

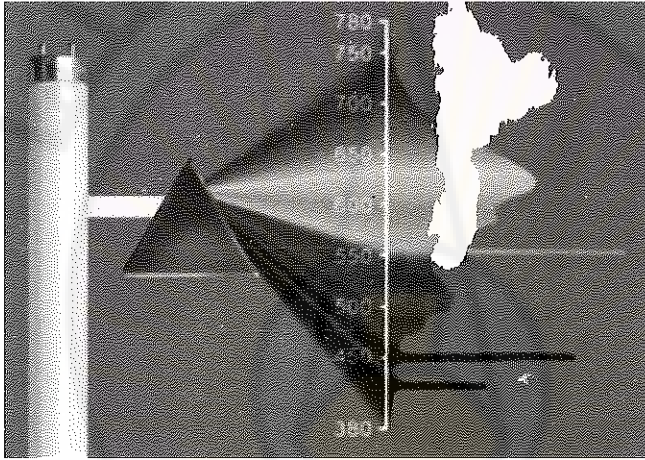


منشورات جامعة دمشق

كلية الفنون الجميلة الثانية

الصوت والضوء

في
العمارة الداخلية



الدكتور المهندس

سعيد وهبي

أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

١٤٣٣-١٤٣٢ هـ

٢٠١١-٢٠١٢ م

جامعة دمشق



السنة الثالثة
قسم العمارة الداخلية
كلية الفنون الجميلة



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

١٤٣٢-١٤٣٣هـ
٢٠١١-٢٠١٢م

جامعة دمشق



الفهرس

الموضوع	الصفحة
مقدمة عامة	١١
الفصل الأول الصوت	١٣
١-١ تعريف	١٣
٢-١ سرعة الصوت	١٥
٣-١ الإدراك السمعي للصوت	١٨
٤-١ جهازة الأصوات	٢٣
٥-١ الصفات الفيزيولوجية للصوت	٢٣
٦-١ الخصائص الفنية في دراسة الأصوات	٢٦
٧-١ الأنظمة الصوتية الداخلية	٢٨
٨-١ خصائص الحواجز أمام الأصوات	٢٩
١-٨-١ امتصاص الأصوات	٣٠
٢-٨-١ انعكاس الأصوات	٣٥
٣-٨-١ انتقال الأصوات	٣٧
٤-٨-١ الظل الصوتي	٣٨
٩-١ التركيز البؤري للأمواج الصوتية	٣٩
١٠-١ انتشار الأمواج الصوتية	٤٠
١١-١ ارتداد أو دوي الأصوات	٤١
١٢-١ صدى الأصوات	٤٤
١٣-١ الرنين الناتج عن الأصوات	٤٧
١٤-١ مسارات الأصوات	٤٨
١٥-١ ضجيج الأصوات	٥٠
١٦-١ انتقال الضجيج عبر الحواجز	٥٢

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

١٠٥	الضوء والرؤية	٢-٣-٢-
١٠٧	المفاهيم الأساسية في الإضاءة	٣-٣-٢-
١٠٧	الفيض الضوئي أو السبالة 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 التعقيم	٦-٣-٣-٢-
١١٦	مؤشر عدم راحة الرؤية	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 الهالوجين	٢-١-٥-٢-
١٣١	التأين أو التألق الكهربائي	٢-٥-٢-
١٣٢	المصابيح الانفرادية	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	نواثر 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	الإضاءة 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 المحال التجارية (صالات البيع)	١-١٤-٢-
٢٠٠	إنارة واجهات المحال التجارية	٢-١٤-٢-
٢٠٣	إنارة الفنادق وسكن الضيافة	٣-١٤-٢-
٢٠٦	إنارة المطاعم	٤-١٤-٢-
٢٠٩	إنارة غرف المؤتمرات والاجتماعات والسينمات	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
٢٢٢	إنارة مداخل الأبنية - ١٧-١٤-٢
٢٢٣	إنارة المتاحف والمعارض الفنية - ١٨-١٤-٢
٢٢٥	إنارة المسارح - ١٩-١٤-٢
٢٢٦	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:

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

إن تلك المعرفة وذلك الإدراك لا يعني أبداً أن يحل المصمم الداخلي محل مهندس الصوت والضوء ويقوم بوظائفهما في الحساب والتصميم الصوتي والضوئي، إلا أن طبيعة إختصاصه تفرض عليه الإلمام 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 ستنتفاعل مع المواد المتواجدة في محيطها في القاعات والغرف وستتغير طبيعتها إيجاباً أو سلباً وستؤثر بالتالي على مجموع الأشخاص المتواجدين في مثل هذه الأماكن، 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، ويوحي لهم بما يشاء، فيمكن له أن يخلق لديهم حالة من الإنارة والاستكشاف أو الاستفزاز، كما هو في إنارة الاعلانات التجارية والطرفية، 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 حرفة المصمم فيها تجعله يصل بعمله الفني - وهو المكان أو الحيز من الفراغ، الذي يريد أن يزينه بفنه وعلمه - إلى قيمةً جماليةً مميزة وتحفةً فنيةً فريدة.

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

آمل أن يحقق هذا الكتاب الغاية المرجوة منه

دمشق ٢٠١١م

المؤلف

د. م. سعيد وهبي

الفصل الأول

١ - الصوت (The sound)

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 تواتر الصوت (تردده) فتتحرك وفقاً لشدته. تنتقل الحركة إلى الأذن الوسطى ومنها إلى الأذن الداخلية عبر الحلزون لتنتقل الحركة كسيالات عصبية (إشارات كهربائية) عبر نواقل عصبية شعرية (رفيعة جداً) يقدر عددها بـ ٣٠٠٠٠٠ 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. نذكر على سبيل المثال أصوات الرياح التي نسمعها وهي تعصف، عندما تكون شديدة. وكذلك يكفي أن يضرب أحدنا بسوط في الهواء لسمع صوت حركة الصوت، وما إلى ذلك... وتسمع معظم الكائنات الحية الأصوات من خلال آذانها [٩] و [١١].

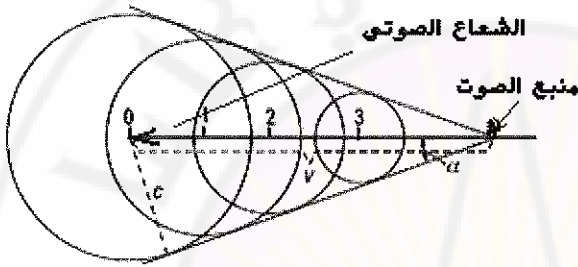
إن لدى الصوت إمكانية للانتقال والانتشار في أوساط مختلفة ومتعددة، مثل الأجسام الصلبة والسائلة، كما ينتقل عبر الغازات بأنواعها المختلفة. وحده الخلاء لا يسمح بانتقال وانتشار الصوت فيه. إلا أن سرعة انتقال الصوت تختلف حسب الوسط المتحرك فيه.

عند إصدار صوت من منبع فإن جزيئات المادة المنتقل عبرها الصوت ستهتز في مكانها، مبتعدة عن بعضها، مسببةً تخلخلاً (rarefaction)، أو مقتربةً 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].

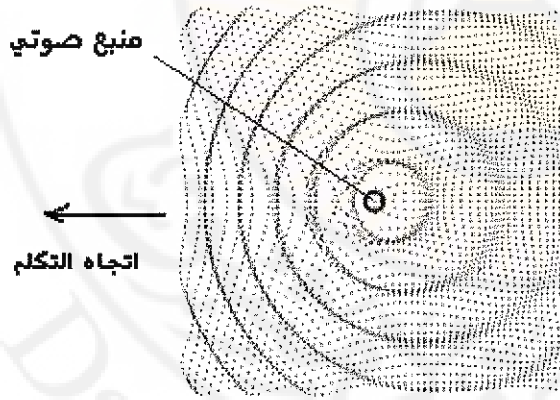
ينتشر الصوت بشكل عام في جميع الاتجاهات انطلاقاً من منبعه، على شكل كرة، مركزها هو منبع الصوت. ويكبر محيط هذه الكرة كلما ابتعد الصوت عن منبعه، أي كلما زاد قطر هذه الكرة.

الشكل (١-١) يمثل جزءاً من صوت ينتشر من منبع نقطي (Point source) في الفضاء في نظرة مجسمة. والشكل (٢-١) يمثل مسقط مستوٍ أفقي 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 أفقي

تسمى عملية انتشار الحركة الاهتزازية للصوت بالموجة الصوتية (Sound 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). يتخامد 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 اللانهاية.

١-٢- سرعة الصوت:

تقدر سرعة الصوت (Speed of sound) في الهواء وسطياً بـ ٣٤٠ م/ثا بشكل تقريبي. 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: (٣٠٠٠- ٦٠٠٠ م/ثا. وهو كما يلاحظ أسرع منه في الهواء بأضعاف. أما في الغازات فإن سرعة الصوت تزيد كلما نقصت كثافة الغاز فهي في الغازات الخفيفة كالهيدروجين والأكسجين أكبر منها في غازات أكاسيد الكربون. وكذلك تتغير 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.

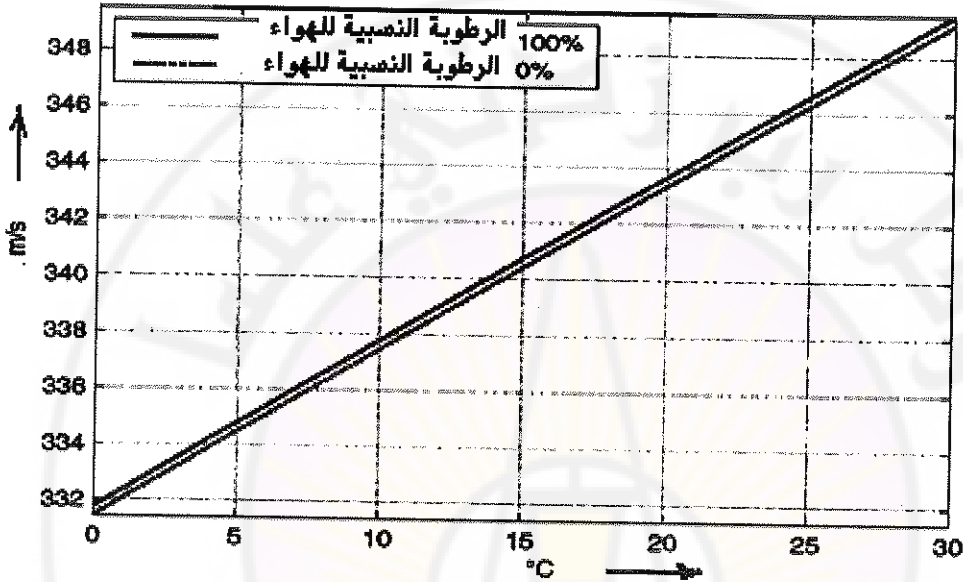
نبين في الجدول (١-١) سرعة الصوت في بعض الأوساط الغازية والصلبة والسائلة.

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

الوسط أو المادة	سرعة الصوت مقدرةً بالـ م/ثا
ماء درجة حرارته ١٥ C°	١٤٥٠
وسط من الماء المقطر	١٤٩٢
ماء بشكل عام	١٤٨٠
الحديد الصافي	٥٠٠٠
الفولاذ الصافي	٥٠٥٠
الألمنيوم الصافي	٥٢٠٠
النحاس الصافي	٣٩٠٠
الرصاص الصافي	٤٣٠٠
الزجاج الصافي	٥٢٠٠

زجاج الكوارتز	٥٤٠٠
الجص	٣٦٥٢
جدار من الإسمنت	٣١٠٠
الغرانيت	٣٨٥٠
الآجر أو القرميد	٣٦٠٠
الفلين	٥٠٠ (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)
المطاط	٥٠ (سرعة ضعيفة جداً للصوت)
البوليستيرول	١٨٠٠
الحجر	٤٥١٠
خشب الصنوبر	٣٦٠٠
خشب السنديان	٤٣٨١
خشب الجوز	٤٧٨٠
خشب الحور	٣٢٨٠
خشب البلوط	٤١٠٠
وسط من الهيدروجين	٣٠٩ (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)
وسط من الأوكسجين	٣٢٦ (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)
وسط من أوكسيد الكربون	٢٦٦ (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)
وسط من الهواء عموماً	٣٤٤ (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً)
وسط هوائي درجة حرارته : ٢٠ C°	٣٤٠ (بالمقارنة سرعة ضعيفة نسبياً) وهي قيمة وسطية عامة)

في الحقيقة فإن سرعة الصوت في الجو ليست ثابتة وإنما تتعلق بدرجة حرارة الوسط المنتشر فيه. فهي في وسط من الهواء درجة حرارته 20°C تساوي 340 م/ثا تقريباً وتزداد هذه السرعة طردياً مع زيادة درجة حرارة الجو ومع زيادة نسبة الرطوبة بشكل خطي تماماً وفق المنحنيات البيانية المبينة بالشكل (٣-١) التالي [١١] .



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

وحدات قياس الصوت:

إن وحدة قياس الصوت هي البل (bel) أو الديسبل (decibel). حيث إن: $1\text{ bel} = 10\text{ dB}$. هذه الوحدة تقابل أيضاً بوحدة أخرى وهي وحدة قياس الضغط التي تقدر بالباسكال (Pascal).

وبمقارنة سرعة الصوت بسرعة الضوء (سرعة الضوء: $300,000\text{ km/s}$) نجد أن الضوء أسرع من الصوت بما لا يقارن، وهذا ما يفسر ظاهرة رؤيتنا للبرق قبل سماع صوت الرعد المرافق له. فإذا حدث برق ورعد على مسافة 10 km من موقع شخص ما على سبيل المثال فإن هذا الشخص سيراى 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 الرعود المرافقة له. حيث t : هو الزمن (time)، و d : هي مسافة (distance)، و s : السرعة (speed).

٣-١- 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 وشداتها ضمن مجال سمعها فقط. فللأذن حدود أو مجال معين للسمع. وأي صوت خارج هذا المجال لن تتمكن الأذن من سماعه، أو أنه قد يشكل ألماً أو ضرراً عليها حسبما تكون شدته. وقد بين العلم أن لكثير من الكائنات الحية إمكانيات أكبر بكثير في السمع من تلك التي يتمتع بها الإنسان.

إن أعلى قيمة تردد صوت يمكن للأذن شخص من سماعه هي 20000Hz ، 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 $(20-16)\text{Hz}$. 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 البشرية من سماعها، أي تحدث تنبيهاً 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 بالأشخاص من ناحية، ومتعلقة بتردد الموجة الصوتية من ناحية ثانية. فهذه القيمة على سبيل المثال تساوي: 20dB عند التردد 1250 kHz . بينما تكون: -5dB عند التردد 1000 Hz و 0dB عند التردد 1000 Hz و $3-4\text{ kHz}$.

وتستطيع الأذان البشرية على العموم سماع أصوات تقع تردداتها بين $(20-20000)$ Hz. وتتخفف قدرة الأشخاص على سماع الأصوات مع تقدمهم بالعمر، كما سبق الذكر. وأفضل قدرة على سماع الأصوات لدى الإنسان هي الأصوات التي تقع تردداتها بين $(8-5)$ kHz. وتسمى الأمواج الصوتية التي تزيد تردداتها عن 20 kHz بالأمواج فوق السمعية (Ultrasound)، والتي تنقص تردداتها عن 20 Hz بالأمواج 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 الزلازل والبراكين. وهذه تستطيع بعض الكائنات الحية أن تسمعها. إن المبدأ الأساسي لرصد حركات الزلازل وتتبع 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 ألا 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:	شدة الصوت بالـ dB	ضغط الصوت بالـ (Pa) pascal
طلقة بارودة	١ m	١٤٠ dB	٢٠٠ Pa
طائرة مقاتلة	١٠٠ m	(١١٠ - ١٤٠) dB	(٦.٣١ - ٢٠٠) Pa
جهاز تلفزيون بصوت مناسب للغرفة	١ m	تقريباً ٦٠ dB	٠.٠٢ Pa
أصوات خفيف أوراق الأشجار	عند الأذن تقريباً	١٠ dB	٠.٠٠٠٦٣ Pa
تنفس هادئ لشخص	عند الأذن	١٠ dB	٠.٠٠٠٦٣ Pa

صوت محادثة طبيعي	1 m	(50-60) dB	(0.002-0.063) Pa
صوت موسيقى منخفض	1 m	40 dB	0.002 Pa
صوت دقات ساعة جدارية	1 m	20 dB	0.00063 Pa
كمبرسة هواء مضغوط/ديسكو	1 m	100 dB	2 Pa
شارع رئيس للسيارات	10 m	(80-90) dB	(0.2-0.6) Pa
صوت سيارة صغيرة/تاكسي	10 m	(60-80) dB	(0.02-0.2) Pa
صوت شاحنة كبيرة	10 m	(80-90) dB	(0.2-0.6) Pa
تضرر الأذن عند سماع صوت قوي يدوم لمدة قصيرة جداً	عند الأذن	120 dB	بدءاً من 20 Pa
بداية الإحساس بالألم		130 dB	63.1 Pa
بدء الإحساس السمعي		0 dB	0.00002 Pa
حد الألم للأذن	عند الأذن	134 dB	100 Pa

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

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

المكان	شدة الصوت بالـ dB
غرف النوم (ليلاً)	30 dB
غرف المعيشة (نهاراً)	35 dB
منطقة سكنية هادئة (وسطياً)	45 dB
غرف النوم في المشافي نهاراً	35 dB
غرف النوم في المشافي ليلاً	30 dB
غرف العمليات وغرف فحص المرضى وقاعات الانتظار في المشافي	40 dB

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

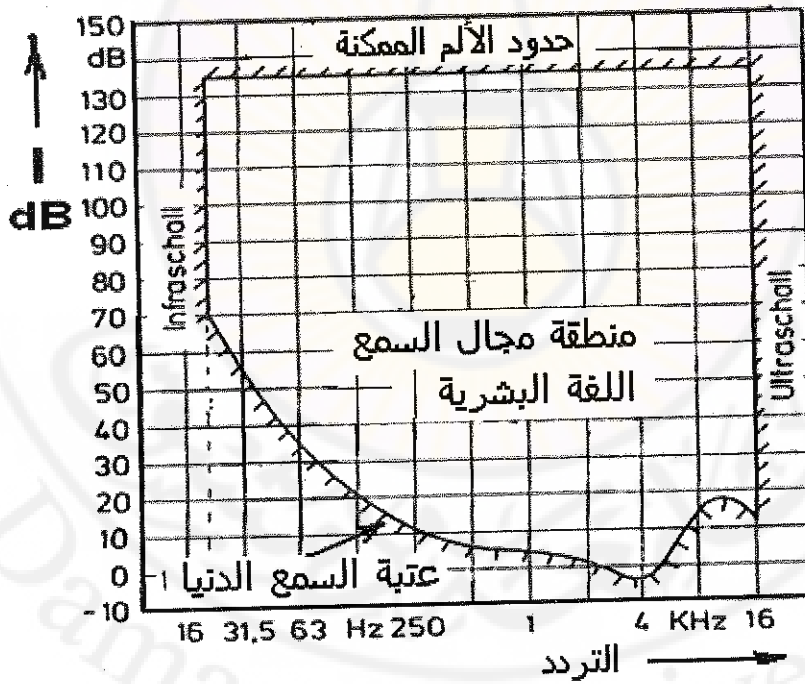
ولا تتضرر الأذن البشرية من مصادر الأصوات العالية فقط وإنما من انعكاسات هذه الأصوات على سطوح عاكسة لها أيضاً. فالصوت يصل إلى الأذن من المصدر مباشرة وكذلك يصل أيضاً من ارتطامه بالسطوح العاكسة له.

كما أن تحسس الأذن البشرية للأصوات ليس متجانساً أو واحداً على كامل مجال السمع المذكور (٢٠-٢٠٠٠٠) Hz، وإنما يختلف عند كل تردد. على سبيل المثال: فإن القيمة الدنيا لسوية أو شدة الصوت التي يمكن للأذن سماعها عند الترددات: (٣-٤) kHz هي: -٥ dB . وهي ٠ dB عند التردد ١ kHz . أي أنه عند بعض القيم لترددات الأصوات تكون حساسية الأذن للسمع عالية أو أعظمية أحياناً، وعند ترددات أخرى تكون حساسيتها للسمع أقل بدرجات متفاوتة وفقاً لترددات تلك الأصوات. فإذا لفظ إنسان مثلاً بعض الأحرف الأبجدية بشدة صوت معينة (ليكن: ١٠ dB) فسيسمع شخص على بعد معين منه هذه الأحرف بوضوح ويفهمها كاملة، وعند لفظه أحرفاً أخرى وبنفس شدة الصوت السابقة (١٠ dB) قد لا يتمكن الشخص السابق نفسه وهو لم يبرح مكانه من فهم الأحرف الأخرى، إنه سيسمعها ولكنها قد لا تبدو بالنسبة إليه واضحة. فالأذن البشرية أكثر حساسية للسمع (تسمعها بقوة

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

إن حدود السمع العليا، أي أعلى قيمة صوت يمكن للأذن شخص سماعها دون أن تحدث في الأذن ألماً 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 تتسبب بالألم وضرر آني للأذن، وفي بعض الأحيان، وخاصةً عند تكرار هذه الشدات في الأصوات فقد تتسبب بأذية دائمة للأذان 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 (٤-١) و [٩] و [١٠]:



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

١-٤- جهازة الأصوات:

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

١-٥- 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 مرتاحة في سماعه. وهذه هي عموماً أصوات الضجيج أو التشويش أو تلك التي لا يكون لها مبرر أو مغزى بالنسبة للأذن. مثل هذه الأصوات نذكر جميع تلك الصادرة عن حركة الشارع أو المعامل والآلات أو حتى عيث الأطفال المجتمعين.

ب - الصنف الثاني وهو النوع الذي تجهز نفسها الأذن لاستقباله، أو أنها تنتظره، مثل الكلام وأنغام الموسيقى وما شابه.

الصنف الأول نسميه عموماً بالضجيج نظراً للإزعاج 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 أقواها إجمالاً أو أكثرها نشاطاً هو الذي يثير الفضول البشري لمعرفة مصدره وسببه.

ويعد 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 لأذانه، إلا أنها لم تعد يوماً من المسببات المرضية للبشر التي يتوجب البحث عن حلول لها.

أما مصادر الضجيج الصناعية فلا تخفى على أحد. إنها عبارة عن أصوات الآليات الدوارة عموماً مثل السيارات على أنواعها وأشكالها المختلفة وكذلك الطائرات والقطارات وما تصدره هذه وسواها 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 كواتم لأصوات الآليات جميعها، أو جعلها تتحرك أو تدور دون شدة أصوات عالية، أو صم أذان 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، وتركب 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).

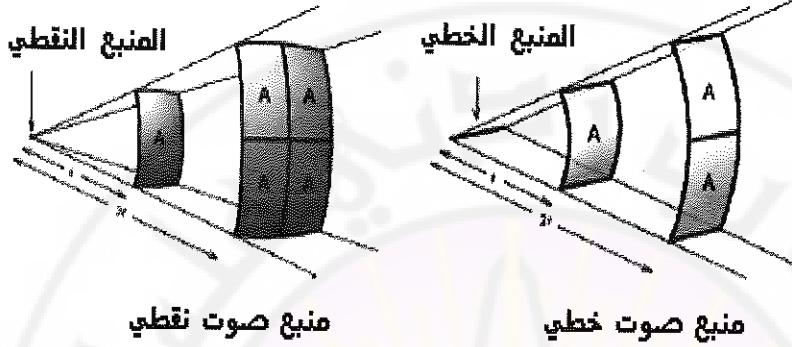
١- **شدة الصوت (Sound Intensity):** إن شدة الصوت هي بالتعريف الطاقة الصوتية التي تجتاز واحدة السطوح خلال ثانية واحدة، أو أنها الاستطاعة الصوتية التي تجتاز سطحاً مساحته متر مربع واحد. أما من حيث أثرها على الأذن البشرية فإن شدة أو قوة الصوت هي إمكانية الأذن البشرية لتمييز الصوت القوي من الصوت الضعيف أو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

- **سعة أو مطال (amplitude) حركة الصوت الإهتزازية:** ويقصد بها البعد بين قمتين متعاقبتين من منحنى الصوت الاهتزازي أو الجيبي 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

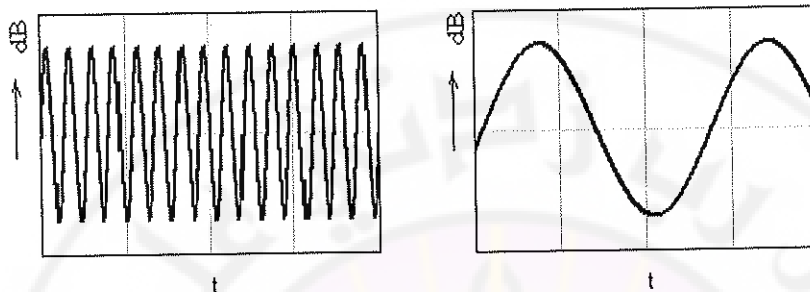
انتشاره على مساحة أكبر. وباعتبار أن انتشار الصوت (ذي المنبع النقطي) بشكل كروي، الشكل (١-٥)، فإن مساحة سطح موجة الانتشار تزداد كلما ابتعد الصوت عن منبعه وبالتالي تضعف شدته. فإذا ازداد بعد موجة الصوت بمقدار الضعف عن المنبع فإن شدتها ستقل إلى الربع.



الشكل (١-٥) منبع صوت نقطي وآخر خطي

- كثافة الصوت: وكلما ازدادت شدة الصوت ازدادت كثافته والعكس صحيح.
 - اتجاه الرياح أو الهواء: فشدة الصوت تزداد كلما ازدادت شدة الرياح وتتناسب معها طرذاً، 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 ومقوية للصوت، خاصة في الفراغات الكبيرة. أما في الفراغات والقاعات الصغيرة فإن هذا الأمر محلول أصلاً من خلال العواكس الطبيعية للصوت كالسقف والجدران على سبيل المثال.
- ٢- درجة الصوت: من خلال هذه الخاصية تتمكن الأذن من التمييز بين الأصوات الثخينة أو الغليظة (المنخفضة الدرجة) وبين الأصوات الحادة (المرتفعة الدرجة). وتتحدد درجة الصوت من خلال عدد الهزات في الثانية الواحدة، أو من خلال التواتر أو التردد (Frequency). ويعبر عن درجة الصوت أحياناً بتعبير الطبقة، فيقال صوت ذو طبقة غليظة وآخر طبقته حادة، الشكلان (١-٦) و (١-٧). ويصدر كل منبع صوتي تردداً أساسياً، يحدد طبقة هذا الصوت، مرافقاً بمجموعة من الترددات تمنحه بصمته الصوتية

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



الشكل (٦-١) منحنى صوت بطبقة حادة الشكل (٧-١) منحنى 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 كلا منهما ناتج عن مصدر مختلف.

٦-١- الخصائص الفنية للأصوات:

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

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:

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

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

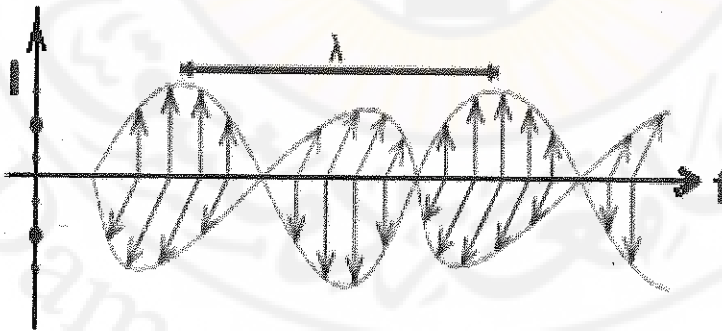
٢- تردد الصوت (f) (Sound frequency): الذي يقدر بالهرتز (Hz). وتردد (تواتر أو اهتزاز) الصوت هو عدد هزات الصوت في الثانية الواحدة. حيث:

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

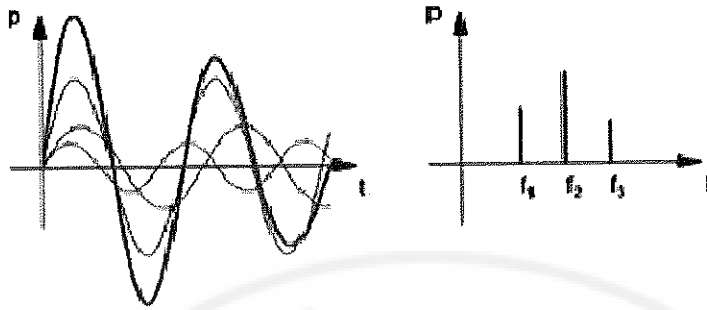
λ : هو دور الصوت (طول موجته)، ويقدر بالثانية (S)، والذي يكون عبارة عن المسافة الزمنية بين قمتي موجة متجاورتين ولهما نفس الاهتزاز. الشكل (٨-١) يمثل شكل موجة صوتية مثالية واحدة، مرسوم فيها الانتشار العمودي والانتشار الأفقي فقط للموجة. دور موجة الصوت (λ) وشدته (I).

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

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



الشكل (٨-١) يبين موجة صوتية



عدة أمواج صوتية متخامدة ذات ترددات مختلفة في منظر جانبي وآخر رأسي

الشكل (٩-١) عدة موجات صوتية

٤- كثافة الطاقة الصوتية (ω): 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 تصف بشكل عام طبيعة الوسط المنتشرة فيه الموجة الصوتية واحدتها هي: $\frac{N.s}{m^3}$ (نيوتن في ثانية على المتر المكعب).

٧-١- الأنظمة الصوتية الداخلية:

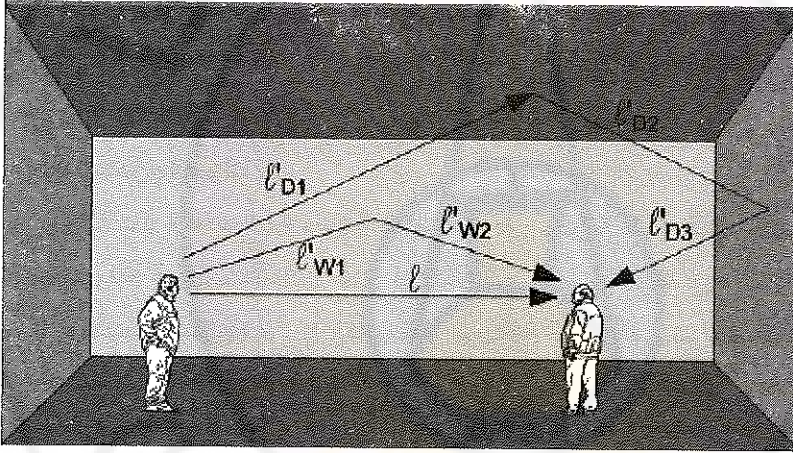
عندما ينتشر الصوت في وسط (حيز) مغلق فإنه سيصطدم بالحواجز الموجودة في هذا الوسط، من جدران وسقف وأرض، وكذلك بحواجز أخرى قد تتواجد في المكان مثل الأعمدة التزيينية والكراسي والطاولات والخزن وما شابه. وعندما يصطدم الصوت بهذه الحواجز فإن جزءاً منه سينعكس عبرها وجزءاً آخر سيتم امتصاصه منها. فالصوت إذاً في أي 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 المررد للصوت. إلا أن هذه الحالة نادرة الوجود، لأن أكثر الغرف لا تسلك هذا السلوك. ومثل هذه

الغرف يكون فيها عادةً ثلاثة حقول، الحقل القريب (Near field) ، والحقل الحر (Free field) ، والحقل المرتد أو المنعكس عبر الحواجز الجدارية (Reverberant field). والحقل القريب للصوت هو عادةً ذلك الذي يكون قريباً من المنبع. والحقل المرتد هو الذي يكون على مقربة من الجدران. بينما الحقل الحر هو الذي يكون بعيداً عن الجدران والمنبع، أي أنه الحقل الذي يتوسط الحقلين القريب والمرتد.

إن كمية الأشعة المنعكسة وبالتالي شدة الأشعة في هذا الحقل تعتمد على خواص الحواجز الجدارية للحيز أو الغرفة، فيما إذا كانت هذه من النوع الممتص أو العاكس للصوت، وشدة تأثير انعكاسها [١١]..

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

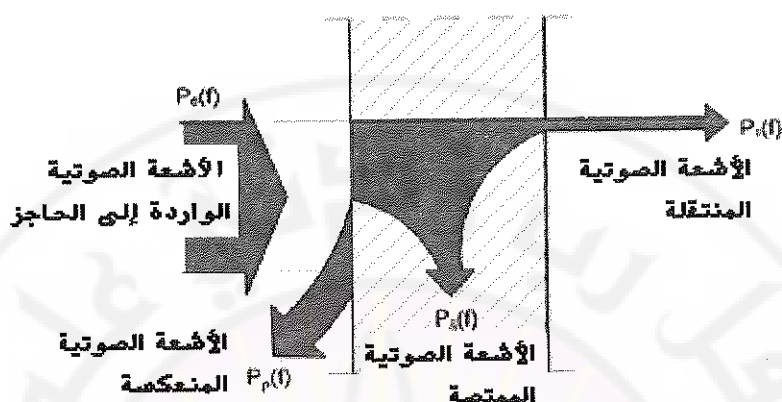


الشكل (١٠-١) صوت مباشر وانعكاساته في حيز مغلق

١-٨- خصائص الحواجز أمام الأصوات:

عندما يصل صوت ما إلى حاجز معين، جدار أو سقف أو أرض وما شابه، فإن هذا الصوت، وبحسب 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 للصوت

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 للحواجز وسطوحها أمام الصوت بشكل مفصل [٩] و [١١].



الشكل (١١-١) أشعة صوتية بأشكال سلوكها 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 المرتطم الكلي أو الواصل إلى الحاجز من الأشعة الصوتية هو: I_i وكان مقدار أو كثافة الجزء الذي تم امتصاصه من قبل الحاجز هو I_a فيمكن بالتالي كتابة علاقة، نسميها عامل أو نسبة الامتصاص، على الشكل التالي:

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

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

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

وتقدر هذه بوحدة تدعى السابين (Sabine). وباعتبار أن نسبة الامتصاص ليس لها واحدة، وإذا كانت مساحة السطح مقدرة بالقدم المربع فتكون الواحدة المعبرة 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 الحواجز مكونة من مجموعة من المواد المختلفة وليس من مادة واحدة، ولكل من المواد المختلفة عامل امتصاص خاص بها. فيكون عامل أو نسبة الامتصاص الكلية مساوية 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 الواصلة للحاجز، امتصاص قد يختلف عن امتصاص شعاع صوتي آخر بتردد آخر. فعوامل الامتصاص إذاً تختلف باختلاف ترددات الأشعة الصوتية، لذلك يجب حسابها منفردة 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 بسماكة هذه المادة بكثير.

في الواقع العملي تستخدم جداول خاصة لمختلف المواد التي تستخدم في العزل الصوتي، والتي غالباً ما تتركب على الأسطح الداخلية للأماكن لتخفيف الانعكاسات الصوتية. ونورد هنا على سبيل المثال في الجدول (١-٤) 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]

اسم المادة	التردد مقدراً بالهرتز (Hz)						
	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٦٠٠٠
آجر غير صقيل	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٤	٠.٠٥	٠.٠٧	٠.٠٠٥
آجر غير صقيل ومطلي	٠.٠١	٠.٠١	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٣	٠.٠٤
سجاد ثقيل فوق طبقة اسمنت	٠.٠٢	٠.٠٦	٠.١٤	٠.٠٤	٠.٦٠	٠.٦٥	٠.٢٩
سجاد ثقيل فوق طبقة مطاطية أو رغوية	٠.٠٨	٠.٢٤	٠.٥٧	٠.٦٩	٠.٧١	٠.٧٣	٠.٥٥
سجاد ثقيل فوق طبقة شعرية ناعمة أو مطاطية رغوية عيار ٤٠ أونصة	٠.٠٨	٠.٢٧	٠.٣٩	٠.٣٤	٠.٤٧	٠.٦٣	٠.٧٣
بلوك اسمنتي خشن	٠.٣٦	٠.٤٤	٠.٣١	٠.٢٩	٠.٣٩	٠.٢٥	٠.٣٥
بلوك اسمنتي مدهون	٠.١٠	٠.٠٥	٠.٠٦	٠.٠٧	٠.٠٩	٠.٠٨	٠.٠٥
ألياف فيلور (مخمل) خفيف على الجدار	٠.٠٣	٠.٠٤	٠.١١	٠.١٧	٠.٢٤	٠.٣٥	٠.١٥
ألياف فيلور متوسطة ١٤٠ أونصة	٠.٠٧	٠.٣١	٠.٤٩	٠.٧٥	٠.٧٠	٠.٦٠	٠.٥٥
ألياف فيلور ثقيلة ١٨٠ أونصة	٠.١٤	٠.٣٥	٠.٥٥	٠.٧٢	٠.٧٠	٠.٦٥	٠.٦٠
أرضية اسمنتية أو اسمنتية مع قطع رخام	٠.٠١	٠.٠١	٠.٠١٥	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٣
أرضية بمشمع أرضي أو زفت أو مطاط أو رقاقة من الفلين على الأرض	١.٠٢	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٢	٠.٠٥
أرضية من الخشب	٠.١٥	٠.١١	٠.١٠	٠.٠٧	٠.٠٦	٠.٠٧	٠.٠١
أرضية من الخشب فوق طبقة من الزفت	٠.٠٤	٠.٠٤	٠.٠٧	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.٠٧	٠.٠٥
ألواح زجاج كبيرة وسميكة	٠.١٨	٠.٠٦	٠.٠٤	٠.٠٣	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٥
ألواح زجاج نافذة عادي	٠.٣٥	٠.٢٥	٠.١٨	٠.١٢	٠.٠٧	٠.٠٤	٠.١٥
لوح جبس نصف إنش معلق بمسمار	٠.١٠	٠.٠٨	٠.٠٥	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٥
رقائق رخامية أو صقيلة	٠.٠١	٠.٠١	٠.٠١	٠.٠١	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٣

٠.٠١٣	٠.٠٠١	٠.٠٠٢	٠.٠٠٣	٠.٠٠٤	٠.٠٠٥	٠.٠٠٥	جبصين أو كلس مطلي على الأجر
٠.٠١٤	٠.٠١٠	٠.٠٠٦	٠.٠٠٥	٠.٠٠٤	٠.٠٠٣	٠.٠٠٥	جبصين أو كلس مطلي على الخشب
٠.٠١٤	٠.٠١٠	٠.٠٠٦	٠.٠٠٤	٠.٠٠٤	٠.٠٠٣	٠.٠٠٥	رقائق خشبية مغرأة سماكة ٣/٨ إنش
٠.٠٠٨	٠.٠٠٨	٠.٠١٣	٠.٠١٥	٠.٠١٥	٠.٠٠٢	٠.٠٠٣	سطح الماء في بركة سباحة
٠.٠٦٨	٠.٠٨٨	٠.٠٧٠	٠.٠٩١	٠.٠٩٧	٠.٠٩٣	٠.٠٨٥	ألواح سقف من الفيبير كلاس المدهون ٥/٨ إنش
٠.٠٦٦	٠.٠٨٥	٠.٠٧٢	٠.٠٩٤	٠.٠٩٩	٠.٠٩٨	٠.٠٩٠	ألواح سقف من الفيبير كلاس المدهون ٣/٤ إنش
٠.٠٦٩	٠.٠٩١	٠.٠٧٩	٠.٠٩٩	٠.٠٩٩	٠.٠٩٩	٠.٠٩٠	ألواح سقف من الفيبير كلاس المدهون ١ إنش
٠.٠٦٤	٠.٠٨٢	٠.٠٦٨	٠.٠٨٦	٠.٠٨٣	٠.٠٥٧	٠.٠٨٠	ألواح سقف من الفيبير كلاس مشققة عشوائياً سماكة ٥/٨ إنش
٠.٠٧١	٠.٠٨٩	٠.٠٦٨	٠.٠٩٠	٠.٠٩٦	٠.٠٩٨	٠.٠٨٥	ألواح سقف من الفيبير كلاس متقبة سماكة ٥/٨ إنش
٠.٠٧٥	٠.٠٩١	٠.٠٧٠	٠.٠٩٣	٠.٠٩٩	٠.٠٩٩	٠.٠٩٠	ألواح سقف من القماش الزجاجي ٣/٤ إنش
٠.٠٧٥	٠.٠٩١	٠.٠٧٠	٠.٠٩٣	٠.٠٩٩	٠.٠٩٩	٠.٠٩٠	ألواح سقف من القماش الزجاجي سماكة ٣/٤ إنش ذات عقد أو نتوءات
٠.٠٦٨	٠.٠٩٣	٠.٠٧٧	٠.٠٩٩	٠.٠٩٩	٠.٠٩٩	٠.٠٩٠	ألواح سقف من القماش الزجاجي سماكة ١ إنش ذات عقد أو نتوءات
٠.٠٧٠	٠.٠٨٣	٠.٠٦٣	٠.٠٧٨	٠.٠٩١	٠.٠٩٢	٠.٠٨٠	رقاقات سقفية من الفيبير كلاس سماكة ٣/٨ إنش
٠.٠٤٧	٠.٠٤٩	٠.٠٥١	٠.٠٧٥	٠.٠٨٦	٠.٠٨٠	٠.٠٦٥	رقائق فيبر معدنية من السيلوتكس متقبة طبيعياً سماكة ٣/٤ إنش
٠.٠٤٩	٠.٠٥٥	٠.٠٥٣	٠.٠٨٠	٠.٠٩٤	٠.٠٨٣	٠.٠٧٠	رقائق فيبر معدنية من السيلوتكس منسوجة سماكة ٣/٤ إنش
٠.٠٢٧	٠.٠٢٦	٠.٠٥٢	٠.٠٧٥	٠.٠٦٨	٠.٠٥٣	٠.٠٥٥	رقائق فيبر معدنية من السيلوتكس ذات تصميم مربع أو متصالب سماكة ٣/٤ إنش

٠.٦٥	٠.٧٩	٠.٧٣	٠.٧١	٠.٤٩	٠.٦٥	٠.٦٠	ألواح أسبستوس مثقبة 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 بالجالسين عليها
-	٠.٣٠	٠.٣٨	٠.٣٩	٠.٢٢	٠.١٩	٠.١٥	المقاعد خشبية أو معدنية غير مشغولة بالجالسين

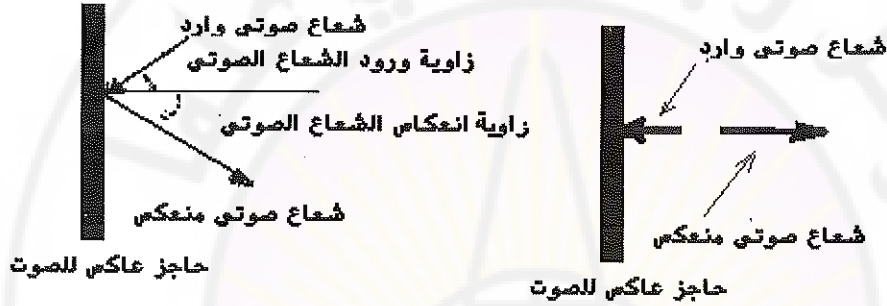
وكذلك يجب الذكر بأن الهواء المتواجد ضمن أي حيز سيمتص أيضاً جزءاً من الطاقة الصوتية المنتشرة في هذا الحيز، سواء كان هذا الصوت مباشراً أم منعكساً. وامتصاص الهواء للجزء من الطاقة الصوتية ناجم عن الجزيئات المتواجدة فيه. إلا أن كمية الصوت الممتصة من الهواء يمكن في معظم الحالات الصوتية إهمالها، نظراً لصغر 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 لا بأس به من الطاقة الصوتية، لدرجة أن زيادة أو نقصان عدد الحضور بشكل كبير عن العدد المتوقع المدروس قد يؤثر بشكل سلبي على الصوت في جهراته ووضوحه.

وإذا تواجد في أي حيز مغلق عدد لا بأس به من النباتات، وبالأخص 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 تتواجد.

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 يتعلق بعدة عوامل، أهمها نوعية وشكل سطح الحاجز الذي ارتطمت به وكذلك الوسط المنتشرة فيه الأمواج الصوتية. إن اتجاه أي شعاع صوتي منعكس سيخضع، وبشكل مشابه لقواعد الانعكاس كما في الضوء تماماً. الشكل (١-١٢) يبين شعاعاً صوتياً وارداً ومنعكسه على حاجز صوتي في حالتين مختلفتين لزاوية ورود الشعاع الصوتي [٣] و [١١] و [١٢].



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

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

وبما أن لكل المواد أو الحواجز معامل أو نسب الامتصاص يكون أيضاً للأصوات معاملات أو نسب انعكاس وتحسب كنسب مئوية من كامل الطاقة الصوتية الواصلة أو المرتطمة بـ سطح الحاجز. ونسبة الانعكاس للصوت تساوي الطاقة الصوتية المنعكسة مقسومة على كامل الطاقة المرتطمة بالحاجز، على الشكل التالي:

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

حيث: I_b هو الجزء المنعكس من سطح الحاجز من كامل الطاقة الصوتية المرتطمة به.

I_i الطاقة الصوتية الكاملة المرتبطة بالحاجز.

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

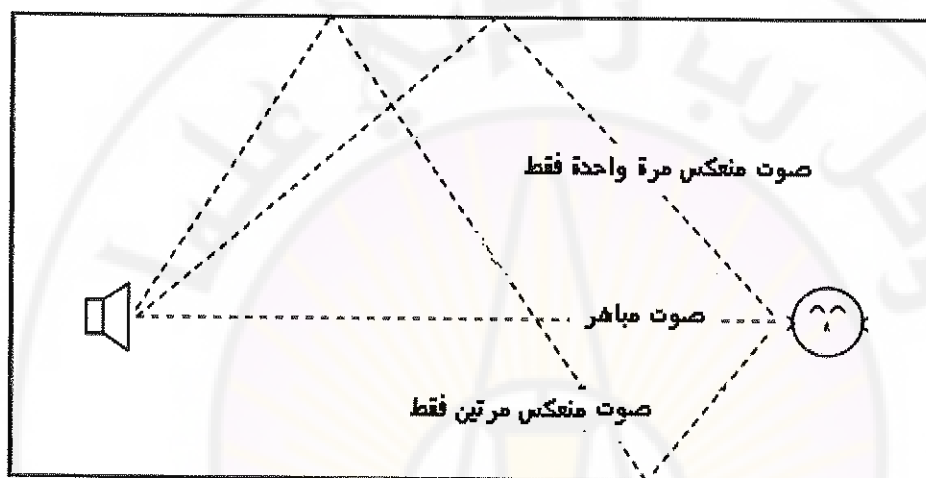
الجدول (٥-١) النسبة المئوية لانعكاس بعض المواد

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

مع العلم أن أكثر الأمواج الصوتية انعكاساً 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 بالإساءة للصوت والتشويش عليه ويتوجب الحد منه، أو تتم الاستفادة منه أحياناً كما سنرى فيما بعد. الشكل (١-١٣) يبين على سبيل المثال أشعة صوتية

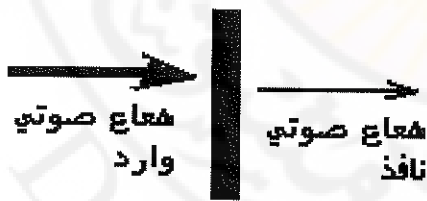
تصل لأذن السامع عن طريق ثلاث طرق مختلفة. بشكل مباشر، ومن الانعكاس الأول، ومن الانعكاس الثاني للصوت.

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



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

١-٨-٣- انتقال الأصوات:



حاجز نفاذ للصوت

الشكل (١٤-١) انتقال شعاع صوتي عبر

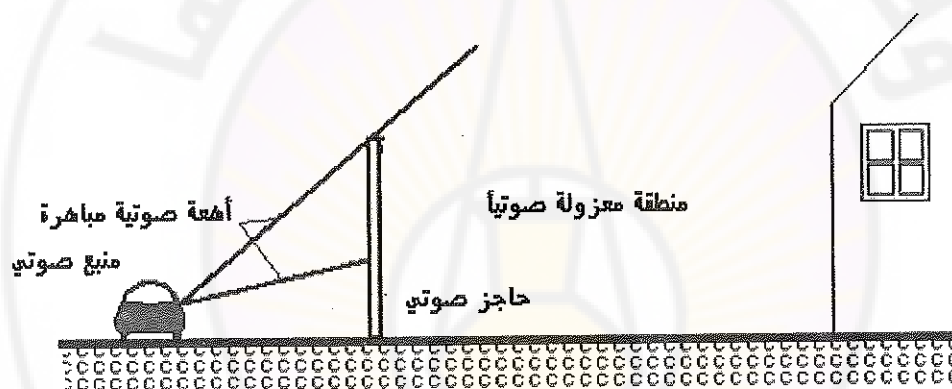
حاجز نفاذ للصوت

تنتقل الأصوات عبر الحواجز بشكل مشابه تماماً للضوء. فارتطام الصوت بحاجز سيتسبب في قلة نفاذ الصوت للحاجز، مما يسمح بالتالي بانتقال جزء من الصوت المرتطم 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 القريبة من الطرقات التي تمر عليها العربات والآليات المختلفة، بغية الحد من شدات أصوات هذه العربات الواصل إلى البيوت السكنية [١١]. الشكل (١-١٥) يبين مثل هذه الحالة.

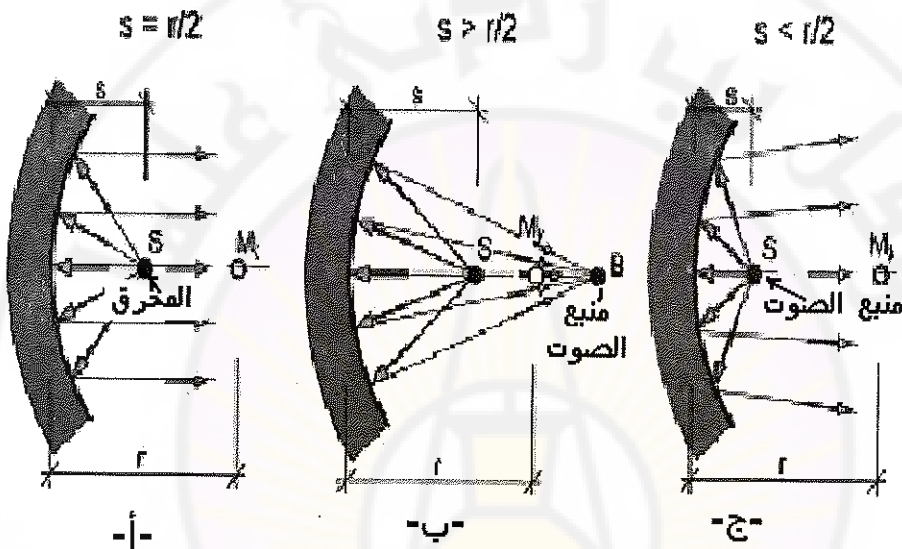


الشكل (١-١٥) حاجز صوتي (حاجز ماص للصوت) يفصل شارعاً عن منطقة سكنية

١-٩ - التركيز البؤري للأمواج الصوتية:

إن القبة المقعرة سوف تركز الصوت (Focusing) في منطقة معينة من الحيز أو الفراغ أو الغرفة. عندما تنعكس 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 المقعر جزءاً منها، كما في الشكل (١٦-١-أ-). أما إذا كان المنبع الضوئي أبعد من المحرق عن السطح المقعر 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 المقعرة (تجميع الأشعة)

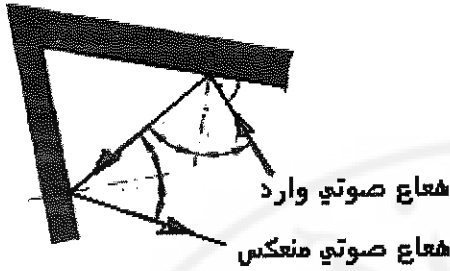
الشكل (١٦-١-أ-) منبع الصوت في محرق السطح المقعر

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

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

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 تركز الصوت في موضع ويكون فيها عالياً، وربما أكثر من المطلوب، وتحرم بالتالي مستمعين آخرين من الاستفادة من الصوت المنعكس، 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 المقعرة، كما يبين الشكل (١٧-١) . [١٢]



١٠-١- انتشار الأمواج الصوتية:

إن ظاهرة انتشار الأمواج الصوتية هي عكس ظاهرة التجمع أو التركيز البؤري لها. وتحدث هذه الظاهرة عند سقوط الأشعة الصوتية على سطوح عاكسة محدبة، حيث تبتعد الأشعة المنعكسة عن بعضها، أي تنتشر. وتكون حدة الانتشار متعلقة بتحدب السطح العاكس، فكلما ازداد هذا تحديداً 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 يستفاد من هذه الظاهرة في الكثير من القاعات المخصصة للحفلات الموسيقية. الشكل (١٨-١) يبين ظاهرة انتشار الأشعة الصوتية عند ارتطامها بسطوح محدبة الشكل واتجاهات الأشعة الصوتية المنتشرة [٣] و [١١] و [١٢].



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

١-١١- ارتداد (ترداد) أو دوي الأصوات:

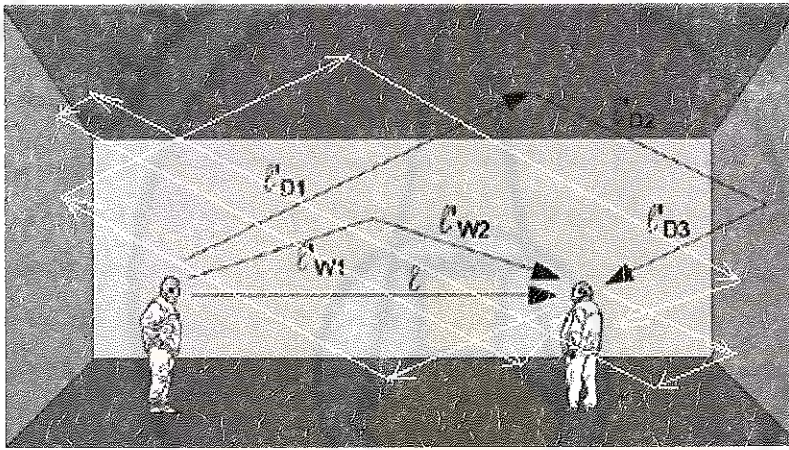
يعرف ارتداد أو دوي الأصوات على أنه الأصوات الحاصلة، أو تلك التي يستمر سماعها، بعد أن يتوقف المنبع الصوتي عن إصدار الصوت. وهو يحصل نتيجةً للانعكاسات المتعددة. ويشاع استخدام مصطلح الدوي للأصوات المنعكسة عن الحواجز، وذلك للأماكن أو الغرف المغلقة. ويعرف على أنه مجموعة الأصوات التي يستمر سماعها أو صدورها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

إن الصوت قد يخضع للعديد من الانعكاسات المتكررة المتعاقبة على الأسطح أو الحواجز العاكسة، كما سبق الذكر؛ فالصوت المباشر سيكون الأسرع في السماع. أما الصوت المنعكس فيقطع مسافة أطول للوصول إلى المستمع، وبالتالي سيسمع بعد فترة وجيزة 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 دوي أو تردد 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 نغمةً ما في حيز مغلق وسكت، فسيسمع بشكل مباشر النغمة 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 يتوالى سماعه للأصوات المنعكسة بشدات صوت تتخامد ثم يتلاشى سماعه للأصوات. إن سماع هذه الأصوات المتعاقبة في الحيز المغلق هو ما يسمى بالدوي أو التردد. وعادةً ما يسمى انعكاس صوت على حاجز بالمرحلة. وعندما ينعكس الصوت على عدة حواجز بالتتالي فإنه ينتقل من مرحلة إلى أخرى، أي يخضع الصوت لعدة مراحل من الانعكاس.

