

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62327

Première édition
First edition
2006-02

**Instrumentation pour la radioprotection –
Instruments portables pour la détection et
l'identification des radionucléides et pour
l'indication du débit d'équivalent de dose
ambiant pour le rayonnement de photons**

**Radiation protection instrumentation –
Hand-held instruments for the detection and
identification of radionuclides and for the
indication of ambient dose equivalent rate
from photon radiation**

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| AVANT-PROPOS..... | 6 |
| INTRODUCTION..... | 10 |
| 1 Domaine d'application et objet..... | 12 |
| 2 Références normatives..... | 12 |
| 3 Termes et définitions..... | 14 |
| 4 Caractéristiques générales des instruments portables pour la détection et l'identification des radionucléides..... | 18 |
| 4.1 Généralités..... | 18 |
| 4.2 Détecteurs de rayonnement..... | 18 |
| 4.3 Etalonnage en énergie..... | 18 |
| 4.4 Logiciel..... | 18 |
| 4.5 Interface utilisateur..... | 18 |
| 4.6 Interface de communication..... | 20 |
| 4.7 Protection contre l'humidité et la poussière..... | 20 |
| 4.8 Marquages..... | 20 |
| 4.9 Indication de l'état des piles ou accumulateurs..... | 20 |
| 4.10 Protection des commutateurs..... | 20 |
| 4.11 Mémorisation et affichage des spectres..... | 20 |
| 4.12 Indication du débit d'équivalent de dose ambiant..... | 22 |
| 5 Procédures générales d'essai..... | 22 |
| 5.1 Nature des essais..... | 22 |
| 5.2 Conditions de référence et conditions normales d'essai..... | 22 |
| 5.3 Fluctuations statistiques..... | 24 |
| 6 Identification des radionucléides..... | 24 |
| 6.1 Catégories de radionucléides..... | 24 |
| 6.2 Identification de radionucléides isolés..... | 26 |
| 6.3 Identification de radionucléides mixtes..... | 28 |
| 6.4 Caractéristiques de surcharge pour l'identification..... | 28 |
| 6.5 Indicateur de source..... | 28 |
| 7 Indication de débit d'équivalent de dose ambiant..... | 30 |
| 7.1 Erreur relative intrinsèque..... | 30 |
| 7.2 Alarme et temps de réponse..... | 30 |
| 7.3 Affichage hors domaine du débit d'équivalent de dose ambiant..... | 30 |
| 8 Détection des neutrons..... | 32 |
| 8.1 Indication des neutrons..... | 32 |
| 8.2 Indication de neutrons en présence de photons..... | 32 |
| 9 Exigences électriques et environnementales..... | 32 |
| 9.1 Temps de stabilisation..... | 32 |
| 9.2 Alimentation – piles et accumulateurs..... | 34 |
| 9.3 Vibrations..... | 34 |
| 9.4 Choc mécanique..... | 36 |
| 9.5 Protection contre l'humidité et la poussière..... | 36 |
| 9.6 Influence de la température ambiante..... | 38 |
| 9.7 Choc de température..... | 38 |

