SY0200981

SYRIAN ARAB REPUBLIC
ATOMIC ENERGY COMMISSION (AECS)
DAMASCUS, P.O.BOX 6091

REPORT ON SCIENTIFIC BIBLIOGRAPHIC STUDY DEPARTMENT OF TECHNICAL SERVICES

USING GLASS AS ASHIELDING MATERIAL

ENG. S. YOUSEF

AECS – TS \RSS 427

APRIL 2002

33/25

PLEASE BE AWARE THAT
ALL OF THE MISSING PAGES IN THIS DOCUMENT
WERE ORIGINALLY BLANK

SY0200981

الجمهورية العربية السورية
هيئة الطاقة الذرية
دمشق – ص.ب ٦٠٩١

تقرير عن دراسة علمية مكتبية

قسم الخدمات الفنية

استخدام الزجاج في التدريع الإشعاعي

المهندس سراج يوسف

هـ ط ذ س- خ ف/ ت د ع ٤٢٧

نيسان ٢٠٠٢

الجمهورية العربية السورية
هيئـــــة الطاقـــــة الذريـــــة
قسم الخدمات الفنية

استخدام الزجاج في التدريع الإشعاعي

هـ ط ذ س- خ ف/ ت د ع ٤٢٧ نيسان ٢٠٠٢

حقوق النشر:

يسمح بالنسخ والنقل عن هذه المادة العلمية للاستخدام الشخصي بشرط الإشارة إلى المرجع ،أما النسخ والنقل لأهداف تجارية فغير مسموح بهما إلا بموافقة خطية مسبقة من إدارة الهيئة.

استخدام الزجاج في التدريع الإشعاعي

م.سراج يوسف

قسم الخدمات الفنية- هيئة الطاقة الذرية السورية- ص.ب.٦٠٩١- دمشق- سورية

خلاصة:

في الدراسة التالية تم مناقشة عدة مفاهيم تقنية و نظريـــة، إضافـــة لبعـض المســـائل المتعلقـــة باستخدام الزجاج كمادة تدريعية، وعرضت في طيّات الدراسة بعض التصميمات المبدئيـــة لأنـــواع مختلفة من نوافذ التدريع الرصاصي (Radiation Shielding Windows)

الكلمات المفتاحية: التدريع الإشعاعي، نوافذ التدريع الإشعاعي، الزجاج، الزجـــاج الرصـــاصي، ، الخلايا الحارّة.

Using Glass as a Shielding Material

S.Yousef

Department of Technical Services, Atomic Energy Commission of Syria P.O.Box 6091, Damascus, Syria

Abstract

Different theoretical and technological concepts and problems in using glass as a shielding material was discussed, some primarily designs for different types of Radiation Shielding Windows was illustrated.

Key Words

Shielding, Radiation Shielding Windows, Lead glass, Glass, Hot cells.

فهرس المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
١-مقدمة:	٢
٢-بنية الزجاج	٥
٣-تركيب الزجاج:	٩
٣-١-مكونات الزجاج	٩
٣-٢-أهم الخامات المستخدمة في صناعة الزجاج	١٠
٤-خواص الزجاج	١١
٤-١-الخواص الميكانيكية	١١
٤-٢-الخواص الكيماوية	١٢
٤-٣-الخواص الفيزيائية	١٢
٥-تقانات صناعة الزجاج	١٧
٥-١-مبادئ عامة	١٧
٥-٢-تحضير الخلطات الزجاجية و طرق حسابها	١٧
٦-الزجاج الرصاصي	٢٣
٦-١-استعمالاته	٢٣
٦-٢-تركيبه و خواصه	٢٨
٦-٣-تصميم النوافذ الرصاصية	٣٧
٦-٤-أمثلة عملية لنوافذ من الزجاج الرصاصي	٣٩
٧-المراجع	٤٥

استخدام الزجاج في التدريع الإشعاعي

م.سراج يوسف –قسم الخدمات الفنية

١-مقدمة:

يعد الزجاج من أقدم المواد التي استعملها الإنسان وأكثرها انتشاراً، و قد وجدت آثار تدل على صناعة الزجاج تعود إلى أكثر من 4000 عام،كما يمكن أن ينشأ الزجاج بشكل طبيعي حول البراكين (الزجاج البركاني–Obsidian).

و خلال الخمسين سنة الأخيرة حصل توسع كبير و مثير جداً في استعمالات و تطبيقات الزجاج ، فلم يعد استخدام الزجاج محصوراً في زجاج النوافذ و في عبوات السوائل، و العدسات، بل شمل استخدامه مجالات الاتصالات و التقانات الحيوية و التقانات النووية و الإشعاعية، بالإضافة للتوسع الكبير في الاستخدامات في الأجهزة البصرية.

و مع هذا التوسع في التطبيقات توسعت تقانات الزجاج، و تنوعت تراكيبه حتى بلغت عدة مئات من الأنواع المختلفة التركيب المستخدمة على نطاق تجاري، عدا الأنواع الخاصة و التي لا تزال تحت التطوير في المخابر.

و لعلنا هنا لا يمكن أن يتسع المجال لنا لتعداد كافة تطبيقات الزجاج المستخدمة حالياً ، و لكننا في هذه العجالة لابد أن نذكر بعض التطبيقات الحديثة الأكثر انتشاراً:

- الألياف الزجاجية:

تمثل الألياف الزجاجية تطوراً جديداً في حقل صناعة الزجاج، و هي تتألف من زجاج أكسيد البور، و تكون الألياف الزجاجية رفيعة جداً، و من خواصها المهمة قابليتها للتحمل الكيماوي، بالإضافة لأنها قوية ميكانيكياً حتى أنها أقوى من بعض أنواع الفولاذ و هي أيضاً خفيفة و لينة جداً، إن هذه الخواص سمحت باستعمال الألياف الزجاجية لأغراض مختلفة كثيرة منها في تقوية البلاستيك، و في العزل الحراري و الصوتي، و كمواد نسيجية.

- الزجاج الرغوي:

و هو زجاج متعدد الخلايا يستعمل كعازل للصوت و الحرارة، و يتوقف حجم وعدد الخلايا المتكونة على التاريخ الحراري للزجاج.

- الزجاج المقسى:

تستعمل عمليات التقسية و التلدين لخلق أو التخلص من الإجهادات الناتجة عن تدرج درجات الحرارة أثناء التبريد، فعند تقسية الزجاج يسخن إلى درجة أعلى من نقطة التلدن ثم يبرد بسرعة مما يؤدي إلى تشكل إجهاد دائم في الزجاج، و بما أن الزجاج ينكسر دائماً من

السطح، و بما أن السطح في هذه الحالة واقع تحت تأثير الضغط، فإن الزجاج المقسى أقـــوى بكثير من الزجاج الملدن العادي.

- الزجاج الحساس للضوء:

تطورت صناعة الزجاج الحساس للضوء في السنوات الأخيرة و أصبح متوافر بالأسواق منـــذ سنوات، يحتوي هذا النوع من الزجاج على هالوجينات الفضة و لذا فهو يتأثر بـــالضوء كمـــا يتأثر فلم التصوير عند تعرضه للضوء. و يستعمل هذا النوع من الزجاج لصنـــع النظـــارات الشمسية و صنع النوافذ.

- الزجاج الماص للحرارة و العاكس لها:

تم تصنيع أنواع من الزجاج لها قدرة عالية على الامتصاص الحـــراري و العكـــس، و ذلـــك بإضافة مواد تمتص الأشعة تحت الحمراء، يمكن الاستفادة من هذه الخاصة و بـــالذات فـــي المناطق الباردة، و العكس بالعكس.

- الألياف الزجاجية البصرية:

طورت هذه الألياف لمجال واسع من الاستخدامات كالاتصالات، الحساسات الضوئيـــة، نقـــل الصور و الطاقة الضوئية، و كل نوع من هذه التطبيقات يحتاج إلى تصميـــم معيـــن لليـــف الزجاجي، و اختيار دقيق للمواد المكونة له، إن المبدأ الرئيسي لهذه التطبيقات هو أن الضـــوء يمكن قيادته و توجيهه ضمن مسارات منحنية، عن طريق عدد من الانعكاسات المتتالية ضمن ليف يحقق بعض الاشتراطات الخاصة، بحيث يكون الفاقد الطاقي معدوماً عملياً.

- الزجاج الكهربائي (Electrical Glasses, ionically conducting Systems):

على الرغم من أن الزجاج استخدم في الماضي على نطاق واسع في العزل الكـــهربائي، إلا أن بعض الأبحاث الحديثة تمكنت من التوصل لأنواع خاصة من الزجاج ذات ناقليـــة كهربائيـــة عالية جداً في درجة الحرارة العادية، هذه الأبحاث قد تؤدي إلى نتائج كبـــيرة علـــى صعيـــد الأجهزة الكهربائية، مثل إنقاص المقاومة الداخليـــة فـــي البطاريـــات، و أزمنـــة الاســـتجابة (response times)لأجهزة العرض البصرية (Optical display devices) ، و قد طـــورت حديثـــاً جداً بعض بطاريات الليثيوم الحاوية على الزجاج.

- الزجاج النشيط حيوياً (The bioactive glass):

يعتبر الجسم الحي محيطاً معقداً بالنسبة للمهندسين،حيث أنهم يملكون القليل من الخـــبرة فـــي التعامل معه، فهو مزيج من الحرارة المرتفعة، و المحاليل الملحية، و الأنزيمات المذيبـــة، و البروتينات و الأحماض الأمينية، وبالتالي يعد محيطاً أكالاً (corrosive) شديداً لمعظم المـــواد، إضافة إلى حساسية الجسم الشديدة للأجسام الغريبة.

أثبتت بعض أنواع الزجاج قدرة فائقة للتأقلم مع هذه الأوضاع، بحيث استخدمت للتعويض عن العظام، كما استخدم السيليكون الخاص للتعويض عن بعض الأنسجة في الجسم.

- استعمال الزجاج في الحشوات السنية:

تم تطوير أنواع خاصة من الزجاج للاستخدام كإسمنت لحشو الأسنان، لما لها من ميزات كبيرة في هذا المجال.

- استعمال الزجاج في تثبيت النفايات النووية:

إن قضبان الوقود النووي المستهلكة في المفاعلات تحتوي على نواتج انشطار عالية الشدة الإشعاعية و السمية، و في كثير من البلدان تمت المعالجة الكيماوية لهذه القضبان لاستعادة بقايا الوقود النووي في هذه القضبان، أو للإستحصال على بعض المواد النادرة المتولدة في هذه القضبان.

إن بقايا المعالجة الكيماوية للوقود المستهلك الخطرة جداً تنتج عادةً في حالة سائلة، و بالتالي تكون سهلة التسرب للوسط الخارجي، و قد اتفق العالم أجمع على ضرورة تثبيت (immobilize) هذه النفايات بالتزجيج (vitrifiction)، و ذلك باستخدام الزجاج البوروسيليكاتي، لمقاومته العالية من جهة و تطور الأبحاث المتعلقة بتكنولوجيا إنتاجه من جهة أخرى.

- الزجاج الرصاصي:

عند التعامل مع المواد المشعة لابد من استخدام حواجز تخفف من خطر الأشعة الصادرة عنها إلى الحدود المقبولة، تدعى هذه الحواجز عادة بالدرع الإشعاعي (Radiation Shield)،و تتناسب سماكة الدروع عادة مع طاقة الأشعة و النشاط الإشعاعي للمادة المشعة.

و هنا تبرز المشكلة في كيفية مراقبة العمل من خلف الدروع، و يمكن حل هذه المشكلة باستخدام درع من مادة شفافة كالزجاج مثلاً.

طورت أنواع خاصة من الزجاج ملائمة لهذا الغرض منذ بداية التعامل مع المواد المشعة و المواد النووية، و كانت هذه التقانة جزءاً مكملاً للتقانة النووية، وتم اختبار العديد من التركيبات لأنواع الزجاج، لتحقيق الزيادة في كثافة الزجاج من جهة (و الملاءمة لزيادة الفعالية التدريعية ضد الأشعة الكهرطيسية المؤينة) و تحسين مقاومة الزجاج لتأثيرات الأشعة المخربة.

وتتوافر لدى العديد من دول العالم المتقدم حالياً، العديد من التصاميم لنوافذ التدريع و التي طورت وفق احتياجاتها الخاصة.

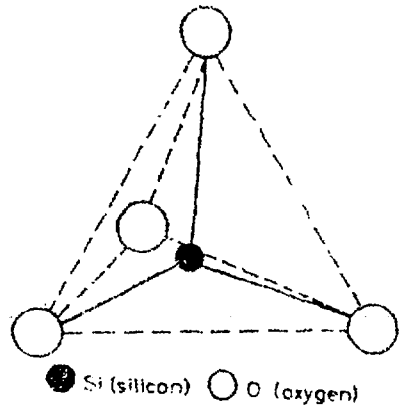
التقرير التالي هو محاولة لفهم تركيب الزجاج، و تقاناته و خواصه الأساسية مع التأكيد على الزجاج الرصاصي المستخدم في التدريع الإشعاعي، مع بعض الاقتراحات العامة لنماذج من

أنواع الزجاج الرصاصي و النوافذ التدريعية التي طورت في مختلف بلدان العالم.
و أملنا كبير في أن يكون هذا التقرير النظري دافعاً للباحثين في سورية لمزيد من الاهتمام بتقانة الزجاج و الذي كانت بلادنا من أوائل البلاد التي عرفت الزجاج في عصور ما قبل الميلاد، كما نأمل أن تتم أبحاث و تجارب عملية بخاصة في مجال تطوير نوافذ التدريع الرصاصية و التي تعد من أكثر المواد غلاءاً في التقانة النووية (حيث تبلغ أسعار بعض النوافذ حوالي ١٥٠ ألف دولار أمريكي)، بالإضافة للقيود الدولية الكبيرة المفروضة على توريد هذه المادة للبلدان النامية ،مثل بلدنا الحبيب-سوريا-.

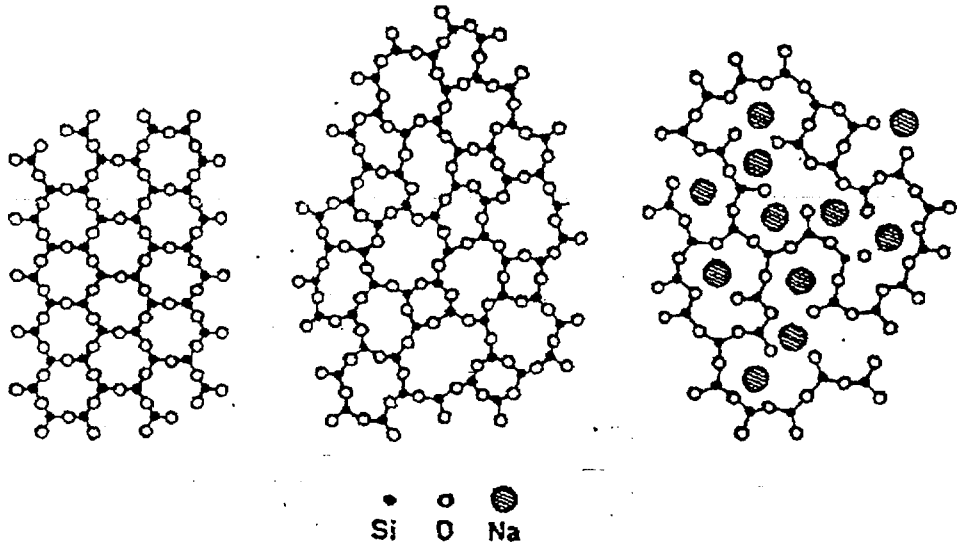
٢-بنية الزجاج:

تدعى المادة عادة بأنها صلبة إذا حافظت على شكلها و حجمها، و لكن ما هذه إلا علامات خارجية تميز الحالة الصلبة للمادة، و من الناحية الفيزيائية لا تعطي هذه العلامات الحدود الفاصلة الواضحة بين الحالتين الصلبة و السائلة، ففيزيائياً يقصد بالأجسام الصلبة تلك المواد التي تملك بناءاً بلورياً و بعبارة أخرى يجب بالضرورة أن يملك الجسم الصلب نظاماً بعيداً في ترتيب جسيماته.
لبعض السوائل، مثلاً الغليسرين لزوجة عالية، و لكن الصمغ و الزفت لهما لزوجة أعلى و تزداد هذه اللزوجة عند تبريد هذه السوائل، و لا تختلف مثل هذه المواد ظاهرياً بشيء عن المواد الصلبة، أي أنها تحافظ على شكلها و حجمها، و لكن لا يوجد لها نظام بعيد في ترتيب جزيئاتها، بالتالي فإن هذه المواد هي سوائل بحسب بنائها الداخلي و لكن لها لزوجة كبيرة جداً.

