

168433

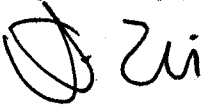
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

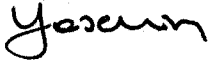
**TOPLAMA KÜRESİ İLE IŞIK AKISI ÖLÇEĞİNİN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

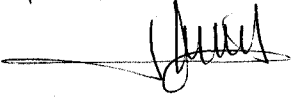
Fizikçi Ömer UYSAL

FBE Fizik Anabilim Dalı Fizik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Ahmet EKREM


Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yasemin YARAR


Prof. Dr. Hasem Tahtlıpınar


İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ	iii
TABLO LİSTESİ.....	iv
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Işık Nedir.....	1
2. OPTİK RADYOMETRİ VE FOTOMETRİ.....	3
2.1 Radyometri.....	3
2.2 Fotometri	4
2.2.1 $V(\lambda)$ Fonksiyonu.....	4
2.3 Radyometrik ve Fotometrik Büyüklükler.....	7
2.3.1 Işınım Enerjisi ve Işık enerjisi.....	7
2.3.2 Işınım Akısı ve Işık Akısı.....	7
2.3.3 Işınım Şiddeti ve Işık Şiddeti.....	9
2.3.3.1 Kandelanın Tanımı.....	10
2.3.3.2 Katı (Uzay) Açısı.....	10
2.3.4 Işınım Düzeyi ve Aydınlık Düzeyi.....	12
3. IŞIK AKISI BİRİMİNİN ÖLÇÜLMESİ.....	14
3.1 Gonyofotometrik Yöntem.....	14
3.2 Toplama Küresi Yöntemi.....	17
3.2.1 Ölçüm Prensibi.....	19
3.2.2 Küreden kaynaklanan ölçüm hatalarının düzeltilmesi.....	21
3.2.3. Lamba tutucu, lamba soketi ve lambanın yanma pozisyonu.....	21
3.2.4. Termal dayanım.....	22
3.2.5. Işığın küre içerisindeki spektral dağılımı.....	23
3.2.6. Lambaların küre içerisindeki pozisyonu.....	24
3.2.7. Lambaların ışık şiddeti dağılımının kontrolü.....	24
3.3. Işık akısı transfer standartları.....	24
3.4. Işık Akısı Ölçüm Prosedürü.....	26
3.4.1 Işık Akısı Büyüklüğünün Hesaplanması.....	28
3.4.2 Işık Akısı Ölçümünde Kullanılan Cihazlar.....	30
3.4.3 Işık Akısı Ölçüm Düzenegi.....	31
3.4.4. Düzenlemeler (<i>Alignment</i>)	31

3.4.5.	Elektriksel bağlantılar.....	32
3.4.6.	Termodinamik durum.....	33
3.4.7.	Zamanlama durumu.....	33
3.5	Toplama Küresi İle Işık Akısının Hesaplanması için Ölçümler.....	33
3.5.1.	Renk sıcaklığı ölçümleri.....	33
3.5.2.	Fotometre başlığının tayfsal duyarlılığının ölçülmesi.....	39
4.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	41
4.1	Ön Hazırlıklar.....	41
4.2	Kalibrasyon İşlemi.....	43
4.3	Işık Akısının Hesaplanmasında kullanılan formüller.....	48
4.3.1	Lambadan Geçen Akım Değerinin Hesaplanması.....	48
4.3.2	Kendi Kendine Soğurma Düzeltme Faktörü.....	48
4.3.3	Akım Düzeltme Faktörü.....	48
4.3.4	Fotometre Başlığı ile Ölçülen Sinyaller.....	48
4.3.5	Işık Akısının Hesaplanması.....	48
4.4	Küre İçi Sıcaklık Dağılımları ve Kürenin Uniformitesi Ölçümleri...50	
4.5	Işık Akısı Ölçümlerindeki Belirsizlik Hesaplamaları.....	52
4.6	Belirsizlik Bütçeleri.....	52
4.7	İzlenebilirlik Zinciri.....	56
5.	SONUÇ.....	57
	KAYNAKLAR.....	59
	ÖZGEÇMİŞ.....	60

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrum	3
Şekil 2.2 $V(\lambda)$ ve $V'(\lambda)$ fonksiyonları.....	5
Şekil 3.3 Ters Kare Yasası.....	7
Şekil 2.4 Diferansiyel Katı Açılarda Yayınlanan Kısmi Işık Akıları.....	8
Şekil 2.5 Yayınlanan Toplam Işınım / Işık Akısı.....	9
Şekil 2.6 Işık Şiddeti.....	10
Şekil 2.7 Işık kaynağından r kadar uzaklıkta bulunan Küresel bir Yüzeye ait katı açısı	11
Şekil 2.8 Aydınlık düzeyi.....	12
Şekil 3.1 Toplam ışık akısını ölçmek için gonyofotometrik yöntem.....	15
Şekil 3.2 Üç Eksenli Gonyofotometre.....	16
Şekil 3.3 İki eksenli gonyofotometre.....	17
Şekil 3.4 Göreceli hassasiyetin küre boyasının yansıma katsayısı ile değişimi.....	19
Şekil 3.5 Toplama küre prensibi.....	20
Şekil 3.6 $\rho = 0.80-0.98$ arası yansıma faktörleri için küre boyası spektral fonksiyonunun $[\rho(\lambda)/(1-\rho(\lambda))]_{rel}$ dalgaboyuna (λ , nm) bağlı değişimi.....	21
Şekil 3.7 $BaSO_4$ boyasının dalga boyuna göre yansıma değerlerindeki değişimi.....	23
Şekil 3.8 Standart Işık Akısı Lambaları.....	25
Şekil.3.9 Işık Akısı Lambasının Açısal Işık Şiddeti Dağılımı.....	25
Şekil 3.10 Fotometre başlığının duyarlılığının sıcaklığa göre değişimi.....	29
Şekil 3.11 Işık akısı ölçümleri için kurulmuş olan düzenek.....	31
Şekil 3.12 Polaron tip ışık akısı lambası için mevcut şematik diyagram.....	32
Şekil 3.13 Lambanın diklik ayarı.....	34
Şekil 3.14 Renk sıcaklığı ölçümü için kullanılan düzenek.....	35
Şekil 3.15 LabView tabanlı bilgisayar programı.....	36
Şekil 3.16 UME standart SRS-3 dağınık yansıma plakasının dalgaboyuna bağlı yansıma faktörü.....	37
Şekil 3.17 Fotometre başlığının mismatch indeksinin renk sıcaklığına göre değişimi.....	40
Şekil 4.1 Lamba akımının zaman içinde değişim eğrisi.....	45
Şekil.4.2 LabView yazılım programında lambanın ölçüm süresince kararlılıktaki değişimler.....	46
Şekil 4.3 Küre içi sıcaklık dağılımı ölçümleri.....	50
Şekil 4.4 Termometrelerden okunan direnç değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	51
Şekil 4.5 Lamba Tabanlı Işık Akısı Ölçümleri İçin İzlenebilirlik Zinciri.....	56

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Optik radyometri ve fotometride kullanılan önemli nicelikler ve birimleri.....	6
Çizelge 3.1 Standart ışık akısı lambaları için ölçülen renk sıcaklığı değerleri.....	38
Çizelge 3.2 Test ışık akısı lambaları için elde edilen renk sıcaklığı değerleri.....	38
Çizelge 3.3 Fotometre başlığı kalibrasyonunda kullanılan 771 No' lu Osram Wi/41G tip lamba.....	39
Çizelge 3.4 Referans fotometre başlığının tayfsal duyarlılığı.....	40
Çizelge 4.1 LF200L tip standart Polaron lambalar için sertifika verileri.....	44
Çizelge 4.2 Yardımcı lamba kullanılarak Standart lamlalar için elde edilen soğurma ölçümleri.....	45
Çizelge 4.3 Işık akısı düzeneği doğruluk ölçümleri.....	46
Çizelge 4.4 Yardımcı lamba kullanılarak UME test lambaları için elde edilen soğurma ölçümleri.....	47
Çizelge 4.5 UME test lambaları için bulunan ışık akısı değerleri.....	47
Çizelge 4.6 Uniformite Ölçüm Sonuçları.....	51
Çizelge 4.7 Otomatik Akım Kontrol Sistemindeki Belirsizlik Bütçesi.....	52
Çizelge 4.8 Renk Sıcaklığı Ölçümleri İçin Belirsizlik Modeli ve Bütçesi.....	53
Çizelge 4.9 Fotometre Başlığı Kalibrasyonu İçin Belirsizlik Modeli ve Bütçesi.....	54
Çizelge 4.10 Işık Akısı Ölçümleri İçin Oluşturulmuş Belirsizlik Bütçesi.....	55

SİMGE LİSTESİ

Φ_T	Test lambası için bulunan ışık akısı değeri (lümen),
Φ_R	Standart lamba için sertifikada verilen ışık akısı değeri (lümen),
Δy_T	Test lambası çalıştırıldığı zaman fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (A),
Δy_R	Standart lambası çalıştırıldığı zaman fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (A),
T_R	Standart lambanın renk sıcaklığı dağılımı (K),
T_T	Test lambası renk sıcaklığı dağılımı (K),
m_T	Polaron tip lambaların renk sıcaklığındaki uyumsuzluk düzeltme faktörü (mismatch-correction index) ($m_T=6,84$),
Δy_{AR}	Yardımcı lamba kullanıldığında standart lambanın küre içerisinde ışığı ne kadar absorbe ettiğini bilmek için fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (A),
Δy_{AT}	Yardımcı lamba kullanılarak test lambasının küre içerisinde ışığı ne kadar absorbe ettiğini bilmek için fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (A),
J_T	Test lambasının gereken renk sıcaklığını vere bilmesi için bilgisayara girilen akım değeri (A), J_{OX} -ölçüm sırasında gözükten akım değeri (A),
J_R	Standart lambanın gereken renk sıcaklığını vere bilmesi için bilgisayara girilen akım değeri (A), J_{OR} -ölçüm sırasında gözükten akım değeri (A),
m_J	Kullanılan lamba için akım uyumsuzluk düzeltme faktörü (current mismatch-correction index) ($m_J=0.72$),
T_{OT}	Test lambası kullanıldığı sürece küre içerisindeki sıcaklık ($^{\circ}C$),
T_{OR}	Standart lamba kullanıldığı sürece küre içerisindeki sıcaklık ($^{\circ}C$),
m_P	Fotometre başlığı için uyumsuzluk düzeltme faktörü (mismatch-correction index)
m_K	Küre için uyumsuzluk düzeltme faktörü (mismatch-correction index)

KISALTMA LİSTESİ

CIE	Commission internationale de l' Eclairage
DC	Doğru Akım
NIST	National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
PTB	Physikalisch Technische Bundesanstalt, Germany
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü, Türkiye
Lm	Lümen
J	Joule
s	Saniye
Cd	Kandela
W	Watt
m	Metre
Lx	Lüks, $\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$
Sr	Steradyan

ÖNSÖZ

Bitirme tezimin hazırlanmasında destek ve yardımlarını esirgemeyen, en sıkışık ve zor zamanlarımda bana kararlılık ve dürüstlüğüyle kararlı ve dürüst olmayı öğreten, sağlık problemleri yaşadığı zamanlarda bile öğrencilerini kendinden önce tutan fedakar ve değerli hocam Doç. Dr. Yasemin Yazar'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmalarım sürecinde destek ve yardımını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Emel Çingir'ya,

Deneysel çalışmalarda her türlü imkan ve yardımı sağlayan UME Optik Laboratuvar sorumlusu Dr. Ferhat Samedov'a ve Dr. Murat Durak'a

Yaşantım boyunca her zaman bana maddi ve manevi yönden destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Işık akısı birimi lümeni gerçekleştirmek için Türkiye'nin Ulusal Metroloji Enstitüsü, UME 'de **Toplama küresi ile ışık akısı kalibrasyonu** hizmeti verilmektedir. Işık kaynağını ve elektriksel parametreleri kontrol edebilmek için Lab-View isimli temel bilgisayar kontrol sistemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada **klasik toplama küresi metodu** kullanılarak, ışık akısı Almanya, Pysikalisch Technische Bundesanstalt, PTB'de gonyofotometrik yöntemle ölçülmüş olan lambaların ışık akıları tekrar ölçülerek karşılaştırma yapılmıştır. Bunun için küre sisteminin düzeltmeleri, yani küre içindeki boyanın yansıtması, uzaysal homojensizlik, kendi kendine soğurma faktörü ve iç sıcaklık değerlerine ilişkin karakterizasyonlar yapılmıştır. 5 lümen-5000 lümen aralığında ışık akısının toplam belirsizliği %1.14 ($k=2$) belirsizlikle hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Işık Akısı, Lümen, Toplama Küresi, Aydınlanma, Karakterizasyon, Belirsizlik.



ABSTRACT

Luminous flux calibration facility with an integrating sphere has been established at the Metrology Institute of Turkey (UME) in order to realize lumen. A computer controlled electrical system named as Lab-View was developed to operate light sources and to control electrical parameters. In this work, the luminous fluxes of the lamps, measured by means of goniophotometric method in PTB, Germany, were measured by using classic integrating sphere method and the results were compared. Regarding to the corrections of the sphere system, inner coating reflectance, spatial non-uniformity, self absorption factor and interior temperature variations were characterized. The total uncertainty in luminous flux measurement was determined with an uncertainty of 1.14 % ($k=2$) in the range between 5 lm – 5000 lm.

Keywords: Luminous flux, lumen, integrating sphere, luminance, characterization, uncertainty



1. GİRİŞ

Optik teknolojinin başlangıcı çok eski çağlara dayanmaktadır. Tarih boyunca optiksel olaylar insanoğlunun ilgisini çeken konuların başında gelmiştir. Eski Mısırlılardan, günümüze isimlerini saymakla bitiremeyeceğimiz tarihin büyük bilim adamları optiksel olaylara özellikle de son yüzyıllarda ışığın dalga ve kuantum teorileri hakkındaki sorulara yanıt bulmaya çalışmışlardır.

Yüzyılın başlarında atomsal olayları kapsayan kuantum mekaniği teorisinin temellerinin atılması ve ardından Einstein'ın 1905 yılında, ışığın 'foton' adı verilen enerji taneciklerinden oluştuğu teorisi ile olaylar büyük ölçüde anlaşılmaya başlanmıştır. Einstein'ın 'Her fizikçi fotonun ne olduğunu bildiğini sanır, oysa fotonun ne olduğunu anlamak için hayatımı verdim, yine de onu anlamış değilim' sözü, kat edilmesi gereken daha çok yolun olduğunu göstermektedir. 20. yüzyılın ilk yarısında ortaya çıkan bu teoriler ışığında 20. yüzyılın ikinci yarısı uygulamalı optiğin canlılık kazandığı bir dönem adeta Rönesansı olmuştur. Yüksek hızlı bilgisayarların hizmete girmesiyle optik sistemlerin tasarımında büyük gelişmeler olmuştur

Optikteki teknolojik ilgi alanı akıllı bombalar ve casus uydulardan ölümcül ışınlar ve karanlıkta gören kızılötesi aygıtlara kadar geniş bir bölgeyi içine alır. Aydınlatma alanlarından, satış merkezlerinde kullanılan lazer tarayıcılara, dijital saatlerde ve hesap makinelerinde kullanılan ışık yayıcı diyotlardan (LED), sıvı kristal göstergeler ve üç boyutlu görüntü sağlamak için holografik sistemlere, spektroskopik ölçümlerden renk ölçümlerine, sağlık, uzay araştırmaları ve askeri alanlar v.b saymakla bitiremeyeceğimiz muazzam bir alanda radyometrik ve fotometrik ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kadar geniş bir alanı kapsayan bu işlemlerin doğru ve güvenilir biçimde yapılabilmesi için ışığın doğasının çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

1.1 Işık Nedir

Işık göze etki eden özel bir enerji şekli olup dalga veya tanecik (foton) şeklinde yayıldığı kabul edilir. Gerçekte her iki teori, yani dalga-tanecik teorisi, birbirini tamamlar ve aynı gerçeğin iki farklı yönünü oluştururlar. (DeCusatis ve Casimer, 1998)

Dalga teorisine göre ışık, elektromanyetik dalga (radyasyon) enerjisinin özel bir şeklidir. Algılayabildiğimiz görülebilir ışık elektromanyetik spektrumun çok küçük bir kısmıdır. Elektromanyetik spektrum çok küçük frekanslı radyo dalgalarından mikro dalgalar, kızıl ötesi, görülür ve mor ötesi ışık, X-ışınları ve gama ışınlarına kadar uzanır. Gözlerimiz görünür ışığa

karşı duyarlıdır. Spektrumun geri kalan kısmını algılayabilmek için radyo algılayıcılarından parıltı hesaplayıcıları gibi bazı teknik cihazlara gereksinim duyarız.



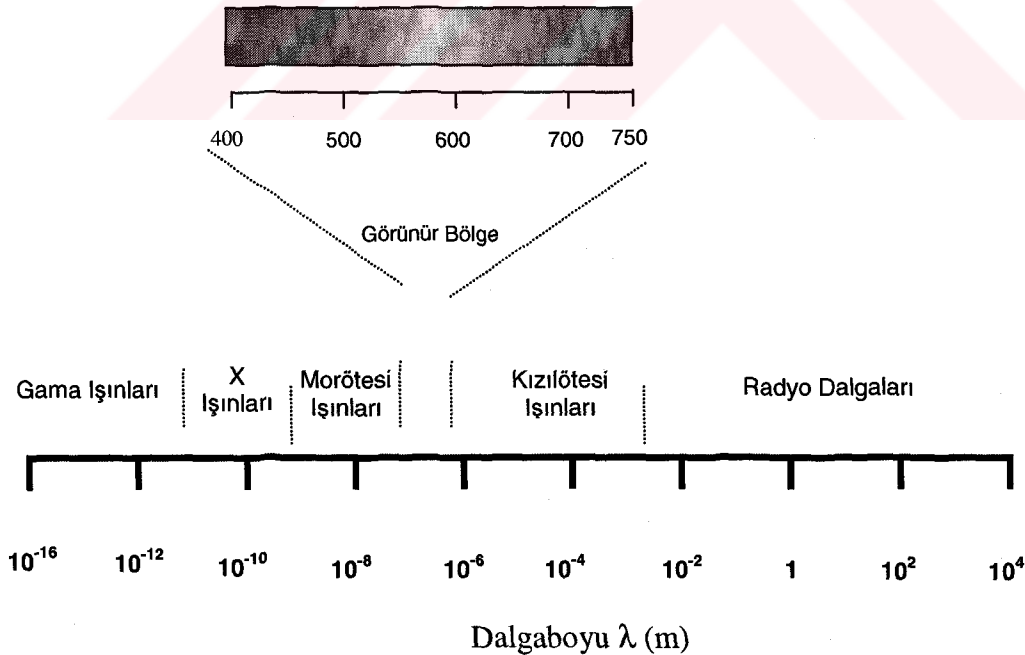
2. OPTİK RADYOMETRİ ve FOTOMETRİ

Elektromanyetik spektrum 10^{-16} nm dalgaboyuna sahip kozmik ışınlardan, yüzlerce metre uzunluğundaki dalga boylarına sahip radyo dalgalarına uzanan çok geniş bir bölgeyi kapsamaktadır. Spektrumu oluşturan ışınlardan, kısa dalga boylarında ışığın daha çok parçacık, uzun dalga boylarında ise ışığın dalga özelliklerine sahiptirler.

2.1 RADYOMETRİ

Radyometriyi, bütün elektromanyetik spektrumdaki ışınmı ve madde ile etkileşimini inceleyen konular sistemi olarak tanımlayabiliriz. Işık katı, sıvı ya da gaz her türlü maddedeki yansıma, geçirme, kırılma, soğurma ve saçılma gibi özelliklerini de inceleyen radyometri, pratikte 100 nm - 1 mm dalga boyu arasındaki ışınmı odaklanır. Optik radyometri ise, elektromanyetik spektrumun morötesi (UV), görünür (VIS) ve kızılötesi (IR) bölgelerindeki ışınmının ölçülmesi ile uğraşan bilim dalıdır.

Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yer alan optik ışınmı, ışığın dalga ve parçacık özelliklerinin ilginç bir karışımına sahiptir. Genelde, ışık olarak adlandırdığımız optik ışınmı, kızılötesi ve morötesi bölgelerin arasında yer almaktadır.



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum (Samedov ve Durak, 2002)

2.2 FOTOMETRİ

Fotometri, insanın ışığı görme duyarlılığı dâhilindeki (dalga boyu ortalama 380 nm ile 780 nm arasında olan) görünür ışınım bölgesindeki ölçümleri kapsayan bilim dalıdır. Bu bağlamda fotometri, görünür ışık kaynağının toplam optik çıktısı olarak tanımlanan ve Lümen (lm) cinsinden ifade edilen ışık akısı ölçümleri ile uluslararası yedi temel ölçüm biriminden birisi olan ışık şiddeti Kandela (Cd) ölçümlerini ve bu birimlerin alt türevlerini inceler. Dikkatli bir şekilde kontrol edilen şartlar altında insanın ışığa karşı olan görsel tepkisinin (ışığı algılayışımızın) istatistiksel modeline dayanan nicel bir bilimdir.

Fotometride ışık niceliklerini ölçmek için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Uygun optiksel tasarımlarla dizayn edilmiş olan bu cihazlar mercekler, ışık filtreleri, diyafram ve algılayıcı sensörlerin bir arada kullanılmasından oluşur. Işık demeti insan gözünün algılama hassasiyetine uygun olarak yapılmış $V(\lambda)$ filtreden geçirilerek hassas ışınım algılayıcısı olan sensör yardımı ile algılanır. Sensör üzerine düşen ışık demeti elektriksel sinyale çevrilerek yükseltilir. Optik ışık ölçümlerinde birincil seviye ölçümleri gerçekleştirmek için fotometreler veya fotometre başlıkları kullanılmaktadır.

