



# PRÁCTICA No. 01

## RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO

### Manual de Prácticas de Laboratorio

Física Moderna — Ingeniería en Nanotecnología

## DATOS GENERALES

- **Número de Práctica:** 01
- **Unidad Temática:** I: Fundamentos de Teoría Cuántica
- **Tema:** Cuantización de la energía y Ley de Planck
- **Duración:** 45 minutos
- **Modalidad:** Trabajo colaborativo en equipos de 3-4 estudiantes
- **Materiales:** Computadora/tablet con acceso a internet, calculadora, hoja de trabajo impresa

## 1. OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar esta práctica, el estudiante será capaz de:

1. Analizar experimentalmente la distribución espectral de la radiación de cuerpo negro a diferentes temperaturas
2. Verificar las leyes de Wien y Stefan-Boltzmann utilizando datos de simulación
3. Comparar las predicciones de la física clásica (Rayleigh-Jeans) con el modelo cuántico de Planck
4. Interpretar la “catástrofe ultravioleta” y comprender cómo la cuantización resolvió esta crisis
5. Relacionar los principios de radiación de cuerpo negro con aplicaciones en nanotecnología y astrofísica

## 2. COMPETENCIAS A DESARROLLAR

### COMPETENCIAS A DESARROLLAR

#### Competencias Disciplinarias:

- Aplicación de conceptos de termodinámica estadística
- Análisis de distribuciones espectrales
- Interpretación de fenómenos cuánticos fundamentales

#### Competencias Profesionales:

- Caracterización térmica de materiales
- Análisis de propiedades ópticas
- Diseño de procesos térmicos

#### Competencias Transversales:

- Pensamiento crítico y analítico
- Trabajo colaborativo efectivo
- Comunicación científica clara

#### Competencias Tecnológicas:

- Uso de simuladores científicos
- Análisis de datos experimentales
- Elaboración de gráficas técnicas

## 3. MATERIALES Y RECURSOS

### MATERIALES Y RECURSOS

#### Recursos Tecnológicos:

- Computadora/tablet con navegador actualizado
- Conexión a internet estable
- Simulador PhET Blackbody Spectrum
- Calculadora científica

#### Materiales de Trabajo:

- Hoja de trabajo impresa
- Material para gráficas (papel milimétrico)
- Regla y lápices de colores
- Calculadora científica

#### Recursos Digitales:

- <https://phet.colorado.edu/es/simulation/blackbody-spectrum>
- Herramientas de graficación online (Desmos)
- Tablas de constantes físicas

#### Documentos de Apoyo:

- Manual de usuario del simulador PhET
- Tabla de constantes físicas fundamentales
- Guía de análisis estadístico de datos
- Formulario de leyes de radiación térmica

## 4. MARCO TEÓRICO

### MARCO TEÓRICO

#### Conceptos Fundamentales:

Un **cuerpo negro** es un objeto idealizado que absorbe toda la radiación electromagnética incidente, independientemente de la frecuencia o ángulo. También es un emisor perfecto de radiación térmica, cuyo espectro depende únicamente de su temperatura.

**Crisis de la Física Clásica:** La teoría clásica (Rayleigh-Jeans) predecía que la intensidad de radiación aumentaría indefinidamente con la frecuencia, llevando a la “catástrofe ultravioleta” - una predicción de energía infinita.

**Solución de Planck (1900):** Propuso que la energía de los osciladores está cuantizada en múltiplos enteros de  $hf$ , donde  $h$  es la constante de Planck y  $f$  la frecuencia.

#### Ecuaciones Principales:

$$\text{Ley de Planck: } B_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/(\lambda k_B T)} - 1} \quad (1)$$

$$\text{Ley de Wien: } \lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad \text{donde } b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (2)$$

$$\text{Ley de Stefan-Boltzmann: } P = \sigma T^4 \quad \text{donde } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \quad (3)$$

#### Conexión con Nanotecnología:

Los principios de radiación de cuerpo negro son fundamentales para:

- Caracterización térmica de nanomateriales
- Diseño de metamateriales con propiedades radiativas específicas
- Desarrollo de sensores térmicos a escala nanométrica
- Optimización de celdas solares y dispositivos fotovoltaicos

