَلَيْهِ، يَتَمْيِزُ  
بِضُوءٍ شَدِيدٍ وَقُوِيٍّ يَسْلُطُ عَلَى الْأَشْيَاءِ الْمَرَادُ إِظْهَارُهَا وَتَمْيِيزُهَا، كَذَلِكَ الَّتِي تَسْلُطُ عَلَى  
الْقُطْعِ الْأَثْرِيَّ الْكَبِيرَةِ الْحَجمَ نَسْبِيًّا، أَوْ عَلَى مَعْرُوضَاتِ الْمَحَالِ التَّجَارِيَّةِ، وَبِالْأَخْصِ فِي  
وَاجْهَاتِهَا، أَوْ عَلَى الْمَجَسَّمَاتِ وَاللَّوْحَاتِ الْفَنِيَّةِ وَمَا شَابَهُ. وَيَمْكُنُ تَرْكِيَّبُهَا بِطَرْيِقَةٍ مُشَابِهَةٍ  
تَامًا لِلْتَّرْكِيبِ كَلُوبَاتِ الإِنَارَةِ. يَكْثُرُ تَرْكِيبُ الْمَشَعَّاتِ أَيْضًا كِلَارَاتٍ تَرْبِيَّتِيَّةٍ خَارِجِيَّةٍ، وَيَغْلِبُ  
أَنْ تَكُونَ بِاسْتِطُعَاتِ عَالِيَّةٍ وَمِنَ النَّوْعِ الْكَتْمِ، أَيْ لَا تَسْمَحُ بِدُخُولِ الْمَاءِ إِلَيْهَا. وَهِيَ فِي  
أَغْلُبِهَا مَتَيْنَةٌ مِيكَانِيَّكِيَّا، أَيْ ذَاتٌ مَقاوِمَةٌ عَالِيَّةٌ ضَدَ الْطَّرْقَاتِ الْمِيكَانِيَّكِيَّةِ.

- الثريات: وهي عبارة عن مجموعة من أجهزة الإنارة المتشابهة أو المختلفة عن بعضها، تصنع بأشكال وأحجام مختلفة ويكون فيها عادة أكثر من منبع إنارة. تركب بالأسقف معلقة بواسطة سلاسل معدنية مناسبة. تصلح الثريات التركيب في الأماكن المختلفة ذات الأسقف العالية، وخاصة تلك التي تكون بمساحات واسعة، مثل الصالات والصالونات الكبيرة، كمداخل الفنادق ومداخل صالات الأوبرا وصالات الحفلات الموسيقية الضخمة ودور العبادة. كما تركب أيضاً في الصالات المتعددة الأغراض ذات السقوف العالية. إن الثريات تعطي انطباعاً بفخامة وبهاء المكان وعظمته.



الشكل (٥٢-٢) أجهزة إلارة معلقة بالأسقف وأخرى مخفية في الأسقف المستعارة أو مثبتة على الجدران بطرق مختلفة أو متوضعة على عمود واقفة على الأرض لا يوجد ما يمنع في عملية الخلط في سقف واحد بين أشكال مختلفة ومتعددة لأجهزة الإلارة، إضافة لإلارة جدارية وسوهاها، طالما أنها جميعاً تؤمن متطلبات الإلارة الوظيفية السليمة

المطلوبة، كما يرتئيها مهندس الإنارة، وتعطي جمالية معينة للمكان وفقاً لوجهة نظر المعماري أو المصمم الداخلي.

يمكن للإنارة أن تكون مركزة في موضع واحد فقط، في السقف مثلاً أو أحد الجدران، كما يمكن لها أن تكون موزعة على كامل المساحة بواسطة عدة أجهزة. إلا أنه يتوجب الأخذ بالحسبان عند إنارة الأماكن الواسعة المساحة، كالغرف المكتبية مثلاً، والتي تحتوي على عدة طاولات، ضرورة توزيع أجهزة الإنارة، حتى لا يترك الضوء في موضع من الغرفة ويكون قليلاً في موضع آخر. مع العلم أن الإنارة الموضعية المركزة، والتي تستخدم للغرف والأماكن ذات المساحات الضيقية أو الصغيرة، يكثر استخدامها أيضاً وإنارة خاصة، كما هو في المتاحف، حيث يتعمد تسليط الضوء بشدة على جهة ليترك ظللاً على جهة أخرى فيلفت النظر أكثر. ويفضل في أغلب الأحيان الخلط بين الإنارة الخاصة الموجهة والإنارة العامة الموزعة، كأن يتم مثلاً وضع جهاز إنارة جداري أو أرضي (كلوب) على طاولة دراسة أو فوق آلة عزف موسيقى، كالبيانو، أو إلى جانب ماكينة خياطة، إضافة لأجهزة الإنارة الأخرى في المكان، والتي قد تكون مركزة أو موزعة.

وبشكل عام يمكن القول: إن طريقة الإنارة تتعلق ليس فقط بطبيعة استخدام المكان والناحية الاقتصادية، بل بالرؤى الفنية لمهندس الإنارة وبالأكثر للمصمم الداخلي، بحيث تراعى، إضافةً إلى القواعد العامة للإنارة، الناحية الجمالية للمكان. فمهندس الإنارة يعمل على دراسة الإنارة الوظيفية، لإظهار الأشياء في المكان وخلق جو مناسب ومرح لاتعب من خلاله الأعين، أو تتضرر، وبالتالي من عدم وجود لمعان، بينما يضع المصمم الداخلي أو المعماري لمساته فيضيف ويعدل ليبدو المكان أحلى وأجمل وأكثر راحة للأعين والأفاسن أيضاً، فيعطي لساكن المنزل، مثلاً، شعوراً بالراحة والطمأنينة والأمان في منزله. وإحساساً مشابهاً لضيف المطعم. ويزداد جمال المعروضات في المتاجر والمتحف والمعارض الفنية و..... الخ

ويجدر القول هنا: إن معظم أجهزة الإنارة التي تستخدم أيضاً بعرض إيراز أو إظهار الأشياء هي من النوع المتهج الهالوجيني، والبعض الأقل بكثير منها هو من الفلوريستي أو الفلوريستي المدمج، نظراً لمحدودهما الضوئي الجيد ووجودهما بالأأسواق باستطاعات

وأشكال مختلفة، تغطي تقريباً معظم المتطلبات منها، أضف إلى ذلك إمكانية الحصول على اللوان إنارة مختلفة منها وتأمينها لسويات إنارة مناسبة في الإنارة الداخلية؛ إما لأغراض الإعلانات التجارية، والتي تكون في الغالب كبيرة المساحة، فيفضل استخدام أجهزة إنارة الفلوريسنت فهي ذات مردود ضوئي ممتاز لهذه الغاية، أضف إلى ذلك طبعاً وجود اللوان المختلفة ومتنوعة منها تناسب الطلب.

وإما من أجل الإنارة التربينية الخارجية، سواء للأماكن الأثرية أو الحدائق فيفضل استخدام أجهزة إنارة من النوع الذي يتميز بشدة إنارة عالية، كمصابيح بخار الزئبق أو الصوديوم، بحيث يمكن رؤية المعلم المراد إثارته من مكان بعيد. وهذه أيضاً توجد منها أنواع باستطاعات عالية، وبالتالي شدت إنارة كافية وبأشكال وألوان مختلفة لتفادي بالغرض المطلوب.

وقد نزداد في الآونة الأخيرة استعمال أجهزة إنارة تعتمد على الديودات الباعثة للضوء في الإنارة الخارجية والداخلية، الوظيفية منها والتربينية، لما لهذه الأجهزة من مزايا متعددة، أهمها مردودها الضوئي العالي نسبياً وعمر عملها الطويل، خاصةً، وقد صارت تصنع بأشكال وأحجام وألوان مختلفة يجد منها المرء في الغالب غالباً، ومن المتوقع على المدى غير البعيد أن تحل هذه الأجهزة مكان جميع أجهزة الإنارة الأخرى، نظراً للتطورات السريعة التي تطرأ عليها وتزيد في مزاياها الإيجابية باستمرار مقارنة بسواءها من أجهزة الإنارة الأخرى.

وقد نزداد في السنوات الأخيرة استخدام أجهزة إنارة مع إمكانية التحكم فيها، من حيث الشدة واللون، فيمكن استخدام سطح زجاجي ملون يوضع أمام الجهاز بشكل آلي فيعطي ضوءاً بلون مختلف، وكذلك يمكن من خلال مفتاح خاص تقوية وتخفيض شدة الإنارة. تستخدم مثل هذه الأجهزة بكثرة في المسارح وفي واجهات المحال التجارية. ففي المسرح يتم التعديل بشدة للون وموقع الإنارة بين مشهد وآخر أحياناً. وفي واجهات المحال التجارية، حيث توجد المعروضات، يتم التعديل وفقاً لوجهة نظر صاحب محل، حتى إنه عند بدء غياب الشمس وقرب حلول الظلام يضيئون إنارة الواجهات لدعم إنارة ضوء النهار التي تقل تدريجياً، ثم يزيدون من شدة الإنارة كلما زاد المساء اسوداداً. إن هذه الطريقة في الإنارة، التي ترك أثراً

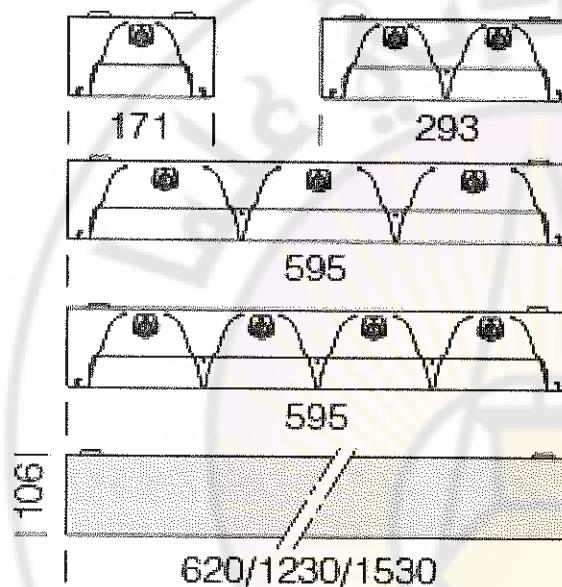
مختلفاً لدى الناظر عند تغيير اللون والشدة، تساعد أيضاً في السوفر الاقتصادي، وخاصةً للمحال التجارية الكبيرة، أو حيث تكونتكلفة الطاقة الكهربائية مرتفعة جداً، ويمكن أن تتم عملية زيادة شدة الإنارة تدريجياً، أو تغيير لونها، بشكل آلي مؤتمت كل مدة زمنية محددة، معيرة عليها الأجهزة، دون تدخل ليد الإنسان فيها. إنواجهة أي محل تجاري تعد بمثابة بطاقة دعوة للمارين أمامها لدخول المحل، لذلك يعمل مستثمروها على أن تكون قبلة الناظرين، وبالأخص تلك المراكز والمحال التجارية الكبيرة والضخمة منها.

ويجدر بالذكر أيضاً أن أجهزة الإنارة تصنع بدرجات حماية مختلفة من تأثير الماء عليها أو لمقاومتها للحرائق. فمن المعروف بأن أجهزة الإنارة المتوجب وضعها على سبيل المثال في إنارة الشوارع أو الإنارة الخارجية الموجهة للأماكن الأثرية وللأبنية والمنشآت أو الحدائق لغاية الزينة يتوجب عليها أن تكون محمية، بحيث لا يمكن لمياه الأمطار الساقطة الدخول إليها، والوصول إلى لمبتها، أو إلى تمساتها الكهربائية، فتنسبب بتألف المصباح أو التمسات، أو حدوث ماس كهربائي، لذلك تكون مثل هذه الأجهزة من النوع الكثيم الذي لا يسمح لمياه الأمطار أو الرش (نتيجة السقاية) بالدخول إلى جسم الجهاز، مما صغرت قطرات الماء. مثل هذه الأجهزة تأخذ رموزاً خاصة تكتب على لوحاتها الإسمية أو في دفتر مواصفاتها أو مباشرةً على أجسام الأجهزة. هذه الرموز لا تقل عن IP<sub>55</sub>. وكذلك فإن بعض أجهزة الإنارة التي توضع في أماكن تتسبب فيها الحرائق بخسائر هائلة في الماديات، وربما الأرواح أيضاً، كما هو في محلات بيع الألبسة، فيجب أن تكون هذه الأجهزة من الأنواع التي لا يمكن أن تتسبب بحدوث حرائق بفعل الحرارة المنتشرة منها. وهذا يعني أن تكون كافة الأجزاء المشكلة للجهاز الكهربائي من النوع المقاوم للحرائق، بحيث إذا حدث أي ماس كهربائي ضمن جهاز الإنارة، أو انتشرت فيه حرارة عالية، فلن يؤدي ذلك لإنصهار أي جزء من الجهاز، وبالتالي لن يقود لنشوب حريق. مثل هذه الأجهزة التي لا تكون سبباً لإحداث حرائق تأخذ رمزاً خاصاً بها، وهي عبارة عن مثلث واحد مقلوب أو مثليثين مقلوبين متواضع في وسط كل منهما الحرف F.

ومن أجل استدامة الإنارة، حتى عند انقطاع التيار الكهربائي تتوارد حالياً في الأسواق أجهزة كهربائية مختلفة الأشكال مجهزة بدارنة كهربائية إضافية مع بطاريات شحن، تعمل هذه بشكل آلي وتستمر في الإنارة حتى بعد انقطاع التيار الكهربائي، وهي ما يسمى بإنسارة الطوارئ.

يمكن استخدام بعضاً من مثل هذه الأجهزة ذات نفس شكل ونوع الأجهزة الكهربائية المركبة لإلارة فراغ معين لتعطي نوراً عند انقطاع الكهرباء، وتكون وظيفة هذه الأجهزة ليس استمرار إعطاء الإنارة بشكل دائم لمدة طويلة، وإنما فقط إتارة مؤقتة لحين عودة التيار الكهربائي، لأنها ذات استطاعات قليلة وغير كافية كبديل للإنارة الازمة والمطلوبة.

في الأشكال (٥٣-٢) التالية نبين مقطعاً عرضاً لبعض أجهزة إنارة الفلوريست المتدالة في



الشكل (٥٣-٢) توضع مصابيح الفلوريست في  
أجهزة الإنارة

الأسواق، وهي تلك التي تستخدم، بشكل عام، للإنارة الوظيفية العامة. منها بمصباح فلوريستي واحد وآخر بمصابيحين، وثالث ثلاثة، ورابع بأربعة مصابيح. يوجد منها بأشكال وألوان وطرق تركيب مختلفة ومتعددة.

ويعبر عن أجهزة الإنارة هذه، على سبيل المثال لتلك ذات الأربع مصابيح على الشكل التالي:  $W_{56}X_{56}$ . ويقصد بذلك جهاز إنارة فلوريست ذو أربعة مصابيح، استطاعة الواحد منها  $W_{56}$ . ولذى الثلاثة مصابيح  $W_{56}X_{56}^3$ ، وهكذا. كما يبين نفس

الشكل السابق العرض الكلي لجهاز الإنارة، وارتفاعه مقدراً بالـ mm. ومن أجهزة الإنارة الأخرى، كالهالوجين يوجد أيضاً ذات المصباحين، ويعبر عنها بنفس الطريقة السابقة. نورد على سبيل المثال في الأشكال التالية، من (٥٤-٢) حتى (٦٩-٢) في ملحق الصور الملونة بعضاً من صور أجهزة الإنارة المستخدمة حالياً.

## ١٢-٢ - تصميم الإنارة الداخلية:

ما سبق يتبيّن لنا أنّ أمّا المصمم المعماري للأماكن والفراغات الداخلية اختيارات غير قليلة لاختيار أنواع وأشكال مختلفة من أجهزة الإنارة التي يمكن استخدامها لتقى بغرص الإنارة الوظيفية والتربينية المطلوبة. أمّا من حيث توزع أجهزة الإنارة في الأماكن أو الفراغات الداخلية، على الأسف أو الجدران، فلا يوجد لذلك معيار أو نورم ثابت يتوجّب على المصمم المعماري التقيد به، طالما أنها تقوم بالوظيفة المطلوبة، بل على العكس من ذلك فيمكن للمصمم أن يظهر براعته ومقدرتـه الفنية ويختار توزيعـاً فنيـاً وفقـاً لوجهـه نظرـه أو رؤيـته الجـمالـية.

توجد خطوط عريضة فقط لتوزع أجهزة الإنارة في الفراغات الداخلية يقوم مهندس الإنارة المختص بوضعها للحصول على سوية ونوع الإنارة المطلوبة تبعاً للغالية من الفراغ الداخلي أو هويته، وذلك بعد أن يكون قد أتم عملية دراسة الإنارة للفراغ بشكل كامل. يمكن بعدها لمصمم الديكور أن يدخل تعديلاته كاختيار الأشكال وحتى تغيير نوعية الإنارة ولون بعضها وإضافة آخر بعرض جمالي، كما يمكن له تغيير وتعديل التوزيع بحدود غير قليلة، ويفضل أن يكون ذلك بالاتفاق مع مهندس الإنارة، وخاصةً للأماكن ذات طبيعة الاستخدامات الخاصة والهامـة بنفسـ الوقت، كدور المسـارـح والمـوسـيقـى وصالـات المؤـتمـرات والمـاتـاحـف وما شـابـه.

نورد فيما يلي فكرة موجزة [١] و [٦] و [٧] عن بعض الاعتبارات التصميمية الهامة بالنسبة إلينا في العمارة الداخلية فيما يخص تصميم الإنارة بشكل عام. ونترك تفاصيل الدراسة والتصميم الدقيق لمهندس الإنارة المختص.

إن القيمة الأساسية المتوجب معرفتها عند دراسة إنارة أي مكان هي سوية الإنارة المطلوبة، وهذه قد تم تحديديها من قبل بعض النظم الهندسية صاحبة الخبرة والسبق العلمي والصناعي في العالم. ولا تختلف هذه القيم من النظام الإنكليزي (BS) عن النظام الألماني (DIN VDE) أو الفرنسي أو الأمريكي (ANSI) بشيء يذكر، فجميعها تقريباً مقاربة القيم.

لقد حدد النظام الألماني [٨] و [١٦] سويات الإنارة الازمة لجميع الأماكن، تبعاً لوظيفة المكان، من أجل الحصول على إنارة كافية وصحية ومناسبة كما نبيّنها بالجدول (١٦-٢):

**الجدول (٢-١٦) سويات الإنارة المطلوبة وفق DIN**

سوية الإنارة في المكان مقدرةً بالـ [Lx]	المكان ( الفراغ الداخلي ) وظيفته:
١٠٠٠	ورش اختبار وفحص الألوان وصيانة المعدات الدقيقة وصناعة الحلي وأماكن وضع الروتوش.
٧٥٠	أماكن الرسم الهندسي، وأماكن إجراء الاختبارات وصرف العملة.
٥٠٠	المكاتب وأماكن معالجة المعلومات وغرف المحادثة، وورش الصيانة عموماً.
٣٠٠	مكاتب تكون فيها أماكن العمل قريبة من النوافذ، وورش الصيانة لتجهيزات متوسطة الدقة، غرف أو أماكن الحركة.
٢٠٠	المستودعات التي يتطلب فيها أيضاً القراءة، العرف التي تكون فيها حركة للبشر، الأرشيف. غرف الحمامات والغسيل وتبديل الثياب.
١٠٠	المستودعات، أماكن الحركة في الأبنية للأشخاص والعربات، الأدراج والأدراج المتحركة، مداخل القاعات الكبيرة، غرف توضع خزانات النفط في الأبنية وما شابه.
حتى ١٠٠٠٠	غرف العمليات الجراحية.
٧.٥	شارع جانبي للدخول إلى الأحياء السكنية (سرعات بطئية جداً لعموم الآليات والسيارات).
١٥	أماكن وساحات ركن السيارات.

وكذلك فقد حدد نفس النظام الألماني السابق ( DIN VDE ) اختبار ألوان وسويات الضوء المطلوبة لبعض الأماكن الخاصة وفق الجدول ( ١٧-٢ ) :

**الجدول ( ١٧-٢ ) سويات وألوان الإنارة المطلوبة**

لون الضوء	سوية الإنارة [Lux]	المكان ووظيفته
WW, nw	٣٠٠	المكاتب التي يكون فيها ضوء النهار جيداً
WW, nw	٥٠٠	غرف المكاتب
WW, nw	٧٥٠-١٠٠٠	غرف المكاتب الكبيرة
WW, nw	١٠٠-٢٠٠	غرف الراحة والطعام في المعامل
WW, nw	٥٠٠	غرف التنظيف
WW, nw	١٠٠	غرف الغسيل والحمامات
WW, nw	٥٠	ممرات الأشخاص في الأبنية
WW, nw	١٠٠	ممرات الأشخاص والعربات في الأبنية

#### ١-١٢-٢ - توزيع أجهزة الإنارة:

يتم توزيع أجهزة الإنارة في الفراغ الداخلي المراد إضاءته بحيث تتحقق سوية الإنارة المناسبة والمنتظمة المطلوبة وإبقاء سطوع الأجهزة ضمن الحدود المسموح بها. ويعتمد التوزيع التقني على عدة أساس أهمها:

- أ - تكون المسافة بين محوري جهازين متتاليين متساوية لضعف المسافة بين الجهاز والجدار. انظر الشكل ( ٧١-٢ ). وباعتبار أن المسقط الأفقي للغرفة غالباً ما يكون ذا مقطع مربع أو مستطيل، وبسبب الانعكاسات للأشعة الضوئية من على الجدران والسلف والأرض فتتدنى سوية الإنارة في جوانب الغرفة، لذلك ينصح بزيادة عدد الأجهزة أو استطاعتها عند الجوانب والزوايا. ولا يلتجأ عادة إلى مثل هذه الحلول إلا في الحالات التي تتطلب انتظاماً كبيراً في سويات الإنارة.
- ب - الأخذ بالحسبان العلاقة بين تباعد الأجهزة وارتفاع الجهاز بغية ضمان انتظام جيد للإنارة على سطح العمل، و تختلف هذه العلاقة حسب نوع الجهاز وخواصه الضوئية، هذه العلاقة تساوي:

$$\alpha = \frac{a}{h} \quad (2-14)$$

حيث:  $a$  هو البعد بين جهازين متباين.

$H$  هو ارتفاع الجهاز عن السطح المراد عنده حساب سوية الإنارة (سطح العمل).

في الإنارة المباشرة تكون هذه النسبة متساوية لـ ١-١.٢

وفي الإنارة شبه المباشرة تساوي ١-١.٥

وفي الإنارة الموزعة بانتظام تساوي ١.٥-٢

جـ في حال التوزيع غير المنظم لأجهزة الإنارة بقصد رفع سويات الإنارة في حيز من الغرفة يمكن استخدام هذا النوع من التوزيع في غرف الدرس والمراسم وغرف المرضى وما شابه. وفي هذه الحالة لا توجد علاقات رياضية لتوزيع أجهزة الإنارة وإنما يترك للدارس وضع الأجهزة وفق وجهة النظر التي يرتئيها، من حيث ترتكز الإنارة في منطقة أكثر من الأخرى.

#### ١٢-٢ - اختبار نظام الإنارة:

يتم عموماً اختبار نظام الإنارة بعد معرفة نوعية العمل الذي سوف يتم في الفراغ الداخلي المراد إثارته. وتوجد عدة أنظمة للإنارة المستخدمة والمعتبرة عليها وهي:

أـ نظام الإنارة العامة General lighting :

في هذا النظام يتم توزيع أجهزة الإنارة بشكل منتظم على سقف الغرفة مفترضين أنه لا يوجد مكان محدد لموقع العمل في الغرفة. يستخدم هذا النظام في الأماكن ذات الاستخدامات العامة والمتنوعة كقاعات الدرس والمكاتب والمجمعات الاستهلاكية وما شابه.

بـ نظام الإنارة الموجهة Directional lighting :

في هذا النظام يحصل توزيع أجهزة الإنارة على سقف الغرفة، بحيث تكون الأجهزة مزودة بموجهات خاصة توجه الضوء في اتجاه موقع العمل. يستخدم هذا النوع من الإنارة في إنارة منصات المسارح وفي إنارة معارض وواجهات المحال التجارية أو بعض معارضها وما شابه. إن هذا النظام يستخدم لتحقيق سوية إنارة مرکزة في موضع محدد.

## ج- نظام الإنارة المركزية :Localized lighting

في نظام الإنارة هذا يتم تركيز أجهزة الإنارة في أماكن العمل بشكل رئيس لغاية رفع سوية الإنارة فوق طاولة العمل أو فوق آلة يتم العمل عليها. يستخدم هذا النظام بكثرة في المصانع والمخابر وفي إنارة طاولات المكاتب العامة، وأحياناً طاولات المطاعم وما شابه

## د- نظام الإنارة الموضعية :Local lighting

في هذا النظام من الإنارة يتم تركيز إنارة موضعية إضافة للإنارة العامة، وذلك في مواقع معينة من الفراغ الداخلي كإنارة موضعية لآلة مخرطة أو لطاولة رسم أو لطاولة دراسة أو لطاولة عمل دقيق ... إلخ.

### ٣-١٢-٢ - حساب الإنارة للفراغات الداخلية:

تتم إجراءات حساب الإنارة في العمارة الداخلية بطرق مختلفة، إلا أنها جميعاً تصل إلى نتائج متقاربة. وسنعمل هنا على شرح واحدة من هذه الطرق المستخدمة وفق نظام DIN VDE الألماني المعروف. وهذه من أكثر الطرق شيوعاً في الاستخدام. وهي تأخذ بالحسبان أيضاً الانعكاسات الضوئية الناجمة عن الجدران والأسقف والأرض. وتسمى هذه الطريقة بطريقة اللومن في بعض المراجع. إنها تتميز كذلك بسهولتها، وهي تعطي مباشرة الإنارة الوسطية للفراغ الداخلي، ويمكن من خلالها تحديد عدد الأجهزة الضوئية اللازمة لإنارة فراغ داخلي معين. لإجراء الحسابات بهذه الطريقة يتم إتباع الخطوات التالية [١٥]:

أ- يتم اختيار سوية الإنارة الوسطية E حسب أحد النظم العالمية أو الوطنية المعروفة وذلك وفقاً للمكان ووظيفته، على سبيل المثال من الجدول (٢-١٧).

ب- يتم تحديد مساحة الفراغ الداخلي من خلال طوله a وعرضه b.

ت- يتم تحديد ما يُعرف باسم عامل التخطيط. وهو مقلوب ما يُعرف في بعض الأنظمة بعامل الصيانة والتقادم Maintenance factor f. وهذا العامل يأخذ بالحسبان تقادم أجهزة الإنارة ومدى درجة تعرضها للاتساح بفعل عملها وعوامل الوسط. إنه يعبر عن مدى الصيانة الدورية التي يمكن تنفيذها على أجهزة الإنارة، كما يتعلق بكتامة أجهزة الإنارة ضد الغبار والأوساخ وما شابه وفقاً لنظافة المكان ومدى التلوث في أجواءه. وكلما زادت نسبة التلوث والغبار في الجو وقلت كتامة الجهاز وصيانته يؤخذ بالحسبان عامل بقيمة أكبر، ويؤخذ

بالحساب عند وضع الدراسة وبدء التخطيط لها بأن تكون سوية الإنارة عالية بشكلٍ كافٍ. فإذا تم عد أن هذه الأجهزة تخضع سنويًا مرة واحدة للتنظيف والصيانة، فتكون قيمة هذا العامل تبعاً لدرجة نقصان سوية الإنارة التي يمكن للأجهزة أن تعطيها مع الزمن وفق الجدول (٢-١٨) المبين:

الجدول (٢-١٨) قيمة عامل التخطيط

نقصان سوية الإنارة	عادية	مرتفعة	مرتفعة جداً
عامل التخطيط	١.٢٥	١.٤٣	١.٦٧

ثـ- تحديد قرينة الفراغ الداخلي أو مايعرف بقرينة الغرفة Room index k. وقرينة الغرفة عبارة عن ثابت من دون واحدة تتبع قيمته بأبعاد الغرفة بشكل رئيس، وارتفاع الجهاز عن سطح العمل. وبحسب من العلاقة التالية:

$$k = \frac{a.b}{(a+b).h} \quad (2-15)$$

و h ارتفاع جهاز الإنارة عن سطح العمل أو السطح المراد حساب سوية الإنارة عنده. وفي الإنارة غير المباشرة تكون h هي الارتفاع بين سطح العمل وسطح الغرفة.

و a b هما أبعاد ( طول وعرض) الغرفة.

جـ- تحديد عوامل أو درجات الانعكاس للفراغ الداخلي أو الغرفة. ويتم ذلك من خلال جداول خاصة، كالجدول الموجود في أعلى ومنتصف الشكل (٢-٧٠) لكل من الأرض والأسقف والجدران، بعد معرفة ماهية إكسائهما. وكقيم وسطية، في حال لم تتحدد، أو لم تعرف تماماً طبيعة هذه السطوح فينصح بشكل عام بأخذ عوامل الانعكاس التالية:  $\beta_1=0.7$  للأسقف.  $\beta_2=0.5$  للجدران.  $\beta_3=0.2$  للأرض.

حـ- تحديد نوعية و Maherية أجهزة الإنارة، بعد الاطلاع على الأنواع والأشكال المختلفة المتواجدة في الأسواق واختيار الأنسب. وقراءة قيمة الفيض الضوئي الذي يعطيه جهاز الإنارة الواحد  $\Phi$ .