2.2.1 $V(\lambda)$ Fonksiyonu

Gözümüzün duyarlılığı dalga boyu ile değişir. Böylece enerji akıları eşit olan çeşitli dalga boylu iki ışın demeti gözümüzde farklı etki yapar. Gözün değişik renklere karşı duyarlılığı, göze gelen ışığın dalga boyu ile değişir. Mesela; kırmızı dalga boyunda 1 lm akıya uygun gelen güç, mor dalga boyunda 1 lm akıya uygun gelen güçten farklıdır. Gelen ışığın dalga boyu ile ilgili olarak gözümüzün duyarlılığı değişir. Normal aydınlanmada normal gözün duyarlılığı sarımsı yeşil duyumunu veren 555 nm dalga boyunda maksimumdur. Bu dalga boyu güneş ışınmasının da maksimumuna karşılık gelmektedir (DeCusatis, 1998).

Bir ışık kaynağından yayılan yeşil ışık ışıması (540 nm), aynı kaynaktan yayınlanan kırmızı (650 nm) veya mavi (450 nm) ışık ışımasından daha parlak gözüktür. 1924 yılında, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (International Commission on Illumination, or CIE) kontrollü şartlar altında yüzü aşkın gözlemcinin farklı dalga boylarındaki monokromatik ışık kaynaklarının parlaklıklarına karşı verdikleri tepkilerin uyum eğrisini çıkardılar. Bu istatistiksel sonuç CIE fotometrik eğrisi olarak adlandırılır. Şekil 2.2’de dalga boyunun insan görme sistemi fonksiyonu üzerindeki fotopik ve skotopik ışık etkisi gösterilmiştir. Bu ağırlık fonksiyonu, radyometrik birimleri fotometrik birimlere dönüştürmemizi sağlar.

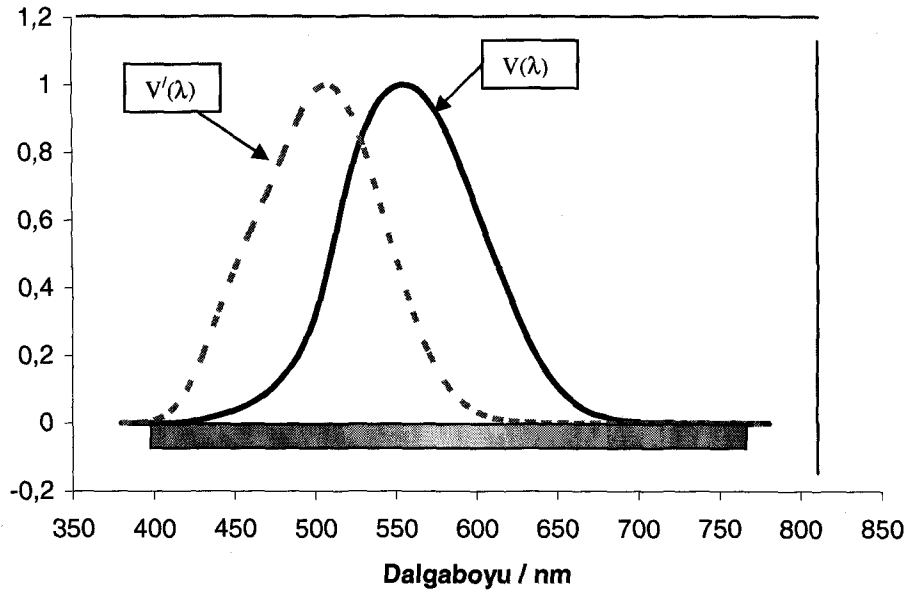
Tüm bu tasarımlar beyinle birlikte çalışan insan gözünden esinlenerek gerçekleştirilmiştir. Göz aynı zamanda ışık ve renklerin algılandığı en mükemmel cihazdır. Gündüz görme bölgesinde gözün algıladığı maksimum dalga boyu 555 nm, gece görme bölgesinde ise algılanan maksimum dalga boyu 510 nm'dir (Şekil 2.2) Buradan yola çıkarak optik ölçümlerde, özel optik filtreler kullanarak, insan gözü duyarlığına yakın fotometreler yapılmıştır.

Optik radyometri alanında temel nicelik olarak "watt" birimi ile ölçülen ışın akısı (gücü) kabul edilmektedir. Bu birime fotometri'de karşılık gelen nicelik, ışık akısı, birimi ise "lümen" dir. Optik radyometri ve fotometride yaygın olarak kullanılan önemli nicelikler ve birimler Çizelge 2.1' de verilmektedir. Radyometrideki birimler optik radyometrenin temel birimi watt'tan, fotometrik birimler ise ışık şiddeti birimi kandela'dan türetilerek elde edilir.

Radyometrik ve fotometrik teoriler arasındaki tek fark ölçüm birimleridir.

Radyometrik ölçümlerdeki karşılığı ışınım şiddeti (w/str) olan ışık şiddetinin birimi kandeladır ve en önemli fotometrik büyüklüktür. Aynı zamanda Uluslararası yedi temel ölçüm biriminden biri olan kandela aşağıdaki eşitlikle radyometrik birime dönüştürülür (DeCusatis, 1998).

$$I_v = K_m \int_{380}^{780} I_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (2.1)$$



Şekil 2.2 $V(\lambda)$ ve $V'(\lambda)$ fonksiyonları (Samedov ve Durak 2002)

$\lambda=555$ nm olduğunda 1 lm ışık akısı 0.001464 watt enerji akısına eşittir (1 watt =683 lm). İstenilen dalga boyu için watt'la lümen arasında alaka kurmak istersek görme eğrisinden istifade ederiz.

Örneğin; 510 nm monokromatik nokta kaynak ve 1/683 watt/steradyan ışınım şiddetinde düşünölsün 510 nm'de ki fotopik ışık etkisi 0.503'tür. Bu yüzden kaynak 0.503 Cd ışık şiddetine sahiptir.

Çizelge 2.1 Optik radyometri ve fotometride kullanılan önemli nicelikler ve birimleri(UME eğitim notları).

Fotometrik		Radyometrik		Foton	
Büyükölük	Birim	Büyükölük	Birim	Büyükölük	Birim
Işık Enerjisi	Lm·s	Işınım Enerjisi	J	Foton Enerjisi	*
Işık Akısı	Lm	Işınım Akısı	W	Foton Akısı	s ⁻¹
Işık Şiddeti	Cd	Işınım Şiddeti	W sr ⁻¹	Foton Şiddeti	s ⁻¹ sr ⁻¹
Aydınlık Düzeyi	Lx	Işınım Düzeyi	W m ⁻²	Foton Işınım Düzeyi	s ⁻¹ m ⁻²
Parıltı	Cd·m ⁻²	Işıma	W sr ⁻¹ m ⁻²	Foton Işıması	s ⁻¹ sr ⁻¹ m ⁻²

*Foton Enerji birimi fotonların sayısını ifade eder.

Semboller: Lm = lümen J = Joule s = saniye
Cd = kandela W = Watt m = metre
Lx = lüks, lm·m⁻² sr = steradian

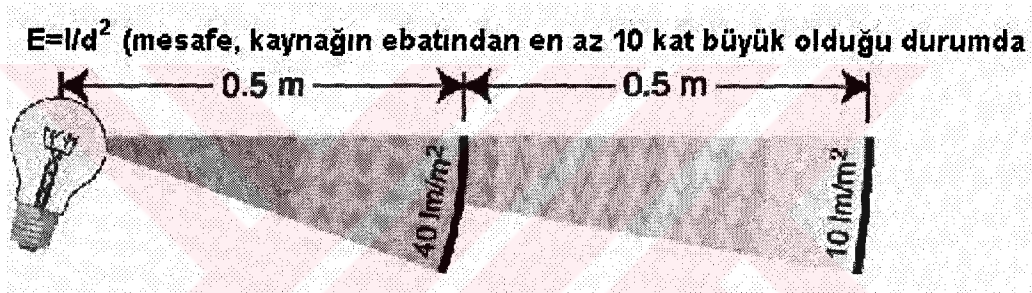
Radyometri ve fotometrinin anlaşılabilmesi için aşağıdaki tanımların bilinmesi gerekmektedir;

2.3 RADYOMETRİK ve FOTOMETRİK BÜYÜKLÜKLER

2.3.1 Işınım Enerjisi ve Işık enerjisi

Işınım Enerjisi ve Işık Enerjisi - verilen bir noktadan verilen bir zaman aralığı boyunca yayılan toplam enerjidir. Elektromanyetik ışıınım formunda bir kaynaktan gelen ışıınımı ifade eder ve radyometride Joule cinsinden, fotometride ise lm.sn cinsinden ölçülür.

Aydınlatmada, iki kuralın iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunlar ters kare yasası (Şekil 2.3) ve Kosinüs kuralıdır. Ters kare yasasına göre bir nokta kaynak ile aydınlatılan bir yüzeyin aydınlatması kaynağın şiddeti ile doğru ve kaynaktan yüzeye olan mesafe ile ters orantılıdır. Kosinüs kuralı verilen bir yönde yayılan veya algılanan akının, akının doğrultusuna dikey bir yüzeydeki algılayıcı veya yayıcının iz düşüm alanı ile değiştiğini ifade eder.



Şekil 2.3 Ters kare yasası (Samedov ve Durak, 2002)

Ters kare kanunu - bir noktasal kaynaktan yayımlanan ışıınım düzeyi ile mesafe arasındaki ilişkiyi tanımlar. Başka bir ifade tarzı ile yüzeye gelen ışıınım düzeyi, mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Örnek ile açıklayacak olursak, kaynaktan 0.5 m uzaklıkta yüzeye düşen ışıınım düzeyi seviyesi 40 lm/m² ise bu değer 1 m uzaklıkta 10 lm/m² olacaktır.

2.3.2 Işınım Akısı ve Işık Akısı

Işınım Akısı verilen bir yüzey üzerine düşen ışıınım gücünün miktarıdır ve birimi watt' tır. Örneğin bir lazer watt olarak çıkış gücüne sahiptir. Bu lazerin çıkış gücü 1 cm² lik bir dedektörün üzerine (dedektör alanı>lazer alanı) düşürülürse güç ölçer veya kalibreli radyometre yardımıyla watt olarak ölçüm sağlanır. Eğer aynı lazerin çapı bir ışık genişletici sistem ile artırılarak (dedektör alanı<lazer alanı) dedektör üzerine düşürülürse aynı kalibreli radyometre ile ölçüm ışıınım yoğunluğu veya watt/cm² olarak gerçekleşecektir.

Birim zamandaki enerjiye güç denir. Saniye başına joule (joule/sn) veya watt olarak ölçeriz. Belirli bir yüzeyden geçen ışık akısı, birim zamanda bu yüzeyden geçen ışık enerjisi değeridir. Işık enerji akısının birimi lümen(lm)'dir.

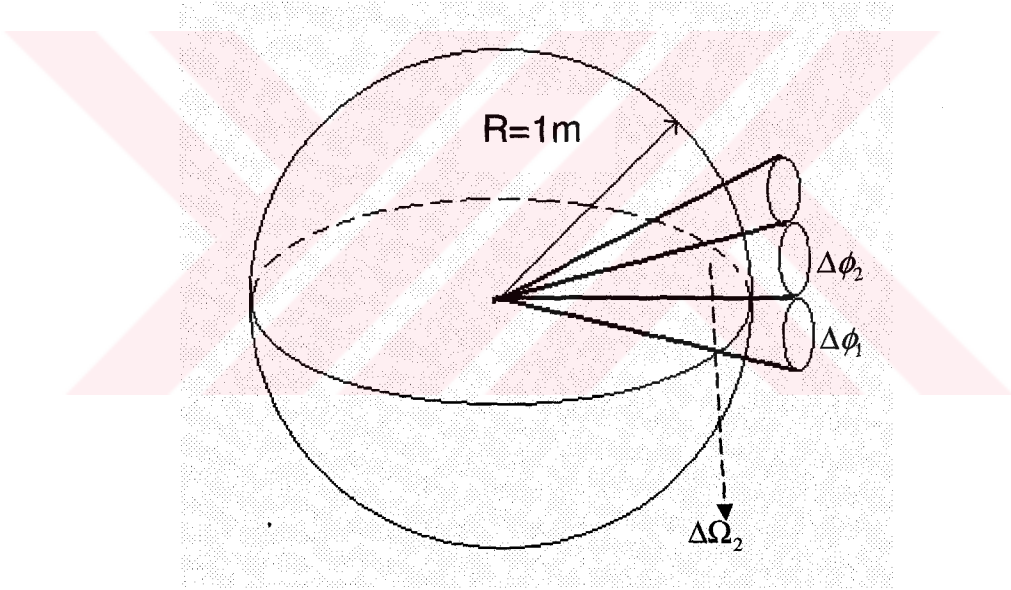
$$\Phi = dQ / dt \quad (2.2)$$

Bir cins eşyönlü ortamda, noktasal kaynaktan yayınlanan enerji, ondan çıkan doğru yollar boyunca yayılır. Bu nedenle bir cins eşyönlü ortamda yayılan dalga yüzeyi (aynı faz ile titreşen noktaların geometrik yeri) küreseldir.

Kaynağın yayınladığı tüm akı, $d\Omega$ gibi diferansiyel katı açıları içinde yayınlanan akılarının toplamına eşittir. Bu toplam,

$$\Phi = \int d\Phi \quad (2.3)$$

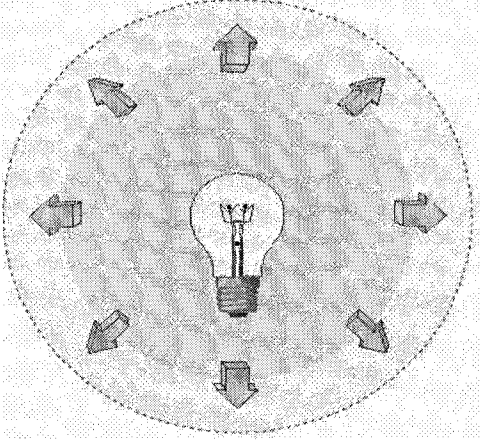
şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.4 Diferansiyel katı açılarda yayınlanan kısmi ışık akıları

Genel olarak bir ışık kaynağının toplam ışık akısı Φ , uzayın çeşitli yerlerine yayılan $\Delta\Phi_1$, $\Delta\Phi_2$, $\Delta\Phi_3$, ... kısmi ışık akılarının toplamı olarak düşünülebilir.

Işık Akısı göz duyarlılığına denk görünür bölgedeki ışıyım gücünü tanımlar (Şekil 2.4). Uzayda verilen herhangi bir noktadan geçen görünür ışık enerji akısının ölçülmesidir. Bir steradyanlık katı açı içerisindeki bir kandela'lık eşyönlü kaynağın meydana getirdiği akının miktarı olarak tanımlanır.



Güç Dönüşüm Birimleri

IŞINIM AKISI

$$1W = 683 \text{ lm (555 nm dalga boyunda)}$$

$$1 J = 1 W \cdot s \text{ (watt * saniye)} = 107 \text{ erg} \\ = 0.2388 \text{ gram * kalori}$$

IŞIK AKISI

$$1 \text{ lm} = 1.464 \times 10^{-3} W \text{ (555 nm'de)}$$

$$1 \text{ lm} \cdot s = 1 \text{ talbot (T)} \\ = 1.464 \times 10^{-3} \text{ joule (555 nm'de)}$$

Şekil 2.5 Yayınlanan Toplam Işınım / Işık Akısı (Samedov ve Durak, 2002)

2.3.3 Işınım Şiddeti ve Işık Şiddeti

Işık şiddeti, noktasal kaynaktan birim katı açı içinde yayınlanan fotometrik ışın enerjisinin ölçümüdür ve Kandela (lümen/steradyan) olarak ifade edilir.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.4)$$

denklemleri ile verilir.

Kaynak eşyönlü ise, yani yayınma, doğrultu ile ilgili olmadan tüm katı açılar içinde aynı değerde ise; bu durumda toplam ışın enerji akısı Φ ise, tüm katı açı ise 4π olduğundan böyle kaynaklar için ışık şiddeti,

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} \quad (2.5)$$

olur.

Işık şiddeti kavramı noktasallık kavramına sıkı sıkıya bağlıdır. Çünkü ancak bu sayede ışık şiddetinin tanımı mümkündür. Noktasal kabul edilmeyen bir ışık kaynağı için, yani sınır uzaklığından daha küçük uzaklıklar için ışık akısı tanımlanabilir, fakat ışık şiddeti tanımlanamaz. Bir ışık kaynağı ancak yeter derecede büyük bir uzaklıktan, yani sınır uzaklığı veya kritik uzaklık adı verilen bir uzaklıkta veya bundan daha büyük bir uzaklıktan bakıldığında noktasal kabul edilebilir. Sınır uzaklığı, kaynağın boyutunun yaklaşık 10 katı

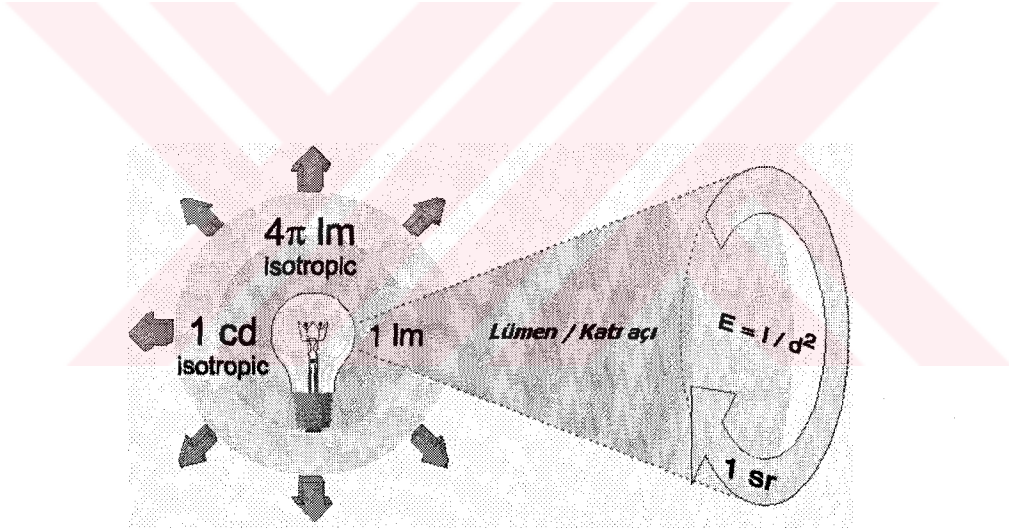
olmalıdır. Böyle olunca %1'den küçük hata ile hesap yapılabilir. Küresel ışık kaynakları, her uzaklıktan noktasal kabul edilebilecek özel bir duruma sahiptirler.

2.3.3.1 Kandelanın Tanımı;

Belli bir yönde ışınım şiddeti 1/683 watt/st'a eşit olan bir monokromatik kaynağın 540×10^{12} Hz frekansında olan aynı yöndeki ışık şiddeti 1 kandela olarak tanımlanır (Yaklaşık olarak 555 nm'dir ve bu da maksimum fotopik ışık etkisinin dalga boyudur)(Decusatis, 1998).

Bir noktasal kaynaktan r uzaklıkta yerleştirilen dedektör üzerine belli bir katı açıda gelen ve detektörün hassas alanını dolduran akının katı açısı oranıdır. Detektör alanı ve detektörün kaynağa olan mesafesi katı açısı tanımlar ($\Omega = \text{alan}/\text{mesafe}^2$).

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.6)$$



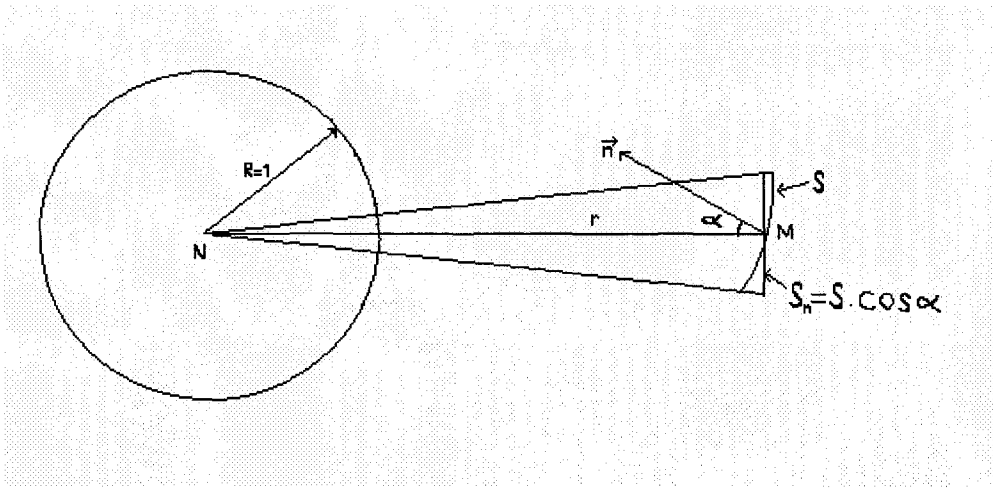
Şekil 2.6 Işık Şiddeti (Samedov ve Durak. 2002)

2.3.3.2 Katı (Uzay) Açı

Katı açı bir noktadan çıkıp koni veya piramit oluşturan yarı doğruların meydana getirdiği uzay parçası olarak tanımlanır. Katı açı bu koninin, yarıçapı r olan küreden ayırdığı küresel kabuğun alanının yarıçapın karesine bölümü ile ölçülür. Böylece bir noktaya ait uzay açısı;

$$\Omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \quad \text{sr'dır.} \quad (2.7)$$

olarak elde edilir.