## 5. INSTRUCCIONES GENERALES

### INSTRUCCIONES

#### Antes de comenzar:

1. Formen equipos de 3-4 integrantes y designen roles (coordinador, analista de datos, graficador, reportero)
2. Revisen el marco teórico y asegúrense de comprender los conceptos de cuerpo negro y cuantización
3. Verifiquen el acceso al simulador: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/blackbody-spectrum>
4. Preparen material para elaborar gráficas y registrar datos
5. Revisen los objetivos de aprendizaje para enfocar su trabajo

#### Durante la práctica:

1. Sigan cuidadosamente las instrucciones de cada parte, explorando sistemáticamente las variables
2. Registren todas las observaciones y mediciones en las tablas proporcionadas
3. Discutan los resultados en equipo antes de continuar a la siguiente parte
4. Comparen continuamente las curvas de Planck con las de Rayleigh-Jeans
5. Consulten dudas con el instructor cuando encuentren resultados inesperados

#### Al finalizar:

1. Completen todas las secciones de análisis y elaboren las gráficas solicitadas
2. Discutan las implicaciones históricas y conceptuales de sus resultados
3. Preparen una presentación breve (3 minutos) destacando sus hallazgos principales
4. Entreguen la hoja de trabajo completada y el reporte de conclusiones

## 6. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

### 6.1. PARTE 1: VERIFICACIÓN DE LA LEY DE WIEN

#### 6.1.1. Procedimiento:

1. En el simulador, habiliten tanto el “Espectro de cuerpo negro” como la “Curva de Rayleigh-Jeans”

2. Configuren la temperatura inicial en 3000 K y observen la posición del máximo de emisión
3. Para cada temperatura de la tabla, determinen con precisión la longitud de onda ( $\lambda$ ) correspondiente al máximo de emisión
4. Registren también la intensidad máxima (valor pico) para cada temperatura
5. Observen cómo se comporta la curva de Rayleigh-Jeans en comparación con la de Planck

#### 6.1.2. Tabla de datos:

Temperatura (K)	$\lambda$ máximo (nm)	Producto $\lambda \cdot T$ (nm·K)	Intensidad máxima ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
3000			
4000			
5000			
6000			
7000			

#### 6.1.3. Análisis de resultados:

1. Calculen el producto  $\lambda \cdot T$  para cada temperatura
2. Determinen si este producto es aproximadamente constante y calculen su valor promedio
3. Comparen su valor promedio con la constante de Wien teórica ( $b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$ )
4. Calculen el porcentaje de error y discutan las posibles fuentes de discrepancia

## PREGUNTAS DE ANÁLISIS

### Preguntas de Análisis - Parte 1:

1. ¿Cómo cambia la posición del máximo del espectro al aumentar la temperatura? ¿Es esto consistente con la ley de Wien?
2. ¿Qué implicaciones tiene este comportamiento para el color aparente de objetos a diferentes temperaturas? Proporcione ejemplos específicos.
3. ¿Cómo podría utilizar la ley de Wien para estimar la temperatura de una estrella basándose en su color dominante? Explique el procedimiento.
4. ¿Por qué los objetos a temperatura ambiente (300 K) no son visibles en la oscuridad, pero sí detectables con cámaras termográficas?

## 6.2. PARTE 2: VERIFICACIÓN DE LA LEY DE STEFAN-BOLTZMANN

### 6.2.1. Procedimiento:

1. Mantengan habilitada la opción “Mostrar intensidad” en el simulador
2. Para cada temperatura de la tabla, anoten cuidadosamente la intensidad total ( $\text{W/m}^2$ ) indicada
3. Calculen el cociente entre la intensidad total y  $T^4$  para verificar la proporcionalidad
4. Observen cómo aumenta la intensidad total al incrementar la temperatura

### 6.2.2. Tabla de datos:

Temperatura (K)	Intensidad total ( $\text{W/m}^2$ )	Intensidad/ $T^4$ ( $\text{W/m}^2/\text{K}^4$ )
3000		
4000		
5000		
6000		
7000		

## PREGUNTAS DE ANÁLISIS

### Preguntas de Análisis - Parte 2:

1. ¿Es el cociente Intensidad/ $T^4$  aproximadamente constante? Compare con la constante teórica de Stefan-Boltzmann.
2. Si la temperatura de un horno industrial se duplica de 1000 K a 2000 K, ¿en qué factor aumenta la energía total radiada? Calcule y explique.
3. ¿Por qué es crucial la ley de Stefan-Boltzmann para aplicaciones como termografía infrarroja y diseño de hornos industriales?