أما عندما تكون الحواجز ذات أسطح شديدة العكوس فإن الصوت المنعكس سيسمع بنفس شدة ووضوح الصوت المباشر تقريباً، حتى إنه يسمع وكأنه تكرر له. هذه الظاهرة تسمى بصدى الأصوات (Echo). فصدى الصوت هو إذاً ظاهرة سماع الأصوات المنعكسة من على أسطح الحواجز وكأنها 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 صوتياً مثل بعض الكنائس. الشكل (١-١٩) يبين بعض انعكاسات الصوت على الجدران والأرض والسقف في حيز مغلق وإمكانية حدوث دوي.



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

بحسب زمن تردد أو دوي الصوت في معظم الدراسات الصوتية للأماكن المغلقة عند الترددات: Hz (٢٠٠٠, ١٠٠٠, ٥٠٠, ١٢٥) وهناك معادلات خاصة لحساب زمن ارتداد الصوت عند هذه الترددات، والترددات الأخرى أيضاً.

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 منفردة دون أن تتداخل بعضها ببعض (لا يوجد فيه ارتدادات للأصوات)، لذلك فإن الأماكن المخصصة

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

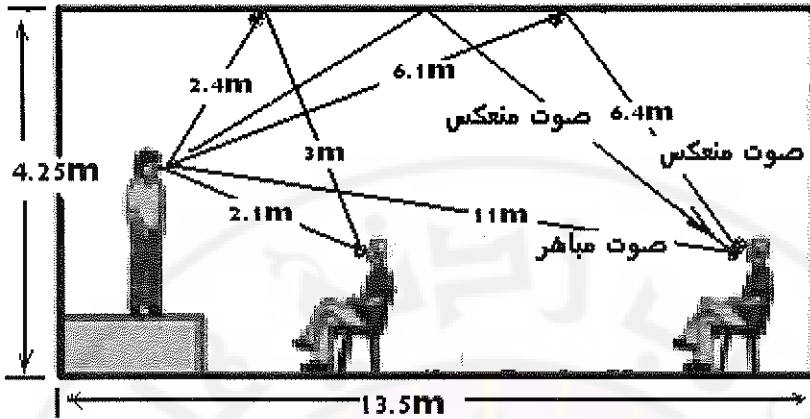
إن ارتداد الصوت يشكل أحياناً، وحسب الوظيفة المطلوبة، تشويشاً (ضجيجاً) غير مرغوب فيه ويجب التخلص منه. وفي بعض الحالات قد يخدم الوظيفة المطلوبة بشكل غير مسيء. فعلى سبيل المثال: في غرفة محادثة مثالية يجب أن يصل الكلام إلى أذن السامع بشكل واضح، أي يجب الحفاظ على زمن ارتداد معين وصغير للصوت، بالتالي يمكن التحكم بالضجيج وتكون نسبة التخماد صغيرة. لكن الخبراء الموسيقيون ينصحون، ومن خلال التجربة، أن يكون لقاعات الكونسرت (concert hall) زمن ارتداد يقع بين القيمتين: 1.6Sec و 1.8Sec.

ويجب التنويه بأنه من غير المرغوب فيه أن يكون زمن الارتداد صغيراً جداً، أي امتصاصاً عالياً جداً للصوت، أو انعكاساً أصغرياً له، وذلك للسببين 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 للإبقاء 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 مقداره 50mSec (معظم الباحثين يعدون هذا الزمن 30mSec)، ومن أجل التخلص من حدوث انعكاسات في الصوت تتسبب بالصدى فإن معظم القاعات، أو الغرف، تصمم ليكون الفرق بين المسافة التي يقطعها الصوت المنعكس الأول 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 المتلقي صوت مباشر والعديد من الأصوات المنعكسة بفارق زمني بينهم أقل من 50ms . الأصوات المنعكسة تساهم في تقوية شدة الصوت المباشر.

١٢-١ - صدى الأصوات:

إذا وصل إلى أذن الإنسان صوتان مختلفان بفارق زمني بينهما أقل من 50ms ، فإن الأذن لا تستطيع التمييز بينهما (ليس لديها أو لدى مركز السمع في الدماغ الإمكانية 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 ثانيةً إلى أذني مطلقه ليسمعه ثانيةً وكأنه آتٍ من شخص آخر. وباعتبار أن سرعة الصوت الوسطية في الهواء تساوي $S=340\text{m/s}$ والزمن الحدي الفاصل بين الصوت وصداه (Echo) هو

$t=0.05\text{ms}$ فيمكن حساب المسافة (d) التي سيقطعها الصوت وصداه منذ لحظة انطلاقه من فم المتكلم ليصطدم بالجدار وليعود ثانية إلى أذنه قاطعاً نفس مسافة الذهاب وفق العلاقة:

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

$$d = s \times t = 340 \frac{m}{S} \times 0.05\text{ms} = 17\text{m} \quad (1-10)$$

وهي مجموع مسافة ذهاب الصوت إلى الجدار واصطدامه به ومن ثم إيايه 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 مندمجاً 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 سيزداد 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 تنجم عن ارتطام الصوت بالحاجز وانتشاره في الجو [١١] و[١٢].

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

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

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

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

أي سبيل صدی صوت المتكلم ليعود إلى أذنه فيسمعه بعد فترة زمنية أطول بأضعاف فيما لو كان بعده عن الحاجز العاكس 10m فقط.

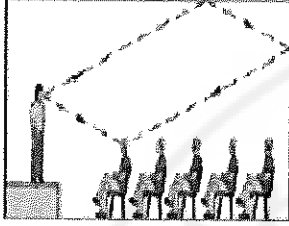
إن صدور أصداء للأصوات جعلت المصممين المعماريين يدرسون أبعاد القاعات، وخاصة القاعات ذات الاستخدامات الاحتفالية العامة آخذين بالحسبان هذه الخاصية. فإما أن تكون هذه القاعات بأبعاد أقل من أن يحدث فيها الصدى، أو تلبس هذه على العموم من الداخل بمواد ماصة لأصوات الصدى، علماً أن سرعة الصوت في الجو ليست ثابتة 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 70ms تقريباً عن صوت المتكلم، وليس 50ms كما سبق الذكر. ويتم في بعض الدراسات تعريف الصدى على أنه الصوت المنعكس الذي يصل إلى أذن السامع بعد 70ms من وصول الصوت المباشر [2] و [3] و [9].

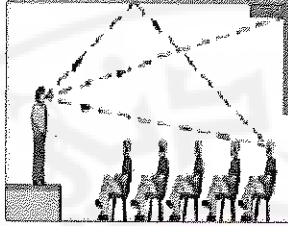
إن وصول الصدى، هذا الصوت المنعكس، هو بشكل عام أمر غير مرغوب به لأنه يؤدي إلى التشويش على الصوت الأساسي ويقلل من جهارته ووضوحه ويشكل إزعاجاً للمستمعين، لذلك يتم دوماً العمل على تلافيه، إما عند بدء الدراسة والتصميم المعماري، أو من خلال الإكساء الداخلي للقاعات بمواد ذات طبيعة معينة ماصة للأصوات المنعكسة.

وفي الواقع العملي ينشأ الصدى على سبيل المثال من سطوح القاعات التي فوق خشبة المسرح أو السطوح الخلفية للقاعة. وللتخلص 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 الأسقف. الشكل (١-٢١) يبين قاعة كبيرة يحدث فيها صدى، وإمكانيتين مختلفتين للتخلص منه، إما من خلال سطوح ماصة للصوت (للصدى)، أو من خلال سطوح عاكسة [11] و [12].

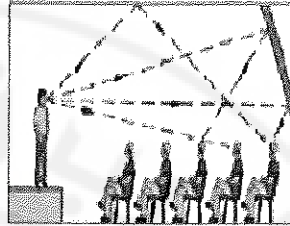
ولعل الحالة الأكثر سوءاً من الناحية الصوتية هي الغرف ذات الزوايا القائمة في أعلاها، تحت الأسقف. فعلى أسطح الزوايا القائمة سينعكس الصوت من على السطح إلى الجدار المواجه للمتكلم، ومن الجدار سينعكس الصوت عائداً باتجاه المتكلم. (الشكل (١-٢١-أ)) ليشوش على صوت المتكلم المباشر. فنهايات بعض الكلمات أو الجمل التي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



-أ-



-ب-



-ج-

الشكل (١-٢١) يبين غرفاً يحدث فيها صدى وإمكانيتين للتخلص منه
 الشكل (١-٢١-أ) يبين المسار الطويل للأشعة الصوتية وإمكانية حدوث أصداء له
 الشكل (١-٢١-ب) يبين إمكانية إلغاء الأصداء من خلال وضع مواد ماصة للصوت في
 زاوية الغرفة العلوية المواجهة للمتكلم
 الشكل (١-٢١-ج) يبين إمكانية وضع لوح عاكس للصوت بشكل مدروس (مائل مثلاً)
 في الزاوية العلوية للغرفة لعكس الصوت والاستفادة منه (منيع صوت وهمي)

قد تعود ثانيةً معكوسةً إليه لتتداخل مع كلمات المتكلم التي يقولها للتو، مما يتسبب بالتشويش على صوت المتكلم وفقدانه لوضوحه، لذلك فإن معالجة هذه النقطة صوتياً أمر هام، ولا بد منه في بعض الأماكن. انظر الشكل (١-٢١-ب-) والشكل (١-٢١-ج-) لكيفية التخلص من تأثير الزوايا في الغرف على وضوح الصوت. فلقد تم في الشكل بالمنتصف وضع محمد صوت في الزاوية. وفي الشكل (١-٢٠-ج-) تم وضع عاكس للصوت ليستفاد منه. هذه العملية في الحالتين السابقتين تسمى في بعض المراجع بكسر الزوايا.

١-١٣- 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 الداخلة في تركيبه، وطريقة تركيبه أو تثبيته. إن حركة الحاجز الترددية ستصدر بدورها صوتاً أو أصواتاً مماثلة للأصوات المصطدمة 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 وأرض وأعمدة وسواها تتأثر بالأصوات وتتجاوب مع الأمواج الصوتية المصطدمة بها. وتجاوب هذه الحواجز يكون، كما ذكرنا، متعلقاً بعدة عوامل. فالحواجز ذات الكتل الثقيلة كالأعمدة وجدران الإسمنت مثلاً لن تتجاوب وتهتز كالجدران الخشبية الرقيقة والخفيفة الوزن وما إلى ذلك. وبالتالي لن تصدر هذه أصواتاً كالحواجز الأقل كتلةً 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 بذبذبة التجاوب. فذبذبة التجاوب هي إذا الذبذبة التي تنتج عندها المادة أعلى تجاوب.

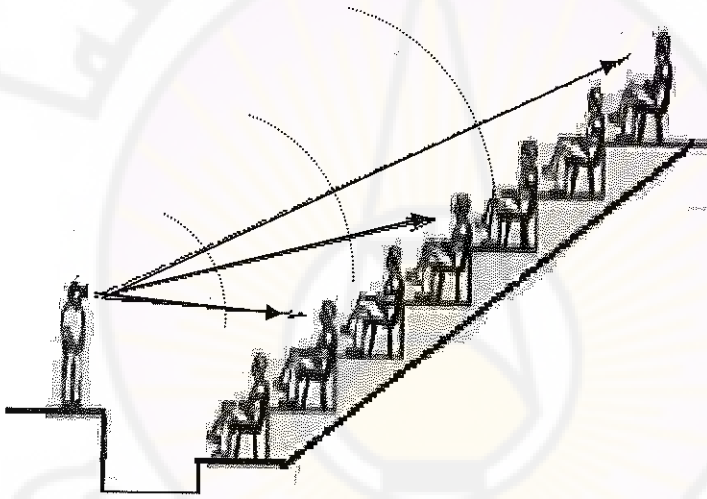
إن ظاهرة ذبذبة التجاوب هي ظاهرة مزعجة وغير مرغوب فيها على الإطلاق من الناحية الصوتية، ويتم العمل على التخلص منها في الكثير من الحالات. في الغرف والاستديوهات المعدة لتسجيل وسماع الموسيقى يتم الاستفادة من هذه الظاهرة، وذلك بوضع ألواح خشبية كبيرة المساحة تتجاوب هذه وتتسبب بالرنين عند الترددات المنخفضة للأصوات فتعطي للأصوات الموسيقية نغماً وإيقاعاً أفضل للسمع. لذلك تعد الألواح الخشبية أساسية في أعمال الموسيقى كحواجز جدارية أو سقفية أو حتى أرضية.

١-١٤- مسارات الأصوات:

يتوجب على كل مستمع في قاعة محاضرات أو مسرح أو ماشابه 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 عادة 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].

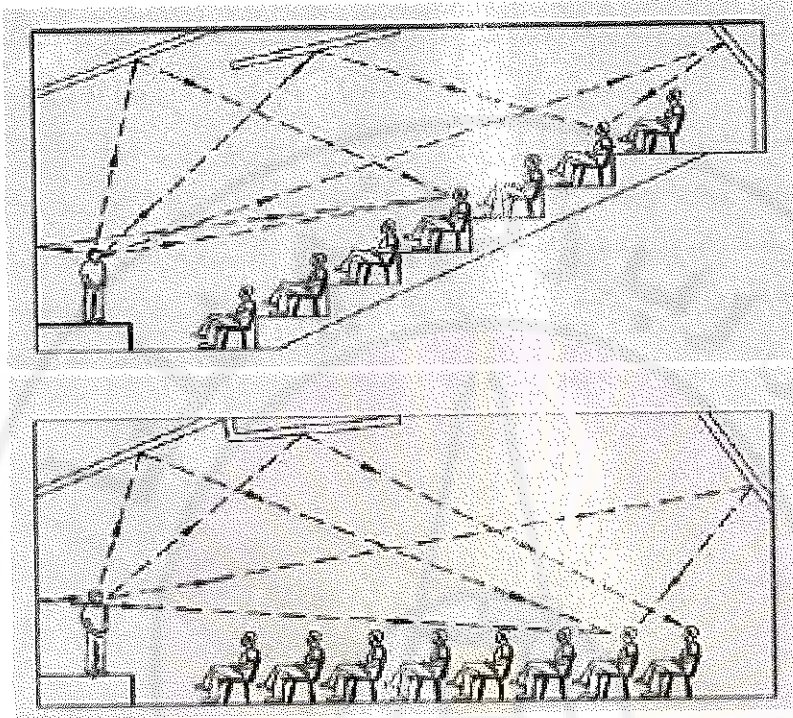
إن الانعكاس الجيد هو الذي يحدث عادةً من سطح لامع (Poished). ويعد هذا السطح العاكس في هذه الحالة عبارة عن منبع آخر للصوت، نسميه بالمنبع الوهمي الفعال؛ ففي مسارح الرومان واليونان القدماء تم بناء المقاعد مرتبة على منحدر وبشكل أسطواني حول المتحدث، بحيث يتوزع الصوت إلى كل مكان في المسرح بشكل مسموع وواضح وبتخميد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



الشكل (٢٢-١) مدرج روماني قديم مفتوح ومدرّوس 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). وأبعاد هذا اللوح يجب أن تكون مدروسة بحيث يعكس أصغر موجة تردد مستخدم عند سرعة الصوت المعروفة في الهواء: 340 m/s . هذا مع العلم بأن مهندس أو أخصائي الصوت يقوم بحساب عدد وزوايا وأبعاد ونوعية وأمكنة وضع الألواح العاكسة المناسبة لتقوم بعكس الأمواج الصوتية المرادة وإخماد تلك التي قد تتسبب بالتشويش أو

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



الشكل (٢٣-١) يبين إكاثنتين لوضع عواكس صوت (ألواح صقيلة) في مدرج وفي صالة مغلقين

١٥-١- ضجيج الأصوات:

يعرف الضجيج (Flutter) على أنه تلك الأصوات التي يتم سماعها أو إدراكها كهمس أو قرقرة أو تشويش، تؤثر على جهازة 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 ينتج من مصادر متعددة ومختلفة، مثل وسائل النقل والمصانع ومواقع البناء والبحر وسواها. 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 ليلًا يختلف عنه نهاراً، وكذلك هو الأمر مابين فترة قبل الظهر، وهي فترة العمل إجمالاً، وفترة بعد الظهر، حيث تخف حركة الشارع.... إلخ.

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 يتركب عادةً من عدة أصداء متكررة تذهب وتعود بين السطوح غير الماصة للصوت، أي العاكسة له. الجدول التالي (٦-١) يعطي مستويات الضجيج القياسية لأماكن متعددة [١٠] و [١٢].

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

نوع المكان	الضجيج بالـ dB	ملحوظة خاصة بالتحادث
الصفير عن طريق الفم	١٠	لايشوش على الحديث ♣
حفيف الشجر	٢٠	لايشوش على الحديث
استوديوهات التسجيل والإذاعة	٣٠	لايشوش على الحديث
منطقة سكنية هادئة	٤٠	لايشوش على الحديث
المخازن الكبيرة والمطاعم والبوفيه	٦٠	التحدث بصوت عال ♣
المسارح	٧٠	التحدث بصوت عال
غرف الانتظار في محطات السكك الحديدية والأسواق المركزية ومعامل الطباعة	٨٠	التحدث بصوت عال
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 وألماً 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 والتكلفة 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 بالتشويش 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 أساسي بفعل حركة الشوارع وصخبها وما يسير عليها من آلات بأصواتها ويزماميرها المزعجة. وكذلك في المصانع، حيث حلت الآلة في كثير من الأحيان بدلاً من العامل. وصارت هذه تشكل عبئاً ثقيلاً عليه بفعل الأصوات العالية المزعجة الناجمة عن حركتها.

١-١٦ - انتقال الضجيج عبر الحواجز:

باعتبار أن الضجيج هو عبارة عن مجموعة من الأصوات، فيمكن له أن ينتقل عبر الحواجز النفاذة 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 ثلاث 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 بجدران الثقوب. وقد وجد بالدراسة والتحليل الصوتي أن الأشعة الصوتية ذات طول موجة معين (أو تردد الموجة) تدخل في ثقوب الجدران 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 الثقوب عن طريق الانعراج ستقل، وسيصبح بالتالي معامل النفاذية أقل من قيمته في حالة الثقوب 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 الجدران قدر الإمكان، وذلك إما بإغلاقها أو الإقلال من مساحاتها، أو الإغلاق المحكم للفتحات التي قد تتشكل بفعل الأجزاء المتحركة في الحواجز، مثل الفراغات التي قد تتشكل حول الأبواب أو النوافذ عند إغلاقها.

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

يتم الحد أو إلغاء انتقال الضجيج عبر الحواجز عن طريق وضع طبقة أو أكثر من الطبقات المختلفة التراكيب ذات الممانعات الصوتية المختلفة على هذه الحواجز، على سبيل المثال توضع مع الببتون مواد إسفنجية قاسية (برلون)، أو يوضع حاجزان بينهما طبقة عازلة من مادة مختلفة. أو توضع عدة طبقات خلف بعضها على سطح الحاجز الأساسي إلخ..... والجدير بالذكر في هذا المجال أن سماكة 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 واهتزازاته معها. أي وكأن الحاجز عبارة عن غشاء مرن تصل إليه طرقات ميكانيكية فتتحركه، ويصبح هو بالتالي مصدر الصوت في الجهة الأخرى منه. نذكر على سبيل المثال، زجاجاً رقيقاً بمساحة كبيرة أو بلاطة بيتونية رقيقة بمساحة واسعة أيضاً. إلا أن تجاوب الحاجز واهتزازاته لا يتم إلا في الحالة التي يتطابق فيها تردد الاهتزازات الصوتية مع تردد الرنين الخاص بالحاجز، حيث يكون الانتقال عندها أعظم ما يمكن.

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

١٧-١- الهندسة الصوتية:

إن كل شكل من أشكال الاتصال الصوتي يخضع لما يسمى بحلقة نقل، وهذه تتكون من: المنبع أو المصدر الصوتي ووسيط 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؛ فعازف الموسيقى مثلاً 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 الترددي لسمع الإنسان الواقع بين: ١٦ Hz و ٢٠ kHz.

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 للمستمع فسيبقى بشكل تماثلي دوماً، لأن شكل الإشارة الصوتية التي تسمعها أذن الإنسان هي إشارة تماثلية حصراً [٩].

١-١٨- الأنظمة الصوتية:

يتألف أي نظام صوتي، بشكل عام، من أجزاء مختلفة تكون بمجملها ضرورية لعمل وأداء هذا النظام. وتسمى هذه الأجزاء أيضاً بمكونات، (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 أذن هذا المستمع بدون استعمال نظام التقوية الصوتي. إن الكسب الصوتي هو في الحقيقة مقدار زيادة جهازة 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 إلخ. وكذلك من المهم معرفة المسافة التي يستطيع من خلالها المستمع سماع المتكلم مباشرة، أو من خلال مكبر صوت، الصوت بالسوية والجهارة والوضوح المطلوبين. هذه المسافة تدعى بالمسافة الطبيعية العظمى.

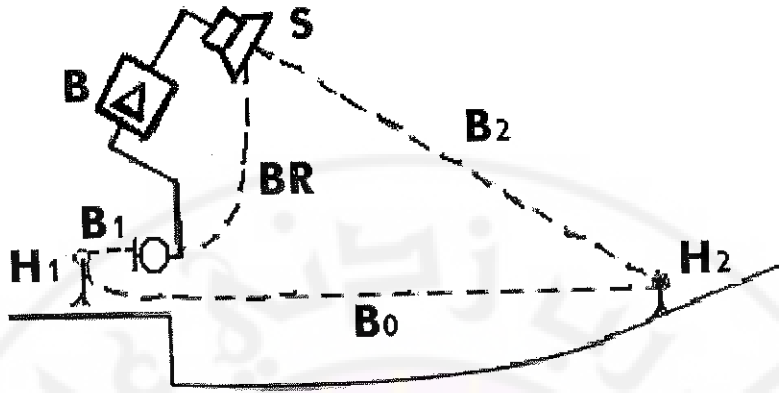
يتكون النظام الصوتي بشكل عام من ثلاثة مركبات رئيسية [٩]، وهي:

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 (١-٢٤) يبين نظاماً صوتياً بأبسط مكوناته الثلاث السابقة.



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

١-١٨-١- اللواقط (الميكروفونات):

يعد 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 وأمانة في نقل الصوت. فالمطلوب من اللاقط إذاً [٩]:

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

أنواع اللواظ: توجد أنواع مختلفة ومتعددة من اللواظ. وقد زادت هذه الأنواع في السنوات الأخيرة نتيجة للتطور المتنامي والسريع في أجهزة الاتصالات. إلا أننا بشكل عام نميز بين نوعين رئيسين منه:

١- اللاقط المتعدد الاتجاهات (اللاقط غير الاتجاهي).

٢- اللاقط الاتجاهي (الكارديوئيدي).

ويختلف النوعان عن بعضهما بصفات التوجيه والاستجابة الترددية. وعادة تعطى هذه الخواص للواظ في النشرات الفنية (الكاتلوكات) من قبل الشركات الصانعة. فاللاقط المتعدد الاتجاهات يستقبل الإشارات الصوتية من كافة الاتجاهات وبشكل متساوٍ كما يدل اسمه، لذلك يتأثر هذا اللاقط بإشارات التشويش التي قد تأتي من الخلف. أما اللاقط الاتجاهي فتكون حساسيته للأصوات من الجهة الأمامية أعظمية، ومن الجهة الخلفية أقل مايمكن. لذلك فهو قليل التأثير بالضوضاء والتشويش غير المرغوبين اللذين قد يأتيان من الخلف. وبشكل عام نميز بين ثلاثة أصناف للواظ:

١- اللاقط القلادي (Lavalier microphone): وهو لاقط على شكل قلادة، وصمم على

شكل جهاز صغير جداً يمكن تعليقه في حبل قصير حول العنق، أو يوضع مخفياً داخل الملابس، ومنه اللواظ الحديثة التي تستخدم مع أجهزة الاتصالات الحديثة كالموبايل والكمبيوتر وما شابه.

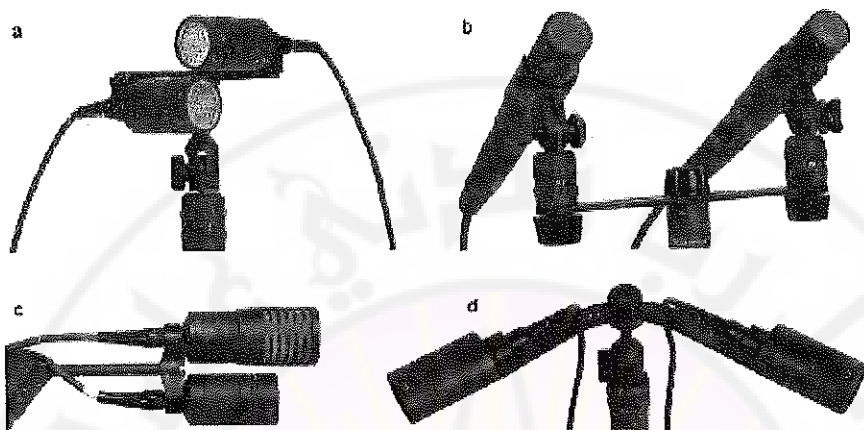
٢- اللاقط اللاسلكي (wireless microphone): ليس لهذا اللاقط أي اتصال بالمعالج أو

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 أشكال مختلفة أيضاً، إما أن يكون على شكل قلادة كسابقه أو يحمل يدوياً.

٣- لاقط إلغاء التشويش (The noise- canceling microphone): يعتمد مبدأ عمل

هذا اللاقط على الترددات السمعية للأذن البشرية، والتي تسمع أصواتاً في مجال الترددات العالية بشكل عام. أما الضجيج فينتشكّل في الغالب من أصوات ذات ترددات منخفضة؛ لذلك فالضجيج الصادر عن الأصوات البشرية يتم امتصاصه بسرعة عن طريق القماش الماص المجهز به هذا اللاقط، وبالتالي يلغى أثر الأصوات ذات

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



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

١-١٨-٢- مكبرات الصوت:

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

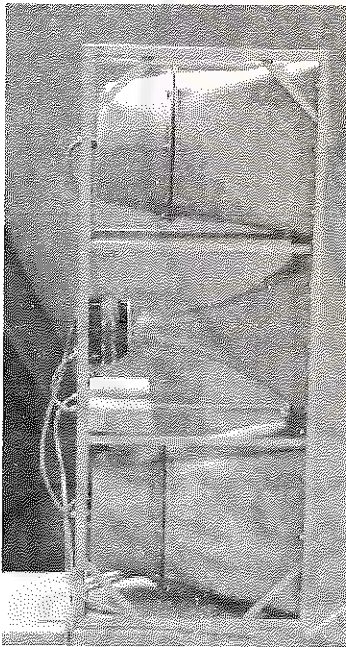
توجد أنواع عديدة وأشكال مختلفة لمكبرات الصوت نذكر منها [٩] [١٢]:

١- مكبرات الصوت المخفية (الضمنية): (Cbuilt-inloud speakers) يركب هذا النوع من المكبرات بشكل مخفي ضمن الأسقف والجدران المستعارة، 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 هياكل هذه المكبرات مصنوعة من الخشب أو الفير.

٢- مكبرات الصوت الصندوقية (Box type louds speakers): يتوفر هذا النوع من المكبرات بكافة الأحجام والنماذج. منها ما يمكن تركيبه بحرية في أي مكان، ومنها

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

٣- المكبرات البوقية (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، ويحمى من الظروف المحيطية كالغبار والرطوبة والأتربة... كما يتم استخدامه على سطوح البواخر والمراكب. وتتواجد منه أنواع خاصة لأماكن العمل المعرضة لحدوث انفجارات. كما يستخدم في المصانع الصاخبة بفعل وجود الآلات.

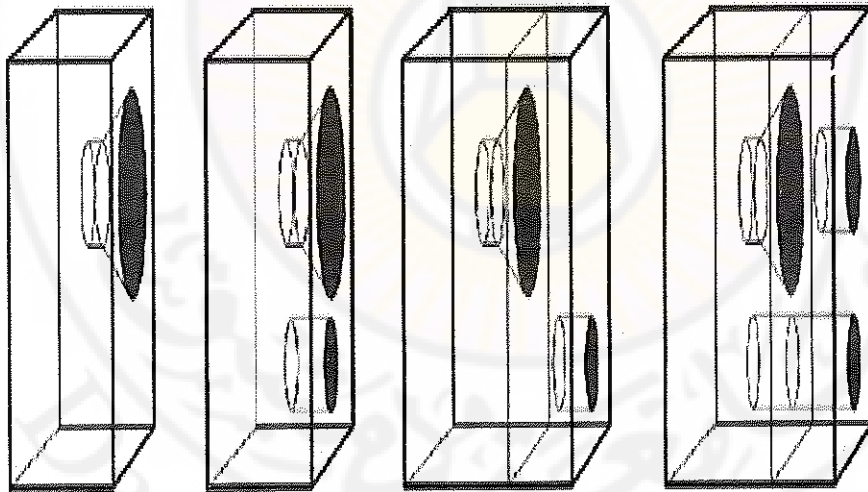


٤- الأعمدة الصوتية (Sound columns): وهي عبارة عن مجموعة من المكبرات المفردة من نفس النوع مثبتة ضمن غلاف مشترك، وموضوعة الواحدة فوق الأخرى، بشكل طولي. إن هذا النوع من الترتيب والتوضع للمكبرات المفردة يكون ملائماً لاستخدام اللواقط باحتمال أقل مايمكن لحدوث تغذية عكسية بالنسبة للشخص المتواجد أسفل المكبر أو خلفه مباشرة. الشكل (١-٢٦) يبين عموداً صوتياً بثلاثة مكبرات صوت.

يتميز العمود الصوتي بأنه يكون فعالاً في الشكل (١-٢٦) عمود صوتي

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). وتركب 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، والآخر يبرز الأصوات ذات الترددات المتوسطة، ومكبرات أخرى لإظهار الأصوات ذات الترددات العالية. تقيد 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 نقلاً 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 لتقوية الأصوات الصادرة من على خشبة المسرح، فتوضع عدة مجموعات تكبير لتنظم الاستجابة الترددية على كامل مجال الترددات، وهو يضمن نقلاً وتكبيراً أميناً للأصوات أو النغمات الموسيقية المختلفة.

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

تسمى مجموعة الأجهزة أو التجهيزات الكهربائية (Electrical-devices) اللازمة لعمل المجموعة أو النظام الصوتي كمضخمات الصوت ومخمداته 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].

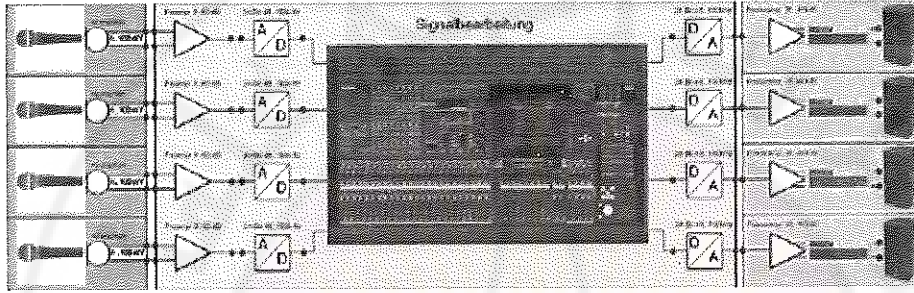
إن مضخمات الإشارة هي عبارة عن تجهيزات كهربائية تربط خرج اللواقط بدخل المكبرات. وعملها هو مضاعفة استطاعة الإشارات الكهربائية المستلمة من خرج اللواقط (أو أحياناً مصادر أخرى كما هو في آلات التسجيل). ويكون تكبير الإشارة إلى الحد الكافي لتشغيل مكبرات الصوت. إن عمل هذه المضخمات عبارة عن مرحلتين متتاليتين. الأولى هي في رفع توتر إشارة الدخل من السوية المنخفضة جداً للاقط (من حوالي 0.25 mV) إلى سوية عالية (حوالي: 200 mV). والمرحلة الثانية هي تضخيم الاستطاعة لتصبح مناسبة لاستطاعة المكبرات الموصولة بها، لذلك يرفع توتر الإشارة ثانية ليصل عادةً إلى 100 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 يكفينا معرفة لمحة بسيطة عن آلية عملها وما تقوم به ليس أكثر.

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

- التحكم يدوياً بالجهاز. حيث تتم عملية التحكم بجهاز 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 الترددي بين مصدر الصوت والمضخم.
- 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.

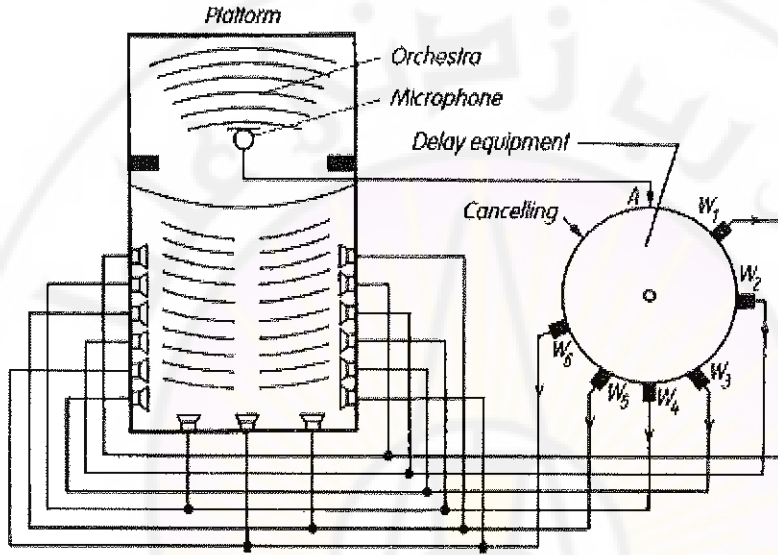


الشكل (٣٠-١) وحدة معالجة إشارة (تضخيم) لعمل أربعة لواقط وأربعة مكبرات اللواقط أربعة على أقصى الجهة اليسرى وأربعة مكبرات في الجهة اليمنى للصورة

١٩-١- النظام الصوتي لقاعات الاستماع:

يغلب استخدام مصطلح قاعات الاستماع على جميع الأمكنة الكبيرة والواسعة المغلقة، التي يتواجد فيها جمهور سواء لحضور الحفلات الموسيقية أو المسرحية 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 صوتياً 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 متحركة، 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 متوزعة على الجانبين وفي صدر القاعة موصولة عبر وحدة معالجة إشارة

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 للقاعة، التي يمكن منها أيضاً حساب حجم الغرفة وفق متطلبات الارتداد الصوتي، فقد يتم تعديل سطوح جدرانها 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 مايلزم للحصول على الصوت المناسب، آخذين بالحسبان المواد المستخدمة أصلاً؛ ففي جميع الأماكن المغلقة توجد أصلاً مواد ماصة للصوت وأخرى عاكسة بشكل بديهي (سطوح السقف والجدران والأرض والنوافذ والفرش (المقاعد) إن وجد ...إلخ. يمكن أيضاً التعديل بالسطوح الموجودة أصلاً باستخدام مقاعد منجدة بشكل كامل (Upholstered) مثلاً لغاية امتصاص الصوت. ويمكن التمييز بين ثلاث 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 محبذ، إذا بقي ضمن الحدود المسموحة.

ب- الحالة الثانية التي تستخدم فيها القاعة لنشاطات 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 التشويش.

ت- الحالة الثالثة التي تكون فيها القاعات للعرض السينمائي ولإلقاء 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 صوتياً مثل التركيز (Focusing) أو الصدى (Echo)، وخاصة 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 الخشبة من حدوث أصداء فيجب معالجة الجدار الخلفي، إما بوضع أسطح عاكسة للاستفادة من الصوت المنعكس أيضاً أو أسطح ماصة لإلغاء الأصداء (انظر الشكل (١-٣٤)).

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 كتالوكات الشركات المصنعة). بعدها يتم حساب وتقدير عدد المضخمات والميكروفونات وأماكن توضعها لتؤدي الغاية المطلوبة.

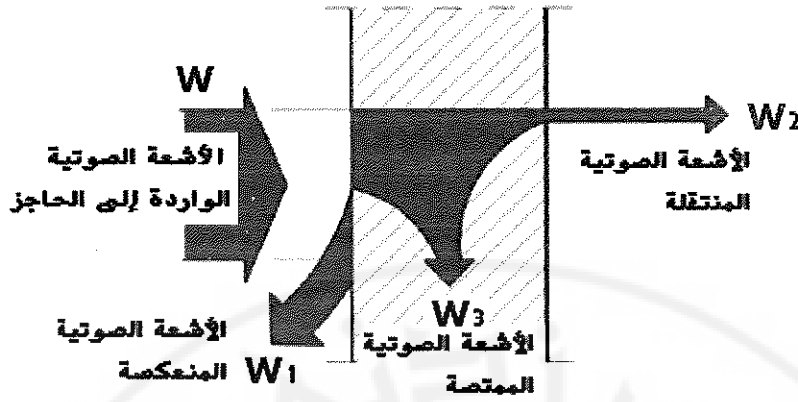
١-٢١-٢- العزل الصوتي:

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 تاماً، 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- أسس 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 سيتمصه جسم الحاجز، وجزء ثالث سينتقل أو سينفذ عبر جسم الحاجز إلى الجهة الأخرى منه [٩] و [١٠]، الشكل (١-٣٢).



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

فإذا 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: α وهو عبارة عن النسبة بين الجزء الممتص والنافذ من طاقة الموجة الصوتية المرتطمة بالحاجز وبين كامل الطاقة الصوتية المرتطمة بهذا الحاجز. وهو يساوي المقدار:

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

ومعامل الانعكاس الصوتي: β وهو عبارة عن النسبة بين الجزء المنعكس من طاقة الموجة الصوتية المرتطمة بالحاجز وبين كامل الطاقة الصوتية المرتطمة بهذا الحاجز. وهو يساوي المقدار:

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

ومعامل النفاذية (الانتقال) الصوتي: γ وهو عبارة عن النسبة بين الجزء النافذ أو المنقول من طاقة الموجة الصوتية المرتطمة بالحاجز وبين كامل الطاقة الصوتية المرتطمة بهذا الحاجز. ويساوي 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.

فإذا كانت مساحة مقطع الحاجز هي: S فتكون النفاذية الصوتية لكامل الحاجز هي:

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

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

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

وإذا 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 لكامل الحاجز يمكن حسابها على الشكل التالي:

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

حيث: γ_m هو معامل النفاذية الوسطي للحاجز.

S هي المساحة الكلية لمجموع مساحات الطبقات المشكلة للحاجز.

١-٢١-٢- 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. وتزداد شدة هذه الانعكاسات كلما زادت السطوح عكوساً للأمواج الصوتية، أي كانت ذات خصائص عاكسة أفضل للأشعة الصوتية . بالتالي 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 مايتوجب 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 لجدرانه.

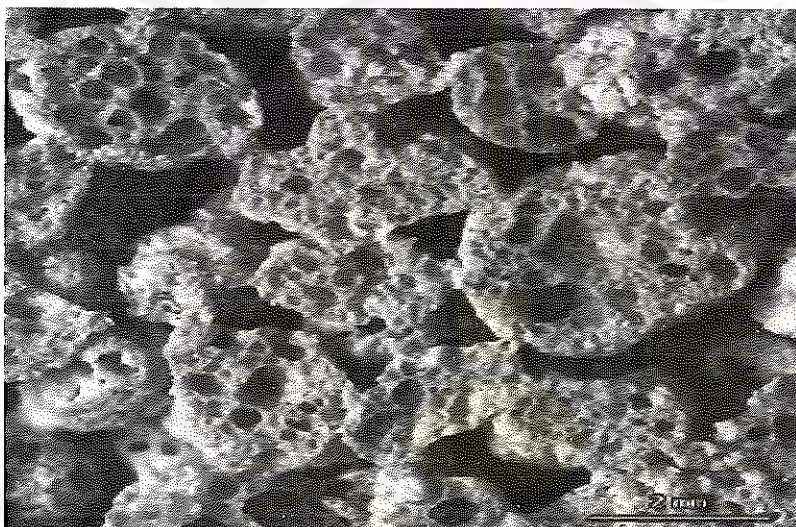
١-٢١-٣- المواد والتراكيب الماصة للصوت:

يوجد بشكل عام تصنيفات مختلفة للمواد الماصة للصوت. وعند الحديث عن كل من المواد الماصة على حدة فلاتختلف هذه التصنيفات جميعاً في الوصف العام للمواد الماصة أو في خصائصها. فوفقاً لتركيبها تكون المواد الماصة إما مصمتة 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 المصمتة الماصة للصوت تكون في العادة قاسية وصلبة مثل الببتون والأحجار الإسمنتية والرخام والخشب وغيرها. وتكون لهذه جميعاً معاملات امتصاص صغيرة جداً، ولاتزيد عن ٠.١ ويستخدم بعضها كالرخام والخشب كمواد إكساء خارجية أو داخلية جدارية. الجدول (١-٥).
- كما توجد من المواد المصمتة العازلة أو الماصة للصوت أنواع لينة منها كالمطاط الكثيف المستخدم في الإكساء. ومعامل امتصاصه ٠.١ أيضاً كالمواد المصمتة الصلبة القاسية. الجدول السابق (١-٥).
- إن المواد المسامية الماصة للصوت ذات استخدام أوسع في العزل الصوتي. وهي مواد مركبة من مادتين، الأولى تعطي الطبيعة المسامية، وتكون أحياناً على شكل

حبيبات 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 بمظهر جميل كتلك 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؛ فبفضل المسامات الموجودة فيها تتحول 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 جدران المسامات، وبذلك تتحول الطاقة الصوتية إلى حرارة. وبسود كذلك

الاعتقاد بأن بعضاً 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 ناحية تخمد أو تمتص الصوت، ومن ناحية ثانية عندما تكون هذه المواد ملتصقة بجدار مصمت مثلاً فإنها ستمنع من الانعكاس، بل ستعمل أيضاً 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 بشكل كبير جداً. فكلما كبر تردد الأمواج الصوتية زاد الامتصاص أكثر.

تستخدم المواد المسامية للامتصاص 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 سماكة 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 مصقولة من أجل سهولة تنظيفها ومسحها. وفي أحيان أخرى توضع المادة المسامية ويوضع فوقها طبقة أخرى متينة لحمايتها من الأضرار والطرق 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 النفت. إن هذا التركيب من الحواجز 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 سماكة المادة المسامية وسماكة 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 اخصائي 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 تتحدد 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 كأثلة، والتي هي أكثر شيوعاً في الاستخدام وتحتاج إلى دراسة صوتية وإلى عزل صوتي.

١-٢١-٤- 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 متممات النظام الصوتي.
- وسنقوم فيما يلي بدراسة كل واحدٍ مما سبق بشكل موجز.
- ١- اختيار نظام التغطية الصوتية الملائم:
- إن الأنظمة الصوتية المعمول 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.

يعد هذا النظام الأفضل من الناحية الصوتية. إنه يستخدم مجموعات مكبرات مركزية تحتوي على مخاريط (horn) صوتية عالية الجودة والتوجيه، وخاصةً 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 و ثلاثة 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 المتحدث؛ 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 مخفي، بحيث تكون الشدة الضوئية في أي موضع من المكان مساويةً 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، بشكلٍ 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 للارتفاعات المختلفة للأسقف ولزوايا 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 للمسافة بين اللاقط والمكبر فيجب ألا تزيد عن ٥٠ قدم. فإذا زادت عن ٥٠ قدم فإن المتحدث سيسمع صوته بتأخير زمني مزعج. وكذلك يتوجب على اللاقط ألا يقع ضمن مساحة تغطية المكبرات، حتى لا تحدث تغطية خلفية وصغير.

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 أبعد مستمع. أما في القاعات المتعددة الأغراض، والتي تستعمل للاجتماعات والمحاضرات وماشابه، فيجب أن تكون سوية الصوت أعلى بحوالي ٢٥ dB عن مستوى الضجيج في القاعة. ونتم من خلال جداول خاصة قراءة قيم سويات الضجيج للأماكن المختلفة كما بينها الجدول (١-٦) السابق.

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

الجدول (٧-١) المتطلبات الصوتية من القاعات والأمكنة

سوية الصوت المطلوبة dB	نوع المكان أو القاعة
٢٠-٣٠	قاعات الكونسرت، دور الأوبرا وقاعات العزف المنفرد.
٢٥-٣٠	استوديوهات التسجيل والإذاعة.
٣٠-٣٥	قاعات الاستماع الكبيرة، مسارح الأعمال الكبيرة، دور العبادة، استوديوهات الإذاعة والتسجيل والتلفزيون.
٣٥-٤٠	قاعات الاستماع الصغيرة، المسارح والكنائس الصغيرة، غرف التمارين الموسيقية، قاعات المؤتمرات والاجتماعات الكبيرة. غرف النوم، المشافي والفنادق والموتيلات وما شابه من كل ما هو مخصص للنوم والراحة.
٤٠-٤٥	المكاتب الخاصة وشبه الخاصة، قاعات الاجتماع الصغيرة، الصفوف الدراسية
٤٥-٥٥	غرف المعيشة في المنازل وما شابه
٤٥-٦٠	المكاتب الكبيرة، غرف الاستقبال، محلات ومخازن البيع بالمفرق، الكفتريات والمطاعم وماشابه.
٥٠-٥٥	الأروقة، المخابر، غرف الهندسة والرسم الهندسي والسكرتارية
٤٥-٦٠	المطابخ العامة، أماكن الصيانة وغسل الملابس العامة، المحال 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

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 تتواجد فيه مثل الامتصاص والارتداد والصدى والانعكاس وتحقيق زمن الارتداد المطلوب وكل مايلزم. فالمطلوب من المكان تحقيق الغاية الصوتية المنشودة. وإذا تبين 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:

وبقصد بذلك تأمين حد أدنى من التباين في الصوت بين نقطة من المكان وأخرى. والسعي إلى جعل هذا التباين أقل مايمكن، 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

النسبة العظمى للمعدل السمعي $[R_{max}]$	تباين المنسوب الصوتي بين مختلف النقاط $[dB]$	المنسوب الصوتي الواجب توفره $[dB]$	مجال استخدام نظام التغطية الصوتية
٨-١٠	٦	١٠٠	أماكن عزف الموسيقى وعرض المسرحيات والمؤتمرات الصوتية
٨-١٠	٦	٩٤-٩٦	عزف موسيقى مرافق لمطرب منفرد
٤-٦	٨	٩٤-٩٦	عزف موسيقى مصاحب لخطابة أو شعر في قاعة ضوضاؤها مرتفعة نسبياً
٤-٦	٦	٨٠-٨٦	صوت محاضر أو خطيب في

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

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 والمنتشرة في أجواء المكان وبين كثافة الطاقة الصوتية المباشرة الصادرة عن مكبر الصوت.

٥- دراسة متممات النظام الصوتي:

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

١-٢٢- 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 أمكنة 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 وزمن الرنين.

يضع المهندس المعمار مساقط الصالة الأفقية والأمامية العمودية بمقياس مناسب، ويبين عليه مستوى الأرض. وكذلك يضع مذكرة نظرية تتضمن توزيع الحضور والممرات والشرفات والأبعاد كاملة.

يتم تحديد الأبعاد الرئيسية للصالة، 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 مقدراً بـ m^3
قاعة محاضرات، مسارح دراما	٤-٥
دور سينما	٤-٦
صالات النوادي المختلفة	٤-٧
مسرح موسيقى، دراما	٥-٧
صالة 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 مساوئ في الصوت يصعب تفاديها فيما بعد. فزيادة الحجم الهوائي سيتسبب بضياع في الصوت، وزيادة في جهارة الأصوات. ويؤدي نقصان الحجم الهوائي إلى مشاكل معاكسة، بالإضافة لمشاكل في التهوية (زيادتها). ونكون 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
صالة سينما	١
نادٍ 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 بالحسبان أن تكون المسافة إلى أبعد مستمع، وبالتالي طول المكان وفق قيم الجدول (١١-١):

الجدول (١١-١) البعد الطولي المسموح به

نوع المكان المغلق	الطول الأعظمي له بـ m
صالة سينما	٤٥
قاعة محاضرات	٢٤
مسرح دراما	٢٥
صالة استخدامات عامة تسع حتى ٧٠٠ مستمع	٣١
صالة استخدامات عامة تسع أكثر من ٧٠٠ مستمع	٤٣
صالة 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 بالحسبان 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 بتخامد في الصوت في الصفوف الأخيرة وبالتالي يقل مستواه، 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:

- تقريب 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 مقاطع متباعدة 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 وكاف، كما تصمم الأرض بميل معين، تكون فيها أخفض نقطة هي المقاعد الأولى الأقرب للمنصة.

- ألا يتجاوز عرض الصالة عن ٢٠m ، وأن تكون الزوايا بين الجدران الجانبية عريضة.

- يؤخذ عادة، ونتيجة الخبرات والتجارب، ارتفاع الصالة قرب منصة الكلام ليكون أقل من ١٠m وتوضع عواكس صوتية حول منصة الكلام لتوجه الانعكاسات القليلة التأخير الزمني إلى أمكنة المستمعين.

وتؤخذ عادة، نتيجة الخبرات والتجارب الملاحظات التالية بالحسبان:

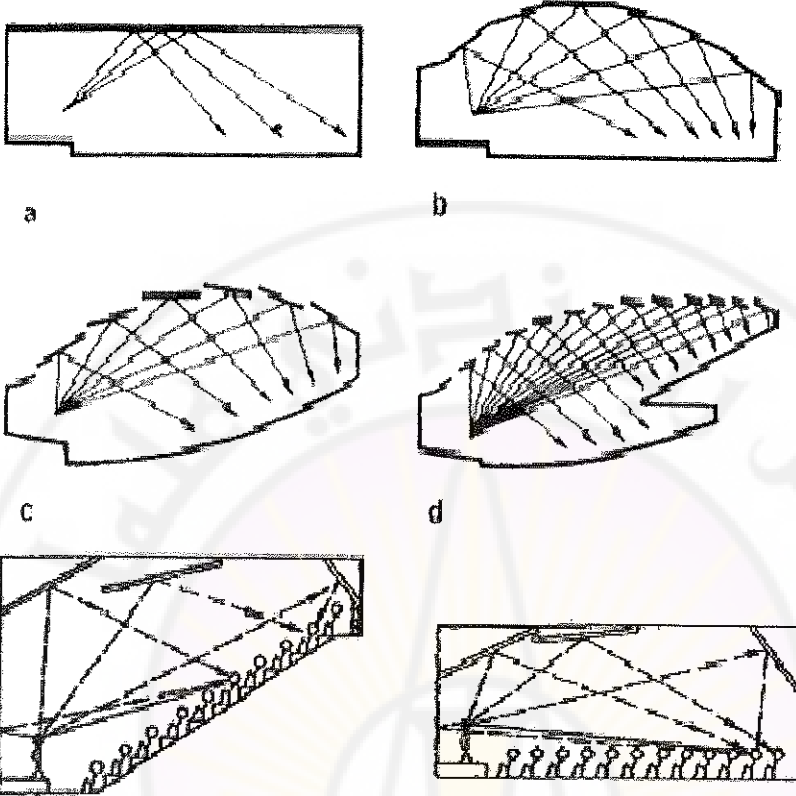
- ألا يزداد استيعاب القاعة عن ٤٠٠ مكان جلوس للأشخاص، انظر الجدول (١-١١) حجم القاعة يساوي $2000m^3$. فزيادة عدد المستمعين بشكل أكبر من ذلك سيؤدي إلى صعوبة إيصال الصوت إلى الصفوف البعيدة عن المصدر الصوتي، مما يتطلب وضع أنظمة صوتية اصطناعية لتقوية الصوت.

إن تصميم قاعات كلامية باستيعاب أقل من ٢٠٠ شخص، كقاعات المحاضرات مثلاً، عملية سهلة. فيكفي أن يكون السقف أفقياً ومستوياً، مسطحة ذو مقطع مستطيل. وارتفاع وعرض القاعة غير كبيرين.

أما إذا تتطلب الأمر عدداً أكبر من المستمعين، أي حجم ومساحة أكبر أيضاً فيجب عندها وضع عواكس للصوت خلف وجوانب المتكلم وأحياناً في الجدار المواجه له من جدران القاعة.

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

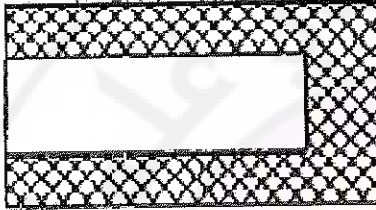
- يعد الحجم الصغير نسبياً لكل مستمع من قاعات المستمعين الكلامية، كما هو مثلاً في صالات مسرح الدراما، الميزة الأهم لمثل هذه الصالات. وباعتبار أن صوت الممثلين وفناني الدراما هو عادة قوي وأشد من صوت المحاضر، لذلك قد يصل استيعاب صالة المسرح حتى ١٢٠٠ مستمع. ويكون الحجم الأعظمي للصالة في هذه الحالة بحدود $6000m^3$.



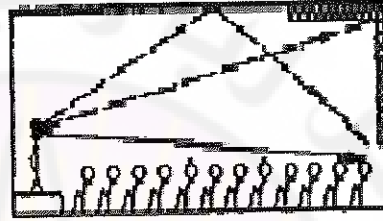
الشكل (١-٣٤) قاعات استماع كلامية مدروسة صوتياً، العواكس السقفية فيها تعمل على توزيع متجانس للصوت في جميع أرجاء القاعة ولم تستعمل في هذه القاعات مواد ماصة للصوت على الأسطح

من المزايا الرئيسية أيضاً للقاعات التي تستخدم كصالات مسرحية أنها لا تصمم عادةً بسقفٍ مستوٍ ولا تصمم الجدران الجانبية متوازية (المسافة بين الجدران مثلاً تتسع كلما ابتعدنا عن المنصة)، وخصوصاً أن الممثلين ينتقلون أحياناً إلى صالة المتفرجين فتغيب بالتالي الانعكاسات الأولية لأصواتهم، ولا يسمعون المتفرجون، 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

خشبة المسرح وكذلك بين الحضور. كما يمكن الاستفادة من هذه العواكس أو بعضها في عملية الإضاءة بشكل ما بما يخدم الغرض. ويفضل في المسارح أن تكون عواكس الصوت من النوع الأملس قدر الإمكان (جيدة العكوسة) 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 مدروسة صوتياً.