CONTENTS

| | |
|--|----|
| FOREWORD..... | 7 |
| INTRODUCTION..... | 11 |
| 1 Scope and object..... | 13 |
| 2 Normative references | 13 |
| 3 Terms and definitions | 15 |
| 4 General characteristics of hand-held Instruments for the detection and identification of radionuclides | 19 |
| 4.1 General..... | 19 |
| 4.2 Radiation detectors | 19 |
| 4.3 Energy calibration | 19 |
| 4.4 Software..... | 19 |
| 4.5 User interface..... | 19 |
| 4.6 Communication interface | 21 |
| 4.7 Moisture and dust protection | 21 |
| 4.8 Markings | 21 |
| 4.9 Battery status Indication..... | 21 |
| 4.10 Protection of switches | 21 |
| 4.11 Spectral storage and display | 21 |
| 4.12 Ambient dose equivalent rate indication | 23 |
| 5 General test procedures | 23 |
| 5.1 Nature of tests..... | 23 |
| 5.2 Reference conditions and standard test conditions | 23 |
| 5.3 Statistical fluctuations | 25 |
| 6 Radionuclide identification..... | 25 |
| 6.1 Radionuclide categorization | 25 |
| 6.2 Identification of single radionuclides..... | 27 |
| 6.3 Identification of mixed radionuclides..... | 29 |
| 6.4 Overload characteristics for identification | 29 |
| 6.5 Source indicator | 29 |
| 7 Ambient dose equivalent rate indication | 31 |
| 7.1 Relative intrinsic error | 31 |
| 7.2 Alarm and response time..... | 31 |
| 7.3 Over range characteristics for ambient dose equivalent rate indication..... | 31 |
| 8 Neutron detection | 33 |
| 8.1 Neutron indication | 33 |
| 8.2 Neutron indication in the presence of photons..... | 33 |
| 9 Electrical and environmental performance requirements..... | 33 |
| 9.1 Stabilization time..... | 33 |
| 9.2 Power supplies – battery | 35 |
| 9.3 Vibration..... | 35 |
| 9.4 Mechanical shock..... | 37 |
| 9.5 Moisture and dust protection | 37 |
| 9.6 Ambient temperature influence | 39 |
| 9.7 Temperature shock..... | 39 |

| | | |
|------|---|--------|
| 9.8 | Humidité relative | 40 |
| 9.9 | Compatibilité électromagnétique..... | 42 |
| 9.10 | Stockage et transport | 46 |
| 10 | Documentation | 46 |
| 10.1 | Certificat | 46 |
| 10.2 | Manuel d'utilisation et de maintenance | 46 |
| 11 | Résumé des essais (voir les Tableaux 4 à 6)..... | 46 |
| | Bibliographie..... | 50 |
| | Tableau 1 – Conditions de référence et conditions normales d'essai..... | 24 |
| | Tableau 2 – Niveaux pour l'essai de choc et vibration | 36 |
| | Tableau 3 – Limites des rayonnements émis..... | 44 |
| | Tableau 4 – Exigences pour l'identification de radionucléides | 46 |
| | Tableau 5 – Exigences pour l'indication de débit d'équivalent de dose ambiant de photons... | 48 |
| | Tableau 6 – Exigences électriques et environnementales | 48 |

| | | |
|------|--|--------|
| 9.8 | Relative humidity..... | 41 |
| 9.9 | Electromagnetic compatibility..... | 43 |
| 9.10 | Storage and transport..... | 47 |
| 10 | Documentation..... | 47 |
| 10.1 | Certificate..... | 47 |
| 10.2 | Operation and maintenance manual..... | 47 |
| 11 | Summary of the tests (see Tables 4 to 6)..... | 47 |
| | Bibliography..... | 51 |
| | Table 1 – Reference conditions and standard test conditions..... | 25 |
| | Table 2 – Vibration and shock test levels..... | 37 |
| | Table 3 – Radiated emission limits..... | 45 |
| | Table 4 – Requirements for radionuclide identification..... | 47 |
| | Table 5 – Requirements for photon ambient dose equivalent rate indication..... | 49 |
| | Table 6 – Electrical and environmental performance requirements..... | 49 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – INSTRUMENTS PORTABLES POUR LA DÉTECTION ET L'IDENTIFICATION DES RADIONUCLÉIDES ET POUR L'INDICATION DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE AMBIANT POUR LE RAYONNEMENT DE PHOTONS

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62327 a été préparée par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de la présente norme est basé sur les documents suivants:

| | |
|--------------|-----------------|
| FDIS | Rapport de vote |
| 45B/486/FDIS | 45B/488/RVD |

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION –
HAND-HELD INSTRUMENTS FOR THE DETECTION AND
IDENTIFICATION OF RADIONUCLIDES AND FOR THE INDICATION
OF AMBIENT DOSE EQUIVALENT RATE FROM PHOTON RADIATION**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62327 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear Instrumentation.