خـ- تحديد مردود الفراغ الداخلي أو الغرفة  $\eta_R$ . ويقصد بهذا التعبير نسبة الإنارة التي ستشع في الغرفة، وتحديداً في سطح العمل بفعل انعكاساتها من على السقف والجدران والأرض. أي

تأثير السطوح المختلفة في الغرفة على الإنارة. إن تحديد قيمة هذا المردود يخضع لعدة عوامل، وهي:

- جهاز الإنارة بحد ذاته، شكله ومخطط الشدة الضوئية الخاص به، والذي تعطيه عادة الشركات الصانعة.
  - عوامل الانعكاس للسقف والأرض والجدران.
  - وأبعاد الغرفة، بما في ذلك ارتفاع جهاز الإنارة عن مكان العمل. أي تماماً قرينة الغرفة.
  - يتم تحديد مردود الغرفة من جداول خاصة، مبين فيها مخطط الشدة الضوئية لأجهزتها، والتي تعطيها عادة الشركات الصانعة لأجهزة الإنارة. ويمكن الاستعانة بالجدالات الموجودة في الشكل (٧٠-٢) المبين لنماذج شبه عامة لأجهزة الإنارة المختلفة المتواجدة حالياً في الأسواق.
  - يتم تحديد مردود المصباح أو المصايبح LB%. والمقصود بهذا التعبير هو نسبة الإنارة التي يتم الاستفادة منها فعلاً من الجهاز بعد تركيبه وفق اختبارات المعمل أو الشركة الصانعة. وهذا المردود يعرف على أنه النسبة بين الفيض الضوئي المستفاد منه فعلاً والفيض الضوئي الكلي للمصباح أو للمصايبح المتوجب استخدامها. فالفيض الكلي الذي تبثه أجهزة الإنارة يتم امتصاص بعضه من الأجهزة نفسها وجزء منه يشع في اتجاهات غير مفيدة، للأعلى مثلاً (فوق المستوى الأفقي لموقع الأجهزة)، أو أنه يشع باتجاه جانبي غير مفيد أيضاً. وهذه القيمة تعطيها أيضاً الشركات الصانعة في دفاتر المواصفات الفنية (catalogue) لأجهزتها، حيث يمكن قراءتها منها.
  - تحديد المردود الكلي للإنارة، والذي يتكون من كل من مردود الغرفة ومردود المصايبح، وفق العلاقة التالية:

- ر - حساب الفيصل الضوئي الكلي الوسطي اللازم ل الكامل الفراغ الداخلي أو الغرفة  $\Phi$ ، وفق العلاقة التالية:

$$\Phi = \frac{EAf}{\eta} \quad (2-17)$$

ز - حساب عدد أجهزة الإنارة الازمة وفق العلاقة التالية:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (2-18)$$

## ملحوظات عامة:

- ١- عند اختيار أكثر من نوع وشكل لتنعيمية غرفة بالضوء فيمكن اختيار الغرفة مجزأة بنسبة معينة تبعاً لنسبة كل نوع من الأجهزة المراد تركيبها وتحديد عدد الأجهزة من كل نوع وفق الطريقة السابقة.
- ٢- في حال تم اختيار جهاز إلارة يحتوي على أكثر من مصباح، كما هو عادة في أجهزة الفلوريسنت، التي يكثر أن تكون ثنائية أو ثلاثية أو رباعية المصايبق فيكون فيها الفيصل الضوئي للجهاز الواحد مساوياً للفيصل الضوئي للمصباح الواحد في الجهاز مضروباً بعدد المصايبق في الجهاز الواحد.
- ٣- يفضل أن يكون توزيع الأجهزة متوازراً من أجل الحصول على سوية إلارة واحدة لكامل الغرفة. ويكون البعد بين الجدران وصف الأجهزة الأول مساوياً على الأكثر لنصف البعد بين صفين من الأجهزة. ويفضل أن يكون أقل من النصف بقليل نظراً لأن الأمكنة المحاذية للجدران تأتيها الإنارة من صف واحد فقط من الأجهزة فتكون سوية إلارتها أقل من الأمكنة التي تقع بين صفين من أجهزة الإنارة وتأتيها إلارة من كلا الصفين.
- ٤- يمكن إضافة أجهزة إلارة أخرى بمواصفات مناسبة على طاولات العمل مثلاً، لتؤمن سوية إلارة أفضل على هذه الطاولات، في حال تطلب العمل على هذه الطاولات سوية إلارة أفضل. كما يمكن وضع مفاتيح إلارة خاصة بهذه الأجهزة الإضافية تشغله عند الحاجة.
- ٥- عند إضافة أجهزة إلارة تزيينية، زائدة عن الأجهزة المحسوبة يجب الأخذ بالحسبان إلا تؤثر إلارة هذه الأجهزة على الأعين البشرية لأن تزيد كثيراً في سوية الإنارة أو تتسبب بلمعان أو زيادة في السطوع وما شابه.
- ٦- تحسب سويات الإنارة في الفراغات الداخلية بشكل عام على ارتفاع ٧٥cm عن سطح الأرض، ويجب ألا تزيد بأي حال عن ٨٠.٨٠cm.
- ٧- عندما يراد تسلیط أو توجيه ضوء على شيء ما، كتحفة فنية مثلاً، أو سواها، فيجب إلارة المكان بما يناسبه أولاً، ومن ثم إضافة الضوء المسلط لإبراز التحفة الفنية.

مكعبات توزع الشدة الضوئية عند : 1000 Lm	درجات الانبعاث	أمثلة بعض أجهزة الإنارة									
		عند	0,8	0,5	0,3						
		العرض	0,5	0,2	0,5	0,3	0,3				
		أطافل	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1				
A1 إضاءة مباشرة موجبة	قريبة الفرقة k	مردود الفرقة $\eta/R$ في %									
	0,6 1,0 1,5 2,0 3,0 5,0	61 80 95 102 111 119	58 75 86 91 97 102	54 73 88 96 106 115	52 69 82 87 95 100	59 76 90 89 95 109	57 73 84 91 99 106	53 70 84 91 99 106	51 68 79 86 92 97	51 67 79 84 91 96	60 80 75
A2 إضاءة مباشرة موجبة	قريبة الفرقة k	مردود الفرقة $\eta/R$ في %									
	0,6 1,0 1,5 2,0 3,0 5,0	52 73 89 97 107 116	49 67 81 86 94 100	43 64 76 81 90 111	42 60 75 81 90 97	49 69 83 88 99 106	48 65 78 83 91 96	42 61 77 84 94 102	41 59 73 79 88 94	41 58 72 78 86 93	65 45 75
A3 إضاءة مباشرة موجبة عريضة	قريبة الفرقة k	مردود الفرقة $\eta/R$ في %									
	0,6 1,0 1,5 2,0 3,0 5,0	41 59 74 83 95 106	39 55 67 74 83 <br;>91</br;>	31 49 64 73 87 99	30 46 60 67 77 86	37 52 66 73 83 83	35 50 61 68 76 83	29 44 58 66 77 87	28 43 55 62 71 80	27 41 52 59 68 76	50 65 70
C4 إضاءة موجبة في جميع الاتجاهات	قريبة الفرقة k	مردود الفرقة $\eta/R$ في %									
	0,6 1,0 1,5 2,0 3,0 5,0	36 52 66 74 84 94	34 48 59 66 74 81	27 43 56 65 77 88	26 40 52 59 68 77	29 41 52 58 67 74	28 39 49 54 67 70	23 35 45 52 61 70	22 33 43 49 57 64	19 29 38 43 50 56	90 82 80
E2 إضاءة غير مباشرة موجبة للأعلى	قريبة الفرقة k	مردود الفرقة $\eta/R$ في %									
	0,6 1,0 1,5 2,0 3,0 5,0	15 28 41 51 65 77	15 27 39 48 58 68	9 20 31 41 52 70	10 19 30 40 39 63	11 18 26 32 37 46	12 19 25 30 34 43	6 13 19 26 34 42	8 13 19 25 32 39	5 8 13 16 20 24	70 60

الشكل (٧٠-٢) منحنيات توزع الشدة الضوئية لبعض أجهزة الإنارة والجدائل الناظمة لها

- مثال حسابي:

من أجل توضيح طريقة الحساب السابقة في حسابات الإنارة الداخلية سوف نطبق هذه الطريقة على قاعة مطالعة. أبعادها هي: (m)  $12 \times 8$  (ارتفاعها  $4m$ ). سقف القاعة سيدهن باللون الأبيض والجران ستتبس بالخشب المعالج والملمع. الأرض من البلاط العادي بلون فاتح.

- يمكن اختيار سوية إنارة لهذه الغرفة من الجدول (٢-٦) Lux .٥٠٠.
- نختار على سبيل المثال أجهزة إنارة من مصابيح الفلوريسنت مصابيح في الجهاز الواحد. الاستطاعة الكهربائية للمصباح الواحد تساوي  $36W$  . أي  $W_{36} = 2.2X36$  . إن الشكل العام لجهاز الإنارة هذا هو الأول من الأعلى في الشكل (٢-٧).
- نقرأ من (cataloge) الجهاز قيمة الفيض الضوئي للمصباح الواحد، ونجد أنها تساوي  $2400$  Lumen . وللمصابيح معاً  $4800$  Lumen
- نحسب مساحة الغرفة فتكون:

$$12 \times 8 = 96 m^2$$

- إذا اعتبرنا أن تركيب هذه الأجهزة سيكون مثبتاً مباشرةً بالسقف، فيكون ارتفاع الأجهزة عن سطح العمل:  $4 - 75 = 3.25 m$
- نقرأ عوامل أو درجات الانعكاس الموافقة من الجدول الأعلى في الشكل (٢-٧) ونأخذها للسقف  $0.80$  وللجران  $0.50$  ، أما للأرض، فنظراً لوجود الطواولات عليها نأخذها  $0.30$  .

- نحسب قرينة الغرفة، فينتج:  $k = \frac{12 \times 8}{(12 + 8) \cdot 3.25} = 1.477$
- من جداول الشركة الصناعية، كالجدول الموجود في الشكل (٢-٧) يوجد مردود الغرفة، فينتج:  $\eta_R = 0.90$
- من جداول الشركة الصناعية، كالعمود الأول على يمين الشكل (٢-٧) نقرأ مردود جهاز الإنارة الموافق لشكله فنجد:  $\eta_{LB} = 0.60$
- نحسب مردود الإنارة الكلية، فيكون:  $0.90 \times 0.60 = 0.54$
- نحسب كمية الفيض الضوئي الكلي الوسطي اللازم، بفرض عامل تخطيط ذات قيمة وسطى قدرها  $1.43$  ، فيكون الفيض الوسطي الكلية:

$$\Phi = \frac{E.A f}{\eta} = \frac{500 \times 96 \times 1.43}{0.57} = 120421.05 \text{ Lumen}$$

- نحسب عدد الأجهزة المطلوبة لـكامل الغرفة، فيكون:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_i} = \frac{120421.05}{2400 \times 2} = 25.088 \approx 26 \text{ جهاز}$$

وقد اختارنا تركيب ٢٦ جهازاً ليكون التركيب متواصلاً في قاعة المطالعة.  
إذاً يجب تركيب ٢٦ جهازاً من أجهزة إلدارة الفلوريست المزدوجة المصايبخ مثبتة بالسقف  
مباشرة لإلدارة قاعة المطالعة بالضوء اللازم.

ملحوظة: لقد كان بالإمكان تركيب هذه الأجهزة معلقة بالسقف بسلسل معدنية على ارتفاع  
٣m عن سطح الأرض، فيصبح عندها ارتفاع الأجهزة عن سطح العمل مساوياً: ٢.٧٥m  
وهذا سيسبب في التقليل من عدد أجهزة الإلدارة على الشكل التالي:

$$k = \frac{12.8}{(12 + 8) \cdot 2.25} = 2.133 \quad \text{- قرينة الغرفة تساوي:}$$

-- من جداول الشركة الصانعة، في الشكل (٢-٢) يوجد مردود الغرفة، فينتج:

- مردود الإلدارة الكلي يكون في هذه الحالة:  $1.002 \times 0.610 = 0.612$

- كمية الفيصل الضوئي الكلي الوسطي اللازم، بنفس الفرض السابق يكون:

$$\Phi = \frac{E.A f}{\eta} = \frac{500 \times 96 \times 1.43}{0.612} = 112156.86 \text{ Lumen}$$

- عدد الأجهزة المطلوبة لـكامل الغرفة يكون في هذه الحالة:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_i} = \frac{112156.86}{2400 \times 2} = 23.36 \approx 24 \text{ جهاز}$$

ينتج إذاً عدد أجهزة أقل باثنين من الحالة السابقة. أي بوفر مقداره حوالي 8% من أجهزة الإلدارة. إن حالة الوفر هذه سبقتها أيضاً على المدى البعيد وفر أيضاً في صيانة وإصلاح الأجهزة. لذلك ينصح عموماً بتركيب أجهزة الإلدارة على ارتفاع غير عالٍ عن مكان العمل، أو عن الأرض عموماً، لما في ذلك من سهولة في التركيب والصيانة إضافةً للوفر الاقتصادي، عدا الحالات الخاصة، كصالات الأوبرا والموسيقا والمدرجات الجماهيرية الكبيرة، حيث يكون للحالة الجمالية قيمة معينة.

ما سبق نلاحظ أن نصيب المتر المربع الواحد من الحالة الأولى كان:  $19.5 \text{ W/m}^2$ . بينما لم يلزم في الحالة الثانية سوى:  $18 \text{ W/m}^2$ . ولو تم اختيار جدران مدهونة باللون الأبيض اللامع لزادت نسبة الانعكاس للجدران، وزاد وبالتالي المردود الضوئي للقاعة، مما كان له أثره في المساهمة أكثر في التقليل من عدد أجهزة الإنارة.

تستخدم في حسابات الإنارة الداخلية طريقتين أساسيتان، هما طريقة اللومن وطريقة الإنارة النقطية أو المباشرة، حيث تمكن الطريقة الأولى من حساب الإنارة الوسطية فقط بينما الطريقة الثانية يتم من خلالها حساب الإنارة المباشرة في أيّة نقطة من الفراغ الداخلي ومن ثم يتم حساب الإنارة الوسطية بعد معرفة الإنارة بشكل إفرادي في عدة نقاط يجري اختيارها بشكل مناسب. والطريقة الأولى هي الأكثر شيوعاً في الاستخدام وتقي في أغلب الحالات بالغرض المطلوب، أضف إلى ذلك أنها سهلة التطبيق والاستخدام، حتى على غير الإختصاصيين، على عكس الطريقة الثانية، لذلك سنكتفي بشرح هذه الطريقة في حسابات الإنارة.

ومن أجل تسهيل واختصار الحسابات أمام غير المختصين وضع النظام الألماني (DIN VDE) جدولأً يبين فيه الاستطاعة الكهربائية لجهاز أو لأجهزة الإنارة المطلوبة وكذلك نوعيتها للحصول على سوية إنارة محددة، كقيم تقريرية وفق الجدول (١٩-٢) [١٥]:

**الجدول (١٩-٢) استطاعة ونوع أجهزة الإنارة المطلوبة لتحقيق سوية إنارة محددة**

استطاعة أجهزة الفلوريسنت المدمج $\text{W/m}^2$	استطاعة أجهزة الفلوريسنت $\text{W/m}^2$	استطاعة المصابيح المتهجة $\text{W/m}^2$	سوية الإنارة [Lux]
٧٠	٦٠	٢٤٠	١٠٠
٥٠	٤٥	١٨٠	٧٥
٣٥	٣٠	١٢٠	٥٠
٢٠	١٧	٦٨	٣٠
١٣	١١	٤٤	٢٠
٧	٥	٢٤	١٠
٤	٣	١٢	٥

كذلك فقد وضع النظام الألماني السابق قاعدة تقريبية لغير المختصين، من أجل سهولة التصميم والحساب في عمليات الإنارة تنص على مايلي: "من أجل الحصول على سوية إنارة مقدارها Lux ١٠٠ في موضع ما، فيتطلب ذلك  $20 \text{ W/m}^2$  من المصايبح المتوجهة أو  $5 \text{ W/m}^2$  من أجهزة الفلوريسنت وأكثر بقليل من الفلوريسنت المدمج، وتركب هذه على ارتفاع حوالي ثلاثة أمتر. ويمكن كذلك العمل بنفس القاعدة للفاعات المرتفعة السقوف، آخذين بالحسبان قاعدة نفس سوية الإنارة بزيادة البعد عن المنبع. مع الأخذ بالحسبان تركيب أجهزة إنارة متوجهة من الهايوجين فقط أو الميتال هاليد لمثل هذه السقوف، وفي حالات خاصة، أجهزة الإنارة الأخرى التي تعتمد على بخار الزئبق أو الصوديوم، أو الحديثة التي تعتمد على مبدأ الديودات الباعثة الضوء، مع العلم أن تركيب إنارة فلوريسنت أو فلوريسنت مدمج لا يبعد خطأً، ولكن مردوده الضوئي على الارتفاعات العالية سيكون قليلاً نسبياً. ويمكن معاملة مصايبح الميتال هاليد مثل مصايبح الفلوريسنت المدمج نظراً لتشابه مردودهما الضوئي. أما الأنواع الأخرى ومن خلال مقارنة قيم الجدول السابق مع المردود الضوئي لأي منها يمكن استنتاج قاعدة تقريبية مقبولة إلى حدٍ ما. وبالقياس على ذلك يمكن أن يتم التصميم ضمن الحدود المقبولة. علماً أن استخدام المصايبح المتوجهة العادية للإنارة التربيعية أصبح أمراً غير وارد عملياً، نظراً لمردودها الضوئي القليل نسبياً ولون إنارتها غير القابل للتغيير، والذي قلما يكون مطلوباً في هذا النوع من الإنارة. مع العلم أن القاعدة السابقة لم تأخذ وجود انعكاس أو انتشار لأجهزة الإنارة المختلفة بالحسبان.

على سبيل المثال: لو أراد شخص إنارة غرفة راحة في منزل مساحتها  $20 \text{ m}^2$  ، فإن ذلك يتطلب، وفق الجداول السابقة، سوية إنارة مقدارها Lux ٢٠٠، أي استطاعة مقدارها  $200 \text{ W}$  من أجهزة الفلوريسانت، فإذا اختار الشخص مصايبح الفلوريسانت ذات أكبر طول واستطاعة الواحد منها  $58 \text{ W}$  للرمه  $200/58$  مصباح، أي أربعة مصايبح من الفلوريسنت. (تم تدوير الرقم إلى القيمة الأكبر). يمكن شراء وتركيب هذه المصايبح الأربع مجتمعةً في جهاز إنارة واحد يركب في منتصف سقف الغرفة تقريباً. كما يمكن اختيار جهازي إنارة كل واحد منهما ذو مصايبحين يركبان بشكل متاظر في سقف الغرفة، كما يمكن اختيار أربعة أجهزة، كل منها يحوي مصباحاً واحداً فقط. تركب هذه بشكل متاظر في سقف الغرفة. ويمكن أيضاً تشغيل

هذه المصايب الأربعة عن طريق مفتاح تشغيل واحد أو مفتاحين أو ثلاثة أو أربعة مفاتيح. وإذا لاحظ الشخص أن الإنارة قوية بالنسبة إليه، في بعض الأحيان، فيمكنه من أن يطفئ بعضها، حسب رغبته. عند اطفائنه لنصف الإنارة السابقة فإنه سيكون قد اختار سوية إنارة تساوي  $100 \text{ Lux}$  تقريباً فقط.

مثال: أعد حل المثال السابق بطريقة تقريرية.

الحل: كل  $1 \text{ m}^2$  يحتاج لإنارة  $W^5$  من أجهزة الفلوريسنت للحصول على سوية إنارة مقدارها  $100 \text{ Lux}$  بارتفاع الأجهزة  $3 \text{ m}$  عن سطح الأرض. ولأجل ارتفاع  $4 \text{ m}$  للأجهزة عن سطح الأرض يلزم للـ  $\frac{6.67W}{m^2} = 6.67W:m^2$ . وللحصول على سوية إنارة مقدارها  $500 \text{ Lux}$  عن سطح الأرض على ارتفاع  $4 \text{ m}$  يلزمنا من نفس جهاز الإنارة للـ  $6.67X500 / 100 = 33.33 \text{ W}$  استطاعة مقدارها:

إن الاستطاعة الكهربائية اللازمة لإنارة كامل المساحة بأجهزة الفلوريسنت هي:

$$33.33X12X8 = 3200 \text{ W}$$

وبالتالي يكون عدد الأجهزة المزدوجة من الفلوريسنت  $2X36W$  يساوي:  $4$  جهازاً مزدوجاً. إن زيادة عدد الأجهزة الضوئية في هذه الحسابات التقريرية عن الحسابات الدقيقة السابقة يعود سببه بشكل رئيس لعدمأخذ وجود عواكس ضوء في الأجهزة بالحساب، كما هو حقيقة في الأجهزة الصناعية المختارة، أضف إلى ذلك أن هذه الطريقة تقريرية وقد تزداد الحسابات أو تنقص بمقدار أكبر من  $10\%$  عن الحسابات الدقيقة. يمكن تعديل قيمة عدد أجهزة الإنارة بالطريقة التقريرية بأخذ وجود عواكس بالحساب بحسب نسبة مئوية معينة من الاستطاعة الكهربائية المحسوبة فيقل بذلك عدد أجهزة الإنارة، وتصبح القيمة أكثر دقة. ومن أجل معرفة أثر وجود العواكس في أجهزة الإنارة قارن بقيم الجدول من الشكل (٢-٧).

إن الحسابات التقريرية لجهة زيادة عدد أجهزة الإنارة تبقى دوماً الأفضل من تلك التي تنسحب بنقص عدد أجهزة الإنارة، ففي حال الزيادة وملحوظة الشدة القوية في الضوء يمكن فصل التيار عن بعض الأجهزة، أما في حال النقصان فالامر يصبح أكثر تعقيداً.

- إن دراسة الإنارة لفراغ داخلي بغرض وظيفي يتطلب الحسابات الدقيقة بالاعتماد على الجداول والمخططات التي تعطيها الشركات الصانعة لأجهزة إنارتها، بعد أن يتم اختيار أنواع

وأشكال أجهزة الإنارة. وقد تبين لنا بأن هذه الحسابات ليست دوماً بالمعقدة ولا تستدعي بالضرورة القيام بها من قبل مهندس إنارة مختص، وإنما يمكن للمصمم الداخلي للأماكن الداخلية القيام بها، عندما يستدعي الأمر ذلك.

إن الأخصائي في تصميم الفراغات الداخلية يملك النظرة الفنية الأفضل لاختيار أنواع وأشكال وكيفية تركيب وتوزيع أجهزة الإنارة. فما عليه قبل البدء بدراسة الإنارة الوظيفية سوى القيام بعملية الاختيار السابقة للأجهزة، ومن ثم دراسة عدد أجهزة الإنارة على هذا الأساس.

**ملحوظة ١:** في الحالة التي يرتقي فيها مصمم الإنارة وضع نماذج مختلفة من أجهزة الإنارة لتأمين سوية الإنارة المطلوبة فما عليه، وبعد أن يقرر نسبة كل نوع أو نموذج اعتمده من العدد الكلي، سوى أن يقسم المساحة الكلية للفراغ الداخلي المراد إثارته بنفس نسبة كل نموذج من الأجهزة التي اختارها، ثم يقوم بدراسة عدد الأجهزة من كل نموذج ليغطي النسبة من المساحة الكلية فقط. مثلاً  $\frac{1}{3}$  أجهزة إنارة دائيرية من الهالوجين، وهذا يقابل ثلث المساحة تقريباً، فيتم حساب عدد أجهزة الإنارة الهالوجينية التي اختارها وكأنها ستغطي فقط ثلث المساحة، وهكذا. ويمكن له بعد ذلك أن يوزع الأجهزة ذات النماذج المختلفة على كامل المساحة كي فيما يشاء، آخذًا بالحساب، وقدر الإمكان، انتظام وتساوي توزيع الإنارة في كامل المواضع والأمكنة، من خلال تركيب أجهزة الإنارة بانتظام معين، إلا إذا كان المطلوب غير ذلك.

**ملحوظة ٢:** إذا طلب الأمر وضع إنارة موجهة ومركزة على جسم ما من خلال جهاز إنارة معين لترك انطباع بصري معين لدى الناظر عند مشاهدة هذا الجسم لا يتطلب بالضرورة أخذ جهاز الإنارة هذا بالحسبان عند الدراسة، إذا كان عدد هذه الأجهزة قليلاً نسبةً لعدد الأجهزة الكلي في المكان. أما إذا كانت أجهزة الإنارة ذات الإنارة الموجهة كثيرة العدد، كما هو مثلاً في العديد من متاجر البيع، فإن هذه الأجهزة ستشارك بكل تأكيد في الإنارة الوظيفية العامة ولا يمكن تجاهل إضافتها بأي حال، وإن يكون سطوع الإنارة قوياً جداً وغير مرئي للأعين.

من أجل وضع إنارة فنية لفراغ داخلي صغير المساحة فيكتفي للمصمم الداخلي تقدير استطاعة الجهاز أو الأجهزة المطلوبة وفق القاعدة العامة التقريرية الموضوعة من النظام (DIN VDE)، ومن ثم اختيار نماذج وأشكال وأنواع الأجهزة واستطاعة الجهاز الواحد منها، آخذًا

بالحساب مخطط الشدة الضوئية لكل منها، والذي سيفيد في معرفة مقدار تركيز أو توزع الأشعة الضوئية في اتجاه ما.

أما من أجل الأبنية المعقّدة ذات الفراغات الداخلية المختلفة وكبيرة المساحة فيفضل القيام بالحسابات الدقيقة للإشارة الوظيفية آخرین بالحساب الأمور الفنية، ويفضل قدر المستطاع، التنسيق مع مهندس الإنارة، ليكون العمل أكثر اكتمالاً ودقةً، كما هو في محل البيع الضخمة (مولات) أو صالات الأوبرا والصالات الموسيقية وما شابه.

أما عندما يكون المطلوب وضع تعديلات في الإنارة من الناحية الفنية فقط، فلا شيء يمنع المصمم الداخلي من التجريب والتعديل، حتى الوصول إلى مبتغاه، طالما أن موضوع الإنارة هنا بالنسبة إليه هو إضفاء صبغة معينة على الفراغات الداخلية، وليس إنارتها بالمعنى الهندسي الوظيفي المعروف، وخاصةً كونه قد يستخدم الألوان المختلفة في الإنارة، وهو ما لا يستخدم إلا بحدودٍ قليلةٍ جداً في الإنارة الهندسية أو الوظيفية. ووفقاً لأهمية المكان تتم عملية إعادة الحسابات لمعرفة مقدار التغييرات التي حصلت على عملية الإنارة، ومن ثم يتم التعديل بها وفقاً لنتائج الحسابات.

#### ٤-١-٢ - المخططات الكهربائية التنفيذية:

في هذه الفقرة سنشرح بشكل مختصر جداً المخططات الكهربائية اللازمة لفراغ داخلي ما من أجل استكمال عملية الإنارة له، بالإضافة إلى ما يتبع ذلك من ضرورة وجود مفاتيح كهربائية لتشغيل أجهزة الإنارة وضرورة وجود أجهزة إنارة أخرى تعمل عند انقطاع التيار الكهربائي ... إلخ من التجهيزات الكهربائية الضرورية [١٥]. الشكل (٧١-٢) يبين أحد مخططات التمديدات الكهربائية لغرفة مغلقة لأجهزة الإنارة وللماخذ فيها. تدعى مثل هذه المخططات بمخططات التيار القوي.

يتم تغذية أجهزة الإنارة الكهربائية عادةً عبر نوافل كهربائية (خطوط نقل) ذات  $3 \times 1.5 \text{ mm}^2$  (ثلاث نوافل معزولة (أسلاك)، مساحة مقطع الواحد منها  $1.5 \text{ mm}^2$ ، حامٌ وبارد وناقل تأريض، وهو ناقل الحماية من التكهرب، ويأخذ هذا النوع من النوافل وبهذه المواصفات التسمية NYY).

تم تجزئة تغذية أجهزة الإنارة على عدة دارات كهربائية (عدة فروع أو مجموعات). وتشغل الأجهزة عبر مفاتيح كهربائية، بحيث تتوزع الأجهزة على مفتاح واحد أو أكثر. تتوضع النوافل الكهربائية ضمن الأسقف والجدران في قساطل مرنة (تيب بلاستيكي). ويكون قطر هذا التيب الخاص بتمديدات أجهزة الإنارة من  $13\text{ mm}$  وحتى  $16\text{ mm}$ ، تبعاً لعدد النوافل ضمن التيب الواحد. تصل خطوط التغذية للأجهزة إلى لوحة كهربائية، يتواجد فيها القواطع التي يتم عبرها وصل وفصل التيار عن جزء أو كل الأجهزة الكهربائية. كذلك تعمل القواطع المتواجدة في اللوحة الكهربائية بفصل التيار الكهربائي عند حدوث أخطال في الدارات الكهربائية.

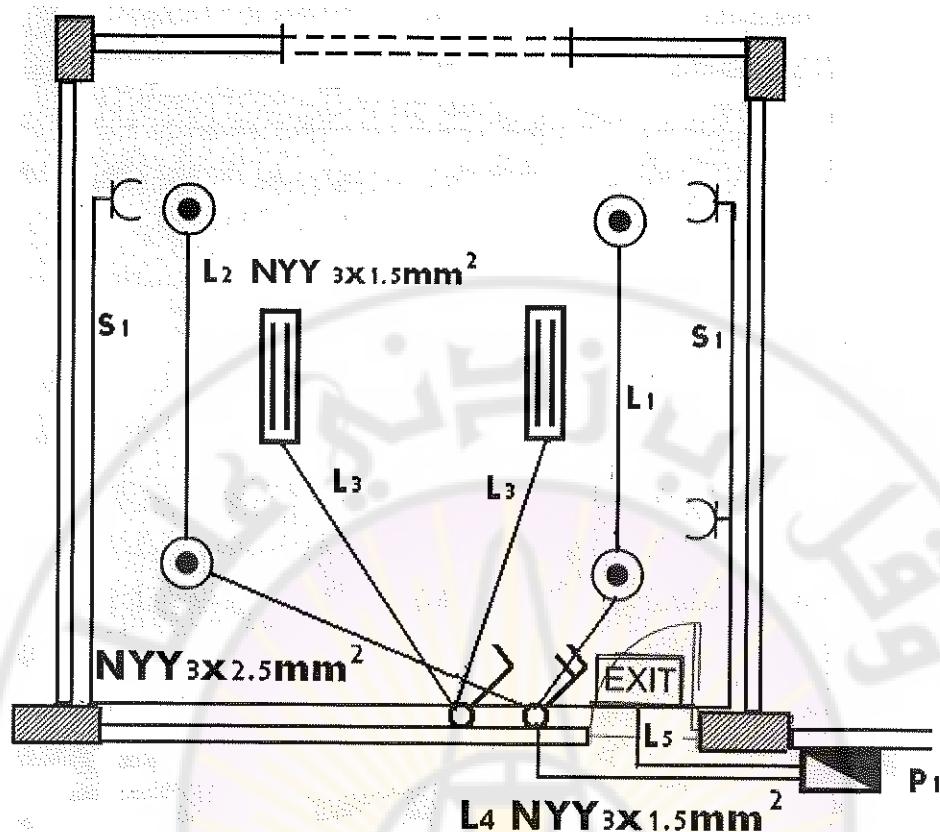
تتوسع عادة اللوحات الكهربائية الصغيرة ضمن الجدران وعلى ارتفاع أعين الإنسان وفي مكان يسهل الوصول إليه، ويغلب أن يكون مخفياً خلف الأبواب.

يتم وضع مأخذ كهربائية موزعة على جدران الفراغ حسب طبيعة استخدامه، بحيث تتغطى كل زواياه، على الأقل، وتتغذى هذه المأخذ عبر نوافل كهربائية  $3 \times 2.5\text{ mm}^2$ ، تمدد ضمن تيب قطره بحدود  $16\text{ mm}$ . وتتغذى هذه النوافل من اللوحة الكهربائية عبر قواطع خاصة بها أيضاً، مثل نوافل تغذية أجهزة الإنارة.

يفضل وضع جهاز إنارة يعمل عند انقطاع التيار الكهربائي فقط. يدعى بجهاز إنارة الطوارئ، ويوضع هذا الجهاز عادة في أمكنة غير مرتفعة وقريبة من المخارج (فوق الأبواب) للدلالة عليها من أجل تسهيل عملية الخروج من الأماكن المغلقة، خاصة الأماكن التي قد تشهد ازدحاماً بشرياً، كدور المسرح والسينما ومحال البيع الكبيرة وما شابه.

يتم وضع المفاتيح الكهربائية على الجدران على نفس ارتفاع مسكة الباب عن سطح الأرض، بحدود  $115\text{ cm}$ ، وعلى مسافة لا تزيد عن  $15\text{ cm}$  عن حافة الباب. أما المأخذ فيكتفي أن يكون ارتفاعها عن سطح الأرض من  $30\text{ cm}$  وحتى  $60\text{ cm}$ ، بحيث تبقى في الغالب غير مرئية، خلف الفرش في الفراغ الداخلي.

ذلك يتوجب وضع تمديدات كهربائية للهاتف ولأجهزة الإنذار عن الحريق تدعى بتمديدات التيار الضعيف، الشكل (٧٢-٢) بين المخطط الكهربائي لتمديدات التيار الضعيف لنفس الغرفة السابقة.



