



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

ISBN 978-3-902842-19-0

DOI: 10.25039/TR.247.2021

TECHNICAL REPORT

Guide for the Gonioradiometric Measurement of Upper Air Ultraviolet Germicidal Irradiation Luminaires

CIE 247:2021

UDC: 612.014.481-06

Descriptor: Optical radiation effects on humans

THE INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION

The International Commission on Illumination (CIE) is an organization devoted to international co-operation and exchange of information among its member countries on all matters relating to the art and science of lighting. Its membership consists of the National Committees in about 40 countries.

The objectives of the CIE are:

1. To provide an international forum for the discussion of all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting and for the interchange of information in these fields between countries.
2. To develop basic standards and procedures of metrology in the fields of light and lighting.
3. To provide guidance in the application of principles and procedures in the development of international and national standards in the fields of light and lighting.
4. To prepare and publish standards, reports and other publications concerned with all matters relating to the science, technology and art in the fields of light and lighting.
5. To maintain liaison and technical interaction with other international organizations concerned with matters related to the science, technology, standardization and art in the fields of light and lighting.

The work of the CIE is carried out by Technical Committees, organized in seven Divisions. This work covers subjects ranging from fundamental matters to all types of lighting applications. The standards and technical reports developed by these international Divisions of the CIE are accepted throughout the world.

A plenary session is held every four years at which the work of the Divisions and Technical Committees is reported and reviewed, and plans are made for the future. The CIE is recognized as the authority on all aspects of light and lighting. As such it occupies an important position among international organizations.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE

La Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est une organisation qui se donne pour but la coopération internationale et l'échange d'informations entre les Pays membres sur toutes les questions relatives à l'art et à la science de l'éclairage. Elle est composée de Comités Nationaux représentant environ 40 pays.

Les objectifs de la CIE sont :

1. De constituer un centre d'étude international pour toute matière relevant de la science, de la technologie et de l'art de la lumière et de l'éclairage et pour l'échange entre pays d'informations dans ces domaines.
2. D'élaborer des normes et des méthodes de base pour la métrologie dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
3. De donner des directives pour l'application des principes et des méthodes d'élaboration de normes internationales et nationales dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
4. De préparer et publier des normes, rapports et autres textes, concernant toutes matières relatives à la science, la technologie et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.
5. De maintenir une liaison et une collaboration technique avec les autres organisations internationales concernées par des sujets relatifs à la science, la technologie, la normalisation et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.

Les travaux de la CIE sont effectués par Comités Techniques, organisés en sept Divisions. Les sujets d'études s'étendent des questions fondamentales, à tous les types d'applications de l'éclairage. Les normes et les rapports techniques élaborés par ces Divisions Internationales de la CIE sont reconnus dans le monde entier.

Tous les quatre ans, une Session plénière passe en revue le travail des Divisions et des Comités Techniques, en fait rapport et établit les projets de travaux pour l'avenir. La CIE est reconnue comme la plus haute autorité en ce qui concerne tous les aspects de la lumière et de l'éclairage. Elle occupe comme telle une position importante parmi les organisations internationales.

DIE INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) ist eine Organisation, die sich der internationalen Zusammenarbeit und dem Austausch von Informationen zwischen ihren Mitgliedsländern bezüglich der Kunst und Wissenschaft der Lichttechnik widmet. Die Mitgliedschaft besteht aus den Nationalen Komitees in rund 40 Ländern.

Die Ziele der CIE sind:

1. Ein internationales Forum für Diskussionen aller Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik und für den Informationsaustausch auf diesen Gebieten zwischen den einzelnen Ländern zu sein.
2. Grundnormen und Verfahren der Messtechnik auf dem Gebiet der Lichttechnik zu entwickeln.
3. Richtlinien für die Anwendung von Prinzipien und Vorgängen in der Entwicklung internationaler und nationaler Normen auf dem Gebiet der Lichttechnik zu erstellen.
4. Normen, Berichte und andere Publikationen zu erstellen und zu veröffentlichen, die alle Fragen auf dem Gebiet der Wissenschaft, Technik und Kunst der Lichttechnik betreffen.
5. Liaison und technische Zusammenarbeit mit anderen internationalen Organisationen zu unterhalten, die mit Fragen der Wissenschaft, Technik, Normung und Kunst auf dem Gebiet der Lichttechnik zu tun haben.

Die Arbeit der CIE wird durch Technische Komitees geleistet, die in sieben Divisionen organisiert sind. Diese Arbeit betrifft Gebiete mit grundlegendem Inhalt bis zu allen Arten der Lichtenwendung. Die Normen und Technischen Berichte, die von diesen international zusammengesetzten Divisionen ausgearbeitet werden, sind auf der ganzen Welt anerkannt.