مسقط أفقي للسقف



مسقط جانبي

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

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

١-٢٣-٢- الصالات الموسيقية:

إن ما يميز قاعات سماع الموسيقى عن تلك الكلامية هو أنه يجب تأمين شدة حقل صوتية منتظمة داخل الصالة. إضافة إلى زيادة زمن الارتداد الذي يكون هنا مطلوباً، وإعطاء 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 تقلل من الانطباع الفراغي

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

إن تصميم قاعات الاستماع للأوبرا والباليه يختلف قليلاً عن قاعات مسرح الدراما بمايلي:

١- باعتبار أن هذا النوع من القاعات بحاجة لإحساس صوتي حتمي 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 ٣١m. فلمغني الأوبرا عادةً صوت أشد وأقوى من صوت ممثل الدراما.

٣- يمكن زيادة زمن تأخير الانعكاسات الصوتية ليصل حتى ٣٥ms وبالتالي يزداد ارتفاع وعرض الفراغ المسرحي.

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

٥- يجب أن يكون الحقل الصوتي منتظماً أكثر، لذلك يلزم استخدام مشتتات فعالة للصوت.

٦- يبلغ الإستهياج الأعظمي لصالات الأوبرا عادةً حوالي ١٥٠٠ حتى ١٧٠٠ شخص. ويكون الحجم الأعظمي ما بين ١٠٠٠٠m^٣ وحتى ١٢٠٠٠m^٣. الجدول (١-١٢) يبين معطيات بعض قاعات الاستماع المستخدمة للأوبرا في العالم [٣].

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

اسم القاعة	عدد المستمعين	حجم القاعة m ^٣	الحجم لكل مستمع m ^٣	زمن الارتداد منسوباً إلى الترددات المتوسطة
مسرح لاسكال 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 البيضوي، ويغلب فيها استخدام الشرفات المتعددة، بحيث تؤمن عدم ابتعاد المستمعين كثيراً عن مصادر الأصوات المنطلقة من المنصة.

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

١-٢٣-٣- أماكن العبادة:

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

١-٢٣-٤- القاعات المتعددة الاستعمالات:

هذا النوع من القاعات يصمم ليلائم إلى حد ما الاستخدامات المختلفة للقاعات، سواء لعزف الموسيقى أو المهرجانات الخطابية والاحتفالات المختلفة. يفضل الكثيرون تصميم مثل هذه القاعات لاعتبارات مادية بحتة، فهي تفي بجميع أغراض قاعات الاستماع. 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 قيمه 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 $1500m^3$ وحتى $6000m^3$.
- زمن ارتداد وسطي مناسب وفقاً للحجم لكل مستمع.
- يتم الأخذ بالحسبان أن يكون زمن التأخير بسيطاً، فهو يكفي ليسمع 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 للانعكاسات الأولية في المجال من ٢٠ms وحتى ٣٠ms.
- يمكن استخدام سطوح عاكسة للصوت أو ماصة له بشكل مؤقت ومناسب وفقاً للغرض، من أجل تحسين الأداء الصوتي.

١-٢٤- استخدامات صوتية أخرى:

لم تعد تستخدم الدراسات الصوتية لقاعات الاستماع فقط، وإنما ومع تطور الحياة وتعدد وإختلاف أشكال الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية فرضت هذه أنماطاً 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، وخاصة في الدول الصناعية المتطورة، يشكل الضجيج والتشويش 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 نتسبب به حركة العربات على الشوارع، وخاصة السريعة منها، لذلك يعتمد المختصون لوضع جدران على مسار الطرقات تحتوي على سطوح ماصة للأصوت عليها، على الجانب الداخلي منها، من جهة الشارع، تكون مهمتها امتصاص أو حجب الضجيج الذي نتسبب به حركة العربات على هذه الشوارع [٣] و [٩] و [١٠]، انظر الشكل (١-١٥).

تتحد 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 تتسبب به الحافلات العادية على طرقات الإسفلت. كذلك الأمر فقد فرضت طبيعة الحياة بعض الأعمال المكتبية التي لا تخلو من وجود الضجيج والكلام المتواصل عبر أجهزة الإتصال، كالتلفون 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 والتشويش المتبادل يتم عزل أماكن العمل عن بعضها قدر الإمكان بمواد ماصة أو مخمدة للأصوات، بحيث يبقى مجموعة الموظفين ضمن المكتب الواحد نظراً لحاجتهم الدائمة لبعضهم البعض أثناء العمل، وبنفس الوقت يكون كل واحد منهم مفصلاً صوتياً، لحد ما عن الآخر. الأشكال (٣٧-١) و (٣٨-١) و (٣٩-١) و (٤٠-١) في ملحق الصور الملونة تبين أمثلة على مثل تلك الأوساط [١١] و [٩] و [١٠].

٢٥-١ - تقنيات تركيب المواد الصوتية:

يقصد بالمواد الصوتية تلك المواد العاكسة للصوت والماصة له. ومن هذه المواد ما هو 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].

وكلما ازدادت حرفة 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 التصميمات الصوتية الخاصة والمعقدة، كما هو في الاستديوهات الإذاعية والتلفزيونية وقاعات الاستماع المختلفة، كقاعات الموسيقى والمؤتمرات وماشابه، مهندس

الصوت بإجراء الدراسة الصوتية اللازمة، بما في ذلك وضع عواكس الصوت ومصاصاته، ويتم ذلك عادةً بالتعاون مع المهندس المعماري المصمم. أما المعمار الداخلي فتكون وظيفته جمالية بالدرجة الأولى؛ فإما أن يتم التنسيق معه مسبقاً لأخذ هذه الناحية بالحسبان، أو يقوم بإجراء تعديلاته الجمالية، فيضيف ديكورات أو يعدل بالأسطح الداخلية دون أن يتناسى الناحية الصوتية المعدة والمدرسة.

لقد كانت مهمة المصمم الداخلي في السابق أكثر صعوبة 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، وتتواجد هذه بمساحات ومساحات حسب الطلب يستطيع المصمم الداخلي استخدامها بسهولة ويسر، ويختار منها الملائم والمناسب بما يحافظ على الناحية الصوتية إضافة إلى الناحية الجمالية. يتم اختيار المواد الماصة 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 ماتكون مركبة الوظيفة، فهي لغاية الديكور ويفيد بعضها في العزل الحراري إضافة إلى العزل الصوتي، وقد يختلف وجود هذه المواد بين دولة وأخرى. وبعد التطور العالمي المتسارع في إنتاج الحديث والأفضل من المواد الصوتية صارت الشركات الصانعة لها تضع نشرات فنية خاصة تبين طريقة تركيب هذه المواد، للأرضيات وللجدران ولأسقف بما يتناسب مع حالة إشغال الفراغ الداخلي وطبيعة بنيته [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.... إلخ. إن معظم الدول المتطورة في العالم وضعت قيماً محددة لشدات الأصوات المسموح بها في عموم الفراغات الداخلية لتكون الأصوات مريحة السماع للأذن البشرية. هذه الشدات لاتزيد،

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

يجب أن يكون مقدار العزل الصوتي $dB(٤٧-٤٠)$ لجدار منزل داخلي (يفصل بين غرفتين متجاورتين في نفس المنزل، مثلاً). و $dB(٥٥-٥٣)$ لجدار يفصل بين منزلين سكنيين متجاورين، و $dB(٤٢-٣٧)$ لجدار يفصل بين مكاتبين متجاورين. و $dB(٥٥-٥٢)$ لجدار يفصل منزلاً سكنياً عن الأدرج 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 (١-١) في ملحق الصور الملونة يبين، على سبيل المثال، مقطعاً من حجر (طوب) بناء يعزل شدات أصوات بمقدار $dB ٥٨$ وأموك المستخدمة فيها مع سماكاتها. والشكل (١-٤٢) في نفس الملحق يبين مقطعاً في لوح من مواد عازلة تعزل شدات أصوات مقدارها $dB ٤٠$ والمواد المستخدمة فيها أيضاً مع سماكاتها.

يمكن بشكل عام القول "إنه كلما كان الجدار مرناً وثقيل 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 تحميل البناء.

من أفضل المواد المستخدمة في العزل الصوتي للجدران نذكر:

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

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

الجبص والكرتون، بسماكة معينة على الجدار ومن ثم بناء جدار آخر مواز للجدار الأساسي، من جهة الداخل أو الخارج، كما يبين الشكل (١-٤٣) 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 نذكر على سبيل المثال هذه الطريقة السهلة والبسيطة، التي يمكن القيام بها من دون إجراء عمليات صوت حسابية. في هذه الطريقة يتم تثبيت عارضتين خشبيتين بسماكة تتراوح بين ٣٠ مم و ٥٠ مم أو أكثر بشكل طولاني على جسم الجدار مباشرة، كما يبين الشكل (١-٤٤) في ملحق الصور الملونة. وعلى العارضتين الخشبيتين تثبت ألواح الجبس والكرتون العازلة. يمكن ترك الفراغ بين ألواح الجبس والجدار على حاله، كما يمكن، ولزيادة العازلية الصوتية، تعبئته بطبقة من مواد عازلة صوتياً، كاللباد المعدني أو الصوف الزجاجي وسواهما، كما يبين الشكل (١-٤٤). وإذا تطلبت زيادة العزل الصوتي أكثر فيمكن ذلك من خلال زيادة سماكة ألواح الجبس والكرتون أو زيادة سماكة العوارض الخشبية (المسافة بين ألواح الجبس والكرتون من ناحية والجدار من ناحية ثانية)، كما يمكن اختيار مواد أكثر عازلية للصوت لتعبئة الفراغ بين الألواح والجدار. ومن الجدير بالذكر أن جميع طرائق ومواد العزل الصوتي تفيد أيضاً إلى حد ما في العزل الحراري.

أما عزل الأرض في الحالة التي يكون فيها البناء مشاداً فيمكن أن يتم بأبسط ما يمكن من خلال وضع مفرش أو سجادة أو ماشابه 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) مباشرة. وفوق هذه المادة توضع صبة إسمنتية، لتركب عليها البلاطات الأرضية.

أما الفراغات الداخلية التي يكتسب العزل الصوتي فيها أهمية خاصة فيفضل فيها عزل الجدران عن الأسقف وعن الأرضيات أيضاً لتجنب انتقال الأصوات عبرها. مثل هذه العملية يصعب تحقيقها إذا كان البناء قائماً، وإنما يجب أخذها بالحسبان في أثناء تشييد البناء. ويمكن لها أن تتم، مثلاً، كما يبين الشكل (١-٤٧)، حيث يتم عزل الجدران عن موضع تركيبه على السقف أو على الأرض الإسمنتية بواسطة طبقة من الكاوتشوك أو المطاط المرن، وكذلك يتم عزل الجدار بلوح من الصوف الزجاجي، ليتوسط الجزأين المشكلين له من الطوب. أما الأرض فيتم عليها أولاً إجراء تمديدات الماء والكهرباء وغيرهما اللازمين ضمن طبقة من الشاب والإسمنت، ثم تركيب 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 (١-٤٧)، ملحق الصور الملونة.

أما العزل الصوتي للأسقف فيمكن أن يتم بشكل سهل عن طريق وضع سقف مستعار من مادة عازلة صوتياً، كألواح الجص والكرتون، أو أي مادة أخرى قاسية 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 يبين الشكل (١-٤٦) في ملحق الصور الملونة. وعلى هذه العوارض من جهة الأسفل تثبت الألواح العازلة القاسية، ويتوضع 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 تليسه بورق جدران أو..... إلخ، حسبما يرنىه المصمم الداخلي مناسباً للمكان.

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

الفصل الثاني

٢ - الضوء (The light)

٢-١ - 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، وتحديدًا 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 شبكية العين هي ما يعرف 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 أجفن أعيننا، فإننا لن نسمح للأشعة الضوئية بالوصول إلى أعيننا وبالتالي لن نظهر 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 المصابيح الكهربائية هي عبارة عن مصادر للضوء أو منابع مضيئة، ونسميها منابع ضوء ذاتي. إنها جميعاً تصدر أشعة بيضاء أو حمراء متوهجة، بفعل حرارتها العالية جداً.

إن الإشعاعات الواصلة إلينا ناشئة عادةً عن أكبر منبع ضوئي مشع للون الأبيض، كبير وبعيد جداً، هذه الكتلة الملتهبة هي الشمس. أما الأشعة الصادرة عن المصادر الصناعية، مثل المصابيح المتوهجة (المصابيح المتوهجة بأنواعها) أو أجهزة إنارة الفلوريسنت (النيونات)، التي نعرفها، ومما يشابهه، فيغلب فيها أن يكون الغاز الذي بداخلها هو الذي يتسبب بالإضاءة. وهي تضيئ بألوان مختلفة، لذلك تستخدم أيضاً لأغراض الديكور والإعلان والدعاية [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 القمر أو الكواكب الأخرى. فالأقمار والكواكب لا تنشع ضوءاً وإنما تعكس الأشعة الضوئية الواصلة إليها أصلاً من الشمس أو النجوم من على أسطحها 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 وثنائي أكسيد 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 مباشرة، 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 كاميرة 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 قاطبةً وسيكون الجو بارداً جداً، حتى إن الأمطار لن تسقط وكذلك الرياح لن تهب، لأن الرياح تنشأ أصلاً بفعل اختلاف درجات الحرارة على سطح الأرض، المتسببة بها الشمس. فعندما يسخن الهواء على سطح الأرض يتمدد ويرتفع إلى الأعلى فيسارع الهواء البارد لتعبئة الفراغ وهكذا ينشأ جريان للهواء أو للرياح، الذي قد يكون ضعيفاً أو شديداً. كذلك فإن الحرارة الناشئة عن ضوء الشمس تتسبب بتبخير مياه البحار والأنهار والمستنقعات وسواها. 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 ستتكدف وتشكل الغيوم، وعندما يزداد

تكاثف 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 ظلاً، سواء كانت هذه الإضاءة من أشعة طبيعية كالشمس أو صناعية. أما الأجسام التي لا يكون لها ظلال فتكون 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. وهونفس نوعية الزجاج المستخدم في صناعة المصابيح المتوهجة. 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 لمربع البعد عن المنبع الضوئي. على سبيل المثال إن إضاءة جسم على مسافة متر واحد من منبع ضوئي تكون بأربعة أضعاف إضاءته عند بعده بمترين 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 إنارة جسم يبتعد مترين عن المنبع الضوئي بنفس شدة الإنارة عندما يكون بعده متراً واحداً فقط فنحتاج عندها إلى منبع ضوئي جديد يعطي إنارة بأربعة أضعاف المنبع السابق [٥] و [١٣].

٢-٢ - الإضاءة والعمارة الداخلية:

لقد اعتقد الفلاسفة الإغريق 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 الواصلة إليها أصلاً من منبع ضوئي، فتصل هذه الأشعة المنعكسة إلى العين. أما المنابع الضوئية فيتم استقبال أشعتها المنبثقة عنها بشكل مباشر. وبمعنى آخر يمكن القول: إن كل جسم يصبح

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

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

أما من حيث علاقة الإنارة بالألوان فيعود الفضل في الكثير مما يعني هذا الموضوع للعالم الإنكليزي إسحاق نيوتن (Isaac Newton) الذي أجرى تجاربه 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 أياً 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 يرمى فيها حجر. إلا أن الباحث الألماني ماكس بلانك (Max Planck) هو من استطاع في عام ١٩٠٠م أن يبين ماهية الضوء الحقيقية 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، أسماها كوانتن (Quanten)، وهذه الطاقة يمكن امتصاصها، كما أن أوراق الأشجار الخضراء تمتص الضوء، أو بثها، 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 للجزيئات الضوئية، أطلق عليها اسم الفوتونات (Photones)، وهو الاسم الذي لازال يستخدم حتى يومنا هذا [٥].

إن وظيفة الإنارة بشكل عام هي تحسين إمكانية الرؤية للأشياء وللممكنة، أي جعلها مرئية للعين البشرية. وعند وضع الدراسة الهندسية والتصميمية لإنارة الأمكنة يؤخذ بالحسبان الغاية الأساسية من استخدام الأمكنة من أجل الحصول على سوية إنارة مناسبة للمكان وفق الغرض المخصص له، فسوية الإنارة المطلوبة في قاعة دراسية، على سبيل المثال، ستختلف عن سوية الإنارة في صالة سينما أو ماشابه، حتى لو كان لكليهما نفس الأبعاد. ومن المسائل الرئيسية التي لابد من أخذها بالحسبان للحصول على إضاءة جيدة ومناسبة هي: منحني توزيع كثافة الإنارة ولون أو حرارة الإنارة والتوزيع المتساوي للإنارة وحرية الانعكاس وكذلك إمكانية إظهار اللون الحقيقي للأشياء، كما سنرى فيما بعد.

أما الوظيفة الأخرى للإنارة، بألوانها المختلفة، وهي حقيقة أكثر ما يهتما في هذا الكتاب، فهي في التصميم الداخلي للأمكنة أو الفراغات المختلفة، كالغرف والقاعات والصالونات والمتاحف ودور العبادة والمطاعم والفنادق والأماكن العامة وماشابه من الأمكنة الداخلية، فهي إضافة الصبغة الملائمة للمكان بما يلزم. فقد تكون الغاية جمالية بحتة. وقد تكون في البحث عن مكان مريح للأشخاص. ومن الممكن أن تكون أيضاً خلق حالة استغرافية لدى الآخرين وإثارة فضولهم لجعلهم يعاينون هذا المكان، كما هو الحال مثلاً في واجهات محال البيع، والإعلانات التجارية. وفي كثير من الحالات يمكن من خلال الإنارة وألوانها المختلفة عمل الكثير في مجال التصميم الداخلي للأمكنة 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 الأمكنة، ويساعد أيضاً في إيجاد جو نفسي معين، كما أنه يؤثر كثيراً في نفسية الإنسان ومزاجه، فيمكن من خلال الألوان على سبيل المثال إثارة أعصاب شخص أو تهدئته. إن اللون يعطي إحساساً بالحرارة. ويتغير اللون بتغيير هذا الإحساس. فاللون الأحمر مثلاً يدل على الحرارة، بينما اللون الأزرق المخضر يدل على البرودة. وكذلك فإن الألوان تساعد في تقريب وتبعد الأشياء أو تشويه المسافات.

إن وضع أو اختيار إنارة بلون معين في مكان ما يعد مهمةً فنيةً أساسيةً في التصميم والديكور، لذلك يتوجب على مصمم الديكور إدراك كيفية تعامل السطوح مع الألوان المختلفة للإنارة وفقاً للطيف الضوئي لأجهزة الإضاءة المستخدمة؛ فالمصمم الفنان يستطيع بواسطة الإنارة وألوانها أن يوحي للناظر بما يشاء، من خلال اختياره لألوان الإنارة المتوافقة مع المواد والفراغات وكل الأشياء المستخدمة. إنه يستطيع أن يخلق من مكانٍ كئيبٍ حزينٍ مجلساً للأنس والمتعة والراحة. والعكس بالعكس أيضاً. لوحته الفنية هي المكان أو الفراغ الداخلي، الذي يمارس فيه عمله وهوايته ويتلاعب به، والإنارة بألوانها المختلفة هي إحدى أدواته الأساسية في تصميم لوحته [١٣].

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

يوجد تفاعل بين ثلاثة مكونات مع الإضاءة. وهذه هي الأجسام المراد إبرازها، أو عدمه. والإضاءة بألوانها المختلفة، ومن ثم ردود فعل، أي انعكاس الإنارة 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 بإنارة جهاز فلوريسنت (نيون) لبدا وجهه أصفر شاحباً، وكان علائم المرض بادية عليه. أما لو أعاد نفس العملية بإنارة مصباح متوهج لبدا وجهه وردياً محمراً، وكأنه في أوج صحته وعافيته. فالإنارة بنوعيتها وألوانها وانعكاس أشعتها من على سطح المرآة إلى وجه الشخص، صبغت وجه هذا الشخص بلونٍ محدد، وهو ما قد يترك أثراً أو انطباعاً نفسياً عند هذا الشخص فيوهمه في الحالة الأولى بأنه مريض، مثلاً، فيخلد للنوم مكتئباً حزيناً، يبحث عن سبب علته، وفي الحالة الثانية ينام مرتاحاً ويذهب نشيطاً للعمل [١٣].

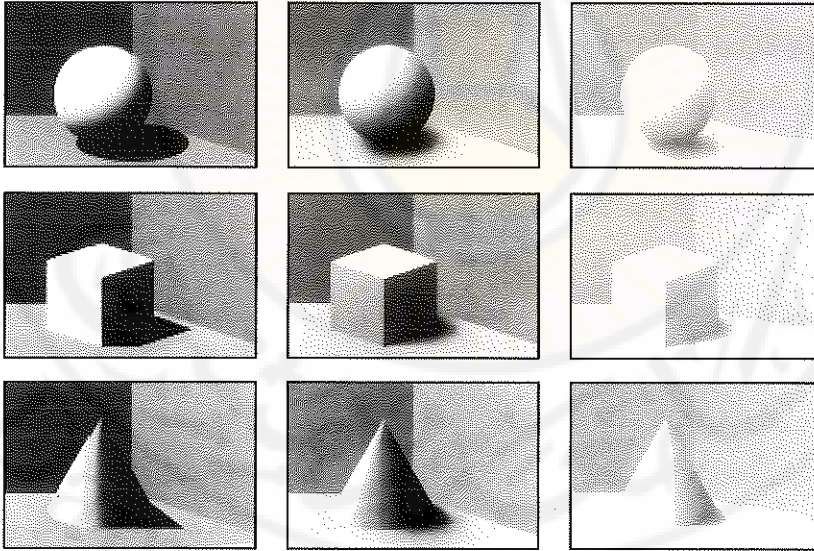
إن وضع إنارة استقرارية في واجهة محل لبيع الأشياء قد يثير فضول المارة لدخول هذا المتجر، فقد يظهر مصمم الديكور المعروضات في الواجهة بألوان، وربما بأشكال أيضاً تثير الفضول من خلال تسليط إنارة معينة ملونة عليها، أو على بعض جوانبها المثيرة للجدل فقط،

اختارها لهذه الغاية، فاستفرت فضول المارة وجعلتهم يحدقون 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.

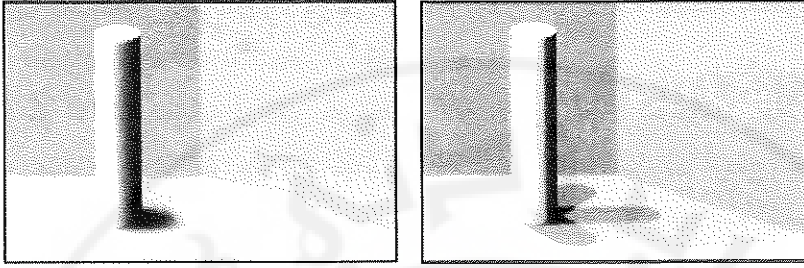
إن المصمم الداخلي يستطيع أن يغير من خلال ألوان الإنارة، ألوان الموجودات الأخرى في المكان، بحيث تبدو هذه أكثر جمالاً أو تألقاً أو راحة أيضاً، فكل الأشياء لها أسطح ستفاعل مع الإضاءة بشكل ما، تعكسها وتتغير ألوانها معها. وبقدر زيادة خبرة وحرفية المصمم، بقدر استطاعته أن يوحى للآخرين بما هو يريد.

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 وشدة إنارة مختلفة. لاحظ ماذا فعلت الإنارة الشديدة بالأجسام! أي صورة من صور كل واحد من الأجسام تبدو أوضح وأجمل وأكثر إراحة للنظر وللعين؟



الشكل (١-٢) يبين إنارة أجسام من أوجه وشدة 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؟ وأيها أكثر راحة للعين؟



الشكل (٢-٢) جسم مضاء بطريقتين مختلفتين

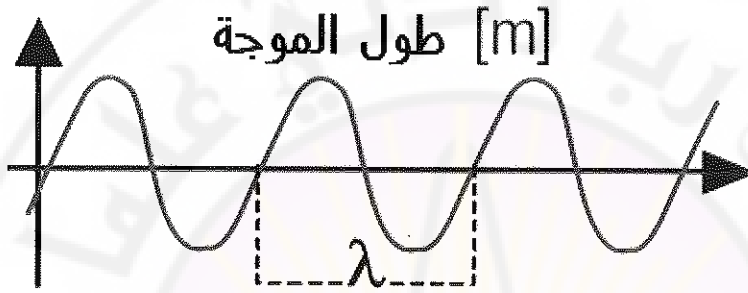
٣-٢- المفااهيم الأساسية في الإضاءة:

٣-٢-١- الضوء:

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

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

الأمواج الكهرطيسية (الأمواج الكهرومغناطيسية أو الكهربية المغناطيسية)، التي تشغل جزءاً صغيراً من الطيف الكهرطيسي، الذي تقع أطوال أمواجه التقريبية بحدود: $(10^2 - 10^6)$ nm (نانو متر)، وترددات إشعاعاته بحدود $(0.3 \times 10^6 - 3 \times 10^6)$ Hz. إلا أن العين البشرية لاتملك القدرة لرؤية جميع إشعاعات الضوء، وإنما فقط تلك الواقعة أطوال أمواجها بين $(380 - 780)$ nm وتردداتها بين 10^{14} Hz $(380 - 780)$ nm. الشكل (٢-٣) يبين موجة شعاع ضوئي وحيد [٥].



الشكل (٢-٣) موجة لشعاع ضوئي

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

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

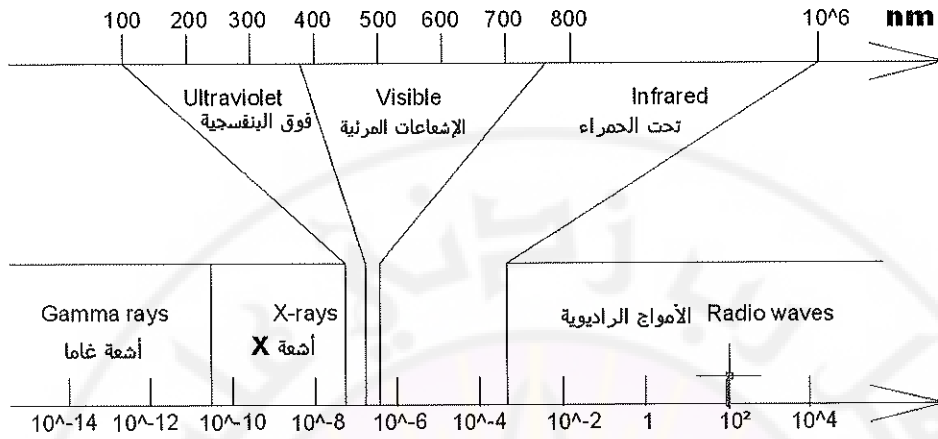
ويكون لكل شعاع ضوئي سرعة تحسب من العلاقة:

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

حيث: C هي سرعة الضوء أو أي شعاع ضوئي.

λ هو طول موجة الشعاع الضوئي المعين، ويقدر بأجزاء من المتر الطولي.

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



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

وقد أثبت أينشتاين في نظريته " النسبية " بأن سرعة الضوء في الجو ثابتة ولا تتغير، وتساوي المقدار: ٣٠٠٠٠٠ 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 ٢٩٨٠٠٠ km/S. ووفقاً لسرعة الضوء في الهواء فإن ضوء الشمس المنبعث منها يصلنا بعد حوالي: ٨.٣٣٣ دقيقة. والضوء المنعكس من القمر إلى الأرض يصل إلى الأرض بعد ١.٣ ثانية تقريباً فقط.

وتقدر أطوال أمواج الأشعة الضوئية عادة بالمتر، أو بأجزائه، وهذه هي:

$$\mu\text{m}=10^{-6}\text{m} \text{ (المكرومتر) و } \text{Nm}=10^{-9}\text{m} \text{ (النانومتر) و } \text{\AA}=10^{-10}\text{m} \text{ (الأنغستروم).}$$

وهذه الأخيرة هي أكثر الوحدات استخداماً في أطوال أمواج الضوء.

أما ترددات إشعاعات الضوء فتقدر بالهرتز (Hz). أو بمضاعفاته، وهي:

$$\text{kHz}=10^3\text{Hz} \text{ (الكيلو هرتز) و } \text{MHz}=10^6\text{Hz} \text{ (الميغا هرتز) و } \text{GHz}=10^9\text{Hz}$$

(الغيجا هرتز). والهرتز هو مقلوب الثانية، أي: ١ Hz=١/S، ويعني الدور في الثانية الواحدة.

وبالتالي تكون العلاقة بين التردد وطول الموجة و سرعة الضوء على الشكل التالي:

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

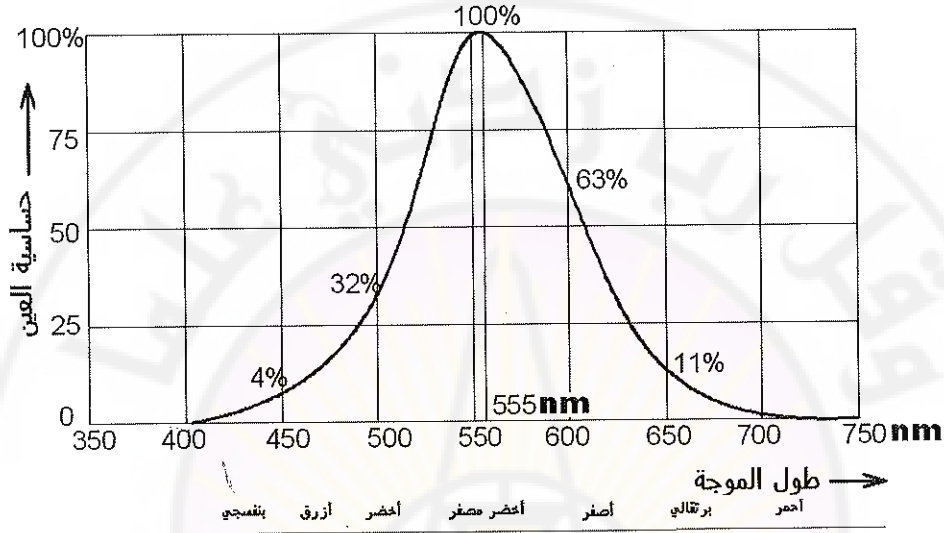
إن العين البشرية ترى جزءاً فقط من إشعاعات الطيف الضوئي. ولهذه الإشعاعات ألوان محددة. وهي وفق ترتيبها التصاعدي في الطيف المرئي بالنسبة لطول الموجة الضوئية: بنفسجي - أزرق - أخضر - أصفر - برتقالي - أحمر. وتتراوح أطوال الأمواج للأشعة المرئية بين (380.....780) nm حيث يقابل اللون الأزرق أو البنفسجي أطوال الأمواج القصيرة، بينما يقابل اللون الأحمر الأمواج الطويلة حسب الشكل (٢-٤) والشكل (٢-٥) في ملحق الصور الملونة.

يمكن بالتالي إظهار الطيف الضوئي، أو الألوان الضوئية، التي تراها أعين الإنسان في منتصف النهار، على سبيل المثال، بالشكل (٢-٦) 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 (٢-٦). وما تراه أعين الإنسان حقيقةً هو محصلة ألوان الطيف مجتمعةً، ومحصلة هذه في منتصف النهار هي اللون الأبيض.

تدعى الإشعاعات الكهرومغناطيسية التي تكون أطوال أمواجها أعلى من أطوال أمواج الطيف المرئي بالأشعة تحت الحمراء (infrared)، كما يبين الشكلان (٢-٤) و (٢-٥)، 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 الأمواج أو الترددات المختلفة. إن اختلاف طول الموجة الضوئية يترك انطباعاً مختلفاً لدى العين البشرية من حيث اللون وشدة هذا اللون أو وضوحه؛ فعلى سبيل المثال إن الإشعاع الضوئي ذا المطال الموجي 550nm، 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 انطباعاً ضوئياً خفيفاً في العين، أي تراها العين بشكل خفيف أو خافت. فهناك علاقة إذاً بين لون الضوء، أي أطوال أمواجه وتردداته،

وبين حساسية العين لرؤيته. هذه العلاقة تأخذ المنحني المبين بالشكل (٧-٢)، الذي يبين 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

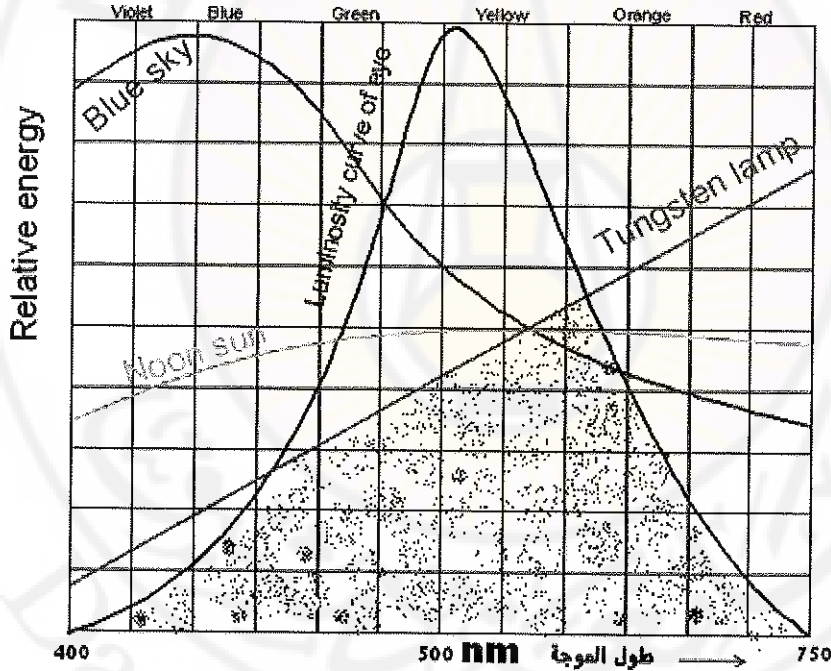
تنسب حساسية العين الضوئية لجميع الألوان إلى القيمة العظمى في منحني حساسية العين، وهي الحساسية ١٠٠% عند اللون الأخضر المصفر. وعلى سبيل المثال فإن حساسية العين للون البرتقالي هي ٦٣%، وهذا يعني أن العين ترى من شدة اللون البرتقالي ٦٣% فقط. وهكذا بالنسبة لبقية ألوان الطيف المرئي. وبالتالي يمكن الاستدلال بأن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

وتجدر الإشارة بأن منحني نورانية العين ليس واحداً خلال 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 nm ، كما يبين الشكل (٨-٢) في ملحق الصور الملونة.

إذا أخذنا ضوء مصباح متوهج (مصباح عادي، Tungsten Lamp)، وهو عبارة عن مجموعة الإشعاعات الضوئية التي ينتجها 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)، وبمنحني نورانية العين، الشكل (٧-٢) أو الشكل (٨-٢) لنتجت المنحنيات المبينة بالشكل (١٠-٢). والعين ترى حقيقةً، في الشكل (١٠-٢)، فقط جزءاً من ضوء المصباح المتوهج العادي، وهو الواقع تحت كلا تقاطعي الخط الأحمر (الخاص بضوء المصباح المتوهج) والخط الأسود (لمنحني نورانية العين) معاً، والمبين في الشكل (١٠-٢) منقطاً باللون الأسود.

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

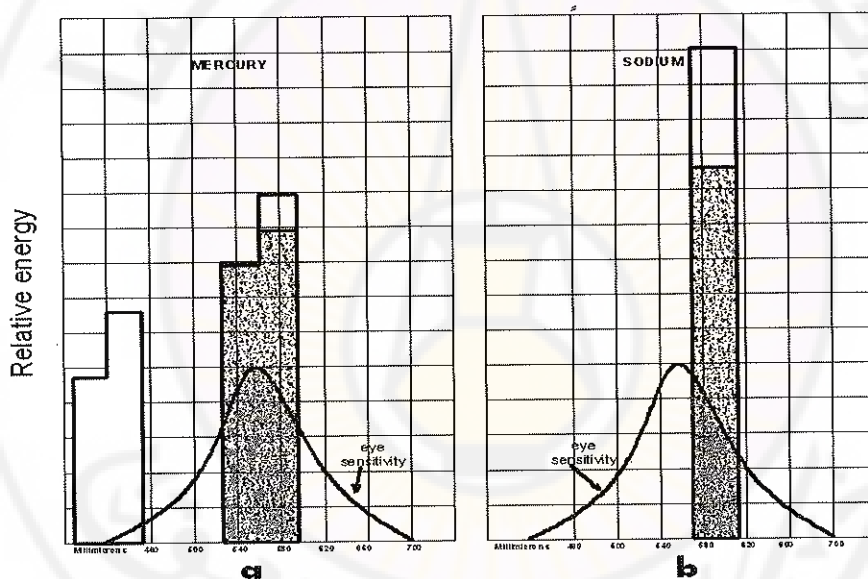


الشكل (١٠-٢) وضع منحني نورانية العين بالنسبة لضوء مصباح متوهج وبالنسبة لضوء الشمس في منتصف النهار

الذي تصل مطالات أمواجه إلى القيمة 750nm فقط. إن أكبر شدة ضوئية من المصباح تراها العين هي تلك الأقرب للون البرتقالي، لذلك يبدو ضوء هذا المصباح مابين الأحمر والأصفر (أحمر يميل للأصفرار قليلاً).

أما إذا رسم منحنى نورانية العين مقارنةً بضوء مصباح الزئبق ذي الضغط العالي أو بضوء مصباح بخار الصوديوم ذي الضغط المنخفض فتنتج المنحنيات المبينة في الشكل (١١-٢). والضوء الذي ستراه العين هو المبين في الشكل (١١-٢) باللون الغامق تحت منحنى نورانية العين.

ومن الواضح من الشكل (١١-٢) أن حساسية العين لضوء مصباح بخار الصوديوم ذي الضغط المنخفض عالية، بسبب انطباق منحنى ضيائه على قمة منحنى نورانية العين، وأعلى من ذات بخار الزئبق بضغط عالٍ.



الشكل (١١-٢) وضع منحنى نورانية العين بالنسبة للطيف الضوئي لمصباح بخار الزئبق ذي الضغط العالي (b)، ولبخار الصوديوم ذي الضغط المنخفض (a)

٢-٣-٢ - الضوء والرؤية:

نعلم أن ضوء الشمس الأبيض عندما يتسلط على موشور زجاجي فسيتحلل هذا الضوء عبر الموشور إلى مجموعة ألوان، نسميها ألوان الطيف الشمسي، كما في الشكل (٢-١٢) بملحق الصور الملونة. هذه الألوان هي على الترتيب التصاعدي بالنسبة لطول الموجة المبينة في الأشكال (٢-٤) و (٢-٥) و (٢-١٢)، وهي نفسها ألوان قوس قزح. ولو قام شخص بعملية تسليط هذه الأضواء ثنائية على موشور زجاجي لتجمعت هذه الألوان، وأعطت لون الضوء الأبيض ثنائية، كما يبين الشكل (٢-١٣) 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 منحنى نورانية العين) كما بين الشكلان (٢-٤) و (٢-٥). من هذه الأشعة المعروفة نذكر الأشعة فوق البنفسجية، التي تقل أطوال أمواجها عن: ٣٨٠nm والأشعة تحت الحمراء، التي تزيد أطوال أمواجها عن: ٧٥٠nm.... إلخ.

- الأشعة فوق البنفسجية:

وهي عبارة عن أشعة ضوئية ذات تأثير بيولوجي سيئ على أعين الإنسان، وعلى جلده فتسبب له بالحروق. ويمكن لهذه الأشعة أيضاً عند أطوال أمواج محددة لها (١٠٠nm- ٢٨٠nm) أن تعمل على تلف خلايا الجسم الحية وتخريبها. تظهر هذه الأشعة أيضاً عند حدوث الأقواس الكهربائية، كما هو عند اللحام الكهربائي. وهي تؤثر بشكل سيئ على الدهون واللدائن البلاستيكية. وهي تعرض كذلك بعض المواد، كالفوسفور مثلاً، على الإضاءة، لذلك يستفاد منها في أجهزة الإنارة، كما سنرى 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:

تشأ هذه الأشعة عند سخونة بعض الأجسام أو المواد. إنها تؤثر كمشح حراري. يمكن بواسطة 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 لبقيت 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 إنارة كهربائية مناسبة من خلال ما يعرف بالديودات الباعثة للضوء، والتي سنتعرف عليها لاحقاً.

ومن أجل الاستفادة من الضوء في فن العمارة عموماً، وبالأخص التزيينية 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، تضيق 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 كلياً.

٢- من أجل التعرف على شيء أو جسم بشكل جيد يتوجب أن يكون هناك فرق ما بين إنارته (ضياءه) وبين الإنارة في محيطه المتواجد ضمنه (Light contrast). إن هذا يدعو المختصين لإقامة هذا الفرق في اللون (colour contrast) وفي شدة أو سوية الإنارة (brightness) أيضاً، وذلك من خلال تسليط إضاءة إضافية ذات شدة أقوى على الجسم المراد إبرازه، أو أيضاً تسليط 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 الرؤيوي لدى العين فإنه يتطلب حداً أدنى من الزمن لمشاهدة الأشياء أو الأجسام. فالأجسام التي تُرى بسرعة من نافذة سيارة مسرعة، مثلاً، لا تعلق في الذهن أو الذاكرة كالأجسام التي تُرى لفترة أطول، كأن تكون السيارة بطيئة جداً أو متوقفة. وكذلك يمكن ملاحظة بعض تفاصيل عجلات دراجة عندما تدور عجالاتها ببطء، أما إذا دارت مسرعة جداً فستغيب كل تفاصيل العجلات.

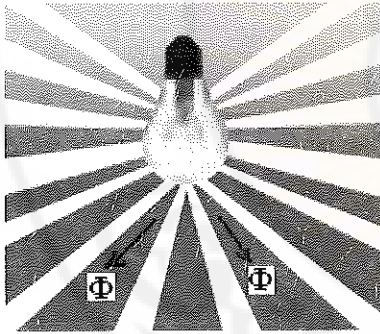
إن الشروط الأربعة السابقة لإبراز وإظهار الأشياء والأشكال تعتمد حقيقةً على الخصائص البيولوجية لأعين البشر، ويجري تطبيقها والاستفادة منها أيضاً في فنون السينما والتلفزيون والإعلانات التجارية.

٢-٣-٣- المفاهيم الأساسية في الإضاءة:

توجد عدة وحدات (units) (كميات، مفاهيم) أساسية تستخدم في الإضاءة أو الإنارة. وهذه الوحدات هي التي تشكل الأساسيات اللازمة 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 تهتمنا 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]:

٢-٣-١- الفيض الضوئي (السيالة الضوئية):

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



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

ويقدر الفيض الضوئي عند طول موجة مثالية بـ ٥٥٥nm، أي عند المردود النسبي الكامل لحساسية العين وهو ١٠٠%.

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

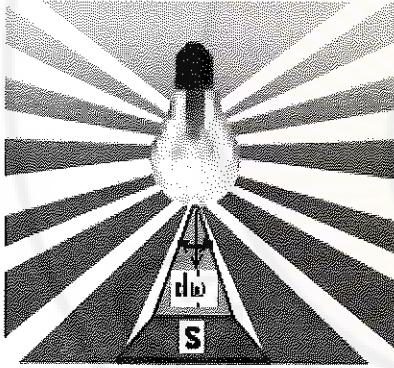
الجدول (٢-١) يبين بعضاً من قيم الفيض الضوئي لبعض أجهزة الإنارة المعروفة والشائعة في الاستخدام [١٦].

الجدول (١-٢) الفيض الضوئي لبعض أجهزة الإنارة

الفيض الضوئي [Lm]	المنبع الضوئي
١٠	مصباح دراجة عادية (دينامو دراجة عادية)
١٣٨٠	مصباح متوهج استطاعته ١٠٠ W
١٩٤٠	مصباح متوهج استطاعته ١٥٠ W
١٨٠٠	مصباح فلوريسنت استطاعته ٤٠ W
١٣٠٠٠	مصباح بخار صوديوم استطاعته ١٤٠ W
٢٥٠٠٠	مصباح بخار صوديوم استطاعته ٢٥٠ W
٢٠٠٠٠	مصباح بخار زينق استطاعته ٤٠٠ W

٢-٣-٣-٢ - الشدة الضوئية:

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

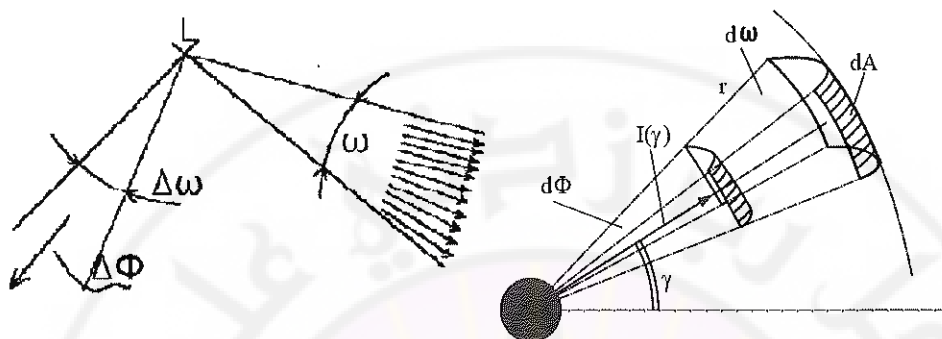


الشكل (١٥-٢) الإشعاع الضوئي في واحدة الزوايا المجسمة

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

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

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



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

يمكن التعبير عن الشدة الضوئية بشكل عام بأنها كمية الضوء (الفيض الضوئي Φ) التي تشع خلال زاوية مجسمة مقدارها ω فتصبح علاقة الشدة الضوئية على الشكل التالي:

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

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

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

نوع الإنارة	الشدة الضوئية للإنارة [cd]
مصباح دراجة عادية أمامي من دون عاكس للضوء	١
مصباح دراجة عادية أمامي ووجود عاكس للضوء	٢٥٠
مصباح على مرآة عاكسة ١٥٠ W وعلى المحور الرئيسي	٢٠٠٠٠

٢-٣-٣-٣-٣-٣: سوية الإنارة:

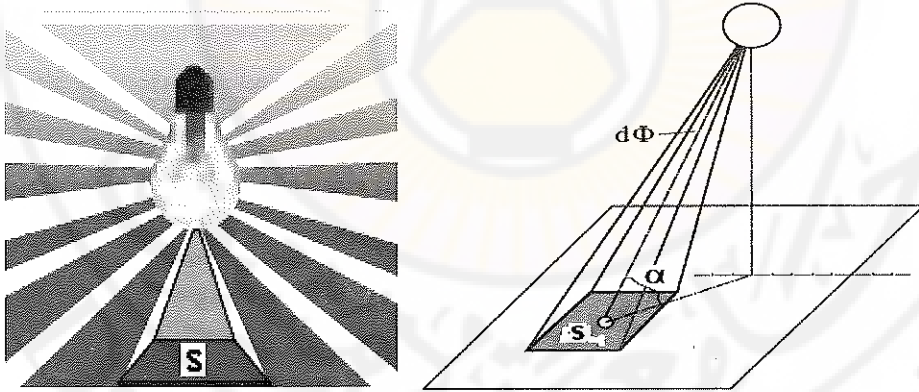
إن سوية الإنارة (Illuminance)، والتي يعبر عنها أحياناً بشكل مختصر بتعبير الإنارة فقط، هي عبارة عن مقياس درجة تركيز الضوء الساقط على سطح ما. ويرمز لها بالرمز E وتبين سوية الإنارة الشدة الضوئية الواصلة للسطح. تقاس سوية الإنارة باللوكس (lux) وتختصر بـ Lx . حيث:

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

إذا فرضنا وجود إنارة ذات قيمة وسطية هي E_{av} وكان الفيض الضوئي Φ 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، مثلاً α ، كما في الشكل (٢-١٧). بالتالي فإن سوية الإنارة على سطح S ستقل بنسبة $\cos \alpha$ عندما تصبح زاوية ورود أشعة الفيض الضوئي هي α بدلاً من الورد 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 التقريبية في بعض الأوقات والأمكنة على سبيل المثال [١٤].

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

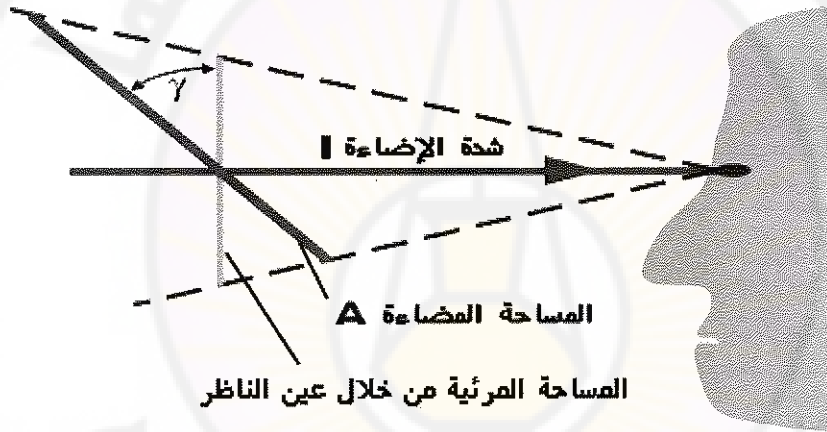
سوية الإنارة [Ix]	المكان والزمان
١٠٠٠٠٠	في منتصف النهار في فصل الصيف، موقع مفتوح والسماء صافية
٢٠٠٠٠	يوم صيفي غائم بعض الشيء
١٠٠٠٠	في منتصف النهار في فصل الشتاء، موقع مفتوح
٤٠٠	يوم شتوي غائم
١٠٠٠-٣٠٠٠	في منتصف النهار في فصل الصيف وخلف نافذة منزل
٥٠٠	شروق وغروب الشمس
٠.٣	ليلة فيها القمر بدر والسماء صافية
٠.٠٠١	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
٢٠٠٠	ملعب رياضي وإنارة لنقل تلفزيوني
١١٠	مصباح متوهج استطاعته ١٠٠W على مسافة متر واحد منه

٢-٣-٣-٤ - الوضوح:

يعرف الوضوح (Luminance) لسطح مضيء أو سطح عاكس بأنه عبارة عن الشدة الضوئية لهذا السطح في اتجاه معين مقسوماً على مساحته الساقط 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 التسميتين ببعضهما. يرمز للوضوح أو لكثافة الإضاءة بالرمز L ويقاس بوحدة هي: $\frac{Cd}{m^2}$ أو $\frac{Cd}{cm^2}$. وكثافة الإضاءة لمنبع ضوئي أو لمساحة مضاءة هي المسؤولة عن حساسية العين الناشئة بفعل الضوء، وبالتالي يمكن للدماغ البشري من خلالها معرفة أو تمييز ضغط الضياء أو النور.

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



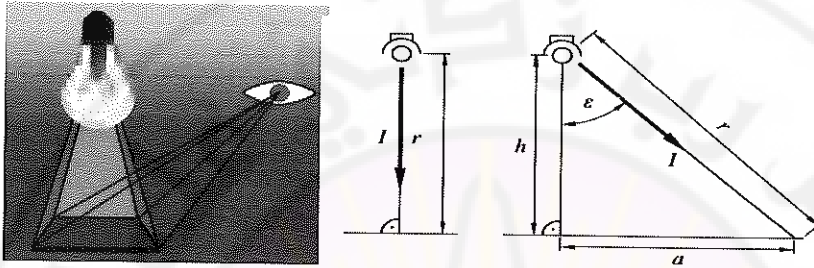
الشكل (٢-١٨) يبين وضوح سطح مضاء، والسطح المرئي من خلال عين ناظر يمكن حساب الوضوح وفقاً لتعريفه، ومن الشكل (٢-١٨) من العلاقة التالية:

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

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

A تمثل المساحة الحقيقية للسطح المضاء أو المضيء أو العاكس. و $A \cdot \cos(\gamma)$ هي المساحة المسقطية 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 (٢-١٩) هو عبارة عن الوضوح باعتبار السطح عمودياً على



الشكل (٢-١٩) الإنارة على سطح في حالة عمودية وأخرى مائلة تصنع زاوية مع العمود على السطح، وعين ناظر ترى السطح المضاء 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 اللمعان عن مدى الوهج وإعياء العين عند النظر إلى المصدر الضوئي فتكون قيمته مرتفعة مثلاً، من أجل شمس ساطعة أو مصباح تنغيستين شفاف (مصباح متوهج عادي)، بينما أقل لمصباح تنغيستين أبيض أو مصباح فلوريسانت. في السطوح العاكسة والتي تتميز بخاصية النثر المنتظم، والتي سنتعرف عليها فيما بعد، يعطى الوضوح بالعلاقة:

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

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 وضوحه 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 تقريبي [١] و [١٤].

الجدول (٤-٢) وضوح بعض الأجسام المنيرة والمنارة

الوضوح $\left[\frac{Cd}{cm^2} \right]$	الجسم أو المادة أو الموضع
١٦٠٠٠٠	الشمس
٠.٢٥	القمر
٠.٣-٠.٧	السما صناعية
٠.٠١-٠.١	سما غيوم
٧٠٠٠	فتيلة مصباح متوهج
٦	مصباح متوهج استطاعته ١٠٠ W زجاجه مغبش
٠.٨	شمعة مشتعلة
٨	مصباح فلوريسنتي في الاتجاه العرضي
٥	مصباح فلوريسنتي في الاتجاه الطولي
٠.٠١	ورق أبيض (عامل الانعكاس ٨٠%) وسوية الإنارة ٤٠٠ lx
٠.٠٥	ورق رمادي (عامل الانعكاس ٤٠%) وسوية الإنارة ٤٠٠ lx
٠.٠٠٥	ورق أسود (عامل الانعكاس ٤%) وسوية الإنارة ٤٠٠ lx
٠.٠١٥	ورق أبيض وسوية الإنارة عليه ٥٠٠ lx
٢	شارع مضاء بشكل جيد
1×10^{-4}	الحدود الدنيا للإحساس بالنور

٢-٣-٣-٥ - 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 مضاعفاته. و Φ هي الفيض الضوئي للمنبع ويقدر بالـ Lm. ويبين المردود الضوئي حقيقةً مدى فعالية أو جدوى المنبع الضوئي.

إن أعلى قيمة لمردود ضوئي يمكن الحصول عليه نظرياً هي القيمة 683 Lm/W. إن مفهوم المردود الضوئي يعطي فكرة على الأقل عن مقدار الاستفادة من الطاقة الكهربائية التي يستهلكها جهاز الإنارة، أو عن مقدار الوفرة الكهربائي فيه عند استخدامه لغرض معين. الجدول (٢-٥) يبين المردود الضوئي التقريبي لبعض المنابع الكهربائية [١] و [١٤].