Şekil 2.7 Işık kaynağından r kadar uzaklıkta bulunan küresel bir yüzeye ait katı açı

Aydınlatılan S yüzeyi N noktasal ışık kaynağından r uzaklığında bulunuyor ve S'nin NM doğrultusuna dik yüzeydeki iz düşümü alanı $S_n = S \cdot \cos \alpha$, ve bu alanın r yarıçaplı küre yüzeyinin bir parçasını oluşturduğunu düşünelim, bu takdirde bu yüzeye ait katı açı;

$$\Omega = \frac{S \cdot \cos \alpha}{r^2} = \frac{S_n}{r^2} \quad (2.8)$$

denklemini ile tanımlanır

Işınım Şiddeti katı açı başına radyometrik gücün ölçümüdür ve watt/steradian olarak ifade edilir. Benzer şekilde ışık şiddeti katı açı başına fotometrik gücün ölçümüdür ve Kandela olarak (lümen/steradian) olarak ifade edilir.

Şiddet Dönüşüm Birimleri

İŞINIM ŞİDDETİ

1 W/SR (watt / steradyan)
= 12.566 watt (isotropik) = $4 \cdot \pi$ W = 683 kandela (555 nm dalga boyunda)

İŞIK ŞİDDETİ

1 lm/sr (lümen/steradyan)
= 1 kandela = $4 \cdot \pi$ lümen (isotropik) = 1.464×10^{-3} watt/sr (555 nm'de)

2.3.4 Işınım Düzeyi ve Aydınlik Düzeyi

Işınım Düzeyi - Işınım Akısının dedektör alanına bölümü olarak tanımlanır. Aşağıdaki formül ile hesaplanan ışınım düzeyinin birimi W/m^2 dir.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.9)$$

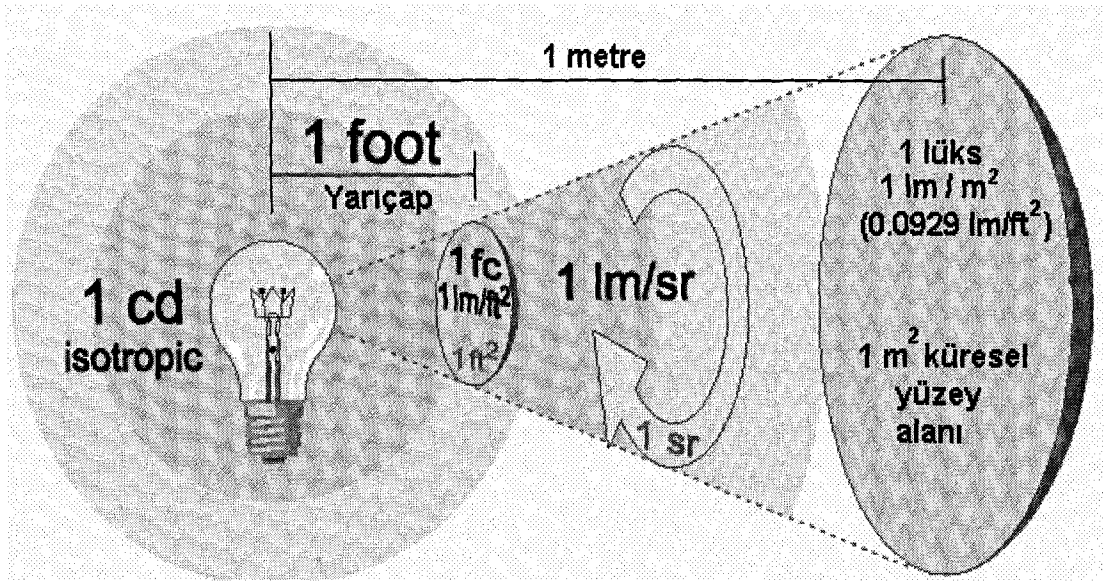
Çevresine düzenli biçimde ışıyım yapan ideal bir nokta kaynağından r_1 kadar uzaklıktaki yüzey üzerindeki ışıyım düzeyi $E_1 = \Phi/A_1$ formülü ile verilir Aynı alana sahip ve aynı kaynağın akısına maruz kalan r_2 uzaklığındaki ışıyım düzeyi ise $E_2 = \Phi/A_2$ dir. Buradan herbir dedektörün birim yüzey alanına düşen akı $\phi = I\Omega$ şeklinde bulunur. Katı açısı aynı olduğundan sözü edilen mesafeler $A_i = \Omega r_i^2$ şeklinde bulunur. Bu ifadeleri birleştirecek olursak;

$$E = \frac{\phi}{A_i} = \frac{I\Omega}{r_i^2 \Omega} = \frac{I}{r_i^2} \quad (2.10)$$

bağıntısını elde edilir. Bu bağıntı ışıyım düzeyinin ters kare yasası olarak adlandırılır. Bu bağıntıya ulaşılırken küresel bir yüzey boyunca ışıyım düzeyinin sabit olduğu gerçeği göz önüne alınmamıştır.

Aydınlık düzeyi (fotometrik ışıyım düzeyi) bir yüzey üzerinde bulunan bir noktada birim alandaki ışık akısıdır. Birimi lüks (lm/m^2) 'tür Aydınlanma denklem (2.9)'daki gibi tanımlanır: Denklemde Φ , nokta üzerine gelen ışın akısı ve dA nokta etrafındaki diferansiyel alandır

Aydınlık Düzeyi bir yüzey üzerine düşen ışık akısının meydana getirdiği aydınlatmadır ve ışık akısının dedektör alanına bölümü olarak ifade edilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.8 Aydınlık düzeyi (Samedov ve Durak, 2002)

Bir metrekairelik alan üzerine düşen bir lümenlik aydınlatma bir lüks olarak tanımlanır. Şekildeki ışık kaynağı olarak kullanılan lamba 1 cd 'lık ışık şiddeti vermektedir. Işık ölçümlerindeki temel birim olan kandela, tüm yönlerde homojen olarak 1 sr katı açıda yayımlanan 1 lm ışık akısına göre tanımlanır. Bu tanımda sözü geçen steradyan, aydınlanan yüzey alanının bu yüzeye kadar olan mesafenin karesine bölünmesi ile tanımlanır. Bundan dolayı, 1 steradyan, 1 m mesafede 1m^2 izdüşümü alanına sahiptir. Bu yüzden, 1 cd 'lık ışık kaynağı benzer şekilde 1foot mesafede 1lm/foot^2 ve 1m mesafede 1lm/m^2 aydınlık düzeyi meydana getirecektir.



3. IŞIK AKISI BİRİMİNİN ÖLÇÜLMESİ

Işık akısı birimi olarak lümen, ışık kaynakları için en önemli olan ölçüm büyüklüklerinden biridir. Işık akısı büyüklüğü genelde endüstri laboratuvarlarında toplama küre metodu kullanılarak, lambanın yerine koyma yöntemine göre ölçülmesi sonucu elde edilir. Işık akısı ölçümleri uluslar arası laboratuvarlarda farklı metotlarla ölçülmektedir. Işık Akısı standartları genel olarak iki metota göre oluşturulmaktadır. Bu metotlar uluslararası standartlar laboratuvarında gonyofotometre yardımı ile (aydınlatma, parıltı ve ışık şiddeti dağılımlarını ölçmek için), endüstriyel ölçümler için ise toplama küresi (Ulbricht küresi) kullanılarak gerçekleştirilir.

Işık akısı ölçümlerinde standart olarak kullanılan lambaların mutlak kalibrasyonu ise Ulusal Metroloji Laboratuvarlarınca gonyofotometre yardımı ile gerçekleştirilir. Bu bağlamda ışık akısı ölçümleri Metroloji enstitüleri arasında iki farklı yöntemle ölçülmektedir:

- a) Gonyofotometre
- b) Toplama küresi (Ulbricht küresi)

3.1 GONYOFOTOMETRİK YÖNTEM

Bir ışık kaynağının toplam ışık akısı, ışık şiddetinin, 4π katı açısı üzerinden açısal entegralinin alınması ya da aydınlatmanın kapalı bir alan üzerinden uzaysal entegralinin alınması ile de bulunabilir (Rastello, Miraldi ve Pisoni, 1996).

$$\Phi_v = \int I_v d\Omega \quad (3.1)$$

veya

$$\Phi_v = \int E_v dA \quad (3.2)$$

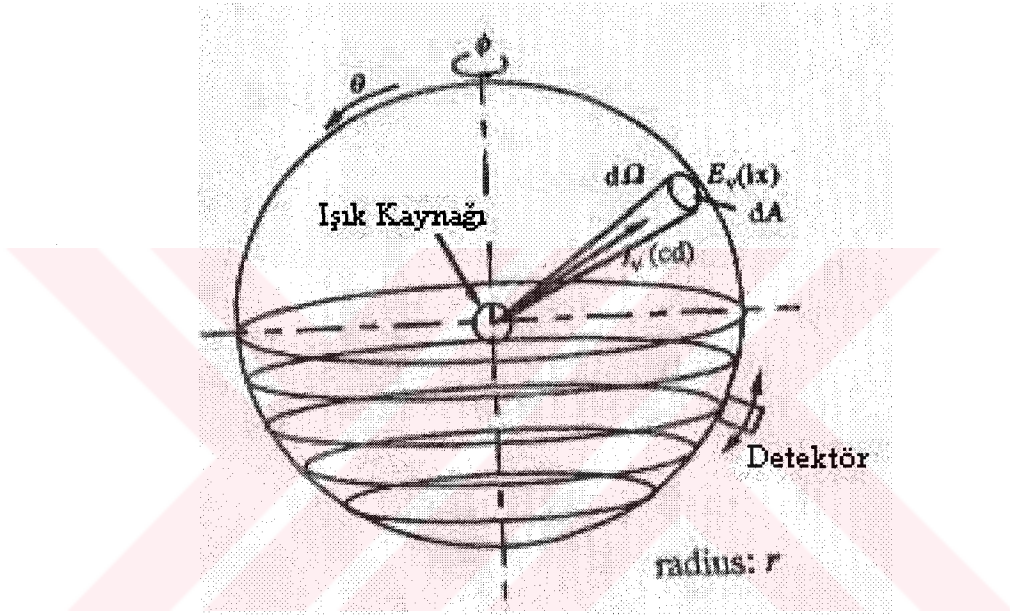
Genellikle gonyofotometreler ışık akısı büyüklüğünün oluşturulmasında kullanılır. Bu büyüklüğe "lümen" denmektedir ve şekil 3.1'de gösterilmektedir. Gonyofotometre bir kaynağın ya ışık şiddeti dağılımını $I(\theta, \phi)$ (cd olarak) ya da aydınlatma dağılımını $E_v(\theta, \phi)$ (lüks olarak) ölçer. Bu ölçümler sonucunda ışık akısı aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanabilir.

$$\Phi_v = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} I_v(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi \quad (3.3)$$

veya

$$\Phi_v = r^2 \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} E_v(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi \quad (3.4)$$

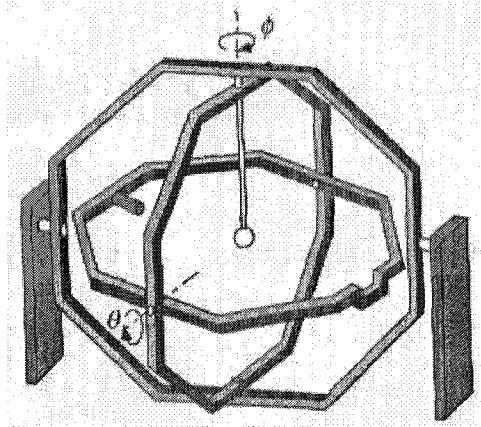
Burada r , (metre olarak) küresel yüzeyin yarıçapıdır.



Şekil 3.1 Toplam ışık akısını ölçmek için gonyofotometrik yöntem

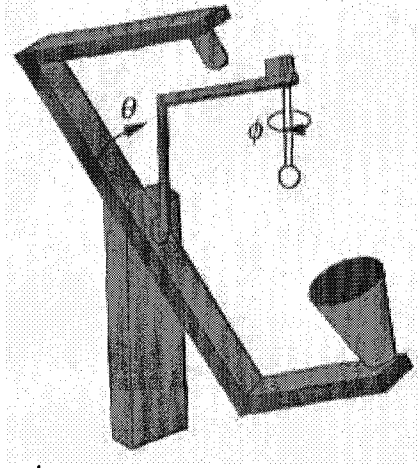
Gonyofotometrede kullanılan detektörün kalibrasyonu gonyofotometrede veya fotometrik ray üzerinde yapılabilir. Gonyofotometre üzerinde kalibre etmek istenilirse, detektörün dönme merkezine göre yerleştirilmiş bir kalibreli ışık şiddeti lambası kullanılır. Detektör bilinen ışık şiddeti değerleri için kalibre edilir. Bu metodun üstünlüğü, detektörün dönme çapının ölçülmesine ihtiyaç duyulmamasıdır. Detektör fotometrik ray üzerinde kalibre edilirse, detektör gonyofotometreden sökülür ve aydınlatma duyarlılığı için ray üzerinde kalibre edilir. (3.4) bağıntısına göre detektörün dönme çapının çok hassas bir şekilde ölçülmesi gerekir. Işık akısı birimini elde ederken göz önünde bulundurulması gereken nokta ölçümün düşük ölçüm belirsizliğine sahip olmasıdır. Bu amaçla özel tasarlanmış gonyofotometreler kullanılır. Gonyofotometreler geniş bir şekilde sokak lambalarının (armatürler, luminerlerin) ışık şiddeti dağılımının ölçülmesinde kullanılmaktadır. Bu tip gonyofotometrelerin genellikle lümen ölçme yetenekleri yoktur ve "ölü açıları" da çok büyük olmaktadır. Bu nedenle polarizasyona

çok hassas olmalarından ötürü, aynalı gonyofotometreler kullanılmamaktadır. Lambanın yanma pozisyonundaki bir değişiklik lamba çıkışı değiştirir için sabit detektör tipli gonyofotometreler de bu amaçla kullanılamaz



Şekil 3.2 (Samedov ve Durak, 2002)

Şekil 3.2'de ve 3.3'de Ulusal Metroloji Enstitülerinde kullanılan ışık akısı ölçen gonyofotometreler gösterilmektedir. Hassas ölçümler yapabilmek için lambanın yanma pozisyonunu değiştirmemek ve "ölü açığı" mümkün olduğu kadar küçük tutmak gerekmektedir. Şekil 3.2' de gösterilen üç eksenli gonyofotometre CIE tarafından uygun görülen ideal gonyofotometre tipidir. Şekilde de görüldüğü gibi, lambanın yanma pozisyonu istenilen açıya ayarlanabilir. Bu yapıldıktan sonra ölçüm boyunca lambanın ölçüm pozisyonu ile oynanmaz. Eksen kontrolü değişik yollardan sağlanabilir, genellikle ortadaki eksenin (ϕ) hareketi en içteki eksenin hareketinden daha hızlı olmalıdır. Detektör ışık şiddeti değişiminin genellikle küçük olduğu yatay ekseninde hareket ettirilir. Bu sayede yükseltecin zaman sabitinden kaynaklanan problemler azaltılmış olur. Detektörden alınan sinyal ϕ eksenindeki her bir hareket için sürekli toplanır. Bu da ölçümler boyunca zaman ve ölçüm hassasiyeti kazandırmaktadır.



Şekil 3.3 İki eksenli gonyofotometre [Samedov, 2000].

Şekil 3.3’de gösterilen gonyofotometre iki eksenli bir gonyofotometredir. Bu tip gonyofotometrede detektör sabit olan bir lambanın etrafında döndürülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çalışma öncesi lamba istenilen açı değerine getirilmektedir. Detektörün tam karşısına kaçak ışıkları (straylight)’ı en aza indirmek için bir ışık tuzağı konulmuştur. Bu tip gonyofotometrelerde dikkat edilmesi gereken lambanın titreşimlerden ve soğutmak için kullanılan hava akımından etkilenmemesidir. İki eksenli Gonyofotometreler lamba sıcaklığı sabit tutulamadığından, flüoresan lambalar için kullanılmamaktadır. Ayrıca detektörün sürekli hareketi bu tip sistemlerde daha zordur, bunun nedeni ise ışık şiddetinin detektörün dönme düzlemi boyunca kuvvetli bir şekilde değişmesidir. İki eksenli gonyofotometrede ölçümler daha uzun bir zaman almaktadır. Gonyofotometrenin tipinden bağımsız olarak yüksek doğrulukta ölçümlerin alınabilmesi için azami dikkat gösterilmelidir. Kaçak ışık hatalarını mümkün olduğunca azaltmak için cihaz karanlık bir odaya kurulur. Detektörün görüş alanını değiştirebilmek için detektör önüne farklı engeller konulabilmelidir. Detektörün karşı tarafına bir ışık tuzağı konulmalıdır. Gonyofotometrenin "ölü açısı" hesaplanıp düzeltmeler yapılmalıdır. Lamba soketi ve tutucusu yüksek yansıtma katsayısına sahip bir malzemeden yapılmış olmalıdır. Bütün mekanik parçalar mat siyaha boyanmalıdır.

3.2 TOPLAMA KÜRESİ YÖNTEMİ

Ulusal laboratuarlarda ağırlıklı olarak artık özel tasarıma sahip toplama kürelerinin gonyofotometreler yerine kullanıldığı gözlemlenmektedir. Bu metotta tüm ışık şiddeti kullanılacağına bir referans kullanılmaktadır. Bu durumda belli bir ışık şiddeti dışarıdan küre içerisine gönderilmektedir. Bunu sağlamak için küreye belli bir büyüklükte delik (apertür) açılır. İçeri verilen ışığın şiddeti ile aydınlatılan alanın çarpımı sonucunda ışık akısına ulaşılır.

Kürenin iç yüzeyinin minimal spektral seçiciliği (selectivity) ve yüksek yansıma katsayısına sahip olması gerekir. Bu şartlar belirsizliği etkiler.

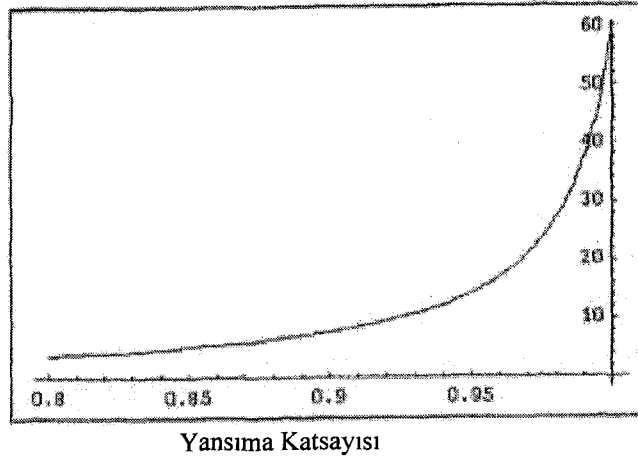
Pratikte gönderilen ışık küre yüzeyinin sadece küçük bir kısmını direk olarak aydınlatır ve bu direk olarak aydınlatılan alanın ölçüm büyüklüğü üzerine etkisi doğal olarak kürenin diğer kısımlarına nazaran daha büyüktür. Küre iç yüzeyinin tüm ölçüm büyüklüğü üzerindeki etkisini görebilmek için kürenin iç yüzeyi küre tarayıcısı ile taranmalıdır. Küreyi yüzey boyunca taramak için küre içerisinde aydınlatma katı açısı küçük olan bir lamba kullanılır (Osram Wi/40). Sözü edilen lamba küre merkezine yerleştirilerek x-y eksenleri boyunca hareket ettirilerek küre içerisinde spesifik yüzeylerin aydınlatılması sağlanır. Aydınlatılan her bir alandan sinyal ölçülür ve bu ölçüm sonuçları kullanılarak küre yüzeyi için bir düzeltme katsayısı bulunur (Ohno, 1994).

Endüstride kullanılan çalışma standartları genellikle küre kullanılarak kalibre edilir. Küre ile kalibrasyon, yerine koyma yöntemi uyarınca yapılır. Bu yöntemde çalışma standardı ile transfer (referans) standardı değiştirilerek ölçümler yapılır ve çalışma standardının değeri transfer standardının değerine kıyaslanarak kalibrasyon yapılır. Küre fotometresi genellikle ayrılabilir iki yarıküreye sahiptir (Bkz. Şekil 3.1).

Böyle bir düzenek ile aydınlatma şiddeti, E aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$E = \frac{\Phi}{A_k} \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (3.5)$$

Verilen bağıntıdan görüleceği gibi, kürenin çapı büyüdükçe A_k değeri de büyüyecektir ve bu da aydınlatma şiddetinin küçülmesine neden olacaktır. İfadedeki ikinci terim bağıntıdan da anlaşılabilir gibi, küre yüzeyinin yansıma katsayısına bağlıdır. Yüksek yansıma katsayısına sahip bir yüzey için, yansıma katsayısındaki dalga boyuna bağlı küçük değişimler küre hassasiyeti üzerine büyük etkilere sahiptir (DeCusatis, 1998). Bu etki Şekil 3.4'de gösterilmektedir.

