INDEX

104504 / 149 م.

استخدام الليزر في مكان العمل

دليـــل عملـــي

تم إعداده من قبل اللجنة الدولية للأشعة غير المؤينة المنبثقة عن الاتحاد الدولي للوقاية الإشعاعية، بالتعاون مع منظمة العمل الدولية

منظمة العمل العربية
المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية
دمشق

ترجمـــة :

المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية

منشورات المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية

دمشق 1996

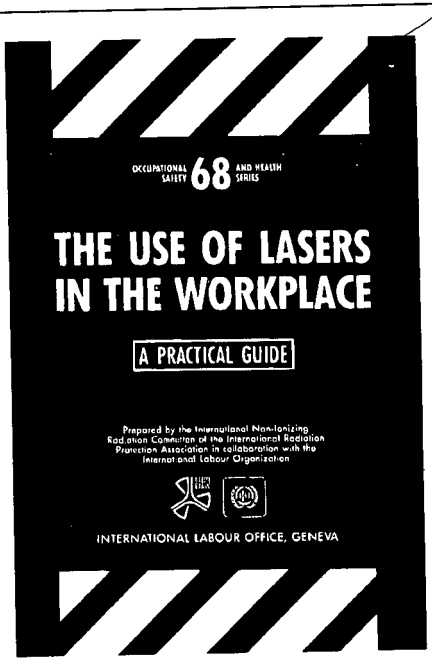
(A)

INDEX

إستـخدام الليـزر في العمـل : دليـل عمـلي = The Use Of Lasers in the Work place / اعـداد اللجنة الدولية للأشعة غير المؤينة ، الاتحاد الدولي للوقاية الاشـعاعية ، بالتعـاون مع منظمـة العمل الدوليـة ؛ ترجمـة المعهد العربي للصحـة والسلامة المهنية . - دمشق : المعهد ، ١٩٩٦ . - ١٥١ص ؛ ٢٠سم .

١ - ١ر٣٦٣ إدو إ ٢ - ٦ر٦١٣ إدو إ ٣ - العنوان ٤ - العنوان الموازي
٥ - الاتحاد الدولي للوقاية الاشـعاعية . اللجنة الدولية للأشـــعة غير المؤينة
٦ - منظمة العمل الدولية ٧ - المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية
مكتبة الأسد

الإيداع القانوني : ع - ١٧١٧ / ١٢ / ١٩٩٦



صورة غلاف الكتاب الأصلي

*نشرت الطبعة الأصلية لهذا العمل من قبل مكتب العمل الدولي - جنيف تحت عنوان THE USE OF LASERS IN THE WORKPLACE .

وقد تمت ترجمته وإعادة إصداره بموافقة مكتب العمل الدولي .

* حقوق النشر © 1993 - منظمة العمل الدولية

* حقوق النشر للطبعة العربية © 1996 منظمة العمل العربية - المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية

لاتنطوي التسميات المستخدمة في منشورات مكتب العمل الدولي ، التي تتفق مع تلك التي تستخدمها الأمم المتحدة ، ولا العرض الوارد فيها للمادة التي تتضمنها ، على التعبير عن أي رأي كان من جانب مكتب العمل الدولي بشأن المركز القانوني لأي بلد أو منطقة أو اقليم أو لسلطات أي منها ، أو بشأن تعيين حدودها .

* و مسؤولية الآراء المعبر عنها في المواد أو الدراسات أوالمساهمات الأخرى التي تحمل توقيعاً هي مسؤولية مؤلفيها وحدهم ، ولايمثل النشر مصادقة من جانب مكتب العمل الدولي على الآراء الواردة فيها .

والإشارة الى أسماء الشركات والمنتجات والعمليات التجارية لاتعني مصادقة مكتب العمل الدولي عليها . كما ان اغفال ذكر شركات ومنتجات أو عمليات تجارية ليس علامة على عدم اقرارها .

INDEX

تقديـــــم :

العلوم عماد الحضارة، والحضارة إرث إنساني ساهم في صنعه العديد من الأمم والشعوب، وإن استعراضاً شاملاً لما يشهده العالم من تطور حضاري يظهر مدى مايبتكره العقل البشري في اكتشافاته العلمية المتسارعة لصالح البشرية جمعاء. وقد حملت لغتنا العربية فيما مضى راية الحضارة، فساهمت في بناء صرح الحضارة الإنسانية، ونقل الحضارات بين الشعوب، ونحن نريد للغتنا العربية، عنوان أصالتنا، أن تستوعب حضارة العصر الذي نعيش فيه نقلاً وإبداعاً.

من هنا نضع بين يدي قارئنا الكريم هذا الكتاب كجهد مخلص متواضع، ليكون مرجعاً حديثاً وافراً عن الليزر وطرق الوقاية من أخطار ذلك الإشعاع الذي أغنى العالم بتطبيقاته العجيبة في مختلف مجالات الحياة.

نأمل لهذا الكتاب أن يرقى إلى المستوى المأمول من الكفاءة، علّه يحقق الهدف الأسمى في خدمة إنساننا العربي أينما كان.

ولايسعنا أخيراً إلا أن نقدم خالص شكرنا إلى مكتب العمل الدولي والذي تكرم بمنحنا الموافقة على الترجمة والنشر باللغة العربية، وكان لنا العون المخلص دوماً فله منا كل التقدير.

والله ولي التوفيق

مدير المعهد

د. محمود إبراهيم

INDEX

مقدمـــة الطبعة الأصلية :

يعد هذا المنشور واحداً من سلسلة الارشادات العملية حول الأخطار المهنية الناشئة عن الأشعة غير المؤينة (NIR)، وقد تم إنجازه بالتعاون مع اللجنة الدولية للأشعة غير المؤينة (INIRC) المنبثقة عن الاتحاد الدولي للوقاية الاشعاعية *(IRPA)، كجزء من البرنامج الدولي لمكتب العمل الدولي لتحسين ظروف وبيئة العمل (PIACT).

إن الغرض من هذا الكتاب هو تقديم إرشادات أساسية حول ظروف وإجراءات العمل، تقود فيما بعد إلى معايير أعلى للسلامة من أجل جميع الموظفين المشتغلين في صناعة وصيانة وتشغيل أجهزة الليزر.

وهو معد بشكل خاص للاستخدام من قبل السلطات المختصة وأصحاب العمل والعمال، وبشكل عام من قبل الأشخاص المسؤولين عن الصحة والسلامة المهنية.

وقد غطى هذا الكتاب الموضوعات التالية:

---

* في أيار 1992، أصبحت IRPA - INIRC هيئة علمية مستقلة سميت باللجنة الدولية للوقاية من الأشعة غير المؤينة (ICNIRP) حيث اضطلعت بمسؤوليات الوقاية من الأشعة غير المؤينة (NIR) بالأسلوب نفسه المتبع من قبل اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية من الاشعة المؤينة (ICRP).

- خصائص الإشعاع الليزري.
- التأثيرات الحيوية والصحية.
- نمط التعرض المهني وتأثيراته.
- تقدير مصادر الخطر.
- آلات وتقنيات القياس.
- حدود التعرض المهني ومعايير السلامة.
- ضبط الإشعاع الليزري والحماية من التعرض له.
- قواعد البنية الادارية اللازمة لضمان السلامة الليزرية في مكان العمل.

كما تم التأكيد على الاجراءات الوقائية اللازمة.

لقد تم تحضير هذه المخطوطة من قبل مجموعة عمل تابعة لـ (IRPA - INIRC) برئاسة الدكتور D.H.Sliney، وضمَّت كلاً من: الدكتور B.Bosnjakovic، والدكتور L.A.Court، والدكتور A.F.Mckinlay، والدكتور L.D.Szabo.

كما تمت مراجعتها بشكل مفصل خلال الاجتماع السنوي لـ IRPA - INIRC في روما (إيطاليا)، أيار 1991، وذلك بالتعاون مع الدكتور G.H.Coppee ممثل مكتب العمل الدولي.

إن هذا الكتاب هو ثمرة جهود كل من IRPA - INIRC 9 ILO، وقد قام مكتب العمل الدولي بنشره لصالح هاتين المنظمتين. هذا وترغب منظمة العمل الدولية بتقديم خالص شكرها للّجنة الدولية للوقاية من الاشعاع غير المؤين المنبثقة عن الاتحاد الدولي للوقاية الاشعاعية، وتخص بالشكر الدكتور D.H.Sliney ومجموعة عمله، لاسهامهم وتعاونهم المخلص في تحضير هذا الدليل العملي حول استخدام الليزرات في مكان العمل.

INDEX

محتويات الكتاب

1- مدخل 13

2- خصائص إشعاع الليزر..... 21

2-1 مقادير وواحدات الشدة والمصطلحات المتعلقة بها..... 21

2-2 نماذج أجهزة الليزر..... 21

3- مصادر التعرض المهني لاشعاع الليزر..... 25

3-1 تطبيقات الليزر الصناعية والعلمية..... 25

3-1-1 استخدام الليزر الصناعي..... 25

3-1-2 تطبيقات الليزر العلمية..... 25

3-2 تطبيقات الليزر الطبية والجراحية..... 25

3-3 الاتصالات الليزرية بالألياف الضوئية..... 26

3-4 ليزرات العرض والتسلية..... 26

4- تقييم الخطر وتصنيف جهاز الليزر..... 29

4-1 مفاهيم عامة لتقييم مصادر الخطورة وتقدير الخطر..... 29

4-2 تصنيف أجهزة الليزر..... 30

4-3 وسطاء (بارامترات) خرج الليزر المطلوبة لتصنيف الخطر..... 32

4-4 تعاريف خاصة بدرجات خطورة أجهزة الليزر..... 34

4-5 تصنيف أجهزة الليزر متعددة الأطوال الموجية ومتعددة المصادر. 38

4-6 التقدير الدقيق للخطر..... 38
4-7 البيئة..... 39
4-7-1 تشغيل الليزر داخل المباني والمنشآت..... 41
4-7-2 عمليات تشغيل الليزر في الهواء الطلق عبر مسافات شاسعة..... 42
4-8 الأشخاص المعرضون..... 43
5- آلات وتقنيات القياس..... 45
5-1 وسطاء (بارامترات) الليزر للقياس..... 45
5-2 أنواع أدوات قياس الشدة..... 46
5-2-1 كواشف حرارية..... 47
5-2-2 كواشف كمومية..... 48
5-2-3 تقدير الخطر..... 49
5-3 تقنيات القياس الضوئية (الفوتوغرافية)..... 50
5-4 المعايرة وتقنيات القياس..... 51
5-5 استنتاجات..... 52
6- حدود التعرض المهني ومعايير السلامة..... 55
6-1 ارشادات IRPA/INIRC حول حدود التعرض الليزري..... 55
6-1-1 لمحة عن الموضوع..... 55
6-1-2 حدود التعرض..... 55
6-1-3 الطبعات المنقحة عام 1988..... 62

6-1-4 حدود التعرض الليزري ما تحت الأحمر..... 63
6-1-5 زمن التعرض..... 64
6-1-6 التعرض الليزري المتكرر..... 66
6-2 استشراف المستقبل..... 68
7- طرق السيطرة والحماية من التعرض الليزري..... 69
7-1 اجراءات السيطرة – مفاهيم عامة..... 69
7-2 مراقبة أشعة الليزر في مكان العمل..... 74
7-3 السيطرة على التعرض المهني..... 75
7-3-1 تصنيف الليزر..... 75
7-3-2 منتجات الليزر المصنعة..... 76
7-3-3 ليزرات التطوير والبحث العلمي..... 76
7-3-4 أنظمة الليزر نوع 3b ونوع 4 المستخدمة داخلياً.... 77
7-3-5 أنظمة الليزر نوع 3b ونوع 4 المستخدمة في الهواء الطلق..... 77
7-4 تدابير السلامة الوقائية..... 81
7-4-1 أنواع اجراءات السيطرة..... 81
7-4-2 اختيار اجراءات السيطرة..... 81
7-4-3 منتجات الليزر المعدلة..... 82
7-4-4 بيئات معينة..... 82
7-4-5 وسائل الإيضاح الليزرية والعروض والمعارض..... 83

7-4-6 تجهيزات الليزر في المخبر أو المعمل..... 83
7-4-7 تجهيزات الليزر في الهواء الطلق وليزرات البناء..... 86
7-4-8 إجراءات السيطرة الهندسية..... 90
7-4-9 اشارات التحذير..... 91
7-4-10 مسارات حزمة الأشعة..... 91
7-4-11 الانعكاسات الصقيلة..... 92
7-4-12 حماية العين..... 92
7-4-13 الألبسة الواقية..... 95
7-5 الأخطار الناجمة عن تشغيل الليزر..... 95
7-5-1 التلوث الجوي..... 95
7-5-2 أخطار الأشعة المرافقة..... 95
7-5-3 أخطار كهربائية..... 96
7-5-4 المبردات (مواد أو محاليل التبريد)..... 97
7-5-5 أخطار أخرى..... 98
7-6 التدريب..... 98
7-7 المراقبة الصحية..... 99
8- التنظيم الاداري 101
8-1 دور السلطات المختصة..... 101
8-1-1 وضع القواعد والأنظمة والمعايير والقوانين المناسبة... 102
8-1-2 الترخيص والابلاغ ونظم التسجيل..... 102
8-1-3 متطلبات السيطرة النوعية، من أجل تصميم وتخطيط

وبناء المصنع والمعدات..... 103
8-1-4 التفتيش والتدخل المناسب..... 104
8-2 مسؤولية صاحب العمل..... 104
8-3 واجبات مشرف سلامة الليزر..... 105
8-4 واجبات اختصاصيي الصحة والسلامة المهنية الآخرين..... 107
8-5 واجبات العامل (مستخدم جهاز الليزر)..... 108
8-6 مسؤوليات المصنعين..... 109
8-7 التعاون..... 109
ملحق A – مصطلحات قياس الشدة والخصائص الفيزيائية لليزرات..... 111
1- مقادير وواحدات قياس الشدة..... 111
1-1 الشدة والتعرض الاشعاعي والسطوع..... 111
1-2 مقادير وواحدات القياس الفوتونية..... 114
1-3 تعاريف طيفية..... 115
2- الخواص الفيزيائية لأشعة الليزر..... 117
2-1 الإصدار المحثوث..... 117
2-2 السطوع العالي..... 118
2-3 الانفراج..... 118
2-4 وحدانية اللون..... 119
2-5 الترابط..... 119
ملحق B- التأثيرات الحيوية والصحية لاشعاع الليزر..... 121
1- الخواص الضوئية للنسج..... 121
1-1 الأشعة مافوق البنفسجية..... 121
1-2 الأشعة المرئية وتحت الحمراء..... 123
2- آليات الأذى..... 124

3- التأثيرات العينية..... 124

4- التأثيرات الجلدية..... 131

ملحق C- شرح المصطلحات العلمية الخاصة بالليزر..... 133

ملحق D- نبذة عن اللجنة الدولية للاشعاعات غير المؤينة (INIRC)... 145

ثبت المراجع..... 149

الأشكال:

1- مصد ليزري بالمقارنة مع مصدر ضوء تقليدي..... 23

2- انعكاس حزم أشعة الليزر..... 43

3- عامل التصحيح C المستخدم لتحديد قيم حد التعرض في المنطقة الطيفية للأشعة تحت الحمراء القريبة..... 62

4- شارة تحذير ليزر قياسية (IEC)..... 28

1 (B)- الخواص الامتصاصية للعين واختلافها باختلاف الطول الموجي..... 126

الجداول:

1- أجهزة الليزر الشائعة وتطبيقاتها..... 26

2- مجال قياس الشدة التقريبي، ذو الأهمية في تحليل الخطر..... 52

3(a)- حدود التعرض من أجل تعرضات عينية مباشرة لحزمة الليزر (النظر داخل الحزمة)..... 57

3(b)- حدود التعرض العيني لليزر ذي مصدر ممتد..... 58

3(c)- حدود التعرض الجلدي لأشعة الليزر..... 59

3(d)- حدود التعرض المهنية المختارة من أجل بعض الليزرات الشائعة..... 61

A-1 واحدات قياس الشدة التابعة لـ(CIE)..... 113

1

مدخـــل

يمكن أن نعرف المشتغلين بالليزر أنهم أشخاص يعملون في تطوير وتصنيع وحفظ وصيانة واستخدام أجهزة الليزر.

هـذا ويدخل ضمـن هـذا التعريـف الأشـــخاص الذيـن يخضعون للعلاج اضافـة إلى ذوي العاهات المختلفة، لذا يجب أن يؤخذ ذلك بعين الاعتبار عند تحضير واعداد إرشادات السلامة.

ان وتـائر التطور اضافـة إلى تعدُّد تطبيقـات الليزر الحديثـة، خلال العقود القليلة الماضية كانت مميزة بشكل واضح. فقد أحدث الليزر ثورة في حقل وسائل الاتصال والالكترونيات الضوئية.

هذا وتوجد مؤشـرات واضحة على استمرار تطور تقنيات الليزر بشكل سريع بحيث يصبح استخدامه أكثر انتشاراً.

وبالرغم من منافع التكنولوجيا فمن البديهي أن نذكر أن التصميم أو الاستخدام الخاطئ لأي جهاز، قـد يؤدي إلى تأثيرات غـير مرغوبة، ولا يستثنى الليزر من ذلك.

ومن جهـة أخرى، فعلـى الرغم من أن الانجـاز التقني غالبـاً مـا ينشـط ويتطور مع الادراك الكـامل والمسبق بالأخطار الناتجـة، فمن المستحسـن أن نشهد ومنذ البداية الاهتمام الجدي الذي يجب أن يولى لتأثيرات إشعاع الليزر على الأجهـزة الحيويـة (ملحق B) وتطويـر الارشـــادات الوقائيـة وحدود التعرض الموصى بها (IRPA, 1985 and 1988).

INDEX

2

خصائص إشعاع الليزر

2-1 مقادير وواحدات قياس الشدة (الراديومترية) والمصطلحات المتعلقة بها:

لقد تم توحيد الواحدات والمصطلحات الفيزيائية (الراديومترية) المستخدمة في المجال الضوئي للطيف الكهرطيسي، وذلك بشكل قياسي عن طريق جملة الواحدات الدولية (SI).

حيث قامت الوكالة الدولية للاضاءة (CIE) بالاشتراك مع الوكالة الدولية الكهربائية التقنية (IEC)، بنشر مفردات موحدة قياسية لمصطلحات الاضاءة، تتضمن تعاريف خاصة بمصطلحات ومقادير وواحدات القياس الراديومترية والفوتونية المستخدمة في هذه الوثيقة (CIE, 1989).

هذا ويوجد عدد قليل فقط من المصطلحات والمقادير والواحدات المستخدمة على نطاق واسع عند تعيين حدود التعرض بغرض حماية صحة العمال، وقد نوقش هذا الأمر بشكل مفصل في الملحق A.

2-2 نماذج أجهزة الليزر:

هناك عدد من الطرق المناسبة لتصنيف أجهزة الليزر، وذلك اعتماداً على ما يلي:

- الطول الموجي.
- خصائص النبضة.
- الوسط الفعال
- عملية الضخ.

قد تكون الليزرات ذات موجة نبضية أو مستمرة (CW)، وذلك بالاعتماد على زمن إثارة الوسط الفعال بالضخ. ويتراوح زمن النبضة من (10^{-15}ثا) أو (10^{-12}ثا) إلى أجزاء من الثانية أكبر من سابقتها.

إذا أصدر الليزر نبضات بزمن أقل من ١ نانو ثانية (10^{-9}ثا)، فإنه سيكون ليزراً محصور النمط ["mode - locked"]، أما إذا أصدر نبضات من رتبة عدة نانو ثانية إلى عدة مئات من النانو ثانية، عندها يكون ليزراً مُكيَّف الجودة ["q - Switched" laser].

وعندما يحذو إصدار الليزر المضخ حذو النبضة العادية للمصباح الوميضي، فإنه يعرف بليزر طويل النبضة أو طبيعي النبضة ["long - pulse" or "normal pulse" laser].

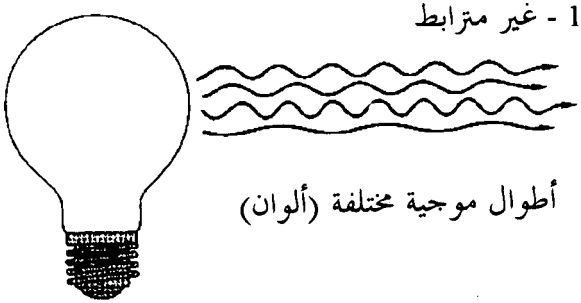
ولأغراض السلامة، تعرف الليزرات التي تقوم بالاصدار بشكل مستمر ولفترات تزيد عن (0.25ثا) بليزرات "CW".

كما تعرف الليزرات التي تصدر مجموعات أو سلاسل من النبضات، بالليزرات النبضية بشكل تكراري "repetitively pulsed"، حيث يشار إلى تواتر النبضات بتواتر تكرار النبضة (PRF).

هذا وبالمقارنة مع مصادر الضوء العادي، نجد الليزر ذا أشعة مترابطة، متوازية بشكل طبيعي ووحيدة اللون، كما هو مبين في الشكل (1).

شكل (1): منبع ليزري بالمقارنة مع منبع ضوء تقليدي

1 - غير مترابط



أطوال موجية مختلفة (ألوان)

2 - مترابط وأحادي اللون

نفس الطول الموجي (أحادي اللون)

موجات ذات طور واحد (مترابط)

ليـــــزر

INDEX

3

مصادر التعرض المهني لإشعاع الليزر

3-1 تطبيقات الليزر الصناعية والعلمية.

3-1-1 *استخدام الليزر الصناعي:*

تُستخدم الليزرات الصناعية بشكل نموذجي في القطع واللحام والأشكال الأخرى لمعالجة المعدات. وتحتوي هذه الأنظمة الصناعية ليزرات عالية الطاقة، لذا فهي تشغل في بيئات مسيطر عليها.

3-1-2 *تطبيقات الليزر العلمية:*

تعد هذه الأنواع من التطبيقات الأكثر إحكاماً في التصنيف، كما أنها الأصعب في السيطرة، هذا ويعتقد العلماء بضرورة تطبيق إجراءات السيطرة الأكثر صرامة، ذلك أنهم الأكثر تعرضاً لحوادث الليزر.

3-2 تطبيقات الليزر الطبية والجراحية:

في المجال الطبي، تم استخدام أشعة الليزر أولاً في طب العيون من أجل أغراض التخثير الضوئي للشبكية، وثانياً في الجراحة العامة. لقد كانت أداة من الطراز الأول في الجراحة الدقيقة بما فيها الجراحة العصبية.

هذا ويتم التحري الآن عن تقنيات الليزر العلاجية والتشخيصية في معظم الحقول الطبية، مثل التضوء التشخيصي للنسيج والجراحة

الخاصة بأمراض النساء والجهاز الهضمي وطب الجلد والجراحة التجميلية.

3-3 الاتصالات الليزرية بالألياف البصرية (الضوئية).

تحتبس طاقة الليزر خلال التشغيل في الليف البصري.

ويمكن أن تستدعي إجراءات الصيانة والإصلاح الوصول إلى سويّات ليزرية قد تكون خطرة.

3-4 ليزرات العرض والتسلية:

تصدر هذه الليزرات بشكل نموذجي عدة واطات من الضوء المرئي.

وقد تكون شديدة الخطر عندما تخفق أنظمة سلامة الجهاز في أداء عملها خلال التشغيل.

ان بعض أجهزة الليزر الشائعة وتطبيقاتها معطاة في الجدول (1).

جدول (1) – أجهزة ليزر شائعة مع تطبيقاتها

النوع	الطول الموجي	تطبيقاته
أرغون (AR) (شاردة)	458-515 نانو متر +350 نانو متر	– آلات القياس – التصوير ثلاثي الأبعاد – التسلية – التخثير الضوئي للشبكية
ثاني أوكسيد الكربون (Co_2) (غاز)	10.6 مايكرون	– معالجة المعدات – الرادار الضوئي/ تحديد المسافة – آلات القياس – تقنيات الجراحة
الصباغ	متغير من 350 نانو متر إلى 1 مايكرون	– آلات القياس – طب الجلد

ليزرات المزيج المثار (الاكسايمر)	193 - 351 نانو متر	– الجراحة بالليزر – معالجة المعدات – ضخ الليزر – تنظير الطيف
أرسينيد الغاليوم (GaAS) (ثنائي نصف ناقل)	850 - 950 نانو متر	– اتصالات الليف البصري – آلات القياس – تحديد المسافة – التحري – الدمى – الرصف
هليوم كادميوم (Hecd) (انفراغ غازي)	325 , 442 نانو متر	– المسح
هليوم نيون (HeNe) (انفراغ غازي)	632.8 نانو متر	– الرصف – المسح – تحديد المسافة – التصوير ثلاثي الأبعاد
الكريبتون (شاردة)	568 , 647 نانو متر	– التسلية – آلات القياس
زجاج النيوديميوم (Nd-glass)	1.06 مايكرون	– معالجة المعدات – آلات القياس
عقيق النيوديميوم (Nd-yAG)		– الرادار الضوئي/ تحديد المسافة – الجراحة
الياقوت	694.3 نانو متر	– طب الجلد – التصوير ثلاثي الأبعاد – تحديد المسافة

INDEX

4

تقييم الخطر وتصنيف اجهزة الليزر

4-1 مفاهيم عامة حول تقييم مصادر الخطورة وتقدير الخطر :

هناك اربعة مفاهيم لاستخدام الليزر لابد من ان تؤخذ في الحسبان عند تقييم الاخطار المحتملة وتقدير خطورة الاذية وتطبيق اجراءات السيطرة.

(أ) ان قدرة جهاز الليزر على احداث الاذية هي التي تحدد تصنيفه كمصدر خطوزة مع الاخذ بعين الاعتبار اقتراب الشخص من المنفذ الرئيسي او أي منفذ ثانوي لحزمة اشعة الليزر، لذا فقد تم اعتماد اجراءات محددة للسيطرة على مصادر الخطر داخل احهزة الليزر المصنعة تجارياً (IEC ، 1984 ،1990).