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

المردود الضوئي [Lm/w]	الفيض الضوئي للمنبع [lm]	الاستطاعة الكهربائية [W]	المنبع الكهربائي
١٠-١٥			لعموم المصابيح المتوهجة
١٣.٨	١٣٨٠	١٠٠	مصباح متوهج
١٥-٢٥			لعموم مصابيح الهالوجين المتوهجة
١٦.٦	٥٠٠٠	٣٠٠	مصابيح هالوجين متوهجة
٦٠-١٠٠			لعموم مصابيح الفلوريسنت
٥٥	٣٣٠٠	٦٠	مصباح فلوريسنت
٤٠-٥٥			لعموم مصابيح بخار الزئبق بضغط عالٍ
٨٠	٢٠٠٠٠	٢٥٠	مصباح بخار الزئبق ذات الضغط العالي
١٠٠	٢٥٠٠٠	٢٥٠	مصباح بخار الصوديوم بضغط العالٍ
١٥٠-٢٠٠			لعموم مصابيح بخار الصوديوم بضغط منخفض
١٨.٣	٣٣٠٠٠	١٨٠	مصباح بخار الصوديوم بضغط منخفض
٦٠-١٠٠			لعموم مصابيح الميثال هاليد

٢-٣-٦-٣- معامِل ومؤشَر التعتيم :

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

٢-٣-٣-٧- مؤشَر عدم راحة الرؤيا:

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

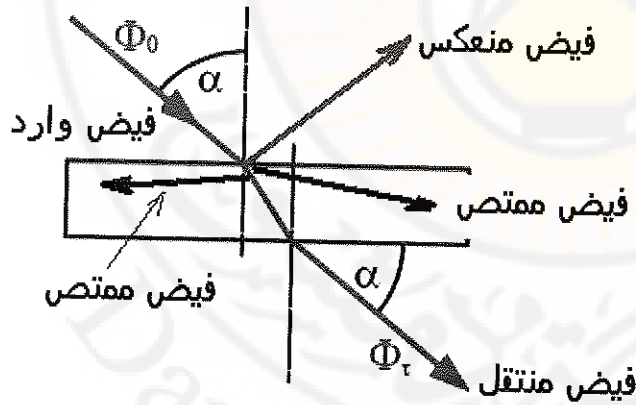
٢-٣-٣-٨- البهر الضوئي:

إن تسليط ضوء قوي على العين سيتسبب بما هو شائع الاستخدام بالبهر، 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. والبهر يمكن أن ينتج من ضوء مسلط مباشرة على العين أو من ضوء جاء منعكساً من على سطح عاكس ووصل إلى العين. والبهر 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 وحجب الأشعة التي يمكن أن تتسبب بالبهر، 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 البهر الذي يحدث هو في إنارة الشوارع، إذا حدث لأعين سائق سيارة مسرعة. ومن الشائع في الآونة الأخيرة ما تتسبب به شاشات الحواسيب على أعين المستخدمين، وخاصةً عند الاستخدام المتواصل و الدائم للحواسيب، عندما تكون المصادر الضوئية تقع خلفهم وتنعكس أشعتها على أعينهم من خلال شاشات هذه الحواسيب. إن البهر هنا لا يترك أثراً سيئاً 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 شدتها أو لتشتتها في اتجاهات مختلفة مفيدة.

٢-٤- خواص السطوح أمام الضوء:

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



يسقط شعاع ضوئي على جسم ما فإن الفيض الساقط على هذا الجسم يمكن تجزئته، بشكل عام، كما يبين الشكل (٢-٢٠) إلى ثلاثة مركبات [١] و [٥] و [٦] و [٧] و [١٣]:

- ١- فيض ضوئي منعكس.
- ٢- فيض ضوئي منتقل.
- ٣- فيض ضوئي ممتص.

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

على الفيض الضوئي الوارد إليها

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 بالتالي كتابة العلاقة:

$$r\% + a\% + t\% = 100\% \quad (١٣-٢)$$

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 (٢-٢٠)، 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 ويمتصان القسم الآخر بينما الزجاج والورق فإنهما بالإضافة إلى ذلك يحدث عبرهما انتقال لقسم من الأشعة.

٢-٤-١ - الانعكاس:

تتعامل 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. وهذ السطوح تكون على عدة أنواع وفقاً لعكسها للضوء، أي لكل منها خاصية

انعكاس تختلف عن الأخرى، ويمكن التمييز بين خمسة أصناف من الانعكاس (Reflection) الضوئي للسطوح، كما تبينها الرسومات في الشكل (٢-٢١).

١- الانعكاس المباشر (المرآوي).

٢- الانعكاس النائر.

٣- الانعكاس المنتشر أو نصف النائر.

٤- الانعكاس المختلط.

٥- الانعكاس المتناثر (المبعثر).

في الانعكاس المباشر يعكس السطح الأشعة الساقطة عليه كما تفعل المرآة تماماً، فتكون زاوية أي شعاع ضوئي وارد تساوي زاوية الشعاع المنعكس عنه، أما في الانعكاس النائر فتنعكس الأشعة في جميع الاتجاهات بشكل منتظم، لذلك يسمى هذا الانعكاس أحياناً بالانعكاس النائر 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 النائر أو المختلط. ففي الانعكاس النصف النائر 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 تنعكس بعض الأشعة الضوئية انعكاساً نائراً، وبعضها الآخر ينعكس انعكاساً مباشراً، ومثال على ذلك سطوح البورساليين والدهان الزيتي اللامع.

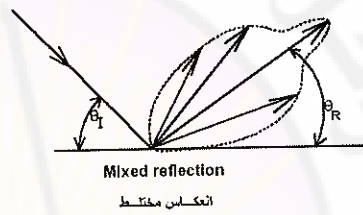
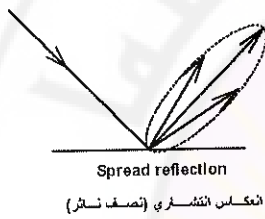
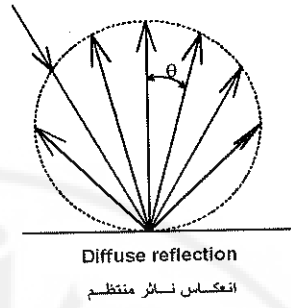
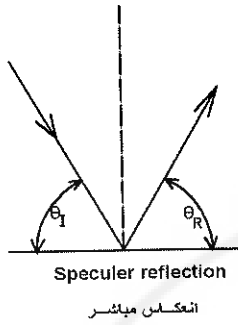
أما في الانعكاس المتبعثر فينعكس الشعاع الساقط إلى عدة أشعة منعكسة، وفي نفس اتجاه الأشعة الضوئية الواردة أيضاً. مثال على ذلك سقوط الأشعة على زجاج محجر أو مغشى.

هذا ويوجد جداول خاصة تبين عوامل الانعكاس للمواد المستخدمة في الإكساء الداخلي للأبنية.

وتؤخذ هذه بالحسبان عند دراسة الناحية الضوئية للأمكنة.

الجدول (٢-٦) يبين درجات الانعكاس الضوئي لبعض الألوان والمواد الشائعة الاستخدام [١]

و[٦] و [١٤].



الشكل (٢-٢١) تمثيل لأنواع الانعكاس على السطوح

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

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

الجدول (٧-٢) والجدول (٨-٢) يبينان عوامل الانعكاس لألوان متعددة مدهونة بها سطوح لها خاصية الانعكاس النائر 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 الناثـر

اللون	الغامق	الوسطى	الفاتح
أصفر	٠.٣٠	٠.٥٠	٠.٧٠
بيج	٠.٢٥	٠.٤٥	٠.٦٥
بنى	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
رمادى	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

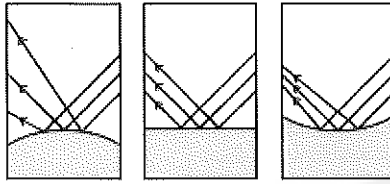
تعرضها للضوء الأبيض

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 ألمنيوم	٠.٦٠-٠.٧٥
إسمنت جديد	٠.٦٠-٠.٧٥
إسمنت قديم	٠.٠٥-٠.١٥
أعمال حجر (طوبه) بناء جديد	٠.٤٠-٠.٥٠
أعمال حجر (طوبه) 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 الماهو غاني 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 لماع
٠.٤٨-٠.٥٢	نيكل مت (matt)
٠.٦٥-٠.٧٥	ألومنيوم لماع
٠.٥٥-٠.٦٠	ألومنيوم مت
٠.٤٨-٠.٥٠	نحاس
٠.٦٠-٠.٧٠	كروم لماع
٠.٥٢-٠.٥٥	كروم مت
٠.٦٨-٠.٧٠	صفیحة قصدير

وتجدر 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 للون 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 ميول كبيرة، كالسطوح المحدبة أو المقعرة فإن انعكاس



الأشعة الضوئية يتم وفق نوعية هذه السطوح، مع الأخذ بالحسبان أن الأشعة ستغير اتجاهها وفقاً لميول هذه السطوح. الشكل (٢-٢٢) يبين انعكاساً مباشراً لأشعة بسيطة عن سطوح محدبة ومقعرة.

ولعل أكثر المواد المستخدمة في أجهزة الإنارة لعكس الضوء هي تلك التي تتمتع سطوحها بخاصية الانعكاس النائر المنتظم، نظراً لتوزيعها المنتظم للأشعة الضوئية في كافة الاتجاهات. وإذا تغطى

سطح العاكس بشوائب كالغبار وما شابه يمكن للانعكاس أن يصبح تبعثراً. ويغلب في أجهزة الإنارة، وبالأخص الدائرية الشكل أن يكون الانعكاس فيها من على سطوح مقعرة.

٢-٤-٢ - الانتقال:

عندما تسقط أشعة ضوئية على مادة نافذة للضوء، كالزجاج مثلاً أو الورق غير السميك، تنتقل أشعة الضوء، كلها أو جزء منها إلى الطرف الآخر من المادة النافذة أو الشفافة، كما بين الشكل (٢-٢٠). 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 (٢-٢٣)، وهي:

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

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

في الانتقال النائر فإن الأشعة المنقولة تنبعث بشكل منتظم في جميع الاتجاهات، ويظهر سطوع المادة متساوياً في كافة الاتجاهات. يصعب في الحياة العملية مصادفة مواد من هذا النوع،

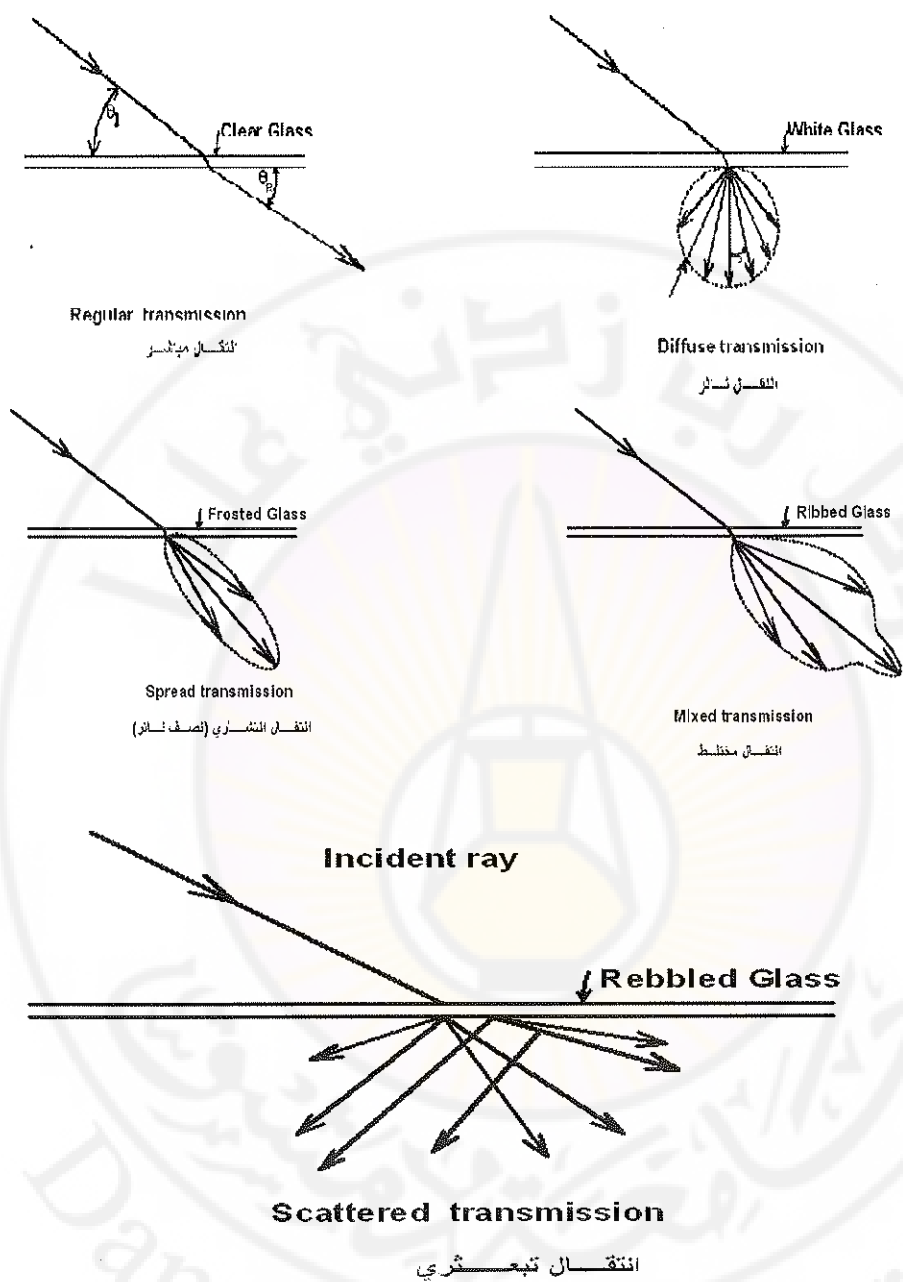
ولكن الزجاج الحليبي أو الزجاج ذو اللون الأبيض له خواص انتقائية قريبة من ذلك في الانتقال النصف الناثر، حيث تنفذ الأشعة وتنتشر ليأخذ منحها العام اتجاه الانتقال المباشر، وكمثال على ذلك الزجاج المقسى (المثلج)، حيث يظهر للناظر الزجاج ساطعاً في اتجاه معين أكثر من الاتجاهات الأخرى.

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

يحدث الانتقال المبعثر عندما تنكسر الأشعة النافذة إلى مجموعة من الأشعة النافذة المباشرة. مثال على ذلك الزجاج المبلى (سطح غير مستوي) فهذا النوع من الزجاج يظهر وكأنه متآكل عندما يتعرض لضوء. والشكل (٢-٢٣) يبين الأنواع المختلفة للانتقال عبر السطوح الزجاجية. الجدول (٢-٩) يبين عوامل الانتقال لبعض المواد المستخدمة في الحياة العملية والنافذة للضوء.

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

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



٢-٥- منابع الضوء الكهربائية:

۱- التوهج الحراري.

٢- التآلق الكهربائى.

٣- الاستشعار.

٤ - التفسير .

127

٢-٥-١ - التوهج الحراري:

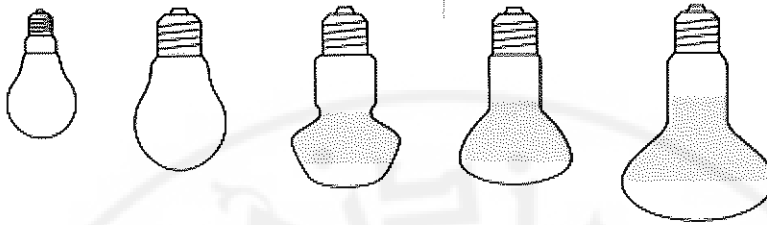
يعني التوهج الحراري (Incandescence) تسخين بعض المواد المعدنية حتى الاحمرار والتوهج (حتى 2500°C) وإصدار الضوء. إن أجهزة الإنارة الكهربائية التي تعتمد على هذا المبدأ تحتوي بداخلها على سلك معدني ملفوف على شكل وشيعة، يسمى عادةً فتيلًا معدنيًا (Filament)، وهو قادر على تحمل درجات حرارة عالية، يمر فيه تيار كهربائي لمدة زمنية غير محددة فيسخن السلك ويتوهج ويعطي ضوءًا. يكون السلك المعدني عادةً من مادة قادرة على تحمل درجات الحرارة العالية والتسخين المستمر، وهو على الأرجح التنغستن (Tungsten)، وموضوع ضمن حبة من الزجاج، تحتوي بداخلها على غاز خامل لمنع تفاعل السلك مع محيطه الغازي، أو تكون الحبة مفرغة من أي غاز. تنتج المصابيح التي تعمل على هذا المبدأ باستطاعات قليلة وصولاً إلى استطاعة تساوي 2000W.

يوجد نوعان من المصابيح المتوهجة [٨]:

٢-٥-١-١ - المصابيح المتوهجة العادية:

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

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



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

الجدول (٢-١٠) يبين قيماً للمردود الضوئي للمصابيح المتوهجة الشائعة في الاستخدام.

الجدول (٢-١٠) مردود المصابيح المتوهجة

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

٢-١-٥-٢ - مصابيح الهالوجين:

إن مصابيح الهالوجين (Halogen Lamps) هي إحدى أنواع المصابيح المتوهجة، إلا أنها تحتوي بداخلها على غاز خامل إضافي، هو الهالوجين، بأحد أنواعه، مثل البروم (Brom) أو اليود (Jod) أو الفلور (Fluor). وتتميز عن المصابيح العادية بحباتها الأصغر حجماً من العادية والمصنعة من بلور الكوارتز، القادر على تحمل درجات حرارة أعلى من الزجاج العادي. وكذلك فإن مردودها الضوئي أفضل، ويبلغ بحدود $36-17$ Lm/W وعمر عملها أطول، ويساوي ضعف عمر عمل المصابيح العادية، بفضل غاز الهالوجين ضمنها، الذي يتمتع بقدرة أفضل على حماية السلك المتوهج من التأكسد والتخريب. تستخدم هذه المصابيح بشكل عام في الإنارة الخارجية والتزيينية وإنارة الأماكن والقاعات الكبيرة، والمصالات، التي

تتم فيها العمليات البصرية كالتصوير وما شابه. يوجد هذا النوع من المصابيح باستطاعات W (٢٠٠-٢٠٠٠). ومنها ما يعمل على التوترات المنخفضة (LV)، وهي عادةً ١٢٧. وهذه بحاجة إلى محولات لتعمل.

تتميز المصابيح 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، كدرجة الحرارة أو الرطوبة.

٣- ذات حجم صغير نسبياً وتناسب جميع الأماكن 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 لإنارة جميع الغرف عموماً، كما يمكن استخدامها للإنارة الخاصة.

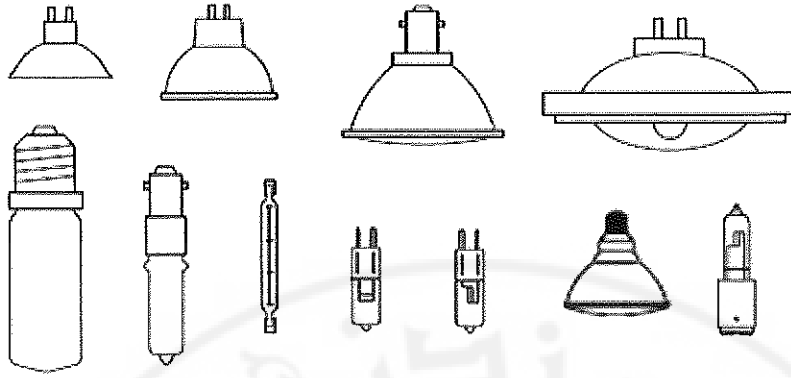
٧- مردودها الضوئي منخفض نسبياً ويساوي Lm/W (٣٦-٦).

٨- عمر عملها قصير نسبياً ولا يتجاوز ١٥٠٠ ساعة عمل وسطياً للمصابيح العادية و ٢٠٠٠ ساعة عمل للهالوجين منها.

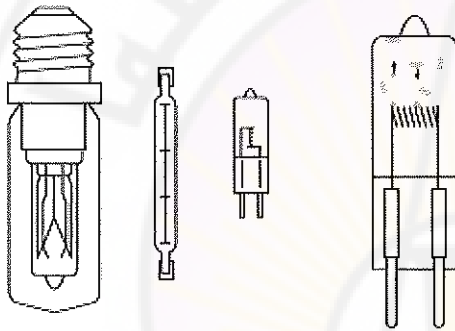
٩- لون إضاءتها بشكل عام أحمر يميل للإصفرار في المصابيح العادية، ويميل للبياض قليلاً في ذات الهالوجين. وهو ضوء أبيض حار.

الشكل (٢-٢٨) يبين الطيف الضوئي لمصابيح الهالوجين المتوهجة. (قارن مع الطيف الضوئي للمصابيح العادية في الشكل (٢-٩)؟ ماذا تستنتج؟).

تكون مصابيح الهالوجين المتوهجة باستطاعات مختلفة، وهي تأخذ لذات التوترات المنخفضة، ١٢٧، أحد النماذج المبينة في الأشكال (٢-٢٦). أما المصابيح الهالوجينية التي تعمل على التوترات الأحادية الطور المتناوبة المعروفة، ٢٢٠٧، فمعظمها يأخذ أحد الأشكال العامة المبينة في الشكل (٢-٢٧).



الشكل (٢٦-٢) بعض أشكال مصابيح الهالوجين المتوهجة، التي تعمل على التوتر المنخفض ١٢٧



الشكل (٢٧-٢) مصابيح الهالوجين المتوهجة التي تعمل على التوتر المتناوب ٢٢٠٧

٢-٥-٢- التآين أو التآلق الكهربائي:

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

- الانفراغ المتوهج.
- الانفراغ (التآين) 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 المعدن-الهالوجين (إن التسمية الشائعة لهذا النوع من المصابيح هو الميتال - هاليد. والهاليد هو أحد أنواع الهالوجين، Metal-Halide Lamps).

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

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

٢-٥-٢-١- المصابيح الانفراغية:

يقصد بالمصابيح الانفراغية (Discharge Lamps) مصابيح أبخرة المعادن، حيث يحدث فيها
الانفراغ بضغط منخفض أو عالٍ.
١- مصابيح الفلوريسنت:

تعد مصابيح الفلوريسنت (Fluorescent Lights) من مصابيح الانفراغ ذات الضغط
المنخفض. يتألف هذا المصباح من أنبوب زجاجي، بأطوال مختلفة، وفقاً لاستطاعته. هذا
الأنبوب مغطى من الداخل بمادة فوسفورية تصدر ضوءاً مرئياً عندما تتعرض لإشعاعات فوق
بنفسجية. والإشعاعات فوق البنفسجية تنشأ عند الانفراغ (التأين) ضمن الأنبوب. يملأ الأنبوب
ببخار الزئبق بضغط منخفض (بحدود 10^{-4} N/m²) مع أحد الغازات النادرة كالأرغون أو مزيج
من الأرغون والكريبتون أو الأرغون أو النيون، التي تساعد في عملية الإقلاع والانفراغ 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 إنارة أفضل تقع ضمن الطيف
الضوئي المرئي، حتى إنه يمكن التأثير بلون الضوء فيها. تأخذ أجهزة إنارة الفلوريسنت ثلاثة
ألوان رئيسية حسب خليط الغاز والمواد الملونة بداخلها، وهي:

- الأبيض الدافئ (WW) : وهو لون قريب من ضوء المصابيح المتوهجة بشكل جيد.
وتكون درجة حرارة اللون فيها أقل من 3300K (بحدود 3000K). تستخدم في الغرف
والأماكن التي تتطلب إنارة هادئة.

- الألوان البيضاء، وتسمى البيضاء الحياضية (nw). وهي الألوان القريبة من ضوء النهار. درجة حرارة اللون فيها تكون بحدود $4000K$. وهي تستخدم لكافة الأماكن التي تتطلب إنارة كافية وجيدة، مثل إنارة القاعات الدراسية والمخابر والورش وأماكن العمل الدقيق.
- ألوان 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 $5000K$ ، (بحدود $5000-7000K$)).

الشكل (٢-٢٩) في ملحق الصور الملونة يبين تحليل الضوء الأبيض الناتج من منبع إنارة فلوريسنتي عبر موشور. الأشكال (٢-٣٠) في نفس الملحق السابق تبين الطيف الضوئي لألوان أجهزة إنارة الفلوريسنت المختلفة (قارن بين الطيف المحلل في الشكل (٢-٢٩)، أو الأشكال (٢-٣٠) وبين طيف ضوء النهار في منتصفه (٢-٦)).

تعد إنارة الفلوريسنت من أفضل المنابع الكهربائية التي يمكن لها أن تري الألوان على حقيقتها مقارنةً بسواها من المنابع الضوئية الأخرى، نظراً لوجود بعضها الذي تكون إضاءته قريبة جداً من ضوء النهار، وهذه الإنارة تحتوي عادةً على كمية ضوء من اللون الأزرق أيضاً، إضافةً لضوء بلون أبيض.

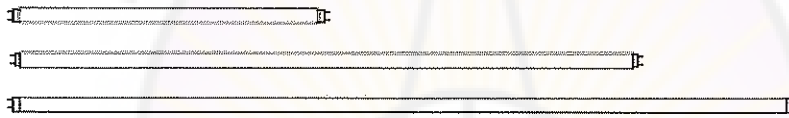
تعمل أجهزة الإنارة الفلوريسنتية على التوتر المنخفض $220V$ ، وتعد اقتصادية في الاستهلاك، ويمكن الاستفادة منها في الأماكن الداخلية والخارجية على السواء، لذلك تستخدم في جميع أنواع الإنارة تقريباً، مثل إنارة المنازل والمكاتب وقاعات الدرس والمخابر والورش، ذات الارتفاعات القليلة نسبياً (ارتفاعات الغرف العادية)، وفي جميع الأماكن تقريباً التي تحتاج إلى سوية إنارة عالية. إلا أنها غير عملية في الإنارة السريعة والطارئة، كإنارة الأدراج والممرات وما شابه. ومن أجل استطاعتها التي تصنع بها حالياً $W(60-40)$ ، فإن مردودها الضوئي يبلغ حدود $Lm/W(100-60)$. وعمر عملها الوسطي $7000h$ تقريباً.

إن إنتاج الضوء في أجهزة إنارة الفلوريسنت يتم على الشكل التالي:

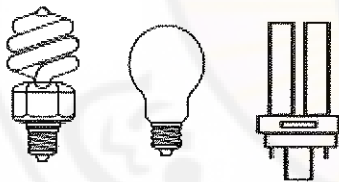
يتم تفريغ (تأين) شحنات كهربائية بين إلكترودين في وسط غازي من بخار الزئبق. بواسطة عملية التأين هذه يُنتج أشعة غير مرئية، وهي الأشعة فوق البنفسجية. هذه الأشعة تتسبب بجعل المادة الفوسفورية المطلي بها أنبوب الزجاج من الداخل تضيء. إن لون إنارة جهاز الفلوريسنت يتعلق بتركيب المواد الغازية المشتركة في توليد الإضاءة. فغاز 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 الآتية الذكر توجد أيضاً أجهزة إنارة فلوريسانت مدمجة (Compact fluorescent Lights)، وهي نفسها التي تسمى في الأسواق بمصابيح توفير الطاقة. وأجهزة توفير الطاقة هذه لها نفس مبدأ عمل سابقتها التقليدية، وإنما تصنع بشكل مختلف أصغر وأقصر بكثير منها، بحيث يمكن تركيبها كما تركيب المصابيح المتوهجة في نفس السوك. ويكون فيها جميع مستلزمات تشغيلها من مقلع وملف خانق ومكثف تحسين عامل الاستطاعة مدمجة مع بعضها لتصبح أقل حجماً. ولا يختلف مردود هذا النوع من المصابيح عن مردود مصابيح الفلوريسنت العادية بكثير. إلا أنها تتميز بغلاء ثمنها مقارنة بالمصابيح المتوهجة العادية. الشكل (٢-٣١) يبين الأنابيب الزجاجية لمصابيح الفلوريسنت المعروفة في الاستخدام.



الشكل (٢-٣١) أنابيب إنارة الفلوريسنت ذات الـ ١٨W و ٣٦W و ٥٨W

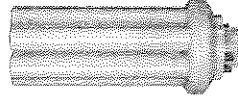
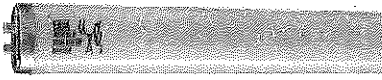


الشكل (٢-٣٢) يبين المصباح المدمج (الموفر للطاقة) بثلاثة أشكال مختلفة له. والشكل (٢-٣٣) يبين صورة فوتوغرافية لأنبوب الفلوريسنت ومصباح الفلوريسنت المدمج.

الشكل (٢-٣٢) نماذج شائعة

الاستخدام لمصابيح من النوع المدمج

من أجل إنتاج نبضة القذح، 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 (٢-٣٣) صورة لجزء من لمبة مصباح الفلوريسنت العادي وصورة لمصباح الفلوريسنت المدمج للمقارنة

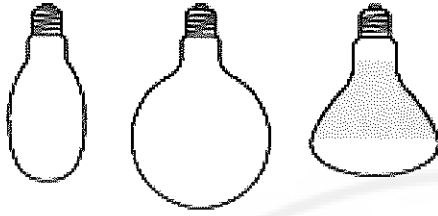
٢- مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط العالي

يتألف مصباح بخار الزئبق ذو الضغط العالي (High-pressure mercury vapor Lamps) من حبة من الزجاج القاسي أو المغطى بطبقة فلوريسنتية أو طبقة فلوريسنتية مضاف إليها مواد تساعد في تحسين الإضاءة. تحتوي الحبة بداخلها على مزيج من الغازات الخاملة مثل الأرجون أو النيتروجين. وكذلك تحتوي الحبة بداخلها على أنبوبة انفرغ من الكوارتز، الذي يتحمل درجات حرارة عالية. بطرفي الأنبوبة يوجد مسريان مطليان بمواد باعثة للإلكترونات. كما تحتوي الأنبوبة أيضاً على غاز خامل بداخلها مثل الأرجون أو خليط النيون مع بخار الزئبق. وفي بعض النماذج منها تطلي الحبة من الداخل بمادة عاكسة. تتم عملية الانفرغ في بخار الزئبق ضمن الأنبوبة عند ضغط عالٍ. فعند توليد الأشعة فوق البنفسجية وسقوطها على الطبقة الفلوريسنتية المطلية بداخل الحبة تشع هذه المادة ضوءاً. الشكل (٢-٣٤) يبين أشكال المصابيح المتعارف عليها في الأسواق حالياً. يكون شكل الحبة بيضويّاً أو أنبوبياً أو على شكل إجاصة. يكون للضوء المشع من المصباح لون كالتالي:

- أبيض درجة حرارته تساوي $(3200-3600)K$ للحبة المغطاة بطبقة فلوريسنتية مع مواد محسنة للضوء.

- أبيض مزرّق حرارته تساوي $5700K$ للحبة غير المغطاة بأي مادة.

يبلغ المردود الضوئي لهذا المصباح $(32-60)Lm/W$. ويقدر عمر عمله الوسطي بحوالي ٩٠٠٠ ساعة عمل، وهو بذلك أكثر بثلاثة أضعاف من عمر المصباح المتوهج. ويحتاج المصباح ليعمل إلى ملف خائق ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة. يعطي المصباح



إنارته المطلوبة كاملةً بعد حوالي (٥-٤ دقائق من لحظة تشغيله. ولا يمكن إعادة إضاءته إلا بعد أن تبرد حبابته.

تستخدم مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط العالي في إنارة الشوارع والساحات والأماكن ذات الأسقف العالية، وبشكل عام تستخدم هذه

الشكل (٢-٣٤) بعض مصابيح بخار الزئبق بالضغط العالي ١٢٥W و ٨٠W

المصابيح في جميع الأماكن التي تتطلب فيضاً ضوئياً عالياً.

٣- مصباح بخار المعدن - الهالوجينية:

يعرف هذا النوع من المصابيح بالاسم التجاري "مصابيح الميتال هاليد" (Metal Halide Lamps). وتشبه هذه المصابيح مصابيح بخار الزئبق بضغط عالٍ إلى حدٍ كبير. وتختلف عنها في بعض الأمور؛ فأنبوبة الانفراغ فيها أقصر، وتحتوي على أملاح الهاليد مع الزئبق، لذلك يكون مردودها الضوئي أفضل وإمكانيته أفضل لإعطاء الألوان.

تأخذ الحبابة شكلاً بيضوياً أو أنبوبياً، كما يبين الشكل (٢-٣٥). وتطلى بداخلها بمادة فوسفورية أو فلوريسنتية ناترة للضوء. تكون أنبوبة الانفراغ من الكوارتز وبجهازها سلك تغذية كهربائي من كل طرف يتصل بمسرى من التفتستين. تحتوي أنبوبة الانفراغ عادةً على

مزيج من غازي الأرجون والنيون

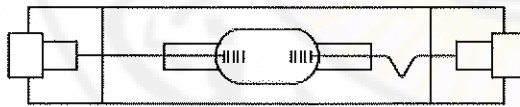
للمساعدة في عملية الإقلاع مضافاً

إليها بعض أملاح الهاليد. تتم عملية

إنتاج الضوء من خلال تبخر أملاح

الهالوجين (الهاليد) في جو من بخار

الزئبق. إن الطيف الضوئي المتولد



الشكل (٢-٣٥) مصباح الميتال - هاليد

من هذا المصباح المبين في الشكل (٢-٣٨) في ملحقات الصور الملونة ينطبق تقريباً على منحنى نورانية العين في قمته، لذلك تكون العين حساسة تجاه ضوء هذا المصباح و ترى منه

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

عمر عمل المصباح بحدود (٦٠٠٠-٢٠٠٠) ساعة عمل. ويبلغ المردود الضوئي لهذا النوع من المصابيح (١٠٠-٦٢) Lm/W. لون الضوء أبيض ودرجة حرارته ٣٧٠٠ K. 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 الانفرافية من حيث المردود الضوئي. إنه يبدو من الخارج على شكل أنبوبي، أما من الداخل فله شكل الحرف U. أو كدبوس الشعر، كما يبينه الشكل (٢-٣٦). تتشكل حجيرات (حجر صغيرة) ضمن أنبوب الانفراغ وتحتوي على بخار الصوديوم تحت ضغط منخفض، بحدود 5 N/m^2 وغازات خاملة. الغلاف الزجاجي مغطى بمادة أكسيد الأندريوم العاكس للأشعة تحت الحمراء.

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



بذلك يظهر الأشياء الصغيرة

ويكشفها بشكل ممتاز، إلا أنه

لا يظهر ألوانها. ودرجة حرارة

لونه هي ١٧٤٠ K. يحتاج

المصباح ليعمل إلى مقلع ومكثف

لتحسين عامل الاستطاعة وإلى

ملف خائق. يستخدم مصباح بخار

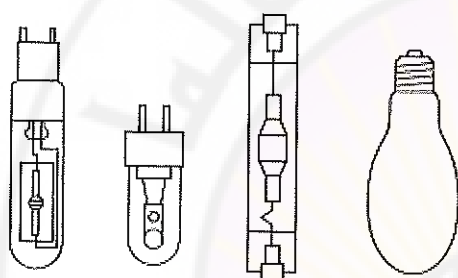
الشكل (٢-٣٦) مصابيح بخار صوديوم بالضغط

المنخفض ٣٥ W و ٩٠ W

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

٥- مصباح بخار الصوديوم ذو الضغط العالي:

يتألف مصباح بخار الصوديوم ذو الضغط العالي (Higt pressure Sodium Lamps) من حبة على شكل أنبوب أو على شكل بيضوي أو على شكل إجاصة، كما يبين الشكل (٢-٣٧). وتكون من الزجاج القاسي. تغطي الزجاجاة من الداخل بمادة فلوريسنتية، حيث يكون الهواء داخلها مخلطاً، وهي تحتوي على أنبوبة انقراغ. تصنع الأنبوبة من أكسيد الألمنيوم، أو من الفخار في بعض الأحيان، الذي يتحمل درجات حرارة عالية، وهي تحتوي من طرفيها



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

على قطبين من معدن التنتغستين، يشكلان مسريتي التيار. تملأ الأنبوبة بخليط من الصوديوم والزنابق إضافة لغاز خامل هو عادة الزينون أو النيون أو الأرجون. وتكون مهمة الغاز هي بدء الاشتعال.

يعطي هذا المصباح ضوءاً ذهبي اللون وحيداً، وبعد لونا ضوئياً مريحاً من اللون الأبيض الدافئ، الذي يسمح برؤية ألوان الأشياء. درجة حرارته $2300K$. ويبلغ

عمر عمل المصباح بحدود ٩٠٠٠ ساعة عمل. والمردود الضوئي له لا يعد مرتفعاً، ويساوي $(70-150) \text{ Lm/W}$. إلا أن الفيض الضوئي لهذا المصباح يقل في نهاية فترة عمله. يحتاج المصباح إلى فترة زمنية ليعطي كامل تياره الضوئي بحدود ٧-٥ دقائق. وهو يحتاج لأقل من دقيقة لإعادة اشتعاله. كذلك يحتاج الجهاز لمتطلبات لعمله، وهي ملف خائق ومكثف لتحسين الاستطاعة. وفي بعض أنواعه يحتاج لمقلع.

يستخدم جهاز الإنارة هذا في إنارة الأماكن ذات المتطلبات العالية، كالأنفاق والمساحات والشوارع وأماكن وورش البناء وكذلك في جميع الأماكن التي يمكن أن يتشكل فيها الضباب. يصنع هذا الجهاز حالياً باستطاعات $35W$ و $70W$ و $100W$ و $150W$.

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

٦ - المصابيح المختلطة:

إن المصابيح المختلطة (Blended Lamps) هي نوع من مصابيح الإنارة مختلط بين المصابيح الانفرادية والمصابيح المتوهجة. إنها تحتوي على كامل مكونات مصباح بخار الزئبق عدا متمماته. تتميز بمردود ضوئي كبير مقارنة بالمتوهجة، ويبلغ Lm/w (٢٨-١١)، وكذلك بعمر زمني كبير أيضاً، وهو بحدود (٨٠٠٠-٦٠٠٠) ساعة عمل. ضوء هذا المصباح هو أبيض دافئ، وتبلغ درجة حرارته $4000K$. يحتاج المصباح، بعد أن ينطفئ، ليعطي كامل ضوئه إلى حوالي ٧ دقائق ليبرد بخار الزئبق ويتكثف من جديد. لا يحتاج المصباح لأي متممات للعمل. يستخدم في إنارة الحدائق والمنازل كبديل للمصباح المتوهج.

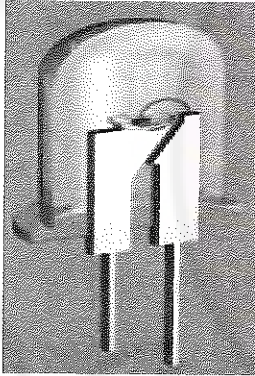
٧- مصابيح الديودات الباعثة للضوء:

يمكن للضوء أن ينتج بفعل الديودات الضوئية على نفس مبدأ التانين. فأنصاف النواقل، المسماة بالديودات، والتي تسمى اختصاراً بـ(LEDs)، يمكن لها أن تبعث أشعة مضيئة عندما يمر من خلال الطبقتين، المسماتين 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 ينتج ضوء ذو مطال موجة معين، وبالتالي لون معين. الجدول (١١-٢) يبين ألوان وأطوال أمواج الأشعة المنبعثة من الديودات بحسب نوعية موادها [١٦].

يتألف المصباح الضوئي عادةً من مجموعة من الديودات الضوئية الموصلة مع بعضها، بطريقة معينة، لتعطي الاستطاعة الضوئية المطلوبة. الشكل (٢-٤٠) يبين مصباح ضوء ديودي بديود ضوئي وحيد وآخر بعدة ديودات ضوئية وهو من المصابيح الحديثة العهد نسبياً. تعد الديودات منابع نقطية للضوء، ويمكن لها أن تعطي ضوءاً أبيضاً أو ملوناً أيضاً. لايزداد طول الديود الواحد الباعث للضوء عن: $3-5mm$. وهو ما فسخ المجال أمامها واسعاً لتصنع منها أجهزة إنارة ذات أشكال ونماذج مختلفة، ومنها صغر حجم الجهاز أيضاً مقارنةً بسواه، وأثبتت بالتالي جدارة في الاستخدام في مجال الإنارة التزيينية.

الجدول (١١-٢) خصائص الضوء المنبعث من الـ 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-Corbon) SiC	أزرق	٤٨٠



الشكل (٢-٤٠) الشكل على اليسار لـ ديود ضوئي وحيد باعثة للضوء. والشكل على اليمين

لمصباح ضوئي متعدد الديودات. الدوائر الصغيرة هي عبارة عن الديودات الضوئية

وقد كثر في الآونة الأخيرة الاستفادة من الديودات في عملية الإنارة الداخلية، الوظيفة منها والتزيينية أيضاً، وبوتيرة متسارعة جداً. كما يستخدم هذا النوع من الإضاءة في الإنارة الخارجية بشكل مضطرب أيضاً. وقد أثبت هذا النوع من الإضاءة مردوداً اقتصادياً كبيراً. فمردوده الضوئي يساوي L/W (١١٠-١٣٦). تبلغ درجة حرارة اللون في هذا النوع من الإضاءة حوالي K (٢٦٠٠-١٠٠٠). ويقدر 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.

٨- الضوء الليزري:

ينشأ الضوء كاشعة ليزرية. فالليزر (Ligt amplification by stimulated emission of radiation) يبعث أشعة كهرومغناطيسية متماسكة بكثافة طاقة عالية، ذات تماسك زمني ومكاني كبير، نبضاتها (أمواجها) مستقرة في مطالها وزمنها. يمكن التمييز بين:

- الليزر ذي الجسم الصلب.

- الليزر الغازي.

- ليزر أنصاف النواقل.

- ليزر المواد الملونة.

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

ينتج ليزر أنصاف النواقل كالأشعة الضوئية، وإنما أشد إضاءةً، وبمساعدة مرنان (عنصر رنين) بصري، أشعة ضوئية متماسكة وحيدة اللون. يستخدم ليزر أنصاف النواقل 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.

٢-٢ - استخدامات مصابيح الإضاءة (الإثارة):

نبين فيما يلي مقارنة بين المردود الضوئي وأكثر مجالات الاستخدام لجميع أنواع أجهزة الإثارة المعروفة والسابق ذكرها في الجدول (٢-١٢):

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

اسم ونوع منبع الإضاءة	المردود الضوئي للمنبع [Lm/W]	استخداماته العامة
المصابيح المتوهجة	٦-١٩	للإثارة السريعة والطائرة عموماً، كالأدراج والممرات
مصابيح الهالوجين المتوهجة	١٧-٣٦	للإثارة الخارجية وإضاءة القاعات الكبيرة، وأماكن التصوير وما شابه ويكثر استخدامها في الإثارة التزيينية
مصابيح إثارة الفلوريسنت	٦٠-١٠٥	إضاءة المنازل والمكاتب وقاعات الدرس والمخابر والورش، ذات الارتفاعات القليلة، وجميع الأماكن التي تحتاج إلى سوية إثارة عالية، وتستخدم أيضاً للإثارة التزيينية
مصابيح إثارة الفلوريسنت المدمجة	٥٠-٧٥	كسابقها تماماً، وتمتاز بصغر حجمها وإمكانية تركيبها على سوكة مصباح متوهج عادي أو هالوجيني
مصابيح الميتال هاليد	٦٢-١٠٠	للإثارة الصالات والساحات والملاعب وعقد السير ولجميع الأماكن التي تحتاج إلى سويات إثارة عالية
مصابيح الصوديوم بالضغط العالي	٧٠-١٥٠	للأماكن ذات المتطلبات العالية في شدة وسوية الإثارة كالأنفاق والساحات والشوارع وفي جميع الأماكن التي يمكن أن يتشكل فيها الضباب
مصابيح الصوديوم بالضغط المنخفض	١٠٠-١٨٣	للإثارة المناطق التي تتطلب شدة ضوء قوية كالساحات والأماكن الأثرية والشوارع والسكك الحديدية ومناطق الضباب
مصابيح بخار الزئبق (بالضغط العالي)	٣٢-٦٠	إضاءة الشوارع والساحات والأماكن ذات الأسقف العالية ولجميع الأماكن التي تتطلب فيضاً ضوئياً عالياً
مصابيح الديودات الباعثة للضوء	١١٠-١٣٦	إنها حديثة العهد نسبياً وتستخدم للإثارة الخارجية والداخلية على السواء وكذلك للإثارة التزيينية أيضاً وبشكل مضطرد

نذكر على سبيل المثال أن شدة الإنارة التي يعطيها مصباح توفير طاقة (فلوريسنت مدمج) ذات استطاعة كهربائية تساوي: 11W تعادل نفس شدة الإنارة التي يعطيها مصباح متوهج عادي باستطاعة كهربائية تساوي: 60W. إن هذا يعني توفيراً في الطاقة الكهربائية، وفي هذه الحالة يساوي الوفّر باستخدام مصابيح التوفير بدلاً من المصابيح المتوهجة العادية أكثر من خمس أضعاف تقريباً، علماً بأن عمر العمل الزمني لمصابيح التوفير هو أكثر بحوالي ثمان مرات من عمر عمل المصابيح العادية.

٢-٧- أجهزة الإنارة:

لا يستخدم عادةً المصباح بشكله البسيط لإعطاء النور، لا في الإنارة الوظيفية ولا في الإنارة التزيينية منها، فهو من ناحيةٍ ذو شكل غير محبذ جمالياً، ومن ناحيةٍ ثانيةٍ فإن مردوده الضوئي يكون بأسوأ حالاته، أضف إلى ذلك عدم إمكانية التحكم بتوزيع الضوء في الفراغ كما يلزم، لذلك تصمم أجهزة الإنارة لتؤخذ العوامل الثلاثة السابقة بالحسبان. يتألف 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.
 - الناثر الضوئي.
 - متممات أخرى، كالتوصيلات الكهربائية والهيكل الحامل أو الغطاء والمثبتات..... إلخ.
- وهذه لا تلعب أي دور يذكر في التأثير بجمالية جهاز الإنارة أو مردوده الضوئي. ويصمم الجهاز ليكون سهل الفك والتركيب والصيانة، إذا دعت الضرورة. وجهاز الإنارة هو إذاً المنبع الضوئي الصناعي المجهز بعواكس للإنارة أو مشتتات 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 والطرق الميكانيكية وسواها للحصول على الإنارة المثالية. وسنقوم فيما يلي بإلقاء الضوء على كل واحدة من مكونات جهاز الإنارة.

٢-٧-١ - المنابع الضوئية:

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

- المصابيح المتوهجة: مستخدمة بكثرة. توجد منها أشكال مختلفة، وتتميز بضوء أبيض حار، مريح جداً للعيون، وهي ذات عامل إظهار لون جيد. مردودها الضوئي سي نسبياً وعمر عملها كذلك. تتركب بأجهزة الإنارة بأشكال مختلفة.
 - المصابيح المتوهجة الهالوجينية: لون ضوئها أبيض مريح للعيون. وذات عامل إظهار لون جيد جداً وأفضل من سابقتها. مردودها الضوئي وعمر عملها أفضل من سابقتها بكثير.
 - مصابيح الهالوجين 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.
 - مصابيح إنارة الفلوريسانت: ذات مردود ضوئي عالٍ وجودة في إعادة إظهار الألوان، وعمر عمل طويل.
 - مصابيح إنارة الفلوريسنت المدمجة: لها نفس حجم المصابيح المتوهجة (ليس نفس الشكل)، لكنها أقل استهلاكاً للطاقة الكهربائية من المتوهجة العادية بنسبة ٨٠%، وعمر عملها أطول بكثير من المتوهجة.
 - مصابيح المعدن الهالوجينية (مصابيح الميتال - هاليد): يمتاز هذا النوع من المصابيح بمردود ضوئي عالٍ وعامل إظهار لون مرتفع جداً.
 - مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض وذات الضغط المرتفع.
 - مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط المرتفع.
 - الديودات الباعثة للضوء (LEDs): يوجد منها العديد جداً من الأشكال والألوان والأحجام أيضاً. لا ينبعث 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، ومجالات استخدامه، كما سبق وذكرنا. وتضاف عادةً للمنابع السابقة تجهيزات أخرى، أهمها تلك التي تدعى بالعواكس

والنواثر لتعطي الإنارة المطلوبة في الاتجاه المحدد، وتضفي على جهاز الإنارة شكلاً جمالياً مقبولاً، كحد أدنى. فلأسقف العادية يكثر استخدام أجهزة إنارة تعتمد على المصابيح العادية المتوهجة وبنسبة أكثر على مصابيح الهالوجين المتوهجة بالإضافة لإنارة الفلوريسنت أو الفلوريسنت المدمج. أما للأسقف العالية فيمكن أيضاً اختيار أحد الأنواع الأخرى من أجهزة الإنارة، أهمها أجهزة الميثال هاليد. إلا أن الأهم، بعد تحديد وظيفة المكان، هو معرفة نوع الإنارة، ولون الضوء وشدته، وبآتي بعد ذلك اختيار شكل جهاز الإنارة. ويجدر الذكر بأن بعض دول العالم (ألمانيا مثلاً) لم تعد تسمح أنظمتها بتركيب مصابيح إنارة من النوع المتوهج 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، وخاصة بعد وجود البدائل الكثيرة والمتعددة 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 لا تسمح سوى بتركيب هذا النوع من المصابيح الذي يتميز عن سواه برخص ثمنه إلى حد كبير مقارنة بما يوازيه من المصابيح.

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

٢-٧-٢- عواكس الضوء:

إن وظيفة العاكس في أجهزة الإنارة بشكل عام هي الاستفادة القصوى من الفيض الضوئي للمنبع بتوجيهه أو توجيه الجزء غير المستفاد منه إلى الاتجاه المراد إنارته، إنها تساهم في زيادة المردود الضوئي لجهاز الإنارة، وبالتالي تأخذ الناحية الاقتصادية بالحسبان. وتتم 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 العكسية للضوء. من العواكس المستخدمة بكثرة في أجهزة الإنارة نذكر الصفائح المعدنية المقاومة للعوامل المحيطة أو المعالجة لأجل ذلك والمعالجة أيضاً لزيادة الانعكاس الضوئي

مثل الستانلس ستيل الألمس أو الألمنيوم، وخاصةً المعالج أو المسبوك واللماع منه. يفضل في الصفائح المعدنية المختلفة (يغلب استخدامها في أجهزة الفلوريسنت) أن تطلّى حرارياً بالأفران باللون الأبيض ببودرة بوليستر الإيبوكسي 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 ناثر 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 وتثبيت مصباح الإضاءة ومتمماتها أيضاً. الشكل (٢-٤١) يبين أشكال مختلفة لعواكس توزيع وتوجيه الإنارة.

٢-٧-٣- نواثر الضوء:

يحدث انتقال الأشعة الضوئية في الأجهزة الكهربائية عبر ما يدعى بالنواثر. والنواثر هي المواد التي تسقط عليها الأشعة الضوئية من المصباح فتقوم 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 والقاسي، المقاوم للصدمات، والحراري، الذي يتحمل درجات حرارة عالية.... إلخ. إضافةً إلى مواد لدنة شفافة لا تتأثر بالأشعة فوق البنفسجية، مثل البوليكاربونات أو الميثاكريلات والإيكريليك أو الإيكريليك الأوبال والإيكريليك اليريزماتيك، إضافةً إلى الألمنيوم لللماع أو الصقيل أو البراق، والذي يركب على شكل شرائح أو شفرات من الصفيح المائل أمام مصابيح أجهزة الإنارة، وخاصةً الفلوريسنتية منها لتوجيه وعكس ونثر إضاءة المصباح في اتجاهات مختلفة. وأحياناً تطلّى 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 نواثر 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 النواثر بألوان أخرى مختلفة بغرض الزينة. ويضاف أحياناً للنواثر مواد معينة مثل السيليكون أو البوليريتان لمقاومة الأشعة فوق البنفسجية. وتحرص الشركات الصانعة لأجهزة الإنارة أن تقلل نواثرها من الإضاءة التي تسبب لمعاناً أو انعكاسات مزعجة للأعين، وأن تكون النواثر أيضاً سهلة الفك والتركيب من أجل الصيانة وتبديل القطع التي قد تتلف أو تتعطل. إن للنواثر 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 ناثر أمامها من النوع المغشى، أو ماشابه، فيظهر كل الناثر كوحدة متكاملة متوهجة ومضاءة ولا تظهر الحبابة متوهجة ومضيئة فقط. وكلما ازدادت غشاوة الناثر أخفت الحبابة المتوهجة المضاءة من خلفها. أما الناثر الزجاجي العادي فسيظهر، على سبيل المثال، الحبابة من خلفه، حتى وهي مغطاة أيضاً. يعد اختيار الناثر ونوعيته في الأجهزة الكهربائية واحدة من مهام المصمم المعماري الرئيسية، أكثر من أن تكون من مهام مهندس الإضاءة الدارس، وبالأخص في الفراغات الداخلية، التي يلعب فيها التصميم المعماري دوراً كبيراً. ففي القاعات الدراسية، على سبيل المثال لن يكون تدخل المصمم المعماري هاماً في اختيار النواثر في أجهزة الإضاءة بقدر أهميته في صالونات الاستقبال والمدرجات الاحتفالية وقاعات سماع الموسيقى والأوبرا وما إلى ذلك.