عند تبريد السوائل ذات اللزوجة العالية تتقارب جزيئاتها و تسعى القوى الجزيئية إلى ترتيب هذه الجزيئات في صفوف منتظمة للحصول على النظام البعيد و لكن نظراً للزوجة الكبيرة لا توفق في احتلال الوضع اللازم و تستقر في أوضاع الاتزان المؤقتة. و عند التبريد الشديد لمثل هذه المواد تصبح القوى الجزيئية غير كافية لتكوين النظام البعيد في ترتيب الجزيئات و تنتج مادة صلبة ظاهرياً، ولكن ترتيب جزيئاتها كما هو في السائل، إن مثل هذه المواد تدعى المواد اللاشكلية (amorphous) أو مواد زجاجية الشكل. و ذلك لأن الزجاج هو مثال نموذجي لهذه المواد، و تنسب إليها أنواع مختلفة من القطران و البلاستيك.
الشكل (١) يوضح النظام القريب في ترتيب الزجاج العادي، و العشوائية في ترتيب الذرات في النظام البعيد لأنواع من الزجاج.



رباعي السطوح الذي يعتبر الوحدة الاساسية في بنية الزجاج



زجاج صوديوم ـ سيليكون زجاج كوارتز بلورة كوارتز

الشكل (١)

لا يقتصر التشابه بين المواد اللاشكلية و السوائل في بنائها الداخلي. فإذا لم تكن هـذه المـواد

باردة جداً فإنها تظهر سيلاناً بطيئاً، كما أن المواد الصلبة المكونة من مواد أكثر كثافة تغوص ببطئ في الأجسام اللاشكلية، بينما تطفو فيها المواد المكونة من مواد أخف.

و فيزيائياً تعد المواد اللاشكلية سوائل مفرطة التبريد لم تتم فيها عملية التبلور كنتيجة للزوجة العالية لهذه المواد، و مع مرور الزمن يمكن أن تتحول المواد اللاشكلية ببطئ شديد إلى مواد بلورية.

ومن أهم الملاحظات على مثل هذه المواد أنها تتكثف تدريجياً عند التبريد و تكتسب تدريجياً سيلاناً عند التسخين و بالتالي لا يمكن إيجاد حدود فاصلة بين مناطق الحالة الصلبه و مناطق الحالة السائلة في هذه المواد.(الفيزياء للمعاهد المتوسطة-دار مير للنشر)

بالتالي فإن تركيب الزجاج ليس معروفاً بالدرجة التي يعرف بها تركيب معظم المواد، و حيث أن للمادة ثلاث حالات فيزيائية هي الصلبة و السائلة و الغازية، فالزجاج له حالته الخاصة و التي يمكن الإشارة إليها في بعض الأحيان بالحالة الزجاجية أو حالة التزجيج.(الموجز في تكنولوجيا الزجاج، د.رونة بيرسون- خبير الأمم المتحدة)

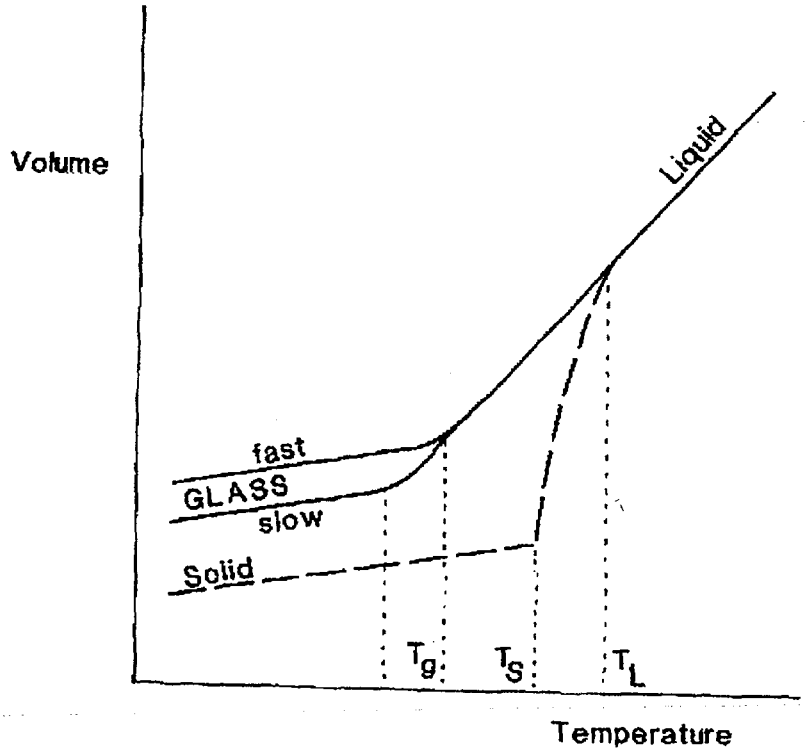
يعرّف الزجاج -كما ورد في A.S.T.M -بأنه منتج غير عضوي ناجم عن الانصهار، تم تبريده إلى الحالة الصلبة بدون أن يسمح بحدوث تبلور، حيث يعد التبريد السريع من الشروط الأساسية لتشكيل الزجاج، و منع حدوث التبلور الذي قد يسبب حدوث عيوب في الزجاج، أو قد يسبب عدم تشكل الزجاج أصلاً. (Cable &Parker 1992)

و ليس للزجاج مثل كل المواد اللاشكلية نقاط تحول بين الحالات المختلفة للمادة (صلبة، سائلة، غازية)، فهو صلب في درجة حرارة الغرفة و عندما يسخن يلين و لكن لا ينصهر، و في فرن الزجاج عندما تبلغ درجة الحرارة ١٢٠٠ درجة مئوية أو أكثر يصبح الزجاج ليناً تماماً كالشراب و عندما يبرد يتصلب اكثر فأكثر، و يمكن التعبير عن-الحالة الفيزيائية للزجاج عملياً في درجات الحرارة المختلفة بواسطة لزوجته، بما أنه لا توجد للزجاج نقطة انصهار و لا نقطة تجمد.(الموجز في تكنولوجيا الزجاج، د.رونة بيرسون- خبير الأمم المتحدة)

إن كيفية و معدل التبريد يؤثر بشدة على تشكل و خواص الزجاج الناتج، ويعد التاريخ الحراري (Thermal History) للقطعة الزجاجية في مجال تحولها من الحالة السائلة إلى الصلبة من العوامل الهامة المؤثرة في كثافة (density) و معامل انكسار (refractive index) الزجاج الناتج، و في تجانس خواصه -بالذات الخاصتين السابقتين- الأمر الذي له أهميته الكبيرة في خواص الرؤية خلال هذا الزجاج (العدسات و الأجهزة البصرية تحتاج دقة كبيرة جداً في المعاملة الحرارية-مثلاً).

الشكل التالي (الشكل ٢) يبين علاقة درجة الحرارة و الحجم في مصهور زجاجي نموذجي (و

بالتالي الكثافة و معامل الانكسار)، و يظهر الفرق بين وصول السائل للحالة الصلبة مع حدوث تبلور (تبريد بطيء)، و وصوله للحالة الزجاجية (بدون تبلور-تبريد سريع) (Cable &Parker 1992).



TL: درجة حرارة التسيل (Liquidus temperature).

TS: درجة حرارة التصلب (Solidus temperature).

Tg: درجة حرارة التحول الزجاجي (glass transition temperature).

الشكل (٢)

يعتبر التحول الزجاجي للمادة تحولاً عكسياً، أي يمكن إعادة المادة للحالة السائلة بعكس شروط تكونها ،فبتسخين المواد الزجاجية تبدأ بامتصاص الحرارة بشكل تدريجي-كما فقدتها عند تصلبها- و تتلدن بالتدريج متحولةً إلى سائل، و لا تعتبر المواد المشابهة للزجاج و التي

يمكن تحويلها للحالة الصلبة لمرة واحدة –ولا يمكن عكس تحولها– مواداً زجاجية .
و يمكن تلخيص ما سبق ، بأنه فيزيائياً يعتبر الزجاج سائلاً في الحالة تحت المبردة –Super cooled Liquid –(الحالة الرابعة للمادة–الزجاجية–) ، يتكون هذا السائل في درجات الحرارة العالية و تزداد لزوجته (Viscosity) بانخفاض درجة الحرارة حتى يصبح جامداً في درجات الحرارة العادية، و بالتالي يملك الزجاج بنية مشابهة إلى حد بعيد لبنية السوائل (Cable &Parker 1992).

٣–تركيب الزجاج :

الزجاج ليس مركباً محدداً كيماوياً بل هو مزيج من الأكاسيد، يمكن أن تتغير نسبها بحرية ضمن حدود معينة، و هناك عدد من الأكاسيد تدعى مشكّلات الزجاج (Glass formers) وهي التي تسمح بحدوث التبرد دون حدوث تبلور، من أهمها P_2O_5, B_2O_3, SiO_2 و لكن معظم أنواع الزجاج مصنوعة من أكسيد السيليسيوم، بينما يستخدم أكسيد البورات و أكسيد الفوسفات من أجل الأجهزة البصرية (عدسات).

٣–١–مكونات الزجاج:

يتكون الزجاج العادي عملياً من صهر أربع مكونات رئيسية:

- المادة الرئيسية: وهي عادةً السيليكا **SiO2** ، و هي ذات مقاومة كبيرة للتفاعلات الكيماوية، كما أن لها درجة انصهار عالية جداً.
- المكيفات **(Modifiers)**: و تضاف لخفض درجة حرارة الانصهار، و بالتالي درجة حرارة فرن العمل عن طريق إنقاص اللزوجة **(Viscosity)** ، أو لتحسين الثبات الكيماوي للزجاج الناتج، أو لمنع التبلور مثل Na_2O و K_2. ، أو لزيادة الثبات الكيماوي مثل **CaO, MgO,** B_2O_3، Al_2O_3.
- المواد المنقية **(refining agents)**: تضاف هذه المواد بكميات صغيرة لإزالة الفقاعات الصغيرة المتشكلة ضمن الزجاج.
- المواد الملونة و المزيلة للألوان: و هي مواد تضاف بكميات صغيرة إما لإكساب الزجاج لوناً معيناً أو لتخليصه من لون غير مرغوب فيه.

(صناعة الزجاج–رؤوف النحاس –١٩٦٨) **(Chong 1977)**

٣–٢–أهم الخامات المستخدمة في صناعة الزجاج:

٣–٢–١–الكوارتز **SiO2**:

وزنه النوعي حوالي **2.65** ، ينصهر بدرجة حرارة **1725** درجة مئوية، و من أنواعه:

-البلور الصخري Rock crystal و هو أنقى أنواع الكوارتز و يستخدم في صناعة المجوهرات و الأجهزة البصرية.

-الأمثيست Amethyst و هو الكوارتز البنفسجي أو الأرجواني.

-الكوارتز الدخاني Smoky quartz.

-الكوارتز الحديدي Ferruginous quartz و هو بني أو محمر نتيجة شوائب الحديد.

-الكوارتز خفي التبلور (كالسيدول، عقيق، جاسبار).

و يوجد الكوارتز في الصخور النارية الحامضية، كالغرانيت و الرابوليت، كما يشكل المكون الرئيسي في الرمال الكوارتزية البيضاء. (صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

٣-٢-٢-أكسيد البورون:

أهم مصادره حمض البوريك و البوراكس، و يعد أكسيد البورون من العوامل الهامة في تكوين الزجاج إذ يعمل على تحسين الخواص الحرارية للزجاج حيث يقلل من معامل التمدد الحراري. (صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

٣-٢-٣-مركبات الصوديوم المولدة لأكسيد الصوديوم:

و من أهمها كربونات الصوديوم، حيث أنها مصدر هام لأكسيد الصوديوم الذي يخفض درجة حرارة انصهار السيليكا، من الأملاح الأخرى المستعملة لنفس الغرض: سيليكات الصوديوم و كبريتات الصوديوم. (صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

٣-٢-٤-البوتاسيوم:

و أهم تراكيبه المستخدمة في صناعة الزجاج، كربونات البوتاسيوم، و أكسيد البوتاسيوم و نترات البوتاسيوم، و يشابه عمله عمل الصوديوم في الزجاج. (صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

٣-٢-٥-مركبات الكالسيوم:

و هي كربونات الكالسيوم و أكسيد الكالسيوم، تستعمل هذه المركبات لخفض درجة حرارة الانصهار، و إنقاص معامل التمدد الحراري. (صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

٣-٢-٦-مركبات الباريوم:

و هي كربونات الباريوم و أكسيد الباريوم، و عند إضافتها للزجاج تزداد كثافته، و تزداد قرينة الانكسار، و تزداد لدونه العجينة الزجاجية. (صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

٣-٢-٧-أكاسيد الرصاص:

وهي أكسيد الرصاص الثلاثي أو الرصاص الأحمر، و أكسيد الرصاص الأصفر، و يمتاز الزجاج الذي يدخل في تركيبه أكسيد الرصاص بتحسن في خواصه الضوئية، إذ تزداد قرينة

الانكسار بزيادة كثافة الزجاج، لذلك تستعمل هذه الأكاسيد في زجاج الأجهزة البصرية، إضافة لذلك تخفض هذه الأكاسيد درجة انصهار العجينة الزجاجية مما يسهل أعمال الصب و التشغيل و يخفض اللزوجة و يزيد الكثافة.

أما الصعوبات التي تنجم عن استعمال أكاسيد الرصاص في الخلطة الزجاجية فأهمها هو ميلها للاختزال أي انفصال الرصاص و صبغة للزجاج الناتج باللون الأسود، لذلك يعد من الضروري جدا إضافة المواد المؤكسدة مثل نترات الصوديوم و البوتاسيوم التي تخفف من عملية الاختزال.

يمكن استعمال أكاسيد الرصاص بنسب عالية تصل حتى **40%** في زجاج الأجهزة البصرية و حتى ما يزيد عن **80%** في الزجاج المستعمل في التدريع الإشعاعي (صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨) **(Gaeger 1975)**.

٣-٢-٨-مركبات الألمنيوم:

و أهمها الأكاسيد و الفلسبارات المتنوعة و الكاولين، و هذه الأكاسيد تساعد على تخفيض لزوجة الزجاج، و زيادة الثبات الكيماوي له، و تقليل احتمالية التبلور، إضافة لتقليل احتمالية تشقق الزجاج و تشكل البلورات بعد خروجه من فرن الصهر، و أخيرا فإن هذه الأكاسيد تقلل من معامل التمدد الحراري للزجاج.

تتراوح نسب أكسيد الألمنيوم في أنواع الزجاج بين **1.5%** إلى **5.5%** .

(صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

٤-خواص الزجاج :

٤-١-الخواص الميكانيكية:

٤-١-١-الوزن النوعي **(Specific Gravity)**:

تتراوح الأوزان النوعية للزجاج حول القيمة **2.5** غ/سم^3، بينما تصل في الأنواع الخاصة (الزجاج الرصاصي) حتى **6.0** غ/سم^3. **(Chong 1977)**

٤-١-٢-المتانة:

لا توجد علاقة بين تركيب الزجاج و متانته، و عموما في درجات الحرارة العادية تبلغ مقاومة الزجاج للضغط حوالي **1kN/mm^2** و للشد حوالي **0.1kN/mm^2** ، و تبلغ قيما أكبر بالنسبة للألياف الزجاجية حيث تزداد كلما صغر قطر هذه الألياف.

و الزجاج لا يملك أي لدونه في درجات الحرارة العادية، أي أنه ينكسر مباشرة حالما يتم تجاوز حد مرونته، يتراوح معامل مرونة الزجاج بين **50 - 87 kN/mm^2** . **(Chong 1977)**

٤-١-٣-القساوة **(Hardness)**:

تتعلق القساوة السطحية بالمتانة، و تبلغ قساوة الزجاج 5.8- 5.4 حسب سلم موس. (Chong 1977)

٤-٢-الخواص الكيماوية:

تعد أنواع الزجاج السيلكاتي (Silicate Glasses) ذات مقاومة كيماوية جيدة تحت الظرف الاعتيادية، حيث لا تتأثر بالماء، أو الأحماض المخففة، أو الأملاح، و لكنها يمكن أن تتأثر ببعض المؤثرات الكيماوية الخاصة، كماءات الكالسيوم، و المحاليل المركزة للصود الكاوي(NaOH)، و حمض فلور الماء(HF)، و الفلوريدات. وتختلف درجة التأثر بهذه المواد بالتركيب الكيماوي للزجاج. (Chong 1977) (L.Mantell 1958).

٤-٣-الخواص الفيزيائية:

٤-٣-١-الخواص الضوئية-البصرية:

٤-٣-١-١قرينة الانكسار (Refractive index):

تعرف قرينة الانكسار لمادة (أو وسط) : بأنها حاصل قسمة سرعة الضوء في الخلاء (الفراغ) إلى سرعته في ذلك الوسط، و تحسب بالعلاقة:

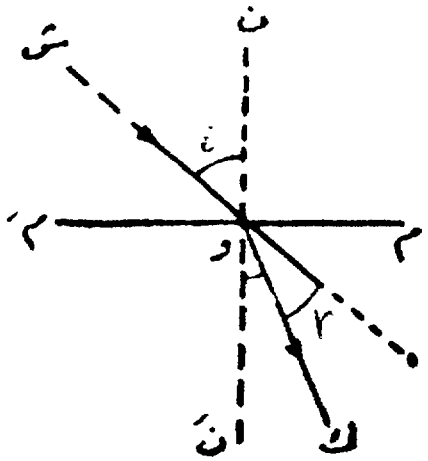
$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{Velocity\ _of\ _Light\ _in\ _Vacum}{Velocity\ _of\ _Light\ _in\ _material\ \ (Glass\ )}$$

حيث:

i: زاوية الشعاع الوارد مع الناظم على السطح الفاصل بين المادتين.

r : زاوية الشعاع المنكسر مع الناظم على السطح الفاصل بين المادتين.