The text of this standard is based on the following documents:

| | |
|--------------|------------------|
| FDIS | Report on voting |
| 45B/486/FDIS | 45B/488/RVD |

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

Les transports illicites ou commis par inadvertance de matières radioactives sous la forme de sources radioactives ou de déchets métallurgiques contaminés sont devenus un problème d'importance croissante. Les sources radioactives hors du contrôle réglementaire, appelées aussi sources orphelines ont fréquemment provoqué de graves expositions aux rayonnements et une contamination dispersée largement. Bien que les trafics illicites de matières nucléaires et d'autres matières radioactives ne soit pas un phénomène récent, les problèmes résultant du «marché noir» ont augmenté ces toutes dernières années et particulièrement au regard du risque terroriste.

En réponse à la réglementation technique de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), de l'Organisation Mondiale des Douanes (OMD) et de l'Organisation Internationale de Police Criminelle (Interpol), liée à la détection et à l'identification des matières nucléaires et à l'évolution de la sécurité, les sociétés d'instrumentation nucléaire développent et fabriquent une instrumentation nucléaire pour aider à la détection des mouvements illicites de matières radioactives ou nucléaires. Ce type d'instrumentation est largement utilisé pour la sécurité dans les sites nucléaires, aux postes de contrôle des frontières, dans les ports internationaux et dans les aéroports. Cependant, pour assurer la cohérence des résultats des mesures effectuées en différents emplacements, il est impératif que l'instrumentation soit conçue selon des spécifications rigoureuses fondées sur des exigences de performance agréées, définies dans la présente Norme internationale.

INTRODUCTION

Illicit and inadvertent movement of radioactive materials in the form of radiation sources and contaminated metallurgical scrap have become a problem of increasing importance. Radioactive sources out of regulatory control, so-called “orphan sources”, have frequently caused serious radiation exposures and wide spread contamination. Although illicit trafficking in nuclear and other radioactive materials is not a new phenomenon, concern about a nuclear “black market” has increased in the last few years particularly in view of its terrorist potential.

In response to the technical policy of the International Atomic Energy Agency (IAEA), the World Customs Organization (WCO) and the International Criminal Police Organization (Interpol) related to the detection and identification of special nuclear materials and security trends, nuclear instrumentation companies are developing and manufacturing radiation instrumentation to assist in the detection of illicit movement of radioactive and special nuclear materials. This type of instrumentation is widely used for security purposes at nuclear facilities, border control posts, and international seaports and airports. However, to ensure that measurement results made at different locations are consistent it is imperative that radiation instrumentation be designed to rigorous specifications based upon agreed performance requirements stated in this International Standard.

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – INSTRUMENTS PORTABLES POUR LA DÉTECTION ET L'IDENTIFICATION DES RADIONUCLÉIDES ET POUR L'INDICATION DU DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE AMBIANT POUR LE RAYONNEMENT DE PHOTONS

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux instruments portables utilisés pour la détection et l'identification des radionucléides, pour la détection des rayonnements neutroniques, ainsi que pour l'indication du débit d'équivalent de dose ambiant des rayonnements de photons. La présente norme ne s'applique pas aux performances de l'instrumentation de radioprotection qui est couverte par la CEI 60846.

Il est admis que le personnel chargé de faire respecter la loi sur le terrain et qui en général n'est pas expert en rayonnement peut utiliser les instruments couverts par la présente norme. Cela requiert une conception et un fonctionnement conviviaux tout autant qu'un haut niveau de sécurité de l'instrument.

La présente norme spécifie les exigences pour les spectromètres de photons portables, en particulier pour les détecteurs, les analyseurs électroniques multicanaux, le logiciel d'identification, les bibliothèques de radionucléides et l'écran de l'instrument. De plus, elle spécifie les caractéristiques générales, les procédures générales d'essai, les caractéristiques de rayonnement, ainsi que les caractéristiques électriques, mécaniques, de sécurité et d'environnement.

La présente norme fournit des guides pour la sélection de bibliothèques de radionucléides adéquates couvrant les matières radioactives qui sont les plus fréquemment détectées aux passages frontaliers.