هذا ويوجد الكثير من أجهزة الإنارة التي تصمم بدون وجود نواثر فيها، ويكتفى بانتقال الضوء مباشرةً من مصباح الإنارة إلى الوسط الخارجي، علماً أن للنواثر وظائف أخرى يقوم بها وهي حماية مصباح الإنارة من الطرقات 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 المصابيح المتوهجة البسيطة، التي صارت معظم نظم الإنارة العالمية تتصح بعدم استعمالها بشكلها البسيط، من دون وجود عاكس لها، نظراً لمردودها الضوئي السيئ في طريقة الاستخدام هذه،

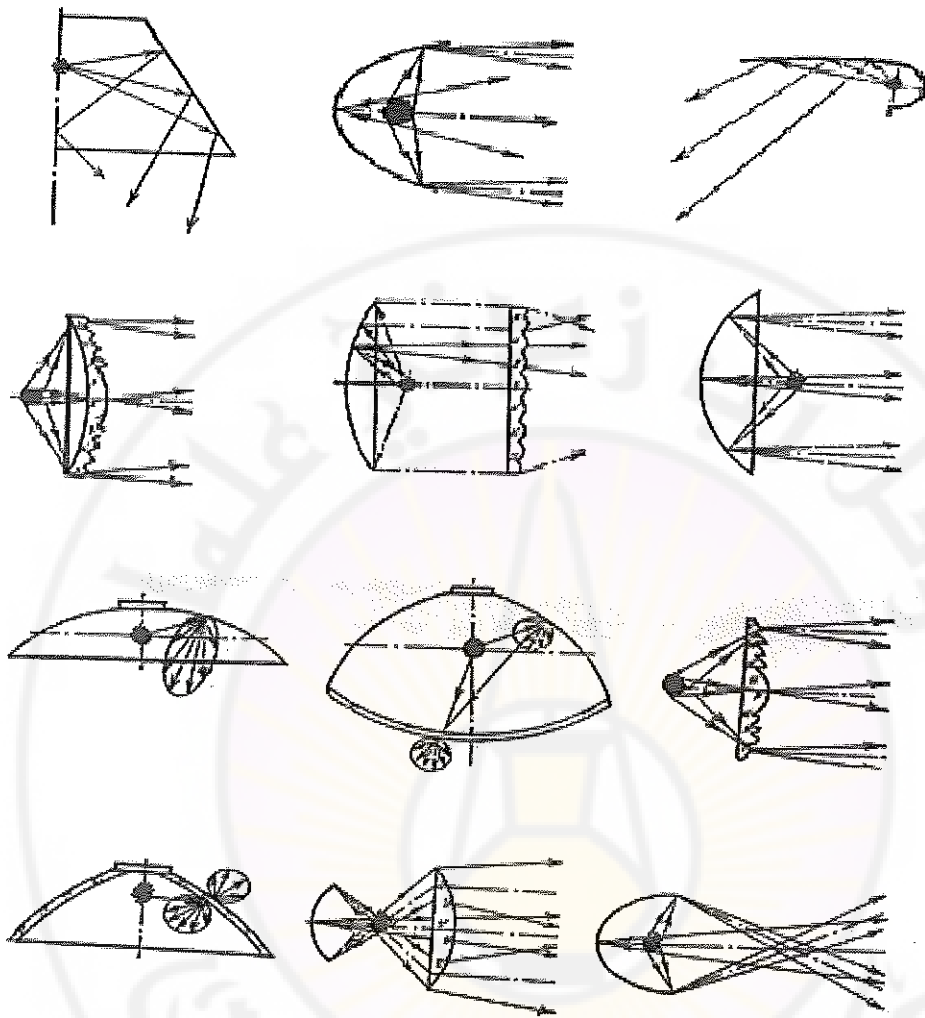
وبالتالي لاستهلاكها الكبير للطاقة الكهربائية، حتى إن بعض دول العالم تمنع استخدامها وبيعها (ألمانيا مثلاً) بشكل قطعي.

الشكل (٤١-٢) يبين منابع إنارة متوضعة أمام سطوح عاكسة، مختلفة العكسية وأخرى ناثرة أو نفاذة، مختلفة النفاذية للضوء [١].

حاول التدقيق جيداً في الصور المبينة في الشكل (٤١-٢)، ولاحظ اتجاهات الأشعة الضوئية المختلفة، المباشرة والمنعكسة والمنثثة، وكيف تبتعد عن بعضها البعض أحياناً، وفي أحيانٍ أخرى تقترب؟ ومن ثم حدد نوع الانعكاس أو الانتقال في كل منها؟ لاحظ أشكال النواثر 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 والنواثر أمام المصادر الضوئية

تقسم أجهزة الإنارة وفقاً لتوزيعها للفيض الضوئي، أو كيفية نشرها للأشعة الضوئية في الفضاء المحيط بها وفق الأشكال المبينة في الجدول (١٣-٢) [١].

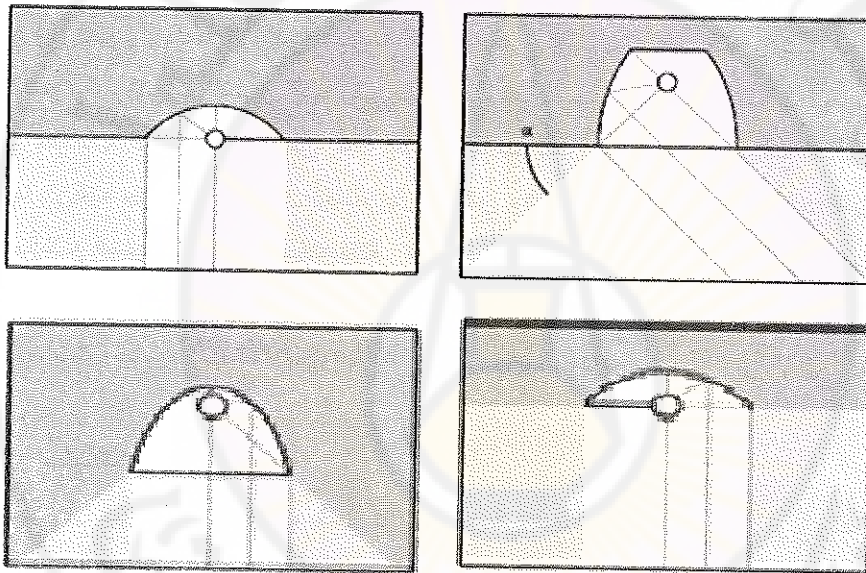
الجدول (١٣-٢) تقسيم أجهزة الإضاءة وفقاً لتوزيع الفيض الضوئي لها

نوع الجهاز	نسبة فيضه الضوئي إلى الأسفل	المنحني القطبي للجهاز	مثال
- أجهزة إضاءة مباشرة (direct)	أكثر من ٨٠%		مصباح فلوريستنت مثبتة على عاكس جيد العكسية بالمستوي العمودي على محور المصباح
- أجهزة إضاءة مباشرة جزئياً (semidirect) (شبه المباشرة)	٦٠% - ٨٠%		مصباح متوهج معلق في السقف من دون أي عاكس أو ناثر
- أجهزة إضاءة موزعة للفيض الضوئي (general diffusing)	٤٠% - ٦٠%		مصباح فلوريستنت معلق وحيدة من دون عاكس وناثر بالمستوي العمودي على المحور
- أجهزة إضاءة عاكسة جزئياً	٢٠% - ٤٠%		مصباح متوهج معلق بعاكس ضعيف نسبياً ومن دون ناثر
- أجهزة إضاءة عاكسة كلياً	أقل من ٢٠%		مصباح فلوريستنت متوضع على عاكس صقيل جيد العكسية بالمحور العمودي على المصباح

وتعد الأشكال في الجدول السابق أشكالاً عامة مثالية، لأن توزيع الفيض الضوئي حقيقةً 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 النواثر، إضافة إلى المتممات الأخرى اللازمة لعمل جهاز الإضاءة، مثل الهيكل الحامل والتوصيلات الكهربائية، وأحياناً المحول والمقنع، والمثبتات وكل ما يلزم ليكون جهاز الإنارة جاهزاً يقوم بوظيفته وإعطاء الضوء.

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



الشكل (٤٢-٢) مقاطع في أجهزة إنارة تظهر فيها منابع والإعكاس والنواثر

في مقطع عمودي على محور المصباح الأنبوبي الشكل، وتظهر في الأشكال منابع الضوء فيها وكذلك العواكس والنواثر أيضاً. ويلاحظ من هذه الأشكال انعكاس الأشعة الضوئية عبر العواكس مخترقةً النواثر، ومنتشرةً في اتجاهاتٍ مختلفة.

يمكن من خلال الأشكال (٢-٤٢) لمصابيح الفلوريسنت ملاحظة تأثير توضع أنبوبة المصباح بالنسبة للعاكس والناثر في انتشار الأشعة الضوئية وتوجيهها، وبالتالي تأثيرها في إضاءة المحيط. إن كل واحد من أجهزة الفلوريسنت السابقة ينشر أشعة ضوئية في المستوي العمودي على محور الجهاز، تكون هذه عريضة أو ضيقة، أو نقول 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.

٢-٨- 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 بتركيبية 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 التزيينية أيضاً. ويتوجب معرفة هذه القيم من أجل إجراء، مانسميه حسابات وتصاميم الأنظمة الضوئية بشكل عام. وهذه المفاهيم هي [١] و [١٣] و [١٦]:

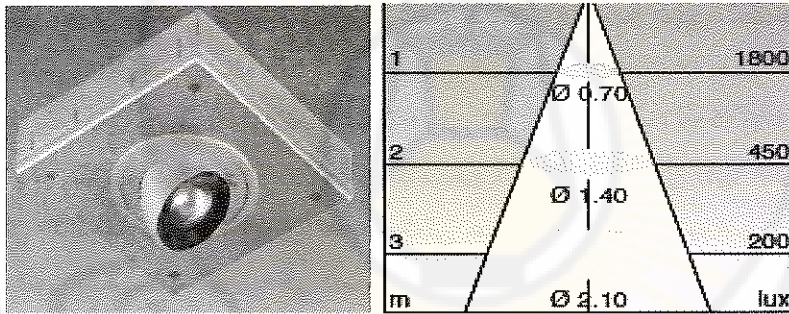
٢-٨-١- مخططات الشدة الضوئية:

يشع المنبع أو جهاز الإنارة الضوء بشكل فراغي، أي في اتجاهات مختلفة. ولكل نوع وشكل من الأجهزة الكهربائية الضوئية إشعاعات ضوئية باتجاهات وشدات متعددة ومختلفة، نسميها 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 سواء من الأجهزة المشعة للضوء. لذلك، ومن أجل تسهيل العملية، يتم تبين الإشعاعات الضوئية للأجهزة الكهربائية واتجاهاتها من خلال مخططات خاصة تدعى بمخططات الشدة الضوئية. وعادة يكفي مخططان منها فقط، أو في بعض الأحيان ثلاثة، للاستدلال من هذه المخططات على شكل الحقل الضوئي لجهاز الإنارة. إن هذه المخططات 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 منحنى الشدة الضوئية لجهاز إنارة 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 إنارة لا يحدده شكل ونوع منبع الإنارة فقط وإنما العاكس والناثر فيه أيضاً. لذلك توجد أشكال لاتعد ولا تحصى من المنحنيات القطبية لأجهزة الإنارة تبعاً لأشكالها، ونوعية وأشكال عواكسها ونواثرها أيضاً.

تعطي الشركات الصانعة عادةً في دفاترها الفنية الخاصة بأجهزتها (الكاتلوك Cataloge) 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 (٢-٤٣) مثل هذه المنحنيات لجهاز إنارة دائري الشكل بمنبع متوهج من الهالوجين استطاعته ٥٠W.



الشكل (٢-٤٣) جهاز إنارة من الهالوجين باستطاعة ٥٠W وسويات الإنارة التي يمكن أن يعطيها محسوبة على مسافات مختلفة من الجهاز

نلاحظ من الشكل السابق (٢-٤٣)، ومن الشكل المخروطي لأشعة الإنارة كيف تنقص سوية الإنارة للجهاز بالابتعاد عنه، فالسوية كانت ١٨٠٠ Lux على بعد متر واحد منه، ثم صارت ٢٠٠ Lux فقط على مسافة ٣m منه. فسوية الإنارة، كما سبق الذكر، متعلقة بالبعد عن منبع الإضاءة، إلا أنه وبالنظر إلى مخروط الإنارة نلاحظ أن المساحة التي تغطيها إنارة المصباح

تصبح أكبر كلما زاد البعد عنه. والابتعاد إلى مسافة طويلة جداً عن المنبع 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 نقل وفقاً لمربع البعد عن المنبع الضوئي. وبتطبيق هذه القاعدة على المثال المبين بالشكل نلاحظ أن سوية الإنارة على بعد 3m من المنبع صارت تساوي المقدار : $200 Lux = 1800 Lux / (3)^2$ وإذا قيست سوية الإنارة على مسافة 10m من المنبع كانت: $1.8 Lux = 1800 Lux / (10)^2$ فقط، وهذه سوية إنارة ضعيفة جداً، وسيبدو ضوء المصباح الهالوجيني على هذه المسافة معادلاً 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 للإضاءة، 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 5500K. وفي المساء والصباح هي 5000K. وفي الظهيرة 5800K. وعندما تكون السماء زرقاء وصافية (وفي الفياء) هي 11000K. إلا أن أعين البشر لا تشعر بفروق درجة حرارة الإضاءة أثناء تغييرها خلال اليوم، لأن لديها القدرة الذاتية الآلية على التأقلم مع تغييرات الحرارة هذه، وبالتالي عدم الشعور بها. ويسهم لئون الضوء وحرارة اللون بشكل لا يستهان به في إحساس الإنسان بالراحة، من خلال شعوره بالدفيء أو بالبرودة. نذكر، على سبيل المثال، درجات حرارة بعض المصادر الضوئية الطبيعية والصناعية:

- ضوء النهار: 6000K.
- سماء زرقاء: 20000K.
- ضوء شمعة: 1500K.
- مصابيح الهالوجين: 3100K- 3400K.
- مصابيح الفلوريسنت: 2800K- 6500K.

- مصابيح الميثال هاليد: $6000K - 3000K$.
 - مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض: $2000K$.
 - مصباح متوهج باستطاعة $100W$: $2800K$.
 - مصابيح الفلوريسنت ذات اللون الأبيض الحار $3000K$.
 - مصابيح الفلوريسنت ذات اللون الأبيض البارد $4000K$.
- وتعد درجة حرارة اللون لمصباح واحدة من إحدى أهم خصائص ألوان الضوء له. ويقسم النظام الألماني DIN ٥٠٣٥ درجات حرارة الألوان، التي تستخدم في الإضاءة، وهي جميعها من ذوات اللون الأبيض، إلى ثلاثة أقسام هي:
- ١- لون ضوء النهار الأبيض (ورمز tw). وتكون درجة حرارته أعلى من $5000K$. ويقال عنه إنه ضوء أزرق بارد.
 - ٢- لون الضوء الأبيض الحيادي (رمزه nw). وتبلغ درجة حرارته $(3300-5000)K$.
 - ٣- اللون الأبيض الدافئ (الحار أو المائل للحمرة) (ورمزه ww)، ودرجة حرارته أقل من $3300K$.
- وتشير الخبرات إلى أن درجة حرارة الضوء تؤثر على جسم الإنسان وعلى شعوره النفسي، وإحساسه بالراحة والطمأنينة، وبالتالي على راحته بشكل عام، وإنتاجه 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 الفلوريسنت ذات اللون الأبيض تزداد في جاهزية الإنسان ونفسيته للعمل. والإنارة التي يطغى فيها اللون الأزرق لا تظهر الأشياء من خلالها على حقيقتها وتتسبب بقصر في النظر. أما الإنارة التي يطغى عليها اللون الأحمر فهي تسبب مشاكل بالرؤية، وخاصةً للأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن ٤٥ عاماً لأنها تزيد في مد النظر عندهم بشكل أكبر.
- إن لكل واحد 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 والاستلقاء والتخلص من تعب النهار.

٢-٨-٣- 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 المصابيح الكهربائية لن تظهر ألوان الأشياء أو الأجسام على حقيقتها كاملة كما هي، إن لم تحتو 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 $5000K$ لجسم بلون أسود). فكما استطاعت مصابيح 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 لايمكنها من إشعاع جميع ألوان الطيف كما يلزم، بحيث تحقق هذه الغاية، وهي تتفاوت في ذلك وفقاً لأنواعها. الجدول (٢-١٤) يبين عوامل إظهار الألوان وتسمياتها وفق النظام الألماني DIN VDE لأنواع مصابيح الإنارة المختلفة [١٦].

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

رمز أو تسمية مرحلة أو درجة إظهار اللون	مواصفات إظهار اللون	عامل إظهار اللون R_a	مثال
١A	جيد جداً	≥ 90	المصابيح المتوهجة، ومصابيح الفلوريسنت المتوهجة ذات النوعية الممتازة
١B	جيد جداً	٨٩ - ٨٠	مصابيح الفلوريسنت الثلاثية الحزمة
٢A	جيد	٧٩ - ٧٠	أنواع مصابيح الفلوريسنت الأخرى
٢B	جيد	٦٩ - ٦٠	مصابيح الميثال هاليد
٣	كافٍ	٥٩ - ٤٠	مثل ٢A
٤	غير كافٍ	٣٩ - ٢٠	مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض

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

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

على سبيل المثال، إذا ظهر جسم ما بلونٍ أصفر، فهذا يعني أن بالحزمة أو 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، وبالأخص التزيينية منها. ففي المحال التجارية لبيع الأقمشة أو معامل الأصبغة أو المراسم 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 الصانعة 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 (٢-١٤)، أو أيضاً قيمةً، بحيث يمكن مسبقاً للمستثمر أن يختار الجهاز الذي يريده.

كما وأن بعض الشركات الصانعة 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 (٢-١٥) التالي يبين خصائص ألوان الإنارة ومايعنيه الرمز المكون من الأرقام الثلاث [١٦].

الجدول (٢-١٥) خصائص ألوان الإنارة

الرقم الأول	قيمة عامل إظهار اللون	الرقمان الثاني والثالث	حرارة الإضاءة [K]	أجهزة الإنارة المستخدمة
٩	٩٠ - ١٠٠	٢٧	٢٧٠٠ ww	إنارة متوهجة عادية ومن الهالوجين. الفلوريسانت
٨	٨٠ - ٩٠	٣٠	٣٠٠٠ ww	والفلوريسانت المدمج. بخار الصوديوم بضغط عالٍ
٧	٧٠ - ٨٠	٤٠	٤٠٠٠ nw	الفلوريسانت والفلوريسانت المدمج ومصابيح الميتال هاليد ومصابيح بخار الزئبق ذات الضغط العالي
٦	٦٠ - ٧٠	٥٠	٥٠٠٠ nw	
٥	٥٠ - ٦٠	٦٠	٦٠٠٠ tw	أجهزة إنارة الفلوريسانت والميتال هاليد
٤	٤٠ - ٥٠	٦٥	٦٥٠٠ tw	

فإذا كان الرقم على سبيل المثال هو: ٧٤٠ فهذا يعني أن عامل إظهار اللون لجهاز الإنارة هو بحدود ٧٥ وسطيًا وأن حرارة إضاءته هي ٤٠٠٠K، أي ينتمي للضوء الأبيض الحيادي. والرقم ٥٣٠ يدل على أن عمل إظهار اللون الوسطي لمنبع الإنارة هو ٥٥، وحرارة لون الإنارة هي ٣٠٠٠K، وهي إضاءة بيضاء من النوع الدافئ.

٢-٩- 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 (مصباح) كهربائي واحد حصراً، 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 باللمعان.

يوجد من المشعات الضوئية خمس مجموعات رئيسية. وتختلف هذه فيما بينها بزوايا الإشعاع الضوئي والعواكس الضوئية فيها. وتبين الأشكال من (٢-٤٤) وحتى (٢-٤٨) في ملحق الصور الملونة كل واحد من هذه المشعات ومنحني توزيع الشدة الضوئية له. إن أهم أصناف المشعات الضوئية المستخدمة هي:

١- **الصنف الأول:** ويسمى بالمشع النقطي 8° ، لأن زاوية بثه للضوء أو فتحة خروج الضوء من المصباح صغيرة جداً. زاوية إشعاع الضوء فيه تصل حتى 8° فقط. وتركب على فتحة خروج الضوء الدائرية عدسة إضافية لمنع تسرب إشعاعات ضوئية خارج الحزمة. الأشعة الضوئية فيه متناظرة، وذات حزمة ضيقة جداً وعالية جداً في شدتها، الشكل (٢-٤٤). تكون لمبتها عادة من الهالوجين بالتوتر الضعيف.

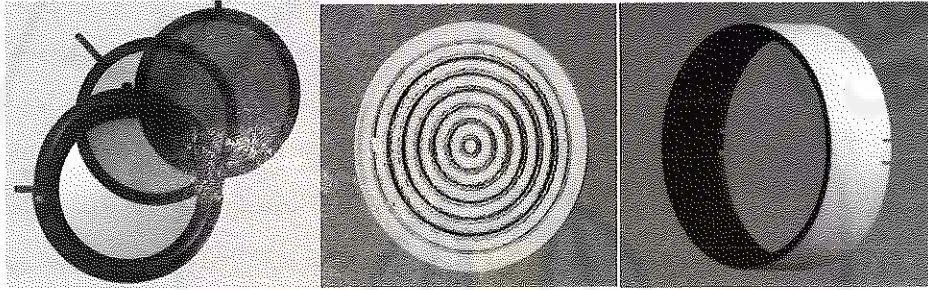
٢- **الصنف الثاني:** ويسمى هذا الصنف كذلك بالمشع النقطي $(12^\circ-24^\circ)$ ، لأن فتحة خروج الضوء منه، أو زاوية إشعاعه للضوء صغيرة أيضاً، ولكنها مع ذلك أكبر من سابقه، وتقع في المجال بين $(12^\circ-24^\circ)$. مجهز هذا المشع كسابقه بعدسة لمنع تسرب الأشعة خارج حزمته. وهو كذلك يبعث حزمة أشعة ضيقة متناظرة. إلا أن شدة الإنارة فيه مقارنةً بسابقه تساوي النصف فقط، الشكل (٢-٤٥). مصباح الإنارة فيه مثل الصنف السابق له تماماً.

٣- **الصنف الثالث:** وهو المشع الخاص $(24^\circ-38^\circ)$. أشعته تناظرية، إلا أنها أكثر انتشاراً وانتشاراً، مقارنةً بسابقه، وتتركز أكثر في المنتصف، الشكل (٢-٤٦). لمبته مثل سابقه من الهالوجين ذي التوتر الضعيف.

٤- **الصنف الرابع:** المشع العريض الحزمة 24° . أشعته تناظرية، لكنها ذات حزمة عريضة جداً، وأقل تركيزاً من الأصناف السابقة، وكذلك في مركز الحزمة، الشكل (٢-٤٧). يشبه إلى حد ما الضوء المنتثر. لمبته مثل مصباح الأصناف السابقة.

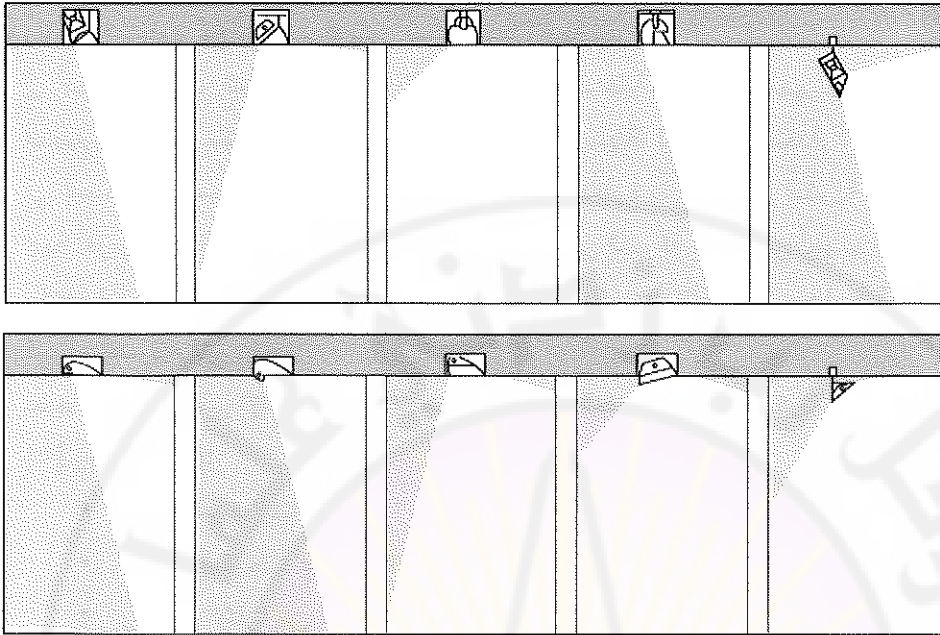
٥- **الصنف الخامس:** إنه عبارة عن مشع من النوع النائر لحزمة أشعة مربعة الزوايا. أشعته المنتثرة عريضة جداً ومتجانسة في جميع اتجاهات الإشعاع. العاكس فيه يشبه مجرفة الفلاح، الشكل (٢-٤٨). لمبته من النوع الأنبوبي الشكل من الفلوريسنت.

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 حزماتها. وتركب هذه على موضع خروج الضوء مباشرةً. كذلك توجد قطع أخرى تركيب كسابقتها، وتكون وظيفتها 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 الخارجة...إلخ. وتركب هذه جميعاً على مخارج الضوء. الشكل (٢-٤٩) يبين، على سبيل المثال، بعضاً من القطع التي تركيب على مخرج الضوء في المشعات للاستخدامات المختلفة.



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

نورد في الشكل (٢-٥٠)، على سبيل المثال، بعضاً من المشعات الضوئية (السبوتات) السقفية، مركبة ضمن سقف مستعار أو مثبتة عليه، خارجه. وتبين هذه الأشكال أيضاً الأشعة الضوئية الموجهة لهذه المشعات، كما تبين عرض حزمها الضوئية المختلفة.



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

١٠-٢ - الانطباع البصري للإنارة:

لقد بينا بأن إنارة أي جسم هو المتسبب برؤية 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 بأي أذى للأعين النازرة إليه. إن هذه التساؤلات جميعها يجيب عليها المهندس المختص من خلال حسابات رياضية يجريها وينتهي الأمر. إلا أن الأمر بالنسبة للمصمم المعماري، الفنان، هو أكثر مشقة، ولا يدخل في حساباته أبداً، وإنما في اختياراته. فالمسائل الحسابية، عندما تكون صحيحة، تكون غير قابلة للجدل والنقاش، أما الاختيارات الفنية فإنها وجهات نظر، وتختلف فيها الآراء وتتضارب، بالتالي فإن مهمة المصمم المعماري في عملية الإنارة للفراغات الداخلية ستكون محفوفة بالمخاطر إن لم يكن

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

إن أسس الحسابات التصميمية العامة لإنارة الفراغات الداخلية، التي يحتاجها المصممون المعماريون، التي سنتطرق إليها فيما بعد تعد، بسيطة وسهلة، لكن آلية استخدام أجهزة الإنارة في إضاءة شيء محدد بعينه، ترضي، من جهة العين الناظرة وتريح 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 الحثيثة الضوئية التي يبتغيها.

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 المشكل منها ستكون منارة بنفس السوية والوضوح.
- بعض نقاطه منارة بنفس الوضوح والسوية.
- نقاطه منارة بوضوح وبسويات 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 واحدةٍ على الأقل من الحالتين التاليتين:

- سيضاء كالجسم تماماً، يتبعه في واحدة من حالاته الثلاث السابقة.
- سيحجب الجسم الإنارة عن جزءٍ كبيرٍ أو صغيرٍ منه. أي سيترك الجسم ظله، كله أو بعضاً منه على مساحة من الجوار، أو ظلالاً، 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 ناحيةٍ بين أجزاء الجسم المضاءة بسوياتٍ مختلفة، ومن ناحيةٍ أخرى بين الجسم وظلاله، التي قد يلقىها على جواره. إن هذا الانطباع الضوئي البصري هو المهمة الأخرى الملقاة على عاتق المصمم المعماري لخلق الإيحاء أو الحالة المطلوبة حسبما يبتغيه، ونسميها بالإنارة الخاصة، بالإضافة إلى عملية الإنارة الوظيفية، والتي يمكن تسميتها جوازاً بالإنارة العامة.

نورد على سبيل المثال في ملحق الصور الملونة بالشكل (٢-٥١) عدة رسومات وتحف فنية مضاءة بطرق مختلفة، من حيث جهة توجيه الأشعة الضوئية وعرض حزماتها وكذلك شدتها (سويتها) ونترك لمخيلة الأشخاص الناظرين تقييماً كل واحدةٍ 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 واحدٍ فقط، عام أو موجه. أي من

الرسومات أو الأشكال تبدو أوضح للنظر وأجمل؟

١١-٢ - الإنارة الداخلية الفنية:

من وجهة النظر الفنية في العمارة الداخلية يمكن التمييز بين أصناف الإنارة كما يلي [٥] و[٧] و[٨] و[١٦]:

- الإنارة الطبيعية، وهي إنارة ضوء النهار.
- الإنارة الصناعية، وهي الإنارة الوظيفية والمكملة للإنارة الطبيعية، أو البديلة عنها أثناء حلول العتمة.
- والإنارة الجمالية أو التزيينية.

والإنارة التزيينية هي إنارة صناعية بالتأكيد، وهي التي تتم إضافتها، لأسباب فنية بحتة وفقاً لوجهة نظر المصمم المعماري، وليس من قبل مهندس الإنارة المختص، لتؤدي غاية معينة مرجوة في المكان. الأفضل أن تكون الإنارة الصناعية اللازمة هي بنفس الوقت تزيينية أيضاً وتفي بكلا الغرضين معاً. وهو ما يتوجب على المصمم الداخلي السعي إليه دوماً للحفاظ على سوية الإنارة المطلوبة، كما ارتأها في دراسته مهندس الإنارة لتكون صحية ومناسبة، ولتحقيق وفر اقتصادي أيضاً. والإنارة التزيينية هي ليست بالضرورة الإنارة التي تكون الغاية منها إضفاء صبغة الجمال على الجسم أو المكان فقط، وإنما قد تكون ذلك النوع من الإنارة الذي ينسب عند تسليطه على الأشياء مظهراً الإبهار والإثارة، بشكل يستنهض فضول الأشخاص ويلفت انتباههم ويجعلهم يتوقفون لبرهة من الزمن أو أكثر لمعرفة ماهية هذا الشيء المضاء، كما هو في بعض أنواع الإنارة المستخدمة في الإعلانات وواجهات المحال التجارية وما شابه. يعمل الضوء على التعديل والتأثير في مزاج البشر، وفقاً لخبرة ووجهة نظر الأمريكي Richard Kelly، الخبير المتخصص في الإضاءة المعمارية، والذي كان واسع الشهرة في الخمسينيات من القرن الماضي. وقد صنف هذا المعماري الإنارة المستخدمة في إنارة الفراغات الداخلية إلى ثلاثة أصناف:

- ١- إضاءة عامة من أجل الرؤية السليمة والصحيحة للأشياء.
- ٢- إضاءة خاصة وموجهة من أجل إظهار أو إبراز الأشياء.
- ٣- إضاءة الزينة، والتي أسماها بالإضاءة التي تُرى نفسها، أو الإنارة الجميلة؛ وهي للفت النظر والإثارة، ليس أكثر.

✕ الإضاءة العامة لأجل رؤية سليمة وصحيحة، هي إنارة موزعة بشكل متساوٍ من حيث الوضوح في كامل الفراغ، تتمتع بسوية مناسبة وتضمن إمكانية رؤية واضحة وجيدة لجميع الأشياء أو الأجسام أو الموجودات عموماً في المكان، وتحد من البهر والسطوع. فإذا كان هذا المكان معرضاً مثلاً، فستكون سوية الإنارة واحدة وواضحة وكافية للمعروضات وكذلك للممرات بين المعروضات ولكل 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 بالبهر 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 أوضح 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 إضاءة لإيضاح وإظهار حتى التفاصيل الدقيقة في الجسم أو الشيء المسلط عليه الضوء. فالجسم الذي سيكون الضوء مسلطاً عليه يجب أن يتميز إضاءةً 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 لتزيين نفسها 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 الخمسينات 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 لتناسب جميع أنواع الفراغات الداخلية على الإطلاق. يعد النوع 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 لإضاءة صبغة معينة من الجمال أو الإثارة وما شابه على الأمكنة والأجسام وفق ما يرنثبه صاحب المصلحة أو المصمم المعمار.

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

إن السبيل الأفضل للوصول إلى إنارة مناسبة وتحقيق 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 لأجهزة 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 بلون فاتح.

بالرغم من أن الإنارة المنعكسة عن الأسقف والجدران، وخاصة الجزء الأعلى منها، يضيع جزءاً من فيضها عند الانعكاس، إلا أنها تعد الأكثر راحة للعين والأفضل لإدراك تفاصيل العمارة الداخلية ضمن الأمكنة. تستخدم مثل هذه الإنارة في المنازل والأماكن العامة التي تتطلب دقة كبيرة في التفاصيل المعمارية والأعمال والنشاطات المختلفة من دون أن تتسبب بإعياء أو تعب للنظر والعين كالمكاتب والمراسم مثلاً.

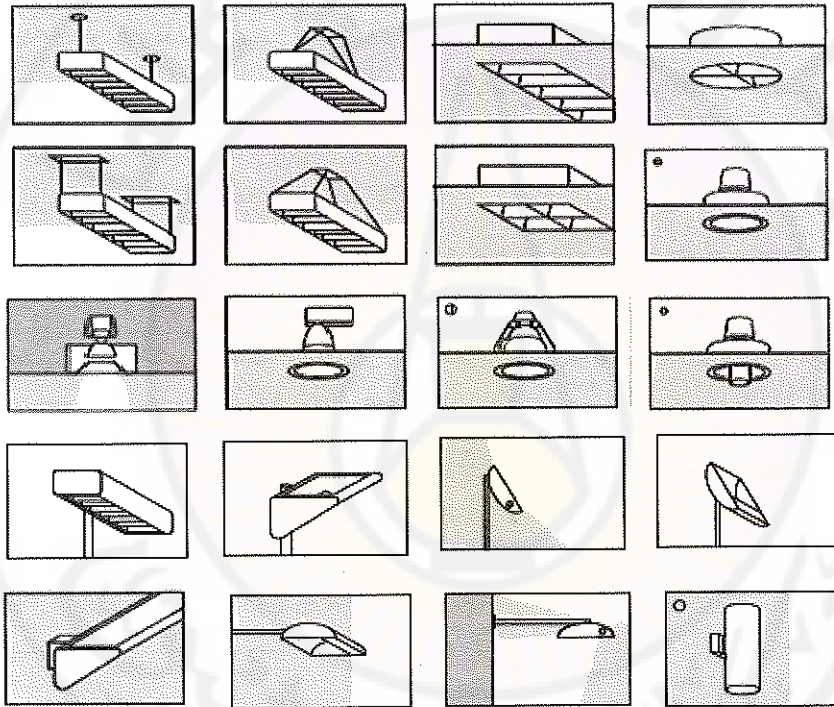
تصنع أجهزة الإنارة عادة لتتركب في المواضع المحددة لها، فعلى سبيل المثال توجد أجهزة تتركب مباشرة على الأسقف أو على الجدران أو أجهزة تتركب ضمن الأسقف المستعارة، أو على سكك معدنية أو مكهربة (تمثل السكك بحد ذاتها نواقل التيار الكهربائي) خاصة بها.... إلخ. فليس من السهل مثلاً تركيب جهاز إنارة مخصص فقط ليركب على الأسقف لتركيبه ضمن الأسقف المستعارة، أضف إلى ذلك فإن هذه العملية ستشوه المنظر العام للأسقف.

ومن أشكال أجهزة الإنارة الداخلية المستخدمة يمكن التمييز بين:

- إنارة سقفية عادية: وهي عبارة عن أجهزة الإنارة التي تتركب على السقف مباشرة.

- إنارة سقفية عادية معلقة بالأسقف، إما عبر سلاسل أو قضبان معدنية، وهذه تخص الأسقف العالية فقط (التي يكون ارتفاعها عادة بين 3m و 4m تقريباً.
- إنارة سقفية مخفية: وهي التي تتركب ضمن الأسقف المستعارة.
- أجهزة إنارة الفلوريسنت ذات العواكس الضوئية: ويمكن تركيبها أيضاً ضمن الأسقف المستعارة أو مباشرة على الأسقف. الشكل (2-52) يبين أجهزة إنارة معلقة بالأسقف، وأخرى مخفية في الأسقف المستعارة وأخرى مثبتة على الجدران أو على أعمدة على سبيل المثال.
- الإنارة بواسطة كlobات الإنارة: وهذه الأنواع من أجهزة الإنارة يمكن كذلك تركيبها على الجدران أو الأسقف مباشرة أو معلقة بالأسقف أو كذلك على سكك سقفية أو جدارية خاصة بها. ويوجد منها أنواع متحركة وقابلة للتوضع على الطاولات أو على الأرض وسواها. وهذه الأخيرة منها ما يتغذى عادةً من مأخذ كهربائي ويضاف فيما بعد وليس جزءاً لا يتجزأ من الدراسة الكهربائية للإنارة.
- المشعات (السبوتات): وهذا النوع من أجهزة الإنارة، وقد كنا قد تعرفنا عليه، يتميز بضوء شديد وقوي يسلط على الأشياء المراد إظهارها وتميزها، كذلك التي تسلط على القطع الأثرية الكبيرة الحجم نسبياً، أو على معروضات المحال التجارية، وبالأخص في واجهاتها، أو على المجسمات واللوحات الفنية وما شابه. ويمكن تركيبها بطريقة مشابهة تماماً لتركيب كlobات الإنارة. يكثر تركيب المشعات أيضاً كإنارة تزيينية خارجية، ويغلب أن تكون باستطاعات عالية ومن النوع الكثيم، أي لا تسمح بدخول الماء إليها. وهي في أغلبها متينة ميكانيكياً، أي ذات مقاومة عالية ضد الطرقات الميكانيكية.

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



الشكل (٥٢-٢) أجهزة إنارة 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 الإنارة، إضافة لإنارة جدارية وسواها، طالما أنها جميعاً تؤمن متطلبات الإنارة الوظيفية السليمة

المطلوبة، كما يرتئها 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 يتركز الضوء في موضع من الغرفة ويكون قليلاً في مواضع أخرى. مع العلم أن الإنارة الموضعية المركزة، والتي تستخدم للغرف والأماكن ذات المساحات الضيقة أو الصغيرة، يكثر استخدامها أيضاً كإنارة خاصة، كما هو في المتاحف، حيث يعتمد تسليط الضوء بشدة على جهة ليترك ظلاً 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 بالرؤية الفنية لمهندس الإضاءة 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 ومريح لا تتعب من خلاله الأعين، أو تتضرر، والتأكد من عدم وجود لمعان، بينما يضع المصمم الداخلي أو المعماري لمساته فيضيف ويعدل ليبدو المكان أحلى وأجمل وأكثر راحةً للأعين والأنفيس أيضاً، فيعطي لساكن المنزل، مثلاً، شعوراً بالراحة والطمأنينة والأمان في منزله. وإحساساً مشابهاً لضيف المطعم. ويزداد جمال المعروضات في المتاجر والمتاحف والمعارض الفنية و..... إلخ

ويجدر القول هنا: إن معظم أجهزة الإنارة التي تستخدم أيضاً بغرض إبراز أو إظهار الأشياء هي من النوع المتوهج الهالوجيني، والبعض الأقل بكثير منها هو من الفلوريسنتي أو الفلوريسنتي المدمج، نظراً لمردودهما الضوئي الجيد ووجودهما بالأسواق باستطاعات

وأشكال مختلفة، تغطي تقريباً معظم المتطلبات منها، أضف إلى ذلك إمكانية الحصول على ألوان 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 ألوان مختلفة ومتعددة منها تناسب الطلب.

وإما من أجل الإنارة التزيينية 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 إنارته من مكان بعيد. وهذه أيضاً توجد منها أنواع باستطاعات عالية، وبالتالي شدة إنارة كافية وبأشكال وألوان مختلفة لتفي بالغرض المطلوب.

وقد تزايد في الآونة الأخيرة استعمال أجهزة إنارة تعتمد على الديودات الباعثة للضوء في الإنارة الخارجية والداخلية، الوظيفية منها والتزيينية، لما لهذه الأجهزة من مزايا متعددة، أهمها مردودها الضوئي العالي نسبياً وعمر عملها الطويل، خاصة، وقد صارت تصنع بأشكال وأحجام وألوان مختلفة يجد منها المرء في الغالب غايته، 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 بسواها من أجهزة الإنارة الأخرى.

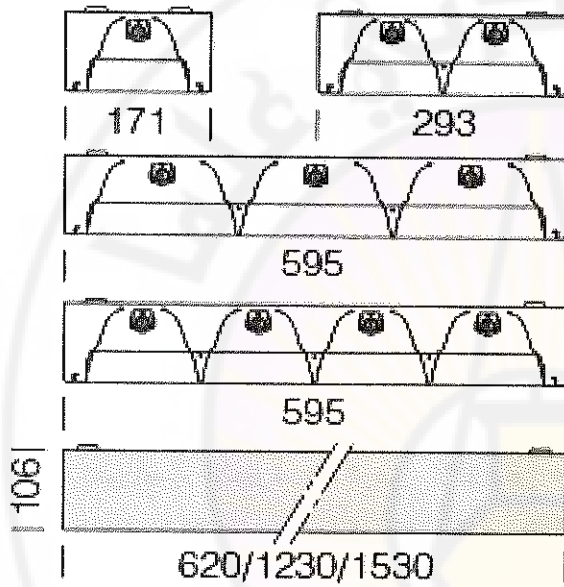
وقد تزايد في السنوات الأخيرة استخدام أجهزة إنارة مع إمكانية التحكم فيها، من حيث الشدة واللون، فيمكن استخدام سطح زجاجي ملون يوضع أمام الجهاز بشكل آلي فيعطي ضوءاً بلون مختلف، وكذلك يمكن من خلال مفتاح خاص تقوية وتخفيض شدة الإنارة. تستخدم مثل هذه الأجهزة بكثرة في المسارح وفي واجهات المحال التجارية. ففي المسرح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

مختلفاً لدى الناظر عند تغيير اللون والشدة، تساعد أيضاً في السوفر الاقتصادي، وخاصةً للمحال التجارية الكبيرة، أو حيث تكون تكلفة 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. إن واجهة 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 تماساتها الكهربائية، فنتسبب بتلف المصباح أو التماسات، أو حدوث ماس كهربائي، لذلك تكون مثل هذه الأجهزة من النوع الكتيمة الذي لايسمح لمياه الأمطار أو الرش (نتيجة السقاية) بالدخول إلى جسم الجهاز، مهما صغرت قطرات الماء. مثل هذه الأجهزة تأخذ رموزاً خاصة تكتب على لوحاتها الإسمية أو في دفتر مواصفاتها أو مباشرة على أجسام الأجهزة. هذه الرموز لا تقل عن IP55. 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 لايمكن 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 يفقد لنشوب حريق. مثل هذه الأجهزة التي لاتكون سبباً لإحداث حرائق تأخذ رموزاً خاصة بها، وهي عبارة عن مثلث واحد مقلوب أو مثلثين مقلوبين متوضع في وسط كل منهما الحرف F.

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

يمكن استخدام بعضاً من مثل هذه الأجهزة ذات نفس شكل ونوع الأجهزة الكهربائية المركبة لإنارة فراغ معين لتعطي نوراً عند انقطاع الكهرباء، وتكون وظيفة هذه الأجهزة ليس استمرار إعطاء الإنارة بشكل دائم لمدة طويلة، وإنما فقط إنارة مؤقتة لحين عودة التيار الكهربائي، لأنها ذات استطاعات قليلة وغير كافية كبديل للإنارة اللازمة والمطلوبة. في الأشكال (٢-٥٣) التالية نبين مقطعاً عرضياً لبعض أجهزة إنارة الفلوريسنت المتداولة في



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

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

ويعبر عن أجهزة الإنارة هذه، على سبيل المثال لتلك ذات الأربعة مصابيح على الشكل التالي: ٤X٥٦W. ويقصد بذلك جهاز إنارة فلوريسنت ذو أربعة مصابيح، استطاعة الواحد منها ٥٦W. ولذي الثلاثة مصابيح ٣X٥٦W، 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 (٢-٥٤) وحتى (٢-٦٩) في ملحق الصور الملونة بعضاً من صور أجهزة الإنارة المستخدمة حالياً.

٢-١٢- تصميم الإنارة الداخلية:

مما سبق يتبين لنا أن أمام المصمم المعماري للأماكن والفراغات الداخلية اختيارات غير قليلة لاختيار أنواع وأشكال مختلفة من أجهزة الإنارة التي يمكن استخدامها لتفي بغرض الإنارة الوظيفية والتزيينية المطلوبة. أما من حيث توزع أجهزة الإنارة في الأماكن أو الفراغات الداخلية، على الأسقف أو الجدران، فلا يوجد لذلك معيار أو نورم ثابت يتوجب على المصمم المعماري التقيد به، طالما أنها تقوم بالوظيفة المطلوبة، بل على العكس من ذلك فيمكن للمصمم أن يظهر براعته ومقدرته الفنية ويختار توزيعاً فنياً وفقاً لوجهة نظره أو رؤيته الجمالية. توجد خطوط عريضة فقط لتوزع أجهزة الإنارة في الفراغات الداخلية يقوم مهندس الإنارة المختص بوضعها للحصول على سوية ونوع الإنارة المطلوبة تبعاً للغاية 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 بغرض جمالي، كما يمكن له تغيير وتعديل التوزيع بحدود غير قليلة، ويفضل أن يكون ذلك بالاتفاق مع مهندس الإنارة، وخاصةً للأماكن ذات طبيعة الاستخدامات الخاصة والهامة بنفس الوقت، كدور المسارح والموسيقى وصالات المؤتمرات والمتاحف وما شابه. 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 تحديدها 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 متقاربة القيم. لقد حدد النظام الألماني [٨] و [١٦] سويات الإنارة اللازمة لجميع الأماكن، تبعاً لوظيفة المكان، من أجل الحصول على إنارة كافية وصحية ومناسبة كما نبينها بالجدول (٢-١٦):

الجدول (٢-١٦) سويات الإنارة المطلوبة وفق DIN

المكان (الفراغ الداخلي) ووظيفته:	سوية الإنارة في المكان مقدرةً بالـ [Lx]
ورش اختبار وفحص الألوان وصيانة المعدات الدقيقة وصناعة الحلي وأماكن وضع الروتوش.	١٠٠٠
أماكن الرسم الهندسي، وأماكن إجراء الاختبارات وصرف العملة.	٧٥٠
المكاتب وأماكن معالجة المعلومات وغرف المحادثة، وورش الصيانة عموماً.	٥٠٠
مكاتب تكون فيها أماكن العمل قريبة من النوافذ، وورش الصيانة لتجهيزات متوسطة الدقة، غرف أو أماكن الحركة.	٣٠٠
المستودعات التي يتطلب فيها أيضاً القراءة، الغرف التي تكون فيها حركة للبشر، الأرشيف. غرف الحمامات والغسيل وتبديل الثياب.	٢٠٠
المستودعات، أماكن الحركة في الأبنية للأشخاص والعربات، الأدراج والأدراج المتحركة، مداخل القاعات الكبيرة، غرف توضع خزانات النفط في الأبنية وما شابه.	١٠٠
غرف العمليات الجراحية.	حتى ١٠٠٠٠٠
شارع جانبي للدخول إلى الأحياء السكنية (سرعات بطيئة جداً لعموم الآليات والسيارات).	٧.٥
أماكن وساحات ركن السيارات.	١٥

وكذلك فقد حدد نفس النظام الألماني السابق (DIN VDE) اختيار 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

٢-١٢-١- توزيع أجهزة الإنارة:

يتم توزيع أجهزة الإنارة في الفراغ الداخلي المراد إضاءته بحيث تتحقق سوية الإنارة المناسبة والمنظمة المطلوبة وإبقاء سطوع الأجهزة ضمن الحدود المسموح بها. ويعتمد التوزيع التقني على عدة أسس أهمها:

- تكون المسافة بين محوري جهازين متتاليين مساوية لضعف المسافة بين الجهاز والجدار. انظر الشكل (٢-٧١). وباعتبار أن المسقط الأفقي للغرفة غالباً ما يكون ذا مقطع مربع أو مستطيل، وبسبب الانعكاسات للأشعة الضوئية من على الجدران والسقف والأرض فتتدنى سوية الإنارة في جوانب الغرفة، لذلك ينصح بزيادة عدد الأجهزة أو استطاعتها عند الجوانب والزوايا. ولا يلجأ 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:

$$\alpha = \frac{a}{h}$$

(2-14)

حيث: a هو البعد بين جهازين متجاورين.

H هو ارتفاع الجهاز عن السطح المراد عنده حساب سوية الإنارة (سطح العمل).

ففي الإنارة المباشرة تكون هذه النسبة مساوية لـ ١-١.٢

وفي الإنارة شبه المباشرة تساوي ١-١.٥

وفي الإنارة الموزعة بانتظام تساوي ١.٥-٢

ج- في حال التوزيع غير المنتظم 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 يريتها، من حيث تركيز الإنارة في منطقة أكثر من الأخرى.

٢-١٢-٢ - اختيار نظام الإنارة:

يتم عموماً اختيار نظام الإنارة بعد معرفة نوعية العمل الذي سوف يتم في الفراغ الداخلي المراد إنارته. وتوجد عدة أنظمة للإنارة المستخدمة والمتعارف عليها وهي:

أ- 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 والمتعددة كقاعات الدرس والمكاتب والمجمعات الاستهلاكية وما شابه.

ب- 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 مواقع العمل. يستخدم هذا النوع من الإنارة في إنارة منصبات المسارح وفي إنارة موجودات المعارض وواجهات المحال التجارية أو بعض معروضاتها وما شابه. إن هذا النظام يستخدم لتحقيق سوية إنارة مركزة في موضع محدد.

ج- نظام الإنارة المركزة 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.

٢-١٢-٣- 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 بسهولة، 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 يعرف باسم عامل التخطيط. وهو مقلوب ما يعرف في بعض الأنظمة بعامل الصيانة والتقدم (Maintenance factor) f. وهذا العامل يأخذ بالحسبان تقادم أجهزة الإنارة ومدى درجة تعرضها للتساخ بفعل عملها وعوامل الوسط. إنه يعبر عن مدى الصيانة الدورية التي يمكن تنفيذها على أجهزة الإنارة، كما يتعلق بكثافة أجهزة الإنارة ضد الغبار والأوساخ وما شابه وفقاً لنظافة المكان ومدى التلوث في أجوائه. وكلما زادت نسبة التلوث والغبار في الجو قلت كثافة الجهاز وصيانته يؤخذ بالحسبان عامل بقيمة أكبر، ويؤخذ

بالحسبان عند وضع الدراسة وبدء التخطيط لها بأن تكون سوية الإنارة عالية بشكل كافٍ. فإذا تم عد أن هذه الأجهزة تخضع سنوياً مرة واحدة للتنظيف والصيانة، فتكون قيمة هذا العامل تبعاً لدرجة نقصان سوية الإنارة التي يمكن للأجهزة أن تعطيهها 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

ث- تحديد قرينة الفراغ الداخلي أو مايسرف بقرينة الغرفة k (Room index). وقرينة الغرفة عبارة عن ثابت من دون واحدة تتنق قيمته بأبعاد الغرفة بشكل رئيس، وارتفاع الجهاز عن سطح العمل. ويحسب 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. a و b هما أبعاد (طول وعرض) الغرفة.

ج- 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 والسقف والجدران، بعد معرفة ماهية إكسائها. وكقيم وسطية، في حال لم تتحدد، أو لم تعرف تماماً طبيعة هذه السطوح فينصح بشكل عام بأخذ عوامل الانعكاس التالية: $\beta_r = 0.5$ للجدران، $\beta_r = 0.2$ للأرض.

ح- تحديد نوعية و ماهية أجهزة الإنارة، بعد الاطلاع على الأنواع والأشكال المختلفة المتواجدة في الأسواق واختيار الأنسب. وقراءة قيمة الفيض الضوئي الذي يعطيه جهاز الإنارة الواحد Φ_1 .

خ- تحديد مردود الفراغ الداخلي أو الغرفة η_R . ويقصد بهذا التعبير نسبة الإنارة التي تنتشع 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 تعطيه عادة الشركات الصانعة لأجهزة الإنارة. ويمكن الاستعانة بالجدول الموجودة في الشكل (٢-٧٠) المبين لنماذج شبه عامة لأجهزة الإنارة المختلفة المتواجدة حالياً في الأسواق.

د- يتم تحديد مردود المصباح أو المصابيح η_{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 للمصابيح 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 لمواقع الأجهزة)، أو أنه يشع باتجاه جانبي غير مفيد أيضاً. وهذه القيمة تعطيه أيضاً الشركات الصانعة في دفاتر المواصفات الفنية (cataloge) لأجهزتها، حيث يمكن قراءتها منها.

ذ- تحديد المردود الكلي للإنارة، والذي يتكون من كل من مردود الغرفة ومردود المصابيح، وفق العلاقة التالية:

$$\eta = \eta_R \cdot \eta_{LB} \dots\dots\dots (2-16)$$

ر- حساب الفيض الضوئي الكلي الوسطي اللازم لكامل الفراغ الداخلي أو الغرفة Φ ، وفق العلاقة التالية:

$$\Phi = \frac{E \cdot A \cdot f}{\eta} \quad (2-17)$$

ز- حساب عدد أجهزة الإنارة اللازمة وفق العلاقة التالية:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_i} \quad (2-18)$$

ملحوظات عامة:

- ١- عند اختيار أكثر من نوع وشكل لتغطية غرفة بالضوء فيمكن اعتبار 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 إنارة يحتوي على أكثر من مصباح، كما هو عادة في أجهزة الفلوريسنت، التي يكثر أن تكون ثنائية أو ثلاثية أو رباعية المصابيح فيكون فيها الفيض الضوئي للجهاز الواحد مساوياً للفيض الضوئي للمصباح الواحد في الجهاز مضروباً بعدد المصابيح في الجهاز الواحد.
- ٣- يفضل أن يكون توزيع الأجهزة متناظراً من أجل الحصول على سوية إنارة واحدة لكامل الغرفة. ويكون البعد بين الجدران وصف الأجهزة الأول مساوياً على الأكثر لنصف البعد بين صفيين من الأجهزة. ويفضل أن يكون أقل من النصف بقليل نظراً لأن الأمكنة المحاذية للجدران تأتيها الإنارة من صف واحد فقط من الأجهزة فتكون سوية إنارتها أقل من الأمكنة التي تقع بين صفيين من أجهزة الإنارة وتأتيها إنارة من كلا الصفيين.
- ٤- يمكن إضافة أجهزة إنارة أخرى بمواصفات مناسبة على طاولات العمل مثلاً، لتؤمن سوية إنارة أفضل على هذه الطاولات، في حال تطلب العمل على هذه الطاولات سوية إنارة أفضل. كما يمكن وضع مفاتيح إنارة خاصة بهذه الأجهزة الإضافية تشغل عند الحاجة.
- ٥- عند إضافة أجهزة إنارة تزيينية، زائدة عن الأجهزة المحسوبة يجب الأخذ بالحسبان ألا تؤثر إنارة هذه الأجهزة على الأعين البشرية كأن 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 ٨٠cm.
- ٧- عندما يراد تسليط أو توجيه ضوء على شيء ما، كتخفة فنية مثلاً، أو سواها، فيجب إنارة المكان بما يناسبه أولاً، ومن ثم إضافة الضوء المسلط لإبراز التخفة الفنية.