و يعرف الانكسار بأنه التغير الفجائي الذي يطرأ على منحى الأشعة الضوئية عندما تجتاز السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين، و هو يتعلق بالوسطين الشفافين، إضافة للطول الموجي للشعاع الوارد (الشكل ٣).(الضوء فيزياء الثاني الثانوي ١٩٨٦)



الشكل (٣)

٤-٣-١-٢-التبدد (Dispersion):

و هو تحلل الضوء الأبيض إلى الألوان المركبة له، بسبب اختلاف الطول الموجي لهذه الألوان.

و تعرف شدة التبديد لوسط ما بالعلاقة:

$$w = \frac{n_F - n_c}{n_D - 1}$$

حيث:

n_F: قرينة الانكسار للوسط عند طيف الهيدروجين F ،بطول موجي 486.13 nm.

n_c: قرينة الانكسار للوسط عند طيف الهيدروجين C، بطول موجي 656.28 nm.

n_D: قرينة الانكسار للوسط عند طيف الصوديوم D،بطول موجي 589.58 nm.

إن الخاصتين السابقتين تعدان من أهم صفات الزجاج، و تتعلق قيمهما بتركيب الزجاج.

٤-٣-١-٣-الانعكاسيةR-الامتصاصيةA-الناقليةT (Reflectance-Absorptance-Transmittance):

هذه الصفات تصف شفافية الزجاج، و الذي هو أحد أهم خواصه.

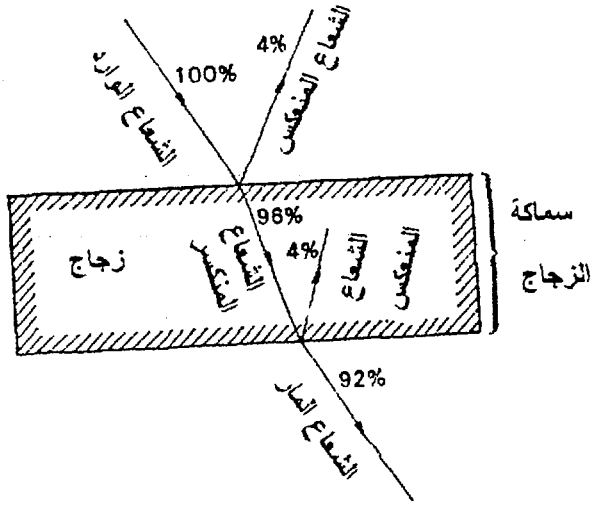
فإذا ورد شعاع ضوئي على قطعة زجاجية بزاوية ورود معينة، فإن جزءاً منه ينعكس، و جزءاً ينكسر، و يتم امتصاص جزء آخر (شكل ٤)، و يعبر عن أجزاء الضوء هذه عادةً بما يدعى، معامل الانعكاس أو الانعكاسيةR، معامل الامتصاص (الامتصاصية) A، و معامل الانتقال (الناقلية) T.

و يرتبط معامل الانعكاس بقرينة الانكسار بالعلاقة:

$$R = \left[\frac{n - 1}{n + 1}\right]^2$$

(صيغة فريزنيل–Fresnel Formula)

و بفرض أن القطعة الزجاجية من الزجاج العادي، تكون قرينة الانكسار حوالي n=1.5، و يكـون معامل الانعكاس0.04، أي ينعكس 4% من الشدة الضوئية عند كل سطح انتقال، و تكون الناقليـة أقل من92%، لأن هناك جزء من الضوء يتم امتصاصه.



شكل (٤)

تتعلق قيم الناقلية بالخواص البصرية للزجاج و بالطول الموجي للضوء الـوارد، بينمـا يتعلـق معامل الامتصاص بالطول الموجي للضوء.

إن العوامل الثلاث السابقة تتغير بتغير زاوية الورود، و بخاصة عندما تصبـح أكـبر مـن 40 درجة.

٤–٣–٢–الخواص الحرارية:

٤–٣–٢–١–الحرارة النوعية (Specific heat Capacity):

و هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة واحدة الكتلة درجـة مئويـة واحـدة. وهـي للزجـاج 0.84kJ/kg^{0}،أي حوالي خمس قيمتها بالنسبة للماء. (Chong 1977)

٤–٣–٢–٢–الناقلية الحرارية (Thermal conductivity):

و تعرف بالعلاقة التالية:

$$Q = \frac{k * A * (\theta_1 - \theta_2)}{X}$$

حيث:

Q: كمية الحرارة المنقولة عبر المادة في الثانية مقدرة بالواط.

A: مساحة السطح مقدرة بالمتر المربع.

X: السماكة مقدرة بالمتر.

θ_1، θ_2: درجتي الحرارة على السطحين المتقابلين (للجسم الذي يتم انتقال الحرارة ضمنه).

و يعد الزجاج العادي ناقلا حراريا سيئا، حيث تكون الناقلية الحرارية:

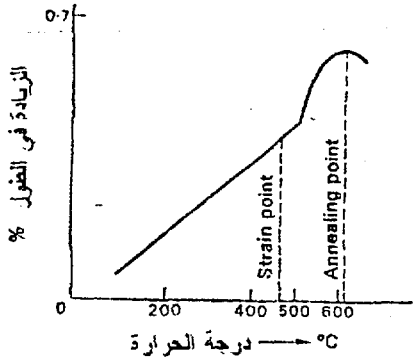
$$k = 0.8 - 1.05\ W/m^{0}$$

وهي قيمة مقاربة لقيمة الناقلية الحرارية للبيتون و الماء و أحجار البناء.(Chong 1977)

<u>إن الحاجة الماسة للتبريد السريع للعجينة الزجاجية لمنع حدوث التبلـــور، و انخفـــاض قيمـــة الناقلية الحرارية لها يحد من حجم و سماكة القطع الزجاجية التي يمكن إنتاجها لصعوبة تـــأمين التبريد السريع للأجزاء الداخلية للعجينة.</u>

٤-٣-٢-٣-معامل التمدد الحراري:

يتمدد الزجاج مثل معظم المواد بالحرارة، و يظل ذلك صحيحا حتـــى درجـــة حـــرارة اللدونـــة (annealing point) ، الشكل التالي (الشكل ٥)يبين منحني التمدد الحراري للزجاج:



الشكل (٥)

و يتراوح معامل التمدد الخطي للزجاج بين $5*10^{-7}$ إلى ما يزيد عن $100*10^{-7}\ K^{-1}$ حســـب نـــوع الزجاج، و تتشقق الأنواع العادية من الزجاج بالتسخين بسبب مـــا يدعـــى الصدمـــة الحراريـــة (thermal shock)، بينما تقاوم بعض أنواع الزجاج الخاصة (كالزجاج البوروسيليكاتي -بـــيريكس) هذه الصدمة. (Chong 1977)

٤-٣-٣-الخواص الكهربائية:

يعد الزجاج عازلا كهربائيا في درجات الحرارة العادية، و لكن مع ارتفاع درجات الحرارة يصبح الزجاج ناقلا للتيار الكهربائي حيث تنخفض مقاومته النوعية من 10^{10} أوم/م (في درجة الحرارة العادية) إلى 10^{-1} أوم/م (في درجة 1400 درجة مئوية)، إن طرائق الصهر الكهربائي المستخدمة في بعض أنواع أفران الزجاج تستغل هذه الخاصية المميزة للزجاج. (Chong 1977)

-الجدول التالي يلخص الصفات الأساسية لبعض أنواع الزجاج الأكثر انتشارا: (جدول ١)

(Chong 1977)

نوع الزجاج	الصيغة و البنية	التركيب النموذجي (%) SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	CaO		التمدد الحراري ($\times 10^{-7}$ K^{-1})	معامل يونغ (kN/mm^2)	قرينة الانكسار	الوزن النوعي
Silica	SiO_2	99·9							(H_2O) 0·1	5·4	72	1·459	2·20
Soda-lime-silica	$Na_2O.CaO.6SiO_2$	(1) 73	1		17		4	5		92	69	1·512	2·47
		(2) 72·4	1·3		15·9	0·3	3·9	6·5		95			
Borosilicate	$\frac{1}{2}B_2O_3.4SiO_2$	(1) 81	2	13	4					33	63	1·474	2·25
		(2) 79·7	2·1	6·9	6·2	1·2		1·9			71		2·39
		(3) 74·7	5·0	9·8	6·4	0·5		3·9		50		1·46	2·38
Aluminosilicate	$Na_2O.Al_2O_3.3SiO_2$	(1) 62	17	5	1		7	8		45	87	1·560	2·52
		(2) 57	15	6			7	10	6 (BaO)	46	86	1·547	2·84
Lead	$2PbO.3SiO_2$								(PbO)	60	50	1·650	3·05
		(1) 66	2		4	9			29	84	55		5·42
		(2) 3	11	11					76	304	51	1·07	6·22
		(3) 5	3	10					82				

الجدول (١)

٥-تقانات صناعة الزجاج:

٥-١-مبادئ عامة:

لابد عند صنع الزجاج من الانتباه إلى بعض المبادئ الأساسية في صناعة الزجاج، و من أهمها:

-يجب أن تحوي الخلطة الزجاجية كمية وافرة من الأكاسيد الحمضية مثل: SiO_2 و B_2O_3.

-يجب أن تحوي الخلطة الزجاجية كمية ملائمة من مادة تخفض درجة الانصهار مثل أكاسيد الصوديوم.

-إضافة كمية ملائمة من مواد ضبط درجة اللزوجة و تسهيل التشكيل مثل أكسيد الكالسيوم.

-التأكد من إضافة كمية كافية من المواد التي تساعد على تحقيق درجة معقولة من الثبات الكيماوي للزجاج الناتج.

-التبريد السريع للزجاج لتلافي حدوث التبلور.

٥-٢-تحضير الخلطات الزجاجية و طرق حسابها:

من الواجب على صانع الزجاج دراسة و تحديد الأمور التالية، قبل البدء بتصنيع أية خلطة زجاجية:

- تركيب الخلطة و كميتها من الخامات الأصلية.
- الأكاسيد الناتجة في الخلطة لتحديد كمية الزجاج الناتجة.
- النسبة المئوية لكل أكسيد في الخلطة.
- إيجاد كثافة الزجاج الناتج.
- معامل التمدد الحجمي و الطولي للزجاج الناتج.

و سيتم توضيح ذلك من خلال المثال التالي:

لنفرض أننا أعطينا الخلطة التالية لعمل زجاج كريستالي (و هو أحد أنواع الزجاج ذات البريق المميز- الكريستال):

100 كغ رمل، **9** كغ كربونات الصوديوم ، **29** كغ كربونات البوتاسيوم، **9** كغ كربونات الباريوم، **34**كغ أكسيد رصاص أحمر (سلقون)، **4** كغ نترات بوتاسيوم.

و المطلوب إجراء كافة الحسابات اللازمة لتحديد خواص هذه الخلطة قبل تصنيعها.

- تحديد نسب الأكاسيد الداخلة في تركيب الزجاج الناتج:

يتم ذلك من تحديد كمية كل أكسيد في خامته، و باستخدام الجدول التالي (جدول ٢) الذي يحدد

هذه النسبة في أهم الخامات المستعملة في صناعة الزجاج:

اسم الخامة	رمزها الكيماوي	أكسيدها الداخل في تركيب الزجاج	نسبة وزن الأكسيد الداخل في تركيب الزجاج إلى الوزن الكلي للمادة الخام %
أكسيد الأنتموان	Sb_2O_3	Sb_2O_5	111.0 %
أكسيد الأرسنيك	As_2O_3	As_2O_5	116.2 %
كربونات الباريوم	$BaCO_3$	BaO	77.7 %
نترات الباريوم	$Ba(NO_3)_2$	BaO	58.7 %
أكسيد الرصاص	PbO	PbO	100.0 %
كربونات الرصاص	$Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$	3PbO	86.3 %
بوراكس بورات الصوديوم	$Na_2B_4O_7$	Na_2O	30.8 %
حمض البوريك	H_2BO_3	0.5 B_2O_5	56.3 %
ثاني أكسيد المنغنيز	MnO_2	$0.5Mn_2O_3$	90.6 %
الدولوميت (كربونات الكالسيوم و المغنيزيوم)	$CaMg(CO_3)_2$	CaO	30.4 %
		MgO	21.85 %
فلدسبار	$NaKO.Al_2O_36SiO_2$	$0.5Na_2O$	5.75 %
		$0.5K_2O$	8.75 %
		Al_2O_3	18.8 %
		$6SiO_2$	66.7 %
فلورسبار	CaF_2	CaF_2	100 %
نترات البوتاسيوم	KNO_3	$0.5K_2O$	46.6 %
الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم)	$CaCO_3$	CaO	56.0 %
الكاولين	$2SiO_2.Al_2O_3.2H_2O$	$2SiO_2$	46.5 %
		Al_2O_3	39.5 %
فلوسيليكيت الصوديوم	Na_2SiF_6	2NaF	
		SiO_2	
مسحوق عظم	$Ca_3(PO_4)_2$	3CaO	54.2 %
		P_2O_5	45.8 %

	3NaF	Na_3AlF_6	كريوليت
	$0.5Al_2O_3$		
100 %	MgO	MgO	أكسيد المغنيزيوم
47.9 %	MgO	$MgCO_3$	كربونات المغنيزيوم
97.5 %	3PbO	Pb_3O_4	السلقون الأحمر
43.6 %	Na_2O	Na_2SO_4	كبريتات الصوديوم
36.4 %	0.5 Na_2O	$NaNO_3$	ملح بارود شيلي
68.0 %	K_2O	K_2CO_3	كربونات البوتاسيوم
57.0 %	K_2O	K_2CO_3 .$1.5H_2O$	كربونات البوتاسيوم المائية
57.2 %	K_2O	K_2CO_3 .Na_2CO_3	كربونات البوتاسيوم و الصوديوم
7.4 %	Na_2O		
100 %	SiO_2	SiO_2	رمل سيليكوني نقي
99.7 %	SiO_2	SiO_2	رمل
0.2 %	Al_2O_3		
58.5 %	Na_2O	Na_2CO_3	كربونات الصوديوم
100 %	TiO_2	TiO_2	أكسيد التيتانيوم
65.4 %	$0.5Al_2O_3$	$Al(OH)_3$	ماءات الألمنيوم
100 %	ZnO	ZnO	أكسيد الزنك
100 %	SnO_2	SnO_2	أكسيد القصدير

(صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

الجدول (٢)

و يكون لمثالنا:

100 كغ رمل تعطي: 99.7 كغ أكسيد سيليكون + 0.02 كغ أكسيد ألمنيوم في الزجاج.

9 كغ كربونات الصوديوم تعطي 5.265 كغ أكسيد الصوديوم في الزجاج.

29 كغ كربونات البوتاسيوم تعطي 18.978 كغ أكسيد البوتاسيوم في الزجاج.

9 كغ كربونات الباريوم تعطي 6.993 كغ أكسيد باريوم في الزجاج.

34 كغ رصاص أحمر تعطي 33.150 كغ أكسيد رصاص في الزجاج.

4 كغ نترات البوتاسيوم تعطي 1.864 أكسيد بوتاس في الزجاج.

و يكون المجموع هو وزن الزجاج الناتج، أي 166.150 كغ.

وتكون النسب المئوية لكل أكسيد في الزجاج هي:

و تكون النسب المئوية للأكاسيد في الزجاج الناتج هي نسبة وزن الأكسيد إلى وزن الزجـــاج الكلي، و لمثالنا يكون:

أكسيد سيليكون: 60%

أكسيد ألمنيوم: 0.12%

أكسيد صوديوم: 3.16%

أكسيد بوتاسيوم: 12.54%

أكسيد باريوم: 4.20%

أكسيد رصاص: 19.95%

المجموع: 99.97

- إيجاد كثافة الزجاج الناتج:

نسبة الأكسيد في الخلطة	الوزن النوعي للأكسيد غ/سم^3	النسبة المئوية للمساهمة في الحجم الكلي ل999.7 كغ من الزجاج
أكسيد سيليكون:60%	2.3	60/2.3 =26.08
أكسيد ألمنيوم:0.12%	4.1	0.12/4.1 =0.02
أكسيد صوديوم:3.16%	2.6	3.16/2.6 =1.21
أكسيد بوتاسيوم:12.54%	2.6	12.54/2.6 =4.82
أكسيد باريوم:4.20%	7.0	4.20/7.0 =0.6
أكسيد رصاص:19.95%	9.6	19.95/9.6 =2.07
الحجم الكلي سم^3	34.8	

و تكون الكثافة = 10* (999.7/34.8)

= 2.87 غ/سم^3.

و يتم تحديد الوزن النوعي لكل أكسيد من الجدول التالي: (جدول٣)

اسم الأكسيد	الرمز الكيماوي	الوزن النوعي
أكسيد السيليكون	SiO_2	2.3
أكسيد الألمنيوم	Al_2O_3	4.1
أكسيد الكالسيوم	CaO	3.3

أكسيد الباريوم	BaO	7.0
أكسيد الزنك	ZnO	5.9
أكسيد المنجنيز	MgO	3.8
أكسيد الرصاص الأحمر	PbO	9.6
أكسيد البوتاسيوم	K_2O	2.6
أكسيد الصوديوم	Na_2O	2.6
أكسيد البوريك	B_2O_3	1.9
أكسيد الفوسفور	P_2O_5	2.6
أكسيد الأنتموان	Sb_2O_5	3.0
أكسيد الأرسنيك	As_2O_5	4.1

(صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

الجدول (٣)

- أيجاد معامل التمدد الحجمي و الطولي للزجاج الناتج:

لإيجاد معامل التمدد الحجمي للزجاج الناتج، يتم ضرب معامل تمدد كل أكسيد من مكوناته في نسبة هذا الأكسيد، يتم تحديد معامل التمدد الحجمي للأكاسيد المكونة من الجدول التالي:

(جدول ٤)

اسم الأكسيد	الرمز الكيماوي	معامل التمدد الحجمي
أكسيد السيليكون	SiO_2	0.8
أكسيد الألمنيوم	Al2O3	0.1
أكسيد الكالسيوم	CaO	5.0
أكسيد الباريوم	BaO	3.0
أكسيد الزنك	ZnO	1.8
أكسيد المنجنيز	MgO	0.1
أكسيد الرصاص الأحمر	PbO	3.0
أكسيد البوتاسيوم	K2O	8.5
أكسيد الصوديوم	Na2O	10.0
أكسيد المنجنيز	MnO_2	2.2

أكسيد الحديد	Fe_2O_3	4.0
أكسيد القصدير	SnO_2	2.0
أكسيد التيتانيوم	TiO_2	1.3
أكسيد البوريك	B_2O_3	0.1
أكسيد الأنتموان	Sb_2O_5	3.0
أكسيد الزرنيخ	As_2O_5	2.0
أكسيد الكوبالت	Co_3O_4	4.4
أكسيد النحاس الأسود	CuO	2.2
أكسيد الكروميون	CrO_3	5.1
فلورسبار	CaF_5	2.5
كربوليب	NaF	7.4
فوسفات الكالسيوم	CaO P_2O_5	2.0

(صناعة الزجاج-رؤوف النحاس -١٩٦٨)

الجدول (٤)

و يقسم معامل التمدد الحجمي على 3 للحصول على معامل التمدد الطولي.

من أجل مثالنا نتابع فنجد:

نسبة الأكسيد في الخلطة	معامل التمدد الحجمي	المساهمة في معامل التمدد الحجمي للخلطة ككل
أكسيد سيليكون:60%	0.8	48.0
أكسيد ألمنيوم:0.12%	0.1	0.01
أكسيد صوديوم:3.16%	10.0	31.60
أكسيد بوتاسيوم:12.54%	8.5	111.59
أكسيد باريوم:4.20%	3.0	12.60
أكسيد رصاص:19.95%	4.2	83.79
المجموع		٢٨٧,٥٩

و يكون معامل التمدد الحجمي للزجاج الناتج: 287.59×10^{-7}

أما معامل التمدد الطولي فيكون: $287.59/3 = 95.86 \times 10^{-7}$

٦-الزجاج الرصاصي:

٦-١-استعمالاته:

تحتاج الخلايا الحارة (Hot Cells) في مخابر الأبحاث النووية و في مخابر إنتاج النظائر لوسيلة لرؤية و مراقبة العمل، و تستخدم لذلك إما أنظمة مراقبة غير مباشرة كالمناظير (telescopes) أو كاميرات المراقبة (TV -systems) ، أو مواد شفافة للمراقبة المباشرة عبرها، و تلعب هذه المواد دورين رئيسيين:

١-وظيفة بصرية حيث تسمح بمشاهدة ما يجري داخل الخلية الحارة.

٢-وظيفة حماية حيث تلعب هذه المواد دور درع إشعاعي ضد الأشعة المؤينة.

يعد الزجاج الرصاصي بأشكاله المختلفة، و كثافاته المتنوعة، المادة الأكثر استعمالا في هذا المجال.

تعد النوافذ الرصاصية من أكثر الطرق انتشارا لمراقبة العمل وراء الدروع الإشعاعية و بخاصة المخابر الحارة عالية و متوسطة النشاط الإشعاعي، الشكل (٦) و الشكل (٧) يظهران خليتين حارتين عاليتي النشاط (لاحظ النوافذ الرصاصية).

و تقسم النوافذ التدريعية المستخدمة في الخلايا الحارة إلى ثلاث أصناف رئيسية:

- النوافذ الجافة (Dray windows):

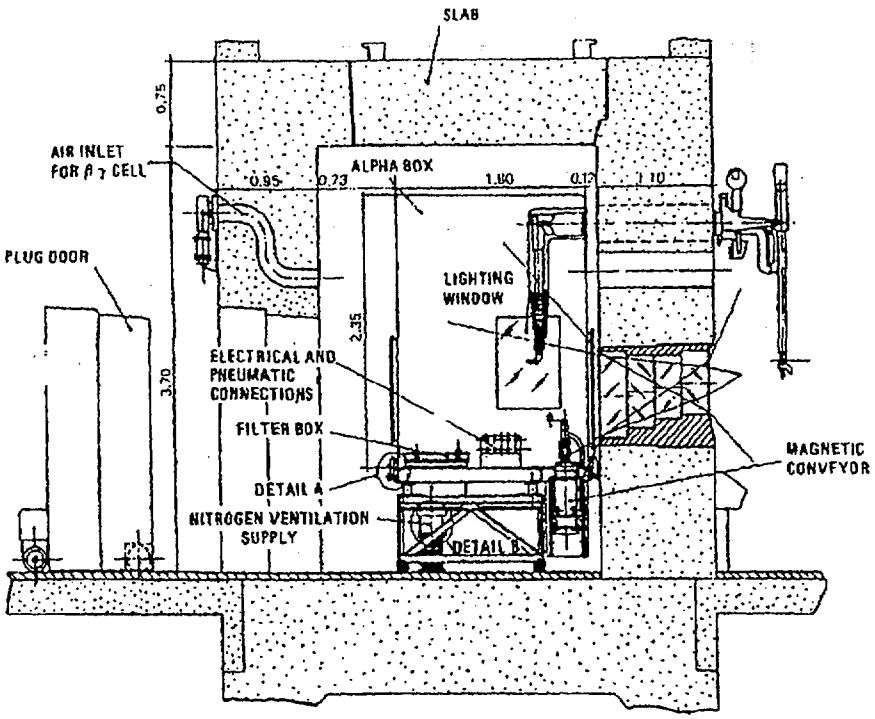
و تتألف من كتل من الزجاج المناسب بكثافات مختلفة، كل كتلة من هذه الكتل مغطاة بمادة لتقليل الانعكاس الحاصل على سطحها عند ورود شعاع ضوئي.

- النوافذ الرطبة (Wet windows):

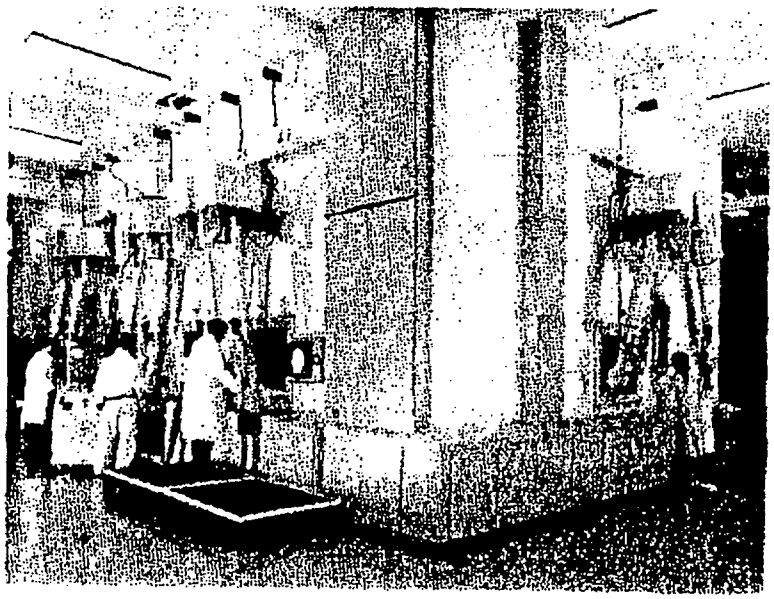
في هذه الحالة يملأ الفراغ بين كتل الزجاج بزيت خاص عالي المقاومة للآثار الناجمة عن الأشعة، لتقليل الانعكاس الحاصل عند انتقال الضوء عبر السطوح الفاصلة بين هذه الكتل.

- النوافذ المختلطة (Composite windows):

في هذه الحالة تتألف النافذة من كتل قليلة السماكة من الزجاج الخاص عالي الكثافة جدا (حوالي $6.2\ g/cm^3$)،و فراغات كبيرة بينها مملوءة بالزيت الخاص.

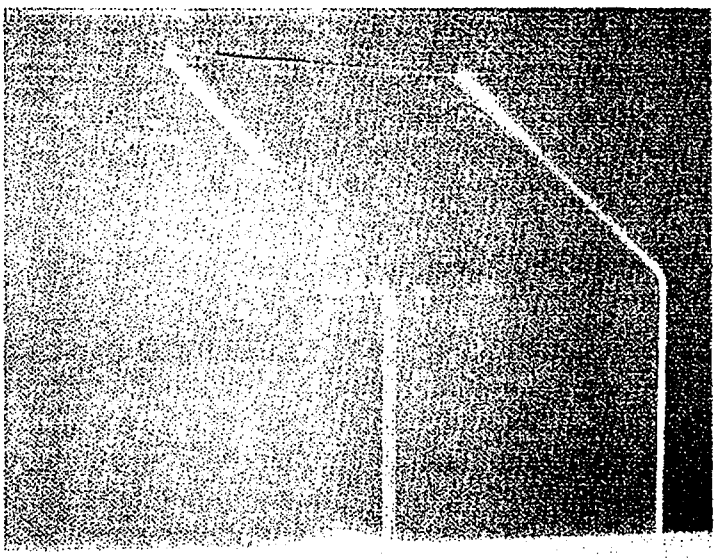


الشكل (٦): رسم توضيحي لخلية بيتونية عالية النشاط الإشعاعي.



الشكل (٧):خلية حارة بيتونية عالية النشاط الإشعاعي.

تستعمل أيضا سماكات قليلة من زجاج التدريع الرصاصي في التعامل مع المواد المشعة في الطب النووي، و ذلك لأغراض الوقاية الشخصية أثناء التعامل الطويل مع كميات قليلة من المواد المشعة (شكل ٨).



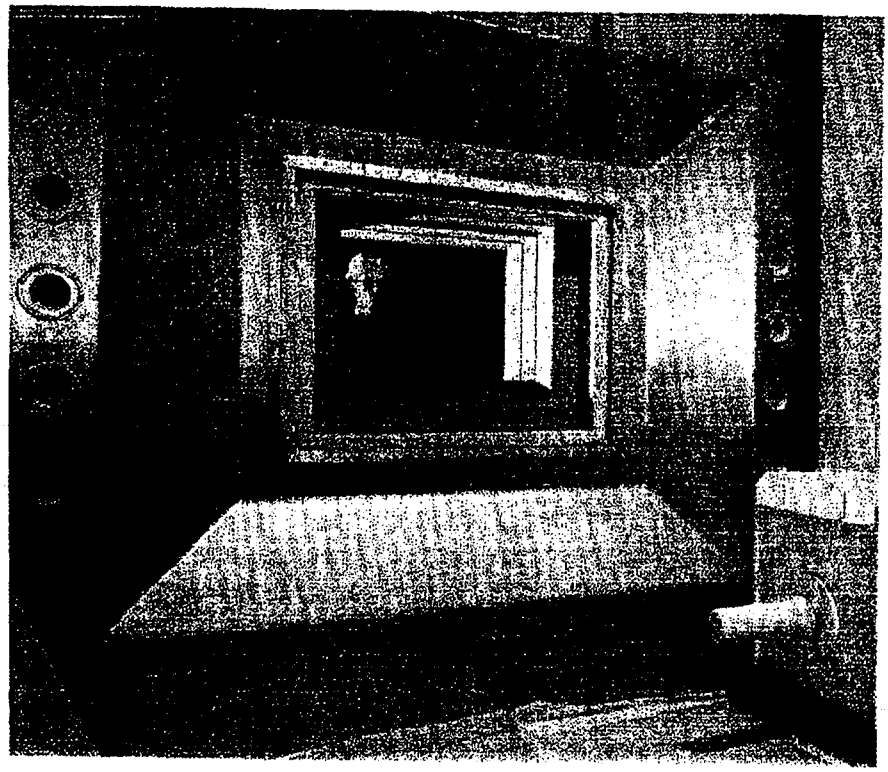
الشكل (٨): حاجز زجاجي خاص يستخدم للتعامل مع المواد الإشعاعية منخفضة النشاط للأغراض الطبية.

تختلف أنواع الزجاج المستخدم تدريعيا، فتتراوح الكثافة بين 2.3-٣,٦ حتى تصل إلى 6.2 في بعض الحالات، حيث أن القدرة التدريعية للمواد (ضد الأشعة الكهرطيسية المؤينة) ترتبط بشكل كبير بكثافة هذه المواد و تتناسب معها عموما. كما تستخدم ألواح من الزجاج المثبت إشعاعيا على الجانب الحار من هذه النوافذ لتخفيف التعتيم الشديد و الانخفاض في شفافية الزجاج الناتج عن التعرض لجرعات عالية من الأشعة.

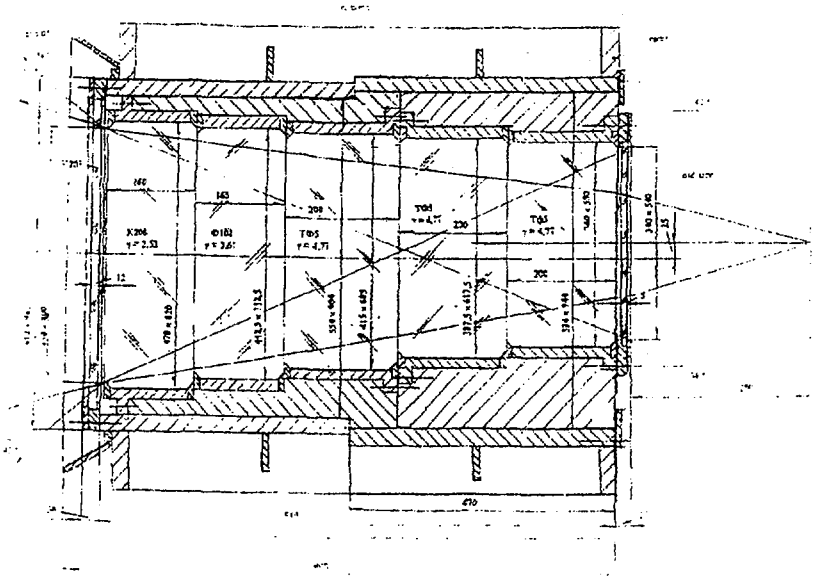
الجدول التالي يبين بعض أنواع الزجاج الرصاصي المستعملة كزجاج تدريع إشعاعي:
(Jaeger 1975)

رمز النوع و رقمه	نوع الزجاج	الوزن النوعي [g/cm³]	قرينة الانكسار لضوء الصوديوم
RW 25 [28]	crown glass	2.5	1.53
Normal [29]	crown glass	2.5	1.52
RS 253 G 18 [30]	non browning crown glass for cover plates	2.53	1.52
RS 253 G 25 [30]	non browning crown glass, high stabilized	2.53	1.52
RS 253 [30]	crown glass	2.53	1.52
RS 26 [28]	non browning crown glass	2.67	1.53
8365 [7]	non browning crown glass	2.67	1.52
CN [31]	non browning crown glass	2.7	1.53
6740 [32]	non browning crown glass	2.7	
B 12-C 15 [29]	non browning crown glass	2.7	1.53
Lo-D [33]	non browning crown glass	3.0	
RS 323 G 15 [30]	non browning lead glass	3.23	1.58
8362 [7]	non browning lead glass	3.27	1.594
8455 [7]	non browning lead glass	3.30	1.59
8459 [7]	non browning lead glass, high stabilized	3.30	1.59
RS 33 [28]	lead glass	3.3	1.59
RS 33 [28]	non browning lead glass	3.3	1.59
4966 [32]	non browning lead glass	3.3	
3,3 [29]	non browning lead glass	3.3	1.59
F 36-N [31]	non browning lead glass	3.6	1.63
RS 360 [30]	lead glass	3.60	1.62
Me-D [33]	non browning lead glass	3.8	
RS 420 G 7 [30]	non browning lead glass	4.20	1.69
4,2 [29]	non browning lead glass	4.2	1.69
RW 43 [28]	lead glass	4.3	1.70
RS 43 [28]	non browning lead glass	4.3	1.70
RS 520 [30]	high density lead glass	5.20	1.80
RS 520 G 5 [30]	non browning lead glass of high density	5.20	1.80
RW 62 [28]	high density lead glass	6.1	1.92
RS 62 [28]	non browning lead glass of high density	6.1	1.92
F 62-R [31]	high density lead glass	6.2	1.97
HI-D [33]	high density lead glass	6.2	1.97
6,2 [32]	high density lead glass	6.2	—
RS 620 [30]	high density lead glass	6.2	1.95
8363 [7]	high density lead glass	6.22	1.98
8463 [7]	high density lead glass	6.20	1.88

الجدول (٥) : بعض أنواع الزجاج المستخدم كزجاج تدريعي.



الشكل (٩): الزجاج الرصاصي لخلية حارة كما يبدو من داخل الخلية.



الشكل (١٠): رسم توضيحي للنافذة الرصاصية الروسية **PG 500**.

٦-٢-تركيبه و خواصه:

٦-٢-١-الخواص النووية:

٦-٢-١-١-معامل التوهين (Attenuation Coefficient):

لتحديد كفاءة الزجاج لاستعماله في التدريع، لا بد من تحديد ما يعرف بمعامل التوهين، و الـــذي يدخل في معادلة التوهين الأسية الشهيرة:

$$I = I_0 * e^{\mu * d}$$

حيث:

I: شدة الإشعاع بعد توهينه في نقطة ما بعد الدرع.

I_0: شدة الإشعاع في نفس النقطة قبل وضع الدرع.

μ: معامل التوهين لمادة الدرع (cm^{-1}).

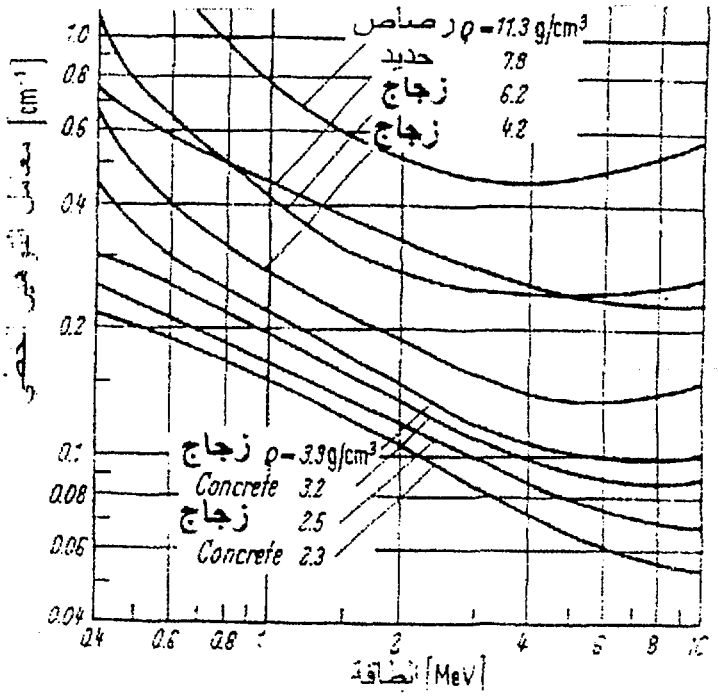
d: سماكة الدرع.

و بتحديد قيمة معامل التوهين يمكن تحديد كافة المؤشـــرات و المتغـــيرات الأخـــرى الخاصـــة بحسابات التدريع، كسماكة النصف (half-value) و سماكة العشر (tenth-value) و غيرها.

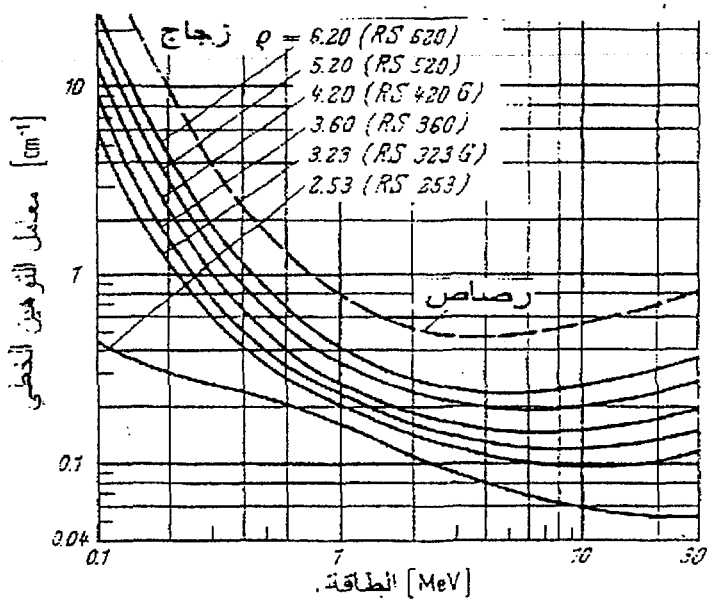
تتعلق قيمة معامل التوهين إضافة لمادة التدريع، بطاقة الأشعة التي يتـــم توهينـــها، الجـــداول و الخطوط البيانية التالية تبين بعض قيم معاملات التوهين لبعض أنواع الزجاج و لطاقات مختلفـــة: (Jaeger 1975).

[MeV]	RS 253 (G) $\varrho = 2{,}53^{a)}$	RS 323 G $\varrho = 3{,}23$	RS 360 $\varrho = 3{,}60$	RS 420 G $\varrho = 4{,}20$	RS 520 (G) $\varrho = 5{,}20$	RS 620 $\varrho = 6{,}20$
0.1	0.45	5.81	8.39	12.16	18.49	25.28
0.15	0.35	2.20	3.08	4.38	6.57	8.91
0.2	0.31	1.20	1.62	2.25	3.50	4.42
0.3	0.27	0.60	0.76	1.09	1.41	1.84
0.4	0.24	0.42	0.51	0.649	0.88	1.12
0.5	0.22	0.34	0.40	0.492	0.65	0.81
0.6	0.20	0.29	0.34	0.411	0.53	0.66
0.8	0.18	0.24	0.27	0.323	0.41	0.50
1.0	0.16	0.21	0.24	0.276	0.35	0.42
1.5	0.13	0.166	0.185	0.215	0.27	0.32
2.0	0.11	0.145	0.162	0.188	0.24	0.28
3.0	0.093	0.123	0.139	0.163	0.21	0.25
4.0	0.079	0.112	0.129	0.155	0.20	0.24
5.0	0.073	0.117	0.124	0.150	0.197	0.24
6.0	0.068	0.103	0.121	0.149	0.196	0.24
8.0	0.060	0.100	0.119	0.148	0.20	0.25
10	0.058	0.10	0.121	0.152	0.21	0.26
20	0.054	0.108	0.135	0.176	0.24	0.32
50	0.056	0.129	0.166	0.220	0.31	0.41
100	0.061	0.146	0.190	0.252	0.36	0.47

الجدول(٦): معاملات التوهين لبعض أنواع الزجاج و لطاقات مختلفة.



الشكل (١١): منحني يبين علاقة معامل التوهين بطاقة الأشعة لأنواع مختلفة من زجاج التدريع و للرصاص و الحديد و البيتون بكثافات مختلفة.



الشكل (١٢): منحني آخر يبين علاقة معامل التوهين بطاقة الأشعة لأنواع أخرى من زجاج.

٦-٢-١-٢-سماكة النصف (half-value) و سماكة العشر (tenth-value) :

سماكة النصف هي السماكة من مادة التدريع اللازمة لتخفيض قيمة الشدة الإشعاعية للنصف،و تحسب بالعلاقة التالية:

$$d_{1/2} = \frac{0.693}{\mu}$$

حيث μ هو معامل التوهين.

و بالمثل تكون سماكة العشر هي السماكة من مادة التدريع اللازمة لتخفيض قيمة الشدة الإشعاعية للعشر، و تحسب بالعلاقة:

$$d_{1/10} = \frac{2.303}{\mu}$$

الجدول التالي يبين بعض قيم سماكة النصف و سماكة العشر لبعض أنواع الزجاج الرصاصي: **(Jaeger 1975)**

الوزن الحجمي للزجاج [g/cm³]	رمز النوع و رقمه	معامل الامتصاص [cm⁻¹]	سماكة النصف [cm]	سماكة العشر [cm]
		أشعة النظير ^{60}Co		
2.53	RS 253 (G)	0.141	4.9	16.3
3.23	RS 323 G	0.181	3.8	12.5
3.60	RS 360	0.205	3.4	11.2
4.20	RS 420 G	0.240	2.9	9.6
5.20	RS 520 (G)	0.300	2.3	7.7
6.20	RS 620	0.355	1.95	6.5
11.4	lead	0.66	1.05	3.5
		أشعة النظير ^{137}Cs		
2.53	RS 253 (G)	0.194	3.6	11.9
3.23	RS 323 G	0.270	2.6	8.5
3.60	RS 360	0.316	2.2	7.3
4.20	RS 420 G	0.375	1.9	6.2
5.20	RS 520 (G)	0.48	1.5	4.8
6.20	RS 620	0.59	1.2	3.9
11.4	lead	1.15	0.6	2.0
		أشعة 0.2 MeV gamma		
2.53	RS 253 (G)	0.320	2.2	7.2
3.23	RS 323 G	1.18	0.59	1.9
3.60	RS 360	1.60	0.43	1.4
4.20	RS 420 G	2.22	0.31	1.0
5.20	RS 520 (G)	3.30	0.21	0.70
6.20	RS 620	4.4	0.16	0.52
11.4	lead	11.0	0.063	0.22

الجدول (٧): سماكة النصف و سماكة العشر لبعض أنواع الزجاج الرصاصي

٦-٢-١-٣-معامل التضخيم (Buildup factor):

نتيجة لتفاعل الأشعة الواردة مع الزجاج تنشأ أشعة ثانوية (secondary radiation) ، و لا يمكن إهمال هذه الأشعة حيث أنها تكون في كثير من الأحيان ذات قيم معتبرة، يمكن لحظ تأثير هذه الأشعة بإدخال معامل التضخيم (Buildup factor) في معادلة التوهين الأسي، فتصبح المعادلة كالتالي:

$$I = B * I_0 * e^{\mu * d}$$

حيثB: معامل التضخيم.

تزداد قيمة معامل التضخيم مع زيادة سماكة زجاج التدريع، و تعطى عادة قيم هذا المعامل مرتبطة بطول التهدئة (relaxation length) و لكل طاقة من طاقات الأشعة.

الجدول التالي يبين قيم معامل التضخيم لبعض أنواع زجاج التدريع:(Jaeger 1975)

الوزن الحجمي للزجاج [R/cm³]	رمز النوع و رقمه	الطاقة [MeV]	عدد أطوال التهدئة μd				
			2	4	7	10	15
2.53	RS 253 (G)	0,5	4.5	11.2	27.9	53.5	118.1
		1	3.4	6.7	13.4	21.8	39.6
		2	2.6	4.7	8.1	11.9	18.8
		3	2.4	3.8	6.2	8.6	12.9
		4	2.2	3.3	5.0	6.9	10.2
		6	1.8	2.6	4.0	5.5	7.9
		8	1.7	2.4	3.6	4.6	6.6
		10	1.6	2.2	3.1	4.0	5.7
3.23	RS 323 G	0,5	3.7	8.5	20.7	39.4	86.6
		1	2.9	5.3	10.3	16.4	29.3
		2	2.4	4.0	6.8	9.8	15.1
		3	2.2	3.4	5.5	7.5	11.4
		4	2.0	2.9	4.6	6.4	10.0
		6	1.6	2.5	3.8	5.5	9.7
		8	1.5	2.3	3.3	4.7	8.8
		10	1.4	2.0	2.9	4.1	7.7
3.60	RS 360	0,5	3.3	7.5	18.1	34.5	75.5
		1	2.7	4.9	9.2	14.6	25.7
		2	2.3	3.8	6.3	9.0	14.0
		3	2.1	3.3	5.1	7.2	11.1
		4	1.8	2.9	4.4	6.3	9.9
		6	1.7	2.4	3.8	5.4	10.3
		8	1.4	2.1	3.2	4.7	9.6
		10	1.4	2.0	2.9	4.0	8.5
4.20	RS 420 G	0,5	2.9	6.4	15.1	28.4	61.9
		1	2.5	4.4	8.0	12.4	21.6
		2	2.2	3.5	5.8	8.2	12.5
		3	2.0	3.1	4.8	6.8	10.5
		4	1.8	2.7	4.4	6.1	9.9
		6	1.6	2.3	3.7	5.5	10.9
		8	1.5	2.0	3.2	4.8	10.4
		10	1.4	1.8	2.7	4.1	9.2
5.20	RS 520 (G)	0,5	2.5	5.3	10.1	22.3	48.24
		1	2.2	3.8	6.8	10.2	17.2
		2	2.1	3.3	5.2	7.3	11.0
		3	1.9	2.9	4.5	6.4	10.7
		4	1.7	2.6	4.1	5.9	9.8
		6	1.5	2.3	3.5	5.6	11.7
		8	1.5	2.0	3.1	4.9	11.4
		10	1.3	1.7	2.7	4.2	10.0
6.20	RS 620	0,5	2.2	4.3	9.4	17.3	37.0
		1	2.2	3.4	5.6	8.3	13.9
		2	2.0	3.1	4.8	6.7	9.8
		3	1.9	2.7	4.4	6.1	9.4
		4	1.7	2.5	3.9	5.7	9.8
		6	1.5	2.1	3.5	5.6	12.5
		8	1.4	1.9	3.1	5.0	12.2
		10	1.3	1.8	2.6	4.2	10.8

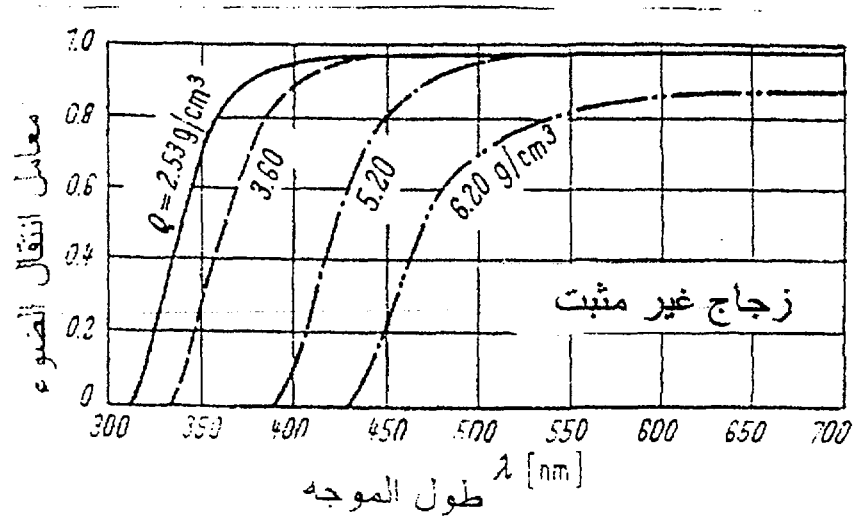
الجدول (٨): علاقة معامل التضخيم بسماكة الدرع مقدرة بعدد أطوال التهدئة للدرع و طاقة الأشعة لأنواع مختلفة من زجاج التدريع.

نلاحظ من الجدول عموما أن إدخال معامل التضخيم لحسابات التدريع في الزجاج يؤدي لزيـــادة في السماكة اللازمة تتراوح بين 0.5 -2.00 سماكة العشر.

٦-٢-١-٤-تلون الزجاج نتيجة للتعرض للأشعة:

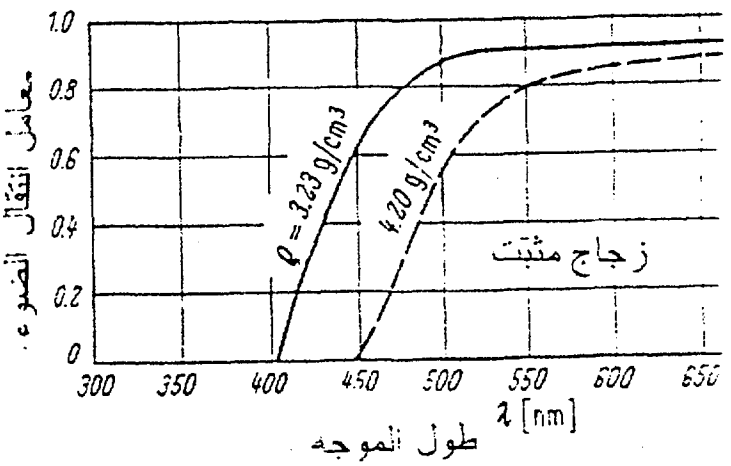
يكون الزجاج السيلكاتي العادي عديم اللون، في حين يتلون الزجاج الحاوي على الرصاص بلـون أصفر خفيف، تزداد كثافة هذا اللون مع زيادة نسبة الرصاص المضافة و مع زيـــادة الكثافـــة، و تبعا للتصنيع، و يكون اللون الناتج معتما جدا، إذا زادت كثافة الزجاج عن $6g/cm^3$ ، حيث تـزواح حزمة الأطوال الموجية التي يحدث لها الامتصاص باتجاه أطوال الأمواج المرئية.