Alle vier Jahre findet eine Session statt, in der die Arbeiten der Divisionen berichtet und überprüft werden, sowie neue Pläne für die Zukunft ausgearbeitet werden. Die CIE wird als höchste Autorität für alle Aspekte des Lichtes und der Beleuchtung angesehen. Auf diese Weise unterhält sie eine bedeutende Stellung unter den internationalen Organisationen.

Published by the

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
CIE Central Bureau
Babenbergerstrasse 9, A-1010 Vienna, AUSTRIA
Tel: +43(1)714 31 87
e-mail: ciecb@cie.co.at
www.cie.co.at

©CIE 2021 - All rights reserved



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

ISBN 978-3-902842-19-0

DOI: 10.25039/TR.247.2021

TECHNICAL REPORT

Guide for the Gonioradiometric Measurement of Upper Air Ultraviolet Germicidal Irradiation Luminaires

CIE 247:2021

UDC: 612.014.481-06

Descriptor: Optical radiation effects on humans

This Technical Report has been prepared by CIE Technical Committee (TC) 6-52 of Division 6 "Photobiology and Photochemistry" and has been approved by the Board of Administration and by Division 6 of the Commission Internationale de l'Eclairage. The document reports on current knowledge and experience within the specific field of light and lighting described, and is intended to be used by all with an interest in excellence in light and lighting. The information provided here is advisory, and not mandatory.

Ce rapport technique a été élaboré par le Comité Technique (TC) 6-52 de la CIE Division 6 "Photobiologie et Photochimie" et a été approuvé par le Bureau et Division 6 de la Commission Internationale de l'Eclairage. Le document expose les connaissances et l'expérience actuelles dans le domaine particulier de la lumière et de l'éclairage décrit ici. Il est destiné à être utilisé par tous ceux qui s'intéressent à l'excellence de la lumière et de l'éclairage. Les informations fournies ici sont données à titre indicatif et non obligatoire.

Dieser Technische Bericht ist vom Technischen Komitee (TC) 6-52 der CIE Division 6 "Photobiologie und Photochemie" ausgearbeitet und vom Vorstand sowie Division 6 der Commission Internationale de l'Eclairage gebilligt worden. Das Dokument berichtet über den derzeitigen Stand des Wissens und Erfahrung in dem behandelten Gebiet von Licht und Beleuchtung; es ist zur Verwendung durch alle an Licht- und Beleuchtungsqualität Interessierte bestimmt. Die in diesem Dokument gegebenen Informationen sind eine Empfehlung und keine Vorschrift.

Any mention of organizations or products does not imply endorsement by the CIE. Whilst every care has been taken in the compilation of any lists, up to the time of going to press, these may not be comprehensive.

Toute mention d'organisme ou de produit n'implique pas une préférence de la CIE. Malgré le soin apporté à la compilation de tous les documents jusqu'à la mise sous presse, ce travail ne saurait être exhaustif.

Die Erwähnung von Organisationen oder Erzeugnissen bedeutet keine Billigung durch die CIE. Obgleich große Sorgfalt bei der Erstellung von Verzeichnissen bis zum Zeitpunkt der Drucklegung angewendet wurde, besteht die Möglichkeit, dass diese nicht vollständig sind.

© CIE 2021 - All rights reserved

The following members of TC 6-52 “Proper Measurement of Passive UV Air Disinfection Sources” took part in the preparation of this Technical Report. The committee comes under Division 6 “Photobiology and Photochemistry”.

Authors:

Vincent, R.L. (Chair)	USA
Bergman, R.	USA
Blattner, P.	Switzerland
Dekker, P.	Netherlands
Jordan, W.	Germany
Larason, T.	USA
Leuschner, W.	South Africa
Levin, R.	USA
Mou, T.	China
Sliney, D.	USA
Webb, A.	United Kingdom

Advisors:

Angelo, R.	USA
Brickner, P.W. †	USA
Zhang, J.	USA

CONTENTS

Summary	vi
Résumé	vi
Zusammenfassung	vi
1 Introduction	1
1.1 Objectives	1
1.2 Scope	1
1.3 Safety precautions	1
1.3.1 Potential hazards of ultraviolet radiation to humans	1
1.3.2 Personal protective equipment	2
2 Terms and definitions	2
3 Laboratory requirements for tests	4
3.1 General	4
3.2 Laboratory and environmental conditions	4
3.2.1 Test room	4
3.2.2 Ambient temperature	5
3.2.3 Air movement	5
3.2.4 Stray radiation	5
3.3 Electrical test conditions and electrical equipment	5
3.3.1 Electrical power supply	5
3.3.2 Test control gear	6
3.3.3 Electrical circuit	6
3.3.4 Electrical measuring instrument	6
3.4 Temperature measuring instrument	7
3.5 Gonioradiometer configuration for measurement of upper room UVGI luminaires	7
3.5.1 General	7
3.5.2 Requirements for radiometers used in gonioradiometry	10
3.5.3 Auxiliary detector used to monitor the UV source	10
3.5.4 Mirror	10
4 Preparation, mounting and operating conditions	11
4.1 UVGI lamps selection and seasoning	11
4.2 Test lamps	11
4.3 Test luminaires	11
4.4 Mounting	11
4.4.1 Operating orientation	11
4.4.2 Radiometry measurement angular pattern	11
4.4.3 Stabilization	13
5 Measurement of quantities and presentation of the test results	13
5.1 General	13
5.2 Measurement uncertainty and presentation of test results	13
5.2.1 Measurement uncertainty	13
5.2.2 Uncertainty evaluation	15
5.3 Test report	15
6 Ambient temperature correction factor	17
7 Conclusions	17

Annex A Photobiological applications for germicidal UV dosimetry	18
A.1 General	18
A.2 Radiometric quantities	18
A.3 Dosimetry and the concept of photobiological dose	18
A.4 Measurement of irradiance and fluence	19
A.4.1 General	19
A.4.1 Radiometer for measurement of irradiance	19
A.4.2 Actinometer for measurement of fluence	19
A.4.3 Fluence rate	19
A.4.4 Physical interpretation of fluence rate	20
A.4.5 Converting units of incident energy	20
References	21

GUIDE FOR THE GONIORADIOMETRIC MEASUREMENT OF UPPER AIR ULTRAVIOLET GERMICIDAL IRRADIATION LUMINAIRES

Summary

Upper air ultraviolet germicidal irradiation (UVGI), in combination with appropriate room ventilation, is increasingly being used as a method to reduce transmission of airborne infectious diseases such as tuberculosis. UVGI luminaires appropriate for upper room air disinfection are installed above eye level and designed to limit vertical emission spread in order to prevent exposure to occupants as much as possible. Accurate UVGI luminaire emission profiles are needed to calculate the dose required for disinfection of airborne microorganisms. A radiometry protocol for UVGI luminaires is a basis for this method of measurement. This guide is intended to promote uniformity and accuracy in the measurement of UVGI luminaires. Data will be exportable to any standard electronic data file formats for use in lighting software programs adapted for UVGI application.

GUIDE POUR LA MESURE GONIORADIOMÉTRIQUE DES LUMINAIRES DE RAYONNEMENT ULTRAVIOLET GERMICIDE UTILISÉS EN ESPACE AÉRIEN SUPÉRIEUR

Résumé

L'irradiation germicide ultraviolette (UVGI – Ultraviolet Germicidal Irradiation), combinée à des mesures appropriées de la ventilation de la pièce, de l'air supérieur est de plus en plus utilisée comme méthode pour réduire la transmission des maladies infectieuses aéroportées telles que la tuberculose. Les luminaires UVGI appropriés pour la désinfection de l'air des pièces supérieures sont installés au-dessus du niveau des yeux et conçus pour limiter la propagation verticale des émissions afin d'éviter autant que possible l'exposition des occupants. Des profils d'émission précis des luminaires UVGI sont nécessaires pour calculer la dose requise pour la désinfection des micro-organismes en suspension dans l'air. Un protocole de radiométrie pour les luminaires UVGI constitue une base pour cette méthode de mesure. Ce guide est destiné à promouvoir l'uniformité et la précision de la mesure des luminaires UVGI. Les données seront exportables dans tous les formats de fichiers de données électroniques standard pour être utilisées dans des logiciels d'éclairage adaptés à l'application UVGI.