منحنيات توزيع الشدة الضوئية عدد : 1000 Lm	درجات الانعكاس										أمثلة لبعض أجهزة الإنارة			
	السطح		0.8		0.5		0.3		0.1		شكل جهاز الإنارة	بعض خصائص جهاز الإنارة		
	الاجدار	الارض	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3				
A1 إضاءة مباشرة موجهة	قريبة الغرفة k											عواكس صغيرة تسبب بحركة إشعاع ضيقة		
	مردود الغرفة ηR في %													
	0.6	61	58	54	52	59	57	53	51	51				
	1.0	80	75	73	69	76	73	70	68	67				
	1.5	95	86	88	82	90	84	84	80	79				
	2.0	102	91	96	87	95	89	91	86	84				
	3.0	111	97	106	95	103	95	99	92	91		عاكس دائري		
	5.0	119	102	115	100	109	98	106	97	96				
	0.6	52	49	43	42	49	48	42	41	41				
	1.0	73	67	64	60	69	65	61	59	58				
	1.5	89	81	81	75	83	78	77	73	72				
	2.0	97	86	89	81	90	83	84	79	78		عاكس صغرى وليفات متعددة		
	3.0	107	94	101	90	99	91	94	88	86				
	5.0	116	100	111	97	106	96	102	94	93				
	0.6	41	39	31	30	37	35	29	28	27				
	1.0	59	55	49	46	52	50	44	43	41				
	1.5	74	67	64	60	66	61	58	55	52		عاكس صغرى وليفات متعددة		
	2.0	83	74	73	67	73	68	66	62	59				
	3.0	95	83	87	77	83	76	77	71	68				
	5.0	106	91	99	86	91	83	87	80	76				
		0.6	36	34	27	26	29	28	23	22	19		موجبات أشعة تخيط بالمصابيح من كل الجوانب	
1.0		52	48	43	40	41	39	35	33	29				
1.5		65	59	56	52	52	49	45	43	38				
2.0		74	66	65	59	58	54	52	49	43				
3.0		84	74	77	68	66	61	61	57	50				
	5.0	94	81	88	77	74	67	70	64	56		موجبات أشعة تخيط بالمصابيح		
	0.6	15	15	9	10	11	12	6	8	5				
	1.0	28	27	20	19	18	19	13	13	8				
	1.5	41	39	31	30	28	25	20	19	13				
	2.0	51	48	41	40	32	30	26	25	16				
	3.0	65	58	55	52	39	37	34	32	20		مثل سابقه، ولكن الجزء قبل العرض		
	5.0	77	68	70	63	45	43	42	39	24				

الشكل (٧٠-٢) منحنيات توزيع الشدة الضوئية لبعض أجهزة الإنارة والجداول النازمة لها

- مثال حسابي:

من أجل توضيح طريقة الحساب السابقة في حسابات الإنارة الداخلية سوف نطبق هذه الطريقة على قاعة مطالعة. أبعادها هي: (12X8 m) ارتفاعها (4m). سقف القاعة سيدهن باللون الأبيض والجدران ستلبس بالخشب المعالج والملمع. الأرض من البلاط العادي بلون فاتح.

- يمكن اختيار سوية إنارة لهذه الغرفة من الجدول (2-16) Lux 500.
- نختار على سبيل المثال أجهزة إنارة من مصابيح الفلوريسنت مصباحين في الجهاز الواحد. الاستطاعة الكهربائية للمصباح الواحد تساوي 36W . أي 2X36W . إن الشكل العام لجهاز الإنارة هذا هو الأول من الأعلى في الشكل (2-70).
- نقرأ من (cataloge) الجهاز قيمة الفيض الضوئي للمصباح الواحد، ونجدها تساوي 2400 Lumen . وللمصباحين معاً 4800 Lumen.
- نحسب مساحة الغرفة فتكون:

$$12 \times 8 = 96 \text{ m}^2$$

- إذا اعتبرنا أن تركيب هذه الأجهزة سيكون مثبتاً مباشرة بالسقف، فيكون ارتفاع الأجهزة عن سطح العمل:
- نقرأ عوامل أو درجات الانعكاس الموافقة من الجدول الأعلى في الشكل (2-70) ونأخذها للسقف 0.80 وللجدران 0.50 ، أما للأرض، فنظراً لوجود الطاولات عليها نأخذ 0.30 .

$$k = \frac{12 \times 8}{(12 + 8) \times 3.25} = 1.477$$

- نحسب قرينة الغرفة، فينتج:
- من جداول الشركة الصانعة، كالجداول الموجود في الشكل (2-76) نوجد مردود الغرفة، فينتج:

$$\eta_R = 0.90$$

- من جداول الشركة الصانعة، كالعمود الأول على يمين الشكل (2-76) نقرأ مردود جهاز الإنارة الموافق لشكله فنجد:

$$\eta_{LB} = 0.60$$

$$0.90 \times 0.60 = 0.54$$

- نحسب مردود الإنارة الكلي، فيكون:
- نحسب كمية الفيض الضوئي الكلي الوسطي اللازم، بفرض عامل تخطيط ذا قيمة وسطى قدرها 1.43 ، فيكون الفيض الوسطي الكلي:

$$\Phi = \frac{E.A.f}{\eta} = \frac{500 \times 96 \times 1.43}{0.57} = 120421.05 \text{ Lumen}$$

- نحسب عدد الأجهزة المطلوبة لكامل الغرفة، فيكون:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_l} = \frac{120421.05}{2400 \times 2} = 25.088 \approx 26 \text{ جهاز}$$

وقد اخترنا تركيب ٢٦ جهازاً ليكون التركيب متناظراً في قاعة المطالعة.

إذاً يجب تركيب ٢٦ جهازاً من أجهزة إنارة الفلوريسنت المزدوجة المصابيح مثبتة بالسقف مباشرة لإنارة قاعة المطالعة بالضوء اللازم.

ملحوظة: لقد كان بالإمكان تركيب هذه الأجهزة معلقة بالسقف بسلاسل معدنية على ارتفاع ٣m عن سطح الأرض، فيصبح عندها ارتفاع الأجهزة عن سطح العمل مساوياً: ٢.٧٥m وهذا سيتسبب في التقليل من عدد أجهزة الإنارة 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 (٢-٧٠) نوجد مردود الغرفة، فينتج: ١.٠٢

- مردود الإنارة الكلي يكون في هذه الحالة: $1.02 \times 0.60 = 0.612$

- كمية الفيض 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 لكامل الغرفة يكون في هذه الحالة:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_l} = \frac{112156.86}{2400 \times 2} = 23.36 \approx 24 \text{ جهاز}$$

ينتج إذاً عدد أجهزة أقل بأثنين من الحالة السابقة. أي يوفر مقداره حوالي ٨% من أجهزة الإنارة. إن حالة الوفرة هذه سيقابلها أيضاً على المدى البعيد وفر أيضاً في صيانة وإصلاح الأجهزة. لذلك ينصح عموماً بتركيب أجهزة الإنارة على ارتفاع غير عالٍ عن مكان العمل، أو عن الأرض عموماً، لما في ذلك من سهولة في التركيب والصيانة إضافة للوفر الاقتصادي، عدا الحالات الخاصة، كصالات الأوبرا والموسيقا والمدرجات الجماهيرية الكبيرة، حيث يكون للحالة الجمالية قيمة معينة.

مما سبق نلاحظ أن نصيب المتر المربع الواحد من الحالة الأولى كان: 19.5 W/m^2 . بينما لم يلزم في الحالة الثانية سوى: 18 W/m^2 . ولو تم اختيار جدران مدهونة باللون الأبيض للماع لزادت نسبة الانعكاس للجدران، وزاد بالتالي المردود الضوئي للقاعة، مما كان له أثره في المساهمة أكثر في التقليل من عدد أجهزة الإنارة.

تستخدم في حسابات الإنارة الداخلية طريقتان 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 أية 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 وتفي في أغلب الحالات بالغرض المطلوب، أضف إلى ذلك أنها سهلة التطبيق والاستخدام، حتى على غير الاختصاصيين، 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) جدولاً يبين فيه الاستطاعة الكهربائية لجهاز أو لأجهزة الإنارة المطلوبة وكذلك نوعيتها للحصول على سوية إنارة محددة، كقيم تقريبية وفق الجدول (٢-١٩) [١٥]:

الجدول (٢-١٩) استطاعة ونوع أجهزة الإنارة المطلوبة لتحقيق سوية إنارة محددة

سوية الإنارة [Lux]	استطاعة المصابيح المتوهجة W/m^2	استطاعة أجهزة الفلوريسنت W/m^2	استطاعة أجهزة الفلوريسنت المدمج W/m^2
١٠٠٠	٢٤٠	٦٠	٧٠
٧٥٠	١٨٠	٤٥	٥٠
٥٠٠	١٢٠	٣٠	٣٥
٣٠٠	٦٨	١٧	٢٠
٢٠٠	٤٤	١١	١٣
١٠٠	٢٤	٥	٧
٥٠	١٢	٣	٤

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 100 Lux في موضع ما، فيتطلب ذلك 20 W/m^2 من المصابيح المتوهجة أو 5 W/m^2 من أجهزة الفلوريسنت وأكثر بقليل من الفلوريسنت المدمج، وتركب هذه على ارتفاع حوالي ثلاثة أمتار. ويمكن كذلك العمل بنفس القاعدة للقاعات المرتفعة السقوف، آخذين بالحسبان قاعدة نقص سوية الإنارة بزيادة البعد عن المنبع. مع الأخذ بالحسبان تركيب أجهزة إنارة متوهجة من الهالوجين فقط أو الميغال 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 للضوء، مع العلم أن تركيب إنارة فلوريسنت أو فلوريسنت مدمج لا يعد خطأ، ولكن مردوده الضوئي على الارتفاعات العالية سيكون قليلاً نسبياً. ويمكن معاملة مصابيح الميغال هاليد مثل مصابيح 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 حد ما. وبالقيااس على ذلك يمكن أن يتم التصميم ضمن الحدود المقبولة. علماً أن استخدام المصابيح المتوهجة العادية للإنارة التريينية 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 m^2 ، فإن ذلك يتطلب، وفق الجداول السابقة، سوية إنارة مقدارها 200 Lux ، أي استطاعة مقدارها 200 W من أجهزة الفلوريسانت، فإذا اختار الشخص مصابيح الفلوريسانت ذات أكبر طول واستطاعة الواحد منها 58 W للزمه $200/58$ مصباح، أي أربعة مصابيح من الفلوريسنت. (تم تدوير الرقم إلى القيمة الأكبر). يمكن شراء وتركيب هذه المصابيح الأربعة مجتمعة في جهاز إنارة واحد يركب في منتصف سقف الغرفة تقريباً. كما يمكن اختيار جهازي إنارة كل واحد منهما ذو مصباحين يركبان بشكل متناظر في سقف الغرفة، كما يمكن اختيار أربعة أجهزة، كل منها يحوي مصباحاً واحداً فقط. تركيب هذه بشكل متناظر في سقف الغرفة. ويمكن أيضاً تشغيل

هذه المصابيح 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 اطفائه لنصف الإنارة السابقة فإنه سيكون قد اختار سوية إنارة تساوي 100 Lux تقريباً فقط.

مثال: أعد حل المثال السابق بطريقة تقريبية.

الحل: كل 1 m^2 يحتاج لإنارته 5 W من أجهزة الفلوريسنت للحصول على سوية إنارة مقدارها 100 Lux بارتفاع الأجهزة 3 m عن سطح الأرض. ولأجل ارتفاع 4 m للأجهزة عن سطح الأرض يلزم لك $6.67 \text{ W:m}^2 = 4/3 \times 5 \text{ W}$. وللحصول على سوية إنارة مقدارها 500 Lux عن سطح الأرض على ارتفاع 4 m يلزمنا من نفس جهاز الإنارة لك 33.33 W استطاعة مقدارها:

$$6.67 \times 500 / 100 = 33.33 \text{ W}$$

إن الاستطاعة الكهربائية اللازمة لإنارة كامل المساحة بأجهزة الفلوريسنت هي:

$$33.33 \times 12 \times 8 = 3200 \text{ W}$$

وبالتالي يكون عدد الأجهزة المزدوجة من الفلوريسنت $2 \times 36 \text{ W}$ يساوي: 44 جهازاً مزدوجاً. إن زيادة عدد الأجهزة الضوئية في هذه الحسابات التقريبية عن الحسابات الدقيقة السابقة يعود سببه بشكل رئيس لعدم أخذ وجود عواكس ضوء في الأجهزة بالحسبان، كما هو حقيقة في الأجهزة الصناعية المختارة، أضف إلى ذلك أن هذه الطريقة تقريبية وقد تزداد الحسابات أو تنقص بمقدار أكبر من 10% عن الحسابات الدقيقة. يمكن تعديل قيمة عدد أجهزة الإنارة بالطريقة التقريبية بأخذ وجود عواكس بالحسبان بحسم 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 التقريبية لجهة زيادة عدد أجهزة الإنارة تبقى دوماً الأفضل من تلك التي تتسبب بنقص عدد أجهزة الإنارة، ففي حال الزيادة وملاحظة الشدة القوية في الضوء يمكن فصل التيار عن بعض الأجهزة، أما في حال النقصان فالأمر 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 يرتئي 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 إنارته بنفس نسبة كل نموذج من الأجهزة التي اختارها، ثم يقوم بدراسة عدد الأجهزة من كل نموذج ليغطي النسبة من المساحة الكلية فقط. مثلاً $1/3$ أجهزة إنارة دائرية 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 كيفما يشاء، أخذاً بالحسبان، 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 تطلب 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 إضاءتها بأي حال، وإلا سيكون سطوع الإنارة قوياً جداً وغير مريح للأعين.

من أجل وضع إنارة فنية لفراغ داخلي صغير المساحة فيكفي للمصمم الداخلي تقدير استطاعة الجهاز أو الأجهزة المطلوبة وفق القاعدة العامة التقريبية الموضوعة من النظام (DIN VDE)، ومن ثم اختيار نماذج وأشكال وألوان الأجهزة واستطاعة الجهاز الواحد منها، أخذاً

بالحسبان مخطط الشدة الضوئية لكل منها، والذي سيفيده في معرفة مقدار تركيز أو توزع الأشعة الضوئية في اتجاه ما.

أما من أجل الأبنية المعقدة ذات الفراغات الداخلية المختلفة وكبيرة المساحة فيفضل القيام بالحسابات الدقيقة للإنارة الوظيفية آخذين بالحسبان الأمور الفنية، ويفضل قدر المستطاع، التنسيق مع مهندس الإنارة، ليكون العمل أكثر اكتمالاً ودقةً، كما هو في محال 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 والتبديل، 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.

٢-١٢-٤ - المخططات الكهربائية التنفيذية:

في هذه الفترة سنشرح بشكل مختصر جداً المخططات الكهربائية اللازمة لفراغ داخلي ما من أجل استكمال عملية الإنارة له، بالإضافة إلى مايتبع 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 (٢-٧١) يبين أحد مخططات التمديدات الكهربائية لغرفة مغلقة لأجهزة الإنارة وللمأخذ فيها. تدعى مثل هذه المخططات بمخططات التيار القوي.

يتم تغذية أجهزة الإنارة الكهربائية عادةً عبر نواقل كهربائية (خطوط نقل) ذات $3 \times 1.5 \text{ mm}^2$ (ثلاث نواقل معزولة (أسلاك)، مساحة مقطع الواحد منها 1.5 mm^2 ، حامي وبارد وناقل تأريض، وهو ناقل الحماية من التكهرب، ويأخذ هذا النوع من النواقل وبهذه المواصفات التسمية (NYY).

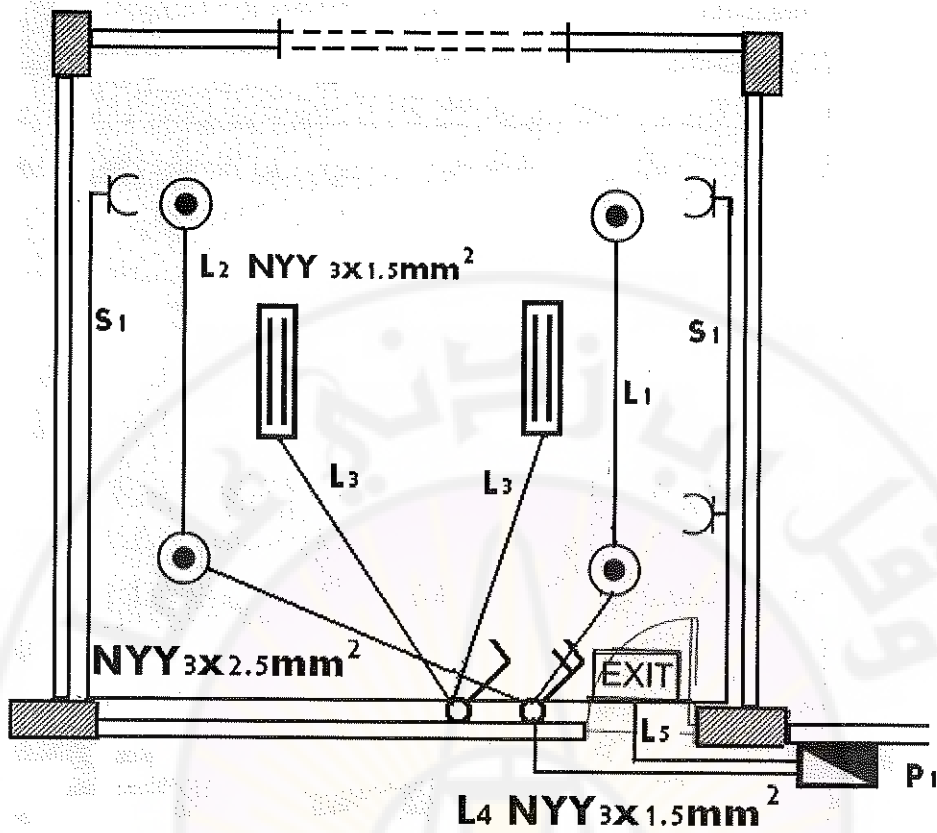
تتم تجزئة تغذية أجهزة الإنارة على عدة دارات كهربائية (عدة فروع أو مجموعات). وتشغل الأجهزة عبر مفاتيح كهربائية، بحيث تتوزع الأجهزة على مفتاح واحد أو أكثر. تتوضع النواقل الكهربائية ضمن الأسقف والجدران في قساطل مرنة (تیب بلاستيكي). ويكون قطر هذا التیب الخاص بتمديدات أجهزة الإنارة من 13mm وحتى 16mm، تبعاً لعدد النواقل ضمن التیب 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 أعطال في الدارات الكهربائية.

توضع 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 دليعية استخدامه، بحيث تغطي كل زواياه، على الأقل، وتتغذى هذه المآخذ عبر نواقل كهربائية $3 \times 2.5 \text{ mm}^2$ ، تمدد ضمن تیب قطره بحدود 16mm. وتتغذى هذه النواقل من اللوحة الكهربائية عبر قواطع خاصة بها أيضاً، مثل نواقل 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 الأمكنة 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 110 سم، وعلى مسافة لاتزيد عن 150 سم عن حافة الباب. أما المآخذ فيكفي أن يكون ارتفاعها عن سطح الأرض من 30cm وحتى 60cm، بحيث تبقى في الغالب غير مرئية، خلف الفرش في الفراغ الداخلي.

كذلك يتوجب وضع تمديدات كهربائية للهاتف ولأجهزة الإنذار عن الحريق تدعى بتمديدات التيار الضعيف، الشكل (٢-٧٢) يبين المخطط الكهربائي لتمديدات التيار الضعيف لنفس الغرفة السابقة.



جهاز إنارة مخفي من الفلوريسنت ٢X٥٦W

جهاز إنارة طوارئ ٨W

لوحة كهربائية P1 اسم اللوحة ورقمها

سبوت إنارة سقفي من الهالوجين ٣٥W

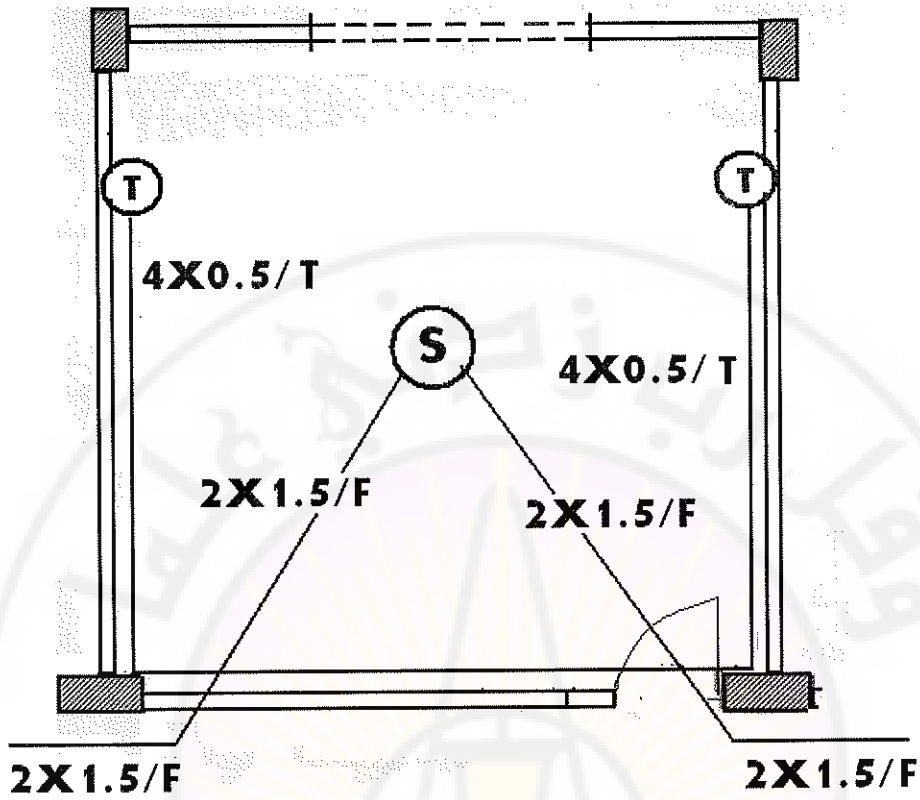
مأخذ كهربائي جداري أحادي الطور

مفتاح كهربائي مضاعف S1 اسم خط نقل ورقمه

مفتاح كهربائي مفرد L3 اسم خط نقل ورقمه

الشكل (٧١-٢) المخطط الكهربائي لشبكة التيار القوي لفراغ داخلي، وتسميات الرموز

المستخدمة فيه



مأخذ هاتف

T

حساس إنذار عن الحريق

S

أربعة نواقل لخط هاتف مقطع الواحد 0.5 m/Fm^2 ، اثنان منهما

$4 \times 0.5 /$

احتياط

m

الشكل (٧٢-٢) المخطط الكهربائي لشبكة التيار الضعيف لفراغ داخلي، وتسميات الرموز المستخدمة فيه

توضع عادة، وبحسب طبيعة استخدام الفراغ، مجموعة من مآخذ الهاتف موزعة على جدرانه، بحيث تأخذ بعين الاعتبار الأمكنة 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 (٢-٧٢). إن حساس الحريق الواحد يغطي مساحة دائرة نصف قطرها خمسة أمتار تقريباً. يتم وضع تمديدات التيار الضعيف في أنابيب مرنة (تیب) ضمن الجدران والأسقف قطره يساوي 11mm.

٢-١٣- أشكال تركيب أجهزة الإنارة:

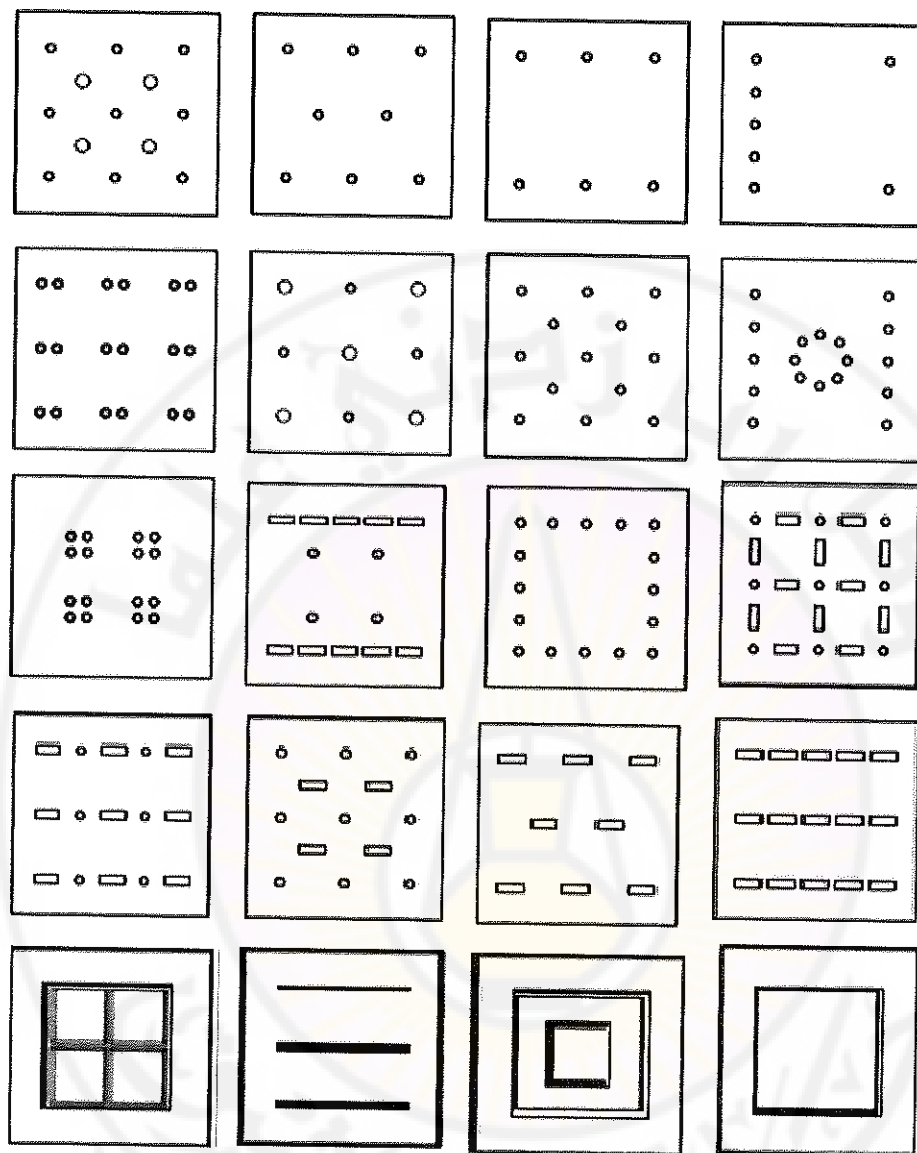
من أجل إنارة الطريق أمام المصممين في العمارة الداخلية لاختيار وتركيب الأجهزة الكهربائية، نورد في الأشكال من (٢-٧٣) حتى (٢-٧٩) التالية، على سبيل المثال، إنارة سقفية وفنية بنفس الوقت لغرفة محددة الأبعاد بأجهزة إنارة مختلفة الأشكال والتوزيع. ونبتغي كذلك من هذا الأمر، أولاً، إعطاء فكرة عن الإمكانيات الكثيرة جداً الممكنة الموضوعة أمام المصمم الداخلي ليستفيد منها، وثانياً لنلاحظ من هذه الأمثلة تأثير توزيع أجهزة الإنارة على الغرفة، من حيث الانطباع الذي تتركه لدى الأشخاص في كل توزيع مختلف. وسنذكر على سبيل المثال بعضاً من الانطباعات التي يمكن أن تتركها هذه الغرف بسبب توزيع وأشكال أجهزة الإنارة، ونترك للمصمم الداخلي قراءة انطباعاته الخاصة به [٦] و [٧] و [١٥].

- يمكن من هذه الأشكال ملاحظة أن الغرف المئارة سقوفها بأجهزة إنارة ذات رتابة معينة، متناظرة مثلاً، قد تبدو للبعض ممتة من دون أي روح وخالية من الحركة والجمال، بينما توزيع آخر مختلف قد يلفت النظر ويعطي جمالية معينة للغرف.

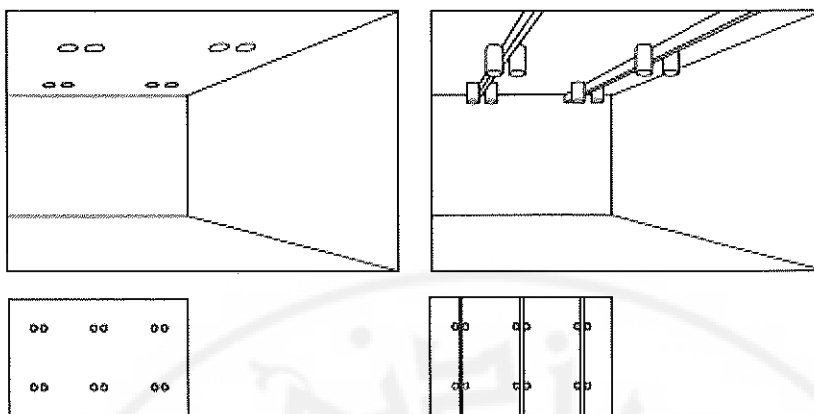
- وكذلك يمكن الملاحظة أنه عند التوزيع الطولي لأجهزة الإنارة تبدو الغرف على سبيل المثال أكثر طولاً من حقيقتها، وكذلك عند التوزيع العرضي لأجهزة الإنارة تظهر الغرف أكثر عرضاً. وكذلك الحال عندما يكون عدد الأجهزة الموزعة طولياً أكثر من تلك الموزعة عرضياً فتبدو الغرف أطول، والعكس عند التوزيع العرضي الأكثر لأجهزة الإنارة.

- أما عند وضع مرآة على كامل الجدار في الغرف المضاعة 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 إنارة ضمن سقف مستعار (سبوتات مخفية)، أو ظاهرة كالكواشف التي يطفأ وينار بعضها وفق الطلب.

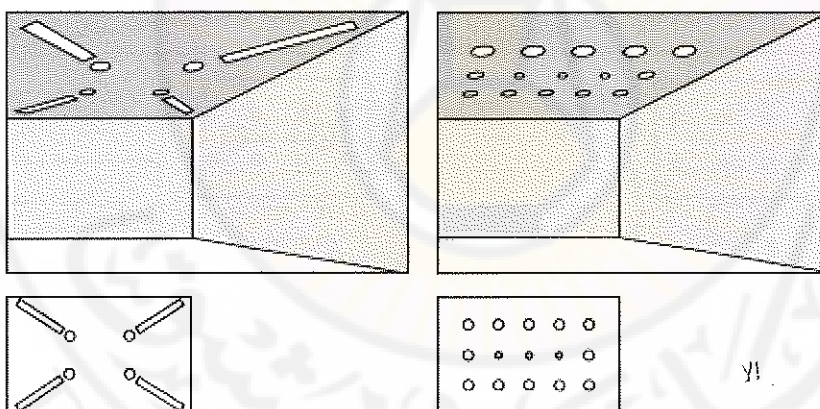
قارن توزع أجهزة الإنارة بجميع الحالات وطريقة تركيبها، على السقف أو ضمن السقف المستعار، ولاحظ الفروق بينها، وتخيل كذلك تركيبها على الجدران وغير بأنواعها مابين أجهزة الفلوريسانت الطويلة أو تلك المدورة من الهالوجين أو الفلوريسانت المدمج (توفير الطاقة)، وكذلك مابين القابلة للتوجيه والثابتة. توزيع متناظر أو غير متناظر. أجهزة قليلة العدد باستطاعة كبيرة وكافية للجهاز الواحد، أم أجهزة كثيرة العدد باستطاعة قليلة للجهاز الواحد. أخلط أشكالاً مختلفة من الأجهزة، ووزعها على السقف والجدران. غير بألوان الإنارة واستنتج ماثوحي 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.... إلخ، ربما مع وضع نوافذ وأبواب ثم اختر لها الإنارة الجمالية التي تراها مناسبة من وجهة نظرك.



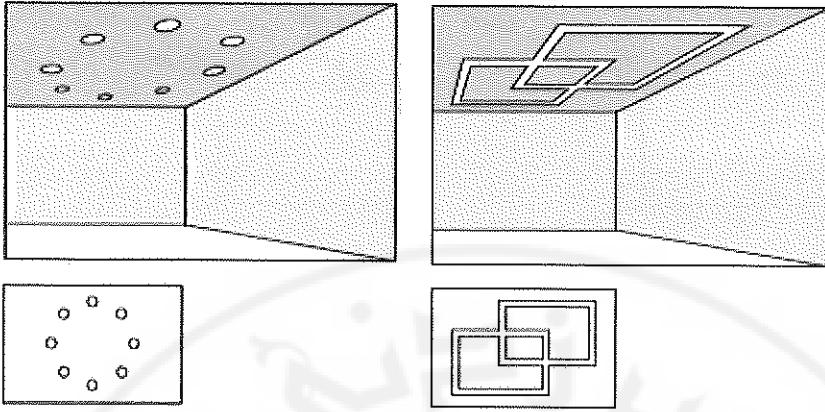
الشكل (٧٣-٢) إمكانيات مختلفة لتوضع أجهزة إنارة فلوريسنت سقفية



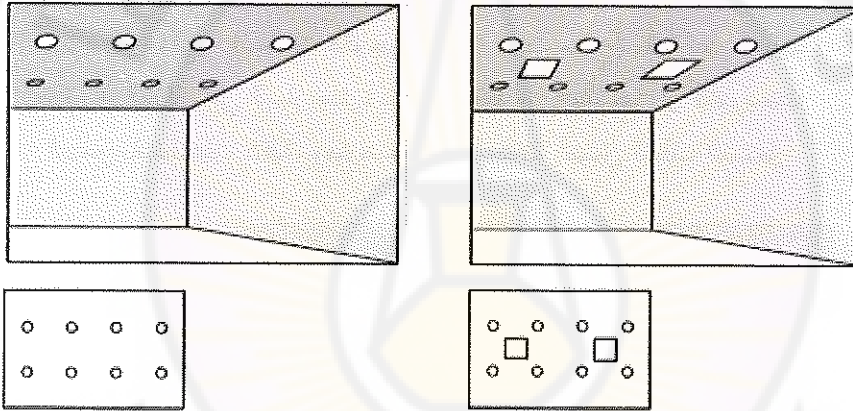
الشكل (٧٤-٢) الغرفة منارة من سقفها في حالتين مختلفتين. الأشكال في الأسفل تبين توضع أجهزة الإنارة في السقف. الغرفة على اليمين منارة بثلاثة حبال من أجهزة الفلوريسنت الطويلة المزدوجة في الجهاز الواحد (٢X٥٦W)، إضافة إلى أجهزة إنارة دائرية (سبوتات هالوجين أو فلوريسنت مدمج) مثبتة على السقف مباشرة. الغرفة على اليسار منارة بكلوبات فقط من الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج باستطاعات كافية، ومتوزعة بشكل متناظر ضمن السقف المستعار



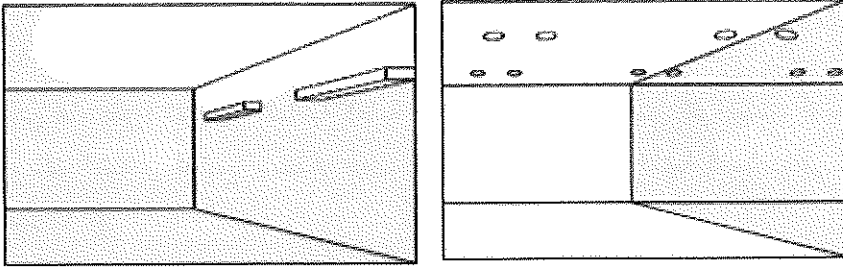
الشكل (٧٥-٢) الغرفة على اليمين منارة بكلوبات من أجهزة الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج، بعضها في المنتصف باستطاعة وحجم أصغر. الغرفة على اليسار منارة بالفلوريسنت إضافة إلى كلوبات من الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج



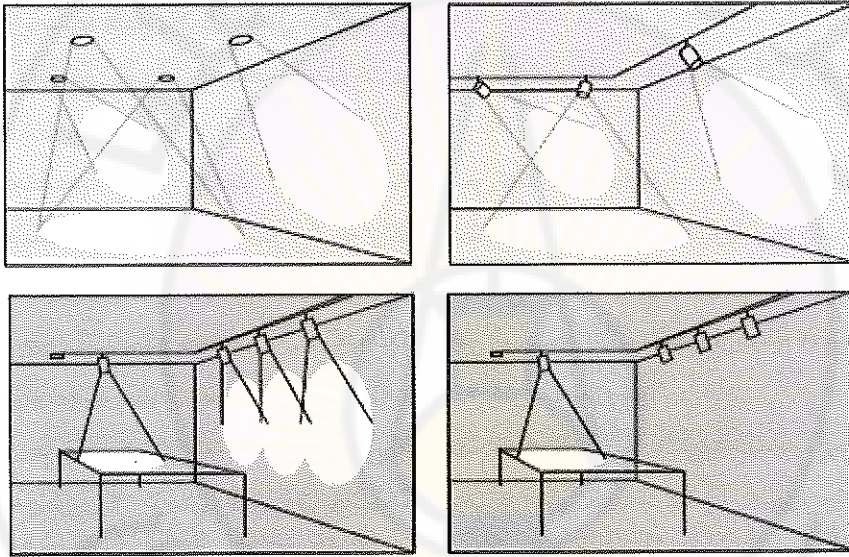
الشكل (٧٦-٢) الغرفة على اليمين منارة بأجهزة الفلوريسنت فقط. الغرفة على اليسار منارة بأجهزة دائرية (سبوتات). كلا الإنارتين ضمن سقف مستعار



الشكل (٧٧-٢) الغرفة على اليمين منارة بسبوتات من أجهزة الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج، وفي المنتصف أجهزة فلوريسنت قصيرة الطول ومتعددة في الجهاز الواحد (٤X١٨W). الغرفة على اليسار منارة بسبوتات فقط من الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج بتوزيع متناظر



الشكل (٢-٧٨) إضاءة غرفة بأجهزة ضمن السقف المستعار (سبوتات)، عادةً من أجهزة الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج. وإنارة غرفة أخرى من خلال أجهزة الفلوريسنت الجدارية



الشكل (٢-٧٩) إضاءة غرفة بمشعات موجهة (سبوتات) مركبة ضمن السقف المستعار أو على سكك خاصة بها

٢-١٤- إنارة بعض الفراغات الداخلية:

سنبين 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].

٢-١٤-١- إنارة المحال التجارية (صالات البيع):

يقول الأخصائيون في التسوق: " يجب أن يبقى دوماً انتباه الزبون موجهاً إلى المواد المعروضة للبيع، وبالأخص تلك التي يبتغي التجار بيعها والتخلص منها أولاً، وهي عادةً التي يعرضونها للبيع بحسوماتٍ معينة (يوجد عليها رخصة)".

إن إنارة صالة البيع بالشكل الأمثل تتم كما يلي:

- إنارة عامة تبين للزبائن المسالك والمسارات ضمن صالة البيع فتشعرهم بالأمان أثناء تحركهم ضمنها.

- إنارة مخصصة لإبراز وإظهار المواد والبضائع ضمن بيئة مناسبة فيها.

- وقد يضاف إلى ماسبق إنارة مثيرة توجه وتلفت النظر إليها فتخلق حياةً وحيويةً وحركة في الصالة، كأنارة عالية، مثلاً، أو أضواء زينة وما شابه.

عند الدخول إلى صالة بيع فإن أول وظيفة للإنارة هي توجيه الأشخاص لرؤية الممرات والمسالك أمامهم قبل أن تتوجه أعينهم لرؤية ومعاينة المواد المعروضة.

إن طريقة إنارة المواد ضمن صالات البيع تتم بحيث تترك هذه انطباعاتٍ ومشاعرٍ إيجابية لدى المشتريين أو الزبائن، فتدل من خلال تألقها على نوعيتها الجيدة، فتؤثر فسيهم وتوقف اهتماماتهم بها. أضف إلى ذلك أن الإنارة داخل صالات البيع يجب أن تؤمن سوية الإنارة المناسبة للعاملين فيها أيضاً، الذين يقضون فيها ساعاتٍ طويلة يومياً. لذلك فإن إنارة هذه الصالات تكون وظيفية بشكل رئيسي، من خلال تأمين الإنارة المناسبة للعاملين فيها ولضيوفها أيضاً، وتزيينية موجهة للمواد المعروضة للبيع.

إن الإنارة الوظيفية تتحقق عموماً من خلال إنارة سقفية عامة، وهي عادةً الفلوريسانت أو الفلوريسنت المدمج أو الهالوجين أيضاً، ويفضل أن تكون ذات لون أبيض دافئ، تضيف على وسط الصالة جواً مريحاً. وتكون سوية الإنارة المطلوبة في داخل صالات البيع لا تقل عن ٤٠٠ Lx.

أما الإنارة التزيينية أو الموجهة فهي لإبراز المواد المعروضة للبيع، بعضها أو كلها، حسب أهميتها في عملية البيع. وهذه تكون إنارة موجهة من الهالوجين عادةً، من الأبيض الحيادي. وكلما زادت أهمية مادة ما في صالة البيع، يتم تمييزها بإنارة خاصة مميزة أكثر.

أما الإنارة التزيينية 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 كثر في الآونة الأخيرة استخدام الإنارة والتفنن بها بشكل كبير في صالات البيع، وبالأخص الكبيرة منها (Supermarkets, malls)، وذلك لأن الإنارة تضفي فخامة وسمعة عالية لهذه المحال والشركات التي تديرها، وهو ما يعلق عليه أهمية كبيرة في التسوق في الوقت الحالي. إن سوية الإنارة اللازمة والمطلوبة في محال 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، كمادة التجميل مثلاً. ويمكن أن تصل سوية الإنارة في بعض محال البيع إلى 1000 Lx.

إن وضع إنارة مباشرة على المعروضات أو غير مباشرة أمر لا يتعلق بشروط محددة، إنه يوظف فقط لخدمة الحالة المطلوبة، على سبيل المثال، إذا لم تعط الإنارة المباشرة الانطباع والإحساس البصري الضوئي المطلوب وفقاً لوجهة نظر المصمم فلا يوجد ما يمنعه من وضع إنارة غير مباشرة، والعكس بالعكس أيضاً.

ينصح من أجل المحال التجارية التي تبدل مواضع عرض معروضاتها بشكل متكرر على الدوام بتركيب أجهزة إنارتها، وبالأخص المشعات (السبوتات) منها، على سكك معدنية خاصة بها، بحيث يمكن تغيير وضع السبوتات على السكك المركبة عليها بسهولة عند تغيير موضع المعروضات. كما ينصح أن تكون هذه السبوتات من النوع القابل للحركة أو الدوران حول محور خاص بها، بحيث يمكن توجيه أشعتها الضوئية على المعروضات مباشرة 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 نواقل التغذية الكهربائية لأجهزة الإنارة، بحيث تغذى الأجهزة بالتيار الكهربائي مباشرة عن طريق السكة.

إن تركيب مشعات أو سيوتات سقوية على سكك خاصة بها عملية تسمح بالكثير من حرية التعبير بمواضع أجهزة الإنارة الموجهة ليس داخل المحال التجارية فقط وإنما ضمن واجهات هذه المحال. 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 إنارته بشكل واضح أو توجيه الضوء إليه.

٢-١٤-٢- إنارة واجهات المحال التجارية:

تحتل واجهات المحال التجارية عنصر الإستقطاب الأهم للزبائن، ويعمل مستثمروها في جعلها بأبهى حلة وشكل، بحيث تجذب أي مار من أمامها، حتى ولو لم تكن لديه أصلاً نية في الشراء والتبضع.

يقول الخبراء المتخصصون في مجال التسويق بأن خبراتهم وإحصائياتهم قد بينت: " أنه إذا كانت سوية الإنارة في واجهة محل تجاري تساوي ١٨٠lx فستجلب خمسة مارين من أمام واجهة هذا المحل من أصل مئة مار يتوقفون لمعاينة المعروضات. أما عندما تكون سوية الإنارة تساوي ١٢٠٠lx فستجلب عشرين شخصاً من المئة يتوقفون لمعاينة المعروضات، وإذا أصبحت سوية الإنارة بمقدار ٢٠٠٠lx 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 إثارة وفضولاً. فإذا أضيف إلى ذلك بأن تكون أجهزة الإنارة نفسها، أو بعض منها، من الصنف الملفت للنظر، أو كأن يشع نوراً بألوان مناسبة أكثر، أو متغيرة الإنارة مع الزمن فسيزيد هذا في الإثارة والفضول والفتنة لدى الناظرين.

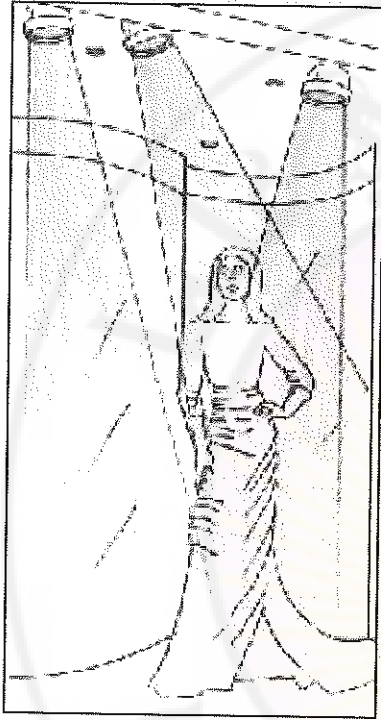
يمكن التغيير في إنارة واجهات المحال التجارية بسهولة، وبشكل آلي، بحيث يطفأ بعضها ويضاء آخر، وهكذا كل فترة زمنية محددة. فخلال مدة زمنية معينة يظهر الشيء المعروض مناراً وواضحاً بكامل حجمه، مثلاً، وخلال فترة أخرى يظهر فقط بعض منه مناراً وواضحاً للعيان ويبقى بعضها الآخر أقل إنارة، أو في العتمة، يترك ظلالاً محيرة، وكأنه سر يود الناظر، المار من أمام الواجهة، معرفته، فينتظر هذا فترة من الزمن مراقباً ومدققاً في الشيء المعروض لتأتي الإنارة الكاملة وتوضح له السر الذي انتظر كشفه، أو يدخل المحل ليعرف التفاصيل الخفية، التي أثارت فضوله في الخارج.

إن الإنارة التي تسلط على الأجسام أو على بعض منها تترك ظلالاً أو أخيلة تسقط على الجوانب. وإذا كانت الإنارة مسلطة 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 المحال التجارية تفرض في معظم الأحيان شكل وطريقة عرضها". فالفستان النسائي، على سبيل المثال، لا يمكن إلا أن يعرض مرثياً ليظهر ماهيته بأنه فستان فعلاً، وفي معظم الأحيان تلبسه موديلاً (manikin)، فلا يعقل أن يعرض هذا في الواجهة مطوياً ومتوضعاً على رف، مثلاً. من ناحية أخرى فإن طريقة عرضه على الموديل يتطلب إضاءته كاملاً، أو إنارة بعض منه ليبدو واضحاً وتدل عليه، فيشاهد ويتم التعرف عليه من قبل الناظرين لواجهات المحال التجارية.

إن الواجهات إذاً في عرف التسويق هي مغناطيس جذب الزبائن إلى المحال التجارية، أو أنها بمثابة إثارة الشهية للمتفرجين عليها ودفعهم للشراء والتبضع، لذلك فإن عملية إضاءتها بشكل مدروس ومناسب تلعب دوراً رئيسياً جداً في عملية الجذب هذه، وفي إثارة الشهية. وعلى اعتبار أن المطلوب هو إنارة المعروضات وإظهار الألوان على حقيقتها، قدر المستطاع، فيمكن أن تتم هذه العملية من خلال توجيه إنارة عليها من أجهزة إنارة ذات عامل إظهار لوني جيد، تشع إنارة على شكل حزمة على هذه المعروضات، والتي قد تكون، على الأرجح من الهالوجين، وبنسبة أقل من الفلوريسنت المدمج أو الـ LEDs، 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 الفلوريسنت. إلا أن الأكثر أهمية هو في أن تكون أجهزة الإنارة، وخاصة المشعات منها، قابلة للحركة أو لتغيير إتجاه الإشعاع فيها، نظراً للتغيير الدائم، والمطلوب، في معروضات الواجهات.



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 القادر 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 تتركب على المشعات كالعدسات الضوئية، وتكون عبارة عن مرشح (Filter) للإشعاعات الضارة على بعض المواد، مثل الأشعة فوق البنفسجية أو تحت الحمراء الناتجة عن الضوء المشع

الشكل (٢-٨٠) رسم تمثيلي يبين
إضاءة مانيكين في واجهة محل
تجاري بواسطة المشعات

من المصابيح، والتي تعمل على تحليل، وتغيير ألوان بعض المنتجات أو المعروضات 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 لشدها، 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 إنارة 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 الرؤيوي لدى الناظر كما يرتثيه المصمم. إن تأثير الصنف الثاني من الإنارة على واجهات المحال التجارية يترك مجاًلاً كبيراً لمخيلة المصمم في العديد من الاختيارات، مثل، أشكال أجهزة الإنارة، وكذلك عرض حزمها الضوئية، وتسلط أكثر من مشع على معروضة، أو اختيار ألوان أخرى أكثر جاذبية للإنارة، أو اختيار إنارة متغيرة الشدة زمنياً، وربما كذلك وضع عواكس ضوئية في الواجهات، تفيد فنياً في عملية الإنارة، إلخ من الاحتمالات المتعددة، بما يتناسب مع المعروضات وطريقة عرضها.

يجب الانتباه وأخذ الحيطة والحذر عند تسلط ضوء على مادة معروضة قابلة للاحتراق، كالأقمشة مثلاً، بترك مسافة أمان كافية بين المنبع الضوئي والمادة المعروضة، خشية أن تتسبب الحرارة المنتشرة من الضوء بحرق المادة المعروضة وما ينتج عن ذلك.

٢-١٤-٣- إنارة 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 مايجب 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، وخاصة الانطباع الأول الذي تتركه لدى الضيوف الفضوليين للتعرف، في البدء، عن مأوى بديل ليوم أو أكثر. هذا الانطباع الذي لا يمحي 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 وتستقطب 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 وفسحةً كبيرة للمصممين المعماريين لتعمل مخيلاتهم أبهى وأفضل التصاميم المنافسة للفت وجذب أنظار من يبحث عن مكان مريح يشعره بالأمان والاطمئنان كبديل لمنزله لفترة من الوقت.

إننا نعلم بأن الإنارة تجعل الوسط أمام البشر مرئياً وواضحاً، كما يمكن لها أن تلعب دوراً كبيراً في تحسين نوعية هذا الوسط، وجعله قريباً منهم وأليفاً لديهم، كبيوتهم ومحيطهم الذي اعتادوا عليه، يشعرهم بالأمان والطمأنينة. ونعلم أيضاً بأن الإنارة تؤثر على أحاسيس الأشخاص وعلى عقولهم الباطنية، فهم يتفاعلون، بدافع حدسهم أو عواطفهم، مع الضوء بجميع أشكاله وألوانه، يرونه جميلاً أو قبيحاً، مريحاً أو استغزائياً، يحبونه أو يفرون منه. لهذا يجب ألا يترك موضوع الإنارة في الفنادق ودور سكن الضيافة دون دراسة متأنية وجادة، فأهمية الإنارة في هذا المجال لا تقل أبداً عن أهميتها ودورها على منصات المسارح. وسواء كانت الإنارة في الفنادق وظيفية، لمساعدة النزلاء في تتبع طرقهم ورؤية الأشياء، أو تزيينية، لإظهار جمال الموجودات، فهي ستكون من العوامل الأساسية جداً، التي سيقوم الضيف الزائر على أساسها في الفندق ويتمتع بإقامته فيه، أو لا. وسواء شاء هذا أم أبى فإن انطباع النور و الإنارة سيرسخ في عقله الباطني خارجاً عن إرادته.

يفضل وضع إنارة تزيينية مناسبة في كل بهو أو صالة أو ممر، أو مكان راحة للزوار في الفندق بشكل مناسب وجذاب. ولعل أهم موقع يحتل أهمية خاصة من حيث إنارته هو مكان استقبال النزلاء (Reception). ففي هذا المكان سيأخذ الزائر الانطباع الأول والأهم عن النزول، وسيعطيه فكرة مختصرة عن عموم أقسام الفندق. حتى إن لكامل الإكساء المعماري الداخلي لهذا الحيز من الفندق أهمية خاصة جداً، والإنارة جزء منها.

من المهم في مكان الاستقبال أن تكون الإنارة واضحة وتظهر معالم الأشياء والموجودات وذات سوية أعلى من بقية الوسط المحيط المتواجدة فيه من الفراغ الداخلي في الفندق، بحيث يستطيع الزائر التواصل والتخاطب مع موظف الاستقبال، يريان بعضهما في محيط واضح وجيد الرؤية وبنوعية إنارة مناسبة لهذا الغرض. إن وضع إنارة سقفية من خلال أجهزة إنارة الفلوريسنت، أو الهالوجين أو الفلوريسنت المدمج، على سبيل المثال، على شكل وتوزيع معين، تؤمن سوية إنارة مطلوبة وموجهة لموضع التواصل بين الزائر وموظف الاستقبال وتقي

بغرض الإنارة الوظيفية المطلوبة، على أن تكون خالية من الانعكاسات الضوئية أو اللامعان وسواها، كما يمكن دعم هذه الإنارة بإنارة موجهة جدارية أو سقفية أيضاً. ولا شيء يمنع من وضع إنارة تزيينية بسيطة لتتبرع بعض التحف أو اللوحات الفنية أو موجودات أخرى في صدر أو جوانب صالة الاستقبال، فهذه أيضاً ستساهم في لفت أنظار الزائر وجذب انتباهه.

أما الممرات أو الردهات والدهاليز (Flure) فإضاءتها ستكون حتماً وفق الغاية منها. إنها بشكل عام عبارة عن أماكن حركة وتنقلا للنزلاء وللزوار من مكان إلى آخر. فيجب أن تكون إنارتها على هذا الأساس. إن بعضاً من الردهات يسمح ليكون أيضاً أماكن راحة مجهز بمقاعد مريحة وذات ديكور جميل وإنارة تزيينية مناسبة. المهم أن تكون الإنارة متجانساً ومتناسبة مع الديكور في المكان، وأن تكون إنارة هذه الأماكن جميعها أيضاً متجانسة فيما بين بعضها. يفضل أن تكون الجدران فاتحة اللون أو بإنارة تجعلها فاتحة، وكذلك السقف، أو على الأقل يجب ألا يبقى السقف غامق اللون أو عاتماً. إن الإنارة الفاتحة ستجعل الجدران والسقف 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 إنارة السقف بأي نوع من أجهزة الإنارة التي تعطي سوية إنارة مناسبة، كأجهزة الفلوريسنت أو الفلوريسنت المدمج أو الهالوجين. وتركب 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 فاتحة اللون عليها لتبرزها وتميزها، فهي تعطي المكان حركة وحيوية ولا تتركه مملاً وميناً.

تتميز الفنادق، وخاصة الكبيرة منها بوجود ممرات 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، ومدون عليها، مثلاً، كلمة خروج، أو (Exit) أو مرسوم عليها درج، حسب الحالة، 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 بوضع 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 يتنقلون عليها صعوداً وهبوطاً بأمان. هذا يعني أن تكون كل واحدة من الدرجات مضاءة وواضحة للعيان. كما يجب ألا يسقط أي ضوء في أعين الأشخاص المتنقلين عليها، فتعمي أبصارهم. وإذا كانت أرضيات الأدراج غامقة اللون فيجب أن تضاء بشكل جيد لتظهر 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، والنوم، فيجب أن تحوي أجهزة إنارة وظيفية إضافة إلى الإنارة التزيينية، التي يجب أن تتناسب بالتأكيد ديكور الغرف الداخلي. إن وضع إنارة ذات لون دافئ يشعر المرء بالسكينة والأمان والاستقرار.