(ب) البيئة التي يستعمل فيها جهاز الليزر

(جـ) مستوى تدريب الشخص الذي يقوم بتشغيل اجهزة الليزر او الذي يتعرض لاشعتها.

(د) الاستخدام الذي اعد جهاز الليزر لأجله.

تقضي الطريقة العملية لتقييم مصادر خطورة اشعاع الليزر وتقدير خطر التعرض ، بأن نحدد اولا تصنيف الخطر الناجم عن كل جهاز

ليزر، حيث يشير نوع الخطر الى احتمال الخطر النسبي لليزر كما يمكن ان يعطي تقديرا ما لخطر التعرض الى سويات خطرة من اشعاع الليزر. وقد تم تحديد اجراءات السيطرة المناسبة لكل نوع.

ان استخدام نظام التصنيف هذا سوف يبرز في معظم الحالات ضرورات اجراء قياس الشدة، وبالتالي يمكّن مستخدم الجهاز من التقدير الدقيق للخطر.

ان المفهوم (آ) في النظام الموحد قياسيا لتصنيف اجهزة الليزر، هو مفهوم محدد وثابت، بينما يختلف المفهومان (ب) و (جـ) مع كل استخدام ولا يمكن تضمينهما بسهولة في نظام تصنيف عام

ولكن المفاهيم الاربعة جميعها يجب ان تؤخذ بعين الاعتبار عند تطبيق اجراءات التقييم الشامل للخطر و مصادر الخطورة، بالرغم من ان المفهومين (ب) و (جـ) في معظم الحالات كافيان لتحديد اجراءات السيطرة المناسبة

4-2 تصنيف أجهزة الليزر:

يستند نظام تقييم الخطر ومصدر الخطورة المبين في هذه الفقرة، الى وسطاء (بارامترات) الخرج ومستويات الاشعاع التي يمكن الوصول اليها.

ويدخل هذا التصنيف في اعتباره ما هو معتمد لدى اللجنة الدولية للاضاءة (IEC , 1984) والادارة الاميركية للدواء والغذاء (FDA)،

وما هو مستخدم من قبل الجمعية الوطنية الاميركية للمعايير (1986 , ANSI).

ان تصنيف جهاز الليزر سوف يظهر بشكل طبيعي على العديد من منتجات الليزر المصنعة تجاريا بشكل لاحق لاقرار او اتخاذ هذه المعايير.

ولابد من استخدام هذا التصنيف ما لم يتم تعديل جهاز الليزر لتغيير طاقة خرجه بشكل كبير.

وهذه الانواع هي :

1- انظمة الليزر غير الخطرة (بدون اخطار حيوية معروفة)

2- انظمة الليزر (المرئي فقط) والتي لاتشكل مصدر خطورة بمقتضى استجابات التضاد الطبيعية (خطر منخفض)

3- انظمة الليزر والتي يكون فيها النظر داخل حزمة الاشعة المباشرة او الانعكاسات على السطوح الصقيلة خطرا احيانا (خطر معتدل)، وهي تقسم في بعض الاحيان الى تصنيفين فرعيين (a) و (b)، حيث نجد ان النوع (3a) يمثل خطرا منخفضا (مشابه للنوع 2) وهو خطر فقط عندما تركز حزمة الاشعة او يعاد تجميعها باستخدام جهاز بصري.

4- انظمة الليزر والتي قد تكون انعكاساتها المنتشرة خطرة، كما يمكن ان تؤدي حزمة اشعتها الى خطر حدوث حريق او اخطار جلدية حقيقية.

ان الاساس في نظام تصنيف الخطر ومصدر الخطـورة هـو قـدرة حزمة اشعة الليزر الاولية او المنعكسة على احداث اذية حيوية للعـين او الجلد.

لايحدث ليزر النوع (2) ذو الطاقـة المنخفضـةخطرا فوريـا عندمـا يتـم النظـر عرضيـا الى اشـعتها المباشـرة، الاانـه يجـب ان يحمـل لصاقـة تحذيرية على السطح الخارجي للجهاز، وذلك للتحذير من التحديـق في حزمة الاشـعة، كمـا يتطلـب النـوع (3a) مـن اجهـزة الليزر اجـراءات سيطرة مشابهة.

اما النوع (3b) ذو الخطورة المعتدلة والطاقة المتوسطة، فانه يتطلب اجراءات سيطرة خاصة لمنع النظر الى حزمة الاشعة المباشرة.

بينمـا يتطلـب النـوع (4) ذو الخطـورة المرتفعـة والطاقـة العاليـة استخدام اجراءات السيطرة التي تمنع تعرض العين او الجلد لحزمة الاشعة المباشرة او المنعكسـة بالانتشـار. حيـث ان التعـرض للاشـعاع الضوئـي الناجم عن مثل هذه الاجهزة قد يشكل خطرا جلديا حقيقا، اضافة الى احتمال تأذي العين.

3-4 وسـطاء (بارامـترات) خـرج الليـزر المطلوبـة لتصنيـف الخطر

لقد تم تحديد حدود الاصدار التي يمكن الوصول اليها لكل نـوع من اجهزة الليزر دون النوع الرابع، مثلا يكون منتج الليـزر مـن النـوع

المعطى، فقط اذا كان اشعاع الليزر المنطلق ادنى من حدود الاصدار المسموح بالوصول اليها لهذا النوع. هذا ولايوجد حدود مشابهه من اجل النوع (4).

ان الوسطاء التالية مطلوبة وضرورية لتصنيف الانواع المختلفة لليزر:

1- جميع الليزرات بشكل اساسي : الطول الموجي او مجال الطول الموجي.

2- الليزرات ذات الموجة المستمرة (CW) او النبضية بشكل تكراري:

معدل خرج الطاقة (وسطي الاستطاعة الناتجة) مطلوب ايضا، وفي بعض الحالات يكون من الضروري تحديد زمن التعرض بالاعتماد على نوع التطبيق

3- الليزرات النبضية : الطاقة الكلية لكل نبضة (او طاقة الذروة)، زمن النبضةالمنبعثة، تواتر تكرار النبضةوالتعرض الاشعاعي لحزمة الاشعة

4- اجهزة الليزر ذات المنبع الممتد، مثل الليزر الثنائي نصف الناقل:

جميع الوسطاء المذكورة سابقا، وسطوع المنبع الليزري والمعامل الزاوي للرؤية الاعظمية.

4-4 تعاريف خاصة بدرجات خطورة جهاز الليزر:

النوع 1 : اجهزة ليزر لاتملك خطرا اشعاعيا معروفا.

يعرف جهاز الليزر من النوع (1) بانه أي ليزر او نظام ليزري يحوي مثل هذا الليزر الذي لايستطيع ان يصدر سويات اشعاعية ليزرية تتجاوز حدود الاصدار المسموح بها للنوع (1) خلال زمن التصنيف، وزمن التصنيف هذا هو أطول فترة متوقعة للتعرض اليومي.

وتعرف حدود الاصدار المسموح بالوصول اليها من اجل النوع الاول بانها تعبير عن الحالة الاسوأ لقدرة اشعة الليزر على احداث الاذى، ومن الضروري لدى تقدير خطر الحالة الاسوأ ان نأخذ بعين الاعتبار، اضافة الى سطوع خرج الليزر او التعرض الاشعاعي، احتمال وجود الخطر عند تركيز خرج الليزر الكلي ضمن منفذ محدد من اجل حد تعرض ملائم.

على سبيل المثال، فان حزمة الاشعة غير المركزة لليزر (CO2) مستمر الموجة (CW) وبطول موجي 10.6 مايكرون، لن تكون خطرة إذا كانت شدة الحزمة أقل من $1\ KW.m^{-2}$ ، واذا كانت طاقة الخرج 10 W مثلا وامكن تركيز حزمة الاشعة بواسطة مرآة مقعرة من موقع ما الى بقعة ذات قطر 1 mm، فانه قد يتواجد خطر حقيقي.

يجب ان تحدد حدود الاصدار المسموح بالوصول اليها من اجل النوع (1) بطريقتين مختلفتين وذلك بالاعتماد على جهاز الليزر نفسه، فيما اذا كان يعتبر كمنبع ممتد(حالة غير اعتيادية) او منبع نقطي (حالة طبيعية).

بالنسبة لمعظم اجهزة الليزر، تكون حدود الاصدار الممكنة من اجل النوع (1)، عبارة عن ناتج جداء (a) × (b) حيث a : هي حد تعرض العين داخل حزمة صادرة عن منبع نقطي خلال فترة التعرض T max ، و(b) هي المساحة الدائرية للمنفذ المحدد.

في الليزرات ذات المنبع الممتد (كالسلسلة الليزرية ، وثنائيات الليزر ، وليزرات الخرج المنتشر التي تصدر في مجال طيفي يتراوح بين (400 – 1400 نانو متر) تكون حدود الاصدار الممكنة للنوع 1 محددة بواسطة خرج (نتاج) الاستطاعة او الطاقة الى الحد الذي لايتجاوز فيه سطوع المنبع حد التعرض لمنبع ممتد وذلك اذا تم النظر الى المنبع من اصغر مسافة للرؤية (10 CM) . ولا تزيد منظومة الرؤية البصرية من الخطورة في حالة المنابع الواسعة (الممتدة).

ان حدود الاصدار هذه نادرا ما تكون ضرورية التطبيق، بينما يمكن ان تطبق حدود الاصدار المسموح بها لمنبع نقطي لتقديم تحليل وقائي.

النوع 2 : اجهـزة لـيزر الضـوء المرئـي ذات الخطـورة المنخفضـة والطاقـة المنخفضـة والـتي لاتشـكل خطـورة مـن اجـل الرؤيـة الخاطفـة السريعة وهي تعرف كما يلي :

(أ) اجهزة ليزر الضوء المرئـي ذات الموجـه المسـتمرة وهـي الـتي تستطيع القيام باصدار طاقة تتجاوز حدود الاصـدار المسـموح بهـا مـن أجل النوع (1)خلال زمن التصنيف ($0.4\ \mu W$ من اجـل زمـن T_{max} اكـبر من 0.25 ثا) دون أن تتجاوز 1mW.

[ملاحظـة : في بعـض المعايـير يمكـن ان توضـع بعـض لـيزرات النوع (2) ضمن تصنيف ثانوي، نوع (2a) (وهي ليست خطـرة مـن اجل فترات رؤية أكبر من 1000 ثانية)].

(ب) ان الانظمة الليزرية للمسح المرئي اضافة الى اجهزة اللـيزر النبضيـة المتكـررة والـتي تسـتطيع القيـام بـاصدار طاقـة تتجـاوز حـدود الاصدار الممكنة من اجل النوع (1)، دون ان تتجـاوز حـدود الاصـدار الممكنة للنوع (1) خلال زمن تعرض قدره 0.25 ثا، هي من النوع (2).

ان أي جهاز ليزري تم تصنيفه كجهاز منخفض الخطورة بمقتضى اجراءات التسييج، يجب ان يحوي لصاقـات تحذيريـة تشـير الى الخطـورة الاعلى الناجمة عن ازالة تأطيرات المنفذ. قد تكون هذه اللصاقات مغطاة بتسييج منفصل يجب ازالته قبل ازالة تأطيرات المنفذ الرئيسي.

النوع 3a : ان اجهزة الليزر منخفضة الخطورة ومتوسطة الطاقة هي عبارة عن ليزرات مستمرة الموجة للضوء المرئي، تقوم بالاصدار في مجال طاقي يتراوح بين 1-5 mW ، وتملك شدة في الحزمة المنبعثة قدرها $25\ Wm^{-2}$ اواقل.

النوع 3b : تعرف اجهزة الليزر معتدلة الخطورة ومتوسطة الطاقة كما يلي:

(أ) اجهزة الليزر ذات الاشعة فوق البنفسجية (uv) وتحت الحمراء B (IRB) وتحت الحمراء C (IRC) والتي يمكن ان تصدر طاقة اشعاعية تتجاوز حدود الاصدار المسموح بها للانواع الادنى، الا انها لاتستطيع اصدار:

- معدل طاقة اشعاعية يتجاوز 0.5 W خلال زمن T_{max} اكبر من 0.25 ثا او
- تعرض اشعاعي بمقدار $100\ Jm^{-2}$ خلال زمن تعرض 0.25 ثا او اقل.

(ب) اجهزة الليزر مستمرة الموجة ذات الاشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة او اجهزة الليزر النبضية بشكل تكراري والتي تتجاوز الحدود من اجل الانواع الادنى الا انها لايمكن ان تصدر معدل طاقة اشعاعية بمقدار 0.5 W خلال زمن T_{max} اكبر من 0.25 ثا.

(جـ) اجهزة الليزر النبضية ذات الاشعة المرئية وتحت الحمراء A (القريبة) والتي تتجاوز الحدود من اجل الانواع الادنى، الا انها لايمكن ان تصدر التعرض الاشعاعي الذي يتجاوز $100\ J\ m^{-2}$ او ذاك اللازم لاحداث انعكاس منتشر خطر من الناشرة الكاملة.

النوع 4 : اجهزة الليزر مرتفعة الخطورة وعالية الطاقة والتي يمكن ان تصدر ما يتجاوز حدود الاصدار المسموح بها من اجل اجهزة الليزر ذات النوع (3b).

4–5 تصنيف الليزرات متعددة الاطوال الموجية ومتعددة المصادر:

يجب ان يرتكز تصنيف اجهزة الليزر التي يمكن ان تقوم بالاصدار عند اطوال موجية متعددة، على مجموعة الطول الموجي الاكثر خطورة.

ويكون عادة الخطر الناتج عن طول موجي واحد اكبر بكثير من مساهمة الاطوال الموجية الاخرى.

هذا وتعتبر المنابع المتعددة مستقلة اذا تم فصلها بواسطة زاوية حدية ملائمة من اجل منبع ممتد.

4–6 التقدير الدقيق للخطر:

يعتبر التصنيف الخطوة الاولى في تحليل الخطورة وتقدير الخطر.

الا ان قيامنا بتصنيف الليزر بحسب طاقة خرجه ليس كافيا، اذ انه لابد من ايلاء كل من مكان وطريقة استخدام الليزر اضافة الى الناس الذين يقومون بتشغيله او يكونون بمنطقة التعرض، الاهمية المناسبة.

كما يجب ان تؤخذ اجراءات الامان الاضافية المساعدة كالعوامل البيئية والشخصية بعين الاعتبار وسوف يناقش ذلك لاحقا.

7-4 البيئة:

تتطلب العوامل البيئية عناية خاصة بعد تصنيف اجهزة الليزر نظرا لان اهميتها في التقييم الشامل للخطر ومصادر الخطورة تعتمد على تصنيف جهاز الليزر.

ان القرار المتعلق بضرورة استخدام اجراءات السيطرة الاضافية على الخطر(وغير المطبقة عادة) من اجل اجهزة الليزر ذات الخطورة العالية، يعتمد بشكل كبير على الاعتبارات البيئية

هذا ويجب ان يكون احتمال تعرض الاشخاص لاشعاع الليزر الخطر مدروسا بشكل مستقل ذلك انه يتأثر بنمط استخدام الليزر:

- داخليا كما في ورشة الانشاءات الميكانيكية وغرفة الصف و مختبر البحث العلمي وخط انتاج المصنع

- او في الهواء الطلق كما في موقع انشاء طريق عام وفي عرض البحر وفي المجال العسكري وفي الجو فوق مساحات مشغولة او في خندق انشاء خط انابيب.

كما ان اخطارا بيئية اخرى يجب ان تؤخذ بعين الاعتبار.

عندما يكون من المتوقع تعرض الاشخاص غير المحميين الى حزمة الاشعة الاصلية او المنعكسة عن سطح صقيل، فلا بد من اجراء الحسابات والقياسات لكل من الشدة او التعرض الاشعاعي لحزمة الاشعة الاصلية او المنعكسة، او السطوع لمنبع ممتد، وذلك عند موقع التعرض المحدد.

هذا ومن المهم ان نأخذ بعين الاعتبار ان خصائص الانعكاس والنفاذ يمكن ان تختلف بشكل كبير في مناطق تحت الحمراء وما فوق البنفسجية، اذا ما قورنت بتلك الخصائص في المجال المرئي للطيف الضوئي.

وعلى سبيل المثال فان الغطاء البلاستيكي الذي يظهر معتما او غير شفاف بالنسبة للضوء المرئي، يمكن ان يكون شفافا فعلا بشكل كبير في مجال الاشعة تحت الحمراء القريبة، كما ان العديد من الصباغات ذات معامل الانعكاس المنخفض في الضوء المرئي، يكون لها معامل انعكاس اكبر بكثير في مجال تحت الحمراء القريب.

وهناك ايضا السطوح المعدنية التي تبدو للعيان معتمة وغير صقيلة في الضوء المرئي، الا انها صقيلة بشكل كبير من اجل طول موجة تحت الحمراء ($10.6\,\mu m$) لليزر Co_2.

1-7-4 تشغيل الليزر داخلياً :

يؤخذ مصدر الليزر نفسه فقط ، عموما،بعين الاعتبار عند تقييم تشغيل الليزر داخليا، اذا كانت حزمة الاشعة محصورة او تم العمل في مساحة مسيطر عليها.

هذا وينصح القيام بالاجراءات التالية بشكل تدريجي من اجل تقييم اجهزة الليزر معتدلة الخطورة المشغلة داخليا عندما يكون ذلك ضروريا، على اعتبار ان الشخص غير المحمي كثيرا ما يتعرض لهذا النوع من اجهزة الليزر.

خطوة 1 : حدد حدود الاصدار الملائمة المسموح بها آخذاً بعين الاعتبار زمن التعرض الاعظمي من الاستخدام المعدّ له.

خطوة 2 : حدد مسار حزمة الاشعة الخطرة.

خطوة 3 : حدد درجة الانعكاس الصقيل الخطر كما هو مبين في الشكل 2. حيث ان خطر الانعكاس يختلف مع درجة تركيز حزمة الاشعة وطبيعة السطح.

خطوة 4 : حدد درجة الانعكاسات المنتشرة الخطرة (منطقة خطر اسمية)

خطوة 5 : حدد وجود اية اخطار اخرى لاتنجم عن الليزر.

2-7-4 عمليات تشغيل الليزر في الهواء الطلق عبر مسافات شاسعة:

يعتمد التقييم الشامل لخطر جهاز الليزر على تحديد حجم الظروف الخطرة، ويمكن ان يتم هذا بصورة تدريجية كما يلي:

خطوة 1 : حدد حدود الاصدار الملائمة المسموح بها آخذا بعين الاعتبار زمن التعرض الاعظمي من الاستخدام المعدّ له.

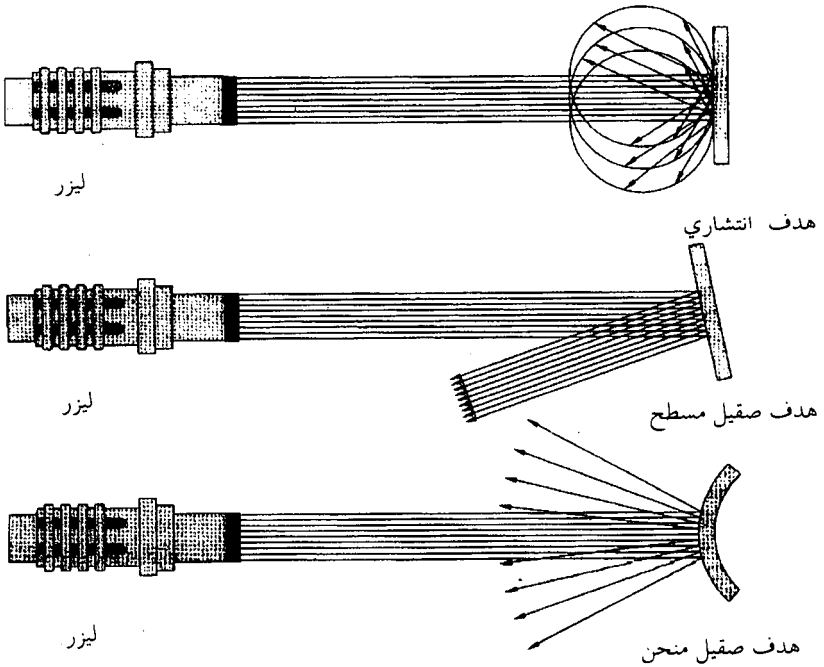
خطوة 2 : قدر المجال الخطر الاسمي لليزر.

خطوة 3 : قيم الاخطار المحتملة الناتجة عن انعكاسات السطوح الصقيلة كالنوافذ والمرايا في العربات، اضافة الى الاخطار الناتجة عن المواشير متعددة الانكسارات.

خطوة 4 : حدد وجود أي من الانعكاسات المنتشرة الخطرة (منطقة خطر اسمية) ولا سيما اذا كان الليزر يعمل في نطاق للطول الموجي يتراوح بين (400 –1400 نانو متر).

خطوة 5 : قيم ثباتية برنامج الليزر لتحديد درجة سيطرة كل من المجالين الافقي والرأسي، اضافة الى اية ضرورات للارتفاع والسمت يكون هناك حاجة لوضعها في طريق حزمة الاشعة

خطوة 6 : حدد الناس المرجح تواجدهم في مساحة حزمة اشعة الليزر



شكل (2) : انعكاس حزم أشعة الليزر

8–4 الاشخاص المعرضون:

قد يؤثر الاشخاص الذين يتواجدون بالقرب من الليزر وحزم الاشعة الصادرة عنه، في قرار اتخاذ اجراءات سيطرة اضافية غير مطلوبة بشكل نوعي من اجل نوع الليزر المعد للاستخدام، وهذا يعتمد ثانية على تصنيف جهاز الليزر.

عندما يكون الاطفال او اشخاص اخرون غير قادرين على قراءة او فهم لصاقة التحذير، معرضين لاشعاع الليزر الخطر، عندها يتأثر تقييم الخطر وقد تتطلب اجراءات السيطرة تعديلا ملائما.

هذا ويؤثر نوع الشخص على تقدير الخطر الكلي ولا سيما عند استخدام ليزرات معتدلة الخطر ومتوسطة الطاقة.

ان التزام مشغل الجهاز بإبقاء حزمة اشعة الليزر بعيداً عن الاشخاص او السطوح الصقيلة كالمرآة، يعد الطريق الرئيسية للسيطرة على خطر بعض انظمة الليزر، مثل اجهزة تقدير المدى المستخدمة عسكريا وبعض اجهزة الليزر ذات الخطورة المعتدلة المستخدمة في صناعة البناء.

ويمكن ان نوجز العوامل التي يجب ان تؤخذ بعين الاعتبار فيما يتعلق بالاشخاص الذين يحتمل تعرضهم لاشعة الليزر، كما يلي:

(أ) تمتع مستخدمي جهاز الليزر بالادراك الكامل اضافة الى المستوى العام للتدريب والخبرة (كالطلاب والجنود والعلماء .....)

(ب) ادراك الملاحظين لاحتمال وجود اشعاع الليزر الخطر، ومعرفتهم باجراءات السلامة المناسبة وقدرتهم على تطبيقها.

(جـ) درجة التدريب في مجال سلامة الليزر، لجميع الاشخاص القائمين على تشغيل الليزر.

(د) المدى الذي يمكن الاعتماد عليه لارتداء واقيات العين من قبل الاشخاص المعرضين.

(هـ) عدد وموقع الاشخاص نسبة لحزمة الاشعة الاصلية او انعكاساتها، اضافة الى احتمال التعرض العرضي.

5

آلات وتقنيـات القيـاس

في أي بحث حـول قيـاس اشـعاع الليـزر بغـرض تقييـم الاخطـار الصحية، لا بد ان نأخذ بعين الاعتبار اولا ضرورة القياس.

كقاعدة عامة، فان القياسات مطلوبة فقـط لخـرج الليـزر بغـرض تحديد تصنيف خطر الليزر.

ونادرا ما يعتبر الرصد الروتيني ضروريـا حيـث تجـرى القياسـات من قبل مطوِّر او مصنِّع الليزر. الاانه عندما يكون التعرض مقصودا وفي البيئة الخارجية، فإنه غالبا ما يكـون مـن الضـروري قيـاس شـدة حزمـة اشعة الليزر او التعرض الاشعاعي.

5–1 وسطاء (بارامترات) الليزر للقياس:

يمكن لنا حساب الشدة او التعرض الاشعاعي عنـد أي بعـد عـن الليزر . ولاجراء ذلك فـلا بـد مـن تحديـد طاقـة الخـرج وقطـر الحزمـة البدئية اضافة الى انفراج الحزمة.

هذا ويمكن استخدام الكالوريمتر (مقياس كميـة الحـرارة) او ايـة انواع اخرى من مقـاييس الطاقـة، بغـرض قيـاس طاقـة الخـرج ، الا ان قياس قطر حزمة الخرج او الانفراج يمكن ان يكون أكثر صعوبة.

يعد قياس انفراج الحزمة ضروريا لتحديد مسافة الرؤية الخطرة (مسافة خطر عينية اسمية NOHD).

ويمكن استخدام قياس الطاقة عبر المنفذ لتحديد الانفراج وقطر الحزمة الفعال.

من وجهة نظر تحليل الخطر، فإنه من الضروري معرفة التعرض الاشعاعي ذي الخرج الاعلى لليزر النبضي وذلك لتحديد وجود خطر الانعكاس المنتشر.

هذا وان التقنية الابسط لتحقيق هذا الغرض هي استخدام سطوح فعالة حراريا او ضوئيا كيميائيا(ورق مربعات - حزمة).

في الحالات الاخرى التي تكون فيها شدة الحزمة غير كافية لاحداث تغير في السطح في ورق المربعات الخاص بالحزمة، عندها لابد من استخدام لوح تصوير تقليدي او جهاز قياس للشدة ذي منفذ صغير بشكل كاف.