جهاز إلاره مخفى من الفلوريستن  $2756\text{W}$

جهاز إلاره طوارئ  $8\text{W}$

لوحة كهربائية  $P1$  اسم اللوحة ورقمها

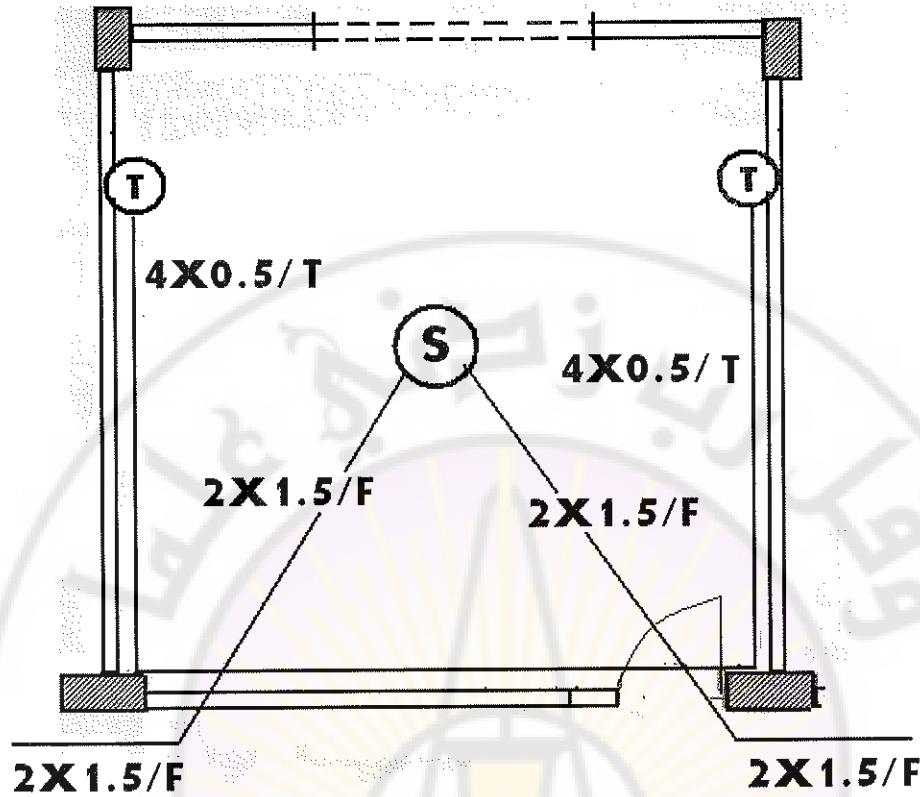
سبوت إلاره سقفي من الهاالوجين  $35\text{W}$

مأخذ كهربائي جداري أحادي الطور

مفتاح كهربائي مضاعف  $S1$  اسم خط نقل ورقمه

مفتاح كهربائي مفرد  $L3$  اسم خط نقل ورقمه

الشكل (٢) المخطط الكهربائي لشبكة التيار القوي لفراغ داخلي، وتنسيقات الرموز المستخدمة فيه



مأخذ هاتف



حساس إنذار عن الحرارة



أربعة نوافل لخط هاتف مقطع الواحد  $0.5 \text{ mm}^2/\text{Fm}$ ، اثنان منها

$4 \times 0.5 /$

احتياط

T

الشكل (٧٢-٢) المخطط الكهربائي لشبكة التيار الضعيف لفراغ داخلي، وتنسيقات الرموز المستخدمة فيه

توضع عادة، وبحسب طبيعة استخدام الفراغ، مجموعة من مأخذ الهاتف موزعة على جدرانه، بحيث تأخذ بعض الاعتبار الأمكانية المحتملة لوضع جهاز، أو أجهزة الهاتف.

أما بالنسبة لأجهزة الإنذار عن الحريق فهي بشكل عام عبارة عن حساسات تعطي إشارة صوتية، وأحياناً ضوئية في مركز مراقبة، إن وجد، عند تحسسها لارتفاع درجة حرارة المكان أو تصاعد دخان منه، وتوضع هذه مثبتة مرئية في سقف الفراغ، ولها تمديداتها الخاصة بها كما يبين الشكل (٧٢-٢). إن حساس الحريق الواحد يغطي مساحة دائرة نصف قطرها خمسة أمتر تقريباً. يتم وضع تمديدات التيار الضعيف في أنابيب مرنة (تيوب) ضمن الجدران والأسقف قطره يساوي ١١mm.

#### ١٣-٢ - أشكال تركيب أجهزة الإنارة:

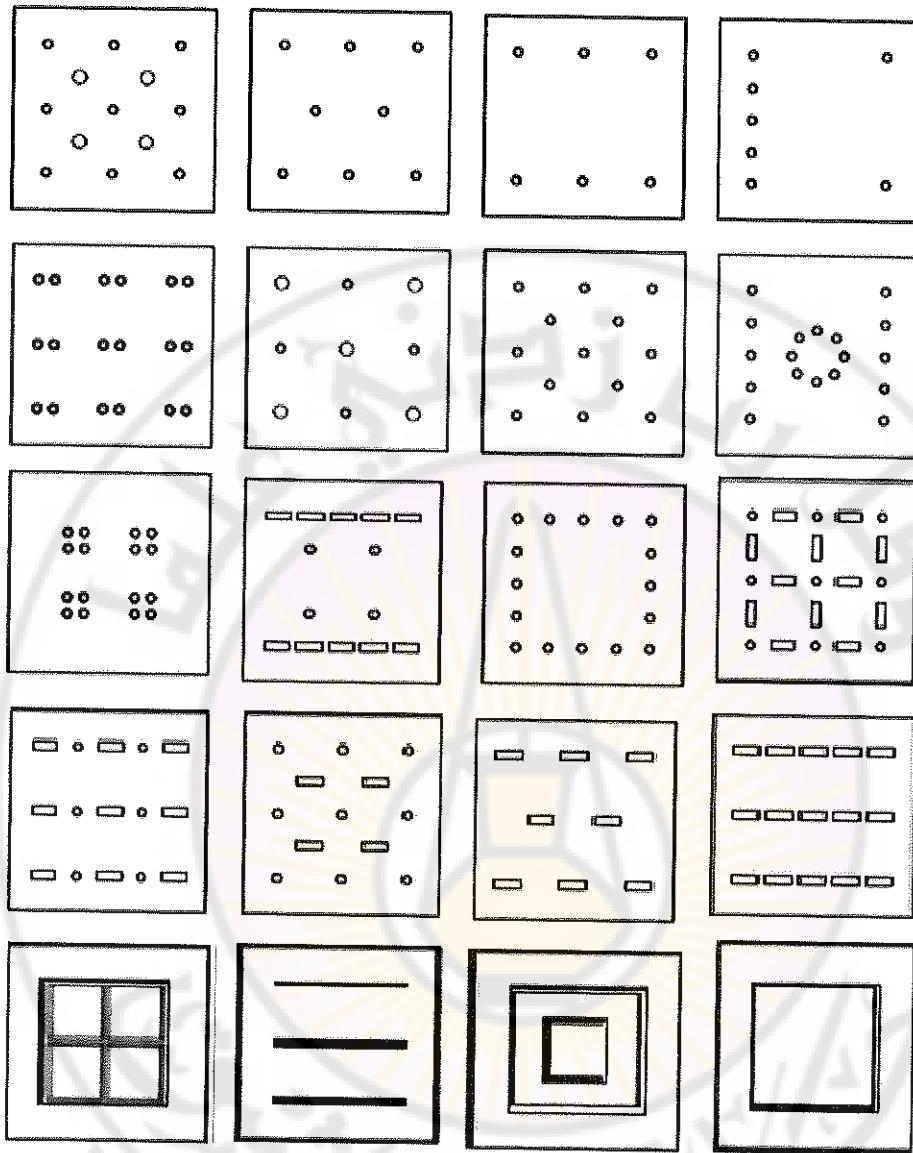
من أجل إثارة الطريق أمام المصممين في العمارة الداخلية لاختيار وتركيب الأجهزة الكهربائية، نورد في الأشكال من (٧٣-٢) حتى (٧٩-٢) التالية، على سبيل المثال، إثارة سقافية وفنية بنفس الوقت لعرفة محددة الأبعاد بأجهزة إثارة مختلفة الأشكال والتوزع. ونبتغي كذلك من هذا الأمر، أولاً، إعطاء فكرة عن الإمكانيات الكثيرة جداً الممكنة الموضوعة أمام المصمم الداخلي لاستفادة منها، ثانياً للاحظ من هذه الأمثلة تأثير توزع أجهزة الإنارة على الغرفة، من حيث الانطباع الذي تتركه لدى الأشخاص في كل توزع مختلف. وسنذكر على سبيل المثال بعضاً من الانطباعات التي يمكن أن تتركها هذه الغرف بسبب توزع وأشكال أجهزة الإنارة، ونترك للمصمم الداخلي قراءة انطباعاته الخاصة به [٦] و[٧] و[١٥].

- يمكن من هذه الأشكال ملاحظة أن الغرف المنارة سقوفها بأجهزة إثارة ذات رتبة معينة، متاظرة مثلاً، قد تبدو للبعض ميّة من دون أي روح وخالية من الحركة والجمال، بينما توزيع آخر مختلف قد يلفت النظر ويعطي جمالية معينة للغرف.

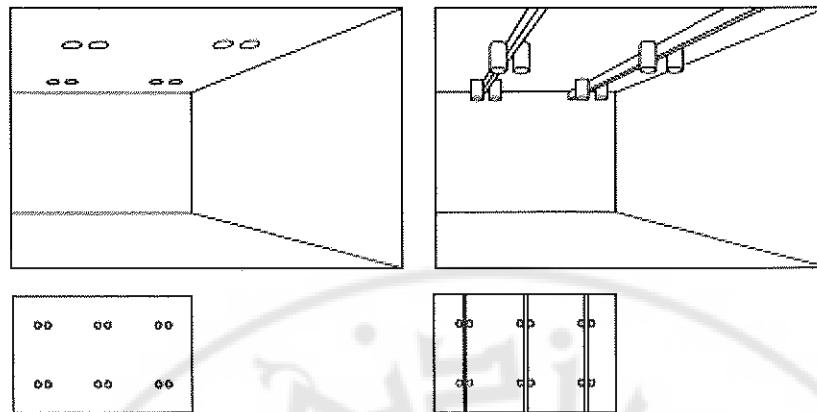
- وكذلك يمكن الملاحظة أنه عند التوزع الطولي لأجهزة الإنارة تبدو الغرف على سبيل المثال أكثر طولاً من حقيقتها، وكذلك عند التوزع العرضي لأجهزة الإنارة تظهر الغرف أكثر عرضاً. وكذلك الحال عندما يكون عدد الأجهزة الموزعة طولياً أكثر من تلك الموزعة عرضياً فتبدو الغرف أطول، والعكس عند التوزيع العرضي الأكثر لأجهزة الإنارة.

- أما عند وضع مرآة على كامل الجدار في الغرفة المضاءة فمن الطبيعي أن تظهر الغرف بمساحات مضاعفة تقريباً، وتعطي انطباعاً بذلك.
- كما ويمكن الاستفادة من الإنارة السقفية الموجهة لتسليط وتوجيه رؤية الناظر إلى جهة محددة، وذلك من خلال إلارة ضمن سقف مستعار (سبوتنات مخفية)، أو ظاهرة كالكاشف التي يطفأ وينار بعضها وفق الطلب.

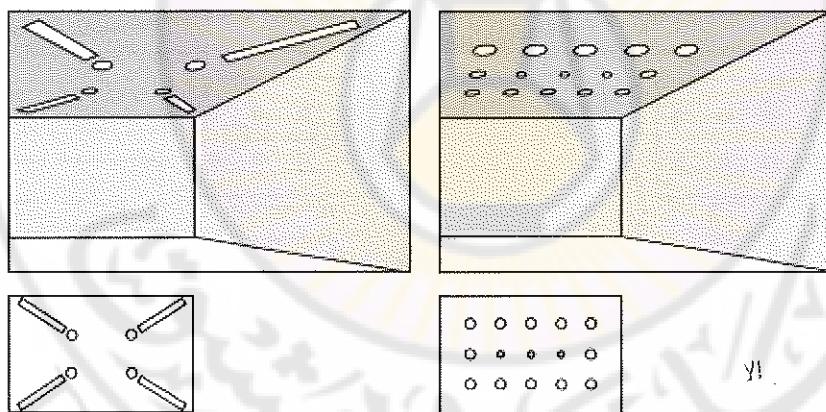
قارن نوزع أجهزة الإنارة بجميع الحالات وطريقة تركيبها، على السقف أو ضمن السقف، المستعار، ولاحظ الفروق بينها، وتخيل كذلك تركيبها على الجدران وغير بأنواعها مابين أجهزة الفلوريسانت الطويلة أو تلك المدوربة من الهالوجين أو الفلوريسانت المدمج (توفير الطاقة)، وكذلك مابين القابلة للتوجيه والثابتة. توزيع متوازن أو غير متوازن. أجهزة قليلة العدد باستطاعة كبيرة وكافية للجهاز الواحد، أم أجهزة كثيرة العدد باستطاعة قليلة للجهاز الواحد. أخلط أشكالاً مختلفةً من الأجهزة، وزرعها على السقف والجدران. غير بألوان الإنارة واستنتاج ملتوحي به كل حالة مقارنةً بسواها. تصور في كل مرة حالة إشغال مختلفة للغرفة، مثلاً مكتب أو غرفة طعام أو غرفة جلوس لمنزل (غرفة راحة) أو صالون استقبال ... الخ، ربما مع وضع نوافذ وأبواب ثم اختر لها الإنارة الجمالية التي تراها مناسبة من وجهة نظرك.



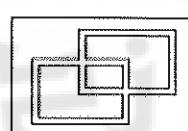
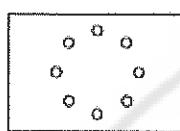
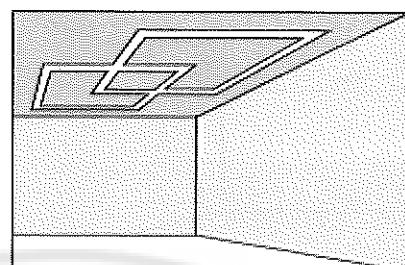
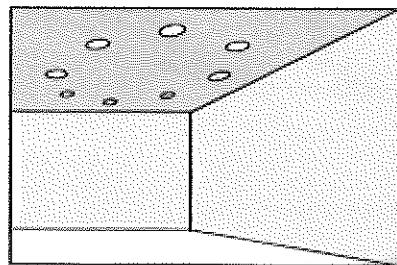
الشكل (٧٣-٢) إمكانيات مختلفة لتوضع أجهزة إنارة فلوريست سقفية



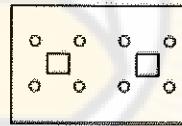
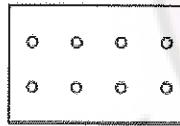
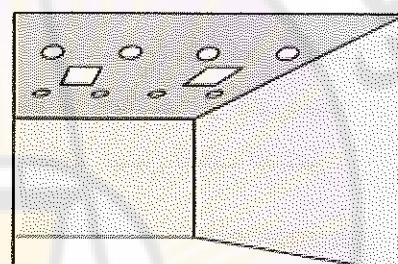
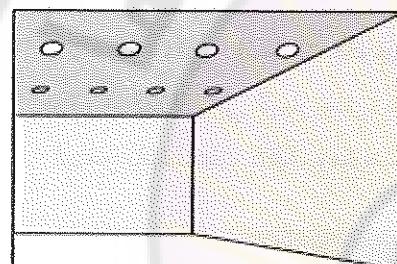
الشكل (٧٤-٢) الغرفة منارة من سقفها في حالتين مختلفتين. الأشكال في الأسفل تبين توضع أجهزة الإنارة في السقف. الغرفة على اليمين منارة بثلاثة حبال من أجهزة الفلوريسنت الطويلة المزدوجة في الجهاز الواحد (٢٥٦W)، إضافةً إلى أجهزة إنارة دائيرية (سبوتات هالوجين أو فلوريسنت مدمج) مثبتة على السقف مباشرةً. الغرفة على اليسار منارة بكلوبات فقط من الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج باستطاعات كافية، ومتوضعة بشكل متوازن ضمن السقف المستعار



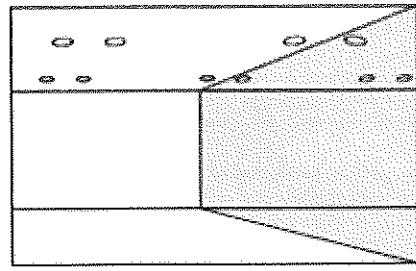
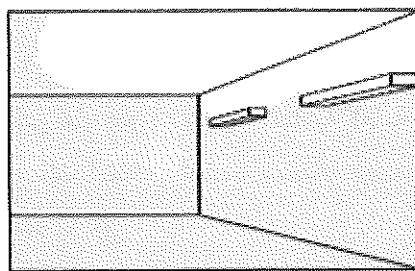
الشكل (٧٥-٢) الغرفة على اليمين منارة بكلوبات من أجهزة الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج، بعضها في المنتصف باستطاعة وحجم أصغر. الغرفة على اليسار منارة بالفلوريسنت إضافةً إلى كلوبات من الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج



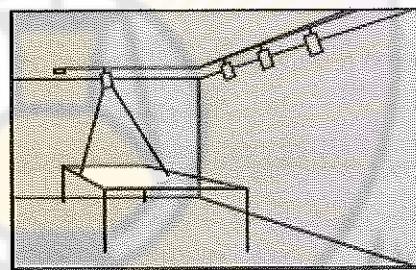
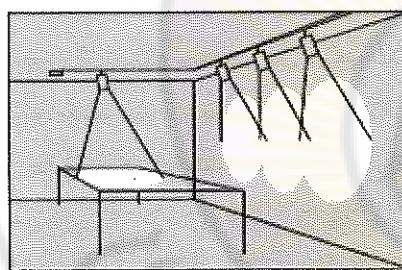
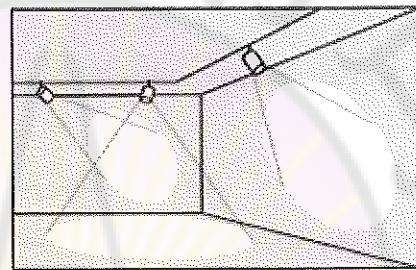
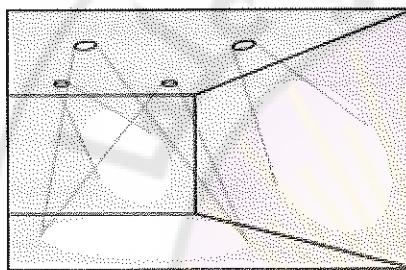
الشكل (٧٦-٢) الغرفة على اليمين منارة بأجهزة الفلوريسنت فقط. الغرفة على اليسار منارة بأجهزة دائيرية (سبوتات). كلا الإنارتين ضمن سقف مستعار



الشكل (٧٧-٢) الغرفة على اليمين منارة بسبوتات من أجهزة الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج، وفي المنتصف أجهزة فلوريسنت قصيرة الطول ومتعددة في الجهاز الواحد (٤٠١٨W). الغرفة على اليسار منارة بسبوتات فقط من الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج بتوزيع متوازن



الشكل (٧٨-٢) إضاءة غرفة بأجهزة ضمن السقف المستعار (سبوتابات)، عادةً من أجهزة الهايوجين أو الفلوريسنت المدمج، وإتارة غرفة أخرى من خلال أجهزة الفلوريسنت الجدارية



الشكل (٧٩-٢) إضاءة غرفة بمشعات موجهة (سبوتابات) مركبة ضمن السقف المستعار أو على سلك خاص بها

## ٤-٢ إثارة بعض الفراغات الداخلية:

ستينين في هذه الفقرة المبادئ الأساسية العامة في تصاميم الإنارة لبعض الفراغات الداخلية الهامة، ذات الانتشار الواسع، وسنذكر أيضاً بعض الأفكار الأخرى العامة المساعدة في هذه التصاميم [١٦].

### ٤-١-١ إثارة المحل التجارية (صالات البيع):

يقول الأخصائيون في السوق: " يجب أن يبقى دوماً انتباه الزبون موجهاً إلى المواد المعروضة للبيع، وبالأخص تلك التي يبتغي التجار بيعها والتخلص منها أولاً، وهي عادة التي يعرضونها للبيع بحسب ماتِ معينة ( يوجد عليها رخصة)".

إن إثارة صالة البيع بالشكل الأمثل تتم كما يلي:

- إثارة عامة تبين للزيائن المسالك والمسارات ضمن صالة البيع فتشعرهم بالأمان أثناء تحركهم ضمنها.

- إثارة مخصصة لإبراز وإظهار المواد والبضائع ضمن بيئة مناسبة فيها.

- وقد يضاف إلى ماسبق إثارة مثيرة توجه وتلتف النظر إليها فتخلق حياةً حيويةً وحركةً في الصالة، كإثارة عالية، مثلًا، أو أضواء زينة وما شابه.

عند الدخول إلى صالة بيع فإن أول وظيفة للإثارة هي توجيه الأشخاص لرؤية الممرات والمسالك أمامهم قبل أن توجه أعينهم لرؤيه ومعاينه المواد المعروضة.

إن طريقة إثارة المواد ضمن صالات البيع تتم بحيث تترك هذه انطباعاتٍ ومشاعر إيجابيةً لدى المشترين أو الزيائن، فتدل من خلال تأثيرها على نوعيتها الجيدة، فتؤثر فيهم وتوظف اهتماماتهم بها. أضف إلى ذلك أن الإنارة داخل صالات البيع يجب أن تومن سوية الإنارة المناسبة للعاملين فيها أيضًا، الذين يقضون فيها ساعاتٍ طويلة يومياً. لذلك فإن إثارة هذه الصالات تكون وظيفية بشكل رئيسي، من خلال تأمين الإنارة المناسبة للعاملين فيها ولضيوفها أيضًا، وترتيبية موجهة للمواد المعروضة للبيع.

إن الإنارة الوظيفية تتحقق عموماً من خلال إثارة سقفية عامة، وهي عادة الفلوريسنات أو الفلوريسنت المدمج أو الهالوجين أيضاً، وبفضل أن تكون ذات لون أبيض دافئ، تضفي على وسط الصالة جواً مرحاً. وتكون سوية الإنارة المطلوبة في داخل صالات البيع لا تقل عن LX ٤٠٠.

أما الإنارة التربينية أو الموجة فهي لإبراز المواد المعروضة للبيع، بعضها أو كلها، حسب أهميتها في عملية البيع. وهذه تكون إنارة موجهة من الهايوجين عادةً، من الأبيض الحيادي.

وكلما زادت أهمية مادة ما في صالة البيع، يتم تميزها بإنارة خاصة مميزة أكثر.

أما الإنارة التربينية الجمالية فهي إنارة لإثارة الفضول والمتوجب أن تخلق جواً من البهجة داخل الصالة. إنها إنارة إضافية تثير انتباه الزبائن وتضفي جواً أفضل للتسوق. وقد يكون لها لون ضوء مختلف، أو شكل جهاز ضوئي مميز. ولن تشمل بالتأكيد إلا بعض زوايا المكان أو بعضاً من المواد المعروضة للبيع.

لقد كثُر في الآونة الأخيرة استخدام الإنارة والتلفن بها بشكل كبير في صالات البيع، وبالخصوص الكبيرة منها (Supermarkets, malls)، وذلك لأن الإنارة تضيف فخامة وسمعة عالية لهذه المحل والشركات التي تديرها، وهو ما يعلق عليه أهمية كبيرة في التسوق في الوقت الحالي.

إن سوية الإنارة اللازمة والمطلوبة في محل البيع ليست واحدة، إنها تختلف وفقاً لنوع المواد المعروضة للبيع. وكلما لعبت الألوان دوراً أكبر في المعروضات، كلما تطلب ذلك سوية إنارة أفضل ودقة في إظهار اللون، وخاصةً إذا كانت المعروضات صغيرة الحجم، كمواد التجميل مثلاً. ويمكن أن تصل سوية الإنارة في بعض محلات البيع إلى LX ١٠٠٠.

إن وضع إنارة مباشرة على المعروضات أو غير مباشرة أمر لا يتحقق بشروط محددة، إنه يوظف فقط لخدمة الحالة المطلوبة، على سبيل المثال، إذا لم تعطِ الإنارة المباشرة الاطماع والإحساس البصري الضوئي المطلوب وفقاً لوجهة نظر المصمم فلا يوجد ما يمنعه من وضع إنارة غير مباشرة، والعكس بالعكس أيضاً.

ينصح من أجل المحل التجارية التي تتبدل مواضع عرض معروضاتها بشكل متكرر على الدوام بتركيب أجهزة إنارتها، وبالخصوص المشعات (السيبوتات) منها، على سكك معدنية خاصة بها، بحيث يمكن تغيير وضع السيبوتات على السكك المركبة عليها بسهولة عند تغيير موضع المعروضات. كما ينصح أن تكون هذه السيبوتات من النوع القابل للحركة أو الدوران حول محور خاص بها، بحيث يمكن توجيه أشعتها الضوئية على المعروضات مباشرةً أو عن طريق تدوير الجهاز الضوئي حول محوره، إلى السقف أو إلى الجانب لتكون إضاءتها غير مباشرة على المعروضات.

ويوجد من السكك المعدنية نوع يدعى بالمكهرب، ويقصد به تلك السكك التي تشكل بحد ذاتها نوافل التغذية الكهربائية لأجهزة الإنارة، بحيث تغذي الأجهزة بالتيار الكهربائي مباشرةً عن طريق السكة.

إن تركيب مشعات أو سبوتات سقفية على سكك خاصة بها عملية تسمح بالكثير من حرية التغيير بمواقع أجهزة الإنارة الموجهة ليس داخل المجال التجارية فقط وإنما ضمن واجهات هذه المجال. وتستخدم هذه الطريقة في الكثير من عمليات الإنارة، كالمتاحف والمعارض الفنية أو المعارض التخصصية وإنارة منصات المسارح والعديد من المجالات الأخرى، التي يكثر فيها من تغيير الموضع المراد إنارة بشكل واضح أو توجيه الضوء إليه.

#### ٤-٢-١ - إنارة واجهات المجال التجارية:

تحتل واجهات المجال التجارية عنصر الإستقطاب الأهم للزبائن، ويعمل مستثمروها في جعلها بأبهى حلةٍ وشكلٍ، بحيث تجذب أي مار من أمامها، حتى ولو لم تكن لديه أصلانية في الشراء والتبعع.

يقول الخبراء المتخصصون في مجال التسويق بأن خبراتهم وإحصائياتهم قد بينت: "أنه إذا كانت سوية الإنارة في واجهة محل تجاري تساوي  $180^{\circ}$  فستجعل خمسة مارين من أمام واجهة هذا المحل من أصل مئة مار يتوقفون لمعاينة المعروضات. أما عندما تكون سوية الإنارة تساوي  $120^{\circ}$  فستجعل عشرين شخصاً من المئة يتوقفون لمعاينة المعروضات، وإذا أصبحت سوية الإنارة بمقدار  $90^{\circ}$  سيصبح العدد خمسة وعشرين من المئة.

إن هذه النتيجة السابقة المذكورة جعلت المختصين في مجال التسويق يستنتجون بأن الجاذبية تجاه الأشياء، أو الافتتان بها يزداد حقيقةً كلما زاد وضوح الأشياء، أو زادت شدة الإنارة أو سويتها عليها. وقد استنتج هؤلاء أيضاً أن السر في هذا الأمر يعود إلى أن إظهار المعروضات، بتفاصيلها الدقيقة، بشكل أفضل وأوضح للعيان، بزيادة إضاءتها يجعلها أكثر إثارةً وفضولاً. فإذا أضيف إلى ذلك بأن تكون أجهزة الإنارة نفسها، أو بعض منها، من الصنف الملفت للنظر، أو كان يشع نوراً بألوانٍ مناسبة أكثر، أو متغيرة الإنارة مع الزمن فسيزيد هذا في الإثارة والفضول والفتنة لدى الناظرين.

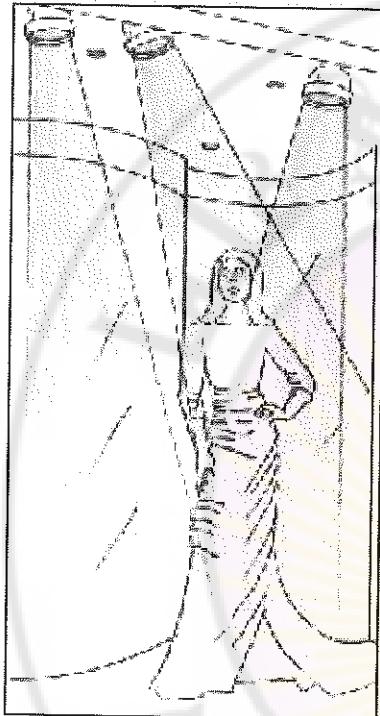
يمكن التغيير في إثارة واجهات المحل التجارية بسهولة، وبشكل آلي، بحيث يطفأ بعضها ويضاء آخر، وهكذا كل فترة زمنية محددة. خلال مدة زمنية معينة يظهر الشيء المعروض مناراً واضحاً بكمال حجمه، مثلاً، وخلال فترة أخرى يظهر فقط بعض منه مناراً واضحاً للعيان ويبقى بعضها الآخر أقل إثارة، أو في العتمة، يترك ظللاً محيرة، وكأنه سر يود الناظر، المار من أمام الواجهة، معرفته، فينتظر هذا فترة من الزمن مراقباً ومدققاً في الشيء المعروض لتأتي الإثارة الكاملة وتوضح له السر الذي انتظر كشفه، أو يدخل المحل ليعرف التفاصيل الخفية، التي أثارت فضوله في الخارج.

إن الإثارة التي تسلط على الأجسام أو على بعض منها تترك ظللاً أو أحيلة تسقط على الجوانب. وإذا كانت الإثارة مسلطةً من أكثر من اتجاه فستتعدد هذه الظلال ومواضعها. إن هذه الظلال بحد ذاتها ستكون أيضاً مثار فضول للناظر وربما استهجان أيضاً، حسبما تكون أشكالها.

تنص فلسفة التسويق حسبما يقول الأخصائيون: "إن البضاعة أو المعروضات في واجهات المحل التجارية تفرض في معظم الأحيان شكل وطريقة عرضها". فالفستان النسائي، على سبيل المثال، لا يمكن إلا أن يعرض مرئياً ليظهر ماهيته بأنه فستان فعلاً، وفي معظم الأحيان ثوبه موديلاً (manikin)، فلا يعقل أن يعرض هذا في الواجهة مطرياً ومتوضعاً على رف، مثلاً. من ناحية أخرى فإن طريقة عرضه على الموديل يتطلب إضاءته كاملاً، أو إثارة بعض منه ليدو واضحًا وتدل عليه، فيشاهد ويتم التعرف عليه من قبل الناظرين لواجهات المحل التجارية.

إن الواجهات إذاً في عرف التسويق هي مغناطيس جذب الزبائن إلى المحل التجارية، أو أنها بمثابة إثارة الشهية للمترجين عليها ودفعهم للشراء والتبعض، لذلك فإن عملية إضاءتها بشكل مدروس ومناسب تلعب دوراً رئيسياً جداً في عملية الجذب هذه، وفي إثارة الشهية. وعلى اعتبار أن المطلوب هو إثارة المعروضات وإظهار الألوان على حقيقتها، قدر المستطاع، فيمكن أن تتم هذه العملية من خلال توجيه إثارة عليها من أجهزة إثارة ذات عامل إظهار لوني جيد، تشع إثارة على شكل حزمة على هذه المعروضات، والتي قد تكون، على الأرجح من الـLEDs، التي تتميز بعامل إظهار لوني جيد ومناسب.

يمكن استخدام المشعات الضوئية ذات الحزم العريضة لتغطية مساحة عرض واسعة، ويمكن كذلك استخدام نوع منها ذي حزم ضيقة. ومن الممكن أيضاً إضافة إنارة عامة بسيطة من الفلوريست. إلا أن الأكثر أهمية هو في أن تكون أجهزة الإنارة، وخاصة المشعات منها، قابلة للحركة أو لتعديل إتجاه الإشعاع فيها، نظراً للتغيير الدائم، والمطلوب، في معرضات الوجهات.