## 6.3. PARTE 3: ANÁLISIS DE LA CATÁSTROFE ULTRAVIOLETA

### 6.3.1. Procedimiento:

1. Configuren la temperatura en 5000 K (aproximadamente la del Sol)
2. Habiliten simultáneamente la curva de cuerpo negro (Planck) y la curva de Rayleigh-Jeans
3. Observen ambas curvas, prestando especial atención a la región de longitudes de onda cortas ( $\leq 500$  nm)
4. Tomen puntos de datos donde ambas curvas difieren significativamente
5. Analicen el comportamiento de la curva clásica a frecuencias altas

### 6.3.2. Tabla de datos:

Longitud de onda (nm)	Intensidad Planck ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ )	Intensidad Rayleigh-Jeans ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ )
200		
400		
600		
1000		
2000		

## PREGUNTAS DE ANÁLISIS

### Preguntas de Análisis - Parte 3:

1. ¿En qué región del espectro son más significativas las diferencias entre las predicciones clásica y cuántica? ¿Por qué?
2. Explique, en términos de la hipótesis cuántica de Planck, por qué la intensidad real disminuye a altas frecuencias.
3. ¿Qué implicaciones físicas tendría la predicción clásica si fuera correcta? ¿Por qué esto constituía una “catástrofe”?
4. ¿Cómo resolvió la cuantización de Planck el problema de la energía infinita predicha por la teoría clásica?

## 6.4. PARTE 4: ANÁLISIS COMPARATIVO DE FUENTES REALES

### 6.4.1. Procedimiento:

1. Utilicen el simulador para modelar diferentes fuentes de radiación térmica
2. Para cada fuente listada, configuren la temperatura correspondiente y registren sus características espectrales
3. Observen en qué región del espectro electromagnético ocurre la máxima emisión
4. Determinen qué porcentaje de la radiación es visible al ojo humano

### 6.4.2. Análisis comparativo:



Fuente	Temperatura (K)	$\lambda$ máximo (nm)	Región espectral dominante	Apariencia visual
Temperatura ambiente	300			
Filamento de tungsteno	3000			
Sol	5800			
Estrella azul	12000			
Radiación cósmica de fondo	2.7			

### PREGUNTAS DE ANÁLISIS

#### Preguntas de Análisis - Parte 4:

1. ¿Por qué la radiación cósmica de fondo tiene su máximo en la región de microondas? ¿Qué significado cosmológico tiene esto?
2. Un material nanoestructurado tiene su pico de emisión en 900 nm. ¿Cuál sería su temperatura y cómo se vería a simple vista?
3. ¿Por qué las bombillas incandescentes son ineficientes energéticamente desde el punto de vista de la iluminación visible?

## 7. APLICACIONES Y CASOS PRÁCTICOS

### 7.1. Aplicación en Nanotecnología:

Los principios de radiación de cuerpo negro son fundamentales en nanotecnología para:

- **Caracterización térmica:** Determinación de temperaturas en procesos de síntesis de nanomateriales
- **Metamateriales:** Diseño de estructuras periódicas con propiedades radiativas específicas
- **Puntos cuánticos:** Análisis de propiedades ópticas y térmicas de nanocristales semiconductores

- **Sensores térmicos:** Desarrollo de detectores de radiación infrarroja a escala nanométrica

## 7.2. Caso de Estudio: Puntos Cuánticos de Silicio

Los puntos cuánticos de silicio (Si-QDs) de diferentes tamaños exhiben propiedades de emisión que pueden modelarse parcialmente usando principios de cuerpo negro modificados. Investigadores han observado que:

- QDs de 2-3 nm emiten en el rango visible (500-700 nm)
- La temperatura efectiva de emisión depende del tamaño del punto cuántico
- Las aplicaciones incluyen celdas solares de tercera generación y displays LED

### PREGUNTAS DE ANÁLISIS

#### Análisis del Caso de Estudio:

1. ¿Cómo podrían aplicar la ley de Wien para estimar la “temperatura efectiva” de emisión de puntos cuánticos?
2. ¿Qué ventajas tendría un material nanoestructurado que pueda controlar su emisión térmica comparado con un cuerpo negro ideal?
3. ¿Cuáles serían las limitaciones de aplicar directamente las leyes de cuerpo negro a sistemas cuánticos nanométricos?