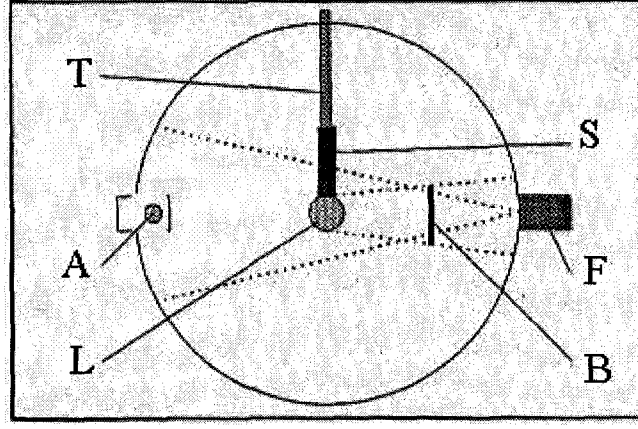


Şekil 3.4 Göreceli hassasiyetin küre boyasının yansımaya katsayısı ile değişimi.

Bu tip değişiklikler uzun dönem kullanım sonucunda, özellikle kürenin alt yarıküresinde toz birikmesi ve kısa dönemde sıcaklık ve nem değişimlerinden kaynaklanabilir. Bunun yanında **etkin (efektif) yansımaya katsayısı** üzerine etkili olan başka bir faktör de transfer standardı ve test lambası için küre içerisindeki cisimlerden kaynaklanan farklı yutma değerleridir.

3.2.1 Ölçüm Prensibi

İki yarıküreye sahip toplama küresinin iç yüzeyleri homojen bir şekilde özel olarak üretilen mat beyaz boya ile (BaSO_4) boyanmalıdır. Küre içerisindeki aydınlatma seviyesini ölçmek için kürenin çıkışına kosinüs düzeltmesi olan bir adet fotometre başlığı (F) takılmalıdır. Şekil 3.5' den de görüldüğü gibi, küre içerisinde bir lamba tutucu (T) ve adaptör (S) mevcuttur. Ölçümlerde kullanılan fotometre başlığının doğrudan aydınlatılmasını önlemek için, fotometre başlığı ile kullanılan lamba arasına bir adet "baffle" (B) yerleştirilmelidir. Bu "baffle" ın fotometre başlığından uzaklığı genelde küre çapının 1/4' i kadar seçilir (CIE No:84).



Şekil 3.5 Toplama küre prensibi

Ölçümlerde küre içerisindeki yansımaları engelleyen yabancı cisimlerin (Engel, kablo, lamba, lamba tutucusu ve vb.) ölçümü ne kadar etkilediğini ölçmek için küre içerisinde bir adet yardımcı lamba (A) kullanılır. Bu lamba çalıştırılarak küre içerisindeki yabancı cisimlerin ölçüm üzerindeki etkisi hesaplanır ve ölçüm sonucunda hesaplamalara dahil edilir. Kurulmuş olan bu tür düzenek yardımı ile ölçülen aydınlık düzeyi (E) (3.5) formülü ile gösterilmiştir. Bu eşitlikte; E : aydınlık düzeyi, Φ : ışık akısı, A_k : kürenin iç çapı ve ρ : küre içerisinde kullanılan boyanın yansıtma katsayısıdır. Görüldüğü gibi kürenin çapı büyüdükçe (A_k) aydınlatma düzeyi azalacaktır. İfadedeki ikinci terim küre yüzeyinin yansıtma katsayısına bağlıdır.

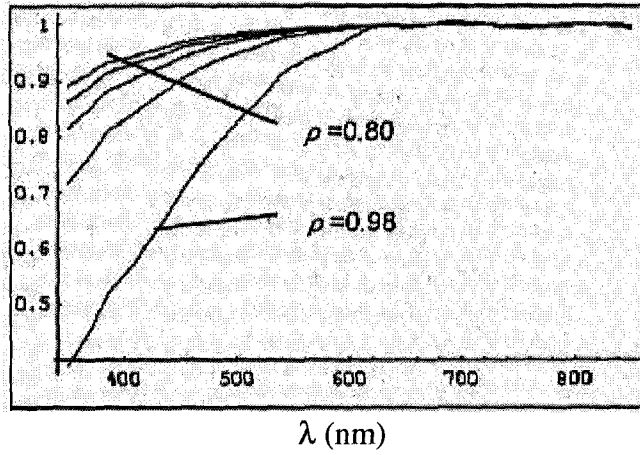
Küre faktörü olarak bilinen **k** aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$k = \frac{1}{A_k} \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (3.6)$$

Pratikte (3.6) eşitliğinin kolay bir şekilde hesaplanması için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$k = \frac{\Phi}{E} \quad (3.7)$$

Ölçümlerin doğru şekilde gerçekleştirilmesi için küre iç yüzeyi yansıtma faktörü $\rho \approx 0.80$ olarak seçilmesi önerilmektedir. Yani pratikte, tam beyaz iç boya kaplama yerine hafif gri bir yansıtma boyası daha az seçici olduğundan daha tutarlı ölçüm sonuçları vermektedir.



Şekil 3.6 $\rho = 0.80 - 0.98$ arası yansıtma faktörleri için küre boyası spektral fonksiyonunun $[\rho(\lambda)/(1-\rho(\lambda))]_{rel}$ dalgaboyuna (λ , nm) bağlı değişimi

Grafikten de gözüktüğü gibi $\rho \approx 0.98$ gibi daha büyük olduğu takdirde (BaSO_4 boyasının yansıtması genelde %98' dir) küre iç yüzeyindeki en küçük değişimler dalga boyuna bağlı olarak ölçümleri büyük bir şekilde etkilemektedir. Şekil 3.6 'da görünür bölgede dağınık yansıtma standardı olarak kullanılan Baryum Sülfat boyasının ve 0.8 yansıtma faktörüne sahip boya için spektral fonksiyonun $(\rho(\lambda)/(1-\rho(\lambda)))$ dalga boyuna (λ , nm) bağlı değişim eğrisi gösterilmiştir. Küre içi boya her yıl kontrol edilmeli ve kirlenmekten korunmalıdır.

3.2.2. Küreden Kaynaklanan Ölçüm Hatalarının Düzeltilmesi

Buraya kadar anlatılan kürede, bir test lambası, bir referans standardı kullanılarak kalibrasyon yapılacaksa, ölçüm sonucunda bir düzeltmenin yapılması gerekmektedir. Tabii ki bu durum, yukarıda toplama küresi metodunda anlatılan lambalarla ilgili beş maddenin sağlanması halinde geçerlidir. Buna rağmen pratikte çeşitli farklılıklar oluşabilir. Bu farklılıkları en aza indirmek için ek ölçümler yapılmalıdır.

3.2.3. Lamba Tutucu, Lamba Soketi ve Lambanın Yanma Pozisyonu

Lamba tutucu, lamba soketi ve lambanın yanma pozisyonu her iki lamba için aynı değilse doğal olarak her bir lambanın yaydığı ışığın çoklu yansımaları farklı olacaktır. Bunun gibi yabancı cisimlerden gelen etkiyi yardımcı bir lamba yardımı ile düzeltmek mümkündür. Bunun için transfer standardı küreye takılır, ama çalıştırılmaz ve şekil 3.5'de gösterilen yardımcı lamba çalıştırılarak kürenin içi aydınlatılır. Bu lambadan ölçülen aydınlatma şiddeti E_{HR} ile gösterilir. Sonra transfer standardı yerine test lambası takılarak aynı işlemler tekrarlanır. Test lambası için ölçülen aydınlatma şiddeti E_H ile gösterilir. Bu ölçümlerde

önemli olan, her iki ölçüm için yardımcı lambanın aynı akımda çalıştırılmasıdır. Bu ölçümler sonucunda düzeltme faktörü katılarak oluşturulan ışık akısı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\Phi = \Phi_R \frac{E}{E_R} \frac{E_{HR}}{E_H} \quad (3.8)$$

Yinede bu düzeltme bazı durumlar için geçerli değildir. Bu durumlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Transfer ve test lambasından yayımlanan ışık akısının gölgede kalan kısımlarının tüm ışık akısına oranının büyük olduğu durumda.
2. Lamba tutucusunun büyük olduğu durumlarda
3. Soğurulmanın (absorpsiyonun) büyük olduğu durumlarda.

Çapı küçük olan küreler için küre içerisinde oluşacak gölge lambanın konumu ile doğrudan ilgilidir. Bu durumdan kaynaklanan hataya yakın alan soğurulması adı verilir. Yine böyle bir kürede büyük bir lamba tutacağının kullanımı ölçüm büyüklüğü üzerinde düzeltilemez hatalara sebep olmaktadır.

3.2.4.Termal Dayanım

Küre içerisindeki ışık akısını ölçmek için lambadan yayılan ışık, tüm küreye eşyönlü olarak dağıtılmaktadır. Bu da lambadan yayılan ısının küre yüzeyine dağılması demektir. Küçük çaplı küreler için bu küre sıcaklığının artması anlamına gelmektedir. Bu durum aşağıda maddeler halinde verilen etkilere neden olmaktadır.

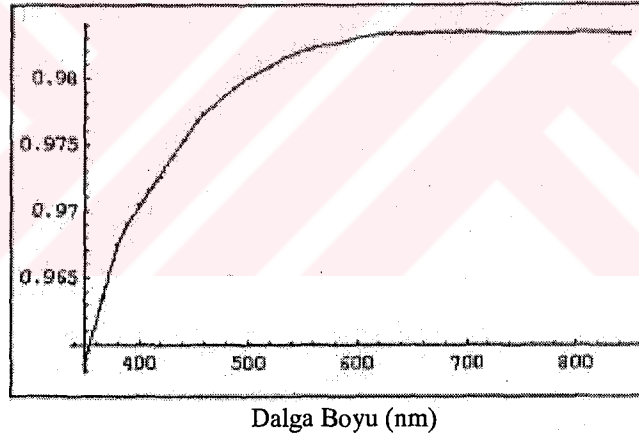
- a. test ve transfer lambaları için çevre sıcaklığının değişmesi
- b. küre boyasının yansımalarının değişmesi

Bu yüzden, yani lambaların fazla ısınmaması için, lambaları çalıştırmakta kullanılacak olan elektriksel büyüklükler minimum büyüklükte olmalıdır. Böylece ölçüm boyunca kürenin içinde sıcaklık sabit tutulabilir. Ölçüm süresinin azaltılması sonucu yine de sıcaklık sabit tutulamıyorsa aynı elektriksel büyüklüklerde çalışan iki lamba kullanılmalıdır. Böylece, her bir lambanın kürenin sıcaklığını eşit miktarda yükselttiği bir ortama kavuşulmuş olur. Başka bir alternatif yol, ölçüm öncesinde küreyi başka bir lamba ile ısıtmaktır. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken husus fotometre başlığının ısınmasını önlemektir, çünkü fotometre başlığı ısındığı zaman fotometrik değerlerde değişimler olabilmektedir.

3.2.5. Işığın Küre İçerisindeki Spektral Dağılımı

Günümüzde kullanılan boyaların dalga boyuna göre yansıma değerleri seçici olmaktadır, yani fotometre başlığındaki $V(\lambda)$ filtrenin uygunluğu küre içerisindeki çoklu yansımalar yüzünden değişmektedir. Şekil 3.7’de BaSO_4 boyasının dalga boyuna göre yansıma değerlerindeki değişim gösterilmektedir. Çoklu yansımaların etkisini görmek için Şekil 3.6’ya bakmak yeterlidir. Grafikte BaSO_4 ün 0.8 ile 0.98 yansıma katsayıları için seçiciliğindeki (selectivity) değişim gözlenmektedir. Bu durumda ışık akısını bulmak için (3.9) no’lu bağıntı kullanılır. Küre boyasının spektral seçicilik kavramı bizi karışık bir kavram olan **uygunluk düzeltme faktörüne** getirir.

$$\Phi = \Phi_R \frac{y}{y_R} \frac{y_{HR}}{y_H} \frac{\int S(\lambda) V(\lambda) d\lambda \int S_R(\lambda) \frac{\rho(\lambda)}{1-\rho(\lambda)} s_{rel}(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) \frac{\rho(\lambda)}{1-\rho(\lambda)} s_{rel}(\lambda) d\lambda \int S_R(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (3.9)$$



Şekil 3.7 BaSO_4 boyasının dalga boyuna göre yansıma değerlerindeki değişimi

Eğer kullanılan her iki lamba akkor lamba ise düzeltme faktörü için bir yaklaşım yapılabilir. Bu yaklaşım ileride belirtilecektir.

Eğer bir akkor lamba iki farklı elektriksel büyüklük için standart olarak kullanılıyorsa, iki tane de dağılım, dolayısıyla iki tane de farklı ışık akısı oluşacaktır. Bunun sonucunda m_k şu şekilde bulunacaktır:

$$m_k = \log \left[\frac{\Phi_1 y_2}{\Phi_2 y_1} \right] / \log \left[\frac{T_1}{T_2} \right] - m \quad (3.10)$$

3.2.6. Lambaların Küre İçerisindeki Pozisyonu

Kullanılan her iki lambanın küre içerisinde aynı noktada olması gerekmektedir, aksi takdirde fotometrenin dik olarak aydınlatılmamasını sağlayan gölge farklı durumlarda olacaktır. Bu da beraberinde bir hata getirmektedir.(CIE publication, 1989)

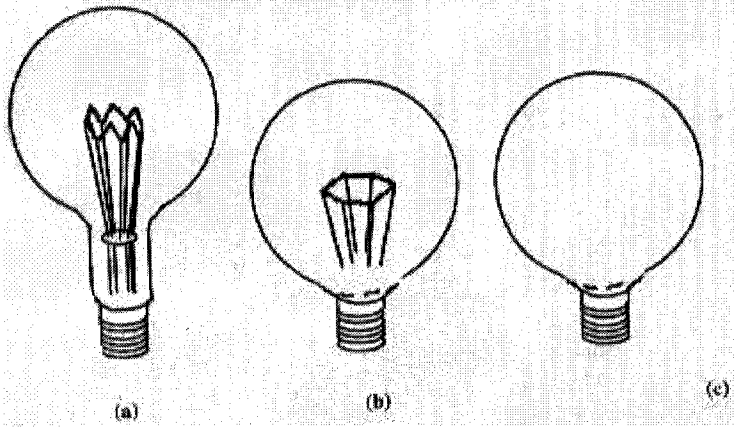
3.2.7. Lambaların Işık Şiddeti Dağılımının Kontrolü

Gerçek hayatta kullanılan toplayıcı kürelerle ölçülen ışık akısı büyüklüğü ışık akısının dağılımına, yönüne ve küreden kaynaklanan homojen olmayan etkilere bağlıdır. Özellikle yansıma katsayısının ışık akısı değerine etkisi büyüktür. Bunun yanı sıra, oluşan gölgenin büyüklüğü ve konumu, hatta kosinüs düzeltmesi olan fotometre başlıklarındaki homojen olmayan etkilere de bağlıdır.

Genel bir kullanım için CIE tarafından yansıma katsayısı 0,8 olan boya önerilmektedir. Bu değerdeki yansıma katsayısı sayesinde, kürenin tozdan kaynaklanan kirliliğin etkisi minimize edilmiş olur. Yansıma katsayısı sözü edilen değerlerden büyük olan kürelerin ışığı toplama verimliliği azalmaktadır. Eş yönlü olmayan ışık dağılımları için bu verimlilik incelenebilir. Bunun için bu tip bir lamba küreye takılarak lamba dik eksen boyunca kendi eksenini etrafında çevrilir ve sinyalin büyük oranda değiştiği konum tayin edilir. Böyle bir ölçüm sonucunda 360° dönme sonucunda elde edilen minimum ve maksimum değerler arasındaki fark homojen olmayan toplama verimliliğine ait belirsizlik olarak adlandırılır.

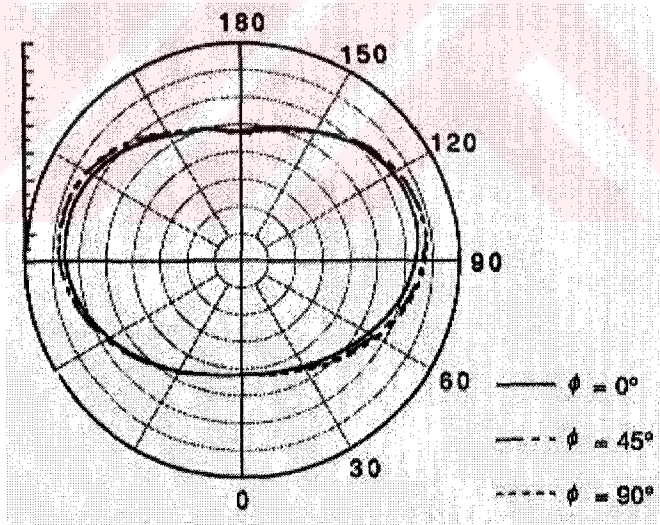
3.3 Işık Akısı Transfer Standartları

Işık akısı büyüklüğü sadece lambalara aktarılabilir. Özellikle ışık akısı lambaları olarak gaz-doldurmalı, akkor lambalar kullanılmaktadır. Bu lambalar için özellikle E27 veya E40 soketleri kullanılmaktadır. Işık şiddeti lambaları için yapılan ayarlama işlemleri ışık akısı lambalarında gerekmez. Bu nedenle kırılmanlı filamanlı ve yetersiz, kararlılıktaki filamanlı bazı lambalar standart olarak oluşturmağa uygun değildir



Şekil 3.8 Standart ışık akısı lambaları

Şekil 3.8’de ışık akısı standart lambalarının üç tipi örnek olarak gösterilmiştir. Şekildeki (a) tip dairesel ve zigzag şekilli filamanlı lamba, değişmez bir açısal dağılıma sahiptir. (b) tip lamba dairesel uzlaşmalı flamana sahiptir. (c) tip lamba ise benzer uzlaşmalı flamana sahip opal ampullü bir lamba gösterilmiştir. Bu tip lambalar değişmez bir açısal dağılıma sahiptir. Opal ampullü lambaların genelde gonyofotometrik ölçümlerde kullanılması tavsiye edilir. Bu tip lambalar için açısal ışık dağılımı Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9 Işık Akısı lambasının açısal ışık şiddeti dağılımı

Ölçümlerdeki hesaplamalarda dikkat edilmesi gereken önemli noktalar, toplama küresinin ışığı ne kadar soğurduğu, spektral *mismatch*, açısal ışık dağılımı, lambanın boyu ve bu tür başka faktörlerdir. Işık akısı lambalarının, ışık şiddeti lambalarında olduğu gibi önceden uzun süre çalıştırılması (aging), akım kararlılığının ve tekrarlanabilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Lambanın yaşlanma karakteristiği çoğunlukla lamba tipine ve renk dağılımına

bağlı olarak değişmektedir. Işık akısı lambaları 2700-2800 °K renk dağılımı aralığında kullanılmaktadır.

3.4. Işık Akısı Ölçüm Prosedürü

Işık akısı ölçümlerinde kullanılan kürenin boyası, %80-85 arasında yansıma sağlanacak şekilde seçilmelidir. Küredeki ölçümlerin doğru yapılabilmesi için küre içerisindeki her bir elemanın (diyafram, lamba tutacağı ve soketi) bu boya ile boyanması gerekir. Küredeki sinyali ölçmek için $V(\lambda)$ fotometre başlığı (F) kullanılır (Bkz. şekil 3.5). Detektöre gelen ışık farklı açılar altında geldiğinden bu fotometre başlığı önünde opal cam (O) kullanılmalıdır. Küredeki sıcaklığı ölçen sensör (S) diyaframın arkasına yerleştirilir (çünkü küredeki homojen sıcaklık dağılımını kontrol etmek için sensör lambadan uzak tutulmalıdır). Küre içerisinde kullanılan diyafram (D) lamba ile (L) fotometre başlığı arasında, yarıçapın 1/3 'ne (detektöre yakın) yerleştirilmelidir. Kullanılan diyafram lambanın çapından çok büyük olmamalıdır (büyük olursa detektör karanlıkta kalır). Küre içerisinde detektörün tam karşısındaki duvara yardımcı lamba (A) yerleştirilir. Yardımcı lamba olarak oto lambası (halojen) kullanılır. Bu yardımcı lambanın görevi, ölçümlerde kullanılan standart veya test lambasının ışığı ne kadar soğurduğunu ölçmektir. Sistemde bir adet sayısal voltmetre (HP) kullanılır. Kullanılan bu voltmetre, scanner (Sc.) ve bilgisayara bağlanır. Bu voltmetre, yardımcı lambanın, test veya standart lambanın akım ve gerilimini, fotometre başlığı ile alınan sinyali, küredeki sıcaklık değerini okumak için kullanılır.

Ölçümlere başlamadan önce ilk adım olarak standart lamba sokete takılarak düzlemselliği sağlanır. Lamba tam olarak diyafram arkasında kalacak şekilde ayarlama yapılır ve lamba düşük akımda çalıştırılır. Kenardan bakıldığında diyaframın gölgesinin detektörün üzerini tamamen kapatmış olduğunun gözükmesi gerekmektedir. Eğer detektöre ışık geliyorsa lamba tutacağı yukarı-aşağı ayarlanarak düzeltilir ve lamba kapatılarak ayarlama işlemleri tamamlanmış olur.

İkinci adım olarak küre kapatılır (standart lamba sokette kalıyor) ve yardımcı lamba gereken akımda çalıştırılır ve standart lambanın ışığı ne kadar soğurduğu (self-absorption correction factor) ölçülür. Yardımcı lambanın akım kararlılığı için 15 dakika beklenir. Akım kararlılığı sağlandıktan sonra lambanın akımı, gerilimi, küredeki sıcaklık, alınan ana sinyal ve zemin sinyalleri kayıt edilir. Bu ölçümler 12 defa tekrarlanır ve ortalama değerleri hesaplanır.

Aşağıda, bu ölçüm prosedürüne uygun olarak gerçekleştirilmiş bir deneyin verileri sunulmuştur.