الشكل (٨٠-٢) رسم تمثيلي يبين إضاءة مانيكان في وجهة محل تجاري بواسطة المشعات

يفضل استخدام سبوتات ضوئية من النوع الذي يقبل تركيب عدسات خاصة عليه من الخارج، كعدسات كاميرات التصوير تماماً. يكون بعض هذه العدسات للتغيير في زوايا بث الأشعة الضوئية، أي تغيير عرض حزمة الأشعة، وبعضها يعمل على تغيير لون الضوء المشع، وهي التي تسمى بالعدسات الضوئية، وتكون عادة من النوع قادر على تحمل درجات حرارة عالية. وتنتج منها الشركات الصانعة عدسات بألوان متعددة جداً، بحيث تتعدد الاختيارات أمام المصمم ليختار المناسب ليعطي الانطباع البصري الضوئي الأفضل.

يفضل كذلك استخدام بعض أنواع الفلاتر (المرشحات) الضوئية مع المشعات الضوئية.

فالفلاتر ترتكب على المشعات كالعدسات الضوئية، وتكون عبارة عن مرشح (Filter) للإشعاعات الضاربة على بعض المواد، مثل الأشعة فوق البنفسجية أو تحت الحمراء الناتجة عن الضوء المشع

من المصايد، والتي تعمل على تحليل، وتغيير ألوان بعض المنتجات أو المعرضات المضاءة، كالأقمشة أو البضائع الجلدية، أو حتى بعض المواد الغذائية الحساسة تجاه هذه الأشعة. وتعمل الفلاتر كذلك على الحماية من الحرارة الناتجة عن الأشعة تحت الحمراء، والتي تكون أكثر ضرراً نظراً لشدة她的، فالمرشحات تعمل على امتصاص هذه الأشعة الضارة

وعدم السماح لها بالنفاذ، وبالتالي تحد من ارتفاع درجة حرارة المادة المعروضة بفعل الأشعة الضوئية المسلطة عليها. إن إلارة واجهات المحال التجارية هي في الحقيقة تكامل لصنفين من الإنارة معاً، أولهما وظيفي، لإظهار مادة العرض فتصبح مرئية وواضحة للعيان، والآخر هو تزييني، وظيفته هي في خلق الانطباع البصري أو الرؤوي لدى الناظر كما يرتشه المصمم. إن تأثير الصنف الثاني من الإنارة على واجهات المحال التجارية يترك مجالاً كبيراً لمخيال المصمم في العديد من الاختيارات، مثل، أشكال أجهزة الإنارة، وكذلك عرض حزمها الضوئية، وتسلیط أكثر من مشع على معروضة، أو اختيار ألوان أخرى أكثر جاذبية للإنارة، أو اختيار إلارة متغيرة الشدة زمنياً، وربما كذلك وضع عوائض ضوئية في الواجهات، تقيد فنياً في عملية الإنارة، إلخ من الاحتمالات المتعددة، بما يتاسب مع المعروضات وطريقة عرضها.

يجب الانتهاء وأخذ الحيطه والحذر عند تسليط ضوء على مادة معروضة قابلة للاحتراق، كالأقمشة مثلاً، بترك مسافة آمن كافية بين المنبع الضوئي والمادة المعروضة، خشية أن تسبب الحرارة المنتشرة من الضوء بحرق المادة المعروضة وما ينتج عن ذلك.

#### ٣-٤-٢- إلارة الفنادق وسكن الضيافة:

تعد الفنادق واحدة من مجالات الخدمات التقليدية المعروفة منذ أمد بعيد، وقد تسببت المنافسة فيما بينها بأن صار الاهتمام ينصب على كل النواحي فيها، فأخذ موضع الإنارة فيها أهمية قصوى. ولعل ما يجب فعله بموضوع إضاءتها هو بأن يكون الانطباع الضوئي البصري فيها موافقاً لأذواق ومتطلبات الزبائن ليس أكثر.

إن متطلبات ضيوف الفنادق تتعلق بعوامل عديدة، أولها هو التقبل البصري لها، أو الانطباع الذي تتركه هذه لدى الضيوف عند مشاهدتها أو عند أول رؤية لها، وخاصةً الانطباع الأول الذي تتركه لدى الضيوف الفضوليين للتعرف، في البدء، عن مأوى بديل ليوم أو أكثر. هذا الانطباع الذي لا يمحى بسهولة من الذاكرة، فالحواس عند البشر، وهم خارج محيطهم الذي اعتادوا عليه، تصبح أكثر فعالية ونشاطاً لمراقبة والتعرف على الوسط الجديد، أو الوسط الغريب عنهم. لهذا يكون من الهام جداً أن تجذب وتسقط الضيوف في الفنادق ضيوفها من خلال أهم حاسة لديهم، وهي حاسة البصر، التي تشكل أهميتها، كما ذكرنا، نسبة ٨٠% من مجمل تأثير

حواسهم، بانطباع جميل يخزن سريعاً في ذاكرتهم، ويجذبهم نحوها. إن هذا الأمر يعطي فرصةً وفحةً كبيرةً للمصممين المعماريين لتعمل مخيلاتهم أبهى وأفضل التصاميم المنافسة لفت وجذب أنظار من يبحث عن مكان مريح يشعره بالأمان والاطمئنان كديل لمنزله لفترة من الوقت.

إننا نعلم بأن الإلإارة تجعل الوسط أمام البشر مرئياً واضحاً، كما يمكن لها أن تلعب دوراً كبيراً في تحسين نوعية هذا الوسط، وجعله قريباً منهم وأليفاً لديهم، كبيوتهم ومحيطهم الذي اعتادوا عليه، يشعرونهم بالأمان والطمأنينة. ونعلم أيضاً بأن الإلإارة تؤثر على أحاسيس الأشخاص وعلى عقولهم الباطنية، فهم يتفاعلون، بداع حسهم أو عواطفهم، مع الضوء بجميع أشكاله وألوانه، يرونـه جميلاً أو قبيحاً، مريحاً أو استفزازياً، يحبونـه أو يفرون منه. لهذا يجب ألا يترك موضوع الإلإارة في الفنادق ودور سكن الضيافة دون دراسة متأثـنة وجادة، فأهمية الإلإارة في هذا المجال لاتقل أبداً عن أهميتها ودورها على منصات المسارح. وسواء كانت الإلإارة في الفنادق وظيفية، لمساعدة النزلاء في تتبع طرقهم ورؤـية الأشياء، أو تزيينـية، لإظهـار جمال الموجودـات، فهي ستكون من العوامل الأساسية جداً، التي سيقيم الضيف الزائر على أساسـها في الفندق ويتمتع بإقامـته فيه، أو لا. وسواء شاء هذا أم أبـى فإن انطباعـ النور والإلإارة سيرـسخ في عقلـه الباطـني خارـجاً عن إرادـته.

يـفضل وضع إلإارة تزيينـية مناسبـة في كلـ بهـو أو صـالة أو مـمر، أو مـكان رـاحة للـزوار في الفـندق بشـكل مناسب وجـاذب. ولـعل أـهم مـوقع يـحتلـ أهمـية خـاصـة من حيث إـنـارتـه هو مـكان استـقبال النـزلاء (Reception). فـفي هذا المـكان سـيـأخذ الزـائر الانـطبـاع الأول والأـهم عن النـزل، وسيـعطيـه فـكرة مـختـصرـة عن عمـوم أـفـسـام الفـندـق. حتى إنـ لـكامـل الإـكسـاء المـعمـاري الدـاخـلي لـهـذا الحـيز منـ الفـندـق أـهمـية خـاصـة جداً، والإـلـإـارـة جـزـءـ منها.

منـ المـهم فيـ مـكان الاستـقبال أنـ تكونـ الإـلـإـارـة واضحـة وـتـظـهـرـ معـالمـ الأـشـيـاءـ والمـوجـودـاتـ وـذـاتـ سـوـيـةـ أعلىـ منـ بـقـيـةـ الـوـسـطـ الـمـحيـطـ الـمـتوـاجـدـةـ فـيـهـ منـ الفـرـاغـ الدـاخـليـ فيـ الفـنـدقـ، بـحيـثـ يـسـتـطـيعـ الزـائـرـ التـواـصـلـ وـالتـخـاطـبـ معـ موـظـفـ الاستـقبالـ، يـرـيانـ بـعـضـهـماـ فيـ مـحـيـطـ وـاضـحـ وـجـيدـ الرـؤـيـةـ وـبـنـوـيـةـ إـلـإـارـةـ منـاسـبـةـ لـهـذاـ الغـرضـ. إـنـ وـضـعـ إـلـإـارـةـ سـقـقـيـةـ منـ خـلـالـ أـجهـزةـ إـلـإـارـةـ الـفـلـورـيـسـنـتـ، أوـ الـهـالـوـجـينـ أوـ الـفـلـورـيـسـنـتـ المـدـمـجـ، عـلـىـ سـبـيلـ المـثالـ، عـلـىـ شـكـلـ وـتـوزـيـعـ معـيـنـ، تـؤـمـنـ سـوـيـةـ إـلـإـارـةـ مـطلـوـبـةـ وـمـوجـهـةـ لـمـوـضـعـ التـواـصـلـ بـيـنـ الزـائـرـ وـموـظـفـ الاستـقبالـ وـتقـيـ

بغرض الإنارة الوظيفية المطلوبة، على أن تكون خالية من الانعكاسات الضوئية أو اللمعان وسواها، كما يمكن دعم هذه الإنارة بإنارة موجهة جدارية أو سقفية أيضاً. ولا شيء يمنع من وضع إنارة تربينية بسيطة لتثير بعض التحف أو اللوحات الفنية أو موجودات أخرى في صدر أو جوانب صالة الاستقبال، فهذه أيضاً ستساهم في لفت أنظار الزائر وجذب انتباهه.

أما المرارات أو الردهات والدهاليز (Flure) فإضاءتها ستكون حتماً وفق الغاية منها. إنها بشكل عام عبارة عن أماكن حركة وتتنقل للنزلاء وللزوار من مكان إلى آخر. فيجب أن تكون إنارتها على هذا الأساس. إن بعضها من الردهات يسمح ليكون أيضاً أماكن راحة مجهزة بمقاعد مريحة ذات ديكور جميل وإنارة تربينية مناسبة. المهم أن تكون الإنارة متجانسة ومتتناسبة مع الديكور في المكان، وأن تكون إنارة هذه الأماكن جميعها أيضاً متجانسة فيما بين بعضها. يفضل أن تكون الجدران فاتحة اللون أو بإنارة يجعلها فاتحة، وكذلك السقف، أو على الأقل يجب ألا يبقى السقف غامق اللون أو عاتماً. إن الإنارة الفاتحة ستجعل الجدران والأسقف أكثر بهاء وتقبلاً. إن لون السقف الغامق سيجعله يبدو منخفضاً ومعتماً، وهو بذلك لن يبدو جميلاً في هذه الحالة، ولن يترك أثراً طيباً لدى الناظرين.

يمكن إتارة السقف بأي نوع من أجهزة الإنارة التي تعطي سوية إنارة مناسبة، كأجهزة الفلوريسنت أو الفلوريسنت المدمج أو الهالوجين. وتركيب هذه وفق وجهة نظر المصمم، على السقف أو الجدران. وإذا كان على الجدران بعض الصور، أو على جنباتها بعض التحف الفنية، فمن الجميل تسليط إنارة اللون عليها لتبرزها وتميزها، فهي تعطي المكان حركة وحيوية ولا تتركه مملاً ومتيناً.

تتميز الفنادق، وخاصة الكبيرة منها بوجود مرارات متفرعة. فيجب أن تكون نقاط التفرع واضحة جداً، ويفضل أن تكون هناك إنارة تشير إلى مواضع الأدراج أو المخارج من خلال أجهزة إنارة خاصة بهذا الشيء، ومدونة عليها، مثلاً، الكلمة خروج، أو (Exit) أو مرسوم عليها درج، حسب الحال، مع ما يشير إلى الاتجاه، وهي إشارة السهم المعروفة.

يجب أن تكون أرقام الغرف واضحة للعيان، إما من خلال إنارتها بضوء مناسب في السقف المستعار يوضع فوقها مثلاً، من خلال سبوت إنارة، أو وضع إنارة خلف أرقام مكتوبة على زجاج شفاف، كما أصبح شائع الاستخدام حالياً.

أما الأدراج فيجب أن تتم المحافظة على وظيفتها الرئيسية في جعل الأشخاص يتلقون عليها صعوداً وهبوطاً بأمان. هذا يعني أن تكون كل واحدة من الدرجات مضاءة واضحة للعيان. كما يجب ألا يسع أي ضوء في أعين الأشخاص المتقلين عليها، فتعتمي أبصارهم. وإذا كانت أرضيات الأدراج غامقة اللون فيجب أن تضاء بشكل جيد لظهور كل درجة منها للعيان. أما غرف الضيوف في الفنادق فإن إضاءتها يجب أن تكون على العموم متعددة الأوجه، مناسبة لجميع الاستخدامات تقريباً. إنها غرف للراحة والاسترخاء، ولمشاهدة التلفزيون وإنجاز بعض الأعمال، وكذلك للمطالعة، وللنوم، فيجب أن تحتوي أجهزة إلارة وظيفية إضافة إلى الإلارة الترفيهية، التي يجب أن تناسب بالتأكيد ديكور الغرف الداخلي. إن وضع إلارة ذات لون دافئ يشعر المرأة بالسكينة والأمان والاستقرار.

إن نزيل غرف الفنادق يقوم بإشعال وإطفاء أي من الأنوار التي تناسبه، وينصح أيضاً بأن يكون بعض أجهزة الإلارة قابلاً لزيادة شدتها وإنقاصها أيضاً من خلال مفتاح تحكم خاص بها. وينصح أيضاً أن توضع جميع مفاتيح إلارة الغرفة في مدخلها إلى جانب الباب واضحة لعيون نزلائها.

إن الطبيعة الخاصة بغرف الفنادق التي تجعل منها ذات استخدامات متعددة ومختلفة، كما ذكرنا، تفرض وضع فرش فيها لاستخدامات متعددة ومتقدمة أيضاً، لذلك يجب أن تؤخذ جميعها بالحسبان عند دراسة إلارة هذه الغرف، ويتوخى أن تؤخذ من حيثيات شدة الإلارة لأجهزة الإلارة بالحسبان، بما في ذلك أيضاً طبيعة وألوان الفرش الداخلي لكل غرفة. فالألون الغامقة للفرش سيكون رد فعلها على الإلارة مختلفاً عن تلك الفاتحة، كما نعلم. ويجب تجنب الفروقات الكبيرة في الإلارة بين جانب وآخر أو جهةٍ وأخرى من الغرفة، وكذلك يجب تجنب الأخيلة الناجمة عن الإلارة، لأنه يتسبب بتعب العيون من ناحية، وأحياناً يقود إلى الملل. لذلك يجب أن يكون توزيع أجهزة الإلارة منتظماً ومنتقاً مع الفرش. ويجب تجنب لمعان الأسطح الناجم عن الإلارة، الذي يؤثر سلباً على العيون وبالتالي على الشعور بالارتياح.

#### ٤-١-٤- إلارة المطاعم:

تعد المطاعم كالفنادق واحدة من قطاع الخدمات، لذلك يجب أن يكون الانطباع الصوتي فيها موافقاً لأذواق ومتطلبات ضيوفها الزبائن. والمطاعم حقيقة، كمجال خدمي لا يُعد أساسياً لحياة

الناس، ويمكن للكثرين من الناس، حتى القادرين على رياضته الاستغناء عنه، إذا لم يوافق هذا أو ذلك المطعم أذواقهم وأمزاجتهم. لذلك، إلى جانب الخدمة الرئيسية، وهي تناول الطعام الذي يقدم في المطعم، فإن الناس يرتدون هذه الأماكن أيضاً لينعموا بجلسات أنيسة ومرحية مع بعضهم، يرددون فيها عن أنفسهم ويتذمرون، وبالتالي يتوجب أيضاً توافر شروط ومقومات أخرى ليشعر الزبائن فيها بكل عوامل الاستمتاع عند جلوسهم حول طاولة واحدة، يتسامرون ويتناولون الطعام. أحد هذه الشروط يلعب دوراً متمماً في راحة الزبائن واستمتاعهم، وهو إتارة صالة المطعم، المكان الذي يجلس فيه هؤلاء الضيوف. فالمطلبات من صالة الطعام وتحديداً، حيث يجلس الضيوف أمام الطاولات عالية نسبياً، فعلى الرواد أن يشعروا وكأنهم في منازلهم، بل وأفضل من ذلك.

إن صالات الطعام في المطعم تكون حقيقة من قطاعين رئيسين، ليس أكثر، يتوجب إثارتها بمايلزم، أحدهما هو طاولات الضيوف، والآخر هو الفراغات بين الطاولات، والتي تستخدم أيضاً كممرات للزبائن وعمال الخدمة لهم. أما المكان أو جهة المطعم التي يتم فيها إعداد الخدمة، كطاولات البوفيه (service)، مثلاً، حيث تتكدس الصحنون وبقية متممات الخدمات، فيجب أن تبقى شبه مخفية أو محجوبة عن الرؤية أمام الضيوف، لأنها لن تساعد في خلق الجو المناسب للزوار، بل ربما على العكس من ذلك.

إن أعين الضيوف في المطعم ستتحرك في الاتجاه المضاء، وسترى فقط ما هو مضاء أمامها. إن هذا يسمح لمصمم الإنارة بتوجيه أعين وأبصار الضيوف إلى حيث يريد ويتوارد.

من الضروري أن تكون مواصفات إتارة الطاولات في المطعم مناسبة، بحيث تؤدي هذه عدة مطالب أساسية، منها إمكانية التواصل والتواصل بين الجلسا على نفس الطاولة في جو من الحميمية والألفة، ومنها إمكانية تناول الطعام وهو يشاهدون حتى الدفائق الصغيرة منه. من أجل تأدية هذين المطلبين يكفي وضع شمعة واحدة، أو أكثر بسوية إتارة كافية لإتارة الطاولة الواحدة، كما يمكن وضع إتارة صناعية أخرى بسوية وشدة عالية أيضاً، أي أن هناك مجالاً واسعاً جداً لل اختيار بين سوية إتارة منخفضة، ولكن تحقق الغرض، وسوية عالية، وبالتالي توجد اختيارات أيضاً بين أنواع وأشكال مختلفة من أجهزة الإنارة. لذلك يكون العامل الأهم في اختيار سوية وأشكال الإنارة هو الفرش أو الديكور الداخلي للمطعم لتتسق معه الإنارة وتكمله.

يمكن وضع إنارة بسوية واحدة متجانسة لكامل المطعم أو إنارة لكل طاولة على حدة، بشدة وسوية الإنارة الشمعة. المهم هو التجانس والتتاغم مابين الإنارة والديكور الداخلي للمطعم. ومن أجل أن يجلس الضيوف في جو من الألفة والحميمية والارتياح، خاصة في أوقات المساء وبعدة فإن لون الإنارة هنا ودرجة حرارتها يلعبان دوراً هاماً، لذلك يفضل أن تكون هذه من النوع الدافئ المريح للأعين والأنفس.

توجه الإنارة في المطاعم بشكل رئيس إلى أمكنة جلوس الضيوف، وهي الطاولات بالإضافة إلى البوفيه، إن وجدت، وتبقى أماكن الخدمة بشكل غير ملتف للنظر. بمعنى آخر يجب توجيه الضيوف للنظر إلى الأماكن التي يتوجب عليهم التحرك فيها أو التعامل معها، كالطاولات والبوفيه، وبالتالي يتوجب الإنارة هذه الأماكن بما يلفت النظر، إنارة وظيفية وتزيينية. هذه الإنارة يجب أن تكون من النوع قادر على إظهار الألوان، فهذه الخاصية هامة جداً هنا ليرى ويميز الضيوف حتى الأجزاء الصغيرة من الأطعمة، كما ذكرنا. إن عامل إظهار الألوان لأجهزة الإنارة المستخدمة في هذا المجال يجب أن لا تقل عن ٨٠ . أما سوية الإنارة على طاولات الطعام فيجب أن تؤمن على الأقل الإمكانية لتقدير نوعية الطعام من خلال النظر. كذلك يجب أن تكون الإنارة كافية ليرى الضيوف حركات بعضهم على المستوى فوق الطاولات، وهم يجلسون حولها، بما في ذلك إيماءات وجوههم. وإذا كانت الإنارة من ذات اللون الدافئ فإنها ستتساهم في إحساس الضيوف بوسط من الحميمية والألفة والراحة والترويح عن النفس.

إن إنارة المراتيب بين طاولات الضيوف يمكن أن تتم من خلال الأضواء الساقطة عليها من إنارات الطاولات، كما يمكن أن يوضع لها إنارة مستقلة سقفية، ذات سوية أقل بالتأكيد من تلك الموضووعة للطاولات.

في معظم الحالات فإن وضع لوحات فنية جدارية أو مجسمات وتحف للزينة أو سواها في المطعم يعد أمراً في غاية الأهمية، إنها عناصر جمالية مكملة ومتتممة للصورة الداخلية للمطعم. وإنارة هذه التحف بمايلزم يساعد أيضاً في خلق جو متعدد وجميل من سويات الإنارة، وألوانها وأنواعها المختلفة ضمن الفضاء الواحد، خاصة في التتاغم مابين إنارة الموجودات والظلال التي تتركها. أما إنارة التحف واللوحات الفنية فتتم كما هو معمول به تماماً في المتاحف والمعارض الفنية من خلال إنارة موجهة عليها.

إن دخول ضوء النهار لا يعني أبداً الاستغناء عن الإنارة الصناعية في المطاعم؛ فالمطاعم عادة، ونظراً لكبر مساحتها لا يدخلها ضوء نهار كافٍ من خلال النوافذ والأبواب، أضف إلى ذلك فإن بعضـاً من الإنارة الصناعية، بالأخص التزيينية منها، قد تكون ضرورية ولازمة لإعطاء الانطباع البصري المطلوب للزوار، وخلقـاـةـ الـحـالـةـ الـلـازـمـةـ لـإـحـسـاـهـهـمـ بالـرـاحـةـ والاستمتاع أثناء الجلوس والتحادث.

#### ١٤-٥- إنارة غرف المؤتمرات والاجتماعات والсимinars:

يقصد بهذه الفراغات الداخلية جميع الغرف المغلقة التي يتم فيها إقامة الاجتماعات (seminars) والمؤتمرات، والندوات، وكذلك المحاضرات ضمن حدود معينة، إنها بشكل عام الأماكن المغلقة التي يتم فيها تبادل الآراء والمعلومات ووضع الخطط ومناقشة المشاكل والحلول، أو الاستماع لمحاضر، ومن ثم مناقشته.

يجب في البدء أن يكون هناك إمكانية لإغلاق أو تعطيم كامل الغرفة ( وجود ستائر مانعة لدخول الضوء القادم من الخارج نهاراً) من أجل إمكانية استخدام جهاز الإسقاط، حتى إنه ينصح في أغلب قاعات الاجتماعات، بحجب ضوء النهار عنها، ومنع دخولـهـ، لأنـ ضـوءـ النـهـارـ،ـ فـيـ بـعـضـ الأـحـيـانـ،ـ وـخـاصـةـ إـذـ تـسـبـبـ بـلـمـعـانـ أوـ انـعـكـاسـاتـ فـيـهـ قدـ يـتـسـبـبـ بـصـرـفـ اـنـتـبـاهـ بعضـ الحـضـورـ عنـ الغـاـيـةـ منـ تـوـاجـدـهـ،ـ حـتـىـ إـنـهـ مـنـ أـجـلـ مـثـلـ هـذـهـ القـاعـاتـ يـفـضـلـ أـنـ تـكـونـ غـرـفـاـ دـاخـلـيـةـ أوـ نـقـعـ فـيـ مـنـتـصـفـ الـبـنـاءـ وـبـعـيـدةـ عـنـ الـوـسـطـ الـخـارـجيـ وـتـأـيـرـاتـهـ،ـ بـمـاـ فـيـ ذـلـكـ التـقـليلـ أـيـضاـ مـنـ الصـحـيجـ الذـيـ قـدـ يـأـتـيـ مـنـ الـخـارـجـ.

إن عملية الإنارة لمثل هذه القاعات يجب أن تكون ذات أوجه متعددة، وقابلة للتحكم بها وتغييرها وفق الغاية؛ فقد يكون الحضور مجرد مستمعين لمحاضر، مع، أو دون جهاز إسقاط، وقد يضطرون لكتابـةـ خلالـ المحـاضـرةـ.ـ منـ أـجـلـ تـحـقـيقـ هـذـهـ الغـاـيـاتـ المتـعـدـدـةـ منـ خـالـ الإنـارـةـ يـنـصـحـ فيـ وـقـتـناـ الـحـاضـرـ إـقـامـةـ نـظـامـ إنـارـةـ يـتـمـ التـحـكـمـ بـهـ إـلـكـتـرـوـنـيـاـ،ـ أيـ يـمـكـنـ إـشـعالـ أوـ إـطـفاءـ بـعـضـ أوـ كـلـ أـجـهـزةـ الإنـارـةـ وـفـقـ الـوـاقـعـ،ـ أوـ الـحـاجـةـ.ـ فـإـنـارـةـ إـذـاـ يـجـبـ أـنـ تـكـونـ لـوـظـائـفـ مـتـعـدـدـةـ وـتـنـاسـبـ اـسـتـخـدـمـاتـ الـقـاعـةـ جـمـيعـهـاـ.

يمكن تركيب أجهزة إلارة في السقف، كما في القاعات الدراسية، من الفلوريسنت بسوية إلارة تساوي LX٥٠٠. تضاء هذه عند استخدام القاعة لمناقشة موضوع معين، مع إمكانية الكتابة لمن يريد من الحضور.

ويمكن كذلك تركيب أجهزة إلارة جانبية وأيضاً سقفية بسوية إلارة متدنية جداً، تكفي فقط لإظهار الممرات والمخارج، ومناسبة لتحرك الأشخاص عند الحاجة، وتثار هذه في بعض الحالات كعرض الأفلام وما شابه. وتطأ هذه الأنوار، عندما لا يكون لها حاجة. من الممكن أن تكون هذه الإلارة من أجهزة الهالوجن، ولا يمنع أن تكون هذه ذات لون إلارة مختلف. إن الإنارة بغرض الزينة في مثل هذه القاعات نوع من أنواع الترف، وليس له مأثيره.

#### ٦-١٤-٢ - إلارة المكاتب الإدارية:

- يوجد بشكل رئيسي ثلاثة إمكانيات مختلفة لإلارة غرف المكاتب في الأبنية الإدارية:
- طريقة الإنارة بحسب الغرفة في هذه الطريقة تومن الإنارة من أجهزة سقفية ذات توزع متساوٍ ومتجانس للإنارة بنفس درجة الوضوح.
  - طريقة الإنارة وفق أماكن العمل (طاولات العمل). هذه الطريقة تستخدم عندما يكون في الغرفة نشاطات مختلفة ومتحدة، وكل منها بحاجة إلى سوية إلارة مختلفة أيضاً. في هذه الحالة يتم إلارة كل جزء من الغرفة يقوم فيه نشاط مختلف بإلارة مناسبة لهذا النشاط.
  - طريقة الإنارة لجزء أو لحيز من الغرفة. في هذه الحالة، وعندما تكون الإنارة في موضع أو جزء ما من الغرفة لائقاً، بسبب اختلاف النشاطات في أجزاء الغرفة، فيتم وضع إلارة إضافية مناسبة وفقاً للنشاط في هذا الجزء لدعم الإنارة الأساسية الموضوعة في الغرفة.

يمكن بشكل عام تأمين سوية الإنارة المطلوبة للمكاتب ، وهي LX٥٠٠ من خلال وضع إلارة مباشرة، أو مختلطة مباشرة وغير مباشرة، وتشير الخبرات بأن معظم الناس يرتاحون لأجهزة إلارة موزعة بانتظام ذات إلارة مباشرة، تركب مباشرة على السقف، أو تعلق به، أو ضمن سقف مستعار، بعكس وناثر، لأنها تومن التوزع المتساوي للإنارة والوضوح على كامل المساحة، وتحد من اللمعان. إنها بالإضافة إلى ذلك إلارة بسيطة وأقل تكلفة. أما وضع إلارة غير مباشرة سقفية أو جدارية أو حتى غير كلوبيات لتحقيق الغرض المطلوب فامر

ممكِن أيضًا، إلا أن هذه الطريقة من الإنارة ستكون ذات تكاليف أكثر من سابقتها. كما ويمكن اختيار طريق ثالث وهو الخلط بين الطريقتين السابقتين في الإنارة، المباشرة وغير المباشرة، وفقاً لوجهة نظر المصمم المعماري أو مهندس الإنارة المختص. إن هذه الطريقة الأخيرة ستكون أكثر تكلفةً من المباشرة وأقل من غير المباشرة.

يجب الانتباه، وخاصةً في المكاتب التي يتم العمل فيها بمساعدة أجهزة الحواسيب لا يحدث لمعان مباشر للإنارة من خلال شاشاتها، سواء كان سبب اللمعان من الإنارة الخارجية القادمة عبر النوافذ أو من إنارة أجهزة الإنارة. يتم التخلص من هذا اللمعان الضار على الأعين البشرية من خلال وضع حاجب مناسب للإنارة، ويفضل اختيار أجهزة إنارة مناسبة ومن ثم توزيع أجهزة الحواسيب في أماكن لا يحدث عندها لمعان من خلال شاشاتها. وللمعان هو كما نعرف انعكاس أو أكثر للأشعة الضوئية من على سطوح لامعة، كشاشات الحواسيب أو الجدران الفاتحة الألوان، أو المرايا، إلى الأعين البشرية.

إن وجود شاشة حاسوب بمقابل جهاز إنارة، أو حتى بمقابل أشعة ضوء النهار، سيسبب بعكس الأشعة الضوئية من على سطح الشاشة إلى الأعين. وهو ما يضر كثيراً بالأعين، وخاصةً على المدى الطويل، ويسبب لها بالإعياء والتعب. لذلك يفضل دوماً العمل على أن تكون أجهزة الإنارة واقعة خلف شاشات أجهزة الحواسيب، أو إلى جوانبها على الأقل.

#### ٤-٧-١-إنارة الغرف والقاعات الدراسية:

إن إنارة الغرف الدراسية هي من أبسط أنواع تصميم الإضاءة فطبيعة الأعمال في مثل هذه الغرف هي ذاتها واحدة وليس متعددة، ولا يوجد في مثل هذه القاعات أي فعالية أخرى خاصة بحاجة إلى إنارة من نوع مختلف.

لا يصح في مثل هذه القاعات وضع أي إنارة تزيينية، خشية صرف انتباه الطلاب أو التلاميذ عن الدرس، حتى ولو وضعت لوحات فنية أو سواها في القاعة، فإن وضع إنارة خاصة بها أمر غير وارد عملياً.

تكون القاعات الدراسية عادةً مثار بشكل جيد من خلال ضوء النهار، الذي يدخل إليها عبر النوافذ. وإنارة الصناعية يتم استخدامها في الأيام التي يكون فيها ضوء النهار غير كافٍ، كما هو مثلاً في بعض أيام الشتاء. وإذا لم تدع الحاجة لاستخدام كافة أجهزة الإنارة فيكتفي

تشغيل بعضها فقط، وهذا يتطلب أن يكون لأجهزة الإنارة عدة مفاتيح تشغيل، وليس مفتاح تشغيل واحد فقط.

إن الطريقة المثلثة لإنارة قاعات الدرس هي أجهزة إنارة الفلوريسنت، التي ترکب مباشرةً على السقف، أو في السقف المستعار. وتكون هذه مجهزة بعاءكس ذو عامل عكوسية جيد إلى جيد جداً، وكذلك بناثر للأشعة من أجل توزيع متساوٍ ومتجانس للضوء على كامل مساحة القاعة، وتكون سوية الإنارة المطلوبة في هذه الحالة  $500 \text{ Lx}$  كحد أدنى. ويكون لون الإنارة من الأبيض بلون ضوء النهار، أو الأبيض الدافئ. ويجب أن يكون عامل إظهار اللون جيداً ومناسباً، بحيث لا يقل عن  $80$ ، فقد يحتاج الطلاب والتلاميذ في دروسهم تمييز الخطوط والألوان بشكل جيد.

#### ٤-٨-١- إنارة البيوت السكنية:

إن العامل الأهم في البيوت السكنية هو أن يشعر ساكنيه بالراحة والطمأنينة والأمان. إن وضع إنارة صحيحة، صحية ومرحة للنظر يلعب دوراً هاماً في تأمين متطلبات السكن المثالي. فمن خلال تصميم إنارة متوازنة ومدروسة يمكن فقط تحقيق بيئة مثالية للعيش في المنزل، والتي ستؤثر بصورة إيجابية على جسد وروح كل ساكن فيه.

إنارة مدخل المنزل: يشكل المدخل الجزء الأول من المنزل. إنه بوابة الدخول إليه والخروج منه، والذي سيوليه الزائرون أولى نظراتهم وأخرها، لذلك من المهم أن تكون إضاءته فاتحة اللون، مؤنسة ولطيفة، لأنها تعكس شخصية ساكنيه. إن الإنارة الفاتحة ستثير الطريق وستجعل الداخلين أو الزوار يتعرفون بسهولة على الأشياء المحيطة بهم وتفاصيلها، بما في ذلك أمكنة تعليق ثيابهم، وكذلك على المرأة، إن وجدت. ويمكن من خلال ضوء سقفي، سبوت، مثلاً أو أكثر من مصابيح توفير الطاقة أو الهالوجين متناسبة مع الديكور، تأمين سوية إنارة كافية، كما يمكن وضع أجهزة إنارة على جنبي المرأة من النوع الأبيض الدافئ. وفي كثير من البيوت يضع ساكنوها الخزن الصغيرة وفوقها مزهريات الورد أو على الجدران التحف الفنية. وهو ما يسمح بإضافة إنارة جدارية مناسبة أيضاً.

إن الكثير من مداخل المنازل لا تكون في العادة كبيرة المساحة. ومن أجل إعطاء الانطباع بمساحة أكبر يمكن في هذه الحالة وضع إنارة فاتحة اللون، يوجه جزء كبير منها إلى السقف

والجدران. ولهذه الغاية يوجد الكثير من أجهزة الإنارة المعلقة والموجهة التي تعطى إشارة لابس بها باتجاه الجدران والأسقف.

#### ٩-٤-٢ إنارة الأدراج:

يحدث في كثير من الحالات إصابات بشرية بفعل سوء إنارة الأدراج عموماً، فاما أن تكون الإنارة غير كافية، أو أن أجهزة الإنارة متوضعة في الأماكن الخطأ. ووفقاً للإحصائيات فإن معظم حوادث السقوط أو التعرّض على الأدراج تتم في حالة النزول عنها. لذلك فإن الإنارة الصحيحة لها تتم عندما ترى كل واحدة من الدرجات واضحة تماماً عند النظر إليها من الأعلى إلى الأسفل. لهذه الغاية ينصح دائماً بوضع أجهزة إنارة سقافية من جهة الدرجات النازلة في أعلىها. أو تركيب أجهزة إنارة جدارية أو سبوتات تضيء كل درجة على حدة على ارتفاع غير عالٍ من أرض الدرج (٣٠ cm - ٥٠ cm). كذلك يتوجب وضع إنارة خاصة للاستراحات بين الأدراج، وهي في الغالب أجهزة إنارة سقافية. وفي كل من الأحوال يجب على أجهزة إنارة الأدراج ألا تتسبب باللعنان. وإن استخدام أجهزة إنارة المهاجمين للأدراج يعد اقتصادياً ويعطي إنارة كافية ومناسبة.

#### ١٠-٤-٢ إنارة غرف المعيشة في المنازل:

تستخدم غرف المعيشة في المنازل من قبل جميع ساكني المنزل، وتكون عادة لأغراض متعددة، ويمارس فيها نشاطات مختلفة. إنها عموماً غرف الراحة والاستفقاء. فيها يتم مشاهدة التلفزيون وتبادل أطراف الحديث بين أفراد الأسرة، ومع ضيوفهم، وكذلك يمكن أن يتصفح أحدهم جريدة أو كتاباً أو صفحات إنترنت من خلال جهاز حاسوبي، أو تتم في زاوية منها أعمال كوي الملابس أو طبها، كما يمكن أن يتم تناول الطعام على طاولة مخصصة في أحد أركان الغرفة أيضاً، وفي الغالب لا يبارح الأطفال بعض أجزاء الغرفة يلهون فيها إلى حين موعد نومهم. إن غرف المعيشة تعد الأهم في المنزل من ناحية الاستخدام، لذلك فهي الأهم أيضاً من حيث الإنارة. ومن أجل تحقيق إنارة جيدة وكافية وتفادي بالاستخدامات المتعددة والمختلفة، التي ذكرناها، لغرف المعيشة المثالية فلا يكفي أبداً وضع إنارة وحيدة في الغرفة. فاللتوزع الضوئي المناسب يتم من خلال عدة منابع ضوئية موزعة في الغرفة تحقق وسطاً

ضوئياً تكون فيه الغرفة موزعة على مناطق ذات إشارات مختلفة، بحيث يكون هناك أماكن، للمطالعة وأخرى للعمل وثالثة للراحة والاسترخاء أو تبادل أطراف الحديث ومشاهدة التلفزيون ورابعة للطعام وما إلى ذلك. ولتحقيق هذه الغايات المذكورة من الإلارة لغرف المعيشة يتوجب أن يكون هناك إلارة مركبة تعمل على تأمين إلارة عامة أساسية للغرفة، وهذه الإلارة عبارة عن جهاز ضوئي بشدة إلارة كافية ينشر أو يوزع الإلارة إلى مختلف الاتجاهات، الجانبية والأعلى والأسفل فيؤمن إلارة منتظمة ومتسلوقة في الوضوح لكامل مساحة الغرفة، قدر الإمكان. وتعد هذه الإلارة هي الحد الأدنى لتأمين الروية لحرية التحرك في الغرفة في سوية مقبولة من الضوء. أما إلارة المناطق أو الأماكن الخاصة المختلفة فتتم بشكل موضعي وفق الغاية من هذه المناطق من الغرفة. يمكن تحقيق هذه الإلارة الموضعية للمناطق من خلال أجهزة سبوت جدارية أو سقفية أو أرضية ثابتة أو متحركة أو على طاولة (لمبادر) ... إلخ من الاختيارات، ليعطي كل منها ضوءاً في الموضع أو الاتجاه المطلوب.

في منطقة مشاهدة التلفزيون، مثلاً، يمكن وضع جهاز إلارة، ذي إلارة ناثرة وموزعة للضوء، بشدة ضوئية قليلة نسبياً، لأن الغاية الرئيسية من الإلارة هنا هي الحد من التباين الشديد بين شاشة التلفزيون ومحيطه. يوضع هذا الجهاز بشكل لا يسبب لمعاناً أو انعكاساً ضوئياً من التلفاز يصل للأعين، ومن الممكن أن يكون من النوع الأرضي القابل للنقل، بحيث يمكن التحكم بمكان توضعه بسهولة.

أما الإلارة من أجل القراءة أو المطالعة فتتم بحيث يؤخذ بالحسبان إلارة الصفحات المراد قراءتها بشكل مناسب والحفاظ على محيط منار قدر الإمكان لئلا يتم انتقال النظر من منطقة مnarة جداً إلى أخرى معتمة فيتسبب ذلك بتعب الأعين. لهذا فإن الإلارة المركبة العامة تساعد، قدر الإمكان في التقليل من فروقات الإلارة في مناطق الغرفة الواحدة.

إن وضع جهاز إلارة جداري أو أرضي أو على طاولة، من النوع الثابت أو المتحرك، يكون أعلى وخلف الشخص القارئ يؤمن إلارة صفحات القراءة ويمعن توجيه الإلارة المباشر إلى الأعين ويعن ذلك المعان. يفيد جهاز الإلارة المتحرك في توجيه الضوء إلى صفحات الكتاب، أو إلى أي جهة عمل أخرى على الطاولة، وهو بذلك يعد أكثر فائدة من الجهاز الثابت.

ولعل أفضل منبع إنارة لهذه الغاية يكون جهازاً من الهايوجين ذا عامل إظهار لون جيد يساوي ٠٠٠ انقريباً، أو جهاز إنارة من الفلوريسنت (القصير الطول، مثلاً) ذا اللون الضوئي الأبيض الدافئ، فهذا اللون من الضوء يعد من الألوان المريحة جداً، ويؤمن وسطاً متجانساً في الشدة الضوئية على مساحة كامل طاولة العمل. إن تأمين وسط مناسب وممتع للمطالعة يتطلب بالتأكيد تحقيق شروط إنارة مناسبة وصحية على الأقل.

يتم في منطقة تناول الطعام إنارة طاولة الطعام، وتكون الغاية الأساسية من إنارة هذه الطاولة هي إظهار المأكولات المتواجدة على سطح الطاولة بشكل واضح جداً، وترك الجلوس حول الطاولة بإنارة حميمية خافتة.

يمكن إنارة طاولة الطعام من خلال إنارة سقفية، متولدة من الأعلى على ارتفاع أعلى من أعين الجلوس أو بحدود ٦٠ cm عن سطح الطاولة، بحيث لا يقع جهاز الإنارة بين أعين الجالسين بمقابل بعضهم حول الطاولة. ينصح بإنارة من الهايوجين ذات ضوء منتشر ثري الموجودات على سطح طاولة الطعام كاملةً. ويتراكم للمصمم الداخلي اختيار شكل جهاز الإنارة ولوئنه وطريقة تعليقه بما يتناسب، وفق رؤيته الفنية، مع طاولة الطعام وما يحيط بها. إن الانتقال ضمن الغرفة الواحدة يتم من خلال إضاءتها العامة. وعند التحرك إلى مكان فيه إنارة موضعية خاصة فإن العين لن تتعب بسبب الفرق غير الكبير بين سوية الإنارة في المنطقتين المتتلق بينهما. أما إذا تواجد جهاز إنارة موضعى وحيد فقط فإن التنقل في الغرفة سيكون من منطقة بإنارة كافية إلى أخرى بإنارة سينية، أو العكس، فإن هذا يتسبب بالتعب والإرهاق للعين بشكل سريع.

يضع معظم الناس قطعاً أو تحفأً أو لوحات فنية جدارية في غرف الجلوس لتربيتها. وتعبد إناراتها ذات نكهة مميزة. إنها تحفز الأحساس وترتيد من بهاء الغرفة ومن خلال الضوء على الجرمان تترك انطباعاً بأن الغرف أكبر. يسلط الضوء على اللوحات الفنية الجدارية، إما من فوق اللوحة مباشرةً، أو من الأعلى بشكل مائل على ارتفاع (١٠٥-١١m). ولعل أفضل أنواع الإنارة التي تصلح لهذه الغاية هي سبوتات (مشعات) من الهايوجين، أو LEDs حديثاً. يمكن تركيب هذه المشعات القابلة للتوجيه فوق اللوحة الفنية مباشرةً أو على سكة في السقف، أو على السقف بشكل مباشر أو في السقف المستعار، إن وجد. إن إنارة الهايوجين والـLEDs ذات عامل إظهار لوني ممتاز، وهي الأصلح لهذه الغاية (مصايبخ الهايوجين

ذات  $R_a=100$  ) ، وكذلك فإن إنارة الـ LEDs لا تنشر حرارة تذكر تؤثر سلباً على اللوحات الفنية.

يمكن لجهاز الإنارة المركزي في غرفة المعيشة، كما لبقية أجهزة الإنارة الموضعية أن يكون من النوع القابل للتحكم بإبارته، بحيث يستطيع المرء عند أي تغيير في شدة الإنارة إعطاء انطباع صوئي مختلف، بما في ذلك أيضاً اختيار شدة الإنارة الموضعية المناسبة.

ومن الناحية الفنية البحتة فإن وضع عدة أجهزة إنارة في الغرفة الواحدة يظهر الغرفة أكثر حيويةً وتجدداً، كما يسمح عموماً للمصمم الداخلي أن يظهر مهاراته ويسعد في ديكور الغرفة من خلال اختياره لهذه الأجهزة بأشكالها وألوانها وأمكانية توضيعها لتناسب ديكور الغرفة.

يجب الأخذ بالحسبان أنه في غرف المعيشة قد يتحرك أشخاص ترداد أعمارهم عن الـ ٦٠ عاماً. هؤلاء يحتاجون إلى زيادة في سوية الإنارة أكثر من التي يحتاجها شبان في مقتبل العمر ليتمكنوا من رؤية الأشياء وال الموجودات بنفس الوضوح كما يراها الشبان.

#### ٤-١٤-١١- إنارة غرف المطابخ وغرف الغسيل والكوي:

تعد المطابخ في الكثير من البيوت المركز الرئيس أو القلب لهذه البيوت، ففيها من ناحية أولى يتم الطبخ وعمل الحلويات، ومن ناحية ثانية فهي مكان التقاء، في كثير من الأحيان، لأفراد الأسرة، حيث تقام فيها أحياناً مأدبة الطعام.

يفضل في المطابخ تجنب وجود الأخيلة، وهذا يعني عدم تركيز الإنارة في مكان واحد من المطبخ، فقد يقف الشخص نفسه أمام الضوء ويتجنب الضوء عن فرن الطبخ أو عن مغسلة الصحون أو بشكل عام عن طاولة أو موضع العمل. إن توزيع أجهزة الإضاءة في أكثر من مكان في السقف مثلًا أو على الجدران سيؤمن وصول الضوء إلى أي موضع من غرفة المطبخ من دون وجود أخيلة.

يفضل وضع إنارة مناسبة في أسفل الخزن الجدارية لتتير أمكنة العمل تحتها في المطبخ، والتصاميم الحديثة للمطابخ الجاهزة تجهز بمثل هذه الإنارة.

كما يجب على أجهزة الإنارة في المطابخ، أينما وضعت أن تؤمن سوية إنارة مقدارها ٥٠٠ LX على الأقل لأماكن العمل. كما يفضل أن يكون لكل واحد من أجهزة الإنارة المختلفة مفتاح تشغيل خاص به، بحيث يتم تشغيل جهاز الإنارة في الموضع الذي يتم فيه القيام بأعمال فقط.

تعد أجهزة إنارة الفلوريسانت أو المدمجة منها مناسبة جداً لإنارة المطبخ، كإنارة سقفية. إنها تعطي لون إنارة أبيض حار وموزع على مساحة كبيرة، وكذلك يمكن استخدام مصابيح الالوجين الحديثة الموفرة للطاقة فهي ذات عامل إظهار لوني جيد.

إن الإنارة الموضعية الموزعة تحت الخزن في المطبخ (الرفوف) تعمل على تأمين وسط عمل منازل بشكل جيد، إنها تضيء أجزاءً من خزن ومواد المطبخ، وكذلك الأشياء والقطع الهامة، الحساسة والخطيرة أحياناً، والتي يتم استخدامها في المطبخ.

يتم إنارة طاولة الطعام في المطبخ من خلال جهاز إنارة سقفي كما تثار طاولات الطعام في غرف المعيشة. وينطبق على الإنارة هنا نفس ما ينطبق عليها في غرف المعيشة. كما في المطابخ كذلك في الغرف التي تمثلها من حيث الأعمال كغرف الكوي والغسيل وما يشبهها، يتوجب أن تكون الإنارة بسوية إنارة مناسبة وكافية لليستطاع الأشخاص التعامل مع المواد المختلفة والموجودات والأشياء بشكل بصري جيد.

ينطبق على هذه الغرف نفس شروط إنارة المكاتب من حيث سوية الإنارة المطلوبة وتجنب اللمعان والأختيلة. يضاف إلى ذلك شروط إضافية خاصة بأجهزة الإنارة، وهذه الأجهزة الازمة لغرف الغسيل والمطابخ مثلاً يجب أن تكون من النوع الذي لا يسمح لدخول بخار الماء إليها والتسبب بالتكهرب (درجة الحماية أو الكتمانة على الأقل IP<sub>4</sub>)، وأجهزة الإنارة التي تكون قريبة من مواد الطبخ يجب أن تكون من النوع القادر على تحمل درجات حرارة عالية (تحمل العلامة F والعلامة M أو MM عليها) والتأثيرات الكيميائية الناجمة عن أعمال الطبخ، أو يفضل إبعاد الأجهزة عن المواقد ما أمكن.

#### ١٤-١٢ - إنارة الحمامات:

لقد صار للحمامات في وقتنا هذا وظائف متعددة. فهي أماكن الاستحمام وكذلك أماكن تجميل الوجه والبشرة وهي بنفس الوقت الـ WC. لذلك اكتسب إكساء الحمامات أهمية أكبر بكثير من ذي قبل، وصار أيضاً موضوع إضاعتها بحاجة إلى عناية أكبر.

يكون عادةً للحمامات وظيفتان مختلفتان مابين فترة قبل الظهر أو الفترة الصباحية وبين فترة المساء. ففي الفترة الصباحية يكون مزاج الأشخاص ميلاً لوسط أو لبيئة منعشة، فائحة اللسان ومناسبة لبدء نشاطهم اليومي، لكنهم في المساء يميلون للركون إلى الهدوء والراحة والسكنينة

ويفضلون وسطاً أبيض اللون دافئاً. لذلك يمكن أن تكون إنارة الحمامات ذات نظامين مختلفين بناسبان حالي الصباح والمساء، بحيث يتم إشعال وإطفاء أي منها بواسطة مفاتيح كهربائية خاصة، وفقاً لما يراه الشخص المستخدم للحمام.

يتم وضع أجهزة إنارة في أكثر من موضع في الحمامات، الأول يكون عادة أمام المرأة، حيث تتم العناية بالأوجه، والثاني ضوء عام، يفضل أن يكون سقرياً وفي أكثر من موضع أيضاً (حسب مساحة الحمام)، أو أيضاً على الجدران لتأمين توزيع متباين ومتوازن بنفس درجة الوضوح للضوء على كامل مساحة الحمام، قدر الإمكان. وينصح عادة أن تكون الإنارة السقفية من الأجهزة ذات الإنارة الناثرة والموزعة للضوء باللون الأبيض ذات سوية إنسارة لائق عن LX ٣٠٠. ويجب الأخذ بالحسبان لون جدران الحمام، فالغامقة منها ستعمل على امتصاص الضوء، مما يتطلب ذلك من جهاز، أو أجهزة الإنارة شدة إنسارة أعلى. إن الإنارة البيضاء اللون السقفية الموزعة ستعطي أيضاً شعوراً بـكبير المساحة، وخاصة عند انعكاس ضوئها من على جدران الحمام الصقلية.

تتم عادة في الحمامات أعمال العناية بالشعر وبالبشرة، خاصة للسيدات، وهذا يتطلب أن تكون الإنارة أمام المرأة خالية من الأخيلة، سلية إلى أبعد الحدود، تظهر الوجه والألوان على حقيقتها قدر الإمكان، لذلك تكون أجهزة الإنارة المستخدمة خالية من اللمعان وذات عامل إظهار جيد للون المصايبح لائق عن ٨٠ وتوضع في مكان لا يتسبب بالأخيلة، ويفضل أن تكون فوق المرأة أو على كلا جانبها، أو على أحدهما. وتكون الإنارة المثالية أمام المرأة، التي تظهر الأشخاص على طبيعتهم هي بأجهزة إنسارة من الفلوريسبانت ذات اللون الضوئي الأبيض الحر بغضاء من الزجاج الأبيض، فهذه الأجهزة ستقلل من تشكيل الأخيلة وستغطي مساحة أكبر بالضوء.

إن إنسارة الصباح المفضلة هي ذات لون أبيض، ودرجة حرارة اللون أكبر من K. ٣٣٠٠. وإنارة المساء دافئة ذات درجة حرارة لون أقل من K. ٣٣٠٠.

ولقد أوصى النظام DIN VDE في تعليماته باستخدام أجهزة إنسارة مختلفة في الحمامات، وخاصة لكل جزء تتم فيه فعالية مختلفة، إنسارة عامة لـكامل مساحة الحمام وأخرى خاصة أمام المرأة، وثالثة لموضع الاستحمام ورابعة للـ WC ... إلخ.

يجب الانتباه في أجهزة إنارة الحمامات، ونظرًا للرطوبة العالية التي قد تتشاءف فيها، الأخذ بالحسبان درجة حمالية عالية لهذه الأجهزة، بحيث لا تسمح لدخول بخار الماء إلى داخلها فتتسبب بالكهرباء. كذلك فإن تركيب جهاز إنارة قريباً من أمكنة الإستحمام أو تواجد الماء بعد أمراً في غاية الخطورة، لذلك يجب قدر الإمكان العمل على تركيب أجهزة إنارة كثيمة لا تسمح بدخول الماء وبخاره إليها وبعيدة قدر الإمكان عن وصول الماء، وخاصةً المرشوش منه.

#### ١٤-١٣ - إنارة غرف الأبناء (الأطفال واليافعين):

إن غرف الأبناء في المنازل ليست في الحقيقة المكان الذي يأوون فيه إلى النوم فقط، إنها الأماكن التي يجلسون فيها مع أنفسهم وحديدين أحياناً، ويلهو الصغار منهم فيها بألعابهم، وكذلك يتजاذب فيها الكبار منهم الأحاديث والقصص، يكتبون وظائفهم المدرسية ويراجعون فيها دروسهم. ومن أجل تحقيق المتطلبات الضوئية السليمة ولالازمة لما سبق يجب أن يكون هناك إنارة مدرسوة ومتكاملة لمثل هذه الغرف، آخذين بعين الاعتبار عدة عوامل آمان إضافية، تكون مستخدمة بهذه الغرف من الفئة العمرية التي لا تزال غير مدركة لكل المحاذير والمخاطر من سوء استخدام أجهزة الإنارة.

المسألة الأولى المتوجب مراعاتها هي تجنب حدوث لمعان في الغرفة نظراً لحساسية أعين الأطفال. إن هذا يقتضي تجنب استخدام أجهزة الإنارة غير المحجبة (التي ليس لها ناثر)، مثل مصابيح الهالوجين من دون ناثر، وما شابه.

المسألة الثانية هي ضرورة وجود ضوء للإنارة الليلية. إن هذه الإنارة تكون في كثير من الأحيان ضرورية جداً، وخاصةً للأطفال فهي تبعد عنهم خوف العتمة وتشعرهم بأنهم ليسوا بمفردتهم في الغرفة وتبقى الموجودات في الغرفة شبه مرئية تؤنس وحدتهم قبل النوم. تسمح الإنارة الليلية لكثير من الأطفال واليافعين بالذهاب، مثلاً، إلى الحمام ليلاً دون إشعال إنارة الغرفة القوية، التي قد تمنعهم من العودة للإغفاء والنوم مجدداً. يوجد الكثير من الإلارات الليلية، منها المصابيح ذات الاستطاعات المنخفضة، أو تلك المتحركة والتي تعذى من خلال المأخذ.

من الضروري جداً إبعاد أجهزة الإنارة عن متناول أيادي الأطفال قدر الإمكان، بحيث تكون، مرتغعة وبعيدة لاتصل إليها أياديهم وتتسبب بخطر التكهرب على حياتهم. ويجب ألا تغطى أجهزة الإنارة بأي مادة قابلة للاحتراق كالقماش وما شابه.

توضع إنارة مركزية سقفية في الغرفة تعطي الإنارة العامة بسوية إنارة جيدة بين LX ٣٠٠ و LX ٥٠٠. وتوضع أجهزة إنارة أخرى موضعية في أي مكان خاص آخر، كطاولة المكتب أو الحاسوب مثلاً. يفضل أن تكون الإنارة المركزية من النوع القابل للتحكم بشدة وإنارته. فعد إطعام الأطفال الصغار ليلاً يعمل لتكون شدة الإنارة منخفضة، فإنارة عالية ستشعر الطفل بأن النهار قد بدأ ولن يخلي بسهولة للنوم مجدداً.

يوضع لإنارة طاولة الكتابة أو الحاسوب جهاز إنارة يعطي نوراً بشكل غير مباشر، بحيث يمنع حدوث اللمعان، تماماً مثل أي طاولة كتابة أو عمل. لهذه الغاية يمكن وضع إنارة فلوريست أو فلوريست مدمج إلى جانب الطاولة أو أعلىها تعطي إنارة غير مباشرة. يفضل أن تكون جميع المأخذ في غرف الأطفال محمية من دخول أي جسم غريب فيها. فالأطفال بحكم فضولهم يدفعون بقطع معدنية في فتحات المأخذ فيؤدي بهم إلى التكهرب، ونظراً لمقاومة أجسامهم الضعيفة للتيار الكهربائي فإن الصدمة الكهربائية لهم ستكون مفعمة وقاتلة.

#### ٤-٤-١٤-٢: إنارة غرف النوم:

يقضي الإنسان حوالي ثلث عمره في غرفة النوم. إن هذه الغرفة الخاصة جداً، هي للتخلص من تعب النهار وللراحة الجسمية والنفسية.

تحتاج غرفة النوم مثل أي غرفة أخرى لإنارة مركزية عامة يتم إشعالها مباشرةً عند الدخول للغرفة. يجب على هذه الإنارة أن تثير الغرفة كاملةً بما فيها الخزن والأسرة (أو السرير) والأرض بشكل جيد. كما تحتاج غرفة النوم إلى إنارة موضعية أخرى للأسرة. فإذا كانت الغرفة بسريرين فيتم وضع ضوء خاص بكل سرير، بحيث يمكن لأحد الأشخاص أن يقرأ في كتاب مثلاً، من خلال جهاز إنارته الخاص به، حيث الشخص الآخر نائم وإنارته مطفأة. تكون إنارة كل سرير من خلال جهاز إنارة قابل للحركة، يحركه الشخص بالاتجاه الذي يريد. استطاعة هذا الجهاز تكفي لتكون ٢٠ W فقط من الهالوجين ذي التوتر الضعيف. يثبت هذا

الجهاز في مكانٍ ما، أعلى أو إلى جانب السرير. ويكون لكل جهاز إنارة مفتاح تشغيل مستقل في موضع قريب من الشخص، يطفئه وهو موجود في السرير ثم ينام. ويفضل أن تكون إنارة السرير من النوع القابل للتحكم بشدته، بحيث يمكن لمستخدمه تقوية الإنارة أو تخفيتها إلى الحد الذي لا يزعج الآخرين النائم ويمكنه من القيام بالقراءة، مثلًا.

إذا سمحت مساحة غرفة النوم فيمكن وضع أريكة مريحة خاصة للمطالعة، مع إنارة خاصة بها. في هذه الحالة يمكن وضع جهاز إنارة من النوع الواقف على الأرض والقابل للحركة. من أجل رؤية وتبديل الثياب من الخزن في غرفة النوم يمكن وضع إنارة سقفية موجهة من الهالوجين على الخزن أو حتى في داخلها.

توجد عادةً في غرف النوم مرآة تستخدم بشكل رئيسي في معالجة وتحصيل البشرة، ولل استخدامات الأخرى. ومن أجل إنارة هذه المرأة على الشكل الأمثل يتوجب وضع جهاز إنارة خاص بها من النوع الذي يظهر الألوان بشكل جيد، وفي مكان لا يتسبب باللمعان. يمكن لهذه الغاية استخدام إنارة من الفلوريست أو الهالوجين توضع على الجدار إلى جانب المرأة أو في أعلىها، أو يوضع جهازان على كلا جانبيها.

#### ١٤-١٥ - إنارة الغرف ذات الاستخدامات الخاصة في المنازل:

كثير من المنازل تحتوي على غرفة واحدة أو أكثر إضافةً لغرفة المعيشة وغرفة النوم وغرف الأولاد. وتستخدم هذه الغرفة في الغالب لتكون لأحد أفراد الأسرة كغرفة مكتب خاص به أو لممارسة هواياته أو غرفة معيشة أخرى تحوي طاولة عمل وجهاز حاسوب وكل ما يلزم، أو جهاز ممارسة رياضة أو أماكن يتم فيها تصنيع أو تصليح أشياء كهواية لأحد أفراد الأسرة ... إلخ. فالأعمال في هذه الغرفة تتشابه تقريبًا مهما كان مستخدموها.

فمن أجل الاستخدامات المكتبية يكون الشرط الأساسي في إنارة الغرفة هو إنارة فاتحة اللومنالية من اللمعان. وكذلك من أجل أعمال ممارسة الهواية.

يتوجب أن يكون لهذه الغرفة إنارة عامة بسوية بين ٣٠٠ LX و ٥٠٠ LX. تكون الإنارة فيها منتظمة وموزعة على كامل مساحة الغرفة، بحيث لا يكون هناك تباين في الضوء بين موضع آخر في الغرفة يؤثر سلبًا على النظر. أما إذا تتطلب العمل في هذه الغرفة أعمالًا دقيقة، مثل

تصليح القطع الإلكترونية مثلاً فيجب أن تكون سوية الإنارة في هذه الحالة أعلى بكثير، كما سبق وذكر في جدول سويات الإنارة المطلوبة للأعمال والفراغات المختلفة.

من الممكن أن تتم إنارة طاولة المكتب بإنارة مستقلة، كذلك المماثلة لها في غرفة المعيشة تماماً. كما يمكن وضع إنارة خاصة بكل موضع عمل في هذه الغرفة بسوية الإنارة المطلوبة.

#### ١٤-١٦-٢ - إنارة الشرفات:

تعد الشرفات في البلاد المشمسة جزءاً هاماً من أجزاء المنزل. إنها بمثابة غرفة معيشة أخرى لكثرة استخدامها والاستفادة منها، خاصة في المساء. إن إنارة جيدة للشرفات ستجعلها تبدو أكبر، وإنارتها في أيام الشتاء ستساعد في إظهار شكل جميل للمنزل أو البناء. وتستخدم الشرفات لأغراض شتى، تماماً مثلاً تستخدم غرف المعيشة، لذلك ينصح في إنارة الشرفات أن تكون الإنارة من النوع القابل للتحكم بشدتها، بحيث يتم تقوية وتخفيض شدة الإنارة وفق الحاجة، على سبيل المثال إنارة قوية لقراءة في كتاب أو تصفح جريدة، إنارة أخفض لجلسة في سهرة هادئة، أو أخفض أكثر لجلسة رومانسية. إنارة الشرفات ينصح باستعمال إنارة ساقية أو جدارية ثابتة فقط، من النوع المشع أو الموزع للضوء. من المناسب استخدام أجهزة إنارة الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج، فهي ذات مردود ضوئي جيد وتعطي إنارة كافية. وبفترض تركيب أجهزة الإنارة في أمكنة لا تصل إليها مياه الأمطار المتتسقة ولا توثر عليها الرياح، وإن لم يكن كذلك فيجب أن تكون الأجهزة من النوع المحمي من دخول الماء إليه، والمحتملة لعوامل الطقس هذه (درجة الحماية على الأقل يجب أن تكون IP44). ومن المفيد الانتباه لأنعكس الأشعة الضوئية إلى داخل المنزل عبر باب الشرفة الزجاجي مثلاً، فتتسبب بالإزعاج، كما يجب ألا تتسبب بالللمعان، أو سواه.