إن نزيل غرف الفنادق يقوم بإشعال وإطفاء أي من الأنوار التي تناسبه. وينصح أيضاً بأن يكون بعض أجهزة الإنارة قابلاً لزيادة شدتها وإنقاصها أيضاً من خلال مفتاح تحكم خاص بها. وينصح أيضاً أن توضع جميع مفاتيح إنارة 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 ومختلفة أيضاً، لذلك يجب أن تؤخذ جميعها بالحسبان عند دراسة إنارة هذه الغرف، ويتوجب أن تؤخذ منحنيات شدة الإنارة لأجهزة الإنارة بالحسبان، بما في ذلك أيضاً طبيعة وألوان الفرش الداخلي لكل غرفة. فالألون الغامقة للفرش سيكون رد فعلها على الإنارة مختلفاً عن تلك الفاتحة، كما نعلم. ويجب تجنب الفروقات الكبيرة في الإنارة بين جانب وآخر أو جهةٍ وأخرى من الغرفة، وكذلك يجب تجنب الأخيطة الناجمة عن الإنارة، لأنه يتسبب بتعب العيون من ناحية، و أحياناً يقود إلى الملل. لذلك يجب أن يكون توزيع أجهزة الإنارة منتظماً ومتناسقاً مع الفرش. ويجب تجنب لمعان الأسطح الناجم عن الإنارة، الذي يؤثر سلباً على العيون وبالتالي على الشعور بالارتياح.

٢-١٤-٤ - إنارة المطاعم:

تعد المطاعم كالفنادق واحدة من قطاع الخدمات، لذلك يجب أن يكون الانطباع الضوئي فيها موافقاً لأذواق ومتطلبات ضيوفها الزبائن. والمطاعم حقيقة، كمجال خدمي لا يعد أساسياً لحياة

الناس، ويمكن للكثيرين من الناس، حتى القادرين على ريادته الاستغناء عنه، إذا لم يوافق هذا أو ذلك المطعم أذواقهم وأمزجتهم. لذلك، وإلى جانب الخدمة الرئيسية، وهي تناول الطعام الذي يقدم في المطاعم، فإن الناس يرتادون هذه الأماكن أيضاً لينعموا بجلسات أنيسة ومريحة مع بعضهم، يروحون فيها عن أنفسهم ويتمتعون، بالتالي 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 إنارة 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 المطاعم تتكون حقيقة من قطاعين رئيسيين، ليس أكثر، يتوجب إنارتتهما 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 الصحن وبقية منمات 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 المطاعم ستتحرك في الاتجاه المضاء، وسترى فقط ما هو مضاء أمامها. إن هذا يسمح لمصمم الإنارة بتوجيه أعين وأبصار الضيوف إلى حيث يريد ويتوجب. من الضروري أن تكون مواصفات إنارة الطاولات في المطاعم مناسبة، بحيث تؤدي هذه عدة مطالب أساسية، منها إمكانية التواصل والتخاطب بين الجلساء على نفس الطاولة في جو من الحميمية والألفة، ومنها إمكانية تناول الطعام وهم يشاهدون حتى الدقائق الصغيرة منه. من أجل تأدية هذين المطلبين يكفي وضع شمعة واحدة، أو أكثر بسوية إنارة كافية لإنارة الطاولة الواحدة، كما يمكن وضع إنارة صناعية أخرى بسوية وشدة عالية أيضاً، أي أن هناك مجالاً واسعاً جداً للاختيار بين سوية إنارة 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 لتتسجم معه الإنارة وتكمله.

يمكن وضع إنارة بسوية واحدة متجانسة لكامل المطعم أو إنارة لكل طاولة على حدة، بشدة وسوية إنارة الشمعة. المهم هو التجانس والتناغم مابين الإنارة والديكور الداخلي للمطعم. ومن أجل أن يجلس الضيوف في جو من الألفة والحميمية والارتياح، خاصة في أوقات المساء وبعده فإن لون الإنارة هنا ودرجة حرارتها يلعبان دوراً هاماً. لذلك يفضل أن تكون هذه من النوع الدافئ المريح للأعين والأنف.

توجه الإنارة في المطاعم بشكل رئيس إلى أمكنة جلوس الضيوف، وهي الطاولات بالإضافة إلى البوفيه، إن وجدت، وتبقى أماكن الخدمة بشكل غير ملفت للنظر. بمعنى آخر يجب توجيه الضيوف للنظر إلى الأماكن التي يتوجب عليهم التحرك فيها أو التعامل معها، كالطاولات والبوفيه، بالتالي يتوجب إنارة هذه الأماكن بما يلفت النظر، إنارة وظيفية وتزيينية. هذه الإنارة يجب أن تكون من النوع القادر 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 ستساهم في إحساس الضيوف بوسط من الحميمية والألفة والراحة والترويح عن النفس.

إن إنارة الممرات 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 الموضوعة للطاولات.

في معظم الحالات فإن وضع لوحات فنية جدارية أو مجسمات وتحف للزينة أو سواها في المطاعم يعد أمراً في غاية الأهمية، إنها عناصر جمالية مكملة ومتممة للصورة الداخلية للمطعم. وإنارة هذه التحف بما يلزم يساعد أيضاً في خلق جو متعدد وجميل من سويات الإنارة، وألوانها وأنواعها المختلفة ضمن الفضاء الواحد، خاصة في التناغم 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 بعضاً من الإنارة الصناعية، بالأخص التريينية منها، قد تكون ضرورية ولازمة لإعطاء الانطباع البصري المطلوب للزوار، وخلق الحالة اللازمة لإحساسهم بالراحة والاستمتاع أثناء الجلوس والتحدث.

٢-١٤-٥- إنارة غرف المؤتمرات والاجتماعات والسينمات:

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 تعقيم 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 دخوله، لأن ضوء النهار، في بعض الأحيان، وخاصة إذا تسبب بلمعان أو انعكاسات فإنه قد يتسبب بصرف انتباه بعض الحضور عن الغاية من تواجدهم، حتى إنه من أجل مثل هذه القاعات يفضل أن تكون غرفةً داخليةً أو تقع في منتصف البناء وبعيدة عن الوسط الخارجي وتأثيراته، بما في ذلك التقليل أيضاً من الضجيج الذي قد يأتي من الخارج.

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 للكتابة خلال المحاضرة. من أجل تحقيق هذه الغايات المتعددة من خلال الإنارة ينصح في وقتنا الحاضر إقامة نظام إنارة يتم التحكم به إلكترونياً، أي يمكن إشعال أو إطفاء بعض أو كل أجهزة الإنارة وفق الواقع، أو الحاجة. فالإنارة إذاً يجب أن تكون لوظائف متعددة وتناسب استخدامات القاعة جميعها.

يمكن تركيب أجهزة إنارة في السقف، كما في القاعات الدراسية، من الفلوريسنت بسوية إنارة تساوي ٥٠٠ Lx. تضاء هذه عند استخدام القاعة لمناقشة موضوع معين، مع إمكانية الكتابة لمن يريد من الحضور.

ويمكن كذلك تركيب أجهزة إنارة جانبية وأيضاً سقفية بسوية إنارة متدنية جداً، تكفي فقط لإظهار الممرات والمخارج، ومناسبة لتحريك الأشخاص عند الحاجة، وتثار هذه في بعض الحالات كعرض الأفلام وما شابه. وتطفأ هذه الأنوار، عندما لا يكون لها حاجة. من الممكن أن تكون هذه الإنارة من أجهزة الهالوجن، ولا يمنع أن تكون هذه ذات لون إنارة مختلف. إن الإنارة بغرض الزينة في مثل هذه القاعات نوع من أنواع الترف، وليس له ما يبرره.

٢-١٤-٦- إنارة المكاتب الإدارية:

- يوجد بشكل رئيسي ثلاث إمكانيات مختلفة لإنارة غرف المكاتب في الأبنية الإدارية:
- طريقة الإنارة بحسب الغرفة في هذه الطريقة تؤمن الإنارة من أجهزة سقفية ذات توزيع متساوٍ ومتجانس للإنارة بنفس درجة الوضوح.
 - طريقة الإنارة وفق أماكن العمل (طاوولات العمل). هذه الطريقة تستخدم عندما يكون في الغرفة نشاطات مختلفة ومتعددة، وكلّ منها بحاجة إلى سوية إنارة مختلفة أيضاً. في هذه الحالة يتم إنارة كل جزء من الغرفة يقوم فيه نشاط مختلف بإنارة مناسبة لهذا النشاط.
 - طريقة الإنارة لجزء أو لحيز من الغرفة. في هذه الحالة، وعندما تكون الإنارة في موضع أو جزء ما من الغرفة لا تكفي، بسبب اختلاف النشاطات في أجزاء الغرفة، فيتم وضع إنارة إضافية مناسبة وفقاً للنشاط في هذا الجزء لدعم الإنارة الأساسية الموضوعة في الغرفة.

يمكن بشكل عام تأمين سوية الإنارة المطلوبة للمكاتب ، وهي ٥٠٠ Lx من خلال وضع إنارة مباشرة، أو مختلطة مباشرة وغير مباشرة. وتشير الخبرات بأن معظم الناس يرتاحون لأجهزة إنارة موزعة بانتظام ذات إنارة مباشرة، تتركب مباشرة على السقف، أو تعلق به، أو ضمن سقف مستعار، بعاكس وناتر، لأنها تؤمن التوزيع المتساوي للإنارة والوضوح على كامل المساحة، وتحد من اللمعان. إنها بالإضافة إلى ذلك إنارة بسيطة وأقل تكلفة. أما وضع إنارة غير مباشرة سقفية أو جدارية أو حتى عبر كlobات لتحقيق الغرض المطلوب فأمر

يمكن أيضاً، 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 ألا 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 العين 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. واللمعان هو كما نعرف انعكاس أو أكثر للأشعة الضوئية من على سطوح لماعة، كشاشات الحواسيب أو الجدران الفاتحة الألوان، أو المرايا، إلى العين البشرية.

إن وجود شاشة حاسوب بمقابل جهاز إنارة، أو حتى بمقابل أشعة ضوء النهار، سيتسبب بعكس الأشعة الضوئية من على سطح الشاشة إلى العين. وهو ما يضر كثيراً بالعين، وخاصةً على المدى الطويل، ويتسبب لها بالإعياء والتعب. لذلك يفضل دوماً العمل على أن تكون أجهزة الإنارة واقعة خلف شاشات أجهزة الحواسيب، أو إلى جوانبها على الأقل.

٢-١٤-٧- إنارة الغرف والقاعات الدراسية:

إن إنارة الغرف الدراسية هي من أبسط أنواع تصميم الإضاءة فطبيعة الأعمال في مثل هذه الغرف هي ذاتها واحدة وليست 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 منارةً بشكل جيد من خلال ضوء النهار، الذي يدخل إليها عبر النوافذ. والإنارة 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 فيكفي

تشغيل بعضها فقط، وهذا يتطلب أن يكون لأجهزة الإنارة عدة مفاتيح تشغيل، وليس مفتاح تشغيل واحد فقط.

إن الطريقة المثلى لإنارة قاعات الدرس هي أجهزة إنارة الفلوريسنت، التي تتركب مباشرة على السقف، أو في السقف المستعار. وتكون هذه أجهزة بعاكس ذو عامل عكسية جيد إلى جيد جداً، وكذلك بنائر للأشعة من أجل توزيع متساوٍ ومتجانس للضوء على كامل مساحة القاعة. وتكون سوية الإنارة المطلوبة في هذه الحالة ٥٠٠Lx 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 ٨٠، فقد يحتاج الطلاب والتلاميذ في دروسهم تمييز الخطوط والألوان بشكل جيد.

٢-١٤-٨- إنارة البيوت السكنية:

إن العامل الأهم في البيوت السكنية هو أن يشعر ساكنيه بالراحة والطمأنينة والأمان. إن وضع إنارة صحيحة، صحية ومريحة 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 وآخرها، 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 جانبي المرأة من النوع الأبيض الدافئ. وفي كثير من البيوت يضع ساكنوها الخزن الصغيرة وفوقها مزهريات الورد أو على الجدران التحف الفنية. وهو مايسمح 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 تعطي إنارة لأبأس بها باتجاه الجدران والسقف.

٢-١٤-٩- إنارة الأدراج:

يحدث في كثير من الحالات إصابات بشرية بفعل سوء إنارة الأدراج عموماً، فإما أن تكون الإنارة غير كافية، أو أن أجهزة الإنارة متوضعة في الأماكن الخطأ. ووفقاً للإحصائيات فإن معظم حوادث السقوط أو التعثر 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 سقفية من جهة الدرجات النازلة في أعلاها. أو تركيب أجهزة إنارة جدارية أو سبوتات تضيء كل درجة على حدة على ارتفاع غير عالٍ من أرض الدرج (٣٠cm-٥٠cm). كذلك يتوجب وضع إنارة خاصة للاستراحات بين الأدراج، وهي في الغالب أجهزة إنارة سقفية. وفي كل من الأحوال يجب على أجهزة إنارة الأدراج ألا تتسبب باللمعان. وإن استخدام أجهزة إنارة الهالوجين للأدراج يعد اقتصادياً ويعطي إنارة كافية ومناسبة.

٢-١٤-١٠- 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 والاستلقاء. 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 طيها، 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 وتفي بالاستخدامات المتعددة والمختلفة، التي ذكرناها، لغرف المعيشة المثالية فلا يكفي أبداً وضع إنارة وحيدة في الغرفة. فالتوزيع الضوئي المناسب يتم من خلال عدة منابع ضوئية موزعة في الغرفة تحقق وسطاً

ضوئياً تكون فيه الغرفة موزعة على مناطق ذات إنارات 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 الإنارة لغرف المعيشة يتوجب أن يكون هناك إنارة مركزية تعمل على تأمين إنارة عامة أساسية للغرفة، وهذه الإنارة عبارة عن جهاز ضوئي بشدة إنارة كافية ينثر أو يوزع الإنارة إلى مختلف الاتجاهات، الجانبية والأعلى والأسفل فيؤمن إنارة منتظمة ومتساوية في الوضوح لكامل مساحة الغرفة، قدر الإمكان. وتعد هذه الإنارة هي الحد الأدنى لتأمين الرؤية لحرية التحرك في الغرفة في سوية مقبولة من الضوء. أما إنارة المناطق أو الأماكن الخاصة المختلفة فتتم بشكل موضعي وفق الغاية من هذه المناطق من الغرفة. يمكن تحقيق هذه الإنارة الموضعية للمناطق من خلال أجهزة سبوت جدارية أو سقفية أو أرضية ثابتة أو متحركة أو على طاولة (لمبادير) ... إلخ من الاختيارات، ليعطي كل منها ضوءاً في الموضع أو الاتجاه المطلوب.

في منطقة مشاهدة التلفزيون، مثلاً، يمكن وضع جهاز إنارة، ذي إنارة ناعمة وموزعة للضوء، بشدة ضوئية قليلة نسبياً، لأن الغاية الرئيسية من الإنارة 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 توضع بسهولة.

أما الإنارة من أجل القراءة أو المطالعة فتتم بحيث يؤخذ بالحسبان إنارة الصفحات المراد قراءتها بشكل مناسب والحفاظ على محيط منار قدر الإمكان لئلا يتم انتقال النظر من منطقة منارة جداً إلى أخرى معتمدة فيتسبب ذلك بتعب الأعين. لهذا فإن الإنارة المركزية العامة تساعد، قدر الإمكان في التقليل من فروقات الإنارة في مناطق الغرفة الواحدة.

إن وضع جهاز إنارة جداري أو أرضي أو على طاولة، من النوع الثابت أو المتحرك، يكون أعلى وخلف الشخص القارئ يؤمن إنارة صفحات القراءة ويمنع توجه الإنارة المباشر إلى العين ويمنع كذلك اللعان. يفيد جهاز الإنارة 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 الهالوجين ذا عامل إظهار لون جيد يساوي ١٠٠ تقريباً. 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، متدلية من الأعلى على ارتفاع أعلى من أعين الجلوس أو بحدود ٦٠cm عن سطح الطاولة، بحيث لا يقع جهاز الإنارة بين أعين الجالسين بمقابل بعضهم حول الطاولة. ينصح بإنارة من الهالوجين ذات ضوء منتشر تُري الموجودات على سطح طاولة الطعام كاملةً. ويترك للمصمم الداخلي اختيار شكل جهاز الإنارة ولونه 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 سويتي الإنارة في المنطقتين المتنقل بينهما. أما إذا تواجد جهاز إنارة موضعي وحيد فقط فإن التنقل في الغرفة سيكون من منطقة بإنارة كافية إلى أخرى بإنارة سيئة، أو العكس، فإن هذا يتسبب بالتعب والإرهاق للعين بشكل سريع.

يضع معظم الناس قطعاً أو تحفاً أو لوحات فنية جدارية في غرف الجلوس لتزيينها. وتعد إنارتها ذات نكهة مميزة. إنها تحفز الأحاسيس وتزيد من بهاء الغرفة ومن خلال الضوء على الجدران تترك انطباعاً بأن الغرفة أكبر. يسلط الضوء على اللوحات الفنية الجدارية، إما من فوق اللوحة مباشرة، أو من الأعلى بشكل مائل على ارتفاع (١.٥-١)m. ولعل أفضل أنواع الإنارة التي تصلح لهذه الغاية هي سيوتات (مشعات) من الهالوجين، أو الـ LEDs حديثاً. يمكن تركيب هذه المشعات القابلة للتوجيه فوق اللوحة الفنية مباشرة أو على سكة في السقف، أو على السقف بشكل مباشر أو في السقف المستعار، إن وجد. إن إنارة الهالوجين والـ LEDs ذات عامل إظهار لوني ممتاز، وهي الأصلح لهذه الغاية (مصابيح الهالوجين

ذات $R_a=100$)، وكذلك فإن إنارة الـ LEDs لانتشر 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 بإنارته، بحيث يستطيع المرء عند أي تغيير في شدة الإنارة إعطاء انطباع ضوئي 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 حيوية وتجديداً، كما يسمح عموماً للمصمم الداخلي أن يظهر مهاراته ويحسن في ديكور الغرفة من خلال اختياره لهذه الأجهزة بأشكالها وألوانها وأمكنة توزيعها لتناسب ديكور الغرفة. يجب الأخذ بالحسبان أنه في غرف المعيشة قد يتحرك أشخاص تزداد أعمارهم عن الـ ٦٠ عاماً. هؤلاء يحتاجون إلى زيادة في سوية الإنارة أكثر من التي يحتاجها شبان في مقتبل العمر ليتمكنوا من رؤية الأشياء والموجودات بنفس الوضوح كما يراها الشبان.

٢-١٤-١١- 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 النقاء، في كثير من الأحيان، لأفراد الأسرة، حيث تقام فيها أحياناً مآدب الطعام.

يفضل في المطابخ تجنب وجود الأخيلة، وهذا يعني عدم تركيز الإنارة في مكان واحد من المطبخ، فقد يقف الشخص نفسه أمام الضوء ويحجب 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 مثلاً 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 500 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 الهالوجين الحديثة الموفرة للطاقة فهي ذات عامل إظهار لوني جيد.

إن الإنارة الموضعية الموزعة تحت الخزن في المطبخ (الرفوف) تعمل على تأمين وسط عمل منار بشكل جيد، إنها تضيء أجزاءً من خزن ومواد المطبخ، وكذلك الأشياء والقطع الهامة، الحساسة والخطرة 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 المطبخ كذلك في الغرف التي تماثلها من حيث الأعمال كغرف الكوي والغسيل وما يشبهها، يتوجب أن تكون الإنارة بسوية إنارة مناسبة وكافية ليستطيع الأشخاص التعامل مع المواد المختلفة والموجودات والأشياء بشكل بصري جيد.

ينطبق على هذه الغرف نفس شروط إنارة المكاتب من حيث سوية الإنارة المطلوبة وتجنب اللعان والأخيلة. يضاف إلى ذلك شروط إضافية خاصة بأجهزة الإنارة، فهذه الأجهزة اللازمة لغرف الغسيل والمطابخ مثلاً يجب أن تكون من النوع الذي لايسمح لدخول بخار الماء إليها والتسبب بالتكهرب (درجة الحماية أو الكتامة على الأقل IP54). وأجهزة الإنارة التي تكون قريبة من مواقع 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 المواقع ما أمكن.

٢-١٤-١٢- 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 إضاءتها 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 ميالاً لوسط أو لبيئة منعشة، فاتحة اللون ومناسبة لبدء نشاطهم اليومي، لكنهم في المساء يميلون للركون إلى الهدوء والراحة والسكينة

ويفضلون وسطاً أبيض اللون دافئاً. لذلك يمكن أن تكون إنارة الحمامات ذات نظامين مختلفين يناسبان حالتي الصباح والمساء، بحيث يتم إشعال وإطفاء أي منهما 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 سقفياً وفي أكثر من موضع أيضاً) حسب مساحة الحمام)، أو أيضاً على الجدران لتأمين توزيع متساوٍ ومتجانس بنفس درجة الوضوح للضوء على كامل مساحة الحمام، قدر الإمكان. وينصح عادةً أن تكون الإنارة السقفية من الأجهزة ذات الإنارة الناعمة والموزعة للضوء باللون الأبيض ذات سوية إنارة لا تقل عن 300 lx. ويجب الأخذ بالحسبان ألوان جدران الحمام، فالغامقة منها ستعمل على امتصاص الضوء، مما يتطلب ذلك من جهاز، أو أجهزة الإنارة شدة إنارة أعلى. إن الإنارة البيضاء اللون السقفية الموزعة ستعطي أيضاً شعوراً بكبر المساحة، وخاصةً عند انعكاس ضوءها من على جدران الحمام الصقيلة.

تتم عادة في الحمامات أعمال العناية بالشعر وبالبشرة، خاصةً للسيدات، وهذا يتطلب أن تكون الإنارة أمام المرأة خالية من الأبخلة، سليمة إلى أبعد الحدود، تظهر الوجه والألوان على حقيقتها قدر الإمكان، لذلك تكون أجهزة الإنارة المستخدمة خالية من اللعنان وذات عامل إظهار جيد للون المصابيح لا يقل عن 80 وتوضع في مكان لا يتسبب بالأبخلة، ويفضل أن تكون فوق المرأة أو على كلا جانبيها، أو على أحدهما. وتكون الإنارة المثالية أمام المرأة، التي تظهر الأشخاص على طبيعتهم هي بأجهزة إنارة من الفلوريسانت ذات اللون الضوئي الأبيض الحار بغطاء من الزجاج الأبيض، فهذه الأجهزة ستقلل من تشكل الأبخلة وستغطي مساحة أكبر بالضوء.

إن إنارة الصباح المفضلة هي ذات لون أبيض، ودرجة حرارة اللون أكبر من 3300 K. وإنارة المساء دافئة ذات درجة حرارة لون أقل من 3300 K.

ولقد أوصى النظام DIN VDE في تعليماته باستخدام أجهزة إنارة مختلفة في الحمامات، وخاصة لكل جزء تتم فيه فعالية مختلفة، كإنارة عامة لكامل مساحة الحمام وأخرى خاصة أمام المرأة، وثالثة لموضع الاستحمام ورابعة للـ WC... إلخ.

يجب الانتباه في أجهزة إنارة الحمامات، ونظراً للرطوبة العالية التي قد تنتشأ فيها، الأخذ بالحسبان درجة حماية عالية لهذه الأجهزة، بحيث لا تسمح لدخول بخار الماء إلى داخلها فتسبب بالتكهرب. كذلك فإن تركيب جهاز إنارة قريباً من أمكنة الإستحمام أو تواجد الماء يعد أمراً في غاية الخطورة، لذلك يجب قدر الإمكان العمل على تركيب أجهزة إنارة كتيمة لا تسمح بدخول الماء وبخاره إليها وبعيدة قدر الإمكان عن وصول الماء، وخاصةً المرشوش منه.

٢-١٤-١٣- إنارة غرف الأبناء (الأطفال والياfecين):

إن غرف الأبناء في المنازل ليست في الحقيقة المكان الذي يأوون فيه إلى النوم فقط، إنها الأمكنة التي يجلسون فيها مع أنفسهم وحيداً، ويلهو الصغار منهم فيها بألعابهم، وكذلك يتجاذب فيها الكبار منهم الأحاديث والقصص، يكتبون وظائفهم المدرسية ويراجعون فيها دروسهم. ومن أجل تحقيق المتطلبات الضوئية السليمة واللائمة لما سبق يجب أن يكون هناك إنارة مدروسة ومتكاملة لمثل هذه الغرف، آخذين بعين الاعتبار عدة عوامل أمان إضافية، لكون مستخدم هذه الغرف من الفئة العمرية التي لاتزال 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 المحببة (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 بمفردهم في الغرفة وتبقى الموجودات في الغرفة شبه مرئية تؤنس وحدتهم قبل النوم. تسمح الإنارة الليلية لكثير من الأطفال والياfecين بالذهاب، مثلاً، إلى الحمام ليلاً دون إشعال إنارة الغرفة القوية، التي قد تمنعهم من العودة للإغفاء والنوم مجدداً. يوجد الكثير من الإنارات الليلية، منها المصابيح ذات الاستطاعات المنخفضة، أو تلك المتحركة والتي تغذى من خلال المآخذ.

من الضروري جداً إبعاد أجهزة الإنارة عن متناول أيادي الأطفال قدر الإمكان، بحيث تكون، مرتفعة وبعيدة لاتصل إليها أيديهم وتتسبب بخطر التكهرب على حياتهم. ويجب ألا تغطي أجهزة الإنارة بأي مادة قابلة للاحتراق كالقماش وماشابه.

توضع إنارة مركزية سقفية في الغرفة تعطي الإنارة العامة بسوية إنارة جيدة بين 300 LX و 500 LX. 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 إنارته. فعند إطعام الأطفال الصغار ليلاً يعمل لتكون شدة الإنارة منخفضة، فإنارة عالية ستشعر الطفل بأن النهار قد بدأ ولن يخلد بسهولة للنوم مجدداً.

يوضع لإنارة طاولة الكتابة أو الحاسوب جهاز إنارة يعطي نوراً بشكل غير مباشر، بحيث يمنع حدوث اللعان، تماماً مثل أي طاولة كتابة أو عمل. لهذه الغاية يمكن وضع إنارة فلوريسنت أو فلوريسنت مدمج إلى جانب الطاولة أو أعلاها تعطي إنارة غير مباشرة. يفضل أن تكون جميع المآخذ في غرف الأطفال محمية من دخول أي جسم غريب فيها. فالأطفال بحكم فضولهم يدفعون بقطع معدنية في فتحات المآخذ فيؤدي بهم إلى التكهرب، ونظراً لمقاومة أجسامهم الضعيفة للتيار الكهربائي فإن الصدمة الكهربائية لهم ستكون مفاجئة وقاتلة.

٢-١٤-١٤- إنارة غرف النوم:

يقضي الإنسان حوالي ثلث عمره في غرفة النوم. إن هذه الغرفة الخاصة جداً، هي للتخلص من تعب النهار وللراحة الجسدية والنفسية. تحتاج غرفة النوم مثل أي غرفة أخرى لإنارة مركزية عامة يتم إشعالها مباشرة عند الدخول للغرفة. يجب على هذه الإنارة أن تنير الغرفة كاملة 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 20W فقط من الهالوجين ذي التوتر الضعيف. يثبت هذا

الجهاز في مكان 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 تخفيفها إلى الحد الذي لايزعج الآخرين النيام ويمكنه من القيام بالقراءة، مثلاً.

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 وتجميل البشرة، وللاستخدامات الأخرى. ومن أجل إنارة هذه المرآة على الشكل الأمثل يتوجب وضع جهاز إنارة خاص بها من النوع الذي يظهر الألوان بشكل جيد، وفي مكان لايتسبب باللمعان. يمكن لهذه الغاية استخدام إنارة من الفلوريسنت أو الهالوجين توضع على الجدار إلى جانب المرآة أو في أعلاها، أو يوضع جهازان على كلا جانبيها.

٢-١٤-١٥ - 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 مايلزم، أو جهاز ممارسة رياضة أو أماكن يتم فيها تصنيع أو تصليح أشياء كهواية لأحد أفراد الأسرة... إلخ. فالأعمال في هذه الغرفة تتشابه تقريباً مهما كان مستخدموها.

فمن أجل الاستخدامات المكتبية يكون الشرط الأساسي في إنارة الغرفة هو إنارة فاتحة اللون خالية من اللمعان. وكذلك من أجل أعمال ممارسة الهواية.

يتوجب أن يكون لهذه الغرفة إنارة عامة بسوية بين 300Lx و 500Lx . تكون الإنارة فيها منتظمة وموزعة على كامل مساحة الغرفة، بحيث لا يكون هناك تباين في الضوء بين موضع وآخر في الغرفة يؤثر سلباً على النظر. أما إذا تتطلب العمل في هذه الغرفة أعمالاً 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 المائدة لها في غرفة المعيشة تماماً. كما يمكن وضع إنارة خاصة بكل موضع عمل في هذه الغرفة بسوية الإنارة المطلوبة.

٢-١٤-١٦ - 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 مثلما 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. لإنارة الشرفات ينصح باستعمال إنارة سقفية 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. ويفترض تركيب أجهزة الإنارة في أمكنة لاتصل إليها مياه الأمطار المتساقطة ولا تؤثر عليها الرياح، وإن لم يكن كذلك فيجب أن تكون الأجهزة من النوع المحمي من دخول الماء إليه، والمتحملة لعوامل الطقس هذه (درجة الحماية على الأقل يجب أن تكون IP44). ومن المفيد الانتباه ألا تنعكس الأشعة الضوئية إلى داخل المنزل عبر باب الشرفة الزجاجي مثلاً، فتتسبب بالإزعاج، كما يجب ألا تتسبب باللمعان، أو سواه.

٢-١٤-١٧ - إنارة مداخل الأبنية:

إن جهاز الإنارة الموضوع في مداخل الأبنية والبيوت السكنية هو عملياً جهاز إنارة خارجي، لأنه سيتأثر بعوامل الطقس الخارجية، أضف إلى ذلك بأن هذه المداخل قد تكون غير مسقوفة مما قد يتسبب ذلك بسقوط مياه الأمطار على الجهاز بشكل مباشر. فإذا كان المدخل غير

مسقوف أو غير محمي من عوامل الطقس الخارجية فيفضل طبعاً اختيار أجهزة إنارة من النوع المناسب لتحمل العوامل الخارجية (درجة الحماية على الأقل IP44). 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 المكوث أمام الباب هي في العموم قصيرة جداً، بالتالي يوجد هناك العديد من الاختيارات في اختيار نوع الإنارة وشكل الجهاز، على أن تقي هذه جميعها بالغرض المطلوب.

٢-١٤-١٨-إنارة المتاحف والمعارض الفنية:

إن التصميم الضوئي في غرف المعارض والمتاحف يتعلق بعوامل عديدة جداً، منها الشكل المعماري للأبنية، الذي يتوجب على الإنارة أن تتسجم معه، وأبعاد وشكل الغرفة أو الفراغ الداخلي وموجودات المعارض، وجود نوافذ، وتأثير ضوء النهار، وأهم شيء هو نوع المعروضات المراد إضاءته.

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 والتناغم بين الضوء والخيال ومادة العرض، خاصة عندما تكون ثلاثية الأبعاد، كأعمال النحت أو المجسمات أو الماسكات ... إلخ.

يتم إنارة غرف المتاحف عادة بإنارة موزعة أو منتشرة وأخرى موجهة. والإنارة الموزعة هي عبارة عن الإنارة العامة للمكان. والإنارة الموجهة، وهي الخاصة، التي تسلط على المعروضة (Object). إن خليط كلا الإضاءتين معاً يحدد قساوة أو ليونة الأخيلة الناشئة عن إطارات الصور والمنحوتات وجميع المجسمات الأخرى المعروضة. كما أن هذا الخليط هو المسؤول عن الانطباع البصري الضوئي لكامل الفراغ أو الغرفة.

إن إنارة كل فراغ تحدد درجة الوضوح في كل جزء من مساحته. ومن النادر أن تكفي هذه الإنارة وحدها في المتاحف والمعارض. أما الإنارة المسلطة على المعروضات فإنها على العكس قد تكفي أحياناً بمفردها وتفي بالغرض في الغرف الصغيرة والمنارة من الخارج بشكل جيد، حيث يتم الاستغناء عن الإنارة العامة.

إن الإنارة القوية المسلطة على المعروضات تظهر خصوصياتها، حيث تكملها الإنارة الخفيفة العامة في الغرفة لتظهر زواياها من المعروضات قد أخفاها الضوء المسلط. فإنارة وحيدة موجهة من دون وجود الإنارة 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 لايؤثر 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 الإنارة العامة الموزعة يمكن استخدام إنارة سقفية، كالفلوريسنت، مثلاً، بنائير زجاجي، أو استخدام أجهزة إنارة سقفية أو جدارية غير مباشرة، من الهالوجين أو الفلوريسنت. وللإنارة الموجهة يمكن استخدام أجهزة إنارة من النوع الموجه النقطي (جهاز إنارة يشع إنارة ذات مقطع دائري بقطر إشعاع صغير نسبياً، أو زاوية إشعاع ضوء صغيرة)، حيث يتم توجيه الإنارة بحزمة مناسبة بشكل مباشر على المعروضة، وبحسب حجم هذه المعروضة وما سيبيرز منها، كلها أو أجزاء منها، وإذا كانت المعروضة المجسمة ذات سطوح غير مستوية فإن إضاءتها ستتسبب في بعض 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 تسليط أكثر من إنارة على مجسم بغية إظهار أكثر من جانب له. وفي أي من الحالات يبقى موضوع توجيه ضوء أو أكثر على معروضة، وكذلك جهة التوجيه وشدة الإنارة على عاتق المصمم الفني فقط، لأن هذا الأمر هو فني جداً وبالكاد يخضع لاعتبارات تقنية بحاجة لتدخل مهندس إنارة. مع العلم أن توجيه إنارة 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، إضافة إلى إمكانية تأثير مادة اللوحة نفسها بالضوء.

٢-١٤-١٩-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 والممرات. والقسم الثاني الذي يمثل منصة المسرح. وعند استخدام المسرح للعروض المسرحية فقط، تعمل إحدى الإنارتين فقط. تضاء الصالة في البدء لدخول الجمهور إلى القاعة، وعند بدء العرض تطفأ أنوار الصالة وتعمل أنوار المنصة ليُشاهد الجمهور العرض المسرحي.

تتم إنارة صالة المسرح بإنارة عامة، تكون عادةً على السقف أو في السقف المستعار. وتكفي 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 للممرات بين المقاعد إنارة خافتة ضعيفة، توضع على حواف الممرات يستطيع المشاهد من خلالها الاستدلال على الطريق، إذا أراد هذا التحرك والخروج لسبب طارئ أثناء العرض المسرحي وأضواء الصالة مطفأة.

يمكن لإنارة الصالة استخدام الفلوريسنت أو الفلوريسنت المدمج، أو أي إنارة متنوعة 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 ولوان إضاءته أيضاً. ويعمل فني إنارة مختص أثناء العرض المسرحي على إطفاء وإشعال وتغيير توجيه أجهزة الإنارة بما يتوافق مع النص المسرحي. وتكون هذه الإنارة عادة من المشعات، أو البروجكتورات الموجهة بمختلف أشكال بثها للضوء، بحزم ضيقة أو عريضة وفق الطلب.

من الهام جداً في جميع القاعات التي تستخدم لاحتفاليات جماهيرية كبيرة، وبالأخص الاحتفاليات المسائية منها، كدور السينما والمسرح وماشابه، 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 مكان ما فوق باب المخرج، أو إلى جانبه وذو 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، وخاصة، عند حدوث طارئ ما في القاعة، كحريق مثلاً.

٢-١٥- مثال عملي في تصميم الإنارة لمحل تجاري (بوتيك Boutiques) [٧]:

إن البوتيك كمحل تجاري له خاصيته من حيث المواد المعروضة للبيع. فهذه المواد تخص حصراً الاستخدامات الشخصية للأشخاص، الرجال منهم والنساء، وأحياناً الصغار أيضاً. ومواده هي، بشكل عام، ألبسة وأحذية وإكسسوارات أخرى، كالأحزمة وأدوات الزينة، وأحياناً العطور، وما شابه مما يحتاجه الأشخاص للاستخدام الشخصي الجسدي حصراً. وجميع هذه الأشياء، مما سيضعه الأشخاص على أجسادهم يكتسب بالنسبة إليهم أهمية خاصة، لأنه يعبر بطريقة أو بأخرى عن مكونات شخصيتهم، حسبما يدعي أخصائيو علم النفس. إنه أيضاً للاستخدام المرئي أو المتكرر أو كليهما معاً، وليس، على سبيل المثال، كالمواد الغذائية، التي تشتري وتستهلك 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 أمزجتهم في ذلك كثيراً؛ لذلك يتوجب على معروضات البوتيك أن تظهر في غاية الجمال والروعة، وتبدي سوية عالية في الأناقة والنوعية. إن هذه المتطلبات العالية من بضائع البوتيك تحمل مصمم الإنارة لمعرضاته 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 ومتممات شخصية أخرى، كمواد الزينة والعطور 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، فتكون تلك ذات النوعية الفاخرة، والموضوعة أصلاً في مكان 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. ويعتمد معظم الباعة إلى عرض بضائعهم التي يريدون التخلص منها بسرعة بنفس الطريقة أيضاً. وعندما نتكلم عن إنارة مميزة وعالية، فهذا يعني بالتأكيد أن تكون الإنارة المحيطة بها (المحيطة) منخفضة، أو أقل سوية منها بكثير، ولكن ضمن الحدود المقبولة، لإظهار تميز المعروضة، أو المعروضات، ذات النوعية العالية. تكون عادة كثافة الإنارة المحيطة بحدود 10W/m^2 . وهي عادة الإنارة العامة الموزعة. بينما يمكن أن تصل كثافة الضوء على البضاعة المميزة حتى 60W/m^2 . وتكون هذه موضعية، موجهة ومركزة.

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 بائع يري ويفرد المعروضة للزبون بتفاصيلها. ويحتوي البوتيك، كما في جميع المحال التجارية، على طاولة للمحاسبة. وقد يحتوي أيضاً على زاوية منه لقياس وتجريب الألبسة، أو على خزانة بمثابة مستودع لكل ما يريد التاجر عدم إظهاره أمام الزبائن. كما يحتوي بعض البوتيكات أيضاً على أماكن لتعليق الألبسة والثيراب المعروضة للبيع.

سنعمل فيما يلي على دراسة إنارة لمحل 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، لمرتجعات، أو لأي استخدام آخر، يراد له أن يبقى في الظل، أو شبه معتم، فليس للزبون في هذا الموضع ما يبيحث 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 وتسميات أجهزة الإنارة المستخدمة في جميع الحالات.

الجدول (٢-٢٠) رموز وتسميات أجهزة الإضاءة المستخدمة في جميع الحالات

رمز جهاز الإنارة	خصائص 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 (المبته) من الفلوريسنت
	جهاز إنارة مربع الشكل (عادةً: فلوريسنت: ٤X١٨W)
	نفس الجهاز السابق مع دائرة طوارئ
	جهاز إنارة من الفلوريسنت بإنارة غير مباشرة (معكوسة)

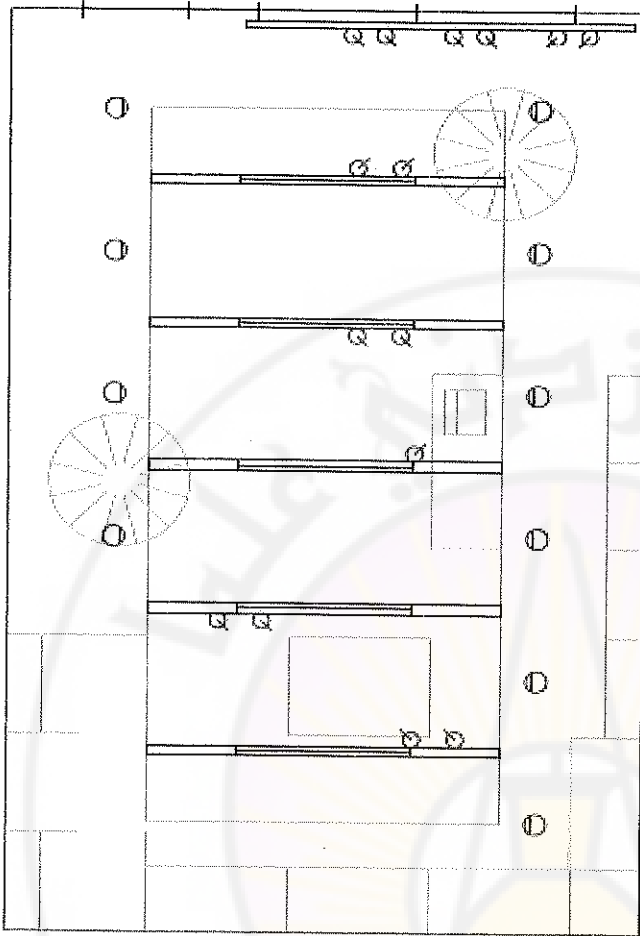
١- الحالة الأولى:

تتار الواجهة بواسطة سبوتات (برجكتورات أو مشعات) موجهة من مصابيح الهالوجين ، مثبتة على سكك خاصة بها. يستفاد من هذه السكك في تغيير مواضع أجهزة الإنارة حسب تموضع 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.

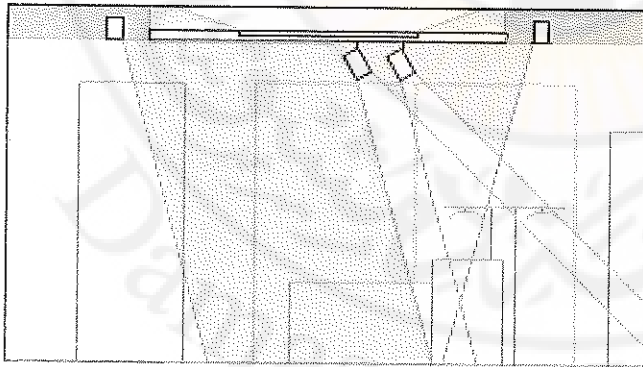
إن الإنارة العامة أو الموزعة داخل المحل تتم هنا من خلال أجهزة فلوريسنت طويلة ذات إنارة غير مباشرة موجهة إلى السقف، متوضعة بشكل عرضي. أما إنارة المعروضات ضمن المحل فتتم من خلال أجهزة إنارة مشعات متوضعة على سكك مشابهة لتلك المضئية للواجهة، بشكل متوازٍ عرضي، حيث يمكن إزاحة أجهزة الإنارة وتوجيهها إلى أي موضع من المكان. وتكون هذه الأجهزة من نفس نوعية تلك المستخدمة في الواجهة. تتوضع إنارة الفلوريسنت التي تعطي ضوءها إلى الأعلى ضمن أنبوب. وتركب المشعات على نفس هذا الأنبوب. أما إنارة الرفوف (الإنارة المحيطة) فتتم من خلال إنارة موجهة من سبوتات تتوضع في السقف المستعار، وتكون هذه من الهالوجين أو الصوديوم ذي الضغط المرتفع أو الميتال هاليد.

يكثر في مثل هذه الأنواع من الإنارة استخدام مشعات هالوجين تعمل على التوتر المنخفض (١٢٧ أو ٢٤٧)، لأنها أكثر توفيراً للطاقة وتفي بالغرض المطلوب.

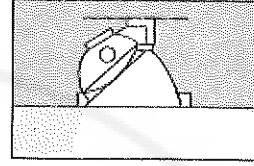
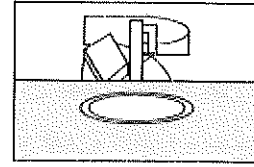
الأشكال من (٢-٨١) وحتى (٢-٨٣) التالية تبين عملية الإنارة في هذه الحالة، وتوزع الأجهزة في السقف، وأشكال ونوعية هذه الأجهزة بالإضافة لمنظر جانبي وبعض أجهزة الإنارة. يلاحظ من توزع أجهزة الإنارة كيفية المحافظة على ترتيب معين لها على السقف، وكيفية توجيه إنارتها على الرفوف وأماكن العمل. كما يلاحظ بقاء الزاوية الخلفية اليسرى من المحل شبه مظلمة.



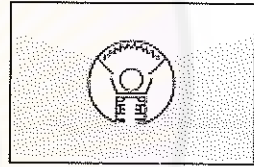
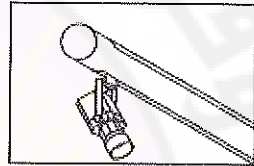
الشكل (٨١-٢) توزيع وتوضع أجهزة الإنارة في السقف



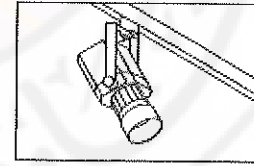
الشكل (٨٣-٢) منظر جانبي وبعض أجهزة الإنارة المضاءة



أجهزة إنارة موجهة ضمن
سقف مستعار بمصابيح من
الهالوجين أو الميتال هاليد أو
الصوديوم بالضغط المرتفع



نظام إنارة عبارة عن جهاز
فلوريسنت بإضاءة غير
مباشرة (معكوسة) مدمج مع
سبوت مركب على سكة



سبوت متحرك وقابل
للتوجيه مركب على سكة

الشكل (٨٢-٢) أجهزة

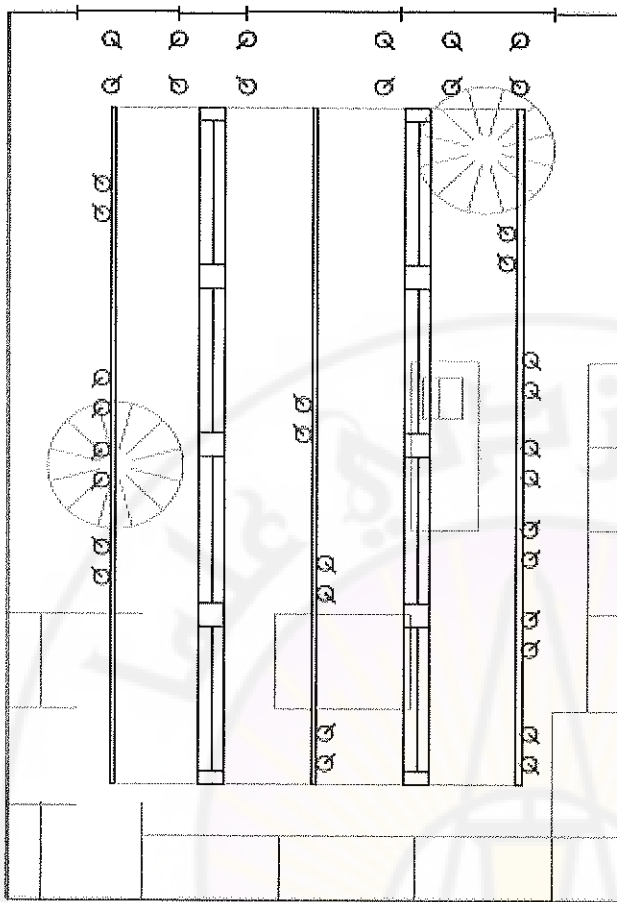
الإنارة المستخدمة

الأشكال (٨٤-٢) و (٨٥-٢) تبين توزيع أجهزة الإنارة على السقف ومنظر جانبي للغرفة المضاءة وأشكال ونوعية أجهزة الإنارة المستخدمة.

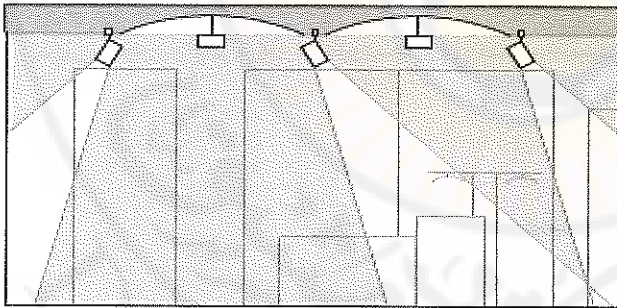
لقد تم في هذه الحالة إنارة واجهة البوتيك، كمدخله بواسطة ستة سبوتات إنارة سقفية موجهة، متوضعة ضمن السقف المستعار على صفين، في كل صف ثلاثة أجهزة. تكون عادة هذه السبوتات من الهالوجين ذوات التوتر المنخفض. ويمكن توجيه إنارتها لتكون مباشرة على المعروضة، أو غير مباشرة. وقد ارتأى المصمم وضع ستة أجهزة متماثلة ومتناظرة لإنارة المدخل ليحافظ على تناسق وترتيب معين.

لقد تمت عملية إنارة الصالة، إنارة عمومية، بواسطة صفين (حبلين) متوازيين، طوليين، من أجهزة الفلوريسنت الطويلة، التي تعطي إنارة غير مباشرة، موجهة على السقف. هذه الأجهزة مركبة بالسقف بشكل معلق. أما من أجل المعروضات فقد تم إضاءتها بإنارة خاصة عبر سبوتات مركبة على ثلاث سكك طولية أيضاً وموازية لحبال الفلوريسنت، بحيث يمكن تحريك السبوت الواحد إلى أي موضع على السكة وتوجيهه حسب موضع المعروضة. ويلاحظ في الشكل تركز السبوتات الضوئية بمقابل واتجاه الرفوف وفوق طاوولات خدمة الزبائن.

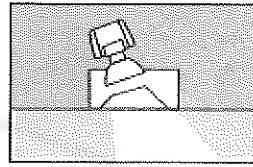
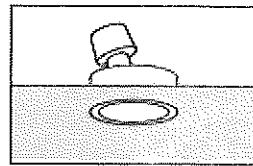
المنظر الجانبي للمحل وهو منار في الشكل (٨٥-٢) يبين شكل السقف المستعار وكيفية تركيب أجهزة الإنارة عليه، وأقواس الديكور في السقف، حيث تتوضع سبوتات الإنارة في نهايتي القوس وأجهزة إنارة الفلوريسنت في منتصفه لتعطي ضوءها إلى الأعلى.



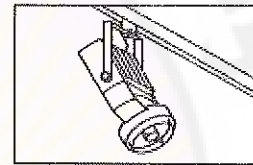
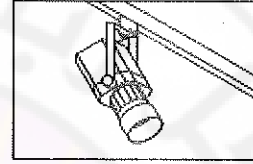
الشكل (٨٤-٢) توزيع أجهزة الإنارة في السقف



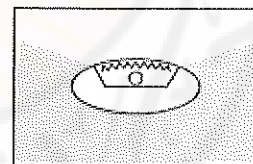
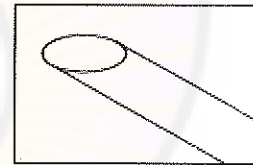
الشكل (٨٥-٢) منظر جانبي وبعض أجهزة الإنارة مضاءة



سبوتات موجهة هالوجينية
تعمل بثوتر ضعيف



سبوتات مركبة على سكة



إنارة غير مباشرة
(معكوسة) من الفلوريسانت

٣- الحالة الثالثة:

الشكل (٢-٨٦) يبين توزيع أجهزة الإنارة على السقف وأشكال ونوعية أجهزة الإنارة المستخدمة.

لقد تم في هذه الحالة إنارة واجهة البوتيك من خلال ستة سبوتات إنارة سقفية موجهة متوضعة على سكة معدنية خاصة بها. هذه المشعات تكون إما من الهالوجين ذي التوتر الضعيف أو الميثال هاليد.

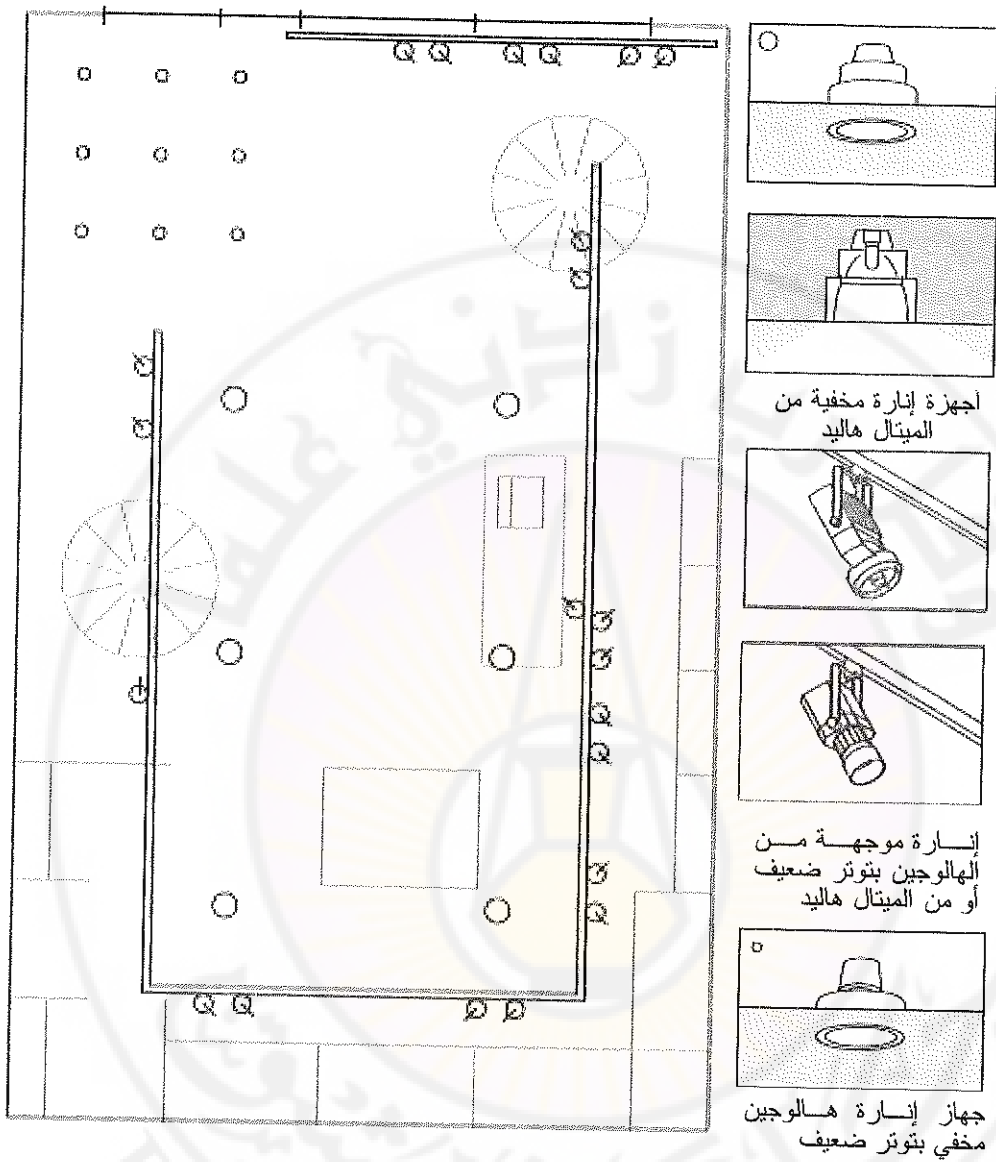
إنارة المدخل ضمن صالة المحل تتم هنا بواسطة ثلاثة صفوف من المشعات المركبة في السقف المستعار، وفي كل صف ثلاثة مشعات. يمكن لإنارة هذه المشعات أن تكون من نفس نوعية مشعات الواجهة.