Lamba : Osram G118 (standart)

$I_{yardımcı}$: 0.370266 A

$U_{yardımcı}$: 8.71988 VDC

$T_{küre}$: 22.119°C

$Y_{küre}$: 6.934977 VDC

Y_{zemin} : -0.000104 VDC

Her ölçüm öncesinde ve sonunda detektörle ortam (background) sinyali ölçülür. Yardımcı lamba kapatılmadan küre açılır ve standart lamba test lambası ile değiştirilerek küre kapatılır. Aynı prosedürler tekrar edilerek test lambasının ışığı ne kadar soğurduğu ölçülür.

Lamba : Osram G130 (test)

$I_{yardımcı}$: 0.370266 A:

$U_{yardımcı}$: 8.71988 VDC

$T_{küre}$: 22.123°C

$Y_{küre}$: 6.941013 VDC

Y_{zemin} : -0.000293 VDC

Üçüncü adım olarak, test lamba gereken akım değerinde çalıştırılır ve akımın kararlı hale gelmesi için 15 dakika beklenir ve ölçümler alınır:

Lamba : Osram G130 (test)

I_{test} : 0.062999 A

U_{test} : 21.587371 VDC

$T_{küre}$: 22.233°C

$Y_{küre}$: 6.911394 VDC

Y_{zemin} : -0.001035 VDC

Bu ölçümün ardından test lambası çıkarılır ve standart lamba takılarak (G118) sistem çalıştırılır, kararlı akıma ulaşmak için 15 dakika beklenir ve ardından ölçümler alınır:

Lamba : Osram G118 (test)

I_{test} : 0.062999 A

U_{test} : 22.141776 VDC

$T_{\text{küre}}$: 22.257°C

$y_{\text{küre}}$: 6.403895 VDC

y_{zemin} : -0.000835 VDC

Ölçümlerin ardından lamba kapatılarak sistemden çıkılır.

3.4.1 Işık Akısı Büyüklüğünün Hesaplanması

Eğer kullanılan standart lambanın ışık akısını Φ_R , aydınlık düzeyini ise E_R ile gösterirsek, test edilen lambanın ilk yaklaşımda ışık akısı değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Phi = \Phi_R \frac{E}{E_R} \quad (3.11)$$

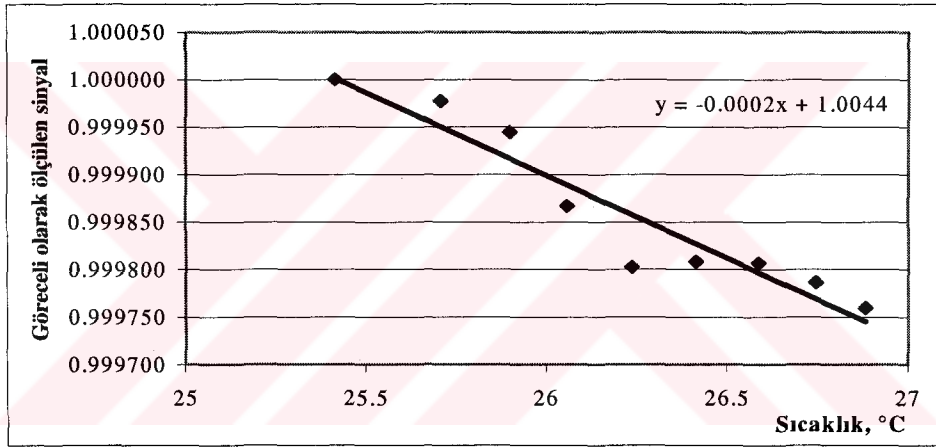
Bu formül sadece referans ve çalışma standartlarının tıpatıp benzer olduğu durumlar için geçerlidir. Lambaların benzer olup olmadığını anlamak için aşağıda verilen maddeler uygulanmalıdır.

- lambaların yanma pozisyonu;
- lambaların termal dayanımı;
- lambaların spektral ve uzaysal dağılımları;
- lambaların küre içerisindeki pozisyonu;
- lambaların ışık şiddeti dağılımları.

Lamba tutucu, lamba soketi ve lambanın yanma pozisyonu her iki lamba için aynı değilse doğal olarak her bir lambadan yayımlanan ışığın küre içerisindeki yansıması farklı olacaktır. Bunun gibi yabancı cisimlerden gelen etkiyi yardımcı bir lamba tarafından düzeltmek

mümkündür. Bu işlem için transfer standardı küreye takılır, ama akım verilip çalıştırılmaz ve sadece şekil 3.5’de gösterilen yardımcı lamba çalıştırılarak kürenin içi aydınlatılır. Bu lambadan ölçülen aydınlık düzeyini E_{HR} ile gösterelim. Sonra transfer standardı yerine test lambası takılarak aynı işlemler tekrarlanır. Test lambası için ölçülen aydınlık düzeyi ise E_{HT} ile gösterilir. Bu ölçümlerde önemli olan her iki ölçüm için yardımcı lambanın aynı akımda çalıştırılmasıdır. Bu ölçümler sonucunda düzeltme faktörünün ölçümlere katkısı önceden (3.9) nolu formülle verilmişti.

Işık akısı ölçümlerinde, lambadan yayılan ışık küre içerisinde homojen bir şekilde dağılmaktadır. Lambaların fazla ısınarak küre içerisindeki sıcaklığı çok etkilememesi için, lambalar için gereken elektriksel büyüklükler en az seviyede olmalıdır. Bunun sonucunda, ölçüm süresince küre içerisindeki sıcaklık sabit tutulabilir.



Şekil 3.10 Fotometre başlığının duyarlılığının sıcaklığa göre değişimi

Yalnız burada dikkat edilmesi gereken önemli husus, fotometre başlığının ölçüm süresince ısınmasını önlemektir, çünkü fotometre başlığı ısındığı zaman fotometrik değerlerde değişimler olacaktır.

Eğer kullanılan her iki lamba akkor tip lamba ise ışık akısı büyüklüğü aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\Phi = \Phi_R \frac{E_T}{E_R} \frac{E_{HR}}{E_{HT}} \left(\frac{T}{T_R} \right)^{mp+m_K} \quad (3.12)$$

Bu ifadede:

T_R ve T ; uygun olarak standart ve test lambalarının renk sıcaklığı dağılımı,

E_R ve E_T ; standart ve test lambaları kullanıldığı zaman ölçülen aydınlık düzeyleri,

E_{HR} ve E_{HT} ; yardımcı lamba yardımı ile standart ve test lambası küre içerisine takıldığı zaman küre içi yabancı cisimlerin ışığı ne kadar soğurduğunu bilmek için ölçülen aydınlık düzeyi,

m ; fotometre başlığının mismatch indeksi, m_k ise kürenin mismatch indeksidir.

Kürenin mismatch indesini hesaplamak için kullanılan standart lamba iki farklı renk sıcaklığında çalıştırılarak ışık akısı değerleri ölçülür. Bunun ardından kürenin mismatch indeksi aşağıdaki eşitliğe göre matematiksel olarak hesaplanır.

$$m_k = \log \left[\frac{\Phi_1 y_2}{\Phi_2 y_1} \right] / \log \left[\frac{T_1}{T_2} \right] - m \quad (3.13)$$

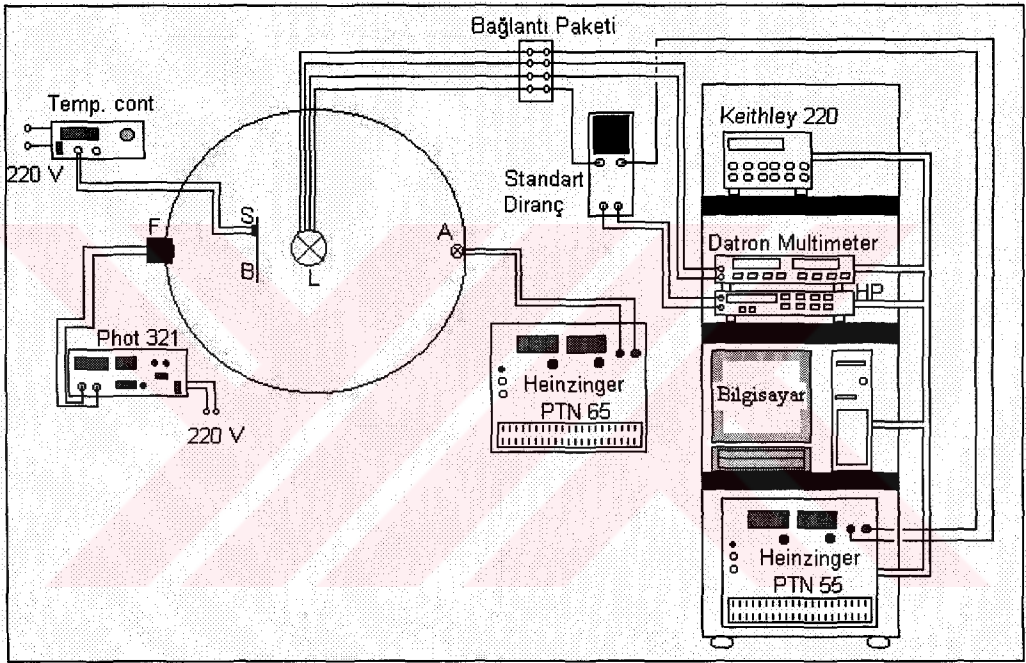
UME Optik laboratuvarında ışık akısı büyüklüğü 2m'lik mutlak toplama küresi yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Ölçüm sistemi hakkında verilebilecek bazı bilgiler şunlardır;

3.4.2 Işık Akısı Ölçümünde Kullanılan Cihazlar

Işık akısı ölçümlerinde UME Optik Laboratuvarında kullanılan cihazlar aşağıda belirtilmiştir;

- Toplama küresi - Çapı 2.0 m
- Güç kaynağı - Heinzinger PTN 55 125 - 20 / Heinzinger PTN 55 250 - 10
- Sayısal voltmetre - HP 3456A
- Sayısal multimetre - Datron Wavetek
- Standart Direnç - model 9230/15, $R=0.1 \Omega$, $I_{maks}=15 A$
- Akım Kaynağı - Keithley 220 (Programmable current source)
- Fotometre Başlığı - PRC kosinüs düzeltmeli $V(\lambda)$ fotometre başlığı 941114-cos
- Aksesuar - PRC Photostrommeter 321

- i. Sıcaklık ölçer - Model 320 (Temperature controller)
- j. Lamba Soketi - UME yapımı E27
- k. Program - LabView tabanlı UME Otomatik Akım Kontrol Sistemi programı (OAX)
- l. Yardımcı lamba - Philips 220V; 50 Hz
- m. Standart lamba - PTB Polaron LF200L (254, 256, 259)
- n. Test lamba - UME Polaron LF200L (351, 352, 353, 354, 355, 356)



Şekil 3.11 Işık akısı ölçümleri için kurulmuş olan düzenek(UME eğitim notları)

3.4.3 Işık Akısı Ölçüm Düzeneği

Şekil 3.11’de. A: yardımcı lamba, L: standart veya test lambası, B: baffle, S: sıcaklık sensörü, Temp.cont: küre içerisindeki sıcaklığı ölçmek için kullanılan cihaz, F: fotometre başlığı, Phot 321: fotometre başlığı ile ölçülen optik sinyali sayısal olarak akıma çeviren cihazdır.

3.4.4. Düzenlemeler (Alignment)

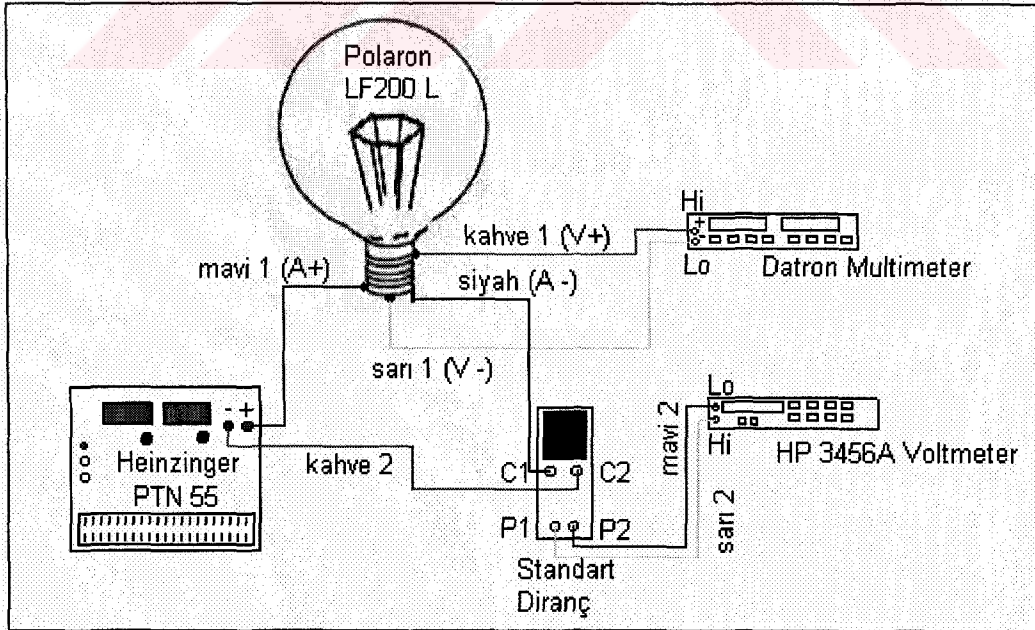
Işık akısı ölçümlerinde kullanılan lambalar için dikkat edilmesi gereken şartlar şöyle sıralanabilir;

- lamba soketi ekseni (E27) küre içerisinde dikey olmalıdır,
- lambadan yayımlanan tüm aydınlatma seviyesi ölçülmelidir,
- küre içerisindeki ışık dışarı saçılmamalıdır,
- lambanın merkez ayarı yapılmalıdır.

3.4.5. Elektriksel Bağlantılar

Ölçümlerin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi ve lamba akımının ölçüm süresince kararlı bir şekilde tutulması için gerekli olan elektriksel bağlantılarda,

- tüm ölçümler sabit DC akımda yapılmıştır;
- uygulanan gerilimin negatif kutbu lamba soketinin altına, pozitif kutbu ise yan tarafına bağlanmıştır;
- lamba gerilimi iki farklı noktadan ölçülmüştür. Lambanın elektriksel olarak bağlantı noktaları aşağıdaki şekilde daha açık gösterilmektedir:



Şekil 3.12 Polaron tip ışık akısı lambası için mevcut şematik diyagram (UME eğitim notları)

3.4.6. Termodinamik Durum

Ölçümlerde kullanılan fotometre başlığının spektral duyarlılığı sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterebildiğinden dolayı, ölçümlerde küre içi sıcaklık her zaman 24 ± 0.5 °C'ye ayarlanarak sabit tutulmuştur.

3.4.7. Zamanlama Durumu

Ölçümlere standart olarak lamba kararlılığı ulaştıktan ne kadar süre sonra başlanacağı çok önemlidir. Her ölçüm öncesinde, yardımcı ve standart/test lambalarının akım değerleri girildikten sonra akımın kararlılığı ulaşması için 10-15 dakika beklenilir(UME Eğitim Notları). Akım kararlılığı LabView tabanlı yazılım programına göre kontrol edilmiştir. Akım kararlılığı ölçüm süresince 4×10^{-5} A seviyesinde tutulmuştur.

3.5 Toplama Küresi İle Işık Akısının Hesaplanması için Gerekli Ölçümler

Bu düzenek sağlandıktan sonra ışık aksına ulaşmak için sırasıyla aşağıdaki birimler ölçülür;

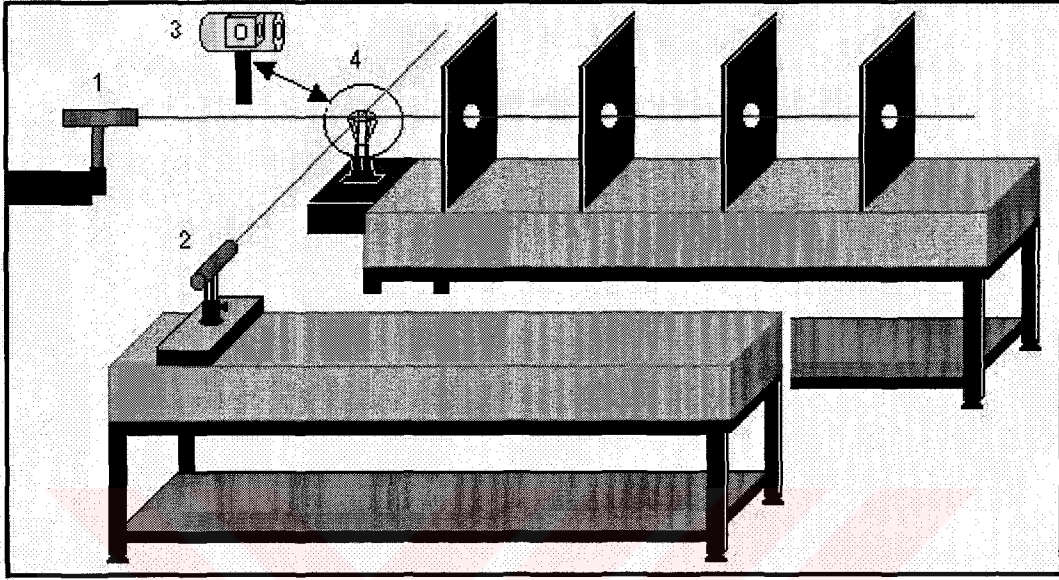
1. Lambaların renk sıcaklığı değerlerinin ölçülmesi;
2. Fotometre başlığının fotometrik olarak spektral duyarlılığının ölçülmesi;
3. Işık akısının toplama küresi metoduna göre ölçülmesi.

3.5.1. Renk Sıcaklığı Ölçümleri

Işık akısı ölçümlerine başlamadan önce, kullanılacak olan lambaların gereken renk sıcaklığında çalıştırılması için, lambaya verilmesi gereken akım değeri belirlenmelidir. Bunun için, eğer önceden bilinmiyorsa, ışık akısı lambası fotometrik ray sistemi üzerine konularak fotometrik olarak her bir lambanın renk sıcaklığı değerleri ölçülür. Bu ölçümlerde, renk sıcaklığını ölçmek için UME standart PR-650 Spektrocolorimeter cihazı kullanılmıştır.

Lambaya dayalı ölçümlerde, ölçüme başlamadan önce kullanılan lambanın filaman diklik ayarı yapılır. Bunun için şekil 3.13'de görüldüğü gibi iki adet 5mW'lık lazer diyot (1,2) kullanılmaktadır. İlk olarak beam splitter (3) lamba konulacak post üzerine konularak lazerler çalıştırılır ve bu lazerlerin birbirlerine dik olması ayarlanır, yani aralarında 90°'lik bir açı oluşturan bu iki lazer diyottan çıkan 670 nm dalga boyuna sahip ışınım beam splitter' den geçtikten sonra bir birlerinin üzerine düşecek şekilde ayarlanır. Bu ayarlama işlemlerinde aynı

zamanda optik eksenin diklik ayarı da sağlanmış olur. Bunun ardından beam splitter Polaron ışık akısı lambası (4) ile değiştirilerek lambanın filaman ayarı artık ayarlanmış olan bu iki lazer diyota göre sağlanır. Bu işlem bittikten sonra lazer diyotlar kapatılır ve lambanın çevresi siyah bir perde ile kapatılır.