## 8. EVALUACIÓN FORMATIVA

### EVALUACIÓN Y CRITERIOS

**Autoevaluación:** Marca con una X tu nivel de comprensión

Criterio	Excelente	Bueno	Regular	Necesito ayuda
Comprendo el concepto de cuerpo negro y sus propiedades				
Puedo explicar la catástrofe ultravioleta y su solución				
Aplico correctamente las leyes de Wien y Stefan-Boltzmann				
Interpreto las diferencias entre predicciones clásicas y cuánticas				
Relaciono los conceptos con aplicaciones en nanotecnología				
Utilizo eficazmente el simulador PhET				
Trabajo colaborativamente de manera productiva				

### Coevaluación del Equipo:

- ¿Cómo calificarían la colaboración y comunicación dentro del equipo? \_\_\_\_\_
- ¿Qué estrategias de trabajo fueron más efectivas? \_\_\_\_\_
- ¿Qué aspectos pueden mejorar para futuras prácticas? \_\_\_\_\_
- ¿Todos los miembros contribuyeron equitativamente al trabajo? \_\_\_\_\_



## 9. CONCLUSIONES Y REFLEXIÓN

### CONCLUSIONES Y REFLEXIÓN

**Síntesis de Resultados:**

Elaboren un párrafo que resuma los principales hallazgos de la práctica, incluyendo los valores experimentales obtenidos para las constantes de Wien y Stefan-Boltzmann:

**Conexión con Objetivos de Aprendizaje:**

¿Cómo esta práctica contribuyó al logro de los objetivos planteados? Mencionen específicamente qué conceptos ahora comprenden mejor:

**Implicaciones Históricas y Conceptuales:**

Reflexionen sobre la importancia histórica del trabajo de Planck y cómo cambió nuestra comprensión de la naturaleza:

**Aplicaciones en Ingeniería en Nanotecnología:**

¿Cómo pueden aplicar estos conocimientos sobre radiación térmica en su futura práctica profesional en nanotecnología?

**Reflexión Personal:**

¿Qué aspecto de la práctica les resultó más interesante o desafiante? ¿Cómo cambió su perspectiva sobre la física cuántica?

## 10. ENTREGABLES Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

### 10.1. Entregables:

1. Hoja de trabajo completada con todos los datos, cálculos y análisis
2. Gráficas de  $\lambda_{max}$  vs  $T$  y de Intensidad vs  $T^4$  (digitales o elaboradas a mano)
3. Reporte de conclusiones que incluya reflexiones sobre las implicaciones históricas (máximo 1 página)
4. Presentación breve de resultados principales (3-5 minutos por equipo)

### 10.2. Criterios de Evaluación:

Criterio	Puntuación máxima	Puntuación obtenida
Recolección precisa y sistemática de datos	20 puntos	
Análisis correcto de resultados y cálculos	25 puntos	
Calidad de gráficas y presentación visual	15 puntos	
Respuestas completas a preguntas de análisis	25 puntos	
Conclusiones reflexivas y bien fundamentadas	15 puntos	
<b>TOTAL</b>	<b>100 puntos</b>	

#### NOTA IMPORTANTE

##### Criterios Específicos de Calidad:

- **Excelente (90-100):** Demuestra comprensión profunda, análisis crítico y conexiones innovadoras
- **Satisfactorio (70-89):** Comprende conceptos básicos y realiza análisis adecuado
- **Necesita mejora (<70):** Comprensión limitada o análisis incompleto

## 11. RECURSOS COMPLEMENTARIOS

### 11.1. Enlaces y Simuladores:

- Simulador principal: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/blackbody-spectrum>
- Calculadora de ley de Wien: <https://www.omnicalculator.com/physics/wiens-law>
- Graficador online: <https://www.desmos.com/calculator>
- Conversor de unidades: <https://www.unitconverters.net/>