تتم عملية إنارة الصالة، إنارة عمومية، بواسطة صفين متوازيين، طوليين، من مصابيح الميثال هاليد المخفية ضمن السقف المستعار. هذه الأجهزة موزعة ضمن المحل بشكل متناظر تقريباً، وعددها ستة فقط.

من أجل إنارة المعروضات فقد تم اختيار إنارة خاصة عبر سبوتات مركبة على ثلاث سكاك 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 إنارة الواجهة.

يلاحظ في الشكل تركز بعض السبوتات الضوئية قريبة من بعضها في أحد المواضع وبعيدة في مواضع 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 مسطواً على المعروضات حصراً.



الشكل (٢-٨٦) توزع أجهزة الإنارة على السقف وأنواعها المختلفة وأشكال تركيبها

٤- الحالة الرابعة:

الشكل (٢-٨٧) يبين توزيع أجهزة الإنارة على السقف وأشكال ونوعية أجهزة الإنارة المستخدمة.

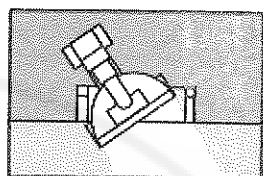
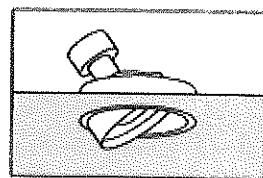
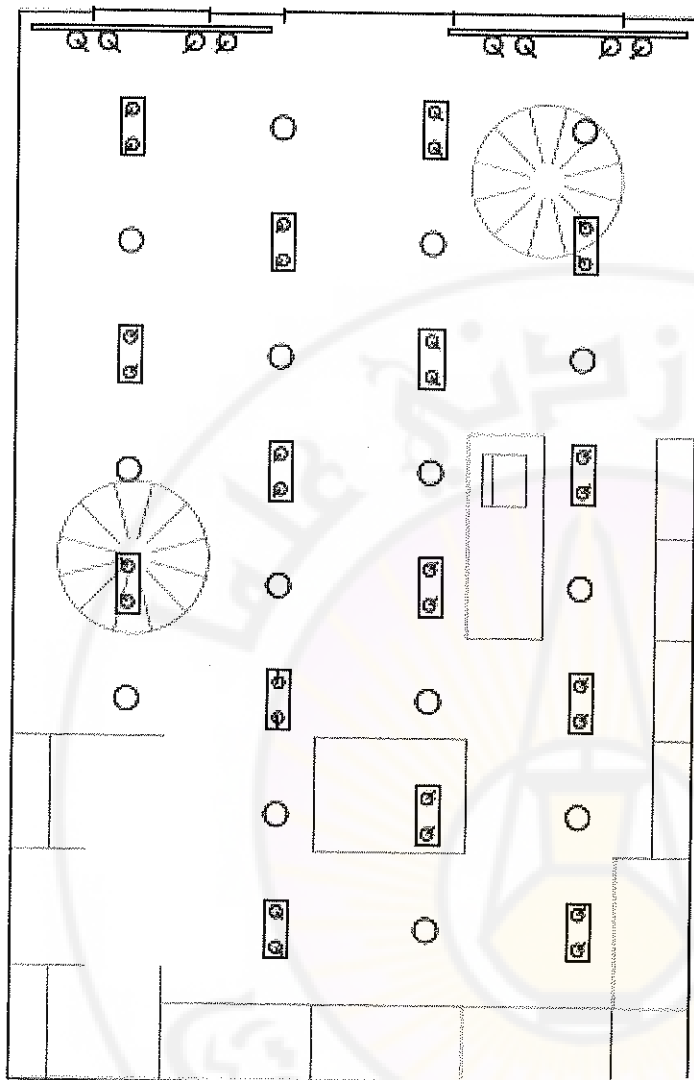
لقد تم في هذه الحالة إنارة الواجهة في البوتيك، كالمدخل ضمن المحل من خلال أربعة سبوتات لكل منهما، وكلّ منها مركبة على سكة معدنية خاصة بها. هذه المشعات تكون عادةً من الهالوجين ذي التوتر الضعيف.

لقد تم وضع إنارة عامة وموزعة من خلال ثلاثة صفوف طولية من مصابيح الفلوريسنت المدمج، باستطاعات مناسبة، المركبة ضمن السقف المستعار، واستثنيت الزاوية الخلفية اليسرى من المحل التي يراد لها أن تبقى في العتمة تقريباً.

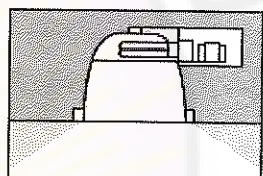
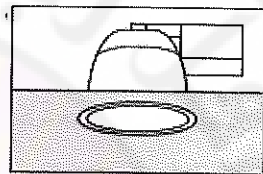
ومن أجل إنارة المعروضات وإبرازها تم وضع مشعات إنارة بين كل جهازين من أجهزة الميثال هاليد. وقد اختار المصمم وضع زوج من المشعات إلى جانب بعضهما ضمن السقف المستعار، حتى ليبدو أن كل منهما جهاز واحد ذو لمبتين، فشكات المشعات الثلاثة صفوف طولية أيضاً في سقف المحل. ويمكن كذلك لهذه المشعات أن تكون من الهالوجين ذي التوتر الضعيف كتلك المركبة للمدخل وللواجهة.

يلاحظ في هذا الترتيب لأجهزة الإنارة مقارنةً بسابقه، على سبيل المثال، إمكانية الحصول على سوية إنارة واحدة متجانسة وعالية لجميع نقاط المحل، طبعاً عدا عن الزاوية الخلفية اليسرى منه، إذا طُلب 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 موضعٍ منه. كما يلاحظ في هذا الترتيب لأجهزة الإنارة عدم وجود سلك على السقف، إلا طبعاً أمام الباب في المدخل والواجهة، على عكس الترتيب السابق، الذي علّق في سقفه المستعار سلك معدنية حاملة للمشعات على ثلاث جهات منه. لقد تم الحفاظ هنا على شكل معين منتظم للسقف المستعار لم تسيء إليه السلك.

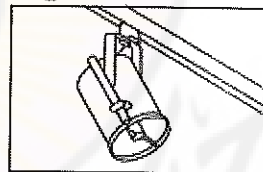
لقد اختار المصمم هنا أن تكون إنارة جميع أجهزة الإنارة، كما في الحالة السابقة، إنارة مباشرة إلى الأسفل أو إلى المعروضات.



سبوتات موجهة مخفية من
الهالوجين الضعيف التوتر



سبوتات مخفية من
الفلوريسنت المدمج



سبوت هالوجين قابل للحركة
والتوجيه مركب على سكة

الشكل (٢-٨٧) توزع أجهزة الإنارة على السقف وأشكالها ونوعيتها

٥- الحالة الخامسة:

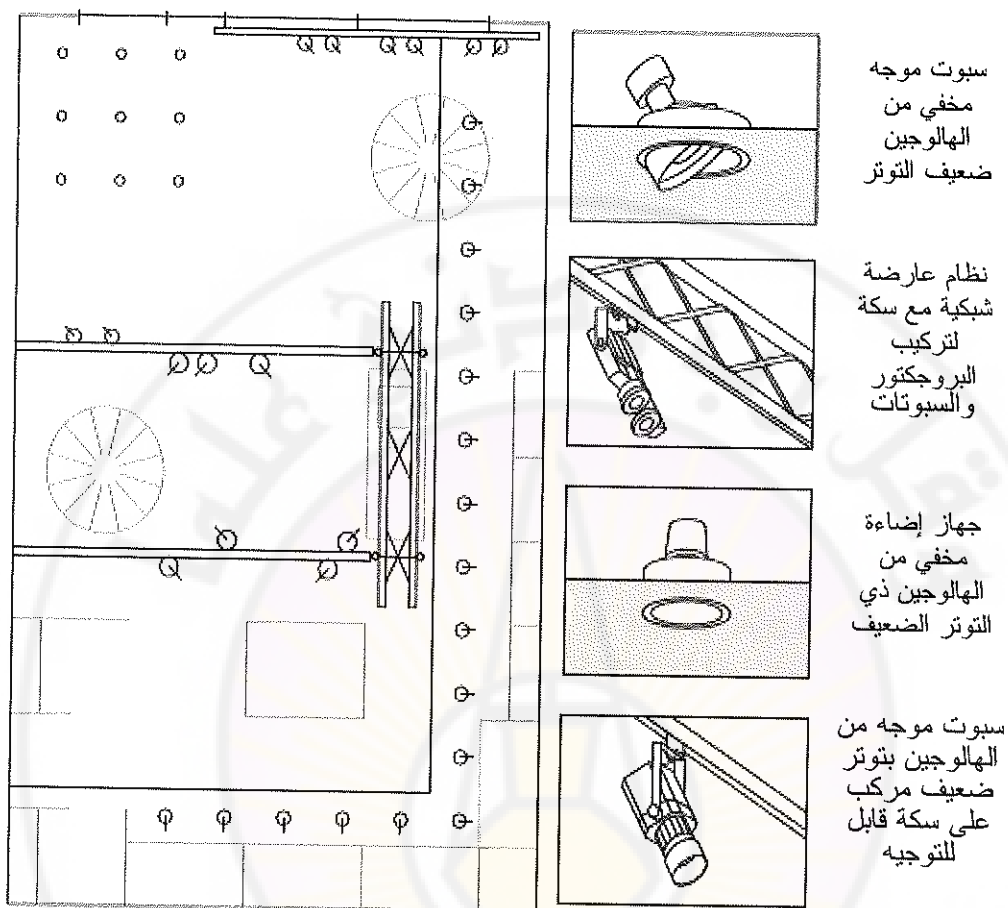
الشكل (٢-٨٨) يبين توزيع أجهزة الإنارة على السقف وأشكال ونوعية أجهزة الإنارة المستخدمة.

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 العروض المتلفة، للدعاية. وقد أهملت الإنارة العامة الموزعة بشكل مقصود. فقد تم الاكتفاء بما يصل من الإنارة الموجهة من المشعات المركبة في السقف المستعار وعلى السكك.

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 معروضات مميزة هنا وإبارتها 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 معروضاته. إن جهاز العرض يشكل عاملاً أساسياً في عملية جذب الزبائن، فهذا الجهاز سيعرض المنتجات التي تباع في هذا المحل أيضاً، وربما بالإضافة إلى منتجات أخرى لنفس الشركة المشغلة للبوتيك.

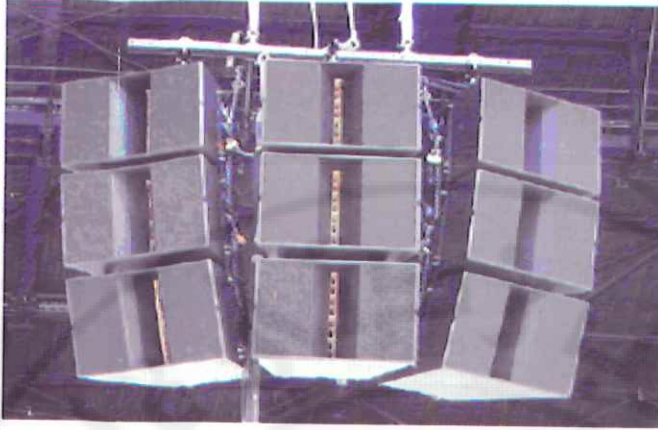
بعد هذا البوتيك بهذا الشكل عبارة عن مركز دعائية وإعلان وبقدر مماثل محل بيع تجاري.



الشكل (٢-٨٨) 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



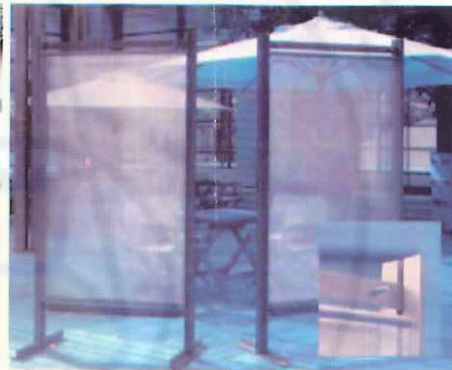
الشكل (٢٩-١) يبين مدرجاً في الهواء الطلق في مدينة برلين/ بألمانيا مع منصة، وتبدو فيها مكبرات الصوت (من نوع مجموعات التكبير) محاطة بالدوائر. على جانبي المنصة من اليمين واليسار تظهر مكبرات الصوت الرئيسية. وبين صفوف الجمهور في الوسط مكبرات الصوت للمقاعد الخلفية. وفي الصورة الجانبية على اليمين يظهر أحد الأعمدة الصوتية المستخدمة بشكل منفصل



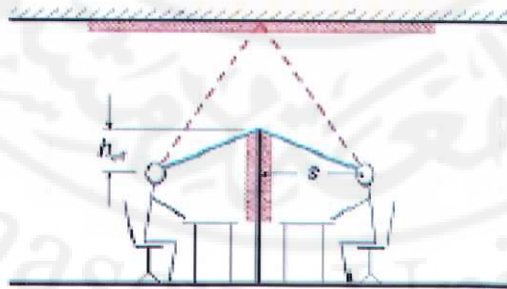
الشكل (٣٦-١) قاعة للاستخدامات الموسيقية وتلاحظ فيها السطوح المحدبة الملساء على الجدران والسقف لانتشار أفضل ومناسب للصوت



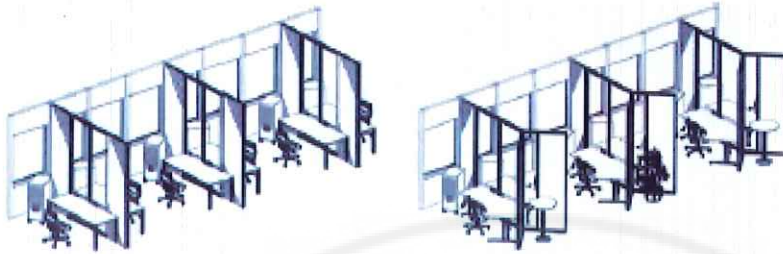
الشكل (٣٨-١) مثال على استخدام العزل الصوتي في أماكن العمل



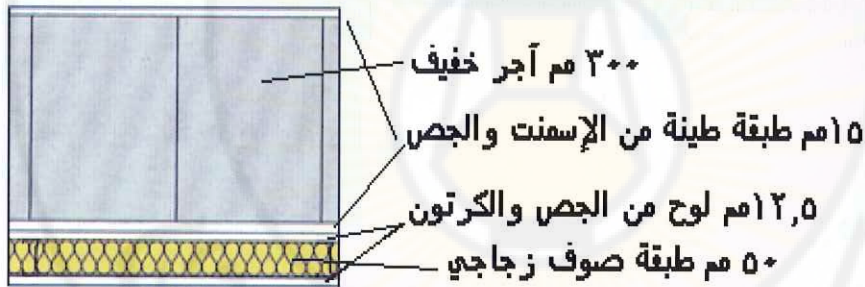
الشكل (٣٧-١) استخدام مواد ماصة للصوت متحركة في قاعة متعددة الاستخدامات



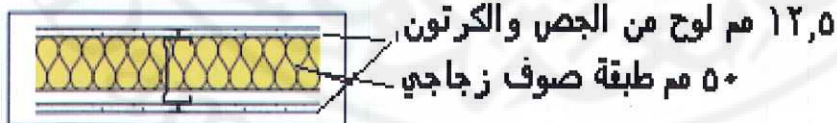
الشكل (٣٩-١) عزل صوتي بين موظفين يجلسان متقابلين



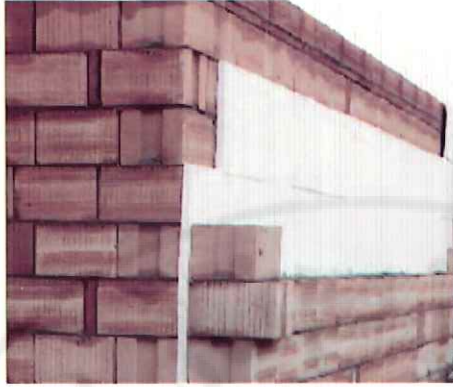
الشكل (٤٠-١) بعض أشكال العزل الصوتي في أماكن العمل



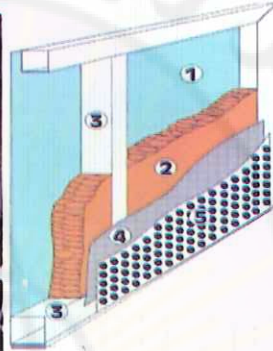
الشكل (٤١-١) مقطع في حجر (طوبة بناء) يستخدم في بناء الجدران



الشكل (٤٢-١) مقطع في لوح عازل صوتياً يستخدم للأسقف والأجدران



الشكل (٤٣-١)
أحد أشكال العزل
الصوتي البسيط.
جداران بينهما
ألواح من
البوليستيرين

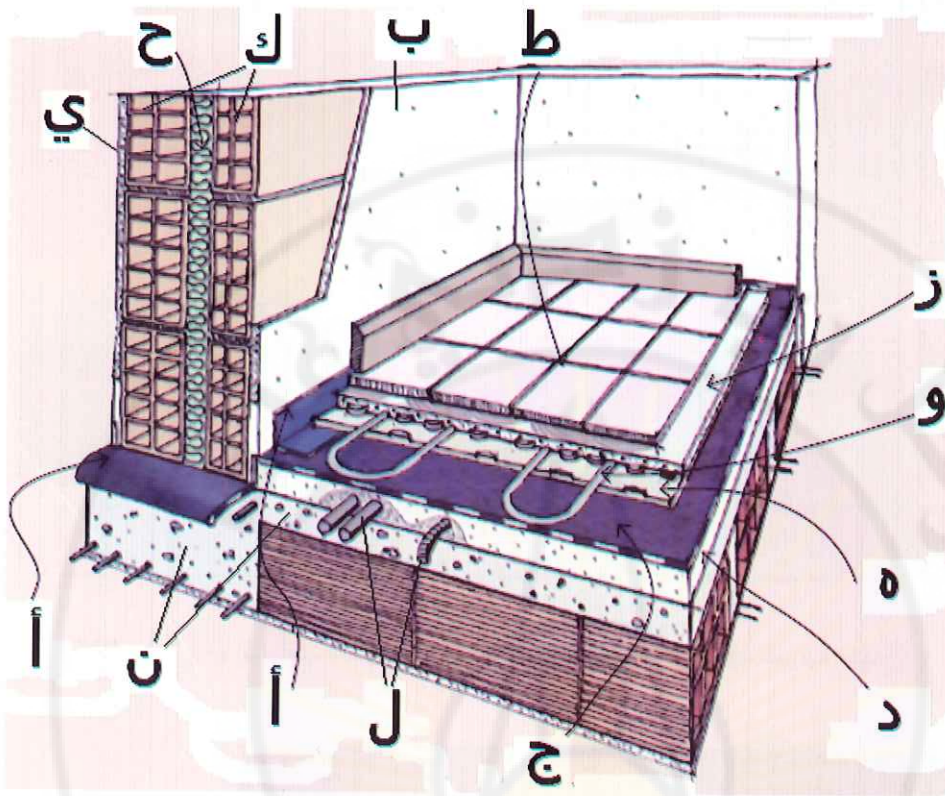


الشكل (٤٤-١) على اليسار يبين غرفة فيها الجدار الجانبي ويظهر عليه طبقات العزل
الصوتي المختلفة. والشكل على اليمين يبين الجدار المعزول بشكل تخطيطي مفصل
١- الجدار الأساسي. ٢- مادة عازلة (حشوة) عازلة. ٣- العوارض الخشبية.
٤- ألواح الجص والكرتون العازلة. ٥- طبقة طينة.



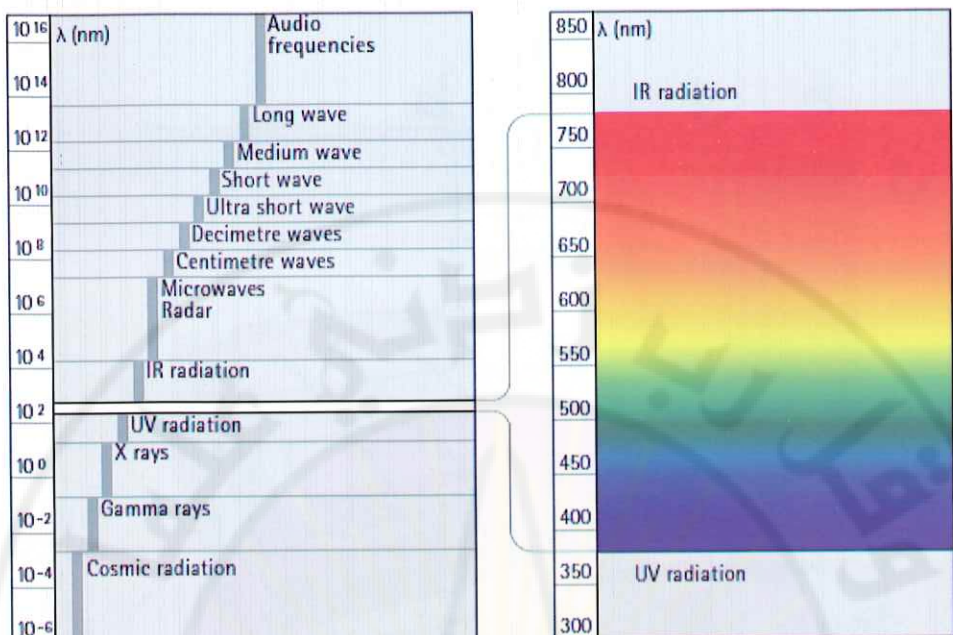
الشكل (٤٦-١) أحد أشكال تركيب
العوازل الصوتية على الأسقف

الشكل (٤٥-١) عزل الأرض عن
طريق فرش وتركيب ألواح من مادة
اللباد العازل للصوت

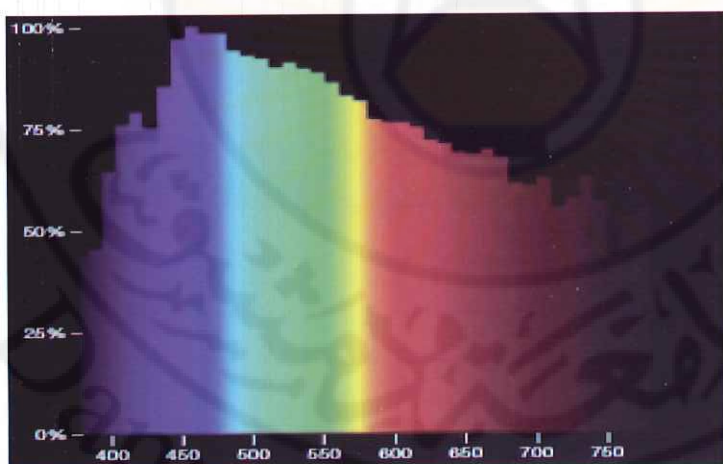


الشكل (٤٧-١) العزل الصوتي للأرض والجدار أثناء تشييد البناء

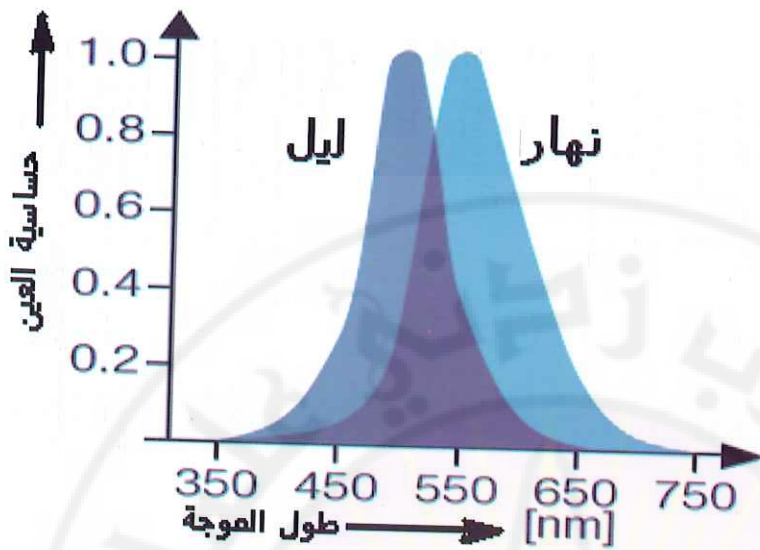
- أ - كاوتشوك أو مطاط عازل. ب- طبقة طينة داخلية. ج _ ألواح رغوية عازلة للصوت.
- د- طبقة شاب. هـ- ألواح حاملة لأنابيب التدفئة. و- أنابيب التدفئة.
- ز- صبة اسمنتية للتسوية. ح- لوح عازل للصوت من الصوف الزجاجي.
- ط- بلاط أو ماشابه. ي- طبقة طينة خارجية، ويمكن أن تكون حجر أو ماشابه.
- ك- جدارين من الطوب (البلوك)، داخلي رقيق وخارجي سميك.
- ل- أنابيب خدمات لأسلاك الكهرباء والماء وسواها. ن- سقف أو أرض من الإسمنت المسلح.



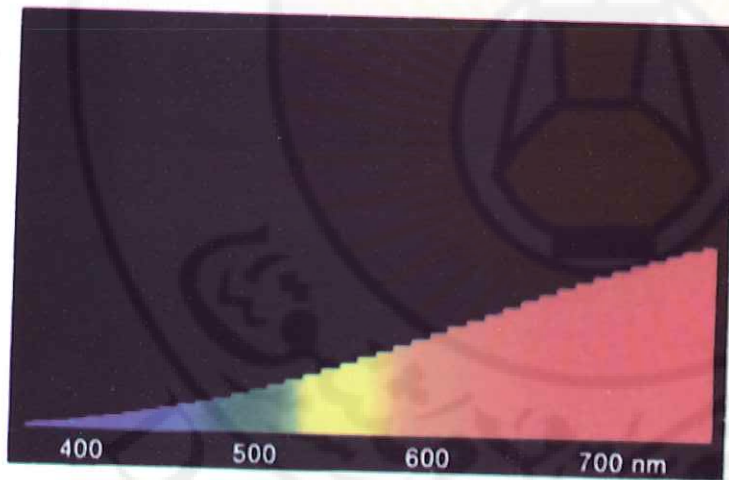
الشكل (٢-٥) إشعاعات الطيف الكهرومغناطيسي والإشعاعات الضوئية المرئية منها



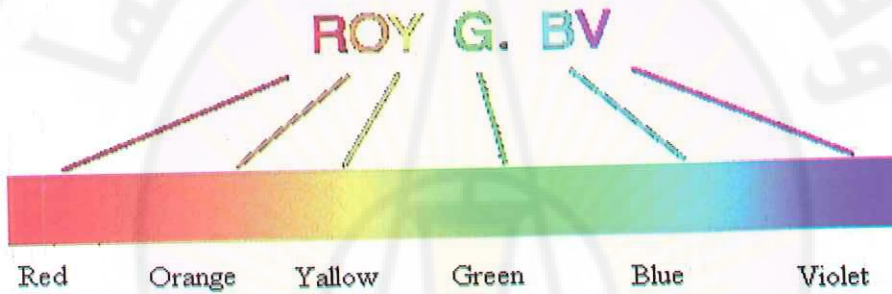
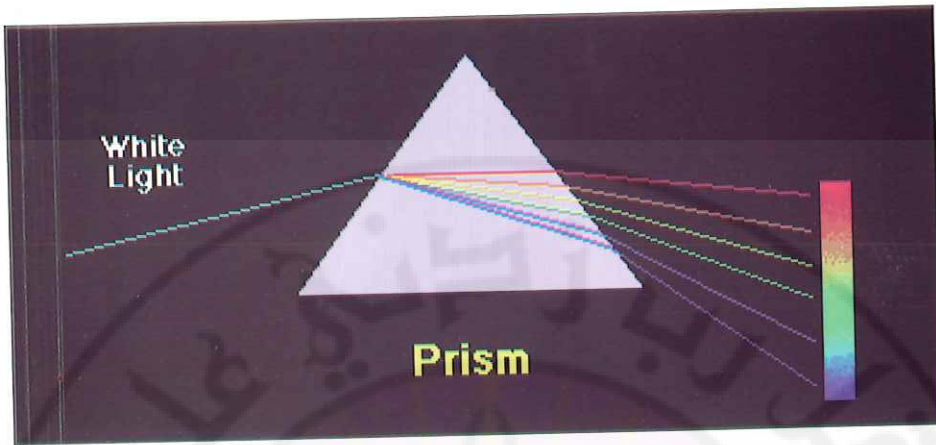
الشكل (٢-٦)
الطيف الضوئي
المرئي في
منتصف النهار



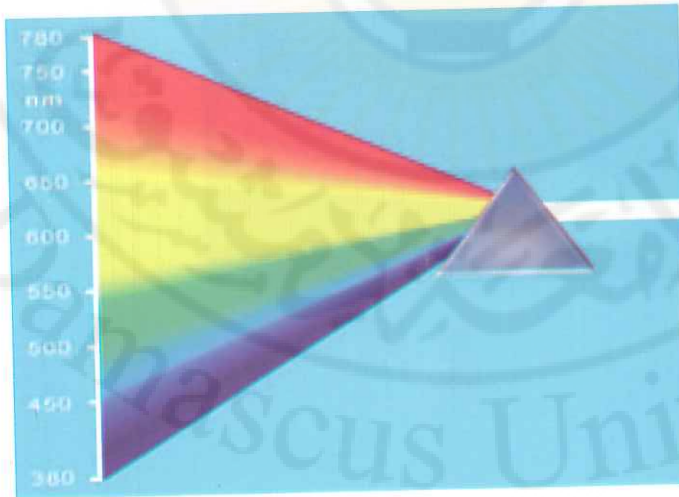
الشكل (٨-٢) منحنى نورانية العين في النهار والليل



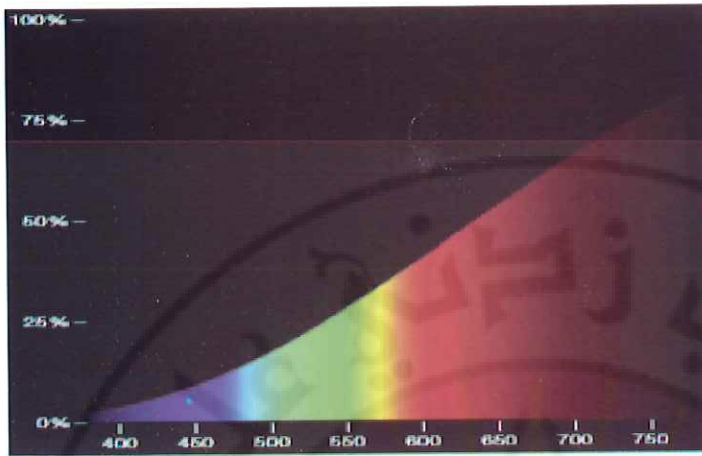
الشكل (٩-٢)
الطيف الضوئي
للمصباح
المتوهج العادي



الشكل (٢-١٢) تحليل الضوء الأبيض عبر الموشور الزجاجي وطيف الألوان الناتجة عنه

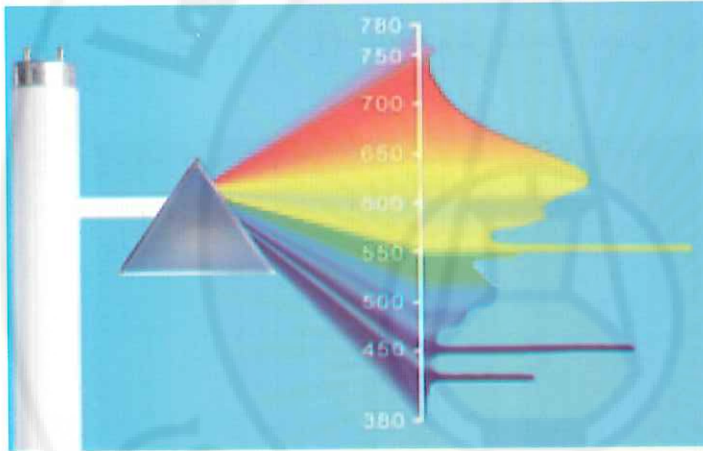


الشكل (٢-١٣)
إعادة تركيب
ألوان الطيف
الضوئي عبر
موشور إلى لون
الضوء الأبيض



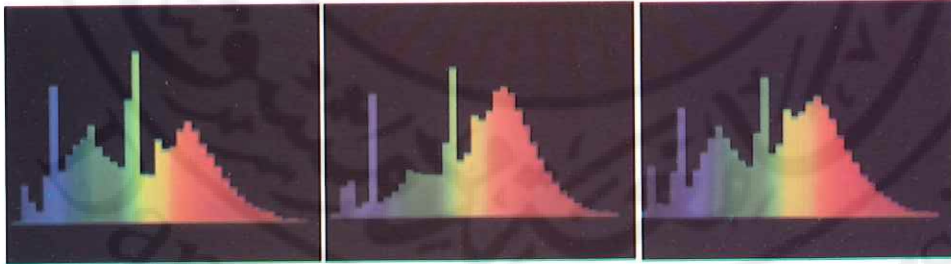
الشكل (٢-٢٨)

الطيف
الضوئي
لمصابيح
الهالوجين
المتوهجة



الشكل (٢-٢٩)

الطيف الضوئي
لمنبرع إنارة من
الفلوريسنت
محطاً عبر
موشور



A

B

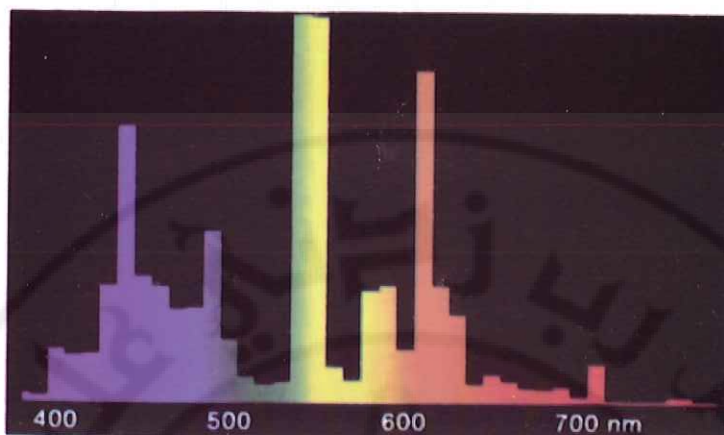
C

الأبيض بلون ضوء النهار tw

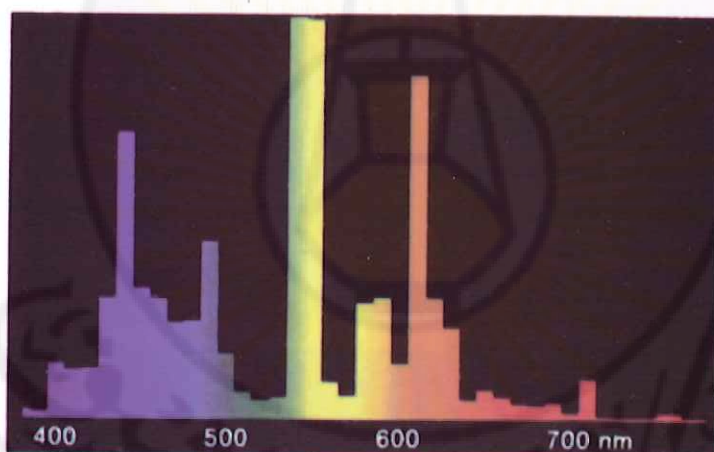
الأبيض الحيادي nw

اللون الأبيض الحار ww

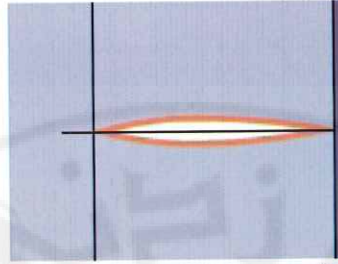
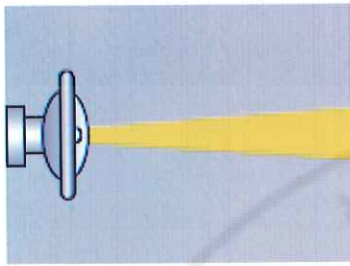
الشكل (٢-٣٠) الطيف الضوئي لألوان إنارة أجهزة الفلوريسنت الرئيسية



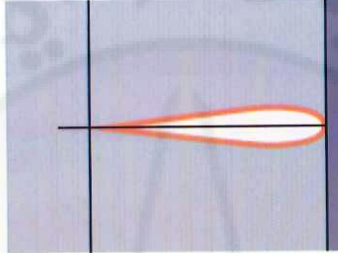
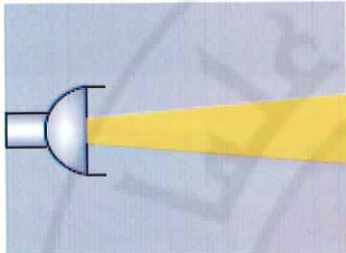
الشكل (٢-٣٨) الطيف الضوئي لمصباح الميتال هاليد



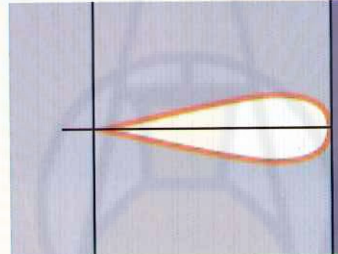
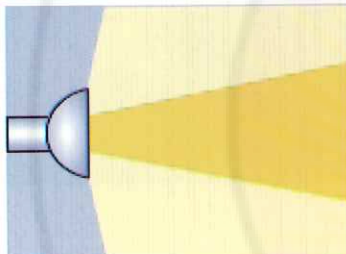
الشكل (٢-٣٩) الطيف الضوئي لمصباح بخار الصوديوم
بالضغط المرتفع



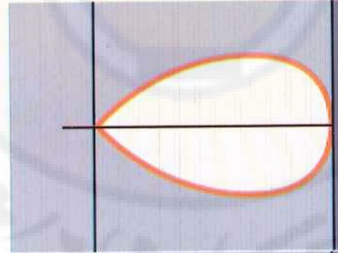
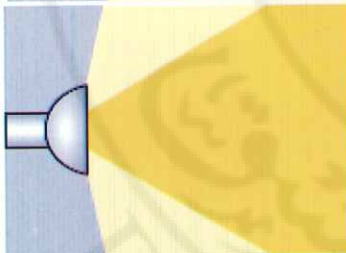
الشكل (٤٤-٢)
المشع النقطي 8°
ومنحني توزيع
الشدة الضوئية له



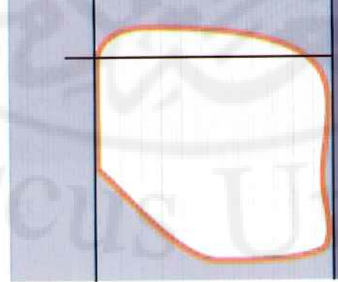
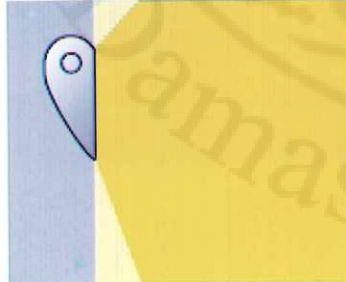
الشكل (٤٥-٢) المشع
النقطي ($12^\circ - 24^\circ$)
ومنحني توزيع
الشدة الضوئية له



الشكل (٤٦-٢) المشع
الخاص ($24^\circ - 38^\circ$)
ومنحني توزيع
الشدة الضوئية له



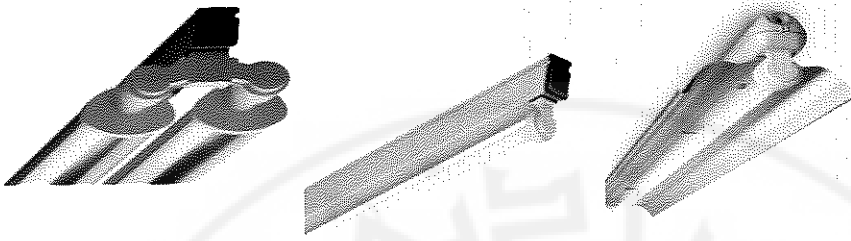
الشكل (٤٧-٢) المشع
العريض 60° ،
ومنحني توزيع
الشدة الضوئية له



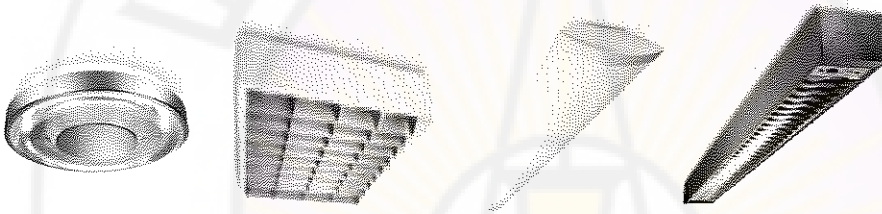
الشكل (٤٨-٢)
المشع النائر
للضوء، ومنحني
توزيع الشدة
الضوئية له



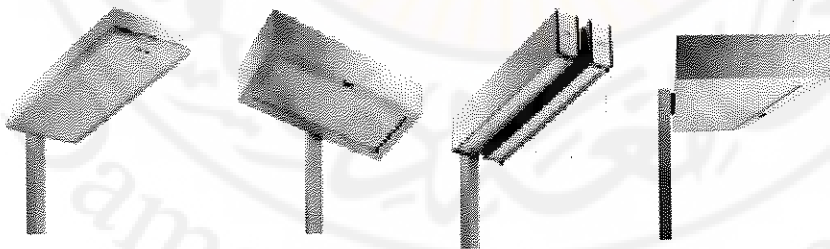
الشكل (٥١-٢) إنارة بعض الأشكال والتحف بطرق مختلفة



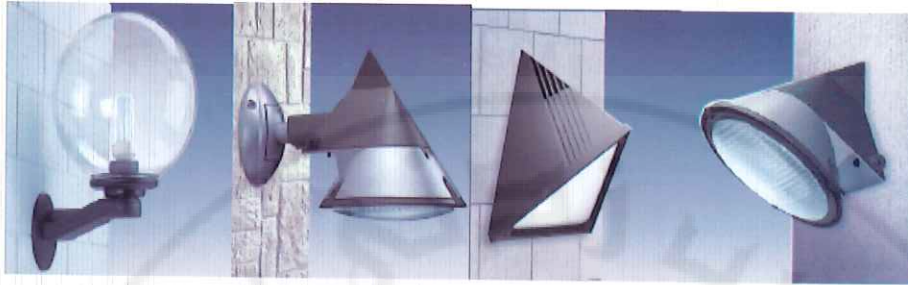
الشكل (٢-٥٤) أجهزة إنارة فلوريسنت تثبت على الأسقف بأبسط أشكالها، مع عاكس بسيط من المعدن أو من دونه. يمكن تركيبها أيضاً على الجدران



الشكل (٢-٥٥) أجهزة إنارة فلوريسنت تركيب مباشرة على الأسقف. النائر فيها من الزجاج أو البلاستيك الحراري أو الستانلس ستيل اللامع والعاكس من الستانلس ستيل أو الألمنيوم اللامع



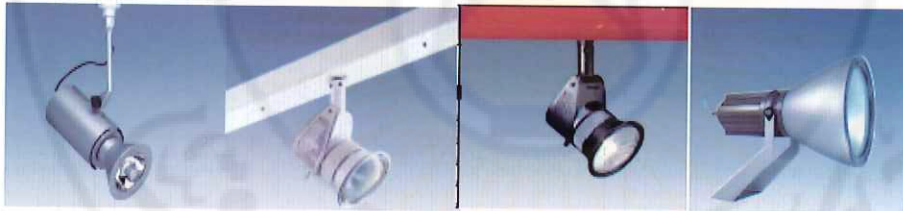
الشكل (٢-٥٦) أجهزة إنارة من الفلوريسنت واقفة على الأرض بعاكس ونائر



الشكل (٥٧-٢) أجهزة إنارة جدارية مختلفة للتركيب الخارجي



الشكل (٥٨-٢) بعض من أجهزة الإنارة التي تستخدم للدلالة



الشكل (٥٩-٢) مشعات من الهالوجين الموجهة مركبة على سكك خاصة



الشكل (٦٠-٢) مشعات إنارة ملونة من الهالوجين للأسقف المستعارة



الشكل (٢-٦١) أجهزة إنارة هالوجينية موجهة (مَشَعَات) بأشكال مختلفة للإنارة الخارجية ويمكن استخدامها لبعضها للإنارة الداخلية أيضاً



الشكل (٢-٦٣) جهاز إنارة فلوريسنتي مدمج: ٢X٥٠W للإنارة الداخلية والخارجية، يركب على الأسقف عاكسه من الستانلس ستيل والناثر زجاجي شفاف



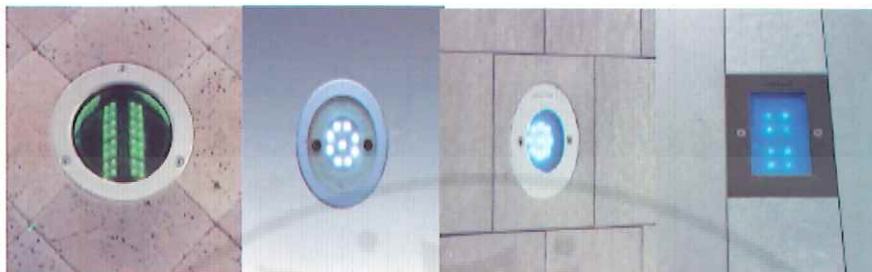
الشكل (٢-٦٢) جهاز إنارته ميتال هاليد يركب في الأسقف المستعارة. الناثر من الزجاج الحراري الشفاف والعاكس من الألمنيوم اللامع



الشكل (٢-٦٥) جهاز مصباح بخار الصوديوم كتيمة جداً للإنارة التزيينية الخارجية. ناثر من الزجاج الحراري المقاوم. يركب على عمود. يغلب استخدامه لإنارة الحدائق والأروقة والشوارع الفرعية السكنية



الشكل (٢-٦٤) مصباح بخار زئبق ضغط عالٍ كتيمة للإنارة التزيينية الخارجية. يركب على عمود. يغلب استخدامه لإنارة 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 الهالوجين متعددة الاتجاهات



الشكل (٦٩-٢) أجهزة إنارة متوهجة هالوجينية سقفية (سبوتات)



الشكل (٦١-٢) أجهزة إنارة هالوجينية موجهة (مشعات) بأشكال مختلفة للإنارة الخارجية ويمكن استخدامها لبعضها للإنارة الداخلية أيضاً



الشكل (٦٣-٢) جهاز إنارة فلوريستي مدمج: ٢X٥٠W للإنارة الداخلية والخارجية، يركب على الأسقف عاكسه من الستانلس ستيل والناثر زجاجي شفاف



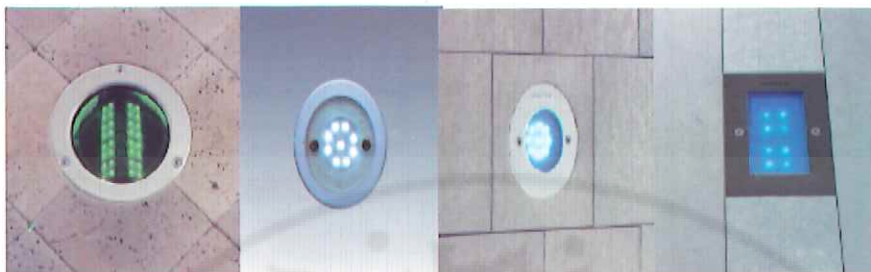
الشكل (٦٢-٢) جهاز إنارته ميتال هاليد يركب في الأسقف المستعارة. الناثر من الزجاج الحراري الشفاف والعاكس من الألمنيوم اللامع



الشكل (٦٥-٢) جهاز مصباح بخار الصوديوم كتيمة جداً للإنارة التزيينية الخارجية. ناثر من الزجاج الحراري المقاوم. يركب على عمود. يغلب استخدامه لإنارة الحدائق والأروقة والشوارع الفرعية السكنية



الشكل (٦٤-٢) مصباح بخار زئبق ضغط عالٍ كتيمة للإنارة التزيينية الخارجية. يركب على عمود. يغلب استخدامه لإنارة الحدائق والأروقة والشوارع الفرعية السكنية



الشكل (٢-٦٦) أجهزة إنارة من الديودات الباعثة للضوء بألوان مختلفة



الشكل (٢-٦٧) أجهزة إنارة تزيينية خارجية للحدائق والشوارع الفرعية



الشكل (٢-٦٨) أجهزة إنارة سقفية من الهالوجين متعددة الاتجاهات



الشكل (٢-٦٩) أجهزة إنارة متوجهة هالوجينة 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 Bosten 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



المصطلحات العلمية

عربي	إنكليزي
امتصاص	Absorbing
مادة عزل صوتي	acoustic insulating material
طبقة عزل صوتي	acoustic insulating board
حزمة صوتية	Acoustical spectrum
علم الصوت	Acoustics
توتر المتناوب	Alternating Voltage
مطال	amplitude
محيط صوتي ساكن	Anechoic zone, dead room
أرغون	Argon
تخامد الصوت	Attenuation
حدود السمع	Audible limits
تردد راديوي	Audio frequency
التردد السمعي	Audio-frequency, Acoustic Auditory
النظام الصوتي	Audio-system
قاعة استماع	Auditorium
شدة السمع	Auditory acuity
حقل سمعي	Auditory sensation area
حزمة الترددات المنخفضة	Bass
بيل (واحدة قياس شدة الصوت)	bel
مصابيح مختلطة	Blended Lamps
علبة (صندوق)	Box

brightness	وضوح
Brom	بروم
Building	بناء
candela	شمعة (كانديلا , واحدة قياس الشدة الضوئية)
Cataloge	كاتالوج (دفتر المواصفات الفنية)
Cbuiltinloud speaker	مكبر صوت مخفي
Class of Protection	درجة الحماية
Compact fluorescent	فلوريسنت مدمج
components	مركبات
Compression	انضغاط
concerthall	قاعات موسيقى الكونسرت
conductors	نواقل
Controls	أجهزة التحكم
decibel	ديسيبل (واحدة قياس شدة الصوت)
Design	شكل
direct	مباشر
Directional lighting	إنارة موجهة
Directionality	توجيه الصوت
Discharge Lamps	مصابيح انفراغية
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	مصادر الضوء الكهربائية
Electric Luminescence	تألق أو تأين كهربائي
Electrical Energy	طاقة كهربائية
Electrical-devices	أجهزة كهربائية
Energy, work	طاقة
Expert	أخصائي
Filement	فتيل
Fluor	فلور
Fluorescent Light	ضوء الفلوريسنت
Flure	ممر، أو دهليز، ردهات
Focusing	تركيز
Frequency	تردد
Frequency range	مجال ترددي
Gamma rays	أشعة غاما
Gas	غاز
general dffusing	ناثر عام
General lighting	إنارة عامة
green	أخضر
Halogen Lamps	مصابيح الهالوجين
Hearing level	سوية السمع
Hearing threshold, threshold of audibility	عتبة السمع
Heat	حرارة
Hertz	الهرتز (واحدة قياس التردد)

High-pressure mercury vapor Lamps	مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط المرتفع (العالي)
Higt pressure Sodium Lamps	مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المرتفع
horn	شكل مخروط
Hum	ترداد
Humidity	رطوبة
Ignition	اشتعال
Illuminance	إنارة (الإنارة)
Incandescence	توهج حراري
Incandescent Lamps	مصابيح متوهجة عادية
infrared	تحت الحمراء
Infrasound	تحت السمعي
Insulating	عزل
Jod	يود
Krypton	كربتون
Lamp	مصباح
Lavalier microphone	لاقط قلادي
light	ضوء
Light amplification by stimulated emission of radiation (Laser)	أشعة ليزرية (الليزر)
Light contrast	تباين ضوئي
Light Emitting Diodes	ديودات باعثة للضوء
Linear source	منبع خطي
Local lighting	إنارة موضعية

Localized lighting	إنارة مركزة
Long wave	موجة طويلة
losses	ضباغات
loud speaker Combinations	مجموعات تكبير
Loudness	جهازة الصوت
Loud-speaker	مكبر الصوت
Low pressure Sodium Lamps	مصابيح بخار الصوديوم ذات الضغط المنخفض
Low-voltage	توتر منخفض
lumen	اللومن (واحدة قياس كمية الضوء)
Luminance	الوضوح
luminosity curve	منحني العين الضوئي (منحني نورانية العين)
luminous flux	سبالة ضوئية
luminous intensity	شدة ضوئية
Machine	آلة
Maintenance	صيانة
Maintenance factor	عامل الصيانة والتقدم
Medium wave	موجة متوسطة
Metal	المعدن
Metal-Halide Lamps	مصابيح الميتال هليد
Microphone	لاقط (المايكروفون)
Microwave	موجة مكروية
Neutral reflection	انعكاس حيادي
Nitroge	نتروجين

Noise	ضجيج الأصوات
Paint	الدهان
pascal	باسكال (واحدة قياس الضغط)
Phon	فون (واحدة قياس جهارة الأصوات)
Phon-scala	تدرجات الفون
Photon	فوتون
Point source	منبع نقطي
Poished	لماع أو لامع (صقيل)
Prevention	وقاية
radiant energy	قدرة مشعة
Rarefaction	تخلخل
Recption	مكان الاستقبال
Reflection	انعكاس
relative efficiency curve	المنحني الضيائي النسبي
Resonance	طنين
Room index	عامل أو قرينة الغرفة
Semidirect	شبه مباشر (مباشر جزئي)
Sensitivity	حساسية السمع
Service	خدمة
Sound	صوت
Sound absorbion	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 الطيفي
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	مصباح التنغستين (المصباح العادي)
Ultrasound	فوق السمع
Ultraviolet	فوق البنفسجي
Ventilation	تهوية

vision	رؤية
Voltage	توتر كهربائي
Wave	موجة
Wavelength	طول الموجة
Wellphys pitch	شدة الصوت
wireless microphon	لاقط لاسلكي
Working places	أماكن العمل
yellow	أصفر

اللجنة العلمية:

الأستاذ الدكتور عبد الرزاق معاد	كلية الفنون الجميلة
الأستاذ الدكتور نديم مخول	كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
الأستاذ الدكتور أبي سلمان	كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

المدقق اللغوي:

الدكتورة منى الحمد

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات