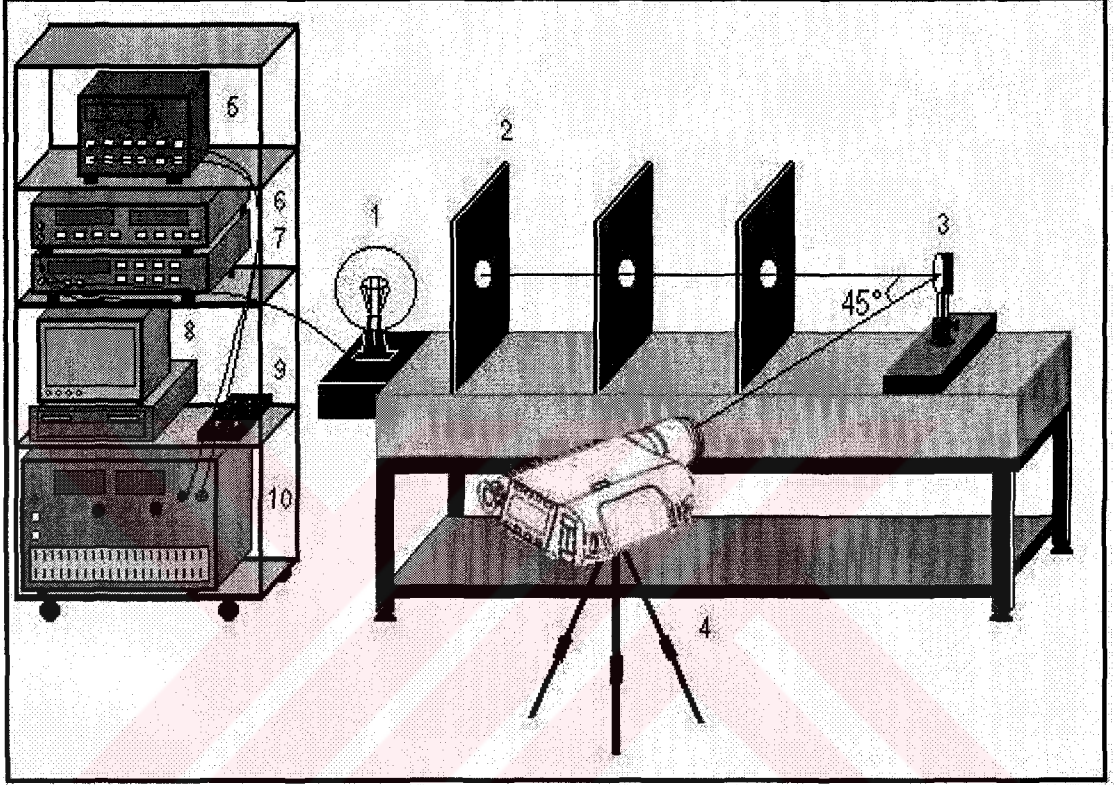


Şekil 3.13 Lambanın diklik ayarı

Ayarlama işlemleri bittikten sonra, kullanılan lambanın çalıştırılması için şekil 314’de gösterilen sistem kullanılır:

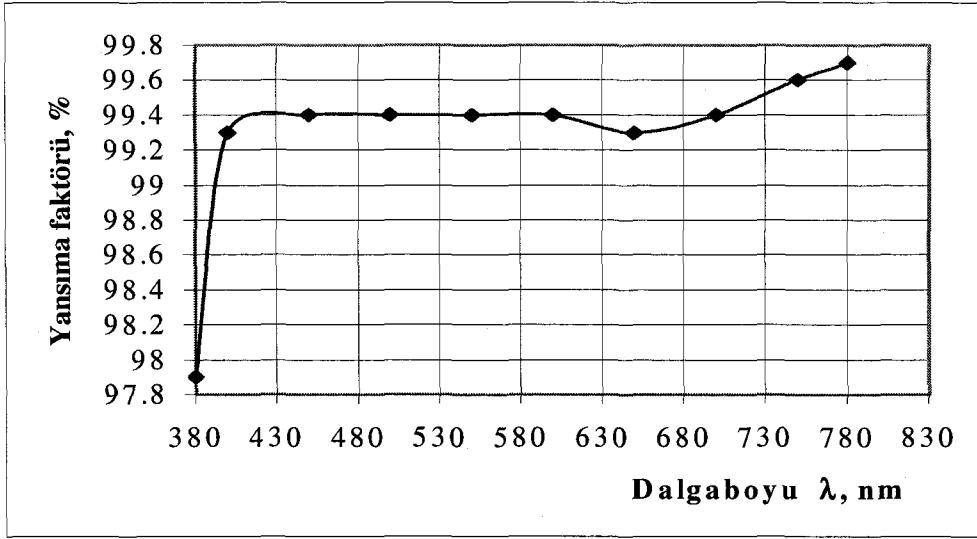
Renk sıcaklığı ölçümlerde kullanılan standart ışık akısı lambasını (1) çalıştırmak için yüksek kararlılığa sahip PTN55 125-20 model DC güç kaynağı (10) kullanılır ($U_{\max}=120V$; $I_{\max}=20A$; $P_{\max}=2400 W$). Bu cihaz yardımı ile alınan ölçüm verileri (gerilim ve akım), sayısal olarak %1.5 doğrulukla cihaz üzerindeki göstergeden okunur. RS 232-C ve IEEE 488.2 gibi iki adet arabirim portuna (interface ports) sahip bu güç kaynağı bilgisayara bağlanır. Ölçüm süresince akımın kararlı bir şekilde tutulması için bu güç kaynağının iki adet analog çıkışına, standart IEEE-488 arabirimine sahip programlanabilir Keithley 220 akım kaynağı (5) bağlanır. Programlanabilir 4½ digit’ lik çözünürlüklü bu akım kaynağı $\pm 0.5 pA - \pm 101 mA$ DC aralığında (%0.05 doğrulukta) çıkışa sahiptir (direnç çıkışı $10^{14} \Omega$). Bu iki cihazdan okunan akım verileri kıyaslanarak bilgisayar ortamına aktarılır. Bu akım kaynağı IEEE-448 bağlantı kablosu ile Datron Wavetek marka sayısal bir multimeter cihazına (7) bağlanır. Elektriksel ölçümlerde kullanılması uygun görülen ve yüksek performansa sahip bu kaliteli voltmetre cihazının ölçüm kapasitesi $10nV - 1100V$ arasında değişmektedir. 8½ digit’ lik

           ve IEEE-488.2 arabirimine sahip bu multimetre cihazı, lambadaki gerilim değerini 0.000450 V hassaslı la kontrol etmek için kullanılır. Bu multimetre cihazı da IEEE-448 bağlantı kablosu yardımı ile HP 3456A model sayısal voltmetre (6) cihazına ba lanır. Kolay kullanıma ve yüksek bir kararlılığa sahip bu cihaz, lambadan geçen akım değerini okumak amacı ile kullanılır.



Şekil 3.14 Renk sıcaklığı        için kullanılan düzenek

Lambadan geçen akımı        süresince kararlı bir şekilde tutmak için araya bir adet 0.1 Ω 'luk standart direnç (9) ba lanır. Tüm bu bağlantılar sağlandıktan sonra lamba akımı, otomatik olarak bilgisayar ortamında (8), LabView tabanlı yazılım programı tarafından hazırlanan otomatik kontrol sistemi yardımı ile %0.002 belirsizlikle kontrol edilir



Şekil 3.16 UME standart SRS-3 dağınık yansım plakasının dalgaboyuna bağı yansım faktörü

Renk sıcaklığı ölçümlerini gerçekleştirmek için bu standart dağınık yansım plakasına 45° lik bir açıda UME standart PR-650 Spectracolorimeter cihazı (4) yerleştirilir. Bilgisayar ortamında veya “manual” olarak ölçüm alabilme kapasitesine sahip bu cihaz, görünür bölge aralığında (380-780 nm), 3,5 nm/pixel dalgaboyu çözünürlükle renk koordinatlarını ölçmekle beraber aynı zamanda kaynağın renk sıcaklığı dağılımını da ölçebilmektedir. Ölçümlerin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için cihaz objektifi içerisindeki 5mm alana sahip spot SRS-3 dağınık yansım plakası üzerine hassas bir şekilde 0/45 geometrisinde odaklanır (odaklama işlemleri, cihaz üzerindeki MS75 objektif mercek yardımı ile sağlanır). Bu ayarlama ve hazırlık işlemleri bittikten sonra renk sıcaklığı ölçümlerine başlanılır. (Laboratuvarda PR650-SRS3 uzaklığı standart olarak 110 cm olarak alınmaktadır.)

Ölçümlerde ilk olarak renk sıcaklığı bilinen Polaron LF200L tip ışık akısı lambaları (No:254 ve 259) sırası ile sertifikada sağlanan 2715 K renk sıcaklığı verebilecek akımda çalıştırılır. Bunun için yukarıda gösterilen bilgisayar penceresindeki uygun yerlere akım ve direnç değerleri girilir (örnek olarak: $I = 1.9000$ A; $R = 0.09999519 \Omega$). Değerler yazıldıktan sonra lamba kontrolünde kullanılan tüm elektronik cihazlar çalıştırılır. Cihazların kararlı çalışma haline gelmesi için 1-2 dakika beklenir. Bunun ardından bilgisayardaki pencerede "run" düğmesine basılarak lamba çalıştırılır. Lambanın gereken akım değerine ulaşması ve kararlı hale gelmesi için 12-15 dakika beklenilir. Bu arada PR-650 renk sıcaklığı ölçer cihaz da çalıştırılarak içerisindeki menüde gereken ayarlamalar yapılır. 15 dakika sonra akımın kararlılığa ulaşması kontrol edildikten sonra ortam karartılır ve ölçümler alınır. Bunun için PR-650 cihazı üzerindeki "measure" düğmesine basılır. Ölçümlerin doğru yapılmasından emin olmak için ölçümler en az 6 defa tekrarlanır. Ölçümler bittikten sonra bilgisayardaki "stop"

düğmesine basılarak lambanın kapanması beklenir. Lamba kapandıktan sonra lambanın çalışma süresi not alınır (çünkü lambanın çalışma süresi 50 saati geçerse lamba tekrar kalibre edilmelidir). Ölçümü biten lamba çıkarılarak özel kutusuna konulur. Bunun ardından kalibreli diğer ikinci lamba takılarak aynı filaman ayarlama işlemleri gerçekleştirilir. Sonra yine sertifikada verilen renk sıcaklığına karşılık (2715 °K) akım değeri girilerek lamba çalıştırılır ve yine akımın kararlılığa ulaşması beklenir. Aynı işlemler bu lamba için de sağlandıktan sonra bu iki lambadan ölçülen renk sıcaklığı değerinin ortalama değerine göre UME test lambaları sırası ile takılarak tüm lambalar 2715 °K renk sıcaklığı verebilene kadar akım değeri bulunur. Aşağıda verilen Çizelge 3.1'de PTB kalibreli standart iki adet Polaron LF200L tip lambalar için ölçülen renk sıcaklığı değerleri ve bu değerlerin ortalamasına göre diğer altı adet UME test lambalarının renk sıcaklıkları değerleri ve Renk Sıcaklıklarının 2715 °K'e ayarlanması gösterilmektedir;

Çizelge 3.1. Standart ışık akısı lambaları için ölçülen renk sıcaklığı değerleri

Lamb a No:	Kalibre eden kuruluş	Renk sıcakl. $T_{\text{sertifika}}(\text{K})$	Akım $I_{\text{sert.}}(\text{A})$	Gerilim $U_{\text{sert.}}(\text{V})$	Akım $I_{\text{ölçüm}}(\text{A})$	Std. Sapma $s(u)$	Renk sıcakl. $T_{\text{ölçüm}}(\text{K})$
254	PTB	2715	1.9000	88.63	1.90002139	0.00000992	2746
259	PTB	2715	1.9000	90.55	1.90004140	0.00008180	2757
ORTALAMA							<u>2752</u>

Çizelge 3.2. Test ışık akısı lambaları için elde edilen renk sıcaklığı değerleri

Lamb a No:	Akım $I_{\text{girilen}}(\text{A})$	Akım $I_{\text{ölçüm}}(\text{A})$	Gerilim $U_{\text{ölçüm}}(\text{V})$	Std. Sapma $s(u)$	Renk sıcakl. $T_{\text{ölçülen}}(\text{K})$	Renk sıcakl. $T_{\text{karşılık}}(\text{K})$
351	1.8975	1.89751127	86.318	0.00002732	2753	2715
352	1.9000	1.89995139	86.346	0.00009120	2750	2715
353	1.9250	1.92500326	88.109	0.00007235	2752	2715
354	1.8980	1.89801128	86.431	0.00005349	2751	2715
355	1.9250	1.82501260	89.932	0.00009492	2752	2715
356	1.9150	1.91504211	89.976	0.00008317	2752	2715

3.5.2. Fotometre Başlığının Tayfsal Duyarlılığının Ölçülmesi

Ölçümlerin doğru bir şekilde yapılması için kullanılan tüm cihazların kalibreli olması gerekmektedir. Bu nedenle fotometre başlığının da kalibre olması çok önemlidir. Fotometre başlığının spektral duyarlılık değerinin, $s(\lambda)$, nA/lüks cinsinden kalibre edilmesi için fotometrik ray sistemi kullanılarak "standart lambaya göre fotometre başlığının kalibrasyonu" metodu kullanılır. Fotometrik yöntemle göre gerçekleştirilen bu kalibrasyon işleminde Osram Wi41/G tip akkor ışık şiddeti lambası kullanılır.

Bu ölçümlerde önemli olan şartlardan biri lamba filamanının diklik ayarının hassas bir şekilde sağlanması ve ölçümlerde kullanılacak lambanın kalibreli olmasıdır. Bu amaçla PTB kalibreli, 771 No'lu standart Osram Wi/41G tip lamba kullanılmıştır. Ölçümlerde lambanın iki farklı renk sıcaklığında çalıştırılması gerektiğinden PTB tarafından sağlanan sertifikaya göre lamba gereken akımlarda çalıştırılmıştır.

Çizelge 3.3 Fotometre başlığı kalibrasyonunda kullanılan 771 No' lu Osram Wi/41G tip lamba

Renk sıcaklığı	Akım değeri	Gerilim	Işık Şiddeti
T (K)	I (A)	U (V)	I (cd)
2700	5.4000	26.501	162.68
2300	4.3500	17.498	32.82

İki farklı renk sıcaklığında çalıştırılan lambadan iki farklı ışık şiddeti değeri "cd" cinsinden elde edilmiştir [$I(T_1)$ ve $I(T_2)$]. Bununla birlikte her bir renk sıcaklığında fotometre başlığı ile ölçülen sinyalleri y_1 ve y_2 ile işaretlersek (nA cinsinden), bu durumda tayfsal duyarlılık ve mismatch indeksi uygun olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$s_v = \frac{d^2}{\Omega_0} \frac{y_1}{I_v(T_1)} \left(\frac{T_1}{2856K} \right)^m \quad (3.14)$$

$$m = \log \left[\frac{I_v(T_1)}{I_v(T_2)} \frac{y_2}{y_1} \right] / \log \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \quad (3.15)$$

Buradaki eşitlikte:

d - fotometre başlığının lamba filamanından olan uzaklığı (m),

Ω - katı açı (sr), T_1 - lambanın birinci renk sıcaklığı değeri (K),

y_1 - bu renk sıcaklığında fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (nA),

$I(T_1)$ - aynı renk sıcaklığında lambanın ışık şiddeti değeri (cd),

m - fotometre başlığının mismatch indeksi,

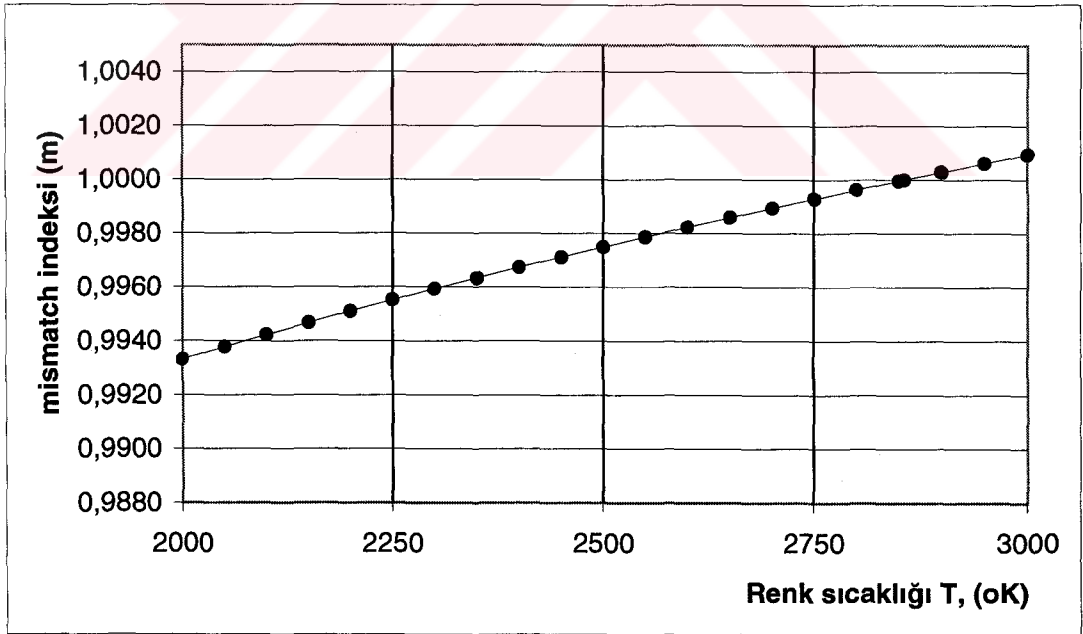
$y_2, I(T_2)$ - T_2 renk sıcaklığında ölçülen sinyal ve ışık şiddeti değerleridir.

Bu ölçümler kaynaktan 4m uzaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sonucunda elde edilen değerler tablo halinde aşağıda sunulmaktadır:

Çizelge 3.4 Referans fotometre başlığının tayfsal duyarlılığı

Renk Sıcaklığı		Işık Şiddeti		Ölçülen sinyal		Spektral duyarlı.	mismatch ind.
T_1, K	T_2, K	I_1, cd	I_2, cd	y_1, nA	y_2, nA	$s(\lambda), nA/lüks$	m
2700	2300	162.68	32.82	22.88	4.51	1.7158	0.01884

Bu ölçümler sonucu elde edilen fotometre başlığının mismatch indeksinin renk sıcaklığına göre değişim eğrisi aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 3.17 Fotometre başlığının mismatch indeksinin renk sıcaklığına göre değişimi

Artık ışık akısı lambalarının renk sıcaklığı dağılımlarının ve fotometre başlığının kalibrasyon işlemleri bittikten sonra ışık akısı ölçümlerine başlanılır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada ışık akısı ölçümleri, önceki bölümde ayrıntıları açıklanan, toplama küresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılacak olan lambaların renk sıcaklık değerleri ve bunlara karşılık gelen akım değerleri bulunduktan sonra, bu lambalar sıra ile toplama küresine takılarak ışık akısı değerleri ölçülmüştür.

4.1 ÖN HAZIRLIKLAR

- Laboratuarda bulunan her türlü referans cihaz kendi özel çantasında , referans ve çalışma lambaları kendi özel kutularında ve optik parçalar ise özel kutularında saklanır. Lamba camının temizliğinde %96 saf alkol temiz bez parçası kullanılır.

- Kalibrasyonda kullanılan fotometre başlığının ön yüzeyinde bulunan opal cam temiz değilse ilgili optik temizlik yöntemleri kullanılarak temizleme yapılır.

- Kalibrasyon amaçlı küre içerisinde kullanılan mekanik aksam (engel konumu, dedektör konumu, lamba tutucu, sıcaklık sensörü) hazır duruma getirilir.

- Küre içerisinde kullanılan engelin küre içerisindeki konumu aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir:

1. Kullanılacak engel kalibre edilecek lambanın ebatlarından biraz büyük seçilmelidir.

2. Engel kürenin tam merkezinde ve lamba ile fotometre başlığı arası mesafesinin 1/3 ne yerleştirilmelidir (fotometre başlığına yakın).

3. Kürenin merkezinde kullanılacak lamba düşük gerilim değerinde çalıştırılarak engelin oluşturulduğu gölge kontrol edilir. Engelin konumu, küre portunda kullanılan fotometre başlığı ne çok fazla gölgede kalacak ne de doğrudan aydınlatılacak şekilde olmalıdır.

- Sıcaklık sensörü kullanılan engelin arka tarafına (fotometre tarafına) yerleştirilerek bağlantı uçları dışarı çıkarılır.

- Fotometre başlığı küre portunun tam merkezine yerleştirilerek dışarıdan özel parça ile küreye sıkıştırılır.

- Lambanın genel kontrolü yapılır.
 1. Flaman devamlılığı kontrol edilir.
 2. Lambanın temizliği kontrol edilir.
 3. Flamanın düzgünlüğü kontrol edilir.
- Çeşitli renk sıcaklığı değerlerinde kalibre edilen ışık kaynağı (Flamanlı veya flüoresan) kürenin tam merkezindeki lamba tutucunun ucuna monte edilmiş özel sokete yerleştirilir.
- Yardımcı lamba diğer yarım küreye (fotometre başlığının tam karşısına) yerleştirilir.
- Tüm bu işlemler tamamlandıktan sonra toplayıcı küre kapatılır. Lambadan tüm açılarda yayımlanan ışık demetini ölçmek için (ışık demetinin dışarı sızmaması için) küre kapatıldıktan sonra iki yarım küre özel olarak yaptırılan dört adet kelepçe ile sıkıştırılır.
- Lambaların (yardımcı ve test/referans) elektriksel bağlantıları kontrol edilir ve sistem çalışabilir duruma getirilir.
- Sistemi oluşturan cihazlar aşağıdaki sıra ile çalıştırılarak kontrolleri yapılır;
 1. DC Güç Kaynağı PTN 55
 2. Dijital Voltmetre, HP 3456A
 3. Dijital Multimetre, Datron 1271
 4. Programlanabilir Akım Kaynağı, KEİTHLEY 220
 5. Fotoakım Ölçer PRC
- Optik 4 bilgisayarında bulunan Lab View programının altındaki “Proje C” dosyasını oluşturan program çalıştırılır.
- Ekranda görüntülenen seçeneklerden “CURRENT TO BE SET” kısmına referans lambanın uygun renk sıcaklığına karşılık gelen akım değeri, “RESİSTANCE” kısmına ise 2 A akım seviyesi için referans direncin sertifika değeri (0,10000001 Ω) girilerek çalıştırılır.

- Ölçümlerin karanlık ortamda gerçekleştirilmesi için laboratuarda bulunan tüm aydınlatma ekipmanları kapatılır.
- Kullanılan lambanın kararlılığa ulaşması için 12-15 dk beklenir. ($\Delta I \sim 10^{-4}$ A) ve sonra ölçümler alınır.
- Aynı işlemler yardımcı lamba çalıştırıldığı zaman tekrarlanır.

4.2 KALİBRASYON İŞLEMİ

1. Yukarıda gösterilen hazırlıklar yapıldıktan sonra ilk olarak yardımcı lamba çalıştırılarak akımın kararlılığa ulaşması beklenir. Akım kararlılığa ulaştıktan sonra referans-test lambası sırası ile küre içerisindeki sokete monte edilerek küre içi yabancı cisimlerin ve lambanın yutma katsayısı hesaplanır.
2. Aynı zamanda sıcaklık sensörü ile tüm zaman içerisinde küre içerisindeki sıcaklık kontrol edilir. Bu tür ölçümlerde sıcaklık değişimi 24 ± 1 °C olarak kabul edilir.
3. Küre duvarlarından yansıyarak fotometre başlığı üzerine düşürülen ışık demeti akımölçer cihazı ile “nA” cinsinden ölçülür. Ve lamba kapatıldığında zemin sinyali kaydedilerek gerçek sinyal çıkarılır.
4. Bu işlem bittikten sonra yardımcı lamba kapatılır. Ve referans lamba çalıştırılarak kararlı hale gelmesi beklenilir. 12-15 dakika sonra referans lambanın verebildiği aydınlık düzeyi fotometre başlığı ile ölçülür. Ve 3 dakika sonra ölçümler tamamlanarak zemin sinyal değeri kaydedilir.
5. İşlem bittikten sonra referans lamba test lambası ile değiştirilerek madde 4’ teki işlemler bu lamba için tekrarlanır.
6. Yapılan tüm ölçüm sonuçları bilgisayar programı ile gerçekleştirildiği için alınan veriler ve elektriksel büyüklükler Microsoft Excel formatına aktarılır ve yapılan matematiksel hesaplamalara göre ışık akısı değeri bulunur.
7. Ölçümler bittikten sonra sistemi kapatmak için aşağıdaki işlemler sırası ile yapılmalıdır:

- Ekranda görülen menüden stop tuşuna basılır.
- Lamba akımının sıfırlandığı monitörde görülene kadar beklenir ve çıkan menülere lamba akım ve gerilim değerleri uygun isimlerle kaydedilir.
- KEİTHLEY Programlanabilir Akım Kaynağı kapatılır.
- Sayısal Multimetre kapatılır.
- Sayısal Voltmetre kapatılır.
- Heinzinger Güç Kaynağı kapatılır ve programdan çıkılır.

Bu prosedüre uygun olarak yine PTB kalibreli iki adet farklı renk sıcaklığına sahip lambalar (No:254 ve 256) kullanılarak ölçümün doğruluğu kontrol edilir (bu durumda 256 No:'lu lambayı test olarak kabul edelim). Bu ölçümlerde yukarıda anlatılan bilgisayar kontrollü akım kontrol sistemi kullanılır. Ölçümlere başlamadan önce standart Polaron lambalar sırası ile küre içerisine yerleştirilir ve küre kapatılır. Bunun ardından yardımcı lamba (Philips 220V) çalıştırılarak küre içerisindeki yabancı cisimlerin ışığı ne kadar soğurduğu ölçülür. Bunun için yardımcı lamba PTN 65 tip Heinzinger DC güç kaynağı yardımı ile çalıştırılarak 5×10^{-5} A seviyesinde kararlı tutulur. Akımın kararlılığa ulaşması için 12-15 dakika beklenilir ve sonra küre portuna takılı olan kosinüs düzeltmeli fotometre başlığı ile aydınlık düzeyi (veya aydınlatma seviyesi) ölçülür. Ölçümler en az 12 defa tekrarlandıktan sonra küre açılarak diğer standart lamba takılır ve küre tekrar kapatılır. Standart Polaron lambaları değiştirildiği zaman yardımcı lamba kapatılmaz. Aynı soğurma ölçümleri bu lamba için de gerçekleştirildiğinden sonra yardımcı lamba kapatılır ve yabancı maddelerin ölçüme kattığı payı hesaplanır.

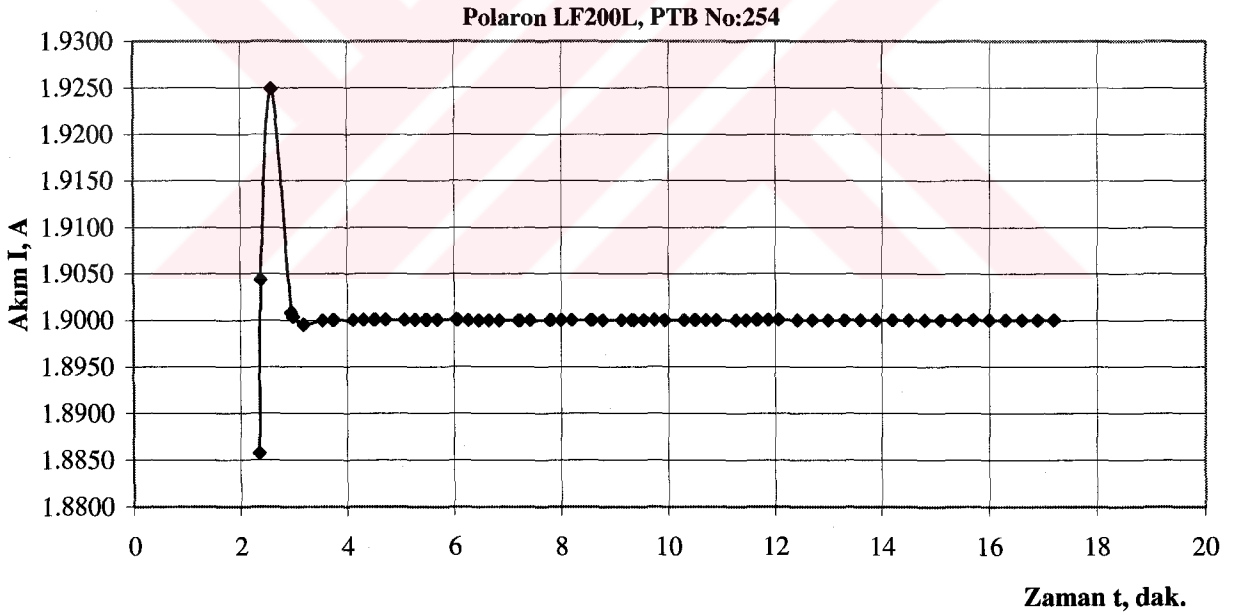
Çizelge 4.1 LF200L tip standart Polaron lambalar için sertifika verileri

Lamba No:	Renk sıcaklığı $T_{\text{sert.}}$ (K)	Akım değeri $I_{\text{sert.}}$ (A)	Gerilim $U_{\text{sert.}}$ (V)	Işık Akısı $\Phi_{\text{sert.}}$ (lümen)
254	2715	1.9000	88.63	1975
256	2717	1.9000	90.33	2037

Çizelge 4.2 Yardımcı lamba kullanılarak Standart lamlalar için elde edilen soğurma ölçümleri

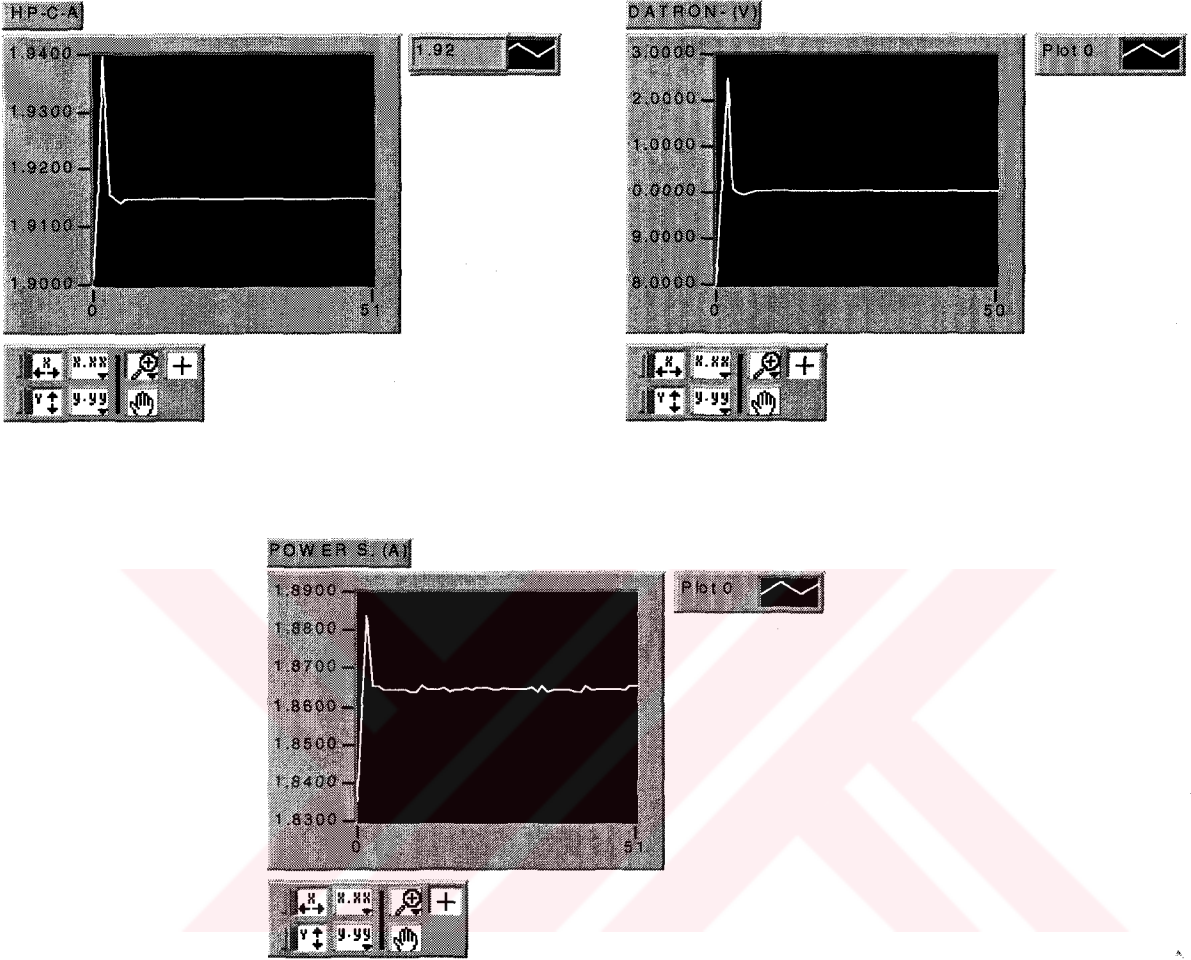
Lamba No:	Akım değeri $I_{yardımcı}$ (A)	Gerilim $U_{yardımcı}$ (V)	Ölçül. sinyal y (nA)	Zemin siny. $y_{zem.}$ (nA)	Gerçek siny. $y_{gerç.}$ (nA)
254	0.17	220.1	174.92	0.00015	174.92
256	0.17	220.1	174.97	0.00015	174.97

Soğurma ölçümlerinin ardından bu iki lambanın ışık akısı değeri ölçülür. Bunun için 254 No'lu lamba küre içerisindeki sokete takılır ve küre kapatılır. Ölçümlerin doğru yapılabilmesi için küre içerisindeki aydınlatmanın dışarı sızmaması ve lambadan yayımlanan tüm ışığın ölçülebilmesi gerekir. Bu amaçla küre dışarıdan kelepçelerle sıkıştırılır. Bu işlemlerin ardından lambanın çalışması için gereken akım bilgisayar kontrollü yazılım programına yazılır. Işık akısı ölçümlerinde lamba için kullanılan elektriksel bağlantılar ve ölçüm düzeneği yukarıda anlatılmıştır. 2715 K renk sıcaklığı verebilen akım değeri bilgisayar penceresine yazılarak "run" düğmesine basılarak ölçümler alınır. Akımın kararlılığa ulaşması için yine 12-15 dakika beklenir. Bu akım kararlılığı grafik olarak aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Lamba akımının zaman içinde değişim eğrisi

Ölçüm süresince, bilgisayar ortamında, DC güç kaynağının, Datron voltmetresinin ve HP multimetresinin zamana bağlı olarak değişimleri aşağıda gösterilmektedir:



Şekil 4.2 LabView yazılım programında lambanın ölçüm süresince kararlılıktaki değişimler

Akım kararlılığa ulaştıktan sonra ortam karartılır ve ölçümler alınır. Ölçümlerde, küre içerisindeki aydınlatma seviyesini ölçmek için kalibre edilen kosinüs-düzeltilmeli fotometre başlığı kullanılır. Ölçümler en az 12 defa tekrarlanarak lamba kapatılarak küreden çıkarılır. Bunun ardından ikinci lamba (No:256) küre içerisine takılarak aynı işlemler bu lamba için de tekrarlanır. Her iki lamba için bulunan ışık akısı değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.3 Işık akısı düzeneği doğruluk ölçümleri

Lamba No:	Ölçülen siny. $y_{gerçek}$ (nA)	Absorp. $y_{gerçek}$ (nA)	Işık Akısı Φ (lümen)
254	1082.4	174.92	1975
256	1122.1	174.97	2038

Görüldüğü gibi PTB tarafından kalibre edilen ve sertifikada gösterilen 256 No' lu lambanın ışık akısı (2037 lümen), UME Optik laboratuvarındaki mutlak toplama küresine göre yapılan ölçümlerde 2038 olarak bulunmuş oldu. % 0,049 hata ile elde edilen bu sonuç, kurulmuş olan sistemin doğru olduğunu göstermektedir. Buna emin olduktan sonra diğer altı adet UME test lambaları sırası ile sokete takılarak aynı prosedürlere göre bu lambaların da ışık akısı değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda bu lambalar için bulunan soğurma ve ışık akısı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 Yardımcı lamba kullanılarak UME test lambaları için elde edilen soğurma ölçümleri

Lamba No:	Akım değeri $I_{yardımcı. (A)}$	Gerilim $U_{yardımcı (V)}$	Ölçül. sinyal $y (nA)$	Zemin siny. $y_{zem. (nA)}$	Gerçek siny. $y_{gerç. (nA)}$
351	0.17	220.1	174.76	0.00015	174.76
352	0.17	220.1	174.86	0.00015	174.86
353	0.17	220.1	174.83	0.00015	174.83
354	0.17	220.1	174.86	0.00015	174.86
355	0.17	220.1	174.75	0.00015	174.75
356	0.17	220.1	174.69	0.00015	174.69

Çizelge 4.5 UME test lambaları için bulunan ışık akısı değerleri

Lamba No:	Işık Akısı Φ (lümen)	PTB'de Bulunan Işık Akısı Değerleri	Bağıl Hata (%)
<u>256</u>	<u>2038</u>	<u>2037</u>	<u>0,049</u>
351	1849.8	1846.1	0,2
352	1885.2	1881.4	0,2
353	1972.4	1968.5	0,197
354	1874.8	1871.2	0,19
355	2032.9	2028,9	0,196
356	2036.7	2032.1	0,22

4.3 IŞIK AKISININ HESAPLANMASINDA KULLANILAN FORMÜLLER

Işık akısı büyüklüğünün ölçülmesinde kullanılan tüm gerekli formüller aşağıda verilmektedir:

4.3.1 Lambadan Geçen Akım Değerinin Hesaplanması: Lambadan geçen akım değeri, lambanın iki ucundan ölçülen gerilim değerinin standart direnç değerine bölünmesi sonucu matematiksel olarak hesaplanır.

$$I(A) = \frac{U(V)}{R(\Omega)} \quad (4.1)$$

4.3.2 Kendi Kendine Soğurma Düzeltme Faktörü: Bu işlemde küre içerisindeki yabancı maddelerin ölçümleri ne kadar etkilediği hesaplanır:

$$\Delta y_{AR} = y_{s \text{ standart}} - y_{s \text{ standart, zemin}} \quad (4.2)$$

Bunun ardından aynı işlemler test lambası için de gerçekleştirilerek (y_{AT}) de hesaplanır.

4.3.3 Akım Düzeltme Faktörü: Bu akım düzeltme katsayısı, lambanın sertifikada verilen akım değerinin ölçüm esnasında sağlanan akım değerine bölünmesi sonucu elde edilir:

$$c_J = \left(\frac{J_R}{J_{OR}} \right)^m \quad (4.3)$$

Bu hesaplamalar her bir lamba için ayrı ayrılıkta hesaplanır. Parantezin üst kısmındaki m-mismatch indeksi - Polaron ve Osram tip lambalar için $m = 6.84$

4.3.4 Fotometre Başlığı ile Ölçülen Sinyaller: Fotometre başlığı ile ölçülen tüm sinyaller için (ister yardımcı lamba veya standart/test lambası olsun) mutlaka ana sinyalle beraber zemin sinyali de ölçülmeli ve gerçek sinyal bulunmalıdır:

$$\Delta y_R(A) = y_{sinyal}(A) - y_{zemin}(A) \quad (4.4)$$

4.3.5 Işık Akısının Hesaplanması: Işık akısı aşağıdaki formüle göre hesaplanır(UME Eğitim Raporları)

$$\Phi_T = \Phi_R \frac{\Delta y_T}{\Delta y_R} \cdot \frac{y_{AR}}{y_{AT}} \left(\frac{T_R}{T_T} \right)^{m_T} \left(\frac{J_T}{J_{OT}} \right)^{m_J} \left(\frac{J_R}{J_{OR}} \right)^{m_J} \left(\frac{t_{AT}}{t_{AR}} \right)^{m_t + m_p} \left(\frac{t_T}{t_R} \right)^{m_t + m_p} \quad (4.5)$$

Bu eşitlikte:

Φ_T : test lambası için bulunan ışık akısı değeri (lümen),

Φ_R : standart lamba için sertifikada verilen ışık akısı değeri (lümen),

Δ_{YT} : test lambası çalıştırıldığı zaman fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (A),

Δ_{YR} : standart lambası çalıştırıldığı zaman fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (A),

T_R : standart lambanın renk sıcaklığı dağılımı (K),

T_T : test lambası renk sıcaklığı dağılımı (K),

m_T : Polaron tip lambaların renk sıcaklığındaki uyumsuzluk düzeltme faktörü (mismatch-correction index) ($m_T=6,84$),

y_{AR} : yardımcı lamba kullanıldığında standart lambanın küre içerisinde ışığı ne kadar soğurduğunu bilmek için fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (A),

y_{AT} : yardımcı lamba kullanılarak test lambasının küre içerisinde ışığı ne kadar soğurduğunu bilmek için fotometre başlığı ile ölçülen sinyal (A),

J_T : test lambasının gereken renk sıcaklığını verebilmesi için bilgisayara girilen akım değeri (A),

J_{OT} : ölçüm sırasında gözüken akım değeri (A),

J_R : standart lambanın gereken renk sıcaklığını verebilmesi için bilgisayara girilen akım değeri (A),

J_{OR} : ölçüm sırasında gözüken akım değeri (A),

m_J -kullanılan lamba için akım uyumsuzluk düzeltme faktörü (current mismatch-correction index) ($m_J=0.72$),

t_{AT} : yutma ölçümlerinde test lambası kullanıldığında küre içi sıcaklık

t_{AR} : yutma ölçümlerinde referans lamba kullanıldığında küre içi sıcaklık

t_T : test lambası kullanıldığı sürece küre içerisindeki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$),

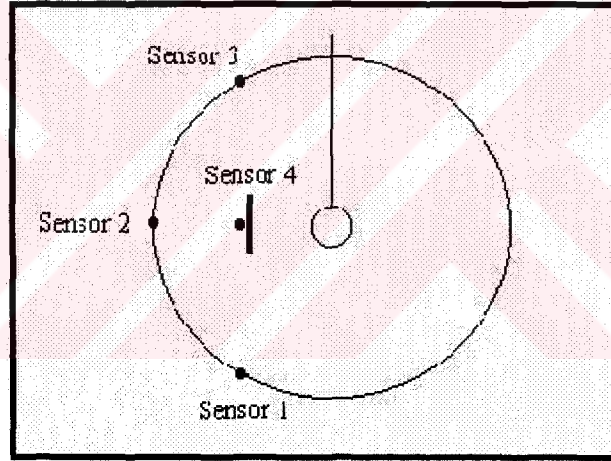
t_R : standart lamba kullanıldığı sürece küre içerisindeki sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$),

m_P : fotometre başlığı için uyumsuzluk düzeltme faktörü,

m_K : küre için uyumsuzluk düzeltme faktörü.