المخطط البياني التالي يبين انزياح حزمة الامتصاص باتجاه الأشعة المرئية مع زيادة الكثافة للزجاج:**(Jaeger 1975)**



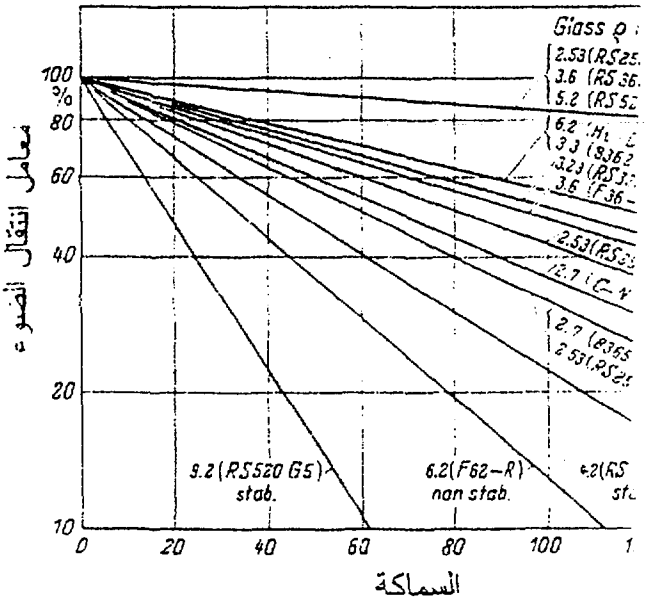
الشكل(١٣):انزياح حزمة الامتصاص باتجاه الأشعة المرئية مع زيادة الكثافة للزجاج

إن إضافة أكسيد السيريوم **(cerium oxide)** تودي إلى زيادة في كثافة لون الزجاج الناتج، الشـــكل التالي يبين كيفية انزياح حزمة الامتصاص إلى جهة الأمواج المرئية مع إضافة أكسيد الســيريوم: **(Jaeger 1975)**



الشكل (١٤): انزياح حزمة الامتصاص إلى جهة الأمواج المرئية مع إضافة أكسيد السيريوم

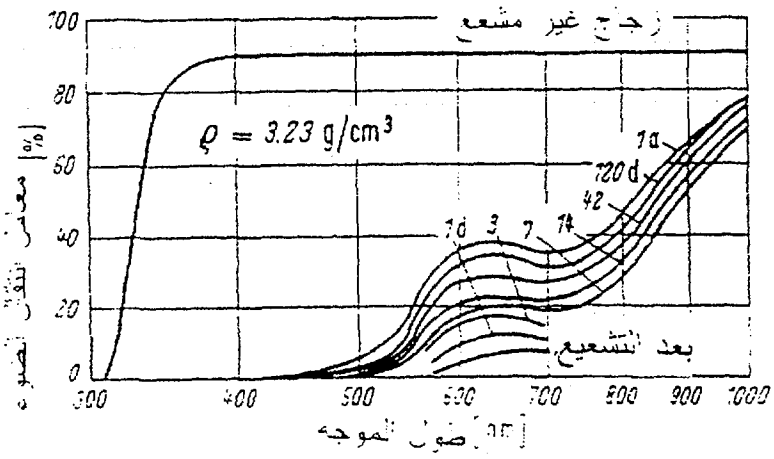
كما أن شفافية الزجاج و قابليته لتمرير الأشعة تتعلق بسماكة الزجاج، حيث تتناقص الشفافية بزيادة السماكة، و يمكن توضيح ذلك من خلال المخطط اللوغاريتمي التالي:(Jaeger 1975)



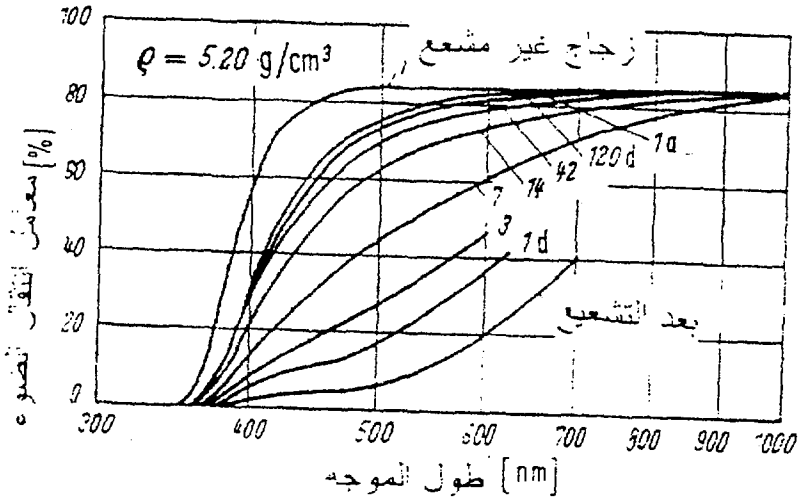
الشكل (١٥): المخطط اللوغاريتمي لعلاقة معامل انتقال الضوء (الشفافية) و سماكة الزجاج لأنواع مختلفة من زجاج التدريع.

إن تعرض الزجاج غير المثبت (unstabilized) بأكسيد السيريوم للأشعة يؤدي إلى زيادة تدريجية في كثافة اللون الأصفر، تزداد هذه الكثافة مع زيادة الجرعة، حتى يصبح قاتما تماما عند التعرض للجرعات العالية.

لذلك لا يمكن استخدام الزجاج غير المثبت إلا في حالات الجرعات الإشعاعية المنخفضة الأشكال التالية تبين كيفية تغير منحني الناقلية الضوئية للزجاج مع تغير تعرضه للجرع الإشعاعية: **(Jaeger 1975)**



شكل ١٦: تغير نسبة الضوء (الأشعة المرئية)المار عبر الزجاج بعد التشعيع لزجاج بكثافة ٢,٢٣



شكل ١٧: تغير نسبة الضوء (الأشعة المرئية)المار عبر الزجاج بعد التشعيع لزجاج بكثافة ٥,٢٠

إن إضافة أكسيد السيريوم تجعل الزجاج يحافظ على شفافيته بقدر أكبر عند تعرضه للإشعاع، و كقانون عام أولي يمكن القول أن الزجاج غير المثبت يبدأ بالتلون عند تعرض 10^3-10^4R ، و يصبح بنيا فاتحا عند تعرض10^5R و أخيرا يصبح بنيا غامقا عند تعرض 10^6R ،و ذلك من أجل طاقة إشعاعية حوالي 1Mev و معدل جرعة غير منخفض كثيرا.

من جهة أخرى فإن الزجاج المثبت بأكسيد السيريوم يبدي تلونا خفيفا عند وصول التعرض إلى حوالي 10^6 - 10^9 R.

يضاف أكسيد السيريوم بنسبة بين 2% - 1 و ذلك لزجاج تدريع تتراوح كثافته بين 3.2 - 3.6 g/cm^3 و بازدياد كثافة الزجاج تنقص الكمية اللازمة من أكسيد السيريوم، و قد دلت الدراسات أن ثبات شفافية الزجاج ضد الأشعة يزداد مع زيادة الكمية المضافة من أكسيد السيريوم حتى تصل نسبته المضافة إلى 2.5% ، و بعد ذلك لا يتأثر ثبات الشفافية بزيادة النسبة حتى تصل النسبة إلى 6% ، حيث يتناقص ثبات الشفافية للزجاج المتعرض للإشعاع بعد هذه النسبة.(Jaeger 1975)

٦-٢-١-٥-الشحن الكهربائي لزجاج التدريع:

إن نشوء الإلكترونات الحرة في الزجاج نتيجة لعملية التأين التي تسببها الأشعة، يؤدي إلى تكون شحنة كهربائية ساكنة في الزجاج، هذه الشحنة يمكن أن تتفرغ مسببة تحطما لزجاج نوافذ التدريع، وإن هذه الشحنة الكهربائية تتناسب مع الجرعة الإشعاعية.

إن التجارب أثبتت أن هذه الشحنة يمكن التخلص منها بسهولة بطرائق ميكانيكية (مثلا شريط فولاذي يصطدم بالزجاج)، كما أن رفع درجة الحرارة ينقص من قيمة هذه الشحنة نتيجة لتحسن ناقلية الزجاج الكهربائية.

إن الزجاج الرصاصي هو أقل ناقلية من الزجاج السيليكاتي العادي و بالتالي أكثر عرضة لتشكل شحنات كهربائية أكبر قيمة، يمكن تحسين ناقلية الزجاج السيليكاتي العادي بزيادة نسبة مكوناته القلوية (و بالذات أكسيد الصوديوم)،و أخيرا فإن تقليل سماكة الألواح الزجاجية يخفف كثيرا من احتمال حدوث تفريغ كهربائي.(Jaeger 1975)

٦-٢-٢-الخواص الميكانيكية و الفيزيائية:

٦-٢-٢-١-الكثافة (Density):

تعتبر الكثافة مؤشرا هاما على قدرة المواد لتوهين أشعة غاما، و في المجال بين1 - 2 Mev تكون قدرة التوهين متناسبة مع الكثافة، بغض النظر عن مكونات مادة الدرع، في حين تتغير هذه العلاقة خارج هذا المجال الطاقي.

تتراوح كثافة الزجاج المستخدم في التدريع الإشعاعي بين 2.5 إلى $6.2\ g/cm^3$ ، و يكون الزجاج ذو الكثافات العالية أقل ثباتا (كيماويا) و أكثر تلونا، كما أن حجم القطع التي يمكن إنتاجها يتناقص مع زيادة الكثافة.

٦-٢-٢-٢-الانعكاس (Reflection):

إن القيمة الكبيرة لقرينة الانكسار (Refractive index) للزجاج الرصاصي، تؤدي إلى نقص معتبر في كمية الإنارة المارة عبره، و ذلك بسبب الانعكاس السطحي الذي تزداد قيمة بشدة مع زيـــادة قرينة الانكسار.

و في نوافذ التدريع السميكة حيث تكون النافذة مؤلفة من عدة ألواح متتالية تزداد قيمة الضياعات في الإضاءة مع زيادة سطوح الانعكاس، حيث تبلغ كمية الضياعات الضوئية مثلا في النافذة الروسية PG-600 حوالي 80% من القيمة الأصلية للإنارة.(كاتالوج نوافذ التدريع الروسية)

و بسبب ظاهرة التحلل الضوئي للضوء المركب إلى مركباته عند وروده مائلا، ينصح باستخدام أضواء بسيطة لإنارة الخلايا الحارة، و بخاصة أن و جود أكسيد الرصاص في الزجاج يزيد من حدوث هذه الظاهرة.

يتم الإقلال من الضياعات الضوئية على سطوح الانعكاس بطريقتين، إما غمر الفراغـــات بيـــن الألواح الزجاجية المتتالية بسائل زيتي خاص ذو قرينة انكسار قريبة من قرينة انكسار الألـــواح الزجاجية (Oil-filled Windows)، أو تغطية الألواح بمواد تخفف كثيرا من الانعكاس على السطح، الجدول التالي (جدول ٩) يبين قيم نسبة الانعكاس على كل سطح لعدة أنواع من الزجاج و مـــع و بدون استعمال طرق المعالجة السابقة:(Jaeger 1975)

رمز النوع و رقمه	الوزن الحجمي [g/cm³]	قرينة الانتشار D-line	الانعكاس على كل سطح [%] (normal incidence, D-line)			
			بدون معالجة	After leaching	After coating	With oil immersion refractive index 1.47
RS 253 (G) [30]	2.53	1.52	4.25	—	~0.5	0.1
8365 [7]	2.67	1.52	4.3			0.02
RS 323 G [30]	3.23	1.58	5.0	2.6	~0.5	0.1
8362 [7]	3.27	1.594	5.2			0.13
F 36-N [31]	3.6	1.63	5.6	2		
RS 360 [30]	3.6	1.62	5.6	2.3	0.5	0.2
RS 420 G [30]	4.2	1.69	6.6	1.8	0.5	0.4
RS 520 (G) [30]	5.2	1.80	8.3	1.33		
RS 620 [30]	6.2	1.95	10.3	—	1.0	2.1
F 62-R [31]	6.2	1.97	10.5	1.5		
Hi-D [33]	6.2	1.97	10.7	1.4		2.1
8363 [7]	6.22	1.98	10.8	5.0	0.5	1.1

الجدول (٩): قيم نسبة الانعكاس على كل سطح لعدة أنواع من الزجاج

٦-٢-٣-الخواص الكيميائية:

تختلف درجة الثبات الكيماوي للزجاج باختلاف تركيبة الكيماوي ، ففي حين تعتبر أنواع الزجاج السيليكاتي العادي مقاومة للحموض و المحاليل الملحية و المركبات العضوية و لا تتأثر إلا بحمض فلور الماء و المحاليل القلوية القوية، يعتبر الزجاج الرصاصي ذا مقاومة كيميائية ضعيفة، و يتناقص الثبات الكيماوي للزجاج بازدياد محتواه من الرصاص، و عدما يصل هذا المحتوى إلى حوالي **75%** (موافق لكثافة حوالي **6 g/cm³**) يصبح الزجاج حساسا جدا للتبقع، و حتى بقع الأصابع على الزجاج تصبح واضحة جدا و صعبة الإزالة.

يمكن التقليل من حدوث هذه التفاعلات الكيماوية بتغطية الزجاج الرصاصي بطبقة من الزجاج السيليكاتي العادي، كما أن استخدام التغطية للتخفيف من الانعكاس تقلل من هذه التفاعلات السطحية، و أخيرا فإن الزجاج المتآكل نتيجة لهذه التفاعلات لا بد من إزالته و استبداله.

٦-٣-تصميم النوافذ الرصاصية:

٦-٣-١-أبعاد و نوع زجاج التدريع:

يوجد عموما حدود للحجم الذي يمكن إنتاجه من زجاج التدريع، أي لا يمكن إنتاج قطع زجاجية بأي حجم نريده، ويتراوح الحجم الأقصى الممكن إنتاجه بين **200** إلى **400** لتر،و المساحة العظمى **1400* 1400** ملم، أما السماكة العظمى فتتراوح بين **200** إلى**380** ملم **(Jaeger 1975)** تبعا

لمهارة الجهة المصنعة، أما في الزجاج المرتفع الكثافة جدا فيصبح حجم القطع الممكن إنتاجها أصغر نتيجة لصعوبات الإنتاج.

إن العيوب البسيطة في زجاج التدريع (كحدوث فقاعات صغيرة، أو الخدوش البسيطة)، و التي تكون غير ملاحظة يمكن التغاضي عنها في كثير من الأحيان و تعتبر مقبولة بالنسبة لصناع زجاج التدريع، و توجد حدود للعيوب المسموحة تبعا لنوع و حجم القطع المنتجة.

٦-٣-٢-النوافذ المملوءة بالزيت (Oil-filled Windows):

يجب أن يحوي هذا النوع من النوافذ على أنبوب تغذية لتغذية الفراغات بين الألواح الزجاجية بالسائل الزيتي، و يجب أن يمر هذا الأنبوب بشكل مائل أو منكسر لكي يضمن عدم حدوث تسرب إشعاعي عبره، إن السائل يجب أن يكون مقاوما لحدوث التهدرج و نشوء الغازات، لمنع تشكل الأحماض الزيتية (Oleic Acids) و التي تسبب تآكلا شديدا للمواد المانعة للتسرب و الرصاص و حتى للزجاج نفسه، كما يجب أن لا يغير الزيت لونه أو يتفتت قوامه تحت تأثير الأشعة.

إن الأمر الأكثر أهمية عند تصميم هذا النوع مَن النوافذ هو تحقيق الكتامة اللازمة لمنع تسرب السائل الزيتي.

٦-٣-٣-النوافذ الجافة (Dry Windows):

هذه النوافذ مفضلة لأنها لا تتعرض لمشاكل النوافذ المليئة بالزيت (احتمال التسرب، تثقل الزيت، حدوث التآكل لمواد منع التسرب أو زجاج التدريع)، و تدهن سطوح الألواح الزجاجية بمواد مانعة للانعكاس للتقليل من الضياعات الضوئية أثناء مرور الضوء عبرها، و تكون النفاذية للضوء للنوافذ الجافة المعالجة بالمواد المضادة للانعكاس مساوية تقريبا للنفاذية الضوئية للنوافذ المملوءة بالزيت المكافئة لها في التدريع.

و أخيرا إن استعمال مواد مانعة لتشكل الغباش يحد من حدوث ضبابية في الرؤية عبر نوافذ التدريع الإشعاعي.

٦-٣-٤-تصميم النافذة:

تصمم نوافذ التدريع الكبيرة عادة بشكل متدرج، و يكون عادة اللوح الزجاجي في الجهة الحارة أكبر من اللوح في الجهة الأخرى، إن هذا الشكل من التصميم المتدرج يستخدم لتحقيق أفضل زاوية رؤيا باستعمال أصغر حجم من الزجاج الرصاصي، و هناك أشكال متعددة للنموذج

المتدرج للتصميم.