2-5 انواع اجهزة قياس الشدة:

تتألف اجهزة قياس الشدة ذات العلاقة بهذا البحث بشكل عام من مكشاف يقوم باحداث توتر (فولطية) او تيار او تغير في المقاومة او شحنة يمكن ان تقاس بواسطة مقياس الكتروني حساس. هذا وان المكشاف هو العامل الرئيسي المحدد لاختيار جهاز القياس المناسب. ولكل نوع للمكشاف خصائص محددة يمكن ان تكون ذات فائدة او

عديمة النفع في قياس مستوى محدد للاشعاع الضوئي في مجال ذي طول موجي محدد.

هذا ولايوجد نوع واحد يمكن ان يفيد في قياس جميع انواع اشعاع الليزر .ويمكن للمكشاف شديد الحساسية ان يصيبه التلف عن طريق حزمة اشعة ليزر عالية الطاقة.

1-2-5 الكواشف الحرارية:

تتمتع كواشف التغير في درجة الحرارة (الترموبيلات) وكواشف التغير في كمية الحرارة القرصية (الكالوريمترات)باستجابة طيفية ثابتة نسبيا.

يمكن ان تبقى ازمنة استجابة تلك الاجهزة كبيرة جدا عند قياس النبضة القصيرة،وتملك الكواشف الحرارية الكهربائية التي تستجيب لمعدل تغير الحرارة في مادة بللورية، ازمنة استجابة من رتبة نانو ثانية.

هذا وتجد الكواشف الحرارية اعظم تطبيق لها في قياس اشعاع الليزر الذي يعمل في المنطقة تحت الحمراء حيث لاتستجيب الكواشف الاخرى او حيث تتطلب الكواشف الكمومية التبريد لدرجات حرارة منخفضة.

كما تعتبر مقاييس كمية الحرارة القرصية موثوقة تماما لقياس خرج ليزري يتراوح بين 10mWو100W ، وذلك في جميع الاطوال الموجية الضوئية. وفي جميع الحالات، يمكن قياس خرج الطاقة الاشعاعية لليزر

نبضي باستخدام مقياس كمية حرارة قرصي وذلك اذا كان التعرض الاشعاعي لحزمة الاشعة تحت عتبة الاذية للجسم الاسود الماص (ويمكن ان يكون بشكل نموذجي من رتبة $105\ J\ m^{-2}$).

اما بالنسبة لليزرات النبضية الاعلى طاقة، فغالبا ما تفيد معها مقاييس درجات الحرارة البالستية (القذفية) ومقاييس كمية الحرارة القرصية الماصة للحجم.

هذا وان مقياس كمية الحرارة القرصي ومقياس درجة الحرارة البالستي كليهما مناسبان في المخبر أكثر منه في الهواء الطلق ذلك ان الكاشف يتطلب عدة ثوان او حتى دقائق للتبريد بين قياسات الليزر النبضي او التثبيت في قياس الموجة المستمرة.

2-2-5 الكواشف الكمومية:

وهي الكواشف الاكثر حساسية على الاطلاق للاشعاع الضوئي في المجال الطيفي (200 الى 1100 نانو متر).

وتعتمد الحساسية الطيفية لكاشفات انبعاث الالكترونات بتأثير الضوء على مادة المهبط (الكاثود) الضوئي المستخدمة في الصمامات الثنائية الضوئية المفرغة من الهواء، او الصمامات المضاعفة الضوئية، او في الخصائص الجوهرية (الذاتية) للسيليكون او الجرمانيوم . يستخدم السيليكون في الصمامات الثنائية الضوئية ذات الحالة الصلبة و التي يمكن ان تعمل ككاشفات ذات موصلة ضوئية او كاشفات فوتو - توترية.

هذا ويعتمد نوع الكاشف المنتقى على الاطوال الموجية التي يرغب الشخص في قياسها والاطوال الموجية التي يرغب في استبعادها.

وتعتبر ازمنة الاستجابة من رتبة 1 نانو ثانية، ممكنة مع كاشفات الكم. لقد كشف عن وجود جهاز واحد مفيد بشكل خاص لتحليل خطر جميع انماط الليزرات ذات الاشعة فوق البنفسجية و المرئية وتحت الحمراء A ، وهو يستخدم كاشف الصمام الثنائي الضوئي المفرغ.

ومع الانتقاء المناسب لبصريات دخول الطاقة وخروجها، فإنه يمكن لنا قياس السطوع والتعرض الاشعاعي التكاملي والاستطاعة او الطاقة الاشعاعية والشدة.

إلا ان عيب هذا النمط من اجهزة القياس هو التكلفة العالية من اجل الحصول على كل هذه المعلومات بحساسية كافية. ونظراً للتبعية الطيفية القوية فإن اجهزة القياس هذه لا تعطي قراءة مباشرة ولا بد من القراءات المتعددة لجهاز القياس باستخدام واحد او اكثر من معاملات المعايرة.

3-2-5 تقييم الخطر :

لايوجد في الوقت الحاضر اجهزة قياس للشدة تم تصميمها بشكل نوعي لتحليل خطر المجال الواسع لليزرات وفي الحقيقة فإنه من غير المحتمل ان يتم صنع مثل هذه الاجهزة في المستقبل القريب بسبب

الاختلاف الكبير في التعرض من اجل اطوال موجية مختلفة وازمنة تعرض مختلفة

من الممكن طبعا صنع مثل هذه الاجهزة لكل من الاصناف المحددة لليزرات، الا ان مجموعة هذه الاجهزة في الوقت الحاضر سوف تكون غالية جداً.

ومن حسن الحظ ان معظم مصادر الضوء عالي الشدة والليزرات الحديثة تملك وسطاء (بارامترات) خرج اعظمي ثابتة، وبسبب ذلك فانه نادرا ما تكون هناك حاجة للرصد الدوري للمنبع.

هذا ومن الممكن تحديد المنبع الضوئي حتى يكون له خرج اشعاعي يتجاوز بشكل كبير أو يقل كثيرا عن حدود التعرض الملائمة.

3-5 تقنيات القياس بالتصوير الضوئي:

يمكن لعمليات قياس الشدة بالتصوير الضوئي ان تلعب دورا هاما في بعض الحالات.

ان تحديد حجم المنبع الفعال له اهمية كبيرة في تقييم الخطر الناجم عن منبع ممتد عالي الشدة. هذا وللسطوع اهمية رئيسية في مثل هذا التقييم، ويمكن استخدام التقنيات التصويرية (الفوتوغرافية) لتحديد توزع سطوع المنبع.

كما ان التعرض الاشعاعي للخرج يعد واحدا من المعايير الاكثر اهمية لتقييم الاخطار المحتملة الناجمة عن انظمة الليزر النبضية. فاذا كان الخرج يفوق المستويات الامنة من اجل رؤية الانعكاسات المنتشرة، عندها لابد من تطبيق اجراءات السيطرة الاكثر صرامة(للنوع 4) . هذا ويمكن تحقيق الارشادات المتعلقة بتحديد فيما اذا كان الخرج عند او فوق سويات العتبة هذه وذلك عبر استخدام اوراق أو طبقات حساسة للحرارة، فاذا كانت حزمة الاشعة تتفاعل حرارياً مع هذه الورقة، دل ذلك على امكانية حدوث انعكاسات منتشرة خطيرة، أما اذا لم تتفاعل حزمة الاشعة حراريا مع الورقة المنتقاة، عندها يمكن ان نفترض ان حزمة الاشعة هذه لا تحدث انعكاسات منتشرة خطيرة، وقد تشير مثل هذه الورقة الى القطاعات الجانبية لحزمة الاشعة المنبعثة من اجل اجهزة الليزر عالية الطاقة.

4–5 تقنيات المعايرة والقياس:

ان معايرة جميع اجهزة قياس الشدة مطلوبة بشكل دوري . والطريقة المفضلة لذلك من اجل سويات السطوع ذات الاهمية (جدول 2) تتم باستخدام مقياس كمية حرارة قرصي مرجعي أو مقياس شدة حراري كهربائي ، ويستخدم بعد ذلك منبع ضوئي دائم (مثل مصباح عياري أو ليزر مستمر الموجة) لاضاءة الكاشف غير المعاير والكاشف المرجعي بالتناوب .

هذا وان معايرة مقاييس التعرض الاشعاعي أكثر تعقيداً ما لم يسلك الجهاز سلوكاً خطياً مع التغيرات في زمن التعرض . واذا تحقق ذلك فانه يكفي وجود شدة عيارية اضافة الى غطاء متحرك مُعايَر لمعايرة الطاقة . هذا وقد تم تطوير عدة طرق لقياس خرج الطاقة الاشعاعية لليزرات النبضية الا ان التقنيات المستخدمة في قياس الاشعاع معقدة جداً وكثيرة العدد الامر الذي لا يسمح لنا بتفصيلها هنا

جدول (2) مجال قياس الشدة التقريبي ذو الأهمية في تحليل الخطر:

المنطقة الطيفية (CIE)	الشدة $W.m^{-2}$	التعرض الاشعاعي $J.m^{-2}$	السطوع $W.m^{-2}.sr^{-1}$	السطوع التكاملي $J.m^{-2}.sr^{-1}$
UV-B and UV-C 180 nm – 315 nm	10^{-3} to 10^{2}	1 to 10^{3}	N/A	N/A
UV-A 315 – 380 nm	1 to 10^{4}	10 to 10^{5}	N/A	N/A
المرئي 380 nm – 760 nm	10^{-3} to 10^{2}	10^{-3} to 10^{2}	10^{3} to 10^{7}	10 to 10^{5}
Metavisible or near infrared, IR-A 760 – 1,400 nm	10^{-2} to 10^{3}	10^{-2} to 10^{2}	10^{3} to 10^{7}	10 to 10^{6}
IR-B and IR-C 1,400 nm – 1 mm	10^{2} to 10^{4}	10 to 10^{5}	N/A	N/A

N/A = غير قابل للتطبيق (غير ملائم).

5–5 استنتاجات:

ان تقنيات قياس الشدة واستخدامات ادواتها متاحة لتحليل أخطار تعرض الجلد والعيون الى اشعة الليزر والمنابع الاخرى للاشعاع الضوئي عالي الشدة. الا ان تكلفة هذه المعدات عالية نسبياً بالمقارنة مع معدات الاستقصاء المتوافرة لتقييم العديد من الاخطار البيئية الاخرى.

هـذا وان تطبيـق القوانـين الراديومتريـة ومواصفـات (شـروط) المصنعين بدقة يمكن ان يكون بديلا كافياً للقياسات. وقد يكون اجـراء بعض القياسات مطلوبـاً لا سيما عندمـا يكـون هنـاك ضـرورة لبعـض المعلومـات المفصلـة والدقيقـة، الا انـه يجـب الانتبـاه الى ان القياسـات المأخوذة من قبل اشخاص غير مدربين، قد تقود الى استنتاجات خاطئة.

ويوجد ملخص اكثر تفصيلا حول هذا الموضوع في

(Sliney and wolbarsht , 1980 . Sliney. 1989)

* * *

INDEX

6

حدود التعرض المهنية ومعايير السلامة

6–1 الارشادات الخاصة بـ IRPA/INIRC حول حدود التعرض لاشعة الليزر.

6–1–1 لمحة عن الموضوع

نشرت اللجنة الدولية للاشعاعات غير المؤينة المنبثقة عن الاتحاد الدولي للوقاية من الاشعاعات، مجموعة ارشادات تتعلق بحدود التعرض لاشعاع الليزر عام 1985. ومنذ ذلك الوقت وكنتيجة لتوسع قاعدة الليزر وانتشارها فقد تم تعديل هذه الارشادات عام 1988.

ومن الجدير بالاهتمام قبل تقديم هذه الارشادات حول التعرض لليزر ان نشرح العملية التي طورت اللجنة بموجبها الارشادات حول الاشعاعات غير المؤينة.

6–1–2 حدود التعرض :

يعبر عن حدود التعرض قياسيا بلغة التعرض الاشعاعي (J/m^2 او J/cm^2) او الشدة (W/m^2او W/cm^2) من اجل التعرض المباشر ، او السطوع التكاملي ($J/m^2.sr$ او $J/cm^2.sr$) والسطوع (w/m^2 sr او $W/cm^2.sr$) من اجل المنابع الممتدة (غير النقطية) . ويتطلب تطوير

حدود التعرض تقديرا صحيحا للتأثيرات الحيوية المحتملة، ولعلاقة التعرض بالاستجابة اضافة الى المعلومات الملائمة حول المصادر المختلفة المستخدمة ومستويات التعرض الناتجة والاشخاص المعرضين للخطر، كما يتطلب مجموعة من قواعدالحماية التي تربط المعلومات السابقة مع الاهداف العامة لحماية الصحة المهنية.

ويتبين مما تقدم، ان الوثيقة المرجعية الاساسية المستخدمة لتطوير حدود التعرض للّيزر هي وثيقة معايير الصحة البيئية (WHO ، 1982)

ان المعطيات الاساسية للتأثيرات الحيوية للّيزر على جلد الانسان وعينه ، المبينة في وثيقة المعايير هي نفسها المستخدمة من قبل المنظمات الدولية والوطنية الاخرى لاستنتاج حدود التعرض ، ومن غير المدهش ان تكون حدود التعرض للاتحاد الدولي للوقاية من الاشعاعات (IRPA) متوافقة بشكل عام مع تلك المستخدمة من قبل اللجنة الدولية الكهربائية التقنية (IEC،1984،1990) والجمعية الحكومية الأميركية لأخصائيي السلامة المهنية (ACGIH،1991) وجمعية المعايير الوطنية الاميركية (ANSI،1986)، وجمعية المعايير البريطانية (BSA،1984)..... وغيرها.

هذا وإن مجمل حدود التعرض الخاصة بالاتحاد الدولي للوقاية من الإشعاعات معطاة في الجداول 3a و3b و3c.

جدول 3(a) : حدود التعرض من أجل تعرضات عينية مباشرة لحزمة الليزر

(النظر داخل الحزمة)

	حد التعرض EL (J/m2) أو (W/m2)	زمن التعرض t (S)	الطول الموجي λ (mm)
			مافوق البنفسجي
جميع حدود التعرض المسموح بها من أجل طول موجي أقل من 315nm يجب أن تكون $5.6x10^3t^{3/4}$ J/m²>	3.0×10^1 J/m²	1 ns to 30 ks	180 to 302
	4.0×10^1 J/m²	1 ns to 30 ks	303
	6.0×10^1 J/m²	1 ns to 30 ks	304
	1.0×10^2 J/m²	1 ns to 30 ks	305
	1.6×10^2 J/m²	1 ns to 30 ks	306
	2.5×10^2 J/m²	1 ns to 30 ks	307
	4.0×10^2 J/m²	1 ns to 30 ks	308
	6.3×10^2 J/m²	1 ns to 30 ks	309
	1.0×10^3 J/m²	1 ns to 30 ks	310
	1.6×10^3 J/m²	1 ns to 30 ks	311
	2.5×10^3 J/m²	1 ns to 30 ks	312
	4.0×10^3 J/m²	1 ns to 30 ks	313
	6.3×10^3 J/m²	1 ns to 30 ks	314
	5.6×10^3 $t^{3/4}$ J/m²	1 ns to 10 ks	315 to 400
	1.0×10^4 J/m²	10 s to 30 ks	315 to 400
			المرئي و IR-A
منفذ التحديد 7mm	0.005 J/m²	1 ns to 18 μs	400 to 700
	18 $t^{3/4}$ J/m²	18 μs to 10 s	400 to 700
	100 J/m²	10 s to 10 ks	400 to 550
	18 $t^{3/4}$ J/m²	10 s to T_1 s	550 to 700
	100 C_B J/m²	T_1 s to 10 ks	550 to 700
	0.01 C_B W/m²	10 ks to 30 ks	400 to 700
	0.005 C_A J/m²	1 ns to 18 μs	700 to 1,050
	18 C_A $t^{3/4}$ J/m²	18 μs to 1 ks	700 to 1,050
	0.05 C_C J/m²	1 ns to 50 μs	1,051 to 1,400
	90 C_C $t^{3/4}$ J/m²	50 μs to 1 ks	1,051 to 1,400
	3.2 $C_A \cdot C_C$ W/m²	1 ks to 30 ks	700 to 1,400
			تحت الأحمر البعيد
منفذ التحديد 3.5m.m	1,000 J/m²	1 ns to 1.0 ms	1,400 to 1,500
	5,600 $t^{1/4}$ J/m²	1.0 ms to 10 s	1,400 to 1,500
	10^4 J/m²	1 ns to 10 s	1,500 to 1,800
	1,000 J/m²	1 ns to 1.0 ms	1,801 to 2,600
	5,600 $t^{1/4}$ J/m²	1.0 ms to 10 s	1,801 to 2,600
	100 J/m²	1 ns to 100 ns	2,601 to 10^6
	5,600 $t^{1/4}$ J/m²	100 ns to 10 s	2,601 to 10^8
	1,000 W/m²	10 s to 30 ks	1,400 nm to 1 mm

ملاحظة: إن منفذ التحديد من أجل جميع حدود التعرض المسموح بها في الأشعة مافوق البنفسجية، ومن أجل أطوال موجية تتراوح بين 1400nm إلى 0.1mm هو 1m.m لزمن أقل من 0.25 ثانية و 3.5mm لأزمنة أطول، وهو 11mm من أجل أطوال موجية أكبر من 0.1mm، وهو 7mm من أجل جميع حدود التعرض العينية المسموح بها لأطوال موجية تتراوح بين 400nm إلى 1400nm.

For a 1 ks = 1,000 s, and 30 ks = 8 hours.

$C_A = 1$ for λ = 400 to 700 nm; $C_A = 10^{[0.002(\lambda - 700)]}$ if λ = 700 – 1,050 nm
$C_B = 1$ for $\lambda < 550$ nm; $C_B = 10^{[0.015(\lambda - 550)]}$ for λ = 550 nm to 700 nm
$T_1 = 10 \times 10^{[0.02(\lambda - 550)]}$ for λ = 550 nm to 700 nm. $C_C = 1$ for $\lambda < 1{,}150$
$C_C = 10^{0.018[\lambda - 1150\ nm]}$ for $1{,}150 < \lambda < 1{,}200$; $C_C = 8$ for $1{,}200 < \lambda < 1{,}400$

المصدر : IRPA

جدول 3(b) : حدود التعرض العيني لليزر ذي منبع ممتد (لانقطي)

تتحدد حدود التعرض المسموح بها لمنبع ممتد عن طريق ضرب حدود التعرض العيني داخل حزمة الأشعة بعامل التصحيح C_E. هذا ويطبق العامل المصحح التالي C_E على حدود التعرض داخل حزمة الأشعة المسجلة وذلك من أجل حجوم للمنبع تزيد عن α_{min} ، حيث α_{min} هو:

$\alpha_{min} = 1.5$ mrad for $t < 0.7$ s,
$\alpha_{min} = 10 \times t^{3/4}$ mrad for $0.7\ s < t < 10$ s, and
$\alpha_{min} = 11$ mrad for $t < 10$ s.

$C_E = \alpha/\alpha_{min}$ for $\alpha_{min} < \alpha < 100$ mrad.
$C_E = 10 \times \alpha^2/\alpha_{min}$ for $\alpha > 100$ mrad.

المصدر : IRPA

جدول 3(c): حدود التعرض الجلدي لأشعة الليزر

الطول الموجي λ (mm)	زمن التعرض t (S)	حد التعرض EL (J/cm^2) أو (W/cm^2)	قيود
مافوق البنفسجي			
200 to 400 المرئي وIR-A	1 ns to 30 ks	مماثل لحد تعرض العين	
400 to 10^6	1 ns to 100 ns	$0.2\ C_A$ kJ/m²	منفذ التحديد 1 أو 3.5mm
400 to 10^6	100 ns to 10 s	$11\ C_A\ t^{1/4}$ kJ/m²	
400 to 10^6 تحت الأحمر البعيد	10 s to 30 ks	$2.0\ C_A$ kW/m²	
1,400 to 10^6	1 ns to 30 ks	Same as eye EL for 2,601 nm to 1 mm	

ملاحظة : إن منفذ التحديد لجميع التعرضات النبضية (الزمن t<0.25 ثانية) هو 1m.m وهو 3.5mm لأزمنة تعرض أكبر من ذلك.

1 ks = 1,000 s, and 30 ks = 8 hours.
$C_A = 1$ for λ = 400 to 700 nm; $C_A = 10^{[0.02(\lambda-700)]}$ if λ = 700 – 1,050 nm

المصدر : IRPA

يوضح الجدول 3a حدود التعرض الخاصة بـ (IRPA) ، من اجل تعرض عيني مباشر لحزمة الليزر (النظر داخل الحزمة)، بينما يرينا الجدول 3b حدود التعرض الخاصة بـ (IRPA) من اجل رؤية الانعكاسات المنتشرة لحزمة الليزر اوليزر ذي منبع ممتد،اما الجدول 3c فهو يعطي حدود التعرض الجلدي الخاصة بـ (IRPA) .

ان عـامل التصحيـح CA المذكـور في الجـدول (3a) معطـى في الشكل (3) كدالة على طول موجة الليزر .

هذا ويمكن للقارئ العودة الى الارشادات الكاملة المو جـودة في فيزياء الصحة Health Physics (1988,1984 , IRPA) ، بغيـة الوصـول الى عرض اكثر شمولية عن حدود التعرض الخاصة بـ(IRPA)

بالنسبة للجدول (3d) فقـد تم فيـه اختيـار بعـض حـدود التعـرض النموذجية من اجل الليزر ات الاكثر شيوعا في الاستخدام.

ولابد ان نتذكر انه تم بفضل هذا الاسـلوب وضـع معظـم معايـير السلامة الخاصة بالليزر، حيث يمكن الاستفادة من تصنيف خطـر الليـزر (اعتمادا على حدود التعرض بشكل جزئي) في اجراء تقييم للخطـورة بشكل افضل الى حد مـا مـن القيـام بقياسـات التعـرض لحزمـة الاشـعة مقارنة بحدود التعرض (IRPA , 1988) . تستخدم حدود التعرض بشـكل فعلي في حالات خاصة فقط، عندما يكـون تعـرض الانسـان مقصـودا، وحيث يمكن قياس شدة حزمة الليزر او التعرض الاشعاعي او حسابهما لتحديد فيما اذا كان حد التعرض زائداً.

جدول 3(d): حدود التعرض المهنية المختارة من أجل بعض الليزرات الشائعة:

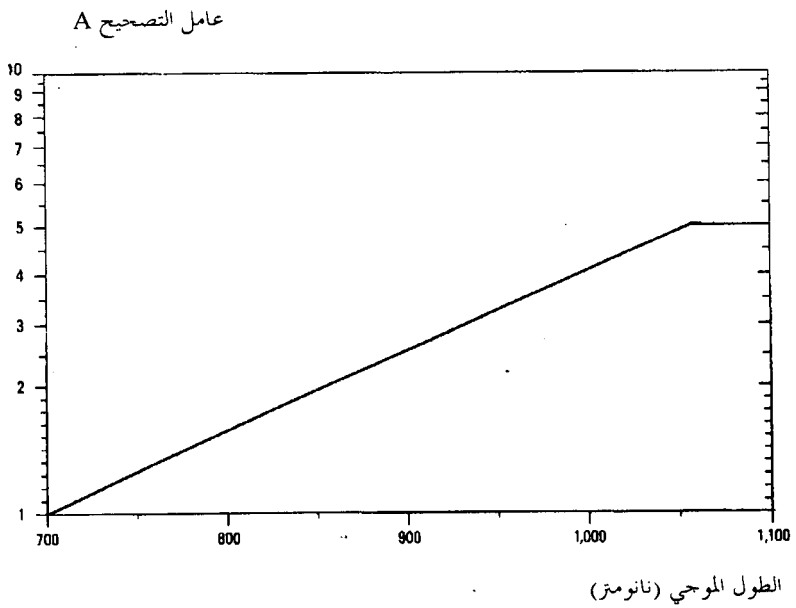
الليزر	الطول الموجي	حد التعرض
Argon-fluoride laser	193 nm*	3.0 mJ/cm² over 8 hrs
Xenon-chloride laser	308 nm	40 mJ/cm² over 8 hrs
Argon ion laser	488, 514.5 nm	3.2 mW/cm² for 0.1 s 2.5 mW/cm² for 0.25 s
Helium-neon laser	632.8 nm	1.8 mW/cm² for 1.0 s
Krypton ion laser	568, 647 nm	1.0 mW/cm² for 10 s
Helium-neon laser	632.8 nm	17 μW/cm² for 8 hrs
Neodymium-YAG laser	1,064 nm 1,334 nm	5.0 μJ/cm² for 1 ns to 100 μs No EL for $t < 1$ ns 5 mW/cm² for 10 s
Erbium glass laser	1,540 nm	1.0 J/cm² for 1 – 1,000 ns
Erbium:YAG	2,940 nm	10 mJ/cm² for 1 – 100 ns
Hydrogen-fluoride laser	2.7-3.1μm	10 mJ/cm² for 1 – 100 ns
Carbon-dioxide laser	10.6 μm	100 mW/cm² for 10 s to 8 hrs, limited area 10 mW/cm² for >10 s for areas ≥ 1,000 cm²

* لاتحتوي جميع المعايير حدود تعرض لطول موجي أقل من 200nm.

ملاحظة: لتحويل حدود التعرض المقدرة بـ mW/cm^2 إلى mJ/cm^2، نضرب بزمن التعرض ، بالثواني.

المصدر : إرشادات ORPA/ INIRC (IRPA, 1985, 1988)

شكل 3: عامل التصحيح (CA) المستخدم لتحديد قيم حد التعرض في المنطقة الطيفية للأشعة تحت الحمراء القريبة



المصدر: IRPA, 1985

3-1-6 تعديلات عام 1988 :

قامت IRPA عام 1988 بنشر الطبعات المنقحة لارشاداتها المنشورة عام 1985 ، الا ان هذا التنقيح لم يؤثر على الحدود الاساسية الموجزة في

الجدول (3a) حيث تعلق التغير الاكثر اهمية بطريقة تحديد زمن التعرض الملائم من اجل ليزرات مستمرة الموجة cw وليزرات نبضية تكرارية.