### 11.2. Lecturas Recomendadas:

- Eisberg, R. & Resnick, R. “Física Cuántica”, Capítulo 1: Radiación Térmica y Postulado de Planck
- Serway, R. A. “Física Moderna”, Capítulo 40: Introducción a la Física Cuántica
- Griffiths, D. “Quantum Mechanics”, Capítulo 1: The Wave Function (secciones introductorias)
- Artículo: “Max Planck and the Genesis of Quantum Theory” - Physics Today

### 11.3. Videos Educativos:

- “La catástrofe ultravioleta y el nacimiento de la física cuántica” - MinutePhysics (5 min)
- “Blackbody Radiation” - Khan Academy (8 min)
- “Max Planck y la revolución cuántica” - Veritasium (12 min)
- “Aplicaciones de la radiación térmica en astronomía” - NASA Education (15 min)

### 11.4. Recursos Avanzados:

- Simulador avanzado de espectros estelares: <https://ccnmtl.github.io/blackbody/>
- Base de datos de propiedades térmicas: NIST Webbook
- Artículos de investigación sobre metamateriales térmicos
- Documentación técnica de cámaras termográficas

## 12. CONSTANTES Y FÓRMULAS DE REFERENCIA

### NOTA IMPORTANTE

#### Constantes Físicas Fundamentales:

- Constante de Planck:  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
- Velocidad de la luz:  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Constante de Boltzmann:  $k_B = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- Constante de Wien:  $b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$
- Conversión útil:  $hc = 1,240 \times 10^{-6} \text{ eV}\cdot\text{m}$
- $k_B T$  a 300 K = 0.026 eV
- 1 eV =  $1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- 1 nm =  $10^{-9} \text{ m}$
- Temperatura del Sol:  $T_\odot = 5778 \text{ K}$

#### Fórmulas Clave:

$$\text{Ley de Planck: } B_\lambda(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/(\lambda k_B T)} - 1} \quad (4)$$

$$\text{Aproximación de Rayleigh-Jeans: } B_\lambda(\lambda, T) \approx \frac{2ck_B T}{\lambda^4} \quad (\text{para } \lambda \gg \frac{hc}{k_B T}) \quad (5)$$

$$\text{Aproximación de Wien: } B_\lambda(\lambda, T) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5} e^{-hc/(\lambda k_B T)} \quad (\text{para } \lambda \ll \frac{hc}{k_B T}) \quad (6)$$

## 13. APÉNDICE: GUÍA RÁPIDA DEL SIMULADOR PhET

### 13.1. Controles Principales:

- **Deslizador de temperatura:** Permite ajustar la temperatura del cuerpo negro (250 K - 50,000 K)
- **Checkbox “Curva de cuerpo negro”:** Muestra/oculta la distribución de Planck
- **Checkbox “Curva de Rayleigh-Jeans”:** Muestra/oculta la predicción clásica
- **Checkbox “Intensidad”:** Muestra el valor numérico de la intensidad total
- **Zoom:** Permite ampliar regiones específicas del espectro

### 13.2. Consejos de Uso:

- Use el cursor para leer valores específicos en las curvas



- Experimente con temperaturas extremas para observar comportamientos límite
- Compare siempre las predicciones clásicas con las cuánticas
- Tome capturas de pantalla para incluir en su reporte

### 13.3. Interpretación de Resultados:

- A altas temperaturas: El máximo se desplaza hacia longitudes de onda más cortas
- En el límite clásico: Las curvas de Planck y Rayleigh-Jeans convergen a bajas frecuencias
- Catástrofe ultravioleta: La curva clásica diverge a altas frecuencias
- Cuantización: La curva de Planck tiende a cero a altas frecuencias

## 14. PROBLEMAS ADICIONALES (OPCIONAL)

Para estudiantes que terminen temprano o deseen profundizar más:

1. Calcule la temperatura de una estrella que tiene su máximo de emisión en 700 nm (estrella roja).
2. Determine qué porcentaje de la radiación del Sol ( $T = 5778$  K) es emitida en el rango visible (400-700 nm).
3. Un horno de nanotubos de carbono opera a 2500 K. ¿Cuánta energía por metro cuadrado emite por segundo?
4. Estime la temperatura de la radiación cósmica de fondo si su máximo está en 1.9 mm.
5. Compare la eficiencia luminosa (porcentaje de energía emitida como luz visible) de una bombilla incandescente (2800 K) con una lámpara halógena (3200 K).