إن الشكل المتدرج للتصميم ملائم أيضا لمنع حدوث تسرب مباشر للأشعة في الجدران البيتونية.

و يمكن أن تكون النوافذ دائمة التثبيت أو قابلة للإزالة من على الجدران البيتونية، و في معظم الحالات تكون النوافذ قابلة للتبديل و من الجانب البارد(cold side) للتدريع، و في بعض الحالات تكون قابلة للفك من الجانبين أو أحيانا مؤلفة من قطعتين تفك كل قطعة من جانب.

أن تركيب النوافذ الكبيرة و التي يصل وزنها إلى عدة أطنان يحتاج إلى استخدام مثبتات خاصة، كما يجب استخدام مواد كتم لمنع تسرب الهواء بين جانبي الدرع تحت تأثير فرق الضغط.

٦-٣-٥-حسابات التدريع الإشعاعي للنوافذ:

تجري حسابات التدريع الإشعاعي بغرض الحصول على مقدار السماكة اللازمة من الزجاج التي تحقق الوقاية الإشعاعية وذلك وفقا لطرق حساب التدريع المعتادة المعتمدة على معادلة التوهين الأسي المعروفة مع إدخال معامل التضخيم (Build up Factor) بعين الاعتبار، كما توجد منحنيات تربط بين السماكة اللازمة و درجة التوهين المطلوبة للأشعة و ذلك لكل نوع من الزجاج و لكل طاقة و نوع من طاقات و أنواع الأشعة، و تعطى هذه المنحنيات عادة من قبل الجهة المصنعة لزجاج التدريع.

٦-٤-أمثلة عملية لنوافذ من الزجاج الرصاصي:

إن المعطيات الأساسية اللازمة عند تصميم نافذة رصاصية هي:

١-قيمة التدريع اللازمة (التوهين اللازم).

٢-زوايا الرؤية لتغطية المساحة المراد رؤيتها عبر النافذة.

٣-أبعاد فتحة الجدار المراد تركيبها عليه.

٤-مادة الجدار المراد تركيبها عليه.

٥-تفاصيل التطبيق اللازمة من أجله.

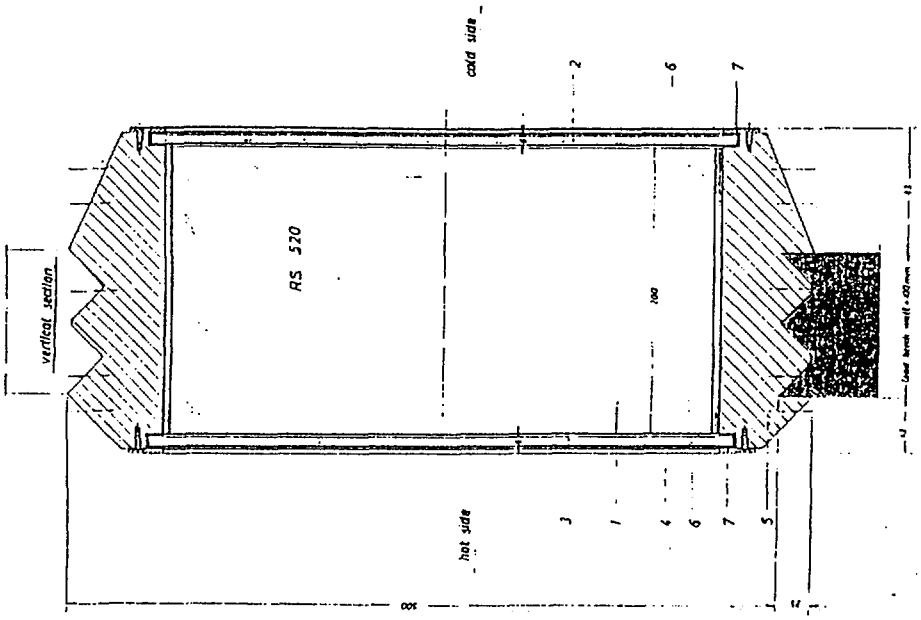
٦-أبعاد و تنظيم الفراغ الداخلي المراد تخديمه.

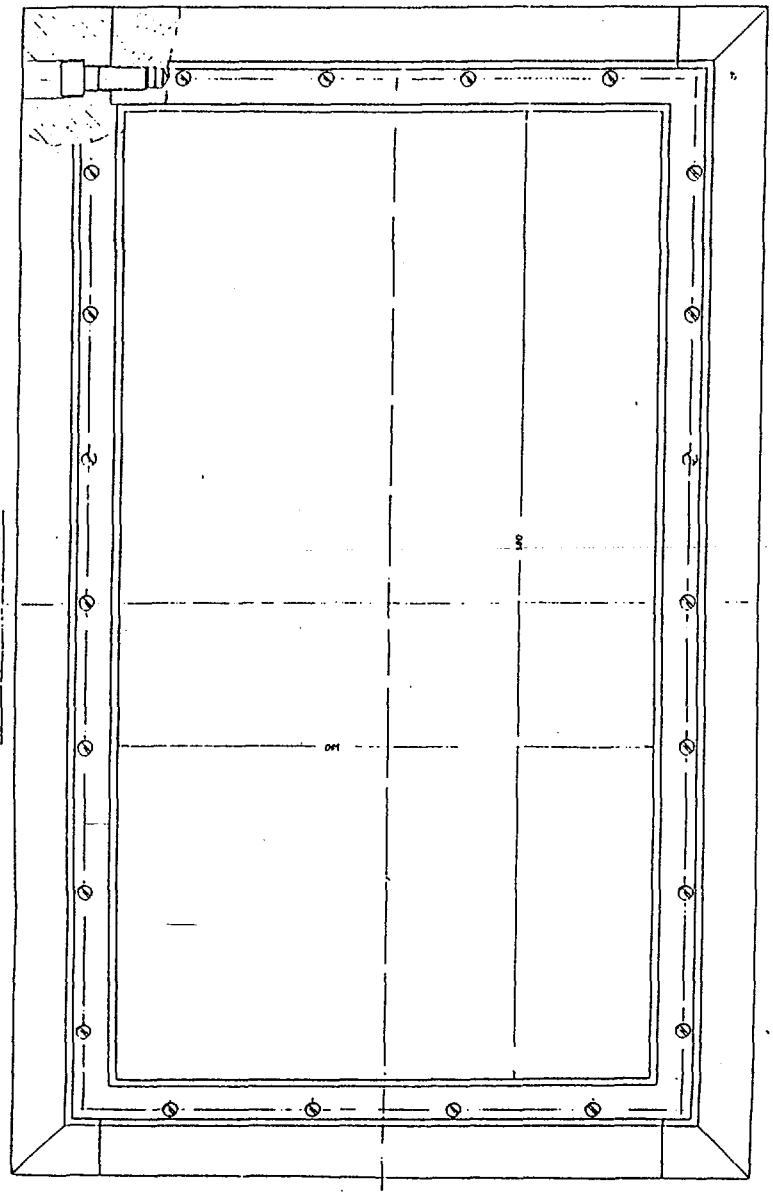
٧-المؤثرات الغير اعتيادية، الفيزيائية و الكيميائية، المتوقعة على جانبي النافذة.

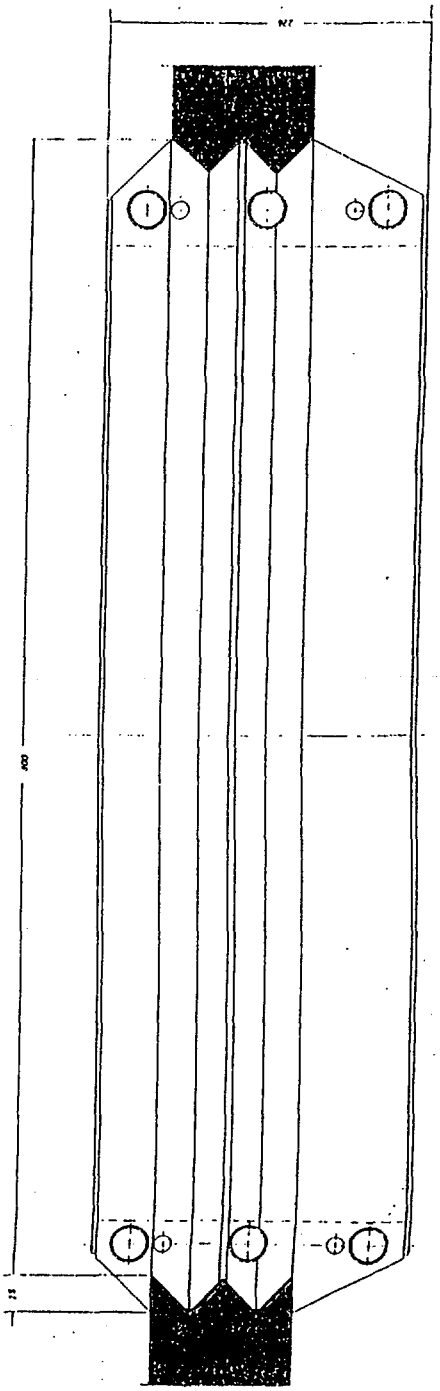
و عادة توضع النوافذ ضمن إطار مثبت في الجدار المراد تركيبها عليه، هذا الإطار يجب أن يكون متينا بحيث يضمن ثبات و إحكام النافذة التي قد تكون ذات وزن كبير أحيانا.

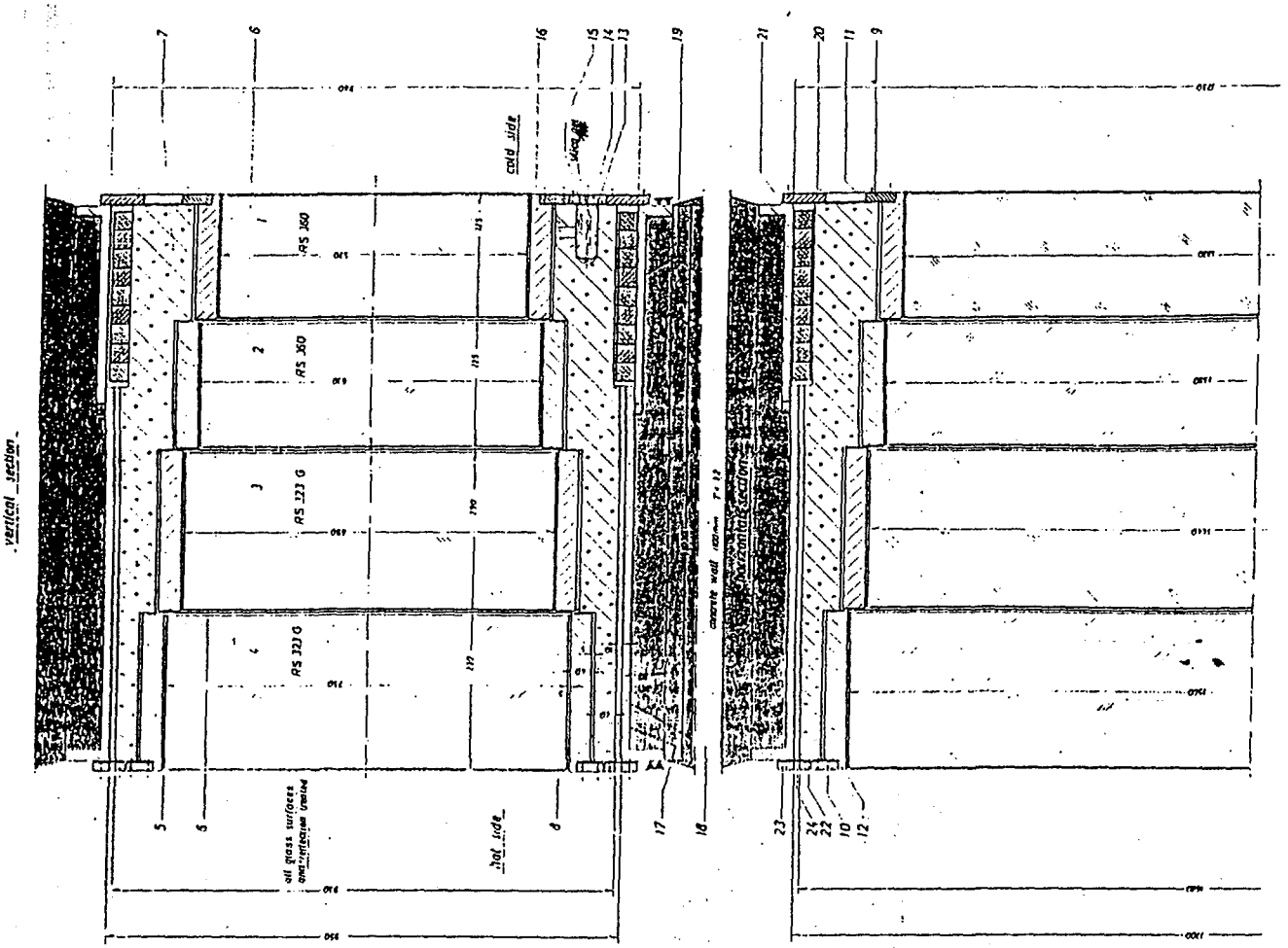
في ما يلي نجد بعض التصاميم لبعض النوافذ التدريعية المصنعة من قبل SCHOTT&GEN الألمانية:

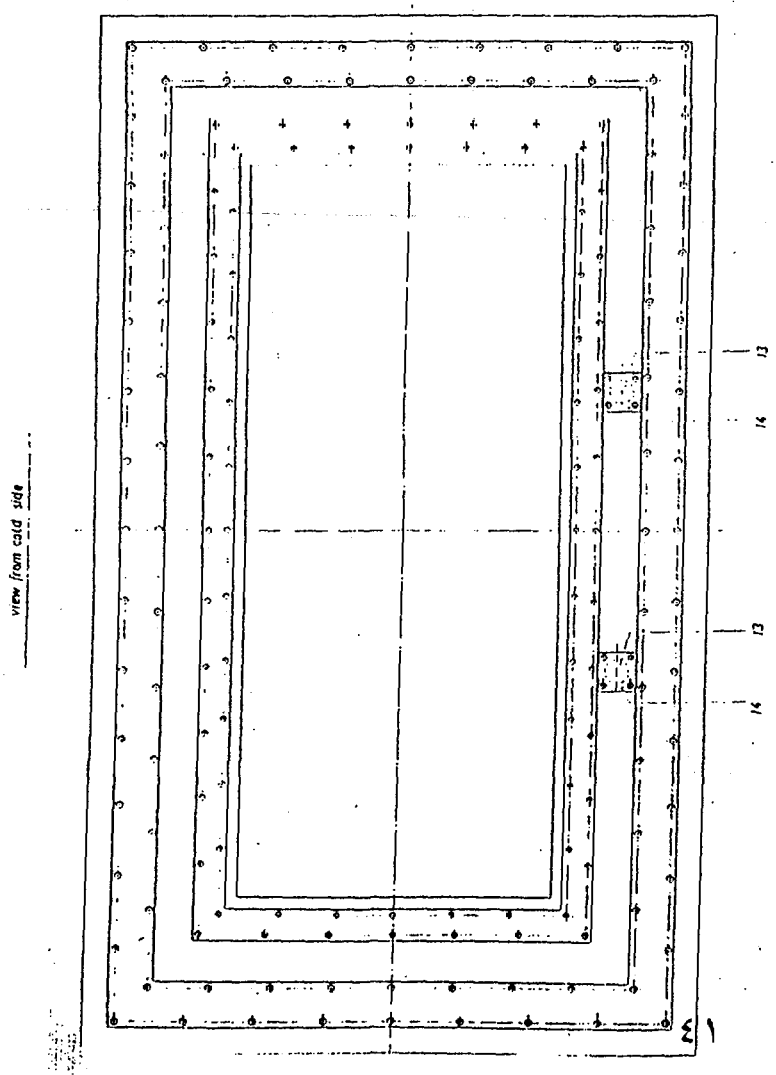
Radiation shielding window (for lead-brick wall)