لقد تم تبسيط وتوضيح الطريقة السابقة كما تم اختصار العديد من القواعد السابقة المتعلقة بتحديد مجموع النبضات الى عبارة جبرية واحدة ، بينما بقيت جميع جداول حدود التعرض دون ان يطرأ عليها أي تغيير.

وتم ايضا اجراء التصحيح من اجل اضاءة كبيرة المساحة من الجلد، وهذا التغيير من بين الاشياء الاخرى التي خفضت الى الحد الادنى الانتقال بين الارشادات الخاصة بحدود التعرض لاشعة الميكروويف عند 300 GHZ ، والارشادات الخاصة بالتعرض لليزر ذي اشعة تحت الحمراء عند 1.0 mm (300 GHZ).

6-1-4 حدود التعرض لليزر ذي اشعة تحت الحمراء :

قد يبدو من الواضح انه مع الاختلاف في خصائص الامتصاص الطيفي للماء في مجال الاشعة تحت الحمراء IRB و IRC (اطوال موجية تتراوح بين 1400μm و 1mm)، فإن حدود التعرض كلها ثابتة مع الطول الموجي باستثناء التعرضات قصيرة النبضة خلال اقل من ميكرو ثانية لاشعة ليزر بطول موجه 1.54 μm. الا ان المعطيات المتوافرة قد تكون غير كافية لتحديد تصحيحات الطول الموجي الاضافية على طول مجال

تحت الحمراء الكلي أي 1.4 µm الى 1mm (نسبة الى البيانات الشاملة عند طول موجة 10.6 µm).

هذا ويتم زيادة حدود التعرض لـ تحت الحمراء بالمعامل 100 وذلك عند طول موجة 1.54 µm خلال ازمنة تعرض اقصر من 1µs ,الا انه لم يتم تسويغ أي تقدير استقرائي ابعد من ذلك لاطوال موجية اخرى على اساس المعطيات المتوافرة حاليا .

لقد قامت INIRC عام 1988 باجراء تغيير في حدود التعرض الجلدي فمن اجل مساحات مقطعية مضادة لحزمة الاشعة تتراوح بين 100 cm^2 و 1000cm^2 يكون حد التعرض بازمنة تعرض تتجاوز 10 s عبارة عن 10000 / A_smW/cm^2 ، حيث ان A_s عبارة عن مساحة الجلد المعرضة بالـ cm^2 . اما بالنسبة لمساحات الجلد المعرضة التي تتجاوز 1000 cm^2 يكون حد التعرض مساويا لـ 1.0 mWcm^{-2} (IRPA , 1988) .

5-1-6 *زمن التعرض :*

يتطلب تحديد حد التعرض الملائم لليزر نوعي مستمر الموجة او ليزر نبضي بشكل متكرر , تحديدا لزمن التعرض . وهذا الزمن يكون واضحا من اجل تعرض وحيد النبضة ، الا ان المعايير التالية لابد من اتباعها حيثما تحدث تعرضات مطولة او متكررة.

من اجل أي تعرض لليزر وحيد النبضة ، يكون زمن التعرض هو زمن النبضة -t- محددا عند نقطتي نصف الاستطاعة .

من اجل جميع حدود التعرض الجلدي اضافة الى التعرض العيني للاطوال الموجية للمجال غير المرئي (اقل من 400nmاو اكبر من 700nm) ، يكون زمن التعرض مستمر الموجة هو الزمن الاعظمي T للتعرض المباشر المتوقع .

من اجل تعرض العين لاي ليزر ذي موجة مستمرة ، يكون زمن التعرض هو الزمن الاعظمي للرؤية المباشرة المتوقعة. ومن ناحية ثانية ، اذا كان التحديق داخل حزمة في المجال المرئي (400nm إلى 700nm) غير مقصود او متوقع فان زمن الاستجابة المضادة آنئذ والذي قدره (0.25 ثا) هو المعتمد.

من اجل التعرضات العينية في مجال الاشعة تحت الحمراء القريبة (700 الى 1400 نانو متر) ، فان زمن التعرض الاعظمي لمدة عشر ثوان يعطي معيار خطر كافيا من اجل كل من ظروف التحريق غير المقصود او الهادف ، في هذه الحالة تقوم حركات العين بعملية تحديد طبيعي للتعرض فتقضي بذلك على الحاجة الى بحث ازمنة تعرض اكبر من 10 ثانية ، الا في حالة الظروف غير العادية . حيث انه يمكن تطبيق فترات تعرض اطول في بعض التطبيقات الخاصة ، مثل التعرض المقصود إلى الات القياس الطبية التشخيصية .

هذا و لم تزودنا IRPA/INIRC بحدود التعرض من اجل ازمنة نبضية اقل من 1 نانو ثانية ، وذلك بسبب النقص في المعطيات الحيوية. الا انه

سيكون هناك ارشاد وقائي مؤقت لتحديد الشدة بالغة الذروة لحد التعرض الملائم لنبضات من فئة النانو ثانية عند الطول الموجي المرغوب .

6-1-6 تعرضات الليزر المتكررة

قد يحدث التعرض المتكرر لاشعة الليزر خلال اليوم الواحد ، نتيجة التعرضات المتكررة عدة مرات لحزمة اشعة مستمرة الموجة ، أو نتيجة التعرضات لليزرات نبضية تكرارية وبعض حزم المسح الليزري حيث تحدث حزم اشعة المسح تعرضات متكررة النبضة للعين في المنطقة الخطرة للشبكية (400- 1400 نانو متر) هذا ولابد من تحديد كل من زمن النبضة المستقلة وزمن التعرض التراكمي الكلي ، وفي هذه الحالة يتم تحديد زمن التعرض الكلي لسلسلة النبضات بالطريقة نفسها المستخدمة من اجل تعرضات الليزر مستمر الموجه ، والزمن T هو الزمن المنقضي (الممتد) من بداية التعرض (النبضة الاولى) حتى النهاية (النبضة الاخيرة)وتعطى طرق تحديد حدود التعرض من اجل تعرضات الليزر المتكررة في المقاطع التالية.

أ- الاشعاع الليزري ما فوق البنفسجي :

من اجل تعرضات متكررة ، تجمع جرعة التعرض خلال فترة 24 ساعة بغض النظر عن معدل التكرار ، وتتوافق هذه القاعدة مع كل الاختبارات على التاثيرات الحيوية للاشعة UV .

هذا ولابد من تخفيض حد التعرض من اجل زمن 24 سا بعامل 2.5 مرة من حد التعرض وحيد النبضة وذلك اذا كانت التعرضات خلال الايام التالية متوقعة .

ب – الاشعاع الليزري المرئي وتحت الاحمر :

ان كلا من الليزرات مستمرة الموجة ، والنبضية المتكررة يمكن ان تحدث سلسلة من النبضات الليزية الداخلة الى العين

ان حد التعرض لكل نبضة من اجل الرؤية داخل حزمة الاشعة النبضية بشكل متكرر ، هو عبارة عن $N^{-1/4}$ مرة من حد التعرض لنبضة وحيدة في الزمن t نفسه ، حيث N عبارة عن عدد النبضات الناتج عن حاصل ضرب تواتر تكرار النبضة (PRF) بزمن التعرض الكلي (T) والذي يحدد بالطريقة نفسها المستخدمة في الليزر مستمر الموجة ذي الطول الموجي نفسه .

وينطبق حد التعرض هذا على جميع الاطوال الموجية الاكبر من 700 نانومتر حيث يغلب حدوث الاذية الحرارية.

بالنسبة للاطوال الموجية الاقل من 700 نانو متر والتي قد تحدث فيها اليات اذية ضوئية كيميائية،فان حد التعرض المحسوب على اساس $N^{-1/4}$ يجب الا يتجاوز حد التعرض المحسوب من اجل Nt ثانية حيث t عبارة عن زمن النبضة الوحيدة في السلسلة، و Nt اكبر من عشرة ثانية .

من اجل تواترات لتكرار النبضة تفوق 15 KHZ ، يجب الا تتجاوز الشدة الوسطية او التعرض الاشعاعي (سطوع او سطوع تكاملي) للسلسلة النبضية، حد التعرض الخاص بموجة مستمرة خلال زمن الرؤية T . ان معدل الشدة هو التعرض الاشعاعي الكلي الحاصل خلال زمن T، والمقسوم على T .

ان العلاقة التجريبية $N^{-1/4}$ اعتمدت على العديد من الدراسات (Sliney and Marshall , 1991) كما ان اساس معايير الرؤية 0.25 ثا و 10 ثا عبارة عن دراسات لحركات العين (Sliney and wolbar sht , 1980)

جـ - *التعرض المتكرر للجلد:*

من اجل تعرض الجلد لليزر نبضي متكرر، فانه لايجوز تجاوز حد التعرض المستند الى تعرض وحيد النبضة، كما ان الشدة الوسطية للسلسلة النبضية يجب الا تتجاوز حد التعرض من اجل الزمن الكلي T للسلسلة النبضية.

6-2 استشراف المستقبل :

ان المجال الوحيد لارشادات حد التعرض والذي يمكن اخذه بعين الاعتبار لاجراء التعديل الممكن عليه، يتعلق بحدود منبع ممتد.

ومع ذلك فان هذا التغيير سوف لن يؤثر على العديد من التطبيقات، حيث انه عند التطبيق وبشكل طبيعي يتم استخدام حدود التعرض الاكثر وقاية داخل حزمة الاشعة (لمنبع نقطي).

7

السيطرة والحماية من التعرض لأشعة الليزر:

يبين هذا المقطع الاجراءات اللازمة من اجل السيطرة الفعالة على التعرض لاشعة الليزر والحماية من التعرض المهني للاشعاع الضوئي الناتج عن منتجات الليزر . وهي تنطبق على منتجات الليزر التي يمكن ان تتألف من ليزر وحيد مع او بدون منبع طاقة منفصل، او تلك المنتجات التي قد تضم واحدا او اكثر من الليزرات في نظام بصري او كهربائي او ميكانيكي، كالانظمة التي تم وصفها في المقطع 4 .

7–1 اجراءات السيطرة – مفهوم عام:

تختلف سبل سلامة الليزر بشكل كبير بين الافراد والمجموعات ممن لديهم اهتمام بالمشكلة . ولاتزال معظم البرامج في الصناعة والحكومة والجامعات في طور التطور.

الا ان بعض المنظمات قامت بتسجيل سياسات وتطبيقات توجز مسؤوليات الادارة والاشراف الفني والصحة البيئية وموظفي السلامة والمعالجة الطبية.وتُحدد مثل هذه السياسات عادة باتخاذ التدابير الاحتياطية النوعية للمشاكل القائمة. حيث ان هذه السياسات والاجراءات جميعها يجب ان تؤكد الحاجة الى الاعتماد على اجراءات

السيطرة الهندسية بشكل رئيسي ، ولا بد ايضا من اتباع سياسة التعليم والتدريب لكل من مشغلي الليزر وموظفي الاشراف وذلك من اجل السير الامن لعمليات الليزر.

هذا ويجب ان تأخذ الاجراءات الهندسية بعين الاعتبار، الحاجة الى تعشيق تروس الالة، والتصميم المناسب لمساحات الغرف، اضافة الى مواد التدريع وشارات التحذير.

تتضمن المعايير الخاصة باختيار واقي عيني، العديد من العوامل ذات العلاقة المتبادلة . فلا بد من ملاحظة ان واقيات العين المتوافرة تجارياً مصممة للحماية من طول موجي محدد او مجموعة من الاطوال الموجية.

وتستخدم وسائل حماية العين المصممة للحماية من اطوال موجية محددة، ومن الطاقة الصادرة عن جهاز الليزر، عندما تكون اجراءات السيطرة الهندسية والاجرائية غير كافية.

في الحالات التي يكون فيها تعرض العين طويل المدى لليزرات الاشعة المرئية (فقط) غير وارد، فان حد التعرض الملائم قد يستند الى زمن قدره 0.25 ثا .

لقد قام كل من اللجنة الدولية والكهربائية التقنية (IEC , 1984)، والجمعية الحكومية الأميركية لأخصائيي السلامة المهنية (ACGIH , 1990) ومجمع الليزر الاميركي (LIA , 1990) بتحضير مجموعة ارشادات

لتجهيزات الليزر، كما قام معهد المعايير الوطنية الاميركي (ANSI , 1986) بالاضافة الى الهيئات الوطنية الاخرى بتطوير معيار التعرض الدقيق لمستخدمي الليزر. ان هذه الوثائق تزودنا باجراءات السيطرة على خطر اشعة الليزر والتي تختلف بحسب نوع الليزر المستخدم وطريقة استخدامه. ومن الضروري ان يعهد بضبط تشغيل الليزر الى مشغل ليزر ذي معرفة واطلاع، تحت اشراف موظفين عارفين بأخطار الليزر.

هذا ومن بين الارشادات والمعايير المذكورة سابقا، يوجد اثنان فقط من التدابير الوقائية العامة، مشتركة لكل منشآت الليزر :

(أ) يجب الا يتم امعان النظر (الا عند الضرورة) الى حزمة الاشعة الاصلية او الانعكاسات على السطوح الصقيلة لحزمة الاشعة، حتى ولو لم يتم تجاوز حد التعرض.

(ب) على مشغل الليزر ان يكون حسن الاطلاع على نوع الليزر المستخدم، وان يتصرف بثقة ومسؤولية، كما انه لابد من اتخاذ التدابير اللازمة لتوفير التعليم و التدريب الملائمين لجميع مستخدمي اجهزة الليزر.

هذا ويجب ان يتم تشغيل اجهزة الليزر في مساحات مسيطر عليها تبعا لتصنيف الليزر، مع التأكيد بشكل خاص على ضبط مسار حزمة الليزر. ويحق للاشخاص المفوضين فقط القيام بتشغيل انظمة الليزر، مع

عدم السماح للمتفرجين بدخول مساحة مسيطر عليها دون الحصول على الموافقة الرقابية اللازمة، ودون اتخاذ الاجراءات الوقائية.

اما بالنسبة لانظمة الليزر البصرية (مرايا ، عدسات ، حارفات حزم الاشعة ، .... الخ) فيجب ان تكون مصفوفة بطريقة تمنع حزمة الاشعة الاصلية او الانعكاس الصقيل لحزمة الاشعة الاصلية، من احداث تعرض عيني يفوق حد التعرض من اجل تعرض عيني مباشر لحزمة الاشعة.

قد تزيد الانظمة البصرية كالعدسات والتلسكوبات والميكروسكوبات من الخطورة على العين عند رؤية حزمة الليزر، لذلك لابد من اتخاذ الحيطة والحذر عند استخدامها. ان الميكروسكوبات والتلسكوبات تستخدم كأدوات بصرية للرؤية، الا انها لابد ان تزود بمنظم الاشارات او مرشح، عند الضرورة، لمنع التعرضات العينية التي تفوق حد التعرض الملائم لتعرض العين.

ولابد من اتخاذ المزيد من الحيطة والحذر مع حزم أشعة الليزر غير المرئية، وذلك لضمان تحديد موضع مسار حزمة الاشعة بالشكل المناسب، ولضمان عدم حدوث الانعكاسات الصقيلة الخطرة.

فيما يخص اجهزة الليزر المستخدمة طبيا في الجراحة او الاغراض التشخيصية، فإنها يجب ان تملك وسائل امان ذاتية تتضمن اليات خاصة لاخماد الحرائق وبيانات تحذيرية كالحاجة الى حماية العين وحماية المريض،

اضافة الى استخدام الغازات المسكنة غير القابلة للاشتعال. كما انه يجب اتخاذ تدابير السلامة الوقائية النظامية الخاصة باي جهاز كهربائي...

ان اجهزة الليزر الجراحية لاغراض التدريب لابد ان تكون ذات اجراءات سيطرة مزدوجة.

هذا ومن الضروري اعداد برنامج تدريبي ملائم لكل مستخدمي الليزر وموظفي غرفة التشغيل ويجب الا تقيد اجراءات السيطرة باي شكل، استخدام اشعاع ليزري من أي نوع يمكن ان يوجه عمدا الى أي شخص لاغراض تشخيصية او علاجية او لاغراض البحث العلمي وتحت اشراف مهنيين مؤهلين متمرسين بفنون المداواة، ولابد من اتخاذ التدابير الوقائية لضمان التقليل من أي تعرض غير ضروري للاعضاء والنسج.

ان ازدياد التطبيقات الطبية والصناعية لانظمة الليزر عالية الطاقة، يزيد من احتمال تعرض الجلد العرضي الى مستويات من اشعاع الليزر تفوق حد التعرض الموصى به للجلد، لذا يوصى بتوفير الحماية اللازمة للجلد، حيثما كان ممكنا، للاشخاص العاملين على مثل هذه الانظمة الليزرية عالية الطاقة (نوع 4).

ان اجراءات السيطرة الهندسية الموصى بها من اجل الليزرات او الانظمة الليزرية نوع 3b و 4 ، يمكن استبدالها بعد معاينة وموافقة مشرف سلامة الليزر (LSO) باجراءات سيطرة اجرائية او ادارية او

هندسية بديلة بحيث توفر الحماية المكافئة نفسها، ويمكن لهذا ان يحدث مثلا في البيئات الطبية وبيئات التطوير والبحث العلمي.

2-7 مراقبة اشعاع الليزر في مكان العمل :

ان الهدف من مراقبة اشعاع الليزر وتقييم خطورة الليزر هو ان نحدد اولا عبر السجلات، فيما اذا كانت التجهيزات تتوافق مع المستويات الموصى بها لتعرض الاشخاص العاملين (مثلا اذا كان قد حدث تعرض زائد ام لا)، وان نخطط حدود المساحات التي تتطلب تدريعا واقيا ، وان نحدد اخيرا المساحات التي طبقت فيها اجراءات السيطرة والمساحات التي لم تطبق فيها هذه الاجراءات (قبل ان يكون المنبع جاهزا للعمل).

هذا ويوصى عند ادارة استقصاءات اشعاع الليزر وتقييم خطورته، باتباع ما يلي :

1- يجب ان يقوم باستقصاءات اشعاع الليزر او تقييم خطورة الليزر، شخص مختص ومؤهل، يفضل ان يكون مشرف سلامة الليزر نفسه.

2- يجب ان تجرى هذه الاستقصاءات في الحالات التالية :

أ- قبل بدء التشغيل الروتيني بالنسبة لجميع التجهيزات القادرة على احداث اشعاع ليزري يتجاوز حدود التعرض الموصى بها .

ب- بعد اية تصليحات او تغييرات في ظروف العمل، كالتدريع الواقي والحواجز التي يمكن ان تؤثر على مستويات التعرض ، وذلك لضمان عدم تجاوز هذه المستويات لحدود التعرض الموصى بها.

جـ- عندما يشتبه باي خلل قد يؤثر على مستويات اشعاع الليزر .

د- بشكل دوري (بفواصل زمنية نظامية) بالنسبة للتجهيزات القادرة على تعريض العمال لمستويات تتجاوز الحدود الموصى بها.

هذا ويجب ان يتم حفظ السجلات الخاصة بجميع المعطيات الاساسية لاستقصاء اشعة الليزر وتقييمها، اضافة الى عدد وانواع الاجهزة في المساحة المستقصاة، ولا بد لهذه السجلات ان تتضمن ايضا استعراضا لجميع الحوادث الناجمة عن اشعة الليزر واسبابها .

7-3 ضبط التعرض المهني :

7-3-1 تصنيف الليزر :

يتعلق نظام التصنيف بصورة خاصة بالاصدار الذي يمكن الحصول عليه من نظام الليزر، والخطورة المحتملة اعتمادا على خواصه الفيزيائية.

ان منتجات الليزر يجب ان يتم تصنيفها من قبل المصنّع بحيث تحمل لصاقة تبين نوعها، وذلك تبعا للنظام الوطني المناسب و (IEC,1984 ,1990) IEC 825.

7-3-2 منتجات الليزر المصنعة :

يحدد هذا الدليل العملي تدابير السلامة الوقائية واجراءات السيطرة التي لا بد لمستخدم جهاز الليزر من استخدامها تبعا لتصنيف خطورة الجهاز، ولا علاقة له بواجبات والتزامات المصنعين.

هذا ومن المتوقع بشكل طبيعي ان يعتمد مستخدمو الليزر على تصنيف المصنعين للمنتج الليزري في تقدير خطورة منتج الليزر خلال التشغيل ، متجنبين بذلك جميع او معظم القياسات الراديومترية.

ويرجع المصنعون الى المنشور القياسي المعترف به 825 للّجنة الدولية الكهربائية التقنية (IEC,1984 ,1990)والذي يتعلق بامور تصنيف الاجهزة ومتطلبات ادائهامن اجل السلامة والامان.

7-3-3 ليزرات التطوير والبحث العلمي :

قد تحدث معظم الاذيات الناتجة عن اشعاع الليزر في بيئات مخابر البحث العلمي،وبالتالي فان ضبط التعرض في هذه البيئات ذو اهمية كبيرة.

اما ليزرات التطوير فغالبا ما تكون من الطراز البدائي ذي اللوحة النحاسية وتدار داخل المنزل دون جميع انظمة امان الجهاز المألوفة لدى المنتجات المصنعة، لذا فمن الضروري أن نصنف هذه الليزرات حالما تصبح جاهزة للعمل ، وان نحاول حصر (تطويق) مسار حزمة الاشعة

اكثر ما يمكن، وان نقوم اخيرا بتركيب انظمة امان للجهاز ان كان ذلك ممكنا، للتقليل من التعرض للخطر المحتمل.

هذا وان طرق ضبط الخطورة من اجل الاجهزة التجريبية نوع 3b و4 هي الطرق الخاصة لمنتج الليزر المصنع نفسها ، واجراءات السيطرة هذه مقدمة في المقاطع التالية .

7-3-4 انظمة الليزر نوع 3b و نوع 4 المستخدمة داخليا :

يجب ان تكون الحاجة الى استخدام الوقاية الشخصية ضد التأثيرات الخطرة لتشغيل الليزر دوما في حدها الادنى، وذلك عن طريق تصميمات السلامة الهندسية وحصر (تطويق) حزمة الاشعة وتطبيق اجراءات السيطرة الادارية.

هذا ولا بد من التزود بواقيات عينية وافية بالغرض عندما يكون التعرض للاشعاع الليزري الخطر محتملا.

7-3-5 انظمة الليزر نوع 3b ونوع 4 المستخدمة في الهواء الطلق :

قد يمتد الخطر الناجم عن اجهزة الليزر نوع 3bاو نوع 4 الى مسافة كبيرة. هذا وان المجال الليزري الذي تكون فيه الشدة او التعرض الاشعاعي تحت حدود التعرض الملائمة يدعى اصطلاحا مسافة الخطر العينية الاسمية (NOHD) بينما تدعى المساحة التي تتجاوز شدة الحزمة او التعرض الاشعاعي ضمنها حد التعرض الملائم، مساحة الخطر العينية

الاسمية (NOHA) كما تدعى لدى بعض الدول منطقة الخطر الاسمية (NHZ) وتتحدد هذه المساحة بحدود الحاجز الوقائي المعترض ودقة الاتجاه والارتفاع لجهاز الليزر وتمتد الى حد مسافة الخطر العينية الاسمية او الى موقع أي هدف او مصدّ خلفي. هذا وان التحديد الدقيق لهذه المساحة يعتمد ايضا على طبيعة أي مادة موجودة ضمن مسار حزمة الاشعة مثل العاكسات ذات السطوح الصقيلة (كالمرآة).

فيما يتعلق بمسافة الخطر العينية الاسمية (NOHD) فهي متوقفة على خصائص خرج الليزر وحد التعرض الملائم ونوع النظام البصري المستخدم اضافة الى التأثير الجوي على انتشار الحزمة.

ان المصدّ الخلفي لحزمة الاشعة مطلوب دوما تقريبا، كما ان ضبط حزمة الاشعة الرئيسية هو الاعتبار الاكثر اهمية في اجراءات السيطرة الموصى بها لدى الرؤية المباشرة لحزمة ليزرية مرئية، فحيث أنها قد تبدو ساطعة للغاية حتى في حال عدم تجاوز مستويات التعرض، لذا قد يعتقد الاشخاص المعرضون انهم تعرضوا للاشعة بشكل مفرط، او انهم لايأبهون بذلك معرضين انفسهم لمخاطر اضافية.

هذا ويزداد الخطر الناجم عن الحزمة المباشرة لدى الاشخاص الذين ينظرون الى حزمة الاشعة بالبصريات المكبرة، كما يزداد الخطر العيني عند أي بعد بتربيع القدرة التكبيرية للبصريات، وبالتالي فان مسافة الخطر تزداد بواسطة القدرة التكبيرية للبصريات عنها في حالة

الرؤية دون ادوات مساعدة،ولذلك فان الليزر ذا مسافة الخطورة 100 متر لدى الرؤية دون ادوات مساعدة، سوف يكون خطرا عند مسافة 700 متر بالنسبة لشخص يستخدم منظاراً مكبراً مزدوج العين 7×50 .ان استخدام البصريات يعزز الحاجة الى مصد خلفي لحزمة الاشعة، وفي الهواء الطلق يمكن لاي مادة نثر تقريبا ان تفيد كمصد خلفي للحزمة، حيث ان الاوضاع المخبرية المختلفة والفعاليات عالية الطاقة التي يمكن ان تؤذي المصد الخلفي للحزمة لاتكون موجودة في الهواء الطلق .

هذا وان الانعكاسات الصقيلة ذات اهمية في العمليات التي تتم في الهواء الطلق، حيث ان مواد الهدف قد يكون لها سطوح صقيلة يمكن ان توجه حزمة الاشعة وجهة جديدة نحو مساحات يتوضع فيها اشخاص غير محميين ولاعلاقة لهم بالاختبار، لذا فان مواد الهدف يجب ان تختار بعناية تجنبا لحدوث اية انعكاسات خطرة.

اما الانعكاسات المنتشرة من ليزرات مستخدمة في الهواء الطلق لاتحدث انعكاسا خطرا.

لدى توجيه الليزرات نحو السماء، فلا بد من ان تؤخذ اخطارها على الطائرات بعين الاعتبار، حتى في حال عدم تجاوز حدود التعرض، ذلك ان الضوء المتألق قد يربك ربان الطائرة ولاسيما في النهار، وقد يكون كافيا لافقاده السيطرة على طائرته، لذا يجب استخدام الليزرات ذات الاشعة تحت الحمراء فقط وبشكل لاتتعرض فيه الطائرة لمستويات

تفوق حدود التعرض، وبشكل طبيعي فان ربان الطائرة لا يفترض به استخدام البصريات المكبرة.

تعتبر حماية العين بشكل عام السبيل الوحيد بالنسبة للعمليات في الهواء الطلق فاذا وصل الخطر الى الدرجة التي يحتاج فيها مشغلو الجهاز و الموظفون في نطاق الهدف الى الواقيات العينية،عندها لابد من اختيار الكثافة الضوئية والطول الموجي بدقة ملائمة.وهناك امر اخر ضروري بالنسبة للاشخاص الذين لاعلاقة لهم بالاختبار وهو اخبارهم بالاخطار الناجمة.

اما طرق التحذير فقد تكون عبارة عن شارات تحذير خاصة بالليزر مع تعليمات محددة للحماية الشخصية، او اضواء تحذيرية.

ولا بد من القيام بتطويق المنطقة في مواقع المرور المزدحمة، او تعيين حراس يقومون بتحذير الاشخاص القادمين اليها

هذا وان أي نوع من هذه التحذيرات يجب الا يستخدم الا خلال اختبارات الليزر حيث ان الاخفاق في لفت انتباه الاشخاص اليها سيعرضهم الى خطر كبير، كما ان التحذيرات المختلفة في موقع الاختبار لا يمكن الوثوق من فعاليتها خلال الاختبار الفعلي.

7-4 تدابير السلامة الوقائية

7-4-1 انواع اجراءات السيطرة

ان الغرض من تدابير السلامة الوقائية واجراءات السيطرة هو التقليل من احتمال التعرض لمستويات خطرة من اشعاع الليزر والاخطار الاخرى المرافقة. قد تنتمي اجراءات السيطرة الى واحدة من الفئات الثلاث التالية :

- اجراءات السيطرة الهندسية
- المعدات والملابس الوقائية الشخصية
- اجراءات السيطرة الادارية

وتعتبر اجراءات السيطرة الهندسية بشكل عام الاكثر امانا وثقة لذا فهي المفضلة، وفي حال انعدام امكانية تطبيقها فلا بد من استخدام معدات الوقاية الشخصية (الواقيات العينية)، اما بالنسبة لاجراءات السيطرة الادارية فهي اجراءات اضافية مساعدة لا يمكن استخدامها كبديل عن اجراءات السيطرة الهندسية.

7-4-2 اختيار اجراءات السيطرة :

قد لا يكون من الضروري تنفيذ اجراءات السيطرة جميعها في وقت واحد او من اجل عملية ليزرية محددة، حيث انه عندما يكون تطبيق واحد او اكثر من اجراءات السيطرة كافيا للتقليل من التعرض

الممكن الى مستوى ادنى من حد التعرض الملائم، يصبح عندها تطبيق اجراءات السيطرة الاضافية غير ضروري لعملية الليزر المفروضة.

7-4-3 منتجات الليزر المعدلة :

عندما يتم تعديل منتج الليزر المصنف مسبقا، ويؤثر ذلك على الوظيفة المعد لها او على طاقة الحزمة الليزرية المنبعثة، فان الشخص او الجهة التي قامت باجراء مثل هذا التعديل، تكون مسؤولة عن ضمان اعادة تصنيف المنتج الليزري وتغيير اللصاقة الخاصة به.

7-4-4 البيئات المحددة

تتعلق الارشادات التالية بالتشغيل الامن لمنتجات الليزر في :

(أ) بيئات الهواء الطلق والبناء والتي يمكن لاجراءات السيطرة الادارية فيها غالبا أن تمدنا بالوسيلة الممكنة للتشغيل الآمن.

(ب) بيئات المخابر وورشات العمل والتي تلعب فيها اجراءات السيطرة الهندسية الدور الاكبر.

(جـ) بيئات العرض ووسائل الايضاح والتي غالبا ما يمدنا التخطيط المسبق لها وتحديد وضبط الاقتراب بالوسيلة المنطقية والمعقولة للتشغيل الآمن.

7-4-5 وسائل الايضاح والعروض والمعارض الليزرية

يجب ان تستخدم منتجات الليزر نوع 1 او 2 او 3a فقط لاغراض الايضاح والعرض والتسلية في المساحات غير المراقبة.

ويحظر استخدام ليزرات من نوع اعلى لمثل هذه الاغراض الا عندما يتم تشغيل الليزر تحت اشراف وتوجيه مشغل خبير ومدرب بشكل جيد، وعندما تتم حماية المشاهدين من التعرض لمستويات تتجاوز حدود التعرض المسموح بها.

ان الترخيص لمثل هذه العروض يجب ان يرتكز على تقدير السلامة الليزرية الاجمالية المترافقة مع الاستخدام المحتمل لليزر.

هذا ويجب ان يتم تشغيل كل نظام ليزري استعراضي مستخدم في المدارس لأغراض تعليمية ... الخ، بشكل لايسمح بالتعرض لمستويات من اشعة الليزر تتجاوز حد التعرض الموصى به.

7-4-6 التجهيزات الليزرية في المخابر وورشات العمل:

(أ) منتجات الليزر نوع 2 و 3a :

التدابير الوقائية هنا مطلوبة فقط لمنع النظر المستمر إلى حزمة الاشعة المباشرة، حيث ان التعرض الخاطف لمدة (0.25 ثا) والذي يحدث في حالات الرؤية العرضية (غير المقصودة) لايعتبر خطرا.

ومع ذلك لايجوز توجيه حزمة اشعة الليزر عمدا باتجاه الناس.

هـذا وان استـخدام الادوات البصريـة المسـاعدة علـى الرؤيـة (كالميكروسكوبات ثنائية العين) مع منتج ليزري نوع 3a قد يكون خطرا.

(ب) منتجات الليزر نوع 3b :

ان ليزرات النوع 3b قد تكون خطرة عندما يتـم النظـر الى حزمـة الاشعة المباشرة او الانعكاسات الصقيلةبعين غـير محميـة (النظـر داخـل حزمة الاشعة)* لذا لابد من اتخاذ التدابير الوقائية التاليـة لتجنـب النظـر المباشر الى حزمة الاشعة ولضبط الانعكاسات الصقيلة :

- يجب تشغيل الليزر فقط في مساحات مسـيطر عليهـا (طبقـت فيها اجراءات السيطرة)
- لابد من اتخاذ الحيطة والحـذر لمنـع الانعكاسـات الصقيلـة غـير المقصودة.
- يجب انهاء حزمة الليزر ان امكن ذلك في نهاية مسارها المفيـد بواسطة مادة ناثرة للضوء وذات لون وانعكاسية نتمكن بهـا مـن تحديـد موقع حزمة الاشعة مع استمرار التقليل من اخطار الانعكاس.
- لابد من حماية العين اذا كانت هنـاك ايـة امكانيـة لرؤيـة حزمـة الاشعة المباشرة او المنعكسة، او لرؤيـة الانعكـاس المنتـثر عـبر البصريـات المكبرة والتي تجمع الطاقة ضمن حدود 20 سم

* إن ظروف الرؤية للانعكاس المنتثر لليزرات الأشعة المرئية نوع 3b تتضمن مايلي : مسافة صغرى للرؤية مقدارها 13 سم بين الحاجز والكاميرا، وزمناً أعظمياً قدره 10 ثا. أما بالنسبة لظروف الرؤية الأخرى كالتحديق الثابت الى الانعكاس المنتثر فلا تعتبر واقعية.

- يجب ان يتم التحذير من الدخول الى هذه المساحات باستخدام شارات تحذير قياسية خاصة بالليزر.

(جـ) منتجات الليزر نوع 4 :

تبدي منتجات الليزر نوع 4 اخطارا محتملة ناجمة عن حزمة الاشعة المباشرة او انعكاساتها الصقيلة اضافة الى الانعكاسات المنتثرة، كما تبدي ايضا خطر حريق محتمل.

لذا لابد من استخدام اجراءات السيطرة التالية اضافة الى تلك الاجراءات المذكورة في المقطع (ب) للتقليل من هذه الاخطار:

- لابد من تطويق (حصر) مسارات حزمة الاشعة قدر الامكان، كما ان الاقتراب من بيئة الليزر خلال عمليات الليزر يجب ان يكون مقصورا على الاشخاص الذين يرتدون واقيات عينية ملائمة (وملابس واقية في بعض الحالات).

- لابد من تطويق ليزرات النوع 4 عند التشغيل متى كان ذلك ممكنا.

- ان الاضاءة الجيدة للغرفة ضرورية في المساحات التي يتم فيها ارتداء واقيات العين من الليزر، هذا وان سطوح الجدران الناشرة للضوء والملونة له تفيد في تحقيق ذلك.

- لابد من توافر سماكة كافية للطوب الحراري او المواد الاخرى المقاومة للحرارة، وذلك كمصد خلفي لحزمة الاشعة على اعتبار ان

الحريق هو الخطر الرئيسي المترافق مع الليزرات عالية الطاقة (مثل ثاني اوكسيد الكربون وفلوريد الهيدروجين وفلوريد الديتريوم)، ولكن يجب اتخاذ الحيطة والحذر عند التعامل مع هذه المواد حيث انه مع التعرض المطول قد يحدث صقل للسطح مما يؤدي الى حدوث الانعكاس الصقيل. ويفضل استخدام الاهداف المعدنية والمسطحة والمبردة بشكل كاف كالمخاريط. هذا ولايؤدي القطع واللحام بالليزر الى حدوث انعكاسات خطرة الا عندما تضعف استطاعة الحزمة وتتوقف الازالة.

- لابد من اتخاذ تدابير وقائية خاصة للتخفيف من الانعكاسات غير المرغوب فيها والناتجة عن اشعاع ليزري ذي اشعة تحت الحمراء البعيدة، كما يجب احاطة حزمة الاشعة ومنطقة الهدف بمادة ما كالبولي ميتيل ميتا كريلات غير منفذة لطول موجة الليزر (حتى السطوح المعدنية العاتمة قد تصبح صقيلة بشكل كبير في طول موجة $0.6\,\mu m\ CO_2$)

7-4-7 التجهيزات الليزرية المستخدمة في الهواء الطلق وفي البناء

(أ) منتجات الليزر نوع 2 :

لابد من انهاء حزمة الاشعة في نهاية مسارها المفيد، متى كان ذلك ممكنا بشكل منطقي، كما يجب الا يوجه الليزر الى عيون الناس او يشغل بشكل روتيني عند ذروة الرأس.

(ب) ليزرات المسح والرصف والتسوية :

يجب ان يتم استخدام الليزرات نوع1 او 2 متى كان ذلك ممكنا في تطبيقات المسح والرصف والتسوية .

قد تكون هناك مواقع تتطلب فيها مستويات الضوء المحيط العالية استخدام ليزرات ذات طاقة خرج اعلى.

فاذا تم استخدام الليزرات نوع 3a عندها لابد من اتباع المتطلبات المذكورة في المقطع التالي(جـ) ، وفي الحالات الاستثنائية التي يكون فيها استخدام الليزرات نوع 3b ضروريا، نتبع عندها متطلبات المقطع اللاحق (د).

اضافة الى ما سبق، يجب عدم السماح بالاقتراب من اشعة الليزر في مجال للطول الموجي يتراوح بين (400 الى 700 نانومتر) مع طاقة اشعاعية تتجاوز 5 ميلي واط، ومن اجل أي زمن للاصدار يتجاوز 0.38 نانوثانية، ولا يجب السماح بالاقتراب من اشعة ليزرية تتجاوز مستوى الاصدار المسموح به (AEL) للنوع 1، من اجل أي توافق اخر لزمن الاصدار ومجال الطول الموجي.

(جـ) منتجات الليزر نوع (3a) المستخدمة في المسح والرصف والتسوية:

تطبق الارشادات التالية على عمليات المسح التي تستخدم منتجات الليزر نوع 3a من اجل الرصف والتسوية :

1- يجب تعيين المستخدمين المدربين والمؤهلين فقط والذين تمت الموافقة عليهم من قبل مشرف سلامة الليزر، لتركيب وضبط وتشغيل تجهيزات الليزر

2- يجب التحذير من المساحات (المناطق) التي يتم فيها استخدام مثل هذه الليزرات وذلك بواسطة شارات تحذير خاصة بالليزر.

شكل 4: اشارة تحذير قياسية لليزر (IEC)

تختلف البيانات التحذيرية الخاصة حسب الاستخدام

الرمز والاطار: لون اسود

الخلفيـــــة : لون أصفر

3- يجب استخدام الوسائل الكهربائية البصرية كلما كان ذلك ممكنا، وذلك للمساعدة في الرصف الليزري

4- يجب اتخاذ الحيطة والحذر لضمان عدم النظر الى حزمة الاشعة بشكل مباشر (ذلك ان النظر المطول داخل الحزمة خطر)

ان النظر المباشر عبر الوسائل البصرية لحزمة اشعة مجمعة بشكل كلي بطاقة تزيد عن 2 m.W ، قد يكون خطرا، ولا يجب السماح به ما لم تتم الموافقة على ذلك من قبل مشرف سلامة الليزر بالذات.

5- يجب انهاء حزمة اشعة الليزر عند نهاية مسار الحزمة المفيد ولا بد من انهائها في جميع الحالات عندما يمتد مسار الحزمة الخطر الى ما وراء المساحة المسيطر عليها.

6- يجب تحديد موضع مسار حزمة الليزر بشكل جيد فوق او تحت مستوى العين كلما كان ذلك ممكناً .

7- يجب اتخاذ الحيطة والحذر لضمان عدم توجيه حزمة الليزر الى سطوح صقيلة كالمرآة (لا سيما ان كانت مسطحة).

8- يجب تخزين الليزر عندما لا يكون قيد الاستعمال في مكان لا يصل اليه الا الاشخاص المفوضون.

(د) منتجات الليزر نوع 3b ونوع 4 :

يجب عدم تشغيل منتجات الليزر نوع 3bونوع 4 في الخلاء والبيئات المشابهه، الا من قبل اناس مدربين بشكل كاف على استخدامها ، تمت الموافقة عليهم من قبل مشرف سلامة الليزر.

هذا ولا بد من اتخاذ التدابير الوقائية التالية اضافة الى تلك المعطاة في المقطع السابق (جـ) وذلك للتقليل من الاخطار المحتملة :

- يجب استبعاد الناس ما لم يكونوا مرتدين واقيات عينية ملائمة، عن مسار حزمة الاشعة عند كل النقاط التي تتجاوز فيها الشدة او التعرضات الاشعاعية حدود التعرض. هذا ولا بد من استخدام اجراءات السيطرة الهندسية كالحواجز الطبيعية(الفيزيائية) ، ومحدد التشابك في الحاجز الوقائي المعترض لحزمة الاشعة ، والارتفاع كلما كان ذلك ممكناً لتعزيز اجراءات السيطرة الادارية .

- يجب حظر التتبع المقصود للعربات والطائرات غير المستهدفة ، ضمن مسافة الخطر العينية الاسمية

- يجب تحريرمسارات حزمة الاشعة كلما كان ذلك ممكنا ، من كل السطوح القادرة على احداث انعكاسات غير مرغوبة قد تكون خطرة او أنه لابد من زيادة مساحة الخطر بالشكل المناسب.

8-4-7 استخدام اجراءات السيطرة الهندسية :

(أ) موصل التشابك عن بعد :

ان موصل التشابك عن بعد المركب مع ليزر من النوع 4 يجب ان يكون متصلا بادارة الطوارئ لفصل التشابك او اغلاق المدخل او تثبيت التشابكات

(ب) مفتاح التحكم :

لا بد من حماية منتجات الليزر نوع 3b ونوع 4 عندما لا تكون قيد الاستعمال ، ضد الاستعمال غير المرخص به وذلك عن طريق نزع المفتاح الخاص بمفتاح التحكم

(جـ) مضعف شدة حزمة الاشعة :

اضافة الى مفتاح تشغيل الليزر فلا بد من تزويد منتجات الليزر نوع 3b ونوع 4 بالية موصولة بشكل دائم تقوم بايقاف او اضعاف شدة حزمة الاشعة ، بحيث تكون قادرة على منع اصدار خرج يتجاوز المستوى الملائم عندما يكون منتج الليزر في حالة العمل .

7-4-9 شارات التحذير :

يجب التحذير من الدخول الى المساحات او السياجات الواقية الحاوية على منتجات ليزرية نوع 3a و3b و4 وذلك باستخدام شارات تحذير ملائمة (انظر الشكل 4 كمثال عليها)

7-4-10 مسارات حزمة الاشعة :

يجب انهاء حزمة الاشعة الصادرة عن منتج ليزري نوع 3b او نوع 4 ، عند نهاية مسارها المفيد وذلك بواسطة مادة ناثرة وذات معامل انعكاس وخصائص حرارية ملائمة، او باستخدام الماصات.

كما يجب تحديد موضع مسارات حزمة الاشعة المبعثرة فوق او تحت مستوى العين (وذلك بالنسبة للاشخاص الواقفين والجالسين) اينما كان ذلك ممكنا.

هذا ولابد من تطويق (حصر) حزم اشعة الليزر ضمن سياج واق ملائم (ضمن انبوب مثلا) حيثما كان ذلك ممكنا.

7-4-11 الانعكاسات الصقيلة:

لابد من اتخاذ الحيطة والحذر لمنع الانعكاس الصقيل غير المطلوب لحزمة الاشعة الصادرة عن منتجات ليزر نوع 3b او نوع 4 . لذا يجب ان يتم تركيب العناصر البصرية كالمرايا والعدسات ومفرقات حزم الاشعة بشكل صارم وبحيث تكون خاضعة لاجراءات السيطرة.

7-4-12 حماية العين:

(أ) مواصفات الواقي العيني:

عند اختيار الواقي العيني الملائم، يجب ان نأخذ بعين الاعتبار ما يلي:

(أ) طول موجة التشغيل

(ب) الشدة او التعرض الشعاعي الاعظمي المتوقع

(جـ) حد التعرض الملائم

(د) الكثافة البصرية المتطلبة لواقي العين عند طول موجة خرج الليزر،والتي هي بشكل طبيعي عبارة عن لوغاريتم النسبة (ب/أ)

(هـ) متطلبات نفاذ الضوء المرئي

(و) التعرض الاشعاعي او الشدة التي يتأذى عندها واقي العين

(ز) الحاجة الى نظارات طبية

(ح) الراحة والتهوية

(ط) تخفيض رتبة او تعديل اوساط الامتصاص، حتى لو كان ذلك مؤقتا او عابرا.

(ي) متانة المواد (مقاومة الصدمة)

(ك) متطلبات الابصار السطحي

(ل) اية انظمة وطنية حول هذا الموضوع

لابد من استخدام واقيات العين المصممة لتقديم الحماية الكافية ضد اشعاعات الليزر النوعية، في جميع مساحات الخطر التي تكون فيها الليزرات نوع 3b ونوع 4 قيد الاستعمال، باستثناء الحالات التالية:

1- عندما تكون اجراءات السيطرة الهندسية و الادارية كافية للتخلص من احتمال التعرض بشكل يتجاوز حد التعرض الملائم

2- عندما يكون استخدام الواقيات العينية غير ممكن بسبب متطلبات التشغيل غير العادية، هذا ولا يجوز الشروع باجراءات التشغيل هذه الا بموافقة مشرف سلامة الليزر.

(ب) تحديد هوية واقيات الليزر العينية ووضع اللصاقات عليها :

يجب ان تحمل جميع واقيات الليزر العينية بطاقة (لصاقة) تتضمن المعلومات الكافية لضمان الاختيار المناسب لواقي العين مع الليزرات المحددة.

(جـ) الكثافة الضوئية المتطلبة :

ان الكثافة الضوئية (OD) لواقي الليزر العيني، مرتبطة بشكل كبير بالطول الموجي . وعندما يكون الواقي العيني ضروريا لحجب الاشعاع، لابد عندها من تحديد القيمة الصغرى للكثافة D بدقة وذلك ضمن نطاق الطول الموجي المستخدم.

هذا وتحسب قيمة الكثافة اللازمة للحصول على حماية العين من العلاقة التالية :

$$D = \log_{10} (H_0 / EL)$$

حيث ان H_0 عبارة عن سوية التعرض المتوقع للعين غير المحمية معبراً عنه بواحدات قياس الشدة نفسها لحد التعرض EL المسموح به.

(د) اختيار الواقي العيني :

يجب ان يكون الواقي العيني مريحاً، ويعطي مجالا واسعا للرؤية ما امكن، كما يجب ان يحافظ على مطابقة محكمة بشكل معقول (اذا كانت الكثافة المتطلبة اكبر من 1.5)، بينما يستمر في توفير التهوية الكافية لتجنب مشاكل الضباب ولتوفير نفاذ بصري كاف. هذا ولابد من اتخاذ الحيطة والحذر لتجنب استخدام الواقيات العينية ذات السطوح العاكسة المسطحة والتي يمكن ان تسبب انعكاسات صقيلة خطرة.

يجب ان يؤمن الاطار واية اجزاء جانبية، حماية ضد التعرضات تصل حتى 0.03 من تلك المقدمة من قبل العدسات.

7-4-13 الملابس الواقية :

لابد من ارتداء الملابس الواقية المناسبة في الاماكن التي قد يتعرض فيها الاشخاص الى مستويات من اشعاع الليزر تتجاوز حد التعرض الجلدي. ولهذا الاجراء اهمية كبيرة مع اشعة الليزر فوق البنفسجية .

تبدي الليزرات نوع 4 بشكل خاص خطر حريق محتمل، لذا يجب ان تصنع الملابس الواقية من مادة مناسبة مقاومة للحرارة والاشتعال عندما يكون التعرض لمثل هذه الليزرات متوقعا، وذلك على الرغم من وجوب الاعتماد على اجراءات السيطرة الهندسية اكثر من اللجوء الى الملابس الواقية.

7-5 الاخطار العرضية الناتجة عن تشغيل الليزر :

اعتمادا على نوع الليزر المستخدم، توجد هناك اخطار مرافقة ناتجة عن عمليات تشغيل الليزر، يمكن ان تتضمن الاخطار التالية :

7-5-1 التلوث الجوي :

لابد من استخدام التهوية الموضعية المناسبة، عند اطلاق سويات خطرة لملوثات هوائية المنشأ خلال استخدام الليزر ومن الامثلة عليها:

- مواد هدف متبخرة ومنتجات تفاعل ناتجة عن عمليات القطع والثقب واللحام وعند اجراءات الجراحة بالليزر.

قد تتضمن هذه المواد الاسبستوس واول اوكسيد الكربون وثاني اوكسيد الكربون والاوزون والرصاص والزئبق والمعادن الاخرى اضافة الى المواد الحيوية.

- الغازات الناتجة عن انظمة ليزرية غازية الدفق، او عن المنتجات الجانبية لتفاعلات الليزر مثل الفلورين والبرومين وسيانيد الهيدروجين

- الغازات او الابخرة الناتجة عن المبردات التي تحدث انخفاضاً في الحرارة.

2-5-7 اخطار الاشعاع المرافق:

ان الاشعاع المرافق هو اية طاقة اشعاعية اخرى تصدر عن الليزر بشكل ضروري لانجاز مهمته.

ونذكر كمثال عليه الضوء الابيض واسع النطاق الناتج عن الضوء المستخدم لاثارة الليزرات البلورية، او الاشعاع فوق البنفسجي الناتج عن ليزر غازي انفراغي.

(أ) الاشعاع المرافق مافوق البنفسجي:

قد يكون هناك خطر كبير ناجم عن الاشعاع مافوق البنفسجي المترافق مع المصابيح الومضية وانابيب الانفراغ الليزري مستمر الموجة, ولاسيما عند استخدام انابيب منفذة للاشعة فوق البنفسجية او مرايا (مثل الكوارتز).

وبشكل طبيعي فان الغلاف الواقي لمنتجات الليزر سوف يقوم بالحماية ضد مثل هذه الاخطار.

(ب) الاشعة المرافقة المرئية وتحت الحمراء:

قد تكون الاشعة المرئية وتحت الحمراء القريبة الناتجة عن الانابيب الومضية ومصادر الضخ والاشعاع الصادر عن الهدف، ذات سطوع كافٍ لاحداث خطر محتمل على الشبكية.

ومن الضروري استخدام المرشحات الملائمة الواقية للعين عند اجراء القطع واللحام، نظرا لرؤية البلاسما الضوئية المتشكلة نتيجة هذه العمليات.

3-5-7 الاخطار الكهربائية:

إن الكثير من الليزرات ذات الفولطية العالية (اكبر من 1KV) والليزرات النبضية خطرة بشكل خاص بسبب الطاقة الكهربائية المختزنة في مجموعات المكثفة.

ما لم يتم التدريع بالشكل المناسب، فان مكونات الدارة كالصمامات الالكترونية العاملة بكمون مصعدي اكبر من 5KV قد تصدر اشعة X.

هذا وان متطلبات التصنيع من اجل السلامة الالكترونية مفصلة في المنشور القياسي 825 (IEC , 1984) . ان جميع النواقل الحاملة للتيار لابد من تدريعها لمنع التماس الشخصي معها .

7-5-4 المبردات الخافضة للحرارة :

قد تسبب السوائل الخافضة للحرارة حروقا وتتطلب تدابير وقائية خاصة عند التعامل معها (كالآزوت السائل والهليوم السائل).

7-5-5 اخطار اخرى:

هناك احتمال لحدوث انفجارات في مجموعة المكثفة او انظمة الضخ الضوئية خلال تشغيل بعض انظمة الليزر عالية الطاقة كما ان هناك امكانية لتطاير الجزيئات الناتجة عن مساحة الهدف في عمليات القطع واللحام والثقب بالليزر.

ويمكن ان تحدث التفاعلات الانفجارية الناتجة عن الكواشف الكيميائية لاشعة الليزر او الغازات الخرى المستخدمة ضمن المخبر.

7-6 التدريب :

لابد من اعلام جميع العاملين الذين يحتمل تعرضهم لاشعاع الليزر بالاخطار الممكنة والطرق الملائمة للوقاية منها.

ان هذا التدريب يجب ان يتم بطريقة قابلة للفهم وبحيث يبين العواقب الناجمة عن عدم اتخاذ التدابير الوقائية الملائمة

لا تنحصر الخطورة الناجمة عن تشغيل انظمة الليزر نوع 3b ونوع 4 على مستخدميها فقط وانما تتعداها الى اناس اخرين موجودين عبر مسافة معتبرة. وبسبب هذا الخطر المحتمل يجب تعيين الاشخاص الذين تلقوا تدريبا جيدا فقط للتحكم بمثل هذه الانظمة.

هذا ويجب ان يتضمن التدريب المقدم من قبل المصنع او مزود الجهاز، او مشرف سلامة الليزر، او اية هيئة معترف بها، الامور التالية، دون ان يكون مقتصرا عليها فقط :

- التعريف باجراءات تشغيل الجهاز.
- التأثيرات الحيوية للّيزر على الجلد والعين.
- الاستخدام المناسب لاجراءات السيطرة على الخطر، شارات التحذير ..... الخ
- الحاجة الى الوقاية الشخصية
- عواقب عدم استخدام طرق الوقاية
- اجراءات الابلاغ عن حادث ما، ومكان التماس العناية الطبية.

7-7 الاشراف الصحي:

في غياب الانظمة الوطنية العامة، لابد ان تؤخذ التوصيات التالية بعين الاعتبار:

1- الاجراء الفوري للفحص الطبي من قبل اختصاصي مؤهل وذلك بعد تعرض عيني مؤذ واضح او متوقع،ويجب ان يلحق مثل هذا الفحص باستقصاء حيوي فيزيائي شامل للظروف التي وقع فيها الحادث.

2- اجراء الفحوص العينية الموصى بها قبل وبعد التعيين للعاملين الذين يستخدمون ليزرات نوع 3b ونوع 4.

هذا و تعتبر الفحوص التي تؤكد اختبارات وظيفة الرؤية كافية في اية حالة.

INDEX

8

التنظيـــم الإدراي

يبين هذا المقطع بشكل مفصل الاجراءات الإدارية الموصى بها لحماية الناس الذين يستخدمون الليزرات ومن المحتمل ان يتعرضوا لخطرها.

ان مسؤولية حماية العاملين وجميع الاشخاص الاخرين من التأثيرات غير الملائمة المحتملة للتعرض لاجهزة الليزر، يجب ان يضطلع بها قسم او وكالة او اشخاص محددون كما هو مشار اليه في المقاطع التالية من هذا الفصل.

8—1 دور السلطات المختصة

ان السلطات المختصة او القانونية والتي يتحدد نطاق سلطتها ووظائفها بالحماية من التأثيرات الضارة لاشعة الليزر، لابد ان تتعاون فيما بينها، حيث ان هذا التعاون ضروري لضمان ان كل سلطة او قسم في سلطة ما، على دراية كاملة بمسؤولية الجهات الاخرى وذلك تجنبا للتضارب في المساعي او الجهود.

8-1-1 وضع القواعد والمعايير والقوانين المناسبة:

يجب على السلطات المختصة ان تقوم بوضع القوانين الضرورية للوقاية من اشعة الليزر، ويتم ذلك بالتشاور مع المنظمات المعنية الممثلة لاصحاب العمل والعمال. اضافة الى ذلك، فلا بد لها من اعداد دليل خاص مفصل حول سلامة تصميم وتصنيع واستخدام مصادر اشعاع الليزر، بحيث يتضمن المراقبة الصحية المهنية للعمال المتعرضين في الاماكن التي تستدعي ذلك.

8-1-2 الترخيص والابلاغ ونظم التسجيل:

يجب ان تتقيد السلطات المختصة بالمبدأ القائل:

لابد من تخفيف تعرض الناس وبالتالي فان حدود التعرض يجب الا يتم تجاوزها.

يجب ان يرتكز تصنيف الليزرات اضافة الى المتطلبات اللازمة للابلاغ و التسجيل والترخيص، على تقييم سلامة تصميم الجهاز والاستخدام المعد له، وحيثما كانت اجراءات السيطرة الصارمة ضرورية، فعلى السلطات ان تحدد مواصفات منتج الليزر الذي يتطلب ترخيصا بالاضافة الى الاجراءات و الشروط اللازمة للحصول عليه.

هذا ويجب ان يتضمن اذن الترخيص نظم متابعة وذلك لضمان الالتزام خلال بناء المصنع واختبار الاجهزة وتشغيلها، بما في ذلك التعديل المستقبلي للتصميم وطرق التشغيل.

الا ان منح الترخيص يجب الا يحول دون احداث تغيرات مرغوبة، خلال فترة سريان مفعوله. ويتم الطلب لاحداث مثل هذا التغيير من قبل صاحب الرخصة، حيث ان هذا التغيير قد يكون ضروريا كنتيجة لخبرة تم الحصول عليها خلال العمل او في أي مكان اخر، او كنتيجة منطقية للابتكار التقني والتطور وبحوث السلامة.

يجب ان تحدد عملية الترخيص المسؤوليات المختلفة المتعلقة بالتخطيط والتصميم والبناء واختبار الاجهزة وتشغيلها، وعلى صاحب الترخيص من جهه اخرى ان يحيل للسلطات المختصة كل المعلومات المطلوبة وبشكل مفصل طبقا للاجراء المحدد، عند حدوث أي تغيير في تشغيل او استخدام مصدر التعرض يتعلق بعملية الترخيص.

3-1-8 متطلبات السيطرة النوعية من اجل تصميم وتخطيط وبناء المصنع والمعدات:

تعتمد برامج السيطرة النوعية لكل منطقة ذات نشاط وفعالية في التصميم والتخطيط والبناء لاي مصنع او معدات يتم فيها استخدام الليزر، تعتمد على الاخطار المحتملة، ويمكن ان تتراوح من خطة شاملة متعددة الخطوات والاطوار، الى اجراء عملي مباشر اكثر بساطة.

ان مسؤولية الوصول الى النوعية المطلوبة في انجاز مهمة محددة (كالتصميم والتصنيع واختبار الاجهزة وتشغيلها)، يجب ان توكل الى اشخاص محددين، لا الى اولئك الذين يرغبون دوما في اثبات ان العمل منفذ بشكل صحيح.

وعلى السلطات المختصة ان تشجع المصنّعين على اجراء البحوث والدراسات ،بغرض تحسين تصميم وتركيب وكفاءة كل من التجهيزات التي تستخدم الليزرات، والاجهزة الضرورية للتقليل من الاخطار المهنية.

8-1-4 *التفتيش والتدخل المناسب:*

لابد للسلطات المختصة من اقامة نظام تفتيش، وذلك للاشراف على سلامة التدابير الوقائية ولضمان الالتزام بالمعايير المعتمدة والمتطلبات المحددة في أي ترخيص، بحيث يكون لها حق التدخل في حال عدم الالتزام بهذه المعايير.

هذا ويجب التبليغ بصورة رسمية عن أي وضع قد ينتج او يتوقع ان ينتج عن تعرضات تفوق حدود التعرض الملائمة.

8-2 مسؤولية صاحب العمل

يضطلع صاحب الجهاز او المنشأة التي تصدر اشعة ليزرية بعدد من المسؤوليات، تتلخص فيما يلي:

(أ) السلامة الاشعاعية للمستخدمين.

(ب) شراء وتوفير تجهيزات الليزر بما يتوافق مع كل المعايير الملائمة سواء عندما تكون جديدة او خلال فترة استخدامها.

(جـ) ضمان توافق اجهزة الليزر مع معايير السلامة الاشعاعية الملائمة ومتطلبات السلامة المحددة في هذه الوثيقة.

(د) العمل على تخفيف تعرض العاملين لاشعة الليزر واعداد الترتيبات النظامية اللازمة لمنع الاخطار المرافقة للتعرضات.

(هـ) ارساء واعلان السياسة العامة المتبعة (وتفضل كتابةً) مع التأكيد على اهمية الوقاية، واتخاذ القرارات والخطوات العملية اللازمة لاعطاء الانظمة الوطنية مفعولها ولتنفيذ الاجراءات الوقائية.

يمكن ان توكل المسؤولية من قبل المالك، بالاعتماد على حجم المنشأة ومدى استخدام المعدات المصدرة للاشعاع، الى شخص او عدة اشخاص للقيام بدور المستخدم المسؤول ومشرف سلامة الليزر، وذلك دون الاجحاف بمسؤولية كل صاحب عمل عن صحة وسلامة العاملين في منشأته مع ضرورة مشاركة العمال في امور الصحة والسلامة المهنية.

3-8 واجبات مشرف سلامة الليزر :

لابد من وجود شخص يتم تعيينه من قبل المالك او صاحب العمل للقيام بدور المسؤول عن سلامة الليزر، ولاسيما عندما تكون الليزرات نوع 3b ونوع 4 قيد الاستعمال.

قد يكون هناك لجنة لسلامة الليزر تقو بترسيخ سياسة خاصة لهذا الغرض وذلك في المنشآت الكبيرة نوعا ما، إلا أن مشرف سلامة الليزر (LSO) سوف يصبح العامل الرئيسي الفاعل في السيطرة على اخطار

الليزر. يتولى مشرف سلامة الليزر، في غياب لجنة سلامة الليزر،امر القيام بالواجبات التالية:

(أ) ضمان تطبيق وتطوير برنامج السلامة الفعال، وذلك حيثما يتواجد خطر ناجم عن اشعة الليزر.

(ب) ضمان التوجيه المناسب للعاملين، وحث التعاون بين صاحب العمل والعاملين في التقليل او الحماية من التعرض للّيزر

(جـ) تأمين اجراءات تشغيل امنة لتجهيزات الليزر والتأكد من اطلاع جميع العاملين عليها.

(د) ضمان المحافظة على جميع تجهيزات الليزر، واستخدامها بشكل صحيح من قبل اشخاص مختصين.

(هـ) معرفة مستويات التعرض في المنطقة المجاورة للتجهيزات تحت ظروف الاستخدام الطبيعية.

(و) تحديد المساحات التي يتجاوز فيها التعرض الحدود الموصى بها، والصاق الشارات التحذيرية التي تشير بوضوح الى الشروط المسموح بها لشغلها.

(ز) ضمان اجراء الاستقصاءات الخاصة باشعة الليزر، وتقدير حجم الخطورة عند الحاجة لذلك، وحفظ السجلات الخاصة بمثل هذه الاستقصاءات والتقديرات.

(ح) التحري والابلاغ عن التعرضات للّيزر التي تتجاوز الحدود الموصى بها.

(ط) اختيار الموظفين العاملين على الليزر، واتخاذ الترتيبات اللازمة للفحص الطبي، ومعالجة العاملين الذين تعرضوا للاشعة بشكل زائد وغير مقصود (عرضي).

(ى) تسجيل سويات التعرض اضافة الى زمن التعرض لاولئك الاشخاص الذين تم تعرضهم بشكل يتجاوز الحدود الموصى بها.

(ك) مراجعة التدابير الوقائية المذكورة هنا مع تحديد اجراءات السيطرة الملائمة والتأكيد على المعرفة والادراك باجراءات السيطرة على الاخطار المحتملة.

4-8 واجبات اختصاصيي الصحة والسلامة المهنية الاخرين:

من الممكن ان يعين كل من مهندس سلامة، اختصاصي صحة صناعية، ممرض صحة مهنية، طبيب صحة اضافة الى موظفي الصحة الاخرين، كمشرف سلامة ليزر، او قد توكل اليهم بعض مسؤوليات مشرف سلامة الليزر. وقد يكون مستخدم الجهاز ومشرف سلامة الليزر وطبيب الصحة في المنشآت الصغيرة شخصا واحدا، لابد له ان يكون على اتصال مباشر مع صاحب العمل.

هذا وتعتمد درجة وطبيعة المسؤوليات على حجم المنشأة وعدد الاجهزة. ويقوم اختصاصي الصحة عادة بتقديم المعونة الفنية في مجال

التخطيط للمنشأة وتشغيل اجهزة الليزر . كما يجب على اختصاصيي الصحة عند الضرورة، الاشراف على تنفيذ الانظمة بحيث يأخذون دورهم الفاعل في تحقيق الاجراءات الوقائية.

5-8 واجبات العامل (مستخدم جهاز الليزر):

يجب على مستخدمي أجهزة الليزر المسؤولين عن تشغيلها والمحافظة عليها يوما بعد يوم:

(أ) ان يكونوا مدركين للاخطار المترافقة مع تشغيل اجهزة الليزر النوعية المخصصة لهم، مع التأكيد على اهمية نظم التعشيق (لتروس الالة) وما يمكن ان ينجم عن ابطال مثل هذه النظم من اخطار.

(ب) ان يكونوا قادرين على التعرف على الخلل او القصور في الاجهزة النوعية المخصصة لهم، والذي قد ينتج عن التعرضات العالية للّيزر.

(جـ) ان يكونوا مدركين لاجراءات التشغيل الامن النظامية ومدربين عليها، اضافة الى الاجراءات التي يجب اتباعها عند حدوث خلل للاجهزة او أي وضع طارئ ناتج عن الاصدار الزائد لاشعة الليزر.

(د) ان يقوموا باستخدام المعدات الوقائية المتوافرة عند الضرورة.

(هـ) ان يستجيبوا لاخضاعهم للاشراف الصحي رخيص الثمن المنصوح به.

8–6 مسؤوليات المصنّعين:

ان مصنعي اجهزة الليزر مسؤولون عن صنع التجهيزات التي توافق المعايير الملائمة المتبعة ضمن البلد، اضافة الى تقديم المعلومات الضرورية حول اخطار تشغيل واصلاح وصيانة تجهيزات الليزر، بشكل يكفي لتنبيه المالك او صاحب العمل إلى حجم الاخطار والتدابير الوقائية الملائمة التي يجب اتخاذها.

هذا ويجب ان تتضمن مثل هذه المعلومات تصنيف منتج الليزر.

8–7 التعاون :

يجب ان تؤخذ المبادئ التالية بعين الاعتبار، فيما يتعلق بالتعاون بين اصحاب العمل ولجنة الصحة والسلامة والمصنعين وغيرهم:

(أ) يجب على صاحب العمل ان يضمن تعاون العمال بغرض حماية صحتهم والتقليل من تعرضهم لاشعة الليزر، وان يقوم بالاتفاق المشترك معهم بوضع التعليمات والتوصيات المناسبة للوقاية من هذه التعرضات.

(ب) يجب ان يتعاون اصحاب العمل والعمال في وضع وتنفيذ البرامج الخاصة بالوقاية والسيطرة على التعرض لاشعاع الليزر، وذلك بالاشتراك مع لجان السلامة لمراقبة بيئة العمل.

(جـ) يجب ان يتم التعاون بين مصنعي وتجار التجهيزات بقصد التقليل من اصدارات اشعة الليزر غير المطلوبة لمثل هذه الاجهزة.

(د) كما يجب الحث على التعاون في تطوير كل من معايير اجهزة الليزر النظامية والطوعية.

INDEX

ملحق A – مصطلحات القياس والخصـــائص الفيزيائية للمُيزرات

1– مقادير وواحدات قياس الشدة

1–1 الشدة والتعرض الاشعاعي والسطوع :

تستخدم الشدة لشرح مفاهيم كثافة التدفق المقدرة بـالواط لكـل مـتر مربـع ($W.m^{-2}$) ، الـوارد علـى سـطح مـا كـــالجلد او القرنيــة او الشبكية.

ان المصطلـح الضوئـي الحيـوي لجرعـة التعـرض هـــو " التعــرض الاشعاعي " والذي يشير الى التعرض السطحي في وحدات الجول لكل متر مربع ($J.m^{-2}$) . ان مساحة الســطح الـتي تم تشـعيعها هـي المسـاحة المعرفة وهي تختلف عن مساحة المقطع العمـودي علـى الحزمـة الـواردة بمعامل هو جيب زاوية الورود.

لاتستخدم مفاهيم الجرعة الحجمية عادة في الطيف الضوئي، اذا كان الاختراق الاشعاعي سطحيا بشكل طبيعي، وحتى ولو تم اختراق الاشعة كما في حالة الضوء، فانها تبقى ممتصة عند السطح، كالشبكية في حالة اختراق الضوء المرئي للوسط العيني.

اما السطوع فهو مفهوم فيزيائي طيفي، أي انه الاشعاع المنطلق من جسم ما في واحدة المساحة وفي واحدة الزاوية المجسمة، حيث تؤخذ واحدة المساحة هنا تبعا لمحور انتشار الاشعة.

ويستخدم هذا المفهوم بشكل واسع لتحديد التعرض من اجل منابع ممتدة (مساحات كبيرة).

ان واحدة السطوع هي واط لكل متر مربع لكل ستيراديان ($w.m^{-2}.sr^{-1}$) حيث ان الستيراديان هو واحدة الزاوية المجسمة.

اما الرموز المعيارية (CIE) للشدة والتعرض الاشعاعي والسطوع فهي L_e, H_e, E_e وهي معروضة في الجدول (A1) مع المقادير والواحدات المتعلقة بها.

(2 – 1)

جدول A.1. واحدات قياس الشدة (الواحدات الراديومترية) التابعة لـ CIE:

المصطلح	الرمز	المعادلة	الواحدة الدولية واختصارها
الطاقة الاشعاعية	Q_e	$Q_e = \int \phi dt$	جول (J)
كثافة الطاقة الاشعاعية	W_e	$W_e = \frac{dQ_e}{dV}$	جول لكل متر مكعب ($J.m^{-3}$)
التدفق الاشعاعي (الاستطاعة)	ϕ_e, P	$\phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$	واط(W)
الإثارة الاشعاعية	M_e	$M_e = \frac{d\phi_e}{dA}$ $= \int L_e \cos\theta . d\Omega$	واط لكل متر مربع ($W.m^{-2}$)
الشدة أو كثافة التدفق الاشعاعي (وسطي الجرعة في الفوتونية الحيوية)	E_e	$E_e = \frac{d\phi_e}{dA}$	واط لكل متر مربع ($W.m^{-2}$)
الشدة الاشعاعية	L_e	$L_e = \frac{d\phi_e}{d\Omega}$	واط لكل ستيراديان ($W.sr^{-1}$)
السطوع (3)	L_e	$L_e = \frac{d^2 Q_2}{d\Omega . dA . \cos\theta}$	واط لكل ستيراديان لكل متر مربع ($W.sr^{-1}.m^{-2}$)
التعرض الاشعاعي (الجرعة في الفوتونية الحيوية)	H_e	$H_e = \frac{dQ_e}{dA} = \int E_e$	جول لكل متر مربع ($J.m^{-2}$)
الفعالية الاشعاعية (4) للمصدر	n_e	$n_e = \frac{P}{p1}$	ليس لها واحدة
الكثافة الضوئية (5)	D_e	$D_e = \log_{10}(\tau_e)$	ليس لها واحدة

(1) يمكن تعديل الواحدات لتشير إلى مجالات طيفية ضيقة، حيث يسبق المصطلح عندها بكلمة (طيفي) وتكون الواحدة لكل طول موجة، ويحمل الرمز في أسفله (λ)، مثال:

الشدة الطيفية E_λ واحدتها $W.m^{-2}.m^{-1}$ وغالباً $W.cm^{-2}.nm^{-1}$.

(2) بالرغم من أن المتر هو الواحدة المفضلة للطول، لايزال السنتيمتر واحدة الطول الأكثر شيوعاً في الاستخدام للعديد من المصطلحات السابقة، كما أن النانومتر والميكرومتر هي الواحدات الأكثر شيوعاً في الاستخدام للتعبير عن الطول الموجي.

(3) عند المنبع يكون $L = \frac{dl}{dA.\cos\theta}$

وعند المُستَقبِل يكون $L = \frac{dE}{d\Omega.\cos\theta}$

(4) P_i هي استطاعة الدخل الكهربائي مقدرة بالواطات

(5) τ هو عبارة عن النفاذية

2-1 المقادير وواحدات القياس الفوتونية:

اذا تم حساب مقادير قياس الشدة السابقة رياضيا تجاه تابع الحساسية الطيفية، مثل $V(\lambda)$ وهي تابع حساسية العين لضوء النهار، ينتج لدينا عندها مقادير جديدة تعرف في هذه الحالة باسم مقادير القياس الفوتونية

ولاتستخدم مثل هذه المقادير كالسطوع والاضاءة والتعرض الضوئي، بشكل واسع لدى بحث التأثيرات الصحية للاشعاع الضوئي الا في حالة خاصة تنحصر في تقييم عمى الوميض المحتمل، او انتاج الصور بواسطة ضوء الليزر.

3-1 تعاريف طيفية :

يتوضع الاشعاع الضوئي في الطيف الكهرطيسي بين الاشعة المؤينة الاقل نفاذية من جهه واشعة الميكروويف من جهه اخرى. ان حد الطول الموجي القصير، وفقا لهذا التعريف، ليس دقيقا، لكن من المسلم به بشكل عام ان يقع بين 10 و100 نانومتر. تقابل القيمة 100 نانو متر ، طاقة فوتون تعادل 12 ev تقريبا، وهي مقبولة بشكل عام كحد لاحداث تأين وحيد الفوتون في الاجهزة الحيوية.

يقسم الطيف الضوئي بالاعتماد على التأثيرات الحيوية والفيزيائية المختلفة الى عدة مناطق طيفية، حيث تختلف هذه المناطق المتنوعة تبعا للمعايير المستخدمة. ان نطاق الطول الموجي الواقع دون 180 نانومتر هو منطقة الاشعة فوق البنفسجية الخلائية والتي تمتص بالهواء الى حد لاتُدرَك معه اية تأثيرات حيوية، ومن ثم يقسم الطيف المتبقي للاشعة فوق البنفسجية، من قبل المهندسين الضوئيين الى منطقة الاشعة فوق البنفسجية البعيدة الواقعة بين 180 – 300 نانومتر ومنطقة الاشعة فوق البنفسجية القريبة الواقعة بين 300 – 380 نانومتر.

كما يوجد نظام مختلف نوعا ما ، مستخدم من قبل CIE وهو يأخذ في اعتباره بعض التأثيرات الحيوية ويقسم طيف الاشعة فوق البنفسجية الى ثلاث مناطق:

UV-A و UV-B و UV-C (CIE , 1987) هذا وقد تم استخدام هذه التقسيمات عبر هذه الدراسة.

تحدد CIE منطقة UV-A ضمن مجال (315 – 380 او 400 نانومتر) وهذه المنطقة هي الاكثر استخداما في الصناعة لاحداث التفلور.

اما منطقة UV-B الواقعة ضمن مجال (280 – 315 نانومتر) فهي منطقة احداث الاحمرار حيث ان الاشعاع الشمسي الذي يصل الى الارض بفعالية حيوية اكثر شدة وضررا، واقع في هذه المنطقة الطيفية.

واخيرا فان منطقة UV-C تمتد من 100 الى 280 نانومتر.

تتضمن مناطق الطيف الضوئية الحيوية، منطقة الضوء المرئي (380 او 400 حتى 760 او 780 نانومتر) ومن ثم تستمر حتى منطقة تحت الحمراء IR-A و IR-B و IR-C . حيث تتضمن منطقة IR-A الاشعاع الضوئي الاكثر اختراقا وتمتد من 760 او 780 الى 1400 نانومتر.

ان اشعاع IR-B (1.4 الى 3.0 مايكرون) يخترق النسيج الحيوي بشكل طفيف فقط ذلك انه يمتص بواسطة الماء بشكل كبير ، بينما يمتص اشعاع IR-C بشكل سطحي ولا يخترق الجلد او قرنية العين وهو واقع ضمن مجال (3.0 الى 1000 مايكرون) .

ونذكر اخيرا ان طولا موجيا مساويا لـ 1 ميكرومتر ، يقابل ترددا قدره 300GHZ .

2- الخصائص الفيزيائية لاشعاع الليزر :

يختلف اشعاع الليزر عن الانواع الاخرى للإشعاع الضوئي بترابطه الكبير. ومع ذلك تنطبق واحدات ومقادير قياس الشدة نفسها على اشعاع الليزر .

هذا وتتطلب بعض الخصائص التي يتمتع بها اشعاع الليزر اهتماما خاصا في تقييم الاخطار الصحية.

2-1 الاصدار المحثوث :

الليزر عبارة عن جهاز يقوم باحداث وتضخيم الاشعاع الضوئي .

ان مصطلح الليزر هو لفظة مركبة من اوائل حروف بعض الكلمات،وهو يعني " تضخيم الضوء بواسطة الاصدار المحثوث للاشعاع ".

كل الليزرات تعمل بالاصدار المحثوث وهذا يتطلب منها ان تمتلك ثلاثة مكونات اساسية على الاقل:

- الوسط الفعال الذري او الجزيئي المثار الذي يصدر اشعاع الليزر .

- التجويف المجاوب الذي نحصل عليه بشكل طبيعي بواسطة مرآتين تكون احداهما منفذة للضوء بشكل جزئي.

- مصدر طاقة يدعى الية الضخ وذلك لاثارة الذرات او الجزيئات.

2-2 السطوع العالي :

تقوم الليزرات بالاصدار بشكل نموذجي عند سويات عالية من السطوع الطيفي. تصدر الشمس عند سطحها حوالي:

7×10^{7} W. m $^{-2}$. sr^{-1} . nm^{-1} . وان الليزرات الان قادرة على احداث اكثر من 10^{16} w . m^{-2} . sr^{-1} nm^{-1} .

ان مصدر الضوء الذي يتجاوز سطوع الشمس يمكن ان يكون بالتأكيد خطرا على الرؤية.هذا وقد وجد ان ليزرا صغيرا للهليوم والنيون يستخدم في الرصف، يتجاوز سطوع الشمس بمعامل يساوي 10 تقريبا.

2-3 الانفراج :

عندما تخرج حزمة الاشعة الضوئية من معظم الليزرات، فانها تنفرج بشكل ضئيل، ولا ينقص سطوع المصدر بشكل كبير عند انتشار حزمة الاشعة .

يقاس انفراج حزمة الاشعة بالملي راديان .

(2 π راديان = 360^{0} ، او 1ميللي راديان = 3 دقائق من القوس)

ان الليزر النموذجي للهيليوم والنيون، له انفراج مقداره (0.5 – 1.5 ميللي راديان).

هذا ويمكن تعريف الانفراج بانه طول القوس الممتدة بواسطة حزمة الاشعة الى مسافة بعيدة، ان قطراً 1 م لحزمة اشعة صادرة عن مصدر نقطي على بعد 1 كم ، يدل على انفراج قدره 1 ميللي راديان.

2-4 وحدانية اللون :

ان الاشعاع الضوئي المنطلق من معظم الليزرات ذو عرض ضيق للنطاق الطيفي الىدرجة انه وحيد اللون تقريبا . هذا وان عددا قليلا جدا من الليزرات في الواقع تقوم بالاصدار عند طول موجي واحد فقط.

فالليزر النموذجي للهيليوم والنيون يصدر الضوء الاحمر عند طول موجة 632.8 nm , و IR-A عند 1.13 µm و IR-B عند 3.39 µm ، حتى الاطوال الموجية الاكبر يمكن اصدارها بتصميم خاص. وان ليزر الهيليوم والنيون، كبقية الليزرات، يصمم عادة لإصدار طول فقط من الاطوال الموجية الممكنة والمتعددة، وذلك عن طريق التصميم المناسب.

2-5 الترابط:

ان الترابط عبارة عن مصطلح يستخدم لوصف العلاقات الخاصة بين اثنين من اشكال الموجة. حيث ان موجتين لهما نفس التواتر والطور والسعة والاتجاه، يقال عنهما اصطلاحا انهما " مترابطتان مكانيا " (WHO, 1982) .

اما الترابط الزماني فهو يدل على العلاقة بين طوري موجتين متجاورتين، كما يشير الى الفترة التي تدوم فيها علاقات الطور (زمن الترابط).هذا وان ضوء الليزر مترابط بشكل فعال، الا ان الترابط في الثانية لايعتبر عاملا مؤثرا على الخطر الحيوي النسبي للتعرض لاشعة الليزر .

INDEX

ملحق B - التأثـــيرات الحيويـــة والصحيـــة لاشعاع الليزر

1- الخواص الضوئية للنسج:

ان شعاع الليزر قد يكون ممتصا او مبعثرا او منعكسا من انسـجة حيوية. وفي معظم الحالات يحدث الاتحاد بين جميع هـذه التأثيرات. الا ان التأثير الحيوي يحدث بواسطة الامتصاص فقط.

قد يتجاوز الانعكاس 10٪ في مجال تقريبي لتحت الحمراء يـتراوح بين 2.80 μm الى 3.0 μm ، كما يحدث اختراق هام ايضا. ويلعـب مثـل هذا التبعثر دورا هاما في تحديد التعرض النهائي للنسيج الهدف.

1-1 الاشعة ما فوق البنفسجية:

مـن المقبـول بشـكل عـام ان يحـدث امتصـاص الاشـعة مـا فـوق البنفسـجية في الجزيئـات العضويـة. ولا تقـوم المكونـات غـير العضويـة للنسيج بالامتصاص في اطوال موجية تزيد عن 200 نانومتر. وقد تـؤدي الطاقة الممتصة لنشوء تفاعلات كيميائية ضوئية.

تقوم الجزيئات البروتينية وحمض الاراسينيك بالامتصاص بشكل كبير في UVC وتسيطر على كامل الامتصاص حتى اطوال موجية تقارب 300 نانومتر. وعند اطوال موجية اكبر من 300 نانومتر تقريبا تلعب الحبيبات الصبغية للميلانين دورا هاما في بعثرة امتصاص اشعة UV في الجلد . تكون هذه الحبيبات مركزة فوق نوى الخلية حيث تقوم بحمايتها عن طريق امتصاص اشعة UV ومن ثم بعثرتها جزئيا . هذا وللتبعثر على الارجح اهمية كبيرة عند اطوال موجية اكبر . وعلاوة على ذلك فهناك دليل على ان الميلانين يلعب دورا وقائيا اخر وذلك كأداة كاسحة (مزيله) للجذور الحرة.

ان عمق اختراق اشعة UV داخل جسم الانسان محدود جدا ويكون الاختراق نوعا ما اكبر في اطوال موجية اكثر طولا، ويمكن ان يحدث بعض الاختراق داخل الادمة عند اطوال موجية تزيد عن 300 نانومتر لدى افراد العرق الابيض. ان سماكة طبقة الجلد القرنية (الصلبة) الميتة الابعد تزيد من التعرض التالي لاشعة UV.

هذا وتصح الاعتبارات العامة نفسها بالنسبة لتعرض العين.

ان قرنية العين في اطوال موجية اقل من 290 نانومتر، تصبح قادرة على امتصاص اشعة UV الواردة بشكل كامل .

ولكن من الممكن لعدسات ونسج القسم الداخلي للعين ان تتعرض الى اشعة UV اذا كانت الاطوال الموجية تزيد عن 290 نانومتر .

وهكذا تتم حماية الشبكية بشكل طبيعي عن طريق امتصاص اشعة UV بواسطة القرنية والعدسة ، ولكن في حالة انعدام العدسة (لدى الاشخاص الذين ازيلت عدساتهم بجراحة الساد) وعند الاطفال الصغار، قد تصل الى الشبكية كميات كبيرة من اشعة UV بأطوال موجية تزيد عن 290نانومتر.

وبسبب الفعالية الحيوية لاشعة UV فان وصول كميات صغيرة منها الى الشبكية قد يكون له اهمية كبيرة مع الاخذ بعين الاعتبار فترة بقاء التعرض.

2-1 *الاشعة المرئية وتحت الحمراء:*

ان اشعاع الضوء المرئي وما تحت الاحمر ذا الاطوال الموجية الاقل من 1400 نانومتر ، يخترق الجلد والنسج العينية لان الماء شفاف نسبيا لهذه الأطوال الموجية.

ويكون الميلانين هو عامل الامتصاص الرئيسي في اطوال موجية اقل من 1 µm . قد يقود الامتصاص الناتج عن الميلانين وارتفاع الحرارة التالي له الى اذية حرارية للقزحية والشبكية في العين ، مع اذية حرارية لبشرة الجلد ايضا.

وبزيادة الاطوال الموجية الى اكثر من 1400 نانومتر (تحت الحمراء B و C) يصبح الماء اكثر قدرة على الامتصاص وبالتالي يكون عمق اختراق الاشعة تحت الحمراء سطحيا جدا (WHO 1982) .

2- اليات الاذية:

يمكن ان يعزى التخريب الفيزيائي للنسيج الحيوي والناتج عن اشعة الليزر الى ظواهر حرارية، او حرارية صوتية، او ضوئية- كيميائية.

ويبدو ان هناك دليلا على امكانية حدوث اليات خطية، من اجل النبضات الاكثر قصرا في استمراريتها، أي اقل من حوالي 1ns ، وهذه الاليات لم يتم فهمها بعد بشكل كامل (Sliney and Wolbarsht ، 1980) هذا ويمكن لنبضات اشعاع الليزر المرئي ان تؤذي النسج بالتسخين، الا ان النسج الجلدية والعينية يمكن ان تتأذى من تعرضات مطولة لاشعة UV وضوء الليزر الازرق وذلك بسبب الظاهرة الضوئية الكيميائية. ان عتبات الاذية الحيوية الناتجة عن التعرض لاشعة الضوء المرئي الازرق واشعة UV هي الاقل على ما يبدو وقد تمت دراسة اليات الاذية باهتمام ودقة من اجل التعرضات الحادة فقط، وبالتالي فان تأثيرات التعرض المزمن طويل المدى لاشعة الليزر يمكن التنبؤ بها من الخبرة فقط، من تعرض الانسان للشمس ومصادر الضوء التقليدية.

(Sliney and Wolbarsht , 1980 , Hametal , 1980)

3- التأثيرات العينية

تختلف التأثيرات باختلاف المنطقة الطيفية كما هو مبين في الشكل (B.1) وتختلف طبيعة التأثير ايضا بحسب نوع المنبع، كما تختلف ايضا من اجل تعرض عيني مباشر (النظر داخل حزمة الاشعة)

ومن اجل رؤية الانعكاسات المنتشرة لحزمة اشعة الليزر على الهدف ومن اجل الرؤية المباشرة لليزر ذي منبع ممتد.

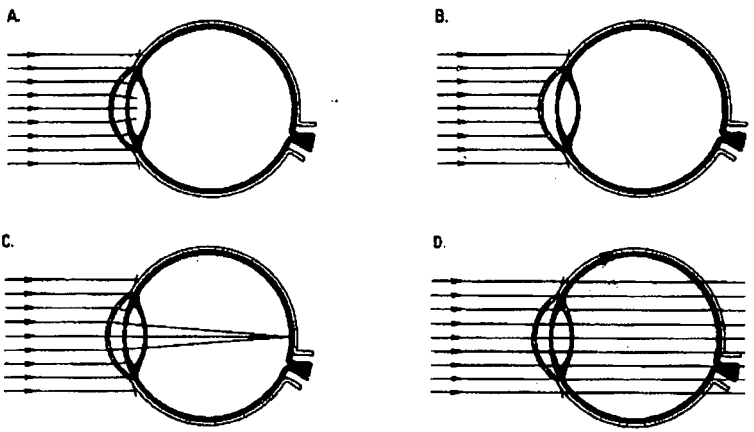
من اجل مجال للطول الموجي يتراوح بين 400 – 1400 نانومتر، تتحدد الطاقة داخل العين بواسطة مساحة الحدقة (ذات قطر من المفترض ان يكون 7 مم) وفي نطاق الاطوال الموجية الخاصة بالضوء المرئي، يحدد النفور الطبيعي من الضوء الباهر فترة تعرض تصل الى 0.25 ثا.

فيما يتعلق بالاشعة المرئية وتحت الحمراء A ، فان العين هي العضو الاكثر حساسية والاسرع تأثرا باشعة الليزر . وذلك بسبب القدرة الانكسارية للقرنية والعدسة والتي تؤدي الى زيادة في الشدة بين القرنية والشبكية من رتبة 2×10^5 (Sliney and Wolbarsht , 1980) وهكذا فان الشدة الشبكية تكون دوما اكبر بشكل واضح من تلك الخاصة بالقرنية او الجلد وذلك من اجل أي تعرض عيني مفترض للاشعة في مناطق الطيف المرئية وتحت الحمراء A. ان القرنية والعدسة واوساط العين الاخرى شفافة بشكل كبير في المجال المرئي ويتم امتصاص القسم الاكبر من الاشعة المرئية في حبيبات الميلانين للظهارة الصبغية الشبكية (RPE) والمشيمية التي تقع تحت العصيات والمخاريط (Sliney and Wolbarsht , 1980 ; Hametal , 1980) هذا وتقترح معظم الدراسات الحيوية وجود انواع متعددة لاليات الاذية . ان تعرض المستقبلات الضوئية لسويات اعلى بشكل طفيف فقط من تلك الواردة للعين تحت ظروف محيطية طبيعية، يمكن ان يكون كافيا لاجهاد الفعالية الخلوية البصرية

والوصول بها الى نقطة القصور او العجز. هذا هو الوضع بشكل خاص عندما تـدوم الشـدة الشـبكية لفـترة طويلـة مـن الزمـن او لـدى تكـرار التعرض القصير والاكثر شدة بشكل يومي.

والمشكلة المتبقيــة لتحديـد عتبـتي الاذيـة العينيـة تكمـن في نقـص المعرفة التعلقة بتأثـير مثـل هـذا التعـرض المزمـن بشـكل كـامل. تعتمـد حدود التعرض الحاليــة مـن اجـل تعـرض مزمـن، علـى خـبرة الانسـان الشاملة بالتعرض لضوء الشمس ومصادر الضوء الاصطناعي التجارية.

شكل (B1) : الخواص الامتصاصية للعين واختلافها باختلاف الطول الموجي



ملاحظة: *تتحدد التأثيرات الحيوية بالطاقة التي تصل النسيج الحـرج إضافة إلى آلية التفاعل:*

A: طاقة إشعاعية ناتجة عن الأشعة مافوق البنفسجية القريبة.

B: طاقـــة إشعاعية ناتجة عن الأشعة تحت الحمراء البعيدة (IR-C و IR-B) ومافوق ابفنسجية البعيدة (أقل من 300nm).

C: طاقة إشعاعية ناتجة عن الأشعة المرئية ومانحت الحمراء IR-A.

D: RF وإشعاع غاما.

هـذا وان سـويات التعـرض المزمـن الموصـى بهـا مكافئـة تقريبـا لسويات الضوء الخارجي.

يوجد ايضـا نقـص في المعلومـات المتعلقـة بتأثيرات تواتـر تكـرار النبضة (PRF) خلال انظمة التعرض المتكرر.

تتضمن التأثيرات الحرارية الناتجة عن اشـعة اللـيزر عـادة تحـولا في الصفـات الطبيعيـة للبروتينـات ، وتعتـبر الاذيـة الحراريـة عمليـة سـريعة بشكل عام، لذلك لابد من تجنـب درجـات الحـرارة الحرجـة حيـث ان الاذية الناجمة سوف تحدث بشكل مستقل عن زمن التعرض .

كما انه من المتوقع ان يحدث امتصاص طيفي واسع على اعتبـار ان جزيئات حبيبات الميلانين للظهارة الصبغية الشبكية كبيرة الحجم نسبيا.

ان الطبيعة التي تتمتع بها اشعة اللـيزر مـن حيـث كونهـا وحيـدة اللون، لايتوقع لها ان تحدث تأثيرات حيوية تكـون مختلفـة بشـكل كبـير عن تلك التي يحدثها التعرض الاشعاعي لمصادر الضوء التقليدية.

كما ان ترابط حزمة اشعة الليزر لايعتبر من العوامل الهامة في احداث الاذية الشبكية المشيمية او اية اذية حيوية اخرى. لقد ظهر حديثا دليل يعزز الحقيقة القائلة ان الضوء ذا الطول الموجي القصير، عند 441.6 نانومتر من ليزر هيليوم – كادميوم ، يحدث حروقا شبكية عبر اليات ضوئية كيميائية بشكل رئيسي، اكثر منها حرارية (Hametal , 1980) .

فقد وجد مثلا ان عتبة الحروق الشبكية من اجل اشعة ليزرية بطول موجة 441.6 نانومتر اقل بكثير منها عند طول موجة مساو لـ 1064 μ m .

لقد ادت شدة شبكية مقدارها 2.4×10^5 Wm^{-2} الى ارتفاع في درجة الحرارة بمقدار 23 درجة سيلسيوس، وافة بدئية وذلك نتيجة التعرض لاشعة بطول موجي قدره 1064μ m (ليزر Nd - YAG) خلال 10^3 ثانية بينما تطلب طول موجي قدره 441.6 نانومتر (ليزر He - Cd-) شدة قدرها 300 $w.m^{-2}$ فقط مع ارتفاع مهمل في درجة الحرارة، وذلك لاحداث افة شبكية خلال فترة تعرض 10^3 ثانية.

لقد احدث الضوء الازرق بطول موجة 441.6 نانومتر، افة الضوء المصفر للقاع،بينما كان للافة الناتجة عن اشعاع بطول موجة 1064μn، خاصة الحرق الحراري للنواة المركزية. (Hametal,1980) . ان التعرض في المناطق الطيفية الزرقاء والبنفسجية ذو خطورة اكبر بالنسبة لجميع البنى.

لقد اظهرت الدراسات الحديثة لتأثيرات نبضات الليزر فوق القصيرة على عيون قرد rhesus (قرد هندي صغير قصير الذل)، ان حبيبات الميلانين للظهارة الصبغية الشبكية قد تأذت بالاشعاع المرئي

بشكل اشد من الاشعاع الليزري ذي طول الموجة 1064 µm، الا ان عتبة الاذية كانت اعلى في حالة الاطوال الموجية المرئية.

ان التغيرات الوظيفية والنسيجية داخل نسج العين هامة جدا، وتظهر الدراسات في اغلب الاحوال، والتي تم انجازها باستخدام قرود rhesus المدربة، ان الافات الواضحة تظهر عند مستويات للشدة ضمن المورثة، قريبة من تلك المستويات اللازمة لاحداث تغيرات وظيفية عكسية دائمة في الرؤية.

(Beatrice etal , 1977 ; WHO , 1982; Zwicketal , 1988; Zwick,1989) .

تعتبر الاذية الشبكية التي تحدث في اللطخة، وهي المنطقة المركزية الاكثر حساسية من الشبكية، خطيرة جدا وتصبح واضحة فورا عند الضحية.

اما الاذية التي تحدث بمحاذاة اللطخة او في المنطقة الشبكية المحيطية، فقد يكون لها تأثير ضئيل فقط على الرؤية، وفي معظم الحالات تكون غير مكشوفة من قبل الضحية (Sliney and Wolbarsht , 1980) . وهذا قد يكون صحيحا بشكل خاص بالنسبة للاشعة تحت الحمراء A غير المرئية والتي تسبب اذية شبكية. وقد يلاحظ في بعض الحالات شفاء بصري محدود بعد أذية محدودة للّطخة، لكن مثل هذا الشفاء قد لا يحدث لشهور عدة تالية للتعرض.

يمكن للاشعة تحت الحمراء باطوال موجية اكبر من 1.4 µM، ان تسبب اذية حرارية للقرنية والملتحمة. ويؤثر عمق الاختراق هنا بشكل كبير على عتبة الاذية. (Lund,1989; Sliney and Wolbarsht , 1980) .

بالرغم من وجود عدد قليل نسبيا من الليزرات التي تشتغل في المنطقةة الطيفية لاشعة UV، الا ان التعرضات لمثل هذه الاجهزة قد تكون مسألة ذات اهمية. هذا وان الاستخدام المطرد حديثا لليزرات اكسيمر، قد زاد من احتمال تعرض الانسان لاشعاع الليزر ذي اشعة UV. حيث تكون الاستجابة الحيوية لاشعة الليزر UVR مشابهه للاستجابة الناتجة عن مصادر الاشعة فوق البنفسجية غير المترابطة. وتنحصر النتائج المتوقعة للتعرض لمثل هذه الليزرات في حدوث رهاب الضوء، دماع (tearing), افراز ملتحمي Conjunctival discharge، تقشر السطح، اضافة الى Stormal haze

ومن المحتمل ان تحدث اذية لظهارة القرنية ناتجة عن تغيير الصفات الطبيعية للبروتينات بتأثير ضوئي كيميائي.

كما يمكن ان يحدث التهاب قرنية ضوئي وذلك في مناطق UVC (100 نانومتر الى 280 نانومتر) وUVB (280 الى 315 نانومتر) وعادة ما يكون لالتهاب القرنية الضوئي، فترة كمون تتراوح بين 80 دقيقة الى 20 ساعة بشكل يتناسب عكسيا مع شدة التعرض. حيث ان الشعور بوجود رمل داخل العين، مع درجات مختلفة من رهاب الضوء ،

والدماع وتشـــنج الجفـــن هو النتيجـة الاعتيادية. اما في منطقـة UVA (315 الى 400 نانومتر)، فقد يحدث التهاب القرنيـة الضوئي فقـط عـن طريق تعرض مزمن عالي المستوى. هـذا ومـن المحتمـل ان يكـون السـاد الناجم عن اشعة UV ذا اهمية كبيرة.

ان المقدار المتراكم عند التعرض للاشعة ما فوق البنفسجية خـلال 24 ساعة يمكن فهمه جيدا من جراء الطبيعة الفوتوكيميائيـة لاليـة الاذى الناشـئة، غـير ان الطبيعـة التراكميـة لنبضـات متكـررة لاذيـة الشـبكية الحرارية اقـل وضوحـا، وقـد تمـت ملاحظـة بعـض العلاقـات التجريبيـة (Slinog and Marshall 1991)

4- التأثيرات الجلدية:

تعتبر النتائج الحيوية لتشعيع الجلد باشعة الليزر اقـل منهـا بالنسـبة للعين، ذلك ان الاذية الجلدية غالبا ما تكون عكسـية او قابلـة للـترميم، من جهه اخرى فان تعرض الجلد لمستويات عالية من الاشعاع الضوئي، يمكن ان يسبب ازالة تصبغ وحروقـات شـديدة واذيـة محتملـة للاعضـاء الرئيسـية (WHO , 1982) هـذا وان الفتحـة المفترضـة لقياسـات التعـرض الجلدي هي 1 ملم، بغرض تحديد المساحة المعرضة.

ان التأثيرات الناجمة عن اشعة اللـيزر UVR هـي نفسـها مـن اجـل الاشعة فوق البنفسجية الصادرة عن مصادر تقليديـة، وهـي تنحصـر في

احمرار ناجم عن التعرض الحاد، ونمو جلدي متسارع اضافة الى سرطان جلدي نتيجة التعرض المزمن.

ان معلوماتنا حول علاقة الجرعة بالتأثير لدى الشخص، بالنسبة للاشعة فوق البنفسجية، غير كافية ولابد من اجراء دراسات اضافية ولا سيما فيما يتعلق بالدراسات الوبائية للتسرطن الناجم عن الأشعة مافوق البنفسجية (UVR).

* * *

ملحق C - شرح المصطلحات العلمية الخاصة بالليزر:

* **الوسط الفعال: Active medium**

وهو عبارة عن الشكل الذري او الجزيئي الذي يستطيع ان يحقق زيادة في الاهتزاز الليزري، ويدعى ايضا بالوسط الليزري او المادة الفعالة.

* **الوهن: Attenuation**

وهو نقصان في الشدة ينتج عندما يجتاز الاشعاع الضوئي وسط الامتصاص او البعثرة. هذا وان الوهن في الليف البصري يساوي $10 \log (p_o/p_{in})$، حيث ان P_o هي الطاقة عند نهاية الخرج و P_{in} هي الطاقة المنتشرة داخل الليف.

* **الاستطاعة الوسطية : Average Power**

ان الطاقة في كل نبضة هي التي تضبط (توقت) معدل التكرار في الليزرات النبضية المتكررة. وعندما يعبر عن الطاقة لكل نبضة

بالجولات، ومعدل التكرار بالهرتز، فان الاستطاعة الوسطية يعبر عنها بالواطات.

* **قطر حزمة الاشعة : Beam Diameter**

وهو عبارة عن المسافة بين نقطتين متقابلتين، يكون عندها التعرض الاشعاعي او الشدة جزءا محددا (بشكل نموذجي 1/e او $1/e^2$) من الشدة او التعرض الاشعاعي للاشعاع الصادر

* **انفراج حزمة الاشعة : Beam Divergence**

وهو الزيادة في قطر الحزمة مع البعد عن منفذ مخرج الليزر.

ويقاس بالملي راديان في نقاط معينة، عندما تكون الشدة او التعرض الاشعاعي 1/e او $1/e^2$ من القيمة العظمى، حيث يعبر عنه بانفراج كامل الزاوية.

* **كالوريمتر: Calorimeter**

وهو نمط للمكشاف يقيس الحرارة الناتجة عن امتصاص الاشعاع.

* **الترابط : Coherence**

وهو عبارة عن علاقة الطور المثبت بين نقاط مختلفة لموجة كهرطيسية بالمكان (ترابط مكاني) او بالزمان (ترابط زماني).

* **تشغيل ليزر ذي موجة مستمرة:**

Continuous Wave (CW) Laser Operation

وهو عبارة عن تشغيل ليزر يصدر فيه الاشعاع بشكل مستمر.

* **ليزر بللوري : Crystal Laser**

وهو ليزر يكون فيه الوسط الفعال عبارة عن شكل ذري بلوري كاليساقوت واليساغ (YAG او عقيق الالمنيوم والايتريوم) او YALo (الومينات الايتريوم).

* **المكشاف : Detector**

وهو أي جهاز يكشف الضوء، محدثا بشكل عام اشارات الكترونية مع شدة متناسبة مع شدة الضوء الوارد.

* **ليزر نصف الناقل الثنائي: Diode laser**

انظر الليزر نصف الناقل.

* **الانفراج : Divergence**

انظر انفراج حزمة الاشعة.

* **الليزر الصبغي : Dye Laser**

وهو ليزر يكون فيه الوسط الفعال عبارة عن صباغ عضوي، قابل للانحلال في محلول يكون السائل ضمنه جاريا او متمحفظا ضمن الخلية. كما تم ايجاد الليزرات الصبغية التجريبية الغازية والصلبة. هذا وتدعى الليزرات الصبغية ايضا بليزرات الصباغ العضوي او الليزرات السائلة.

* **ليزر اكسايمر : Excimer Laser**

وهو ليزر يكون فيه الوسط الفعال عبارة عن اكسايمر، أي جزيء غير ثابت كيميائيا الا في حالته المثارة. ينطبق هذا المصطلح عادة على الليزرات التي يكون فيها الوسط الفعال عبارة عن اكسايمر هاليد غاز نادر (او هاليد وحيد) مثل KrF^* او XeF^* .

* **الليزر الغازي : Gas Laser**

وهو ليزر يكون فيه الوسط الفعال عبارة عن غاز.

وهذا النوع يصنف ثانية تبعا للوسط الفعال الى ذري (كالهليوم – نيون)، وجزيئي (ثاني اوكسيد الكربون وسيانيد الهيدروجين وبخار الماء)، وشاردي (كالارغون والكريبتون والكزينون وانماط البخار المعدني مثل الهليوم – كادميوم والهليوم – سيلينيوم)، واكسايمر (بشكل نموذجي هاليدات غاز نادر).

هذا ويقصد بالشاردة عادة الارغون والكريبتون كما هو مستخدم حاليا بشكل غير دقيق.

* **هرتز HZ : Hertz**

وهي الوحدة الدولية (SI) لتواتر ظاهرة دورية.وقد حلت محل الوحدة غير الدولية(دورة كل ثانية). حيث يعبر عن عدد النبضات في كل ثانية والتي يمكن لليزر ان ينتجها بالهرتز.

* **الصورة ثلاثية الابعاد (الهولوجرام): Hologram**

وهي عبارة عن تسجيل التداخل لضوء مترابط منعكس عن جسم ما، مع ضوء مباشر من المصدر نفسه او منعكس عن المرآة.

ان اضاءة الهولوجرام تولد ثانية صورة ثلاثية الابعاد للجسم السابق.

* **الاشعة تحت الحمراء : Infrared**

وهي عبارة عن اشعة كهراطيسية ذات طول موجي يتراوح بين 0.76 مكرومتر وحوالي 1 ملليمتر.

* **الليزر الشاردي : Ion Laser**

وهو ليزر يكون فيه العنصر الفعال عبارة عن غاز متشرد، هو عادة الارغون او الكريبتون.

* **الشدة (E) : Irradiance**

وهي عبارة عن الدفق الاشعاعي في واحدة المساحة، ويعبر عنها بالواط في المتر المربع.

* **الليزر : Laser**

(كلمة مركبة يقصد بها : تضخيم الضوء بالاصدار المحثوث للاشعاع).

وهو عبارة عن جهاز يقوم بتوليد او تضخيم الذبذبات الكهرطيسية عند اطوال موجية تتراوح بين تحت الحمراء البعيد (دون الميلليمتر) وفوق البنفسجية. وكوصف لهذا الجهاز، يقصد بالليزر الوسط الفعال اضافة الى جميع المعدات الضرورية لاحداث التأثير المسمى بالليزرة.

* **ثنائي نصف الناقل الليزري : laser diode**

انظر الليزر نصف الناقل.

* **توليد متعدد الانماط : Multimode**

وهو عبارة عن اصدار يتم بتواترات مختلفة في ان واحد، تكون عادة متباعدة الى حد بعيد، حيث يمثل كل تواتر نمطا مختلفا لتذبذب الليزر في التجويف المجاوب.

* **مرشح الكثافة المتعادل (غير المشحون):**

Neutral density Filter

وهو عبارة عن مرشح يقوم بانقاص شدة الضوء دون التأثير على خاصته الطيفية.

***التأثيرات اللاخطية: Non Linear effects**

وهي عبارة عن تغيرات في الوسط الناقل للامواج الكهرطيسية والتي تكون متناسبة مع الطاقات الثانية أوالثالثة أو الأعلى للحقل الكهربائي الخارجي. هذا وتتضمن التأثيرات الضوئية غير الخطية توليد تواترات توافقية اضافة الى التأثير الكهروضوئي.

* **ليزر مضخ ضوئيا : Optically Pumped Laser**

وهو عبارة عن ليزر يكون الوسط الفعال فيه مثارا بواسطة مصدر ضوء اخر لاحداث ما يسمى بالانقلاب الاسكاني.

وهذا المصدر يكون عادة في ليزرات الحالة الصلبة وبعض ليزرات الاصبغة، عبارة عن منبع غير مترابط كالمصباح الوميضي او القوسي. بالنسبة للّيزرات الغازية و الليزرات الصبغية الاخرى فان منابع الليزر المترابطة تؤمن مثل هذا الضخ الضوئي.

* **الفوتون : Photon**

وهو عبارة عن جسيم عديم الكتلة السكونية من الاشعاع الكهرطيسي، بطاقة تعادل hc/λ حيث ان h عبارة عن ثابت بلانك ($6.6x10^{-34}$ جول .ثا) و c/λ عبارة عن تواتر الاشعاع.

* **المقطب : Polarizer**

وهو عبارة عن مكون بصري يُنفذ (ينقل) فقط امواج الضوء التي تتذبذب في مستو مفروض.

* **زمن النبضة: Pulse duration**

وهو زمن خروج الطاقة الصادرة عن ليزر نبضي او ليزر معدل الجودة (Q-switched laser) . ويعبر عنه بالثواني ويقاس عادة عند طاقة النصف (نصف الارتفاع الكامل للفولطية او نبضة التيار) ويدعى ايضا عرض النبضة او طول النبضة .

* **الليزر النبضي : Pulsed Laser**

وهو عبارة عن ليزر يصدر الضوء على شكل نبضات اكثر منه بشكل مستمر. ويتم تحديد زمن نبضة الليزر بواسطة منبع الطاقة والية الضخ باستثناء الليزرات معدلة الجودة ومحصورة النمط.

* **الية الضخ : Pumping Mechanism**

وهي عبارة عن منبع طاقة (مثل مصباح وميضي او حزمة اشعة الكترونية او منبع تيار) يحدث تضخيما في الوسط الفعال للّيزر عن طريق احداث الانقلاب الاسكاني.

* **المكشاف الحراري الكهربائي : Pyro electric detector**

وهو نمط للمكشاف يدمج معه بللورات تبدي تأثيرات كهربائية عند تغير درجة حرارتها، حيث تستخدم هذه التأثيرات للتحري عن الاشعة تحت الحمراء.

* **تعديل الجودة: Q Switch**

وهو اصولا " المصراع " الذي يمنع اصدار الليزر لحين فتحه.

ان Q ترمز الى عامل الجودة للتجويف المجاوب لليزر.

هذا ويمكن الوصول الى تعديل الجودة الفعال بمرآة دورانية او موشور او خلية بوكيل او جهاز ضوئي صوتي ، بينما يمكن تحقيق

تعديل الجودة المنفعل عن طريق عامل مـاص قـابل للاشـباع مثـل الغـاز والصباغ.

ان تعديل الجودة يزيد طاقة النبضة في اللـيزرات النبضيـة بتقصـير زمن النبضة، هذا ويؤمن الجهاز في الليزر ذي الموجة المسـتمرة نبضـات اقصر واكثر شدة وبمعـدل تكـرار اعلـى مـن ذاك الـذي يمكـن تحقيقـه بواسطة النبض الليزري مباشرة.

* **السطوع (L) : Radiance**

وهو عند نقطة من السطح وفي اتجاه مفروض، عبارة عـن الشـدة الاشـعاعية لعنصـر مـن السـطح، مقسـم بواسـطة مسـاحة الاسـقاط العمودي لهذا العنصر على مستو متعامد مع السطح المفروض.

ويعبر عنها بالواط / ستيراديان .سم^2 .

* **التدفق الاشعاعي (الاستطاعة) : Radiant Flux**

وهـو عبـارة عـن الطاقـة الاشـعاعية او معـدل تدفـق الطاقـة الاشعاعية، ويقاس بالواطات.

* **الراديومتر : Radiometer**

وهو عبارة عن جهـاز لقيـاس الاشـعاع الـوارد بواحـدات قيـاس الشدة (واطـات). هـذا ويمكـن اجـراء القياسـات الراديومتريـة في أي طول موجي. الا انه يمكن تحديد المجال الطيفي لاي اداة بمجال ضيق.

* **واحدات قياس الشدة (الواحدات الراديومترية):**

Radiometric Units

وهي واحدات محددة لقياس شدة الاشعاع الكهرطيسي، والواحدة الاساسية هي واحدة الواط الدولية.

* **معامل الانعكاس : Reflectance**

وهو نسبة طاقة الموجة المنعكسة من سطح الى طاقة الموجة الواردة على السطح.

* **الليزر نصف الناقل: Semi Conductor Laser**

وهو ليزر تكون فيه المادة الفعالة نصف ناقلة، سواء كان ثنائيا او متجانس التركيب. هذا وان الاصناف التجارية تكون عادة ثنائية حيث تحدث فيها الليزرة عند ملتقى انصاف النواقل نمط P ونمط n ، وهي عادة ارسينيد الغاليوم او ارسينيد الغاليوم والالمنيوم. اما الانواع ذات التركيب المتجانس فهي تصنع من مادة نصف ناقلة غير معالجة وتضخ بواسطة حزمة اشعة الكترونية.

* **ليزر الحالة الصلبة: Solid State Laser**

وهو نوع يكون الوسط الفعال فيه عبارة عن شكل ذري في زجاج او بلور. حيث انه يمكن اضافة الشكل الذري الى الزجاج او البلور كما في حالة النيوديميوم المضاف الى الزجاج، وقد يكون ذاتيا مثل عنصر الكروم الموجود في الياقوت. وهذا المصطلح بشكل عام لاينطبق على الليزرات نصف الناقلة.

* ليزر TEA Laser : TEA

كلمة مركبة يقصد بها : ليزر ضغط جوي مثار بشكل عرضاني وهو ليزر غازي تكون فيه اثارة الوسط الفعال معترضة لتدفق الوسط. ونتيجة لمدى التوقف الفجائي القصير فان هذا النوع يشتغل في مجال ضغط غازي اعلى من ذاك الخاص بليزرات الغاز المثارة بشكل طولي (ولكن ليست بالضرورة جوية) كما انه يقدم خرجا طاقيا اعلى في كل وحدة حجم وذلك بسبب الكثافة الكبيرة لجزيئات الليزرة.

* الاشعة فوق البنفسجية : Ultra Violet

وهي عبارة عن اشعة كهرطيسية بأطوال موجية تتراوح بين 40 – 400 نانومتر تقريبا، هذا وندعو الاشعة في مجال 40 – 200 نانومتر بـ " ما فوق البنفسجية الخلائية " ذلك انها تمتص بواسطة الهواء وتسير عبر الخلاء فقط. الأشعة مافوق البنفسجية (القريبة) تملك أطوالاً موجية قريبة من الضوء المرئي.

اما الاشعة ما فوق البنفسجية "البعيدة " لها اطوال موجية اقصر.

* YAG : او جرانيت الايتريوم والالمنيوم وهي عبارة عن بللورات مضيفة يمكن ان تعالج بوسيط ليزري فعال، هو النيوديميوم عادة.

* YALO : او الومينات الايتريوم (YALO3)، وهي بللورات مضيفة تعالج بوسط ليزري فعال هو النيوديميوم عادة .

* YLF : او فلوريد الايتريوم والليثيوم: وهي بللورات مضيفة يمكن ان تعالج مع شاردة ليزرية فعالة هي الهوليوم عادة.

INDEX

ملحق D - نبذة عن اللجنة الدولية للاشعاعات غير المؤينة (INIRC)

بدأت الجمعية الدولية للوقاية من الاشعاع (IRPA) نشاطاتها فيما يتعلق بموضوع الاشعاعات غير المؤينة عام 1973 في جلسة مكرسة لهذا الموضوع في اجتماعها الدولي الثالث في واشنطن، DC.

وقد تأسست اللجنة الدولية للاشعاعات غير المؤينة (INIRC) المنبثقة عن الجمعية الدولية للوقاية من الاشعاع (IRPA) عام 1977 حيث كانت الاهداف الرئيسية لها هي تقديم مبادئ عامة للوقاية من الاشعاعات غير المؤينة، وتحديد حدود التعرض الاكثر ملاءمة لكل صنف منها،اضافة الى التحري عن طرق وقائية اضافية في هذا المجال بالتعاون مع منظمات دولية اخرى.

وقد تم التعاون خلال العقد الماضي بين قسم الصحة البيئية التابع لمنظمة الصحة العالمية وIRPA/INIRC في تحضير واعداد وثائق معايير الصحة البيئية المتعلقة بالاشعاعات غير المؤينة وذلك بدعم مالي من

البرنامج البيئي للامم المتحدة (UNEP). وقد اصبحت هذه المعايير فيما بعد الاساس العلمي لتطوير حدود التعرض ودساتير التطبيق.

ومن خلال وثائق المعايير هذه، قامت اللجنة الدولية للاشعاعات غير المؤينة بوضع مجموعة من الارشادات حول حدود التعرض من اجل الاشعاعات غير المؤينة المختلفة بما فيها اشعاع الليزر (IRPA, 1991) ان كلا من هذه الارشادات قد تم نشرها في (HealthPhysics) قبل ان يتم جمعها في مجلد وحيد كما ذكر سابقا.

هذا ولابد ان تخضع كل مجموعة من هذه الارشادات لتنقيح دوري حتى تبقى مواكبة للتطورات الحاصلة في مجال التأثيرات الحيوية المتعلقة بهذا الموضوع.

ان الغرض من هذه الارشادات هو توجيه الهيئات الوطنية والدولية اضافة الى الخبراء الذين يضطلعون بمسؤولية اعداد الانظمة والتوصيات او تقديم المشورة الفنية لحماية العاملين وعموم الشعب من التأثيرات العكسية المحتملة لاي اشعاع غير مؤين.

وقد نشرت وثيقة معايير الليزر (WHO ,1982)، مثل كل وثائق المعايير برعاية مشتركة من البرنامج البيئي للامم المتحدة ومنظمة الصحة العالمية والجمعية الدولية للوقاية من الاشعاع، وهي تتضمن وصفا للخصائص الفيزيائية لهذا الاشعاع ودراسة متأنية للمصادر والتطبيقات ومستويات التعرض وطرق وأجهزة القياس، واستعراض المعطيات التي تم

الحصول عليها من التجارب على الحيوان والملاحظات على الانسان حول التأثيرات الحيوية، اضافة الى تقييم الخطر الصحي لتعرض الانسان وتقدير معايير الوقاية الموجودة.

لقد تم التعاون بين IRPA/INIRC ومكتب العمل الدولي في اعداد الادلة العملية المتعلقة بوقاية العاملين ضد الاخطار المهنية الناجمة عن الاشعاعات غير المؤينة. حيث قدمت فيها معلومات حول الاخطار المحتملة والاجراءات المعدة لاخبار العاملين عن هذه الاخطار، والتدابير الوقائية الملائمة التي يجب اتخاذها للتقليل من التعرض للاشعاعات غير المؤينة.

هذا وقد اصبحت IRPA/INIRA اعتبارا من ايار 1992، هيئة علمية مستقلة دعيت باللجنة الدولية للوقاية من الاشعاعات غير المؤينة (ICNIRP) حيث اضطلعت بمسؤوليات الوقاية من الاشعاعات غير المؤينة بطريقة مشابهه لما تقوم به اللجنة الدولية الاشعاعية فيما يتعلق بالاشعاعات المؤينة.

* * *

INDEX

ثبـت المراجـع :

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1980. *Documentation for the threshold limit values*, 4th ed. (Cincinnati).

—. 1988. *TLVs, Threshold limit values and biological exposure indices for 1988-1989* (Cincinatti).

—. 1990. *A guide for control of laser hazards* (Cincinnati).

American National Standards Institute (ANSI). 1986. *Safe use of lasers, Standard Z-136.1-1986* (Toledo, Ohio, ANSI, Laser Institute of America).

Beatrice, E. S., et al. 1977. "Laser hazards: Biomedical threshold level investigations", in *Military Medicine*, 14(11), pp. 889-892.

British Standards Institute (BSI). 1984. *Radiation safety of laser products and systems, Standard BS4803* (London).

Commission internationale de l'éclairage (CIE). 1987. *International lighting vocabulary*, CIE Publication No. 17.4.

Courant, D., et al. 1989. "Spot-size dependence of laser retinal dosimetry", in Müller, G. J.; Sliney, D. H. (eds.): *Dosimetry of laser radiation in medicine and biology* (Washington, DC, SPIE Press), pp. 156-165.

Deutsches Institut für Normung (DIN). 1984. *Radiation safety of laser products, Standard VDE 0837* (Berlin, DIN/VDE).

Fender, D. H. 1964. "Control mechanisms of the eye", in *Scientific American*, Vol. 211, pp. 24-33.

Gerathewohl, S. J.; Strughold, H. 1953. "Motoric response of the eyes when exposed to light flashes of high intensities and short durations", in *Journal of Aviation Medicine*, Vol. 24, pp. 200-207.

Ham, W. T. Jr. et al. 1980. "The nature of retinal radiation damage, dependence on wavelength, power level and exposure time", in *Vision Research*, 20, pp. 1105-1111.

—. 1988. "Evaluation of retinal exposures from repetitively pulsed and scanning lasers", in *Health Physics*, 54(3), pp. 337-344.

Hemstreet, H. W. et al. 1974. *Ocular hazards of picosecond and repetitive pulse argon laser exposures, First Annual Report, February 1973-February 1974.* USAF Contract for School of Aerospace Medicine (San Antonio, Brooks AFB, Technology Inc.).

Health Council of the Netherlands. 1979. *Acceptable levels for micrometer radiation* (Rijswijk, Gezondheidsraad).

International Electrotechnical Commission (IEC). 1984, rev. 1990. *Radiation safety of laser products, equipment classification and user's guide* (Geneva, doc. WS 825).

—. 1990. *Radiation safety of laser products, equipment classification and user's guide*, Change 1 to doc. WS 825 (Geneva).

International Non-Ionizing Radiation Committee (IRPA). 1985. "Guidelines on limits of human exposure to laser radiation", in *Health Physics*, 49(5), pp. 341-359, or IRPA, 1991.

—. 1988. "Recommendations for minor updates to the IRPA 1985 guidelines on limits of exposure to laser radiation", in *Health Physics*, 54 (5), pp. 573-575, or IRPA, 1991.

—. 1991. *Guidelines on protection against non-ionizing radiation*, by A. S. Duchêne et al. (eds.) (New York, Pergamon Press).

Marshall, W. J. 1978. *A proposal for a new method to determine EL values for repetitive pulse trains* (Aberdeen Proving Ground, MD, US Army Environmental Hygiene Agency).

Pitts, D. G. et al. 1977. "Ocular effects of ultraviolet radiation from 295 to 365 nm", in *Investigative Ophthalmic and Visual Science*, 16 (10), pp. 932-939.

Sliney, D. H. 1972. "The merits of an envelope action spectrum for ultraviolet radiation exposure criteria", in *American Industrial Hygiene Association Journal*, 33 (9), pp. 644-653.

—. 1984. "Interaction mechanisms of laser radiation with ocular tissues", in H. E. Bennett et al. (eds.): *Laser induced damage in optical materials*. NBS Publication, SP 669 (Washington, DC, US Dept. of Commerce), pp. 355-367. (Updated and published in French, CEN Publication, 1988.)

—. 1989. "Radiometry and laser safety standards", in *Health Physics*, 56(5), pp. 717-724.

—; Marshall, W. J. 1991. "Bioeffects of repetitively pulsed lasers", in S. S. Charschan (ed.): *Proceedings of the International Laser Safety Conference, Cincinnati, Ohio, November 1990* (Orlando, Laser Institute of America), pp. 4:15-4:24.

—; Wolbarsht, M. L. 1980. *Safety with lasers and other optical sources* (New York, Plenum Publishing Corp.).

Stuck, B. E et al. 1978. *Repetitive pulse laser data and permissible exposure limits*, Institute Report No. 58 (Presidio of San Francisco, Letterman Army Institute of Research, Division of Non-Ionizing Radiation, Changes in the Maximum Permissible Exposures, Apr. 1978).

World Health Organization (WHO). 1982. *Lasers and optical radiation*. Environmental health criteria No. 23: joint publication of the United Nations Environmental Programme, the International Radiation Protection Association and the World Health Organization (Geneva).

Yarbus, A. L. 1967. *Eye movements during fixation on stationary objects* (New York, Plenum Press).

Zuclich, J. A. 1980. "Cumulative effects of near-UV induced corneal damage", in *Health Physics*, 38, pp. 833-838.

Zwick, H. 1989. "Visual functional changes associated with low-level light effects", in *Health Physics*, 56(5), pp. 657-663.

— et al. 1988. "Permanent visual change associated with punctate foveal lesions", in L. A. Court et al. (eds.): *First international symposium on laser biological effects and exposure limits*, Paris, November 1986 (Fontenay-aux-Roses, CEA/DPS), pp. 234-245.

INDEX

المصطلحات (*)

- active medium	الوسط الفعال
- "active" Q switching	تعديل الجودة الفعال
- Alignment	الرصف (التسوية)
- Anode	مصعد
- Average power	الاستطاعة الوسطية
- Beam	حزمة أشعة
- Calorimeter	مقياس كمية الحرارة
- Cathode	مهبط
- Coherence	الترابط
- Collateral radiation	الإشعاع المرافق
- Continuous Wave (CW)	موجة مستمرة
- CW laser	ليزر ذو موجة مستمرة
- detector	مكشاف
- diffuse reflections	الانعكاسات المنتشرة
- direct Beam	حزمة أشعة مباشرة
- Divergence	الانفراج
- Dye laser	ليزر صبغي
- Excimer lasers	ليزرات المزيج المثار
- extended Source	منبع ممتد (لانقطي)
- Hologram	صورة ثلاثية الأبعاد
- Holography	التصوير ثلاثي الأبعاد
- Indoor	داخل المباني والمنشآت
- Infrared radiation (I R R)	الإشعاع ماتحت الأحمر
- Instrumentation	آلات القياس

(*) تمت اضافة المصطلحات على الطبعة الأصلية من قبل المعهد العربي للصحة والسلامة المهنية بدمشق

- Integrated radiance	السطوع التكاملي
- Irradiance	الشدة
- Laser arrays	سلسلة ليزرية
- laser diode	ثنائي نصف الناقل الليزري
- laser output	خرج الليزر
- long- pluse laser	ليزر طويل النبضة
- Maximum viewing angular Subtense	المعامل الزاوي للرؤية الأعظمية
- Mode - locked laser	ليزر محصور النمط
- Monochromaticity	وحدانية اللون
- Nominal Ocular Hazard Area (NOHA)	مساحة الخطر العينية الاسمية
- Nominal Ocular hazard distance (NOHD)	مسافة الخطر العينية الاسمية
- Non linear effects	تأثيرات لاخطية
- Optical	ضوئي
- Optical Source	منبع ضوئي
- Out door	في الهواء الطلق
- Parameters	وسطاء
- "Passive" Q switching	تعديل الجودة المنفعل
- Photo conductive detectors	كواشف ذات موصلية ضوئية
- Photo emissive detectors	كاشفات انبعاث الالكترونات بتأثير الضوء
- Photo multiplier tubes	الصمامات المضاعفة الضوئية
- Photo Voltaic detectors	كواشف فوتو – توترية
- Point Source	منبع نقطي
- Polarizer	مقطب
- Population Inversion	الانقلاب الإسكاني
- Pulsed laser	ليزر نبضي
- Pulse repetitive frequency (PRF)	تواتر تكرار النبضة
- Pulsed Wave	موجة نبضية
- Pyro electric detector	مكشاف حراري كهربائي

- Q Switch	تعديل الجودة
- Q Switched laser	ليزر مُكيّف (معدل) الجودة
- Quantum detectors	كواشف كمومية
- Radiance	السطوع
- Radiant exposure	التعرض الإشعاعي
- Radiant Flux	التدفق الإشعاعي
- Radiation	إشعاع
- Radiometer	جهاز قياس الشدة
- Radiometric units	واحدات قياس الشدة
- Ranging	تحديد المسافة
- Reflectance	معامل الانعكاس
- Reflection	الانعكاس
- Repetitively pulsed laser	ليزر نبضي تكراري
- Resonant cavity	التجويف المحاوب
- Retinal Photo Coagulation	التخثير الضوئي للشبكية
- Semiconductor laser	ليزر نصف ناقل
- Solid state laser	ليزر الحالة الصلبة
- Solid state photodiodes	الصمامات الضوئية ذات الحالة الصلبة
- Specular reflections	الانعكاسات على السطوح الصقيلة
- Surveying	المسح
- thermal detectors	كواشف حرارية
- thermopile	مقياس درجة الحرارة
- transmission	النفاذ
- Ultraviolet Radiation (UVR)	الاشعاع مافوق البنفسجي
- Vacuumphotodiodes	الصمامات الثنائية الضوئية الخلائية
- Wave length	الطول الموجي

المعهد العربي
للصحة والسلامة المهنية

* إحدى المؤسسات التنفيذية التابعة لمنظمة العمل العربية.

* أنشئ المعهد بناء على قرار مؤتمر العمل العربي رقم (٣٠٣) لعام ١٩٨١ في دورته التاسعة وبدئ بتشكيله عام ١٩٨٣ بناء على قرار مؤتمر العمل العربي رقم (٣٩٧) في دورته الحادية عشرة.

* مقره مدينة دمشق - الجمهورية العربية السورية وذلك بناء على البروتوكول الموقع بين حكومة الجمهورية العربية السورية ومنظمة العمل العربية (١٩٨٣)

* بوشر العمل بالمعهد عام ١٩٨٥ بعد استكمال تجهيزه وتأثيثه.

* يهدف المعهد إلى تحقيق سياسات وخطط منظمة العمل العربية في مجال بيئة العمل، من خلال التطوير المستمر للقدرات التقنية والطبية والتنظيمية للكوادر العاملة في أجهزة الصحة والسلامة المهنية لدى أطراف العمل الثلاثة وتنمية الوعي الوقائي والصحي لديهم.

* يعمل المعهد على تحقيق أهدافه من خلال النشاطات التالية:

١ - إعداد الدراسات والأبحاث وإقامة الحلقات والندوات العلمية المتصلة بمشكلات بيئة العمل.

٢ - إقامة الدورات التدريبية المتخصصة بالصحة والسلامة المهنية على المستويين القومي والقطري.

٣ - العمل كمركز معلوماتية عربي في مجال اختصاصات المعهد من خلال إصدار الموسوعات والنشرات والمجلات والقواميس وتقديم المشورة الفنية للدول العربية.

٤ - إنتاج وترجمة وتوزيع الوسائل المستخدمة في التعليم والتوعية (دراسات - أفلام فيديو - سلايدات - ملصقات...).

٥ - المشاركة في تنفيذ برامج التعاون الفني وتقديم المعونة الفنية المتصلة بتنفيذ الأبحاث والدراسات الخاصة في مجال بيئة العمل.

٦ - التعاون والتنسيق مع المنظمات والهيئات العربية والدولية العاملة في مجال الصحة والسلامة المهنية.

٧ - تنفيذ المهام التي يكلف بها المعهد من قبل مكتب العمل العربي.