#### ١٤-١٧-٢ - إنارة مداخل الأبنية:

إن جهاز الإنارة الموضوع في مداخل الأبنية والبيوت السكنية هو عملياً جهاز إنارة خارجي، لأنه سينتشر بعوامل الطقس الخارجية، أضف إلى ذلك بأن هذه المداخل قد تكون غير مسقوفة مما قد يتسبب بذلك بسقوط مياه الأمطار على الجهاز بشكل مباشر. فإذا كان المدخل غير

مسقوف أو غير محمي من عوامل الطقس الخارجية فيفضل طبعاً اختيار أجهزة إنسارة من النوع المناسب لتحمل العوامل الخارجية (درجة الحماية على الأقل IP 44).

يتوجب على جهاز الإنارة الخارجي بشكل رئيس أن يدل على باب المنزل وبعض تفاصيله الهامة في الاستخدام كمسكة الباب ومكان وضع المفتاح، على الأقل. وإذا كان للمنزل رقم يميزه عن سواه فيجب أن تستطيع الإنارة إظهار هذا الرقم، أو وضع إنارة خاصة أخرى بذلك، وهذا كافٍ لأن فترة المköوث أمام الباب هي في العموم قصيرة جداً، وبالتالي يوجد هناك العديد من الاختيارات في اختيار نوع الإنارة وشكل الجهاز، على أن تفي هذه جميعها بالغرض المطلوب.

#### ١٨-١٤-٢-إنارة المتاحف والمعارض الفنية:

إن التصميم الضوئي في غرف المعارض والمتاحف يتعلق بعوامل عديدة جداً، منها الشكل المعماري للأبنية، الذي يتوجب على الإنارة أن تتسمج معه، وأبعاد وشكل الغرفة أو الفراغ الداخلي وموارد المعارض، وجود نوافذ، وتأثير ضوء النهار، وأهم شيء هو نوع المعروضات المراد إضاءتها.

من أجل تصميم الإنارة هذه فإنه يوجد العديد من العوامل المتعلقة بالإنارة بحد ذاتها، والتي يتوجب التفكير فيها عند وضع التصميم، أهمها: شكل ونوع أجهزة الإنارة، شدة إضاءتها ومنحني توزع الإنارة لها، أو شكل حزمة إضاءتها، لون الإنارة ونوعها. ولعل الأهمية القصوى المتوجب إيلاؤها العناية الخاصة عند دراسة الإنارة (الإضاءة) في المعارض والمتاحف هي في كيفية الحصول على الحالة الفنية اللازمة أو خلق الشعور والإحساس الفني المطلوب من خلال التفاعل والتتاغم بين الضوء والخيال ومادة العرض، خاصةً عندما تكون ثلاثة الأبعاد، كأعمال النحت أو المجسمات أو الماسكات ... إلخ.

يتم إلارة غرف المتاحف عادة بإلارة موزعة أو منتشرة وأخرى موجهة. والإلارة الموزعة هي عبارة عن الإنارة العامة للمكان. والإلارة الموجهة، وهي الخاصة، التي تسلط على المعروضة (Object). إن خليط كلا الإضاءتين معاً يحدد قساوة أو ليونة الأخييلة الناشئة عن إطارات الصور والمنحوتات وجميع المجسمات الأخرى المعروضة. كما أن هذا الخليط هو المسؤول عن الانطباع البصري الضوئي لكامل الفراغ أو الغرفة.

إن إلارة كل فراغ تحدد درجة الوضوح في كل جزء من مساحته. ومن النادر أن تكفي هذه الإلارة وحدها في المتاحف والمعارض. أما الإلارة المسلطية على المعروضات فإنها على العكس قد تكفي أحياناً بمفردها وتفي بالغرض في الغرف الصغيرة والمنارة من الخارج بشكل جيد، حيث يتم الاستغناء عن الإلارة العامة.

إن الإلارة القوية المسلطية على المعروضات تظهر خصوصياتها، حيث تكملها الإلارة الخفيفة العامة في الغرفة لظهور زوايا من المعروضات قد أخفتها الضوء المسلط. فإن إلارة وحيدة موجهة من دون وجود الإلارة العامة تعد حالة خاصة جداً في العرض. والقاعدة العامة تقول لا يمكن الحصول على الانطباع الفني اللازم إلا من خلال كلا الإضاءتين معاً، العامة الموزعة والخاصة الموجهة على المعروضة، مع الأخذ بالحسبان أن لا يؤثر الضوء الموجه على معروضة معينة على معروضة أخرى فيسيئ لإضاءتها، وما ينبغي أن يبرز منها أكثر، بمعنى آخر يجب أن يبقى تأثير أي ضوء مسلط ضمن حدود معروضته فقط، إلا إذا كان المطلوب غير ذلك.

من أجل الإلارة العامة الموزعة يمكن استخدام إلارة سقفية، كالفلوريسنت، مثلاً، بناثر زجاجي، أو استخدام أجهزة إلارة سقفية أو جدارية غير مباشرة، من الهالوجين أو الفلوريسنت. وللإلارة الموجهة يمكن استخدام أجهزة إلارة من النوع الموجه النقطي (جهاز إلارة يشع إلارة ذات مقطع دائري بقطر إشعاع صغير نسبياً، أو زاوية إشعاع ضوء صغيرة)، حيث يتم توجيه الإلارة بحرمة مناسبة بشكل مباشر على المعروضة، وبحسب حجم هذه المعروضة وما سيبرز منها، كلها أو أجزاء منها، وإذا كانت المعروضة المجسمة ذات سطوح غير مستوية فإن إضاءتها ستتسبّب في بعضِ من جوانبها بحدوث أخيلة. هذه الأخيلة قد تكون ذات مفعول إيجابي تساعد في إظهار البعد الثلاثي للمجسم، وقد تكون ذات مفعول سلبي في المجسمات الكبيرة المساحة. وكثيراً ما يتم تسلیط أكثر من إلارة على مجسم بغية إظهار أكثر من جانب له. وفي أي من الحالات يبقى موضوع توجيه ضوء أو أكثر على معروضة، وكذلك جهة التوجيه وشدة الإلارة على عائق المصمم الفني فقط، لأن هذا الأمر هو فني جداً وبالكاد يخضع لاعتبارات تقنية بحاجة لتدخل مهندس إلارة. مع العلم أن توجيه إلارة قوية على لوحات فنية لمدة طويلة من الزمن أمر غير محبذ أبداً، بسبب احتمال

تأثير الضوء على اللوحات الفنية وتفاعل بعض الألوان المستخدمة مع الضوء، إضافةً إلى إمكانية تأثير مادة اللوحة نفسها أيضاً بالضوء.

#### ١٩-١٤- إنارة المسارح:

إن إنارة المسارح بالشكل المطلوب هي حالة خاصة جداً من حالات إنارة الفراغات الداخلية؛ فالمسرح يمكن تقسيمه إلى قسمين منفصلين عن بعضهما تماماً من حيث الإنارة. القسم الأول، والذي يمثل مقاعد الجمهور والمرات. والقسم الثاني الذي يمثل منصة المسرح. وعند استخدام المسرح للعرض المسرحي فقط، تعمل إحدى الإناراتين فقط. تضاء الصالة في البدء لدخول الجمهور إلى القاعة، وعند بدء العرض تطفأ أنوار الصالة وتعمل أنوار المنصة ليشاهد الجمهور العرض المسرحي.

نتم إنارة صالة المسرح بإنارة عامة، تكون عادةً على السقف أو في السقف المستعار. وتكتفي سوية الإنارة هنا ليتعرف الحضور على مقاعدهم وقراءة نص التعريف بالمسرحية، ليس أكثر. فهذه الإنارة تعمل في بداية ونهاية العرض المسرحي فقط، أي لتمكين دخول وخروج المشاهدين. كما يفضل أن يكون للمرات بين المقاعد إنارة خافتة ضعيفة، توضع على حواجز المرات يستطيع المشاهد من خلالها الاستدلال على الطريق، إذا أراد هذا التحرك والخروج بسبب طارئ أثناء العرض المسرحي وأضواء الصالة مطفأة.

يمكن لإنارة الصالة استخدام الفلوريست أو الفلوريست المدمج، أو أي إنارة متعددة أو مختلطة، وبأشكال مختلفة أيضاً تناسب ديكور المسرح.

أما إنارة منصة العرض فإنها تكون وفق الاحتفالية المسرحية أو النص المسرحي، ولا تخضع على الإطلاق لأي قاعدة. يجهز السقف فوق منصة المسرح وأمامها بالكثير من أجهزة الإنارة من النوع القابل للتوجيه والحركة عن بعد، ومنها ما يمكن تغيير شدة إضاءته وألوان إضاءاته أيضاً. ويعمل فني إنارة مختص أثناء العرض المسرحي على إطفاء وإشعال وتغيير توجيهه أجهزة الإنارة بما يتوافق مع النص المسرحي. وتكون هذه الإنارة عادةً من المشعات، أو البروجكتورات الموجهة بمختلف أشكال بثها للضوء، بحجم ضيقة أو عريضة وفق الطلب.

من الهام جداً في جميع القاعات التي تستخدم لاحتفاليات جماهيرية كبيرة، وبالخصوص الاحتفاليات المسائية منها، دور السينما والمسرح وماشابهه، أن يتواجد فيها أكثر من مخرج

(مخارج نجاة)، وخاصةً للكبيرة منها، لذلك يجب أن يبقى ما يشير إلى مكان وجود هذا المخرج فيتم وضع جهاز إنارة في مكانٍ ما فوق باب المخرج، أو إلى جانبه وذي سوية إنارة منخفضة نسبياً، مكتوب على ناثر الجهاز كلمة مخرج بالعربية أو الإنكليزية، وأحياناً مع سهم يشير إلى اتجاه الباب. هذه المخارج تستخدم لخروج المشاهدين عند نهاية العرض أو في حالات الطوارئ. وكلما كبرت قاعات الجمهور، كلما زاد فيها عدد أبواب أو مخارج الطوارئ، أو النجاة، خشية تدافع الحضور أثناء الخروج من باب واحد، وخاصةً، عند حدوث طارئ ما في القاعة، كحرائق مثلاً.

٤-١٥- مثال عملي في تصميم الإنارة لمحل تجاري (بوتيك Boutiques) [٧]:  
إن البوتيك ك محل تجاري له خاصيته من حيث المواد المعروضة للبيع. فهذه المواد تخص حصرًا الاستخدامات الشخصية للأشخاص، الرجال منهم والنساء، وأحياناً الصغار أيضًا. ومواده هي، بشكل عام، ألبسة وأحذية وإكسسوارات أخرى، كالأحزمة وأدوات الزينة، وأحياناً العطور، وما شابه مما يحتاجه الأشخاص للاستخدام الشخصي الجسدي حصرًا. وجميع هذه الأشياء، مما سيضعه الأشخاص على أجسادهم يكتسب بالنسبة إليهم أهمية خاصة، لأنه يعبر بطريقة أو بأخرى عن مكونات شخصيتهم، حسبما يدعى أخصائيو علم النفس. إنه أيضًا للاستخدام المرئي أو المتنكر أو كليهما معاً، وليس، على سبيل المثال، كالمواد الغذائية، التي تشتري و تستهلك لمرة واحدة، أو كالأدوات التي تستخدم ضمن أماكن خاصة، مثل الغسالة أو أدوات المطبخ، وما شابه .

إن الأشخاص، على وجه العموم، مزاجيون جداً في انتقاء ما يعتقدون أنه يليق بهم ولهم، وتختلف أحاجيتهم في ذلك كثيراً، لذلك يتوجب على معرضات البوتيك أن تظهر في غاية الجمال والروعة، وتبدي سوية عالية في الأنقة والتوعية. إن هذه المنتطلبات العالية من بضائع البوتيك تحمل مصمم الإنارة لمعروضاته مسؤولية كبيرة جداً، حتى يمكن القول: إن إنارة بوتيك بالشكل الأمثل هي من أصعب مهام الإنارة على الإطلاق.

تعد الإنارة لمحلات البوتيك وما يشبهها من المحلات التجارية المتخصصة ببيع الأشياء الشخصية أمراً على غاية الأهمية من ناحية التسويق التجاري. إنها تتطلب خبرة ممتازة ومهارة عالية؛ فالإنارة يجب أن تظهر بالدرجة الأولى والأخيرة جاذبية المواد المعروضة

للبيع من الألبسة والأحذية ومتهمات شخصية أخرى، كمواد الزينة والعلفورات والإكسسوارات النسائية الأخرى، ويتحمل المصمم ودارس الإنارة مسؤولية كبيرة. في البدء يمكن القول، وبشكل عام: إن سوية أو شدة الإنارة على البضائع أو المعروضات تزداد بازدياد نوعية وقيمة هذه البضائع أو المعروضات، ف تكون تلك ذات النوعية الفاخرة، والموضوعة أصلاً في مكانٍ مميز من صالة البيع، منارة إنارة عالية وملفتة للنظر. إن مثل هذه البضائع أو المعروضات يجب أن تلفت النظر إليها من ناحيتين، الأولى هي مكانها المميز، والثانية هي إنارتها المميزة أيضاً. ويعد معظم الباعة إلى عرض بضائعهم التي يريدون التخلص منها بسرعة بنفس الطريقة أيضاً. وعندما نتكلم عن إنارة مميزة وعلية، فهذا يعني بالتأكيد أن تكون الإنارة المحيطة بها (المحيطية) منخفضة، أو أقل سوية منها بكثير، ولكن ضمن الحدود المقبولة، لإظهار تميز المعروضة، أو المعروضات، ذات النوعية العالية. تكون عادة كثافة الإنارة المحيطية بحدود  $15\text{ W/m}^2$ . وهي عادة الإنارة العامة الموزعة. بينما يمكن أن تصل كثافة الضوء على البضاعة المميزة حتى  $60\text{ W/m}^2$ . وتكون هذه موضوعية، موجةً ومركرة.

ويمكن كذلك استخدام إنارة تزيينية مثيرة أو استفزازية، مثل الإنارة الملونة، على أن تكون هذه ضعيفة الإشعاع، بحيث لا تغطي على إنارة المعروضات بشكل عام، ولا على إنارة معروضات النوعية العالية بشكل خاص، بحيث لا تستقطب إنارة الزينة كل اهتمام الزبائن. يتكون البوتيك عادةً من مدخل خاص به أو أكثر، ومن واجهة واحدة أو أكثر، بالإضافة إلى عدد كبير من الرفوف المتوضعة عليها البضائع. وبحسب حجمه، فإنه قد يحتوي على طاولة واحدة أو أكثر لخدمة الزبائن ولعرض البضاعة، حيث يقف خلفها بائعُري ويفرد المعروضة للزبون بتفاصيلها. وتحتوي البوتيك، كما في جميع المجال التجاري، على طاولة للمحاسبة. وقد يحتوي أيضاً على زاوية منه لقياس وتجريب الألبسة، أو على خزانة بمثابة مستودع لكل ما يزيد التاجر عدم إظهاره أمام الزبائن. كما يحتوي بعض البوتيكات أيضاً على أماكن لتعليق الألبسة والثياب المعروضة للبيع.

سنعمل فيما يلي على دراسة إنارة محل تجاري (بوتيك) بأشكال وطرق مختلفة كنماذج للإطلاع، من حيث أنواع أجهزة الإنارة المستخدمة وتوزع هذه الأجهزة، آخذين بالحسبان أماكن تواجد المعروضات أو البضائع.

يتكون المحل التجاري (البوتيك)، كما يبين الشكل (٢-٨٠)، من فراغ واحد (غرفة واحدة) مستطيل الشكل. يحتوي على واجهة واحدة وباب واحد من جهة الشمال (أعلى الصفحة، أو الشكل)، ورفوف على الجانبين الأيمن والأيسر، بالإضافة إلى طاولتين دائريتين مرتفعتين نسبياً لخدمة الزبائن، كما يحتوي على طاولة منخفضة لعرض البضائع أيضاً. وعلى الجهة اليمنى، أمام الرفوف توجد طاولة تتوضع عليها آلة المحاسبة (الصندوق) (Cashier). الزاوية الخلفية اليسرى من المحل، بمقابل الباب مخصصة كمكان لوضع بضائع غير معروضة للبيع، (مستودع)، يمكن أن يكون، مثلاً، لمرجعات، أو لأي استخدام آخر، يراد له أن يبقى في الظل، أو شبه معتم، فليس للزبون في هذا الموضوع ما يبحث عنه. الأشكال على اليمين تبين أجهزة الإنارة، وكيفية توضعها أو تركيبها على، أو في السقف، العادي أو المستعار، وبعض مواصفات هذه الأجهزة.

الجدول (٢-٢٠) التالي يبين رموز وسميات أجهزة الإنارة المستخدمة في جميع الحالات.

الجدول (٢-٢٠) رموز وسميات أجهزة الإضاءة المستخدمة في جميع الحالات

رمز جهاز الإنارة	خاصية جهاز الإنارة
	جهاز إنارة ذو إنارة ساقطة (جهة الإنارة إلى الأسفل)
	مشع (سبوت) ضوئي قابل للتوجيه بضوء مباشر
	سبوت ضوئي ضمن السقف المستعار قابل للتوجيه
	سبوت إنارة قابل للتوجيه مركب على سكة
	جهاز إنارة، مصباحه (المبة) من الفلوريسنت
	جهاز إنارة مربع الشكل (عادةً: فلوريسنت: W٤١٨)
	نفس الجهاز السابق مع دارة طوارئ
	جهاز إنارة من الفلوريسنت بإنارة غير مباشرة (معكوسة)

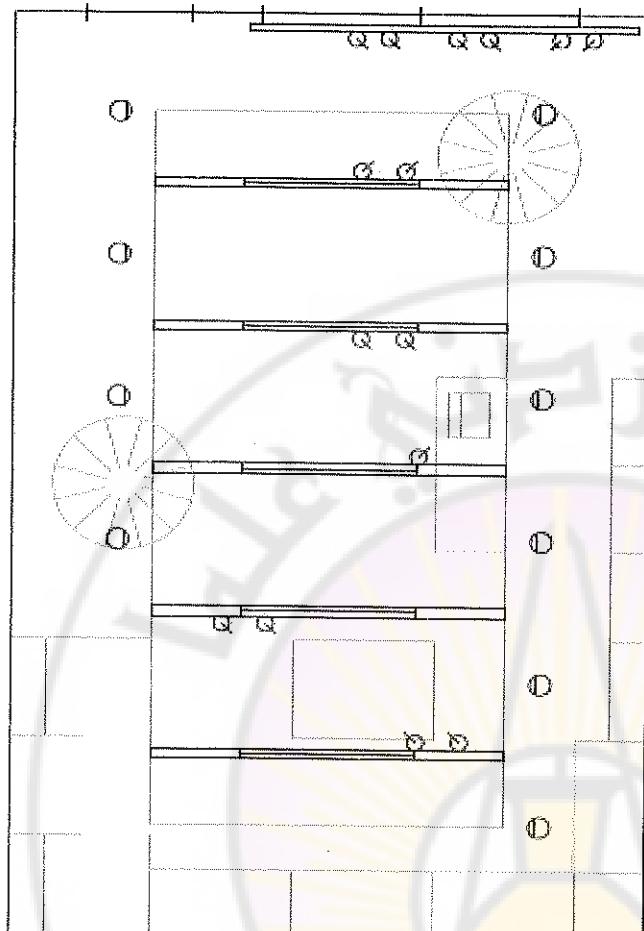
## ١- الحالات الأولى:

تثار الواجهة بواسطة سبوتات (برجكتورات أو مشعات) موجهة من مصابيح الهالوجين ، مثبتة على سلك خاص بها. يسقّط من هذه السلك في تغيير مواضع أجهزة الإنارة حسب تموير المعروضات في الواجهة. إن هذا النوع من السبوتات، كما تبين الأشكال، قابل للتوجيه حسب الطلب أيضاً. يمكن توجيه السبوتات بشكل مباشر إلى المعروضات أو بشكل غير مباشر.

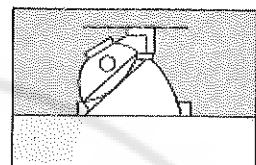
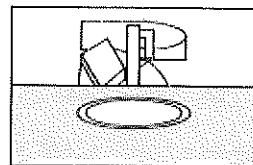
إن الإنارة العامة أو الموزعة داخل المحل تتم هنا من خلال أجهزة فلوريستن طويلة ذات إنارة غير مباشرة موجهة إلى السقف، متوضعة بشكل عرضي. أما إنارة المعروضات ضمن المحل فتتم من خلال أجهزة إنارة مشعات متوضعة على سلك مشابهة لتلك المصببة للواجهة، بشكل متوازي عرضي، حيث يمكن إزاحة أجهزة الإنارة وتوجيهها إلى أي موضع من المكان. وتكون هذه الأجهزة من نفس نوعية تلك المستخدمة في الواجهة. تتوضع إنارة الفلوريستن التي تعطي ضوءها إلى الأعلى ضمن أنبوب. وتركب المشعات على نفس هذا الأنبوبي. أما إنارة الرفوف (إنارة المحيطية) فتتم من خلال إنارة موجهة من سبوتات تتوضع في السقف المستعار، وتكون هذه من الهالوجين أو الصوديوم ذي الضغط المرتفع أو الميتال هاليد.

يكثّر في مثل هذه الأنواع من الإنارة استخدام مشعات هالوجين تعمل على التوتر المنخفض (٢٤٧ أو ١٢٧)، لأنها أكثر توفيراً للطاقة وتفّي بالغرض المطلوب.

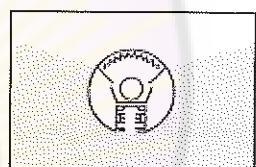
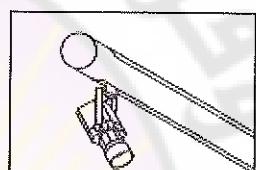
الأشكال من (٨١-٢) وحتى (٨٣-٢) التالية تبين عملية الإنارة في هذه الحالة، وتوزع الأجهزة في السقف، وأشكال ونوعية هذه الأجهزة بالإضافة لمنظر جانبي وبعض أجهزة الإنارة، يلاحظ من توزع أجهزة الإنارة كيفية المحافظة على ترتيب معين لها على السقف، وكيفية توجيه إنارتتها على الرفوف وأماكن العمل. كما يلاحظ بقاء الزاوية الخلفية اليسرى من المحل شبه مظلمة.



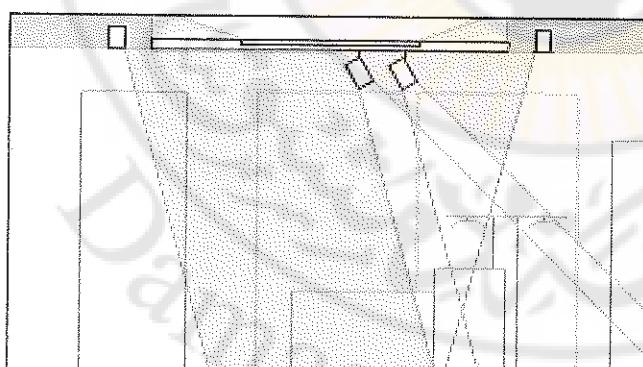
الشكل (٨١-٢) توزع وتوضع أجهزة الإنارة في السقف



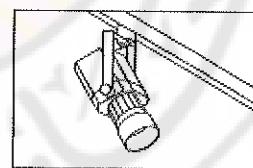
أجهزة إنارة موجهة ضمن سقف مستعار بمصابيح من الهاالوجين أو الميتال هاليد أو الصوديوم بالضغط المرتفع



نظام إنارة عبارة عن جهاز فلوريسنت بإضاءة غير مباشرة (مغكوسه) مدمج مع سبوت مركب على سكة



الشكل (٨٣-٢) منظر جانبي وبعض أجهزة الإنارة المضاءة



سبوت متحرك وقابل للتوجيه مرکب على سكة

الشكل (٨٢-٢) أجهزة الإنارة المستخدمة

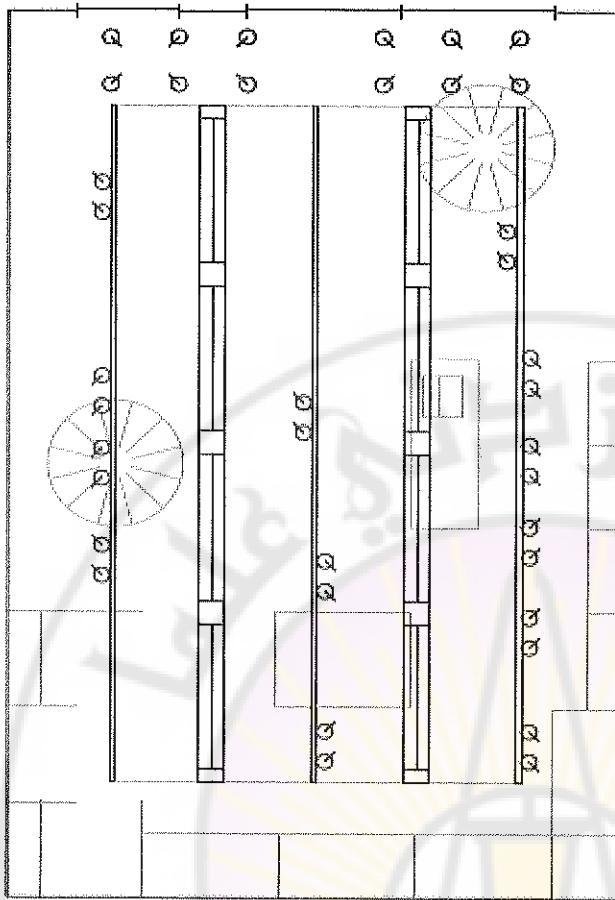
## - ٢- الحالة الثانية:

الأشكال (٨٤-٢) و (٨٥-٢) تبين توزع أجهزة الإنارة على السقف ومنظر جانبي للغرفة المضاءة وأشكال ونوعية أجهزة الإنارة المستخدمة.

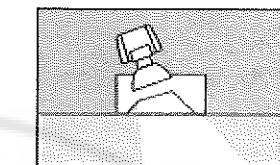
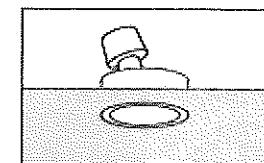
لقد تم في هذه الحالة إنارة واجهة البوتيك، كمدخله بواسطة ستة سبوتات إنسارة سقفية موجهة، متوضعة ضمن السقف المستعار على صفين، في كل صف ثلاثة أجهزة. تكون عادة هذه السبوتات من الهالوجين ذوات التوتر المنخفض. ويمكن توجيه إإنارتها لتكون مباشرة على المعروضة، أو غير مباشرة. وقد ارتأى المصمم وضع ستة أجهزة متماثلة ومتناهية لإنسارة المدخل ليحافظ على تناسق وترتيب معين.

لقد نمت عملية إنسارة الصالة، إنسارة عمومية، بواسطة صفين (حبلين) مترازبين، طوليين، من أجهزة الفلوريسنت الطويلة، التي تعطي إنسارة غير مباشرة، موجهة على السقف. هذه الأجهزة مركبة بالسقف بشكل معلق. أما من أجل المعروضات فقد تم إضاءتها بإنسارة خاصة عبر سبوتات مركبة على ثلاثة سكك طولية أيضاً وموازية لحجال الفلوريسنت، بحيث يمكن تحريك السبوت الواحد إلى أي موضع على السكة وتوجيهه حسب موضع المعروضة. ويلاحظ في الشكل تمركز السبوتات الضوئية بمقابل واتجاه الرفوف وفوق طاولات خدمة الزبائن.

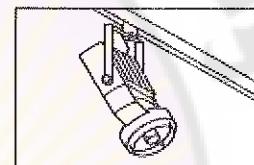
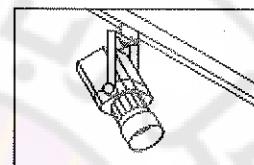
المنظر الجانبي للمحل وهو منار في الشكل (٨٥-٢) يبين شكل السقف المستعار وكيفية تركيب أجهزة الإنارة عليه، وأقواس الديكور في السقف، حيث تتوضع سبوتات الإنارة في نهايتي القوس وأجهزة إنسارة الفلوريسينت في منتصفه لتعطي ضوءها إلى الأعلى.



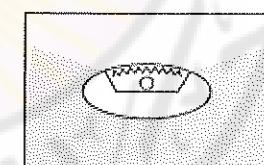
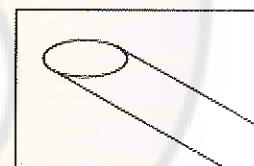
الشكل (٨٤-٢) توزع أجهزة الإنارة في السقف



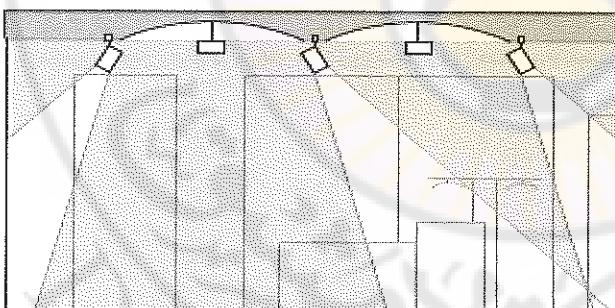
سيونات موجهة هالوجينية  
تعمل ببترنر ضعيف



سيونات مركبة على سكة



إنارة غير مباشرة  
(مكروسة) من الفلوريسانت



الشكل (٨٥-٢) منظر جانبي وبعض أجهزة الإنارة مضاءة

### ٣- الحالة الثالثة:

الشكل (٨٦-٢) يبين توزع أجهزة الإنارة على السقف وأشكال ونوعية أجهزة الإنارة المستخدمة.

لقد تم في هذه الحالة إلارة واجهة البوتيك من خلال ستة سبوتات إلارة سقفية موجهة متوضعة على سكة معدنية خاصة بها. هذه المشعات تكون إما من الهايوجين ذي التوتر الضعيف أو الميتال هاليد.

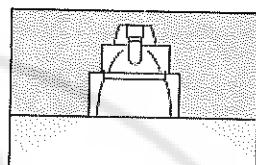
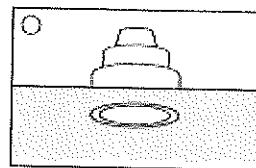
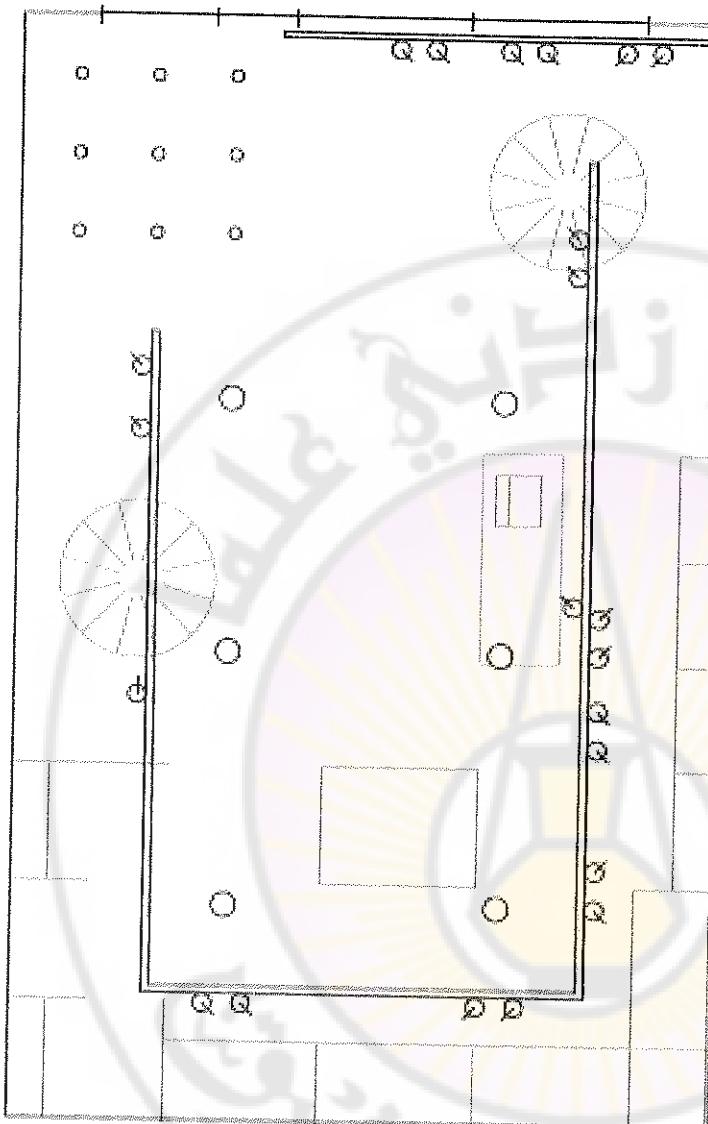
إلارة المدخل ضمن صالة المحل تتم هنا بواسطة ثلاثة صفوف من المشعات المركبة في السقف المستعار، وفي كل صف ثلاثة مشعات. يمكن لإلارة هذه المشعات أن تكون من نفس نوعية مشعات الواجهة.