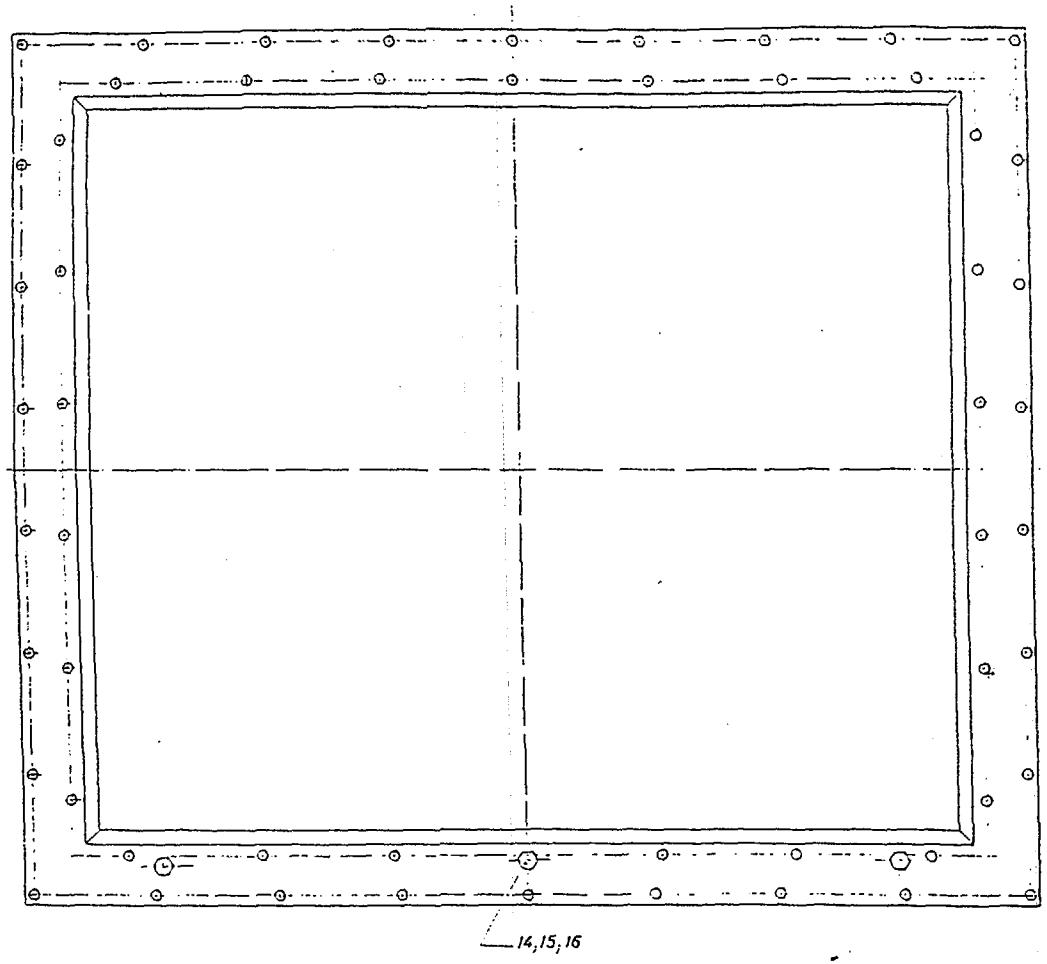




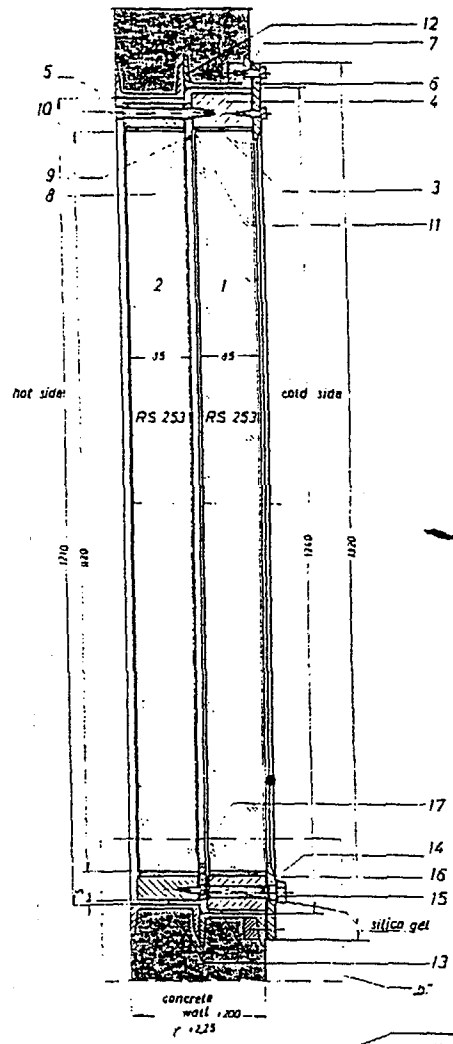
Radiation shielding window (dry window)

Radiation shielding window (dry window)

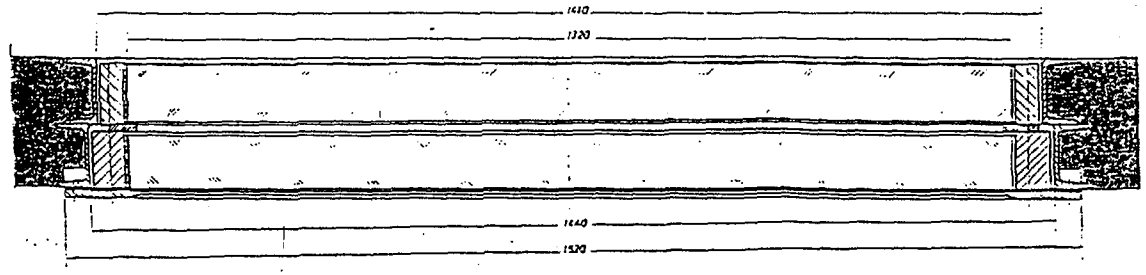
view from cold side

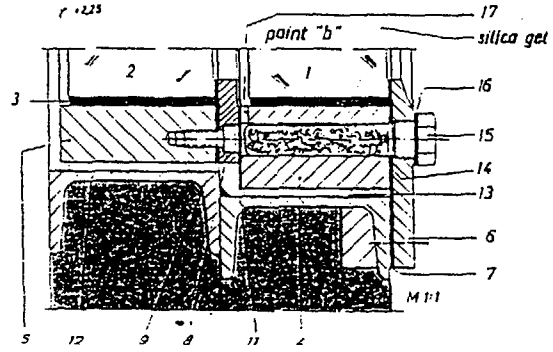


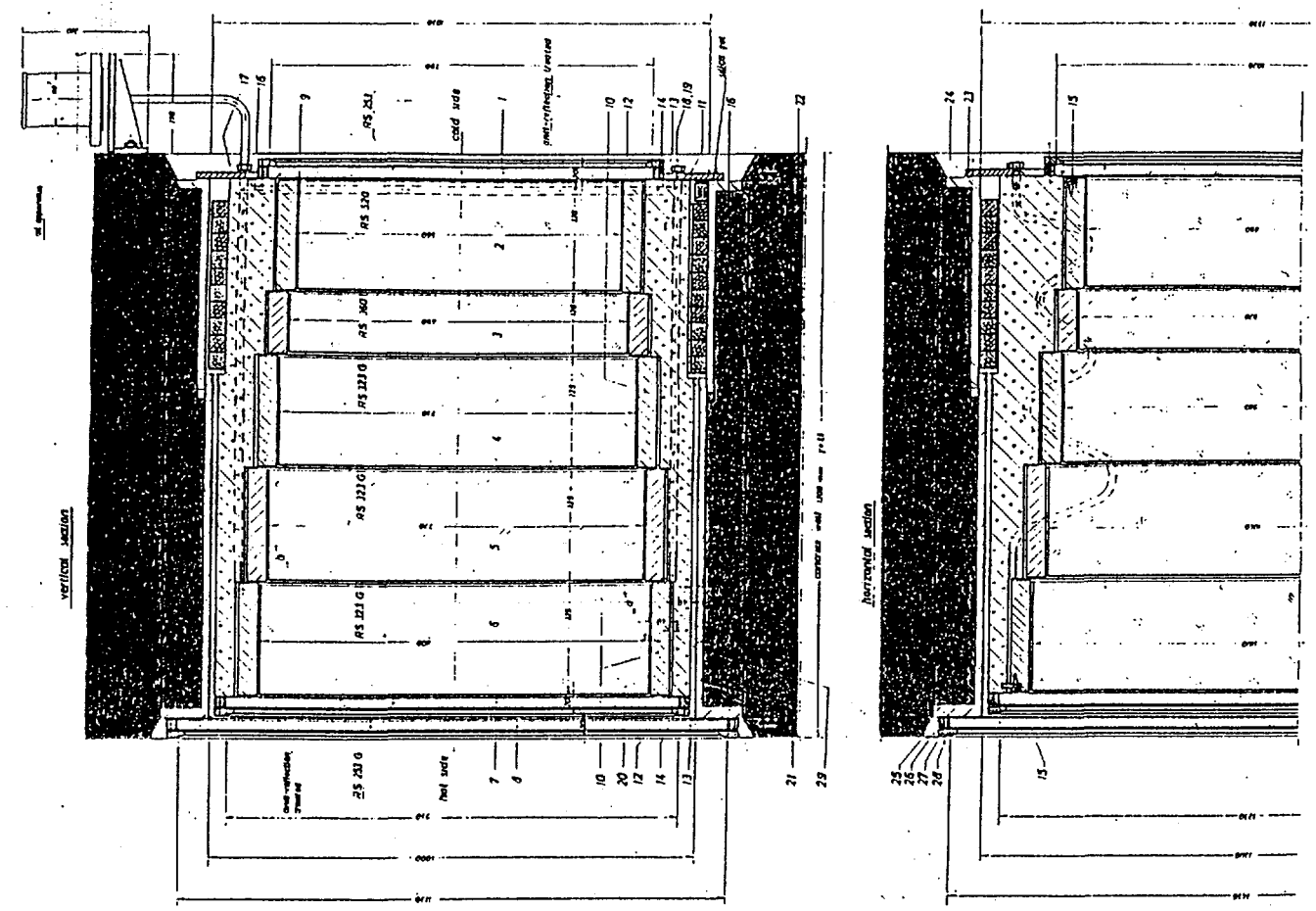
vertical section

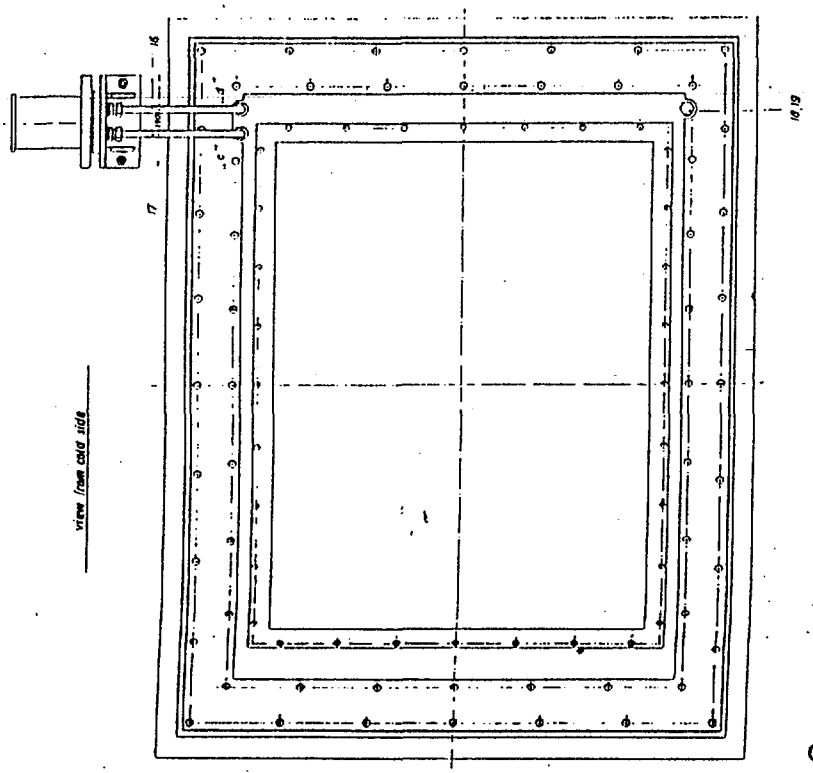


horizontal section



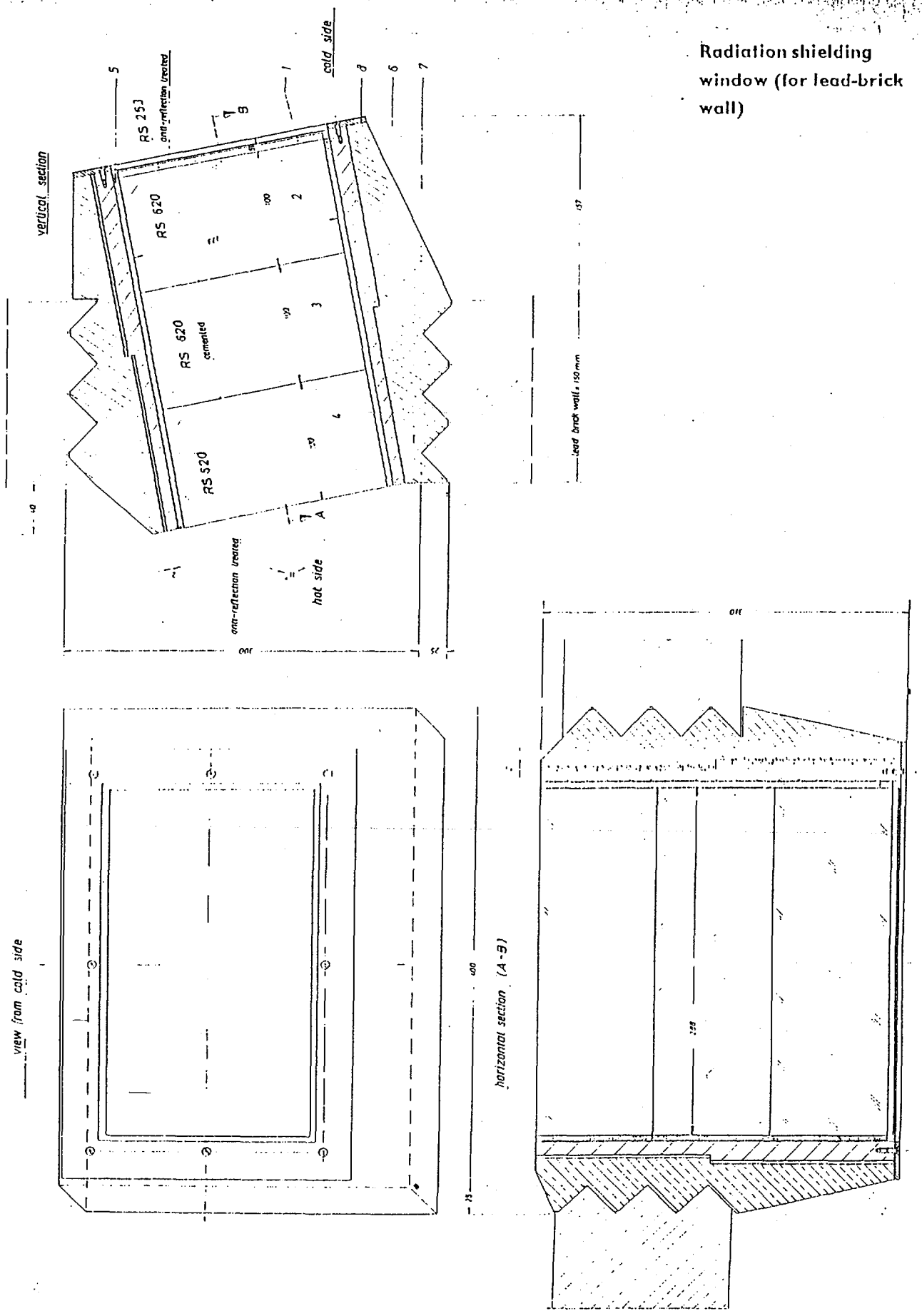






Oil-filled radiation shielding window

Radiation shielding window (for lead-brick wall)



٨-المراجع:

- صناعة الزجاج، رؤوف النحاس، دار النهضة العربية، ١٩٦٨.
- الضوء، فيزياء الثاني الثانوي العلمي، المؤسسة العامة للمطبوعات و الكتب المدرسية، ١٩٨٦.
- الفيزياء للمعاهد المتوسطة المتخصصة،ل.جدانوف، غ.جدانوف، دار مير للطباعة و النشر، موسكو ١٩٨٦.
- الموجز في تكنولوجيا الزجاج، د.رونة بيرسون- خبير الأمم المتحدة-، تعريب د.أسامة الدبيك- تماضر حقي، مركز الاختبارات الصناعية، ١٩٨٣.

- **Properties of materials, C.V.Y.Chong, M&E handbook series, 1977.**
- **High-performance Glasses, M.Cable & J.M.Parker, Champion and Hall, U.S.A 1992.**
- **Flat Glass technology, R.Persson,.Butterworths, London 1969.**
- **Engineering Materials Handbook, Charles L.Mantell, Mc-Graw Hill, 1958.**
- **Glassblowing for laboratory technicians, R.Barbour, Pergamon Press, 1978.**
- **Engineering Compendium On Radiation Shielding, Vol II: Shielding Materials, R.G.Jaeger, Springer-Verlag, 1975.**
- **Engineering Hot-Cell Windows for Radiation Protection, K.R.Ferguson & J.C.Courtney, preliminary summary for American Nuclear Society – Remote Systems Technology Division, 1983 winter meeting, C.A., October 30- November 3, 1983.**
- **Jenaer Glaswerk Schott & Gen.: Radiation Shielding Glasses. Radiation Shielding Windows, Mainz, West Germany.**
- **Manual on Safety Aspects of the Design and Equipment of Hot Labratories, Safety Series No.30, International Atomic Energy Agency, Vienna 1981.**