LEITFADEN FÜR DIE GONIORADIOMETRISCHE MESSUNG VON LEUCHTEN ZUR LUFTENTKEIMUNG IM OBEREN BEREICH VON RÄUMEN

Zusammenfassung

Die ultraviolette, keimtötende Bestrahlung (UVGI – Ultraviolet Germicidal Irradiation) der oberen Raumluft, in Kombination mit geeigneter Raumventilierung, wird zunehmend als Methode zur Reduzierung der Übertragung von luftübertragenen Infektionskrankheiten wie Tuberkulose eingesetzt. UVGI-Leuchten, die für die Entkeimung der oberen Raumluft geeignet sind, werden oberhalb der Augenhöhe installiert und so konstruiert, dass die vertikale Ausbreitung der Strahlung begrenzt wird, um eine Exposition der Anwesenden so weit wie möglich zu verhindern. Zur Berechnung der für die Desinfektion von luftgetragenen Mikroorganismen erforderlichen Dosis sind genaue Emissionsprofile der UVGI-Leuchten erforderlich. Ein Radiometrieprotokoll für UVGI-Leuchten ist eine Grundlage für diese Messmethode. Dieser Leitfaden ist für die Vereinheitlichung und Genauigkeit bei der Messung von UVGI-Leuchten vorgesehen. Die Daten können in alle gängigen elektronischen Datenformate exportiert werden, um sie in Beleuchtungssoftware-Programmen zu verwenden, die für die UVGI-Anwendung angepasst sind.

1 Introduction

1.1 Objectives

Ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) is increasingly being used as a method to reduce transmission of airborne infectious diseases such as tuberculosis (Mphaphlele et al. 2015). UVGI is the application of optical radiation, generally in the UV-C, where the most effective wavelength range is typically 200 nm to 280 nm. UVGI luminaires appropriate for upper room air disinfection are installed in the treatment zone extending above eye level to the ceiling and designed to limit vertical emission spread in order to prevent excessive exposure to occupants. Accurate UVGI luminaire emission profiles, in combination with appropriate room ventilation measurements are needed to calculate the dose to airborne microorganisms. The most accurate dosimetry of germicidal action requires in theory the application of the radiometric quantities of *fluence* and *fluence rate*, as (see Annex) the irradiance distribution is more readily measurable and would in any case be needed for a more sophisticated calculation of fluence rate. Further, three-dimensional UV-C emission profiles are necessary to adequately quantify the exposure dose the airborne microorganisms would receive in a realistic room. A recent study developed a radiometry protocol for UVGI luminaires and describes an embodiment using a Type C (CIE Type 1) goniophotometer setup (Zhang et al. 2012). Following the protocol, measurements taken were comprehensive, consistent, and repeatable, as such being a basis for this method of measurement (Rudnick et al. 2012).

This guide is intended to promote uniformity and accuracy in the gonioradiometric measurement of UVGI luminaires. Measured data will be exportable to any standard electronic file format for use in lighting software programs adapted for UVGI application (e.g. IES 2008; CEN 2004; Stockmar 1998). This application-specific report draws on relevant features of CIE 121-1996 *The Photometry and Goniophotometry of Luminaires* (CIE 1996).

1.2 Scope

This document establishes a recommended procedure for gonioradiometric measurements of UVGI luminaires in the far field. The methodology described in this document applies to incoherent lamp and lamp systems (luminaires) emitting in the UV-C wavelength region from 200 nm to 280 nm.

NOTE The dominant source used for UVGI is the low-pressure mercury (LPM) lamp, but other sources, such as LEDs and Excimer lamps, are also being used for UVGI luminaires.

This document does not specify the radiant exposures required for disinfection. Reference should be made to CIE 155:2003 (CIE 2003) for the radiant exposure levels required to disinfect specific pathogens.

1.3 Safety precautions

1.3.1 Potential hazards of ultraviolet radiation to humans

Because UV is invisible to humans, precautions must always be taken when testing UV equipment to avoid human exposure to harmful doses of UV radiant energy. Exposure to ultraviolet energy may result in acute ocular and skin effects that may be unnoticed initially due to a latency of up to several hours before symptoms appear. UV exposure is dose-related (irradiance $\times$ time). High-irradiance exposure for a short period of time, or low-irradiance exposure for a longer period, can produce temporary, yet painful, side effects, especially to eyes (photokeratoconjunctivitis) and skin (erythema). These responses normally resolve within a 24 h to 48 h period from exposure with no long-term health impacts (ACGIH 2020; Sliney 2000; CIE 2010) from single incidents.

By appropriate understanding of these factors, upper room UVGI luminaires have been placed safely in a wide range of indoor spaces (CIE 2003; First et al. 2005; Nardell et al. 2008). The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP 2004), The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (2020) and the European Union (2006) have established a limit value for radiant exposure to 254 nm UV-C not exceeding $60 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ ($6,0 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$) within an 8 h period. The ACGIH, ICNIRP and European Directive all have the same fundamental limits of $30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ ($3,0 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$) of spectrally weighted UV radiation