تتم عملية إلارة الصالة، إلارة عمومية، بواسطة صفين متوازيين، طوليين، من مصابيح الميتال هاليد المخفية ضمن السقف المستعار. هذه الأجهزة موزعة ضمن المحل بشكل منتظر تقريباً، وعددتها ستة فقط.

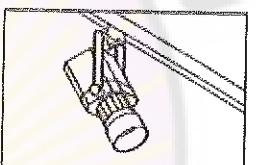
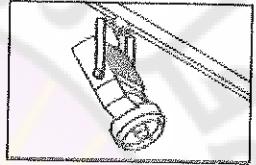
من أجل إلارة المعروضات فقد تم اختيار إلارة خاصة عبر سبوتات مركبة على ثلاث سلاك على طول محيط المحل، عدا واجهته. يمكن تحريك أي سبوت إلى أي موضع على السكة وتوجيهه حسب موضع المعروضة. إن السبوتات المستخدمة هنا لها نفس نوعية تلك المستخدمة في إلارة الواجهة.

يلاحظ في الشكل تمركز بعض السبوتات الضوئية قريبة من بعضها في أحد المواقع وبعيدة في مواقع أخرى. إن هذه المشعات هنا تدل على أن في هذا الموضع بضاعة ذات نوعية عالية ويراد أن تظهر وتتميز أكثر من سواها.

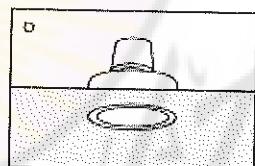
إن جميع أجهزة الإنارة في هذه الحالة تعطي ضوءاً مباشراً، فهو يكون إما باتجاه الأسفل، أو مسلطاً على المعروضات حصراً.



## أجهزة إثارة مخفية من الميالد هاليد



إِنْدَارَةً مُوجَهَةً مِنْ  
الْهَالُوْجِينِ بِتَوْتَرٍ ضَعِيفٍ  
أَوْ مِنْ الْمِيْتَالِ هَالِيدِ



جهاز إشارة هالوجين  
مخفي بتوتر ضعيف

الشكل (٢-٨٦) توزع أجهزة الإنارة على السقف وأنواعها المختلفة وأشكال تركيبها

#### ٤- الحالة الرابعة:

الشكل (٢-٨٧) يبين توزع أجهزة الإنارة على السقف وأشكال ونوعية أجهزة الإنارة المستخدمة.

لقد تم في هذه الحالة إنارة الواجهة في البوتيك، كالمدخل ضمن المحل من خلال أربعة سبوتات لكل منها، وكل منها مركبة على سكة معدنية خاصة بها. هذه المشعات تكون عادةً من الهالوجين ذي التوتر الضعيف.

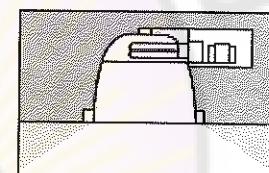
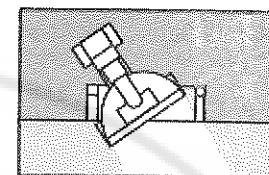
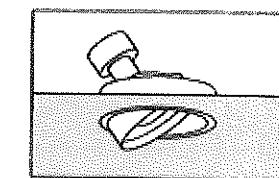
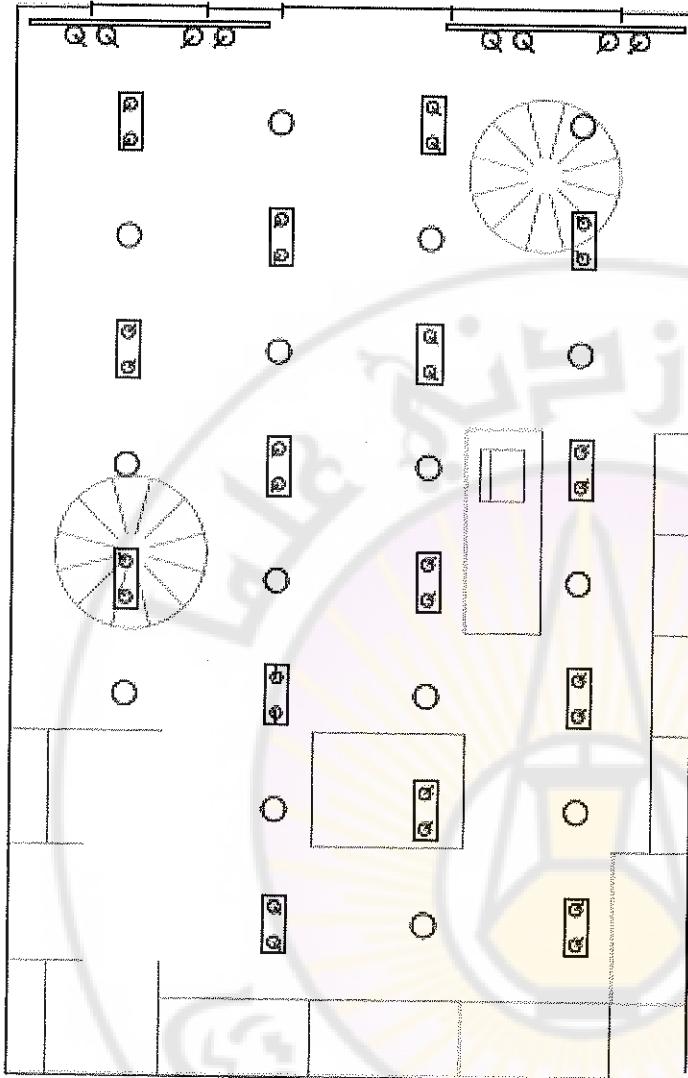
لقد تم وضع إنارة عامة وموزعة من خلال ثلاثة صفوف طولية من مصابيح الفلوريست المدمج، باستطاعات مناسبة، المركبة ضمن السقف المستعار، واستثنى الزاوية الخلفية اليسرى من المحل التي يراد لها أن تبقى في العتمة تقريباً.

ومن أجل إنارة المعروضات وإبرازها تم وضع مشعات إنارة بين كل جهازين من أجهزة الميتال هاليد. وقد اختار المصمم وضع زوج من المشعات إلى جانب بعضهما ضمن السقف المستعار، حتى ليبدوان وكأنهما جهاز واحد ذو لمبتنين، فشكلت المشعات ثلاثة صفوف طولية أيضاً في سقف المحل. ويمكن كذلك لهذه المشعات أن تكون من الهالوجين ذي التوتر الضعيف كتلك المركبة للمدخل وللواجهة.

يلاحظ في هذا الترتيب لأجهزة الإنارة مقارنة بسابقه، على سبيل المثال، إمكانية الحصول على سوية إنارة واحدة متجانسة وعالية لجميع نقاط المحل، طبعاً عدا عن الزاوية الخلفية اليسرى منه، إذا طلب ذلك. بينما في الترتيب السابق (الحالة السابقة) لم يكن بالإمكان الحصول على سوية إنارة عالية في منتصف المحل، مثلاً، نظراً لبعد المشعات الضوئية عن منتصف المحل. أي أن هذا الترتيب لأجهزة الإنارة، وبالأخص المشعات يسمح بعرض البضاعة عالية الجودة في أي موضع منه. كما يلاحظ في هذا الترتيب لأجهزة الإنارة عدم وجود سكك على السقف، إلا طبعاً أمام الباب في المدخل والواجهة، على عكس الترتيب السابق، الذي عُلق في سقفه المستعار سكك معدنية حاملة للمشعات على ثلاث جهات منه.

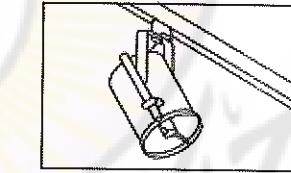
لقد تم الحفاظ هنا على شكل معين منظم للسقف المستعار لم تسيء إليه السكك.

لقد اختار المصمم هنا أن تكون إنارة جميع أجهزة الإنارة، كما في الحالة السابقة، إنارة مباشرة إلى الأسفل أو إلى المعروضات.



سيونات موجهة مخفية من  
الهالوجين الضعيف التوتر

سيونات مخفية من  
الفلوريسنت المدمج



سيوت هالوجين قابل للحركة  
والتوجيه مركب على سكة

الشكل (٨٧-٢) توزع أجهزة الإنارة على السقف وأشكالها ونوعيتها

##### ٥- الحالة الخامسة:

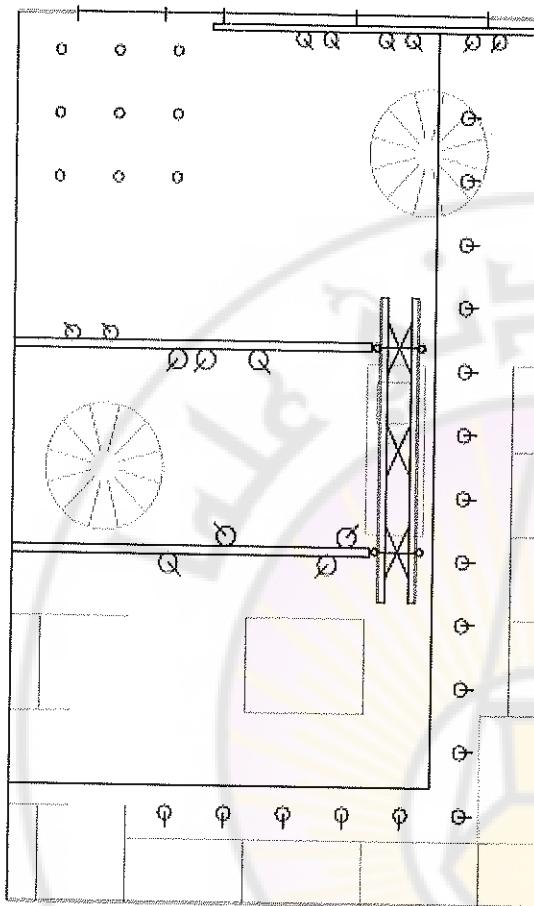
الشكل (٨٨-٢) يبين توزع أجهزة الإنارة على السقف وأشكال ونوعية أجهزة الإنارة المستخدمة.

لقد تم في هذه الحالة إنارة الواجهة والمدخل ضمن المحل، تماماً مثل الحالة الثالثة. أما إنارة المعروضات فقد تمت بواسطة مشعات من الهالوجين ذي التوتر المنخفض، مركبة ضمن السقف المستعار مقابل جدارين فقط من جدران البوتيك. وركبت سكة معدنية في منتصف المحل يتوضع عليها عدد من سبوتات الإنارة الموجهة. ويستفاد من هذه السكة في وضع عدسات بروجكتور (جهاز إسقاط) عليها، من أجل أن يتم في بعض الأحيان إجراء بعض العروضات المختلفة، للدعائية. وقد أهملت الإنارة العامة الموزعة بشكل متقصد. فقد تم الاكتفاء بما يصل من الإنارة الموجهة من المشعات المركبة في السقف المستعار وعلى السكاك.

إن هذا الترتيب والتوزيع الخاص لأجهزة الإنارة، كما نلاحظ، لا يسمح بالاستفادة من مواضع أخرى في المحل لعرض مواد مميزة أو ذات قيمة عالية، سوى في الأماكن الموجهة إليها المشعات، على الجدارين الأيمن والخلفي. إن عدد المشعات القليل والمركبة على السكك المعدنية في منتصف المحل لا يسمح بوضع عروضات مميزة هنا وإنارتها من خلال هذه المشعات. إن وظيفة هذه المشعات هنا ليس بأكثر من إعطاء بعض الضوء عند تشغيل جهاز الإسقاط. أو إنارة شعار الشركة، مثلاً، المتوضع على الجدار المواجه للسكة المزدوجة.

إن مثل هذا البوتيك، كما يلاحظ، يعطي أهمية قصوى لجهاز العرض بقدر أهمية عروضاته. إن جهاز العرض يشكل عملاً أساسياً في عملية جذب الزبائن، فهذا الجهاز سيعرض المنتجات التي تباع في هذا المحل أيضاً، وربما بالإضافة إلى منتجات أخرى لنفس الشركة المشغلة للبوتيك.

بعد هذا البوتيك بهذا الشكل عبارةً عن مركز دعاية وإعلان وبقدر مماثل محل بيع تجاري.



سيوت موجة  
محفي من  
الهالوجين  
ضعيف التوتر

نظام عارضة  
شبكي مع سكة  
لتركيب  
البرو جكتور  
والسبوتنات

جهاز إضاءة  
محفي من  
الهالوجين ذي  
التوتر الضعيف

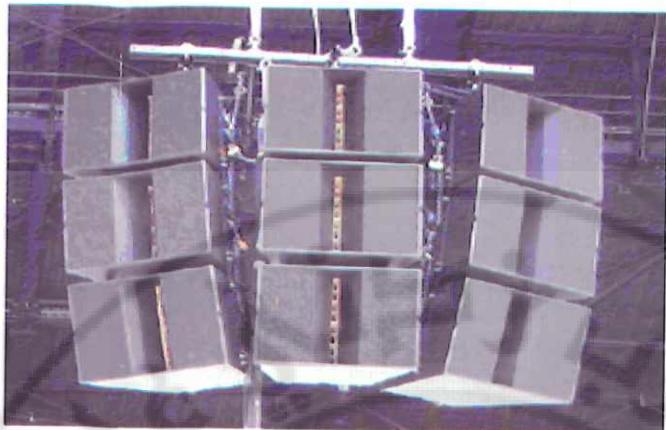
سيوت موجة من  
الهالوجين بتوتر  
ضعيف مركب  
على سكة قابل  
للتوجيه

الشكل (٨٨-٢) توزع أجهزة الإنارة المستخدمة في سقف البوتيك ومختلف أنواعها وأشكال تركيبها

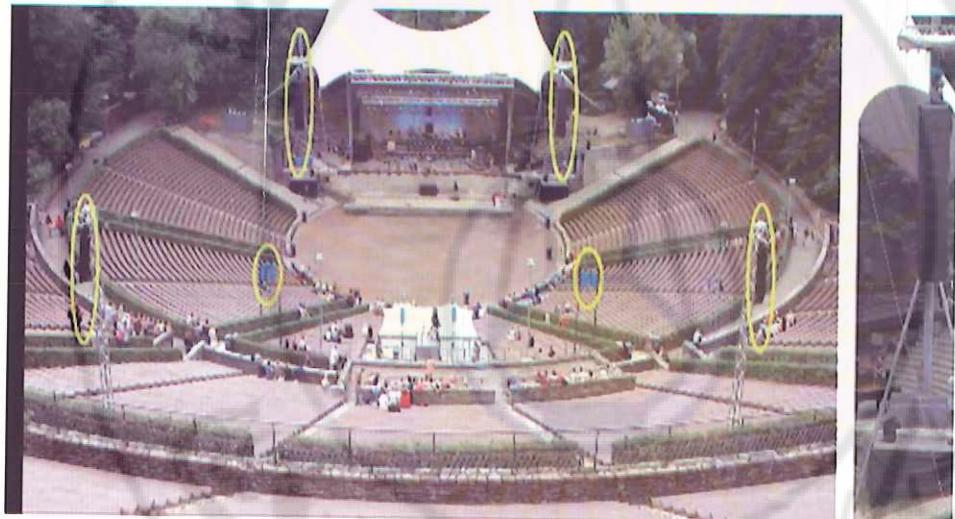
الفصل الثالث

٣ - ملحق الصور الملونة





الشكل (٢٨-١) مجموعة تكبير صوت حفلة موسيقية في صالة كبيرة



الشكل (٢٩-١) يبيّن مدرجاً في الهواء الطلق في مدينة برلين/ بألمانيا مع منصة، وتبدو فيها مكبرات الصوت (من نوع مجموعات التكبير ) محاطة بالدوائر. على جانبي المنصة من اليمين واليسار تظهر مكبرات الصوت الرئيسية. وبين صفوف الجمهور في الوسط مكبرات الصوت للمقاعد الخلفية. وفي الصورة الجانبية على اليمين يظهر أحد الأعمدة الصوتية المستخدمة بشكل منفصل

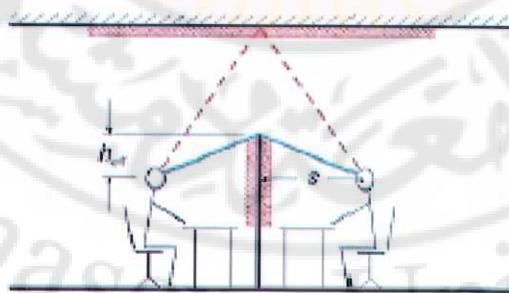


الشكل (٣٦-١) قاعة للاستخدامات الموسيقية وتلاحظ فيها السطوح المحدبة المنساء على الجدران والسقف لانتشار أفضل ومتناوب للصوت



الشكل (٣٧-١) استخدام مواد ماصة للصوت الصوتي في أماكن العمل

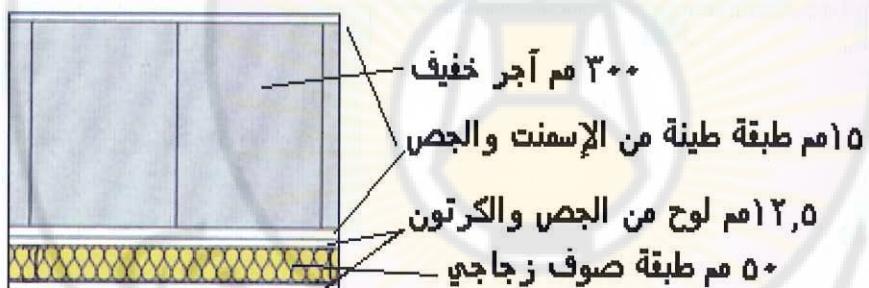
متحركة في قاعة متعددة الاستخدامات



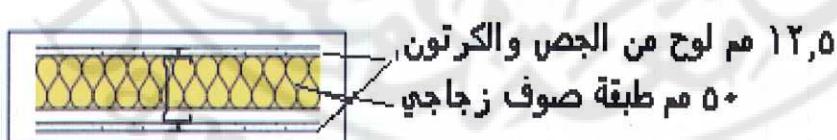
الشكل (٣٩-١) عزل صوتي بين موظفين يجلسان مقابلين



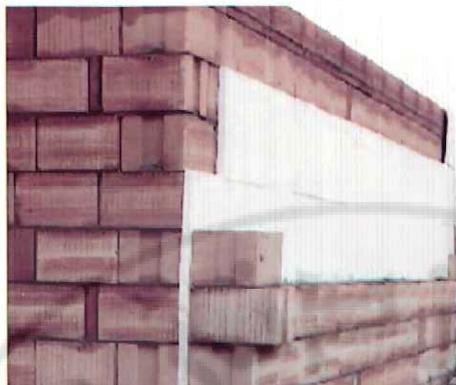
الشكل (٤٠-١) بعض أشكال العزل الصوتي في أماكن العمل



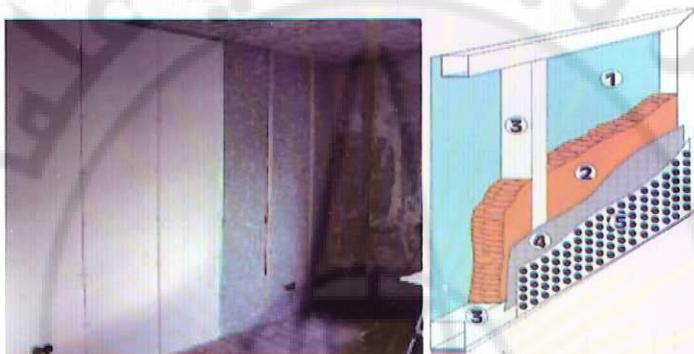
الشكل (٤١-١) مقطع في حجر (طوبية بناء) يستخدم في بناء الجدران



الشكل (٤٢-١) مقطع في لوح عازل صوتياً يستخدم للأسقف والاجدران



الشكل (٤٣-١)  
أحد أشكال العزل  
الصوتي البسيط.  
جداران بينهما  
لواح من  
البوليستيرين



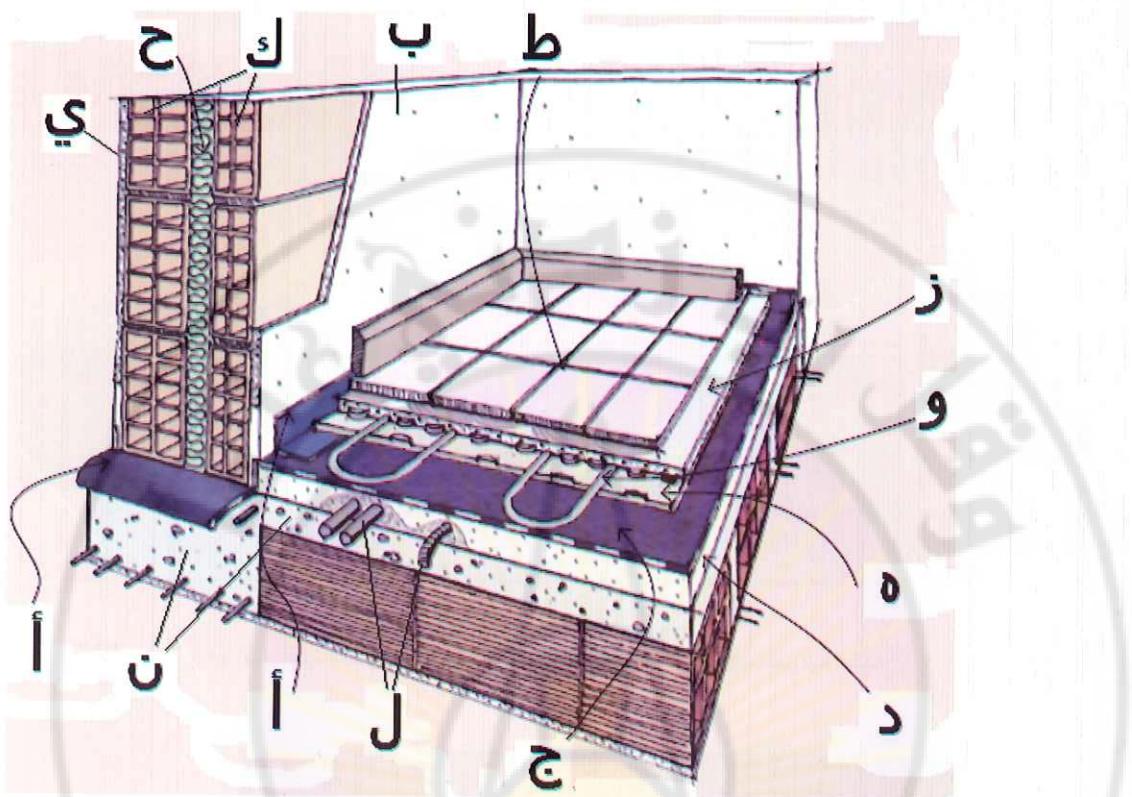
الشكل (٤٤-١) على اليسار بين غرفة فيها الجدار الجانبي ويظهر عليه طبقات العزل الصوتي المختلفة. والشكل على اليمين بين الجدار المعزول بشكل تخطيطي مفصل ١- الجدار الأساسي. ٢ - مادة عازلة ( حشوة ) عازلة. ٣ - العوارض الخشبية. ٤ - لواح الجص والكرتون العازلة. ٥- طبقة طينية.



الشكل (٤٦-١) أحد أشكال تركيب العوازل الصوتية على الأسقف

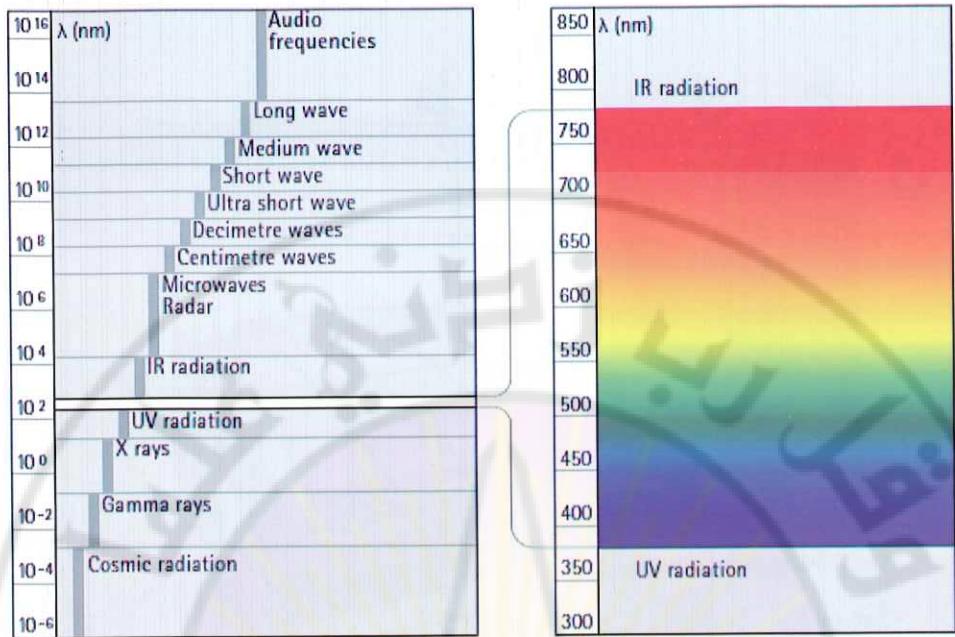


الشكل (٤٥-١) عزل الأرض عن طريق فرش وتركيب لواح من مادة اللباد العازل للصوت

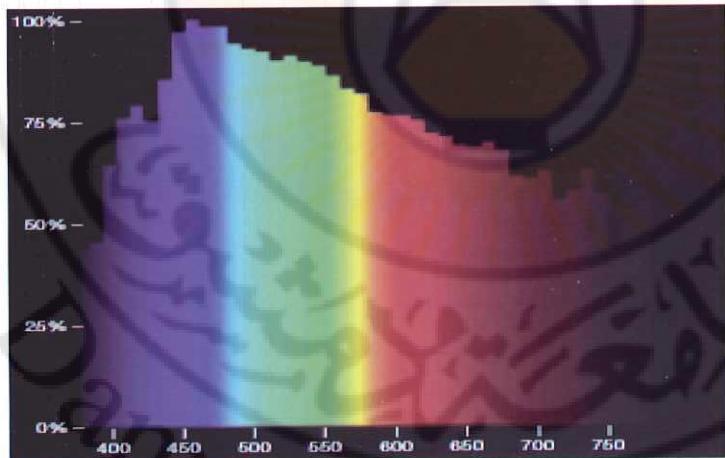


الشكل(٤٧-١) العزل الصوتي للأرض والجدار أثناء تشييد البناء

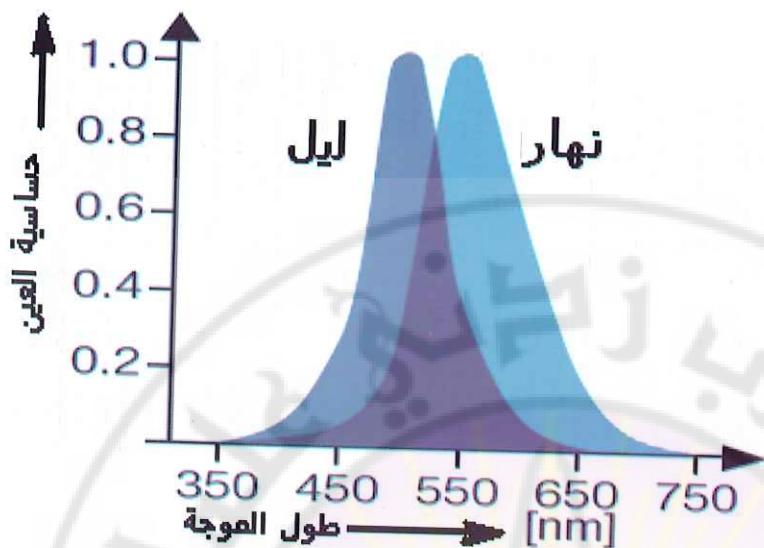
- أ - كاوتشوك أو مطاط عازل.
- ب - طبقة طينة داخلية.
- ج - ألواح رغوية عازلة للصوت.
- د - طبقة شاب.
- ه - ألواح حاملة لأنابيب التدفئة.
- و - أنابيب التدفئة.
- ز - صبة إسمنتية للتسوية.
- ح - لوح عازل للصوت من الصوف الزجاجي.
- ط - بلاط أو مشابه.
- ي - طبقة طينة خارجية، ويمكن أن تكون حجر أو مشابه.
- ك - جدارين من الطوب (البلوك)، داخلي رقيق وخارجي سميك.
- ل - أنابيب خدمات لأسلاك الكهرباء والماء وسوهاها.
- ن - سقف أو أرض من الإسمنت المسلح.