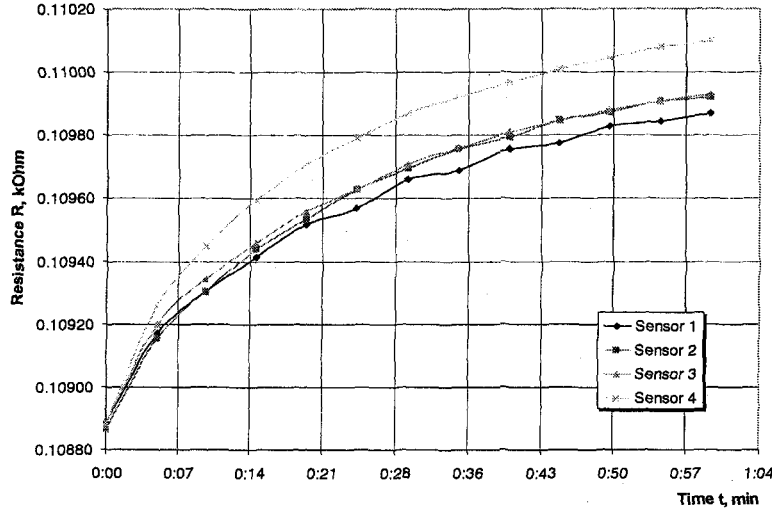
4.4 KÜRE İÇİ SICAKLIK DAĞILIMLARI VE KÜRE UNIFORMİTESİ ÖLÇÜMLERİ

Toplama küresi kullanılarak ışık akısının, lümenin, bağıl olarak ölçülmesinde dikkat edilmesi gereken husus, küre içi sıcaklığının ölçüm süresince kararlı tutulmasıdır. Bu nedenle ışık akısı ölçümleri 24 - 24.5°C civarında gerçekleştirilmektedir (ölçüm esnasında sıcaklık artarsa küre açılır ve sıcaklık 24°C altına indiğinde küre kapatılarak ölçümler tekrarlanır (CIE No:84)), çünkü sıcaklık değişimine göre küre içi yansımalar farklı olduğundan ölçülen aydınlık düzeyi seviyesi de değişecektir. Küre içi sıcaklığın artmasından kaçınmak için ışık akısı lambaları genelde ışık şiddeti lambalarına göre düşük akım değerlerinde çalıştırılır. Bu ölçümlerde küre içi sıcaklık dağılımını test etmek için kalibreli dört adet Pt100 sıcaklık algılayıcıları kürenin çeşitli noktalarına yerleştirilerek sıcaklığın dağılımına bakılmıştır. Bu ölçüm için kurulu olan düzenek aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Küre içi sıcaklık dağılımı ölçümleri

Ölçümlerde yaşanacak hatalardan kaçınmak amacı ile aynı tip Digital Voltmetre (DVM) kullanılmıştır (HP3458A). Ölçümler sonucu elde edilen değerler grafik olarak aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Termometrelerden okunan direnç değerlerinin zamana bağlı değişimi

Grafikten de görüldüğü gibi her bir algılayıcıya göre elde edilen direnç değerleri ve standart sapmaları 0.10956 ± 0.000296 ; 0.10959 ± 0.000324 ; 0.10961 ± 0.000314 ve 0.10975 ± 0.000363 değerlerinde hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi sıcaklık kürenin her tarafında yaklaşık olarak aynı dağılıma sahiptir. Bu sonuç değeri kullanılarak ışık akısı ölçümlerinde bir tek noktadan (merkezden) sıcaklık ölçümlerinin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Bu ölçümlerle beraber kullanılan toplama küresinin bir diğer özelliği olan küre uniformitesi ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kürenin ne kadar uniform olduğunu bilmek için küre içerisine yerleştirilen lamba (Polaron LF200L) kendi eksenine çevresinde $0-360^\circ$ hareket ettirilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.6 Uniformite ölçüm sonuçları

Lamba No:	Lambanın açısal hareketi				
	0°	90°	180°	270°	360°
P.254	1973.12	1972.56	1971.69	1973.09	1972.95
P.256	2038.05	2036.64	2036.12	2037.98	2037.89
P.259	2067.31	2066.58	2066.06	2067.30	2067.04

Tabloda verilenlere göre çeşitli açılardaki bağıl (rölatif) ışık akısı ($\Phi_{\text{meas.}}/\Phi_{\text{sert}}-1$) yaklaşık olarak 10^{-3} - 10^{-5} arasında değişmektedir. Buda küre duvarının uniform olması anlamına gelmektedir.

4.5 IŞIK AKISI ÖLÇÜMLERİNDEKİ BELİRSİZLİK HESAPLAMALARI

Metrolojik amaçlı ölçümlerde, ölçümlerle elde edilen ölçüm büyüklüğü (SI birimi ya da türevleri) ölçüm sırasında, sistematik ve rasgele hatalar sonucunda oluşan ölçüm belirsizliği ile birlikte ifade edilir. Bu gibi hataları ortaya çıkarmak için ölçüm düzeneği, yöntemi, gerekirse ortam şartları gibi ölçüm sonuçlarını etkileyen faktörler ayrı ayrı incelenerek etkileme oranları belirlenmelidir. Parametreye özgü, ölçüm sonuçları incelenerek istatistiksel dağılımları elde edilir. Elde edilen bütün bu faktörlerin birleşiminden ölçüm belirsizliği kavramı hesaplanılır. Böylece, ölçüm sonucunda alınan herhangi bir fiziksel büyüklük değerinin, tüm bilinen ölçüm hataları göz önüne alındığında ne aralıkta değişebileceği bilgisi hesaplanmış olur. Bu nedenle ışık akısı ölçümlerinde belirsizlik bütçesi çıkarılmış ve diğer Metroloji enstitülerle kıyaslanarak tablo halinde aşağıda gösterilmiştir.

4.6 BELİRSİZLİK BÜTÇELERİ

Yapılan tüm ölçümler için ayrı ayrılıkta belirsizlik bütçeleri de hesaplanmıştır.

a. Akım Kararlılığı Belirsizlik Bütçesi:

LabView tabanlı yazılım programına göre oluşturulan otomatik akım kontrol sistemindeki belirsizlik bütçesi aşağıda verilmektedir.

$$I_A = \left(\frac{c_J V_J}{J_R R_J} \right)^{m_T} \quad (4.6)$$

Çizelge 4.7 Otomatik akım kontrol sistemindeki belirsizlik bütçesi

No:	Miktar X_i	Sembol	Değer x_i	Standart Belirsizlik $u(x_i)$	Dağılım Tipi	serbestlik derecesi ν_i	Belirsizlik katkısı $u_i(y) / A$
1	akım düzeltme katsayısı	c_J	0.999989	0.000014	normal	∞	0.00009448
2	okunan ortalama değer	V	0.1895	0.00000639	normal	11	0.0002276
3	standart direnç	R_J	0.09999519	0.00000025	normal	∞	-0.0000169
4	uyumsuzluk indeksi	m_T	6.87	0.14451	normal	∞	-0.0001599
	Gerçek akım	I_A	1.0			29	0.00029

$$U = k \times u(V_L) \quad (4.7)$$

Genişletilmiş belirsizlik:

Genişletilmiş belirsizlik $k=2$ olduğu taktirde, $U = 0.00058$ olduğundan, akım kararlılığındaki toplam belirsizlik 1.0 ± 0.0019 olarak hesaplanmıştır.

b. Renk Sıcaklığı Ölçümlerindeki Belirsizlik Bütçesi:

Spektrofotometrik yöntemle göre Renk Sıcaklığı ölçümleri için oluşturulmuş olan belirsizlik modeli ve belirsizlik bütçesi aşağıda verilmektedir:

$$T_v = T_R \left(\frac{c_J V_J}{J_R R_J} \right)^{m_T} \quad (4.8)$$

Çizelge 4.8 Renk sıcaklığı ölçümleri için belirsizlik modeli ve bütçesi

No:	Miktar X_i	Sembol	Değer x_i	Standart Belirsizlik $u(x_i)$	Dağılım Tipi	serbestlik derecesi ν_i	Belirsizlik katkısı $u_i(y) / K$
1	akım düzeltme katsayısı	c_J	0.99998709	0.0000141	normal	∞	0.0286
2	okunan ortalama değer	V	0.574560	0.000028	normal	9	0.09965
3	standart direnç	R_J	0.0999952	0.0000002	normal	∞	-0.0051
4	std. renk sıcaklığı dağılımı	T_R	2856	3.47	normal	∞	3.42785
5	uyumsuzluk indeks	m_T	0.72	0.0867	normal	∞	-1.72815
	Gerçek renk sıcaklığı	T_v	2823			>100	3.84024

c. Fotometre Başlığının Spektral Duyarlılık Kalibrasyonu Ölçümündeki Belirsizlik Bütçesi:

Fotometrik yöntemle göre fotometre başlığı kalibrasyonunu için oluşturulmuş olan belirsizlik modeli ve belirsizlik bütçesi aşağıda verilmektedir:

$$s_v^* = d^2 \left(\frac{c_J V_J}{J_R R_J} \right)^{m_I} \frac{y_1}{I_v(T_1)} \left(\frac{T_1}{2856K} \right)^m \left(1 - c_{\text{stray}} - w(\epsilon) + hw(\epsilon) + kw(\vartheta) \right) \quad (4.9)$$

Çizelge 4.9 Fotometre başlığı kalibrasyonu için belirsizlik modeli ve bütçesi

No:	Miktar X_i	Sembo I	Değer x_i	Standart Belirsizlik $u(x_i)$	Dağılım Tipi	serbestlik derecesi ν_i	Belirsizlik katkısı $u_i(y) / \text{nA/lüks}$
1	akım düzeltme katsayısı	c_J	0.999987	0.000014	normal	∞	0.0000305
2	okunan ortalama değer	V	0.53997	5.75E-06	normal	9	0.0000230
3	standart direnç	R_J	0.0999952	0.00000025	normal	∞	-0.0000000011
4	Işık şiddeti için üs indeksi	m_I	6.87	0.14451	dikdört.	∞	-0.001549
5	okunan ortalama değer	y_{T1}	22.88	0.002500	normal	9	0.0000344
6	standart ışık şiddeti	I_R	162.68	2.698E-05	dikdört.	∞	-0.0000001
7	std. lambanın renk sıcakl.	T_R	2700	3.47	dikdört.	∞	0.0000076
8	fot. başlığı için mism. ind.	m	0.0188	0.0867	dikdört.	∞	-0.0006663
9	göreceli kaçak ışık	c_{stray}	0.0010	0.000578	dikdört.	∞	-0.0001517
10	fotometrenin diklik ayarı	$w(\epsilon)$	0.0	0.00500	dikdört.	∞	-0.0013123
11	lambda filam. yatay ayarı	$hw(\phi)$	0.20	0.000014	dikdört.	∞	0.0000036
12	lambda filam. dikey ayarı	$kw(\theta)$	0.0	0.000136	dikdört.	∞	0.0000357
13	lambadan uzaklık	d	3.2	0.005	dikdört.	∞	0.0004922
	spektral duyarlılık	s_v	1.716			>100	0.00219

Genişletilmiş belirsizlik $k=2$ olduğu takdirde, $U = 0.00025$ olduğundan, fotometre başlığının spektral duyarlılığı ölçümlerinde alınan değer: $1.716 \pm 0.00025 \text{ nA/lüks}$ olarak hesaplanmıştır.

d. Işık Akısı Ölçümündeki Belirsizlik Bütçesi.

Mutlak toplama küresi metoduna göre ölçülen Işık Akısı ölçümleri için oluşturulmuş olan belirsizlik modeli ve belirsizlik bütçesi aşağıda verilmektedir:

$$\Phi_v = \Phi_R \frac{\Delta I_X}{\Delta I_R} \left(\frac{T_R}{2856} \right)^{m_T} \left(\frac{2856}{T_X} \right)^{m_T} \frac{\Delta I_{HR}}{\Delta I_{HX}} \left(\frac{c_X V_X}{J_X R_J} \right)^{m_I} \left(\frac{c_R V_R}{J_R R_J} \right)^{m_I} (1 - w(\epsilon) + kw(\theta)) \quad (4.10)$$

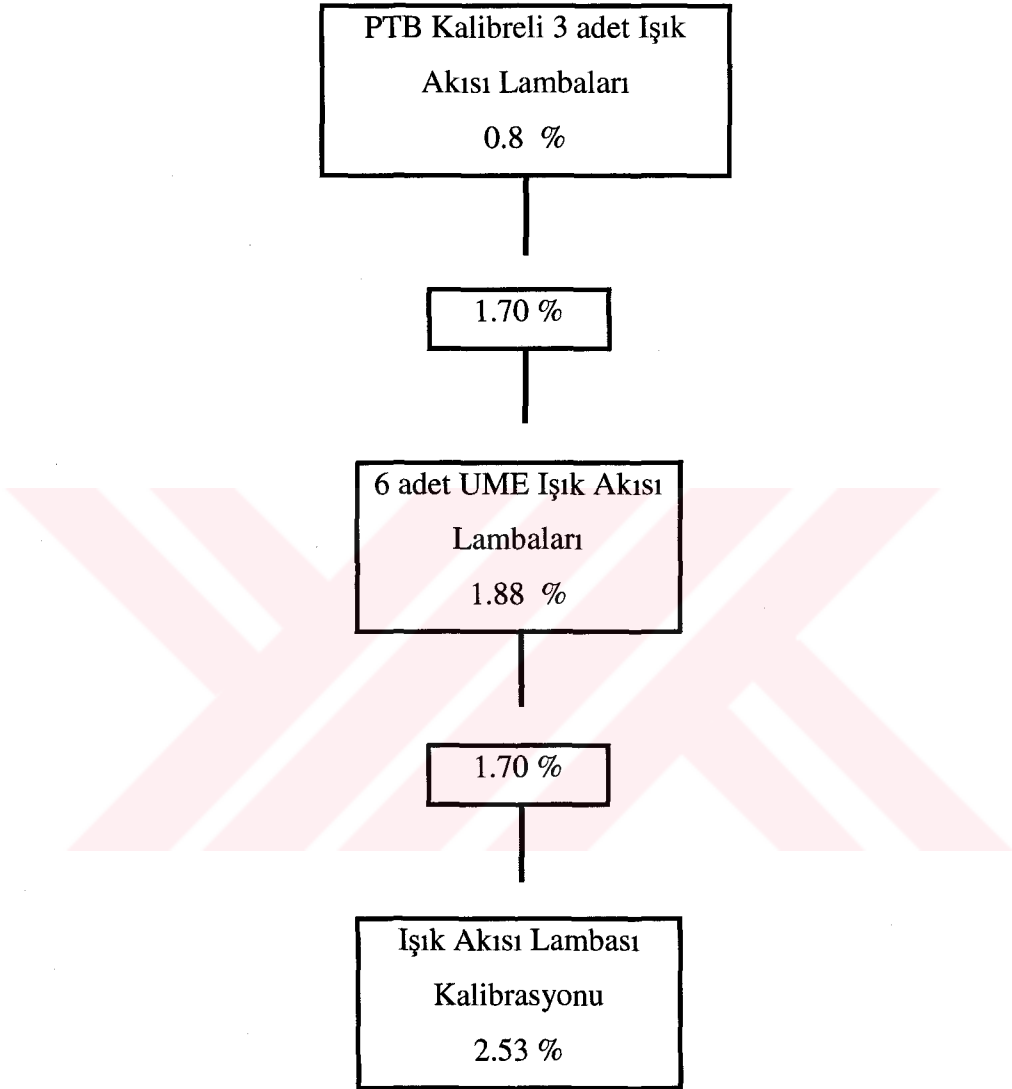
Çizelge 4.10 Işık akısı ölçümleri için oluşturulmuş belirsizlik bütçesi

No:	Miktar X_i	Sembol	Değer x_i	Standart Belirsizlik $u(x_i)$	Dağılım Tipi	Serbestlik derecesi ν_i	Belirsizlik katkısı $u_i(y) / \text{lm}$
1	referans ışık akısı	Φ_R	2037	0.8	normal	∞	0.6923691
2	test lambası için ölçülen değer	ΔI_X	994.20	0.0000522	normal	11	9.256E-05
3	std. lambası için ölçülen değer	ΔI_R	1115.90	0.0000522	normal	11	-8.247E-05
4	std. lambanın renk sıcaklığı	T_R	2717	4.61880215	dikdörtk	∞	-0.0353900
5	test lambasının renk sıcaklığı	T_X	2715	5.77350269	dikdörtk	∞	-0.0442375
6	sıcaklık için üs	m_T	0.0118	0.08670520	dikdörtk	∞	0.0488842
7	yardımcı lamba ile ölç. sinyal	ΔI_{HR}	170.22	0.0000522	normal	11	0.0005406
8	yardımcı lamba ile ölç. sinyal	ΔI_{HX}	175.22	0.0000522	normal	11	-0.0005252
9	test lam. için akım-düz. fak.	c_T	0.99999	0.00000639	normal	∞	0.4084055
10	test lambası için okunan değer	V_T	0.18950	0.00000639	normal	11	0.4084013
11	test lamba akımı	J_T	1.8950	0.00000499	normal	11	-0.0318924
12	standart direnç	R_J	0.10000001	0.0000035	normal	∞	0.0011111
13	ışık şiddeti için üs	m_J	6.87	0.1445087	dikdörtk	∞	-0.001168
14	std.lamba için akım-düz. fakt.	c_R	1.0000001	0.00000499	normal	∞	0.0604360
15	fotometre ayar açısı	$w(\epsilon)$	0	0.00002	dikdörtk	∞	-0.035259
16	lamba ayar açısı	$kw(\theta)$	0	0.00014	dikdörtk	∞	0.2399209
	Gerçek ışık akısı	Φ_V	1763			>100	0.9391692

Genişletilmiş belirsizlik ($k=2$), $U = \%1.88$ 'dir.

4.7 İZLENEBİLİRLİK ZİNCİRİ

TUBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Optik Laboratuvarınca Işık akısı ölçeğinin izlenebilirlik zinciri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Lamba tabanlı ışık akısı ölçümleri için izlenebilirlik zinciri

5. SONUÇ

UME Optik laboratuvarında “Işık Akısı” ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için 2 m’lik **toplama küresi** kullanılmaktadır. Yapılan elektriksel bağlantılar, mekanik ayarlamalar ve boyama sonucunda küre, ışık akısı ölçümleri için rutin kalibrasyona - karşılaştırmalara hazır duruma getirilmiştir.

Ölçümlerde en önemli noktalardan biri lambadan geçen akımın ölçüm süresince kararlı bir şekilde tutulmasıdır. Bu işlemi gerçekleştirmek amacı ile LabView bilgisayar programı kullanılarak otomatik olarak lambadaki akım değerinin kararlı tutulması için yeni bir program yazılmıştır.(Optik4/ProgramFiles/National Instruments/LabVIEW/Aydoğan.lib/PROJE_A.vi). Laboratuvarda yazılmış olan bu program ve düzenek yardımı ile akım ölçüm süresince 4×10^{-5} A civarında kararlı bir şekilde tutulabilmektedir.

Ayrıca kullanılan küre içi sıcaklık dağılımı dört farklı noktadan ölçülmüş ve alınan sonuçlara dayanarak sıcaklığın homojen bir dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir (% 0.032 belirsizlikle). Küre içi sıcaklığın homojen olarak dağılımı tespit edildikten sonra ışık akısı ölçümlerinde sıcaklığın bir tek noktadan (merkezden) alınmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmada, toplama kürenin bir diğer özelliği, uniformitesi de ölçüm sonuçlarına dayalı olarak test edilmiştir. Bu ölçümler için aynı tip lamba kullanılmış ve lamba $0-360^\circ$ açıda hareket ettirilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden alınan sonuçlara göre kürenin uniform olduğu gözlenmiştir.

Ölçümlerde küre içerisindeki yabancı maddelerin ölçümler üzerindeki etkisini belirlemek ve hesaplamalara katmak için Philips marka 220 V’ luk yardımcı lamba kullanılmıştır.

Ölçümlerde referans olarak PTB kalibreli bir adet standart LF200L tip Işık Akısı lambası kullanılmış ve ışık akısı büyüklüğü (lümen) “yerine koyma” yöntemine göre altı adet LF200L tip UME referans lambalarına aktarılmıştır.

Ölçümler sonucu elde edilen değerlere dayanarak ölçümdeki belirsizlikler hesaplanmış (($k=2$), $U = \%1.88$) ve ışık akısı belirsizlik bütçesi ile beraber izlenebilirlik zinciri oluşturulmuştur. Bu belirsizlik hesabı ile beraber otomatik bilgisayar kontrol sistemine göre akım kararlılığı, renk sıcaklığı, kullanılan fotometre başlığının spektral duyarlılığı ölçümlerindeki belirsizlik bütçeleri de hesaplanarak tablo halinde gösterilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan toplama küresi yöntemine göre, ışık akısı büyüklüğü, 5 - 5000 lm arasında, laboratuvar olanakları dahilinde izlenebilir transfer standart lambalarında % 1.88 ve rutin kalibrasyonlarda % 2.5 seviyesinde ölçülebilmektedir.



KAYNAKÇA

CIE publication, The measurement of luminous flux, 84, 1989.

CIE publication, The measurement of absolute luminous intensity distributions, 70, 1987.

DeCusatis, Casimer. Handbook of Applied Photometry, 1998.

D. Förste, Ein Goniophotometer zur genauen Bestimmung des Lichtstroms, Licht Forschung, 1, 1979, pp. 30-36.

D. Förste, G. Sauter, H. Martin, Elimination des Fremlichts bei der lichtstrombestimmung mit dem goniophotometer, Licht Forschung, 2, 1980, pp. 27-35.

Durak, Murat. Samedov, Ferhat. Realization of Luminous flux unit Lumen at TUBİTAK UME , Kocaeli- Turkey 2003

G. Suter, Detlef Lindner, Matthias Lindemann, CCPR Key Comparisons K3a of Luminous Intancity and K4 of Luminous Flux with Lamps as Transfer Standarts, PTB-Opt-62, 1999, Braunschweig Dezember

Guide to the Expression of Uncertainties in Measurements 1995 International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland).

İnternational Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology 1995 International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland).

J. Bastie, B. Andasse, R. Foucart, Luminous flux measurements with a goniophotometer: study of time effects on data collection, 1991, Proceeding of the 22nd Session of CIE, Vol.1, 1, pp. 45-47.

M. L. Rastello, E. Miraldi, P. Pisoni, Luminous Flux measurements by an absolute intagrating sphere, J.Appl. Opt., Vol.35(22), 1996, 4385-4391.

O. C. Jones, R.g. Berry, A new determination of the lumen, Metrologia, 6, 1970, pp. 81-89.
Sauter, T. Goodman, Determination of Measurement Uncertainties in Photometry, CIE-TC2-43, 1999.

TUBİTAK UME optik laboratuvarı ölçüm ve eğitim raporları

Venable W.H., Hsia J.J., Weidner V.R., Establishing a scale of Directional-Hemispherical Reflectance Factor I: The Van den Akker Method, J. Res. NBS, 82, 1977, pp. 29-55.

Y. Ohno, Integrating sphere simulation: application to total flux scale realization, J. Appl. Opt., Vol.33(13), 1994, pp. 2637-2647.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 30.08.1978

Doğum yeri Trabzon

Lise 1989-1995 Burdur Cumhuriyet Lisesi

Lisans 1996-2001 Yıldız Üniversitesi Fen Edebiyat Fak.Fizik Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

2003-2004 BİL Öğretim Kurumları Fizik Öğretmeni

2004-Devam ediyor Uğur Dershaneleri (Isparta-Burdur) Fizik Öğretmeni