La présente norme fait référence à une instrumentation qui peut être utilisée pour les objectifs décrits dans l'ISO 22188.

La présente norme peut être utilisée pour des instruments qui n'ont pas de capacité de réponse aux neutrons; dans ce cas, les exigences relatives à la réponse aux neutrons ne sont pas applicables.

La présente norme ne s'applique pas aux spectromètres de photons à haute résolution de laboratoire.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-393:2003, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 393: Instrumentation nucléaire: Phénomènes physiques et notions fondamentales*

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – HAND-HELD INSTRUMENTS FOR THE DETECTION AND IDENTIFICATION OF RADIONUCLIDES AND FOR THE INDICATION OF AMBIENT DOSE EQUIVALENT RATE FROM PHOTON RADIATION

1 Scope and object

This International Standard applies to hand-held instruments used for the detection and identification of radionuclides, the detection of neutron radiation and the indication of the ambient dose equivalent rate from photon radiation. This standard does not apply to the performance of radiation protection instrumentation which is covered in IEC 60846.

It is recognized that front line law-enforcement officers, who are generally not radiation experts, may use instruments covered by this standard. This requires user-friendly instrument design and operation with a high degree of inherent safety.

This standard specifies requirements for hand-held photon spectrometers, in particular for the detectors, the electronic multi-channel analyzers, the identification software, the radionuclide libraries, and the instrument display. It further specifies general characteristics, general test procedures, radiation characteristics, as well as electrical, mechanical, safety, and environmental characteristics.

This standard provides guidelines for selecting suitable radionuclide libraries covering radioactive materials that have been most frequently detected at border crossings.

This standard refers to instrumentation which may be used for the purposes described in ISO 22188.

This standard may be used for instruments that do not have neutron response capabilities, in which case, neutron response requirements do not apply.

This standard does not cover laboratory type, high-resolution photon spectrometers.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-393:2003, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 393: Nuclear instrumentation: Physical phenomena and basic concepts*

CEI 60050(394):1995, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 394: Instrumentation nucléaire: Instruments*

Amendement 1 (1996)

Amendement 2 (2000)

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

Amendement 1 (1999)

IEC 60846:2002, *Instrumentation pour la radioprotection – Instruments pour la mesure et/ou la surveillance de l'équivalent de dose (ou du débit d'équivalent de dose) ambiant et/ou directionnel pour les rayonnement bêta, X et gamma*

CEI 61187:1993, *Equipements de mesures électriques et électroniques – Documentation*

ISO 4037-1:1996, *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et de débitmètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons – Partie 1: Caractéristiques des rayonnements et méthodes de production*

ISO 8529-1:2001, *Rayonnements neutroniques de référence – Partie 1: Caractéristiques et méthodes de production*

ISO 8529-2:2000, *Rayonnements neutroniques de référence – Partie 2: Concepts d'étalonnage des dispositifs de radioprotection en relation avec les grandeurs fondamentales caractérisant le champ de rayonnement.*

ISO 22188:2003, *Surveillance des mouvements non déclarés et des trafics illicites de matière radioactive*

Bureau International des Poids et Mesures: *Le Système international d'unités (SI)*, 7e édition, 1998.

IEC 60050(394):1995, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 394: Nuclear instrumentation: Instruments*
Amendment 1 (1996)
Amendment 2 (2000)

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*
Amendment 1 (1989)

IEC 60846:2002, *Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation*

IEC 61187:1993, *Electrical and electronic measuring equipment – Documentation*

ISO 4037-1:1996, *X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 1: Radiation characteristics and production methods*

ISO 8529-1:2001, *Reference neutron radiations – Part 1: Characteristics and methods of production*

ISO 8529-2:2000, *Reference neutron radiations – Part 2: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field*

ISO 22188:2003, *Monitoring for inadvertent movement and illicit trafficking of radioactive material*

International Bureau of Weights and Measures: *The international System of Units (SI)*, 7th edition, 1998.