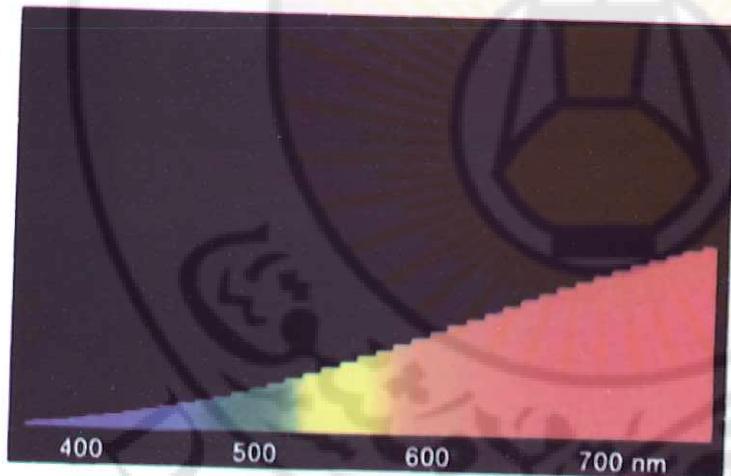
الشكل (٥-٢) إشعاعات الطيف الكهرومغناطيسي والإشعاعات الضوئية المرئية منها



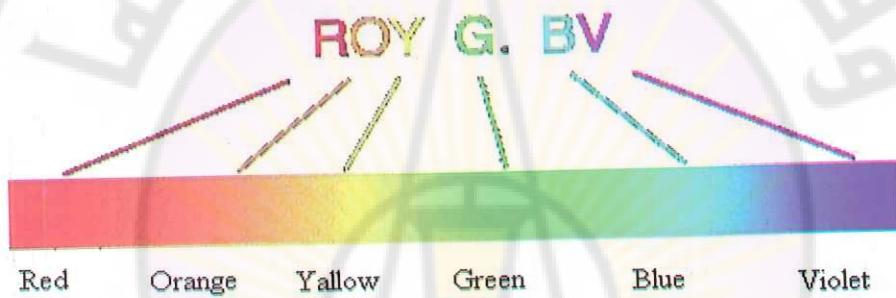
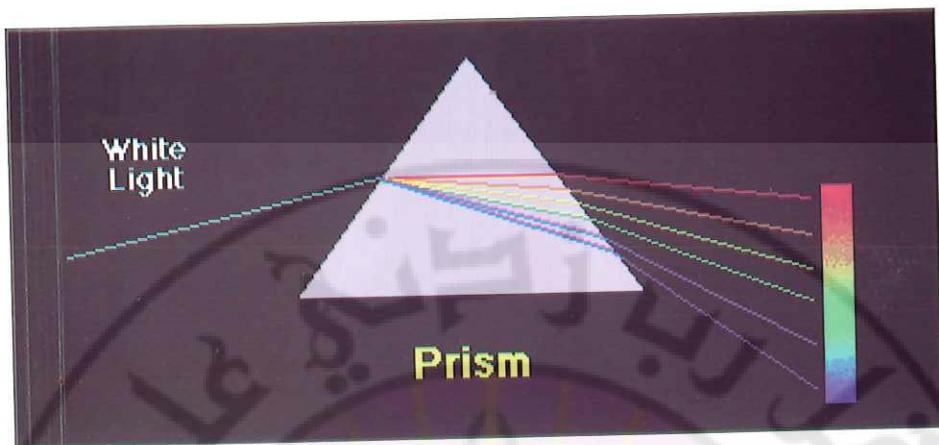
الشكل (٦-٢)  
الطيف الضوئي  
المرئي في  
منتصف النهار



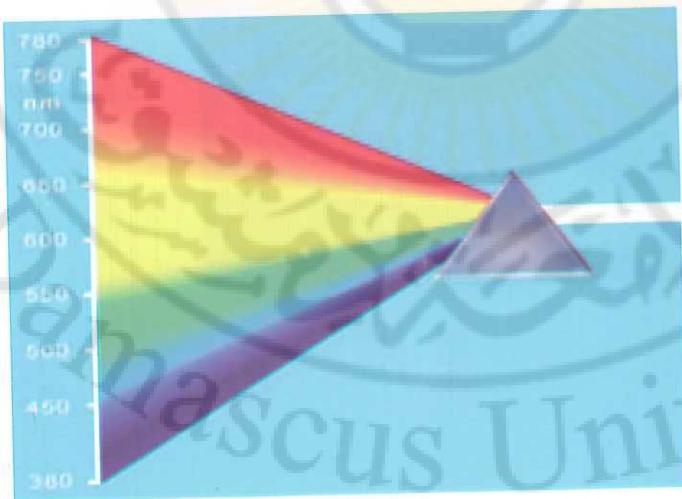
الشكل (٨-٢) منحني نورانيّة العين في النهار والليل



الشكل (٩-٢)  
الطيف الضوئي  
للمصباح  
المتوهج العادي



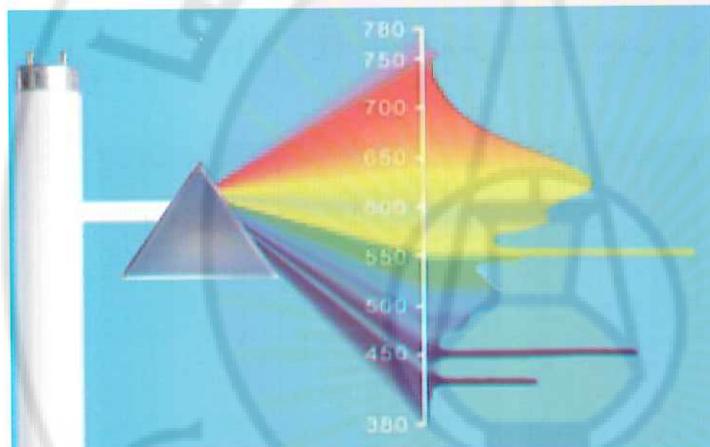
الشكل (١٢-٢) تحليل الضوء الأبيض عبر المنشور الزجاجي وطيف الألوان الناتجة عنه



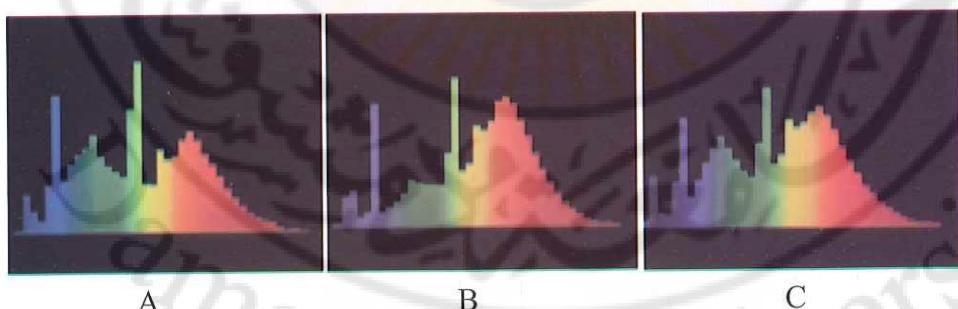
الشكل (١٣-٢)  
إعادة تركيب  
ألوان الطيف  
الضوئي عبر  
منشور إلى لون  
الضوء الأبيض



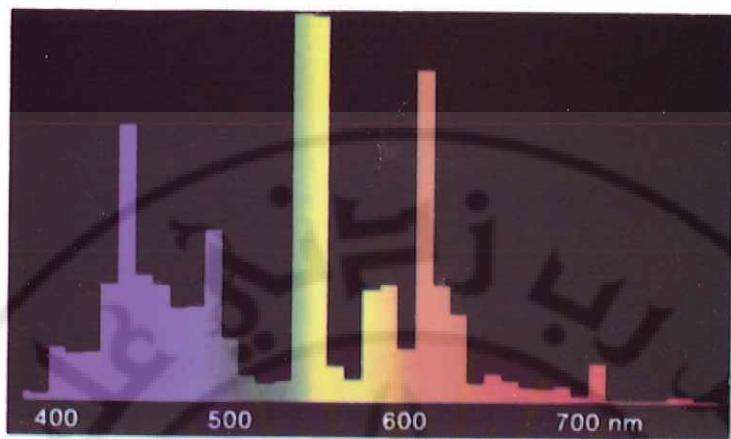
الشكل (٢٨-٢)  
الطيف  
الضوئي  
لمصابيح  
الهالوجين  
المتوهجة



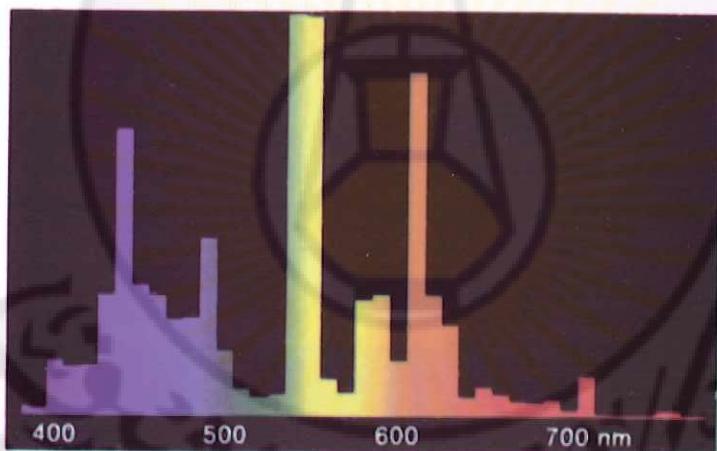
الشكل (٢٩-٢)  
الطيف الضوئي  
لمنبع إنارة من  
الفلوريسنت  
محللاً عبر  
موشور



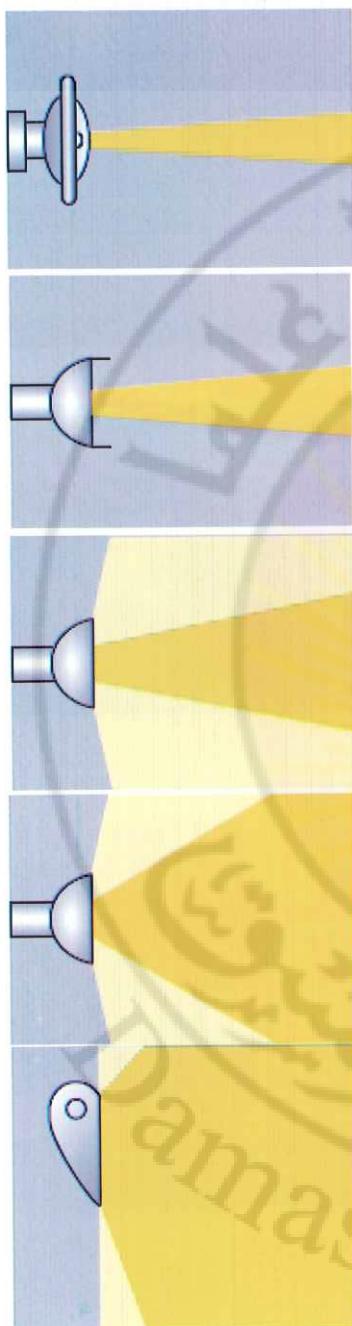
اللون الأبيض الحار ww      الأبيض الحيادي nw      الأبيض بلون ضوء النهار tw  
الشكل (٣٠-٢) الطيف الضوئي لأنواع إنارة أجهزة الفلوريسنت الرئيسية



الشكل (٣٨-٢) الطيف الضوئي لمصباح الميتال هاليد



الشكل (٣٩-٢) الطيف الضوئي لمصباح بخار الصوديوم  
بالضغط المرتفع



الشكل (٤٤-٢)

المشع النقطي  $80^\circ$   
ومنحني توزيع  
الشدة الضوئية له

الشكل (٤٥-٢) المشع

النقطي  $(120-240^\circ)$   
ومنحني توزيع الشدة  
الضوئية له

الشكل (٤٦-٢) المشع

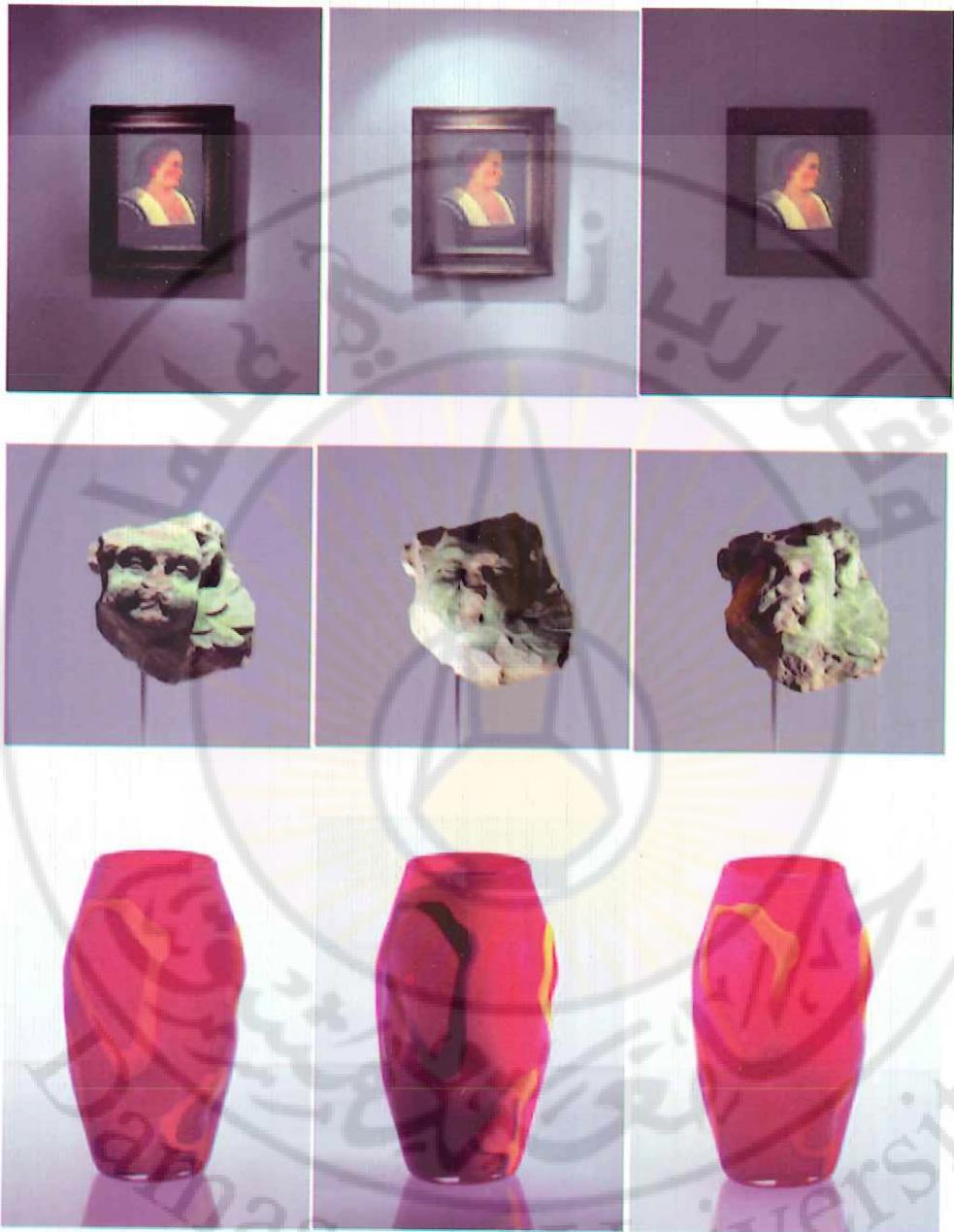
الخاص  $(240-380^\circ)$   
ومنحني توزيع  
الشدة الضوئية له

الشكل (٤٧-٢) المشع

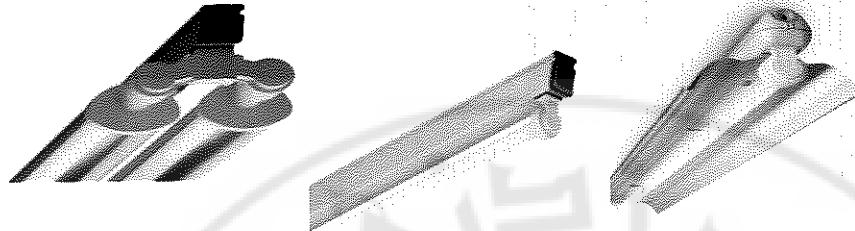
العربيض  $60^\circ$   
ومنحني توزيع  
الشدة الضوئية له

الشكل (٤٨-٢)

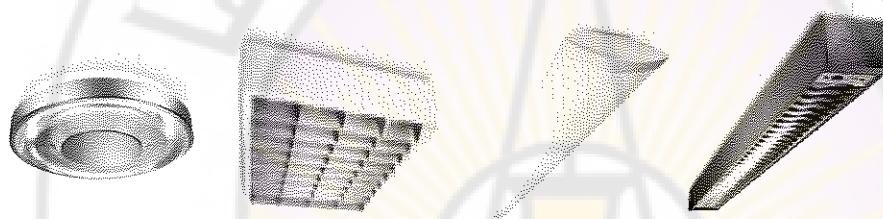
المشع الناشر  
للضوء، ومنحني  
توزيع الشدة  
الضوئية له



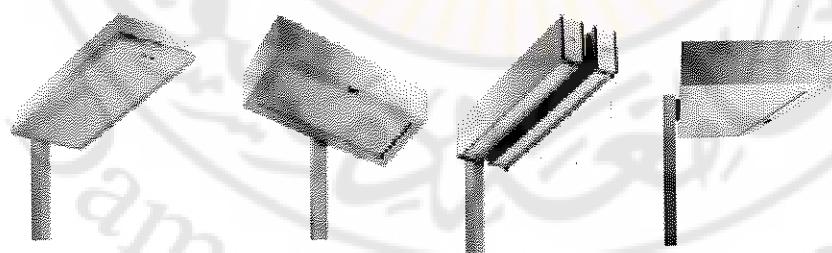
الشكل (٥١-٢) إنارة بعض الأشكال والتحف بطرق مختلفة



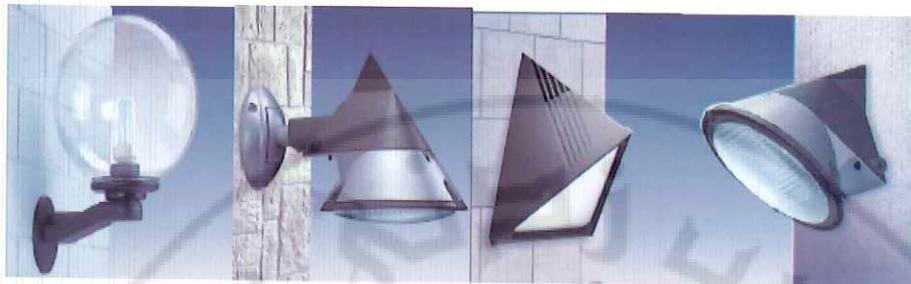
الشكل (٥٤-٢) أجهزة إضاءة فلوريسنت تثبت على الأسقف ببساطة أشكالها، مع عاكس بسيط من المعدن أو من دونه. يمكن تركيبها أيضاً على الجدران



الشكل (٥٥-٢) أجهزة إضاءة فلوريسنت تركب مباشرة على الأسقف، النائز فيها من الزجاج أو البلاستيك الحراري أو الستانلس ستيل اللامع والعاكس من الستانلس ستيل أو الألمنيوم اللامع



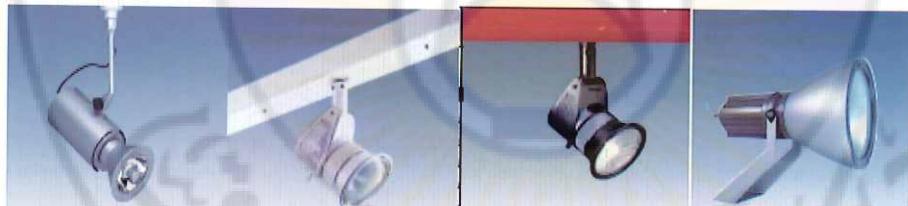
الشكل (٥٦-٢) أجهزة إضاءة من الفلوريسنت واقفة على الأرض بعاكس وناثر



الشكل (٥٧-٢) أجهزة إلارة جدارية مختلفة للتركيب الخارجي



الشكل (٥٨-٢) بعض من أجهزة الإنارة التي تستخدم للدلالة



الشكل (٥٩-٢) مشعات من الهايوجين الموجهة مركبة على سلك خاصة



الشكل (٦٠-٢) مشعات إلارة ملونة من الهايوجين للأسقف المستعارة



الشكل (٦١-٢) أجهزة إلارة هالوجينية موجهة (مشعات) بأشكال مختلفة للإنارة الخارجية ويمكن استخدام بعضها للإنارة الداخلية أيضاً



الشكل (٦٣-٢) جهاز إلارة فلوريستي مدمج: ٢٥٠ W للإنارة الداخلية والخارجية، يركب على الأسقف عاكسه من الستانلس ستيل والناثر زجاجي شفاف

الشكل (٦٢-٢) جهاز إلارته ميتال هاليد يركب في الأسقف المستعراء، الناثر من الزجاج الحراري الشفاف والعاكس من الألمنيوم اللامع



الشكل (٦٤-٢) مصباح بخار زئبق ضغط عالي كتيم للإنارة التربينية الخارجية. يركب على عمود. يغلب استخدامه للإنارة الحدائق والأروقة والشوارع الفرعية السكنية

الشكل (٦٤-١) مصباح بخار زئبق ضغط عالي كتيم للإنارة التربينية الخارجية. يركب على عمود. يغلب استخدامه للإنارة الحدائق والأروقة والشوارع الفرعية السكنية



الشكل (٦٦-٢) أجهزة إضاءة من الديودات الباعثة للضوء بألوان مختلفة



الشكل (٦٧-٢) أجهزة إضاءة تزيينية خارجية للحدائق والشوارع الفرعية



الشكل (٦٨-٢) أجهزة إضاءة سقفية من الهايوجين متعددة الاتجاهات



الشكل (٦٩-٢) أجهزة إضاءة متوجهة هالوجينية سقفية (سبوتات)



الشكل (٦١-٢) أجهزة إنارة هالوجينية موجهة (مشعات) بأشكال مختلفة للإنارة الخارجية ويمكن استخدام بعضها للإنارة الداخلية أيضاً



الشكل (٦٣-٢) جهاز إنارة فلوريستي مدمج: ٢٥٠ W للإنارة الداخلية والخارجية، يركب على الأسقف عاكسه من الستانلس ستيل والناثر زجاجي شفاف



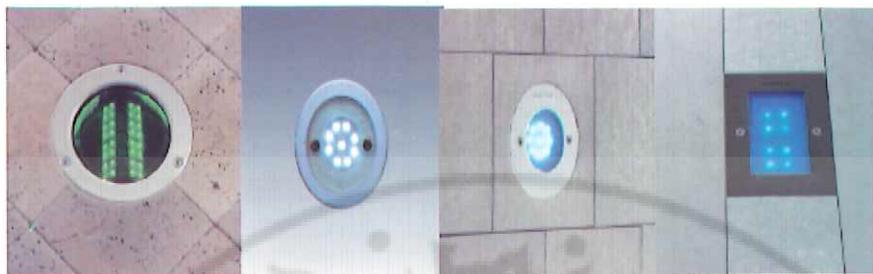
الشكل (٦٢-٢) جهاز إنارة ميتال هاليد يركب في الأسقف المستعراء، الناثر من الزجاج الحراري الشفاف والعاكس من الألمنيوم اللامع



الشكل (٦٥-٢) جهاز مصباح بخار الصوديوم كتيم جداً للإنارة التربينية الخارجية. ناثر من الزجاج الحراري المقاوم، يركب على عمود. يغلب استخدامه للإنارة الحدائق والأروقة والشوارع الفرعية السكنية



الشكل (٦٤-٢) مصباح بخار زئبق ضغط عالي كتيم للإنارة التربينية الخارجية. يركب على عمود. يغلب استخدامه للإنارة الحدائق والأروقة والشوارع الفرعية السكنية



الشكل (٦٦-٢) أجهزة إنارة من الديودات الباعثة للضوء بألوان مختلفة



الشكل (٦٧-٢) أجهزة إنارة تزيينية خارجية للحدائق والشوارع الفرعية



الشكل (٦٨-٢) أجهزة إنارة سقفية من الملاوجين متعددة الاتجاهات



الشكل (٦٩-٢) أجهزة إنارة متوجهة هالوجينية سقفية (سبوتات)

## المراجع العلمية

### المراجع العربية:

١ - تصميم الشبكات الكهربائية

منشورات جامعة دمشق ١٩٩٥ م د. شوقي البطل

٢ - الصوت والعمارة

منشورات جامعة دمشق ١٩٨٤ م محمد زهير الخيمي

٣ - الصوتيات المعمارية والكهرباء

منشورات جامعة تشرين ١٩٩٥ م د. محمد سلامة

٤ - السلامة المهنية/ إجراءات الأمان في الهندسة الكهربائية

منشورات جامعة دمشق ٢٠١٠ م أ.م.د. سعيد وهبي

### المراجع الأجنبية:

- 5- Color- communication in Architectural Space  
Meerwein/Rodeck/Mahnke Birkhaeser-Verlag Basel Boston Berlin 2007
- 6- The Lighting Handboock  
Zumtobel staff 2004
- 7- Handbook of Lighting Design  
Gansland / Hofmann Vieweg Braunschweig/Wiesbaden 2009
- 8- Lighting catalogues
  - Architektonische Lichtsysteme 2010
  - Baero perfect retail lighting 2010
  - Fosnova 2009
  - Nardin 2008
  - Disano illuminazione 2005/ 2006
  - Philips 2008/2009/2010
- 9- Ingenieurakustik  
Hermann Henn / Gh. Reza Sinambari / Manfred Fallen  
Vieweg+Teubner / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008
- 10- Handbuch der Audiotechnik  
StefanWeinzierl Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008

11- Technische Akustik

M. Mser Springer Dordrecht Heidelberg London New York 2009

12- Raumklimatechnik

Horst Esdorn Springer Berlin Heidelberg New York 2008

13- Farbe – Kommunikation im Raum

Meerwein Rodeck Mahnke Birkhäuser Verlag AG 2007

14- Licht und Farbe

Joseph Highland Tessloff Verlag- Hamburg 2005

15- Elektrotechnik Taschenbuch

Westermann Braunschweig 2005

16- [www.Licht.de](http://www.Licht.de)

## المصطلحات العلمية

**إنكليزي**

**عربي**

Absorbing	امتصاص
acoustic insulating material	مادة عزل صوتي
acoustic insulating board	طبقة عزل صوتي
Acoustical spectrum	حزمة صوتية
Acoustics	علم الصوت
Alternating Voltage	توتر المتناوب
amplitude	مطال
Anechoic zone, dead room	محيط صوتي ساكن
Argon	أرغون
Attenuation	تخادم الصوت
Audible limits	حدود السمع
Audio frequency	تردد راديو
Audio-frequency, Acoustic	التردد السمعي
Auditory	
Audio-system	النظام الصوتي
Auditorium	قاعة استئناع
Auditory acuity	شدة السمع
Auditory sensation area	حقل سمعي
Bass	حزمة الترددات المنخفضة
bel	بيل (وحدة قياس شدة الصوت)
Blended Lamps	مصايبخ مختلطة
Box	علبة (صندوق)

brightness	وضوح
Brom	بروم
Building	بناء
candela	شمعة (كandiلا ، واحدة قياس الشدة الضوئية)
Catalogue	كتالوج ( دفتر المواصفات الفنية )
Cbuiltnloud speker	مكبر صوت مخفي
Class of Protection	درجة الحماية
Compact fluorescent	فلوريسنت مدمج
components	مركبات
Compression	انضغاط
concerthall	قاعات موسيقى الكونسرت
conductors	نوافل
Controls	أجهزة التحكم
decibel	ديسيبل ( واحدة قياس شدة الصوت )
Design	شكل
direct	مباشر
Directional lighting	إنارة موجهة
Directionality	توجيه الصوت
Discharge Lamps	مصباح انفرااغية
distance	مسافة
Earth- fault current	تماس ناقل تيار بالأرض
Echo	صدى الصوت
Efficacy	كفاءة
Efficiency	مردود

Efficiency of acoustic	مردود صوتي
Electric current	تيار كهربائي
Electric Light Sources	منابع الضوء الكهربائية
Electric Luminescence	تالق أو نأين كهربائي
Electrical Energy	طاقة كهربائية
Electrical-devices	أجهزة كهربائية
Energy, work	طاقة
Expert	أخصائي
Filement	فنتيل
Fluor	فلور
Fluorescent Light	ضوء الفلوريسنت
Flure	ممر، أو دهليز، ردهات
Focusing	تركيز
Frequency	تردد
Frequency range	مجال تردد
Gamma rays	أشعة غاما
Gas	غاز
general diffusing	ناثر عام
General lighting	إنارة عامة
green	أخضر
Halogen Lamps	مصايبخ الاهالوجين
Hearing level	سوية السمع
Hearing threshold, threshold of audibility	عتبة السمع
Heat	حرارة
Hertz	الهرتز (وحدة قياس التردد)

High-pressure mercury vapor Lamps	مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط المرتفع (العالى)
Higt pressure Sodium Lamps	مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المرتفع
horn	شكل مخروط
Hum	تردد
Humidity	رطوبة
Ignition	اشتعال
Iluminance	إإنارة (الإنارة)
Incandescence	توهج حراري
Incandescent Lamps	مصابيح متوجهة عادية
infrared	تحت الحمراء
Infrasound	تحت السمعي
Insulating	عزل
Jod	يود
Krypton	كربيتون
Lamp	مصابح
Lavalier microphone	لاقط فلامادي
light	ضوء
Light amplification by stimulated emission of radiation ( Laser)	أشعة ليزرية (الليزر)
Light contrast	تباین ضوئی
Light Emitting Diodes	ديودات باعثة للضوء
Linear source	منبع خطى
Local lighting	إنارة موضعية

Localized lighting	إنارة مركزة
Long wave	موجة طويلة
losses	ضياعات
loud speaker Combinations	مجموعات تكبير
Loudness	جهارة الصوت
Loud-speaker	مكبر الصوت
Low pressure Sodium Lamps	مصايبخ بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض
Low-voltage	توتر منخفض
lumen	اللumen (وحدة قياس كمية الضوء)
Luminance	الوضوح
luminosity curve	منحنى العين الضوئي (منحنى نورانية العين)
luminous flux	سيالة ضوئية
luminous intensity	شدة ضوئية
Machine	آلة
Maintenance	صيانة
Maintenance factor	عامل الصيانة والتقادم
Medium wave	موجة متوسطة
Metal	المعدن
Metal-Halide Lamps	مصايبخ الميتال هاليد
Microphone	لاقط (المایکروفون)
Microwave	موجة ميكروية
Neutral reflection	انعكاس حيادي
Nitroge	نتروجين

Noise	ضجيج الأصوات
Paint	الدهان
pascal	باسكال ( واحدة قياس الضغط )
Phon	فون ( واحدة قياس جهارة الأصوات )
Phon-scala	درجات الفون
Photon	فوتون
Point source	متبعد نقطي
Poished	لامع أو لامع ( صقيل )
Prevention	وقاية
radiant energy	قدرة مشعة
Rarefaction	تخلخل
Reception	مكان الاستقبال
Reflection	انعكاس
relative efficiency curve	المتحنخي الضيائي النسبي
Resonance	طنين
Room index	عامل أو قرينة الغرفة
Semidirect	شبه مباشر ( مباشر جزئي )
Sensitivity	حساسية السمع
Service	خدمة
Sound	صوت
Sound absorbtion	امتصاص الصوت
Sound column	عمود صوتي
Sound energy	طاقة صوتية
sound engineering, audio	هندسة صوتية
Sound insulation	عزل صوتي

Sound intensity	شدة الصوت
Sound Power	استطاعة الصوت
Sound pressur level	مستوى ضغط الصوت
Sound pressure	ضغط صوتي
Sound reduction index	عامل العزل الصوتي
Sound signal, audio signal	إشارة صوتية
Sound source	منبع صوتي
Sound spectrum	تركيب الصوت الطبيعي
Sound-absorbing material	مادة امتصاص صوتي
Speed	السرعة
Speed of sound	سرعة الصوت
Spot	جهاز مشع ضوئي
sun	شمس
Supermarkets, malls	مجمعات البيع الكبيرة
Switch	مفتاح كهربائي
Temperature	درجة الحرارة
The noise- canceling microphone	لاقط إلغاء التشويش
Time	زمن
Transformer	محول كهربائي
Transmission	انتقال
Treble	حزمة الترددات المرتفعة
Tungsten Lamp	مصابح التنجستين (المصابح العادي)
Ultrasound	فوق السمعي
Ultraviolet	فوق البنفسجي
Ventilation	تهوية

vision	رؤية
Voltage	نوتر كهربائي
Wave	موجة
Wavelength	طول الموجة
Wellphys pitch	شدة الصوت
wireless microphon	لقطة لاسلكي
Working places	أماكن العمل
yellow	أصفر

**اللجنة العلمية:**

كلية الفنون الجميلة

الأستاذ الدكتور عبد الرزاق معاد

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

الأستاذ الدكتور نديم مخول

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

الأستاذ الدكتور أبي سلمان

**المدقق اللغوي:**

الدكتورة منى الحمد

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات

