

Modelo Oscilatorio de Conversión Masa–Energía en el Fotón

Oscillatory Mass–Energy Conversion Model in the Photon^{*}

Autor - Author:

Manuel Francisco Iglesias García

Investigador independiente - Independent researcher,
Zaragoza, España - Spain.

Email: schmanuel.iglesias@gmail.com

ORCID: 0009-0006-4870-1254

25 de abril de 2025 - April 25, 2025

Resumen

En este trabajo, se plantea que un sistema que emite un fotón, libera energía, la cual tiene su equivalencia en masa, y experimenta un proceso oscilatorio

^{*}The English version page 14 .

de conversión masa-energía, en el que la velocidad instantánea fluctúa entre 0 y $2c$; de modo que, cuando alguna de las dos magnitudes (masa o energía) se agota momentáneamente, se alcanza la velocidad máxima o mínima, manteniéndose en todo momento el promedio en c . Se desarrolla el formalismo matemático correspondiente, y se incluye una formulación lagrangiana, que permite explorar las implicaciones teóricas del modelo y derivar ecuaciones que describan la evolución cíclica del fotón en su proceso de conversión entre masa y energía.

El modelo presentado abre la posibilidad de reevaluar ciertos principios fundamentales en el estudio de la luz y la energía, y se exploran estrategias experimentales para la verificación de este mecanismo oscilatorio, considerando métodos que podrían detectar variaciones en la dinámica del fotón bajo condiciones específicas.

Marco conceptual del modelo oscilatorio

El presente trabajo propone una estructura alternativa a la relatividad especial y general para interpretar la dinámica de los fotones y la relación masa-energía. A diferencia del enfoque relativista, donde la velocidad de la luz c es postulada como constante e invariante para todos los observadores, en este modelo c surge como el valor promedio de una oscilación interna que describe la transformación cíclica de masa en energía dentro del fotón. Esta oscilación, de carácter senoidal, explica de forma natural por qué ningún sistema físico puede superar c , sin requerir la introducción del factor de Lorentz ni transformaciones espacio-temporales.

El fotón es tratado aquí como una entidad con masa efectiva instantánea variable, lo que permite que su trayectoria sea afectada por campos gravitatorios de forma clásica, sin invocar curvatura del espacio-tiempo. La energía total del sistema se conserva en todo momento, y la velocidad promedio de propagación se mantiene igual a c , coherente con los resultados observables.

En cuanto al tiempo, este modelo no lo considera una dimensión geométrica ni una magnitud relativa entre observadores, sino una referencia física común basada en una oscilación universal —por ejemplo, una frecuencia asociada a la propia luz. Esta noción permite explicar la desincronización de relojes reales por influencia de factores externos (gravedad, campos electromagnéticos, velocidad relativa), sin recurrir a la dilatación del tiempo como concepto geométrico.

En este apartado se retoma el principio de inercia al contemplar que el fotón exhibe una velocidad de naturaleza senoidal.

En conjunto, el modelo constituye una alternativa físicamente consistente, con capacidad explicativa frente a fenómenos como el corrimiento gravitacional de la luz, las variaciones de frecuencia en campos intensos, y el comportamiento de sistemas dinámicos en presencia de gravedad. Se plantea como una base para discusión, extensión teórica y confrontación experimental.

Se agradecen comentarios o sugerencias sobre el presente modelo. El autor está abierto a discusión y diálogo constructivo.

Puede dejar su opinión en el siguiente formulario:

<https://forms.gle/KaG7tK9oBQq7VdbRA>

1 Introducción

Se describe al fotón como una partícula con masa cuya energía se expresa como:

$$E = hf$$

Los objetivos del presente trabajo son:

- Introducir un formalismo matemático que incluya una frecuencia angular interna ω asociada a la conversión masa-energía.
- Explicar mediante este formalismo la oscilación de la velocidad instantánea entre 0 y $2c$ y la consiguiente conservación del valor promedio c .
- Establecer una formulación lagrangiana que reproduzca la dinámica oscilatoria interna del fotón.
- Discutir las objeciones teóricas y proponer posibles métodos de verificación experimental.

2 Modelo y Formalismo Matemático

2.1 Definición de Parámetros y Variables

Se definen las siguientes constantes y variables:

- c : Velocidad de la luz = 299792458 m/s.
- h : Constante de Planck = $6,62607015 \times 10^{-34}$ J · s.
- f : Frecuencia electromagnética
- T : Período = $\frac{1}{f}$
- ω : Frecuencia angular interna, definida con:

$$\omega = 2\pi f$$

- t : Tiempo, donde $t \in [0, T]$.
- $V(t)$: Velocidad instantánea del proceso interno.
- $X_o(t)$: Desplazamiento oscilante del componente interno.
- $X(t)$: Desplazamiento lineal o macroscópico.
- E_p : Energía promedio del fotón:
- m_0 : Masa en reposo efectiva:
- $m(t)$: Masa instantánea.
- $E(t)$: Energía instantánea.
- $K(t)$: Energía cinética asociada a las oscilaciones internas.
- E : Energía total del sistema.

2.2 Ecuaciones del Modelo

El modelo se fundamenta en el comportamiento oscilatorio interno del fotón. Las ecuaciones a continuación se expresan en función de la fase interna ωt :

1. Velocidad instantánea:

$$V(t) = c(1 - \cos(\omega t))$$

Esta expresión permite que $V(t)$ oscile entre 0 y $2c$, cumpliendo que el promedio se mantenga en c .

2. Energía promedio:

$$E_p = hf$$

3. Masa en reposo efectiva”, obtenida mediante la equivalencia masa-energía:

$$m_0 = \frac{E_p}{c^2}$$

4. Masa instantánea:

$$m(t) = m_0 \frac{1 + \cos(\omega t)}{2}$$

5. Energía instantánea:

$$E(t) = hf (1 - \cos(\omega t)) - \frac{m(t)V(t)^2}{2}$$

6. Energía cinética:

$$K(t) = \frac{m(t)V(t)^2}{2}$$

7. Energía total:

$$E_{\text{tot}} = E(t) + K(t)$$

El valor promedio de $E = E(t) + K(t)$, considerado sobre el período de la oscilación, es constante y coincide con hf , es decir, la energía promedio del fotón.

Cálculo de la energía media sobre un ciclo

Queremos comprobar que la energía total media por ciclo es hf . Definimos

$$E_{\text{tot}}(t) = E(t) + K(t).$$

La energía media en un periodo $T = 2\pi/\omega$ viene dada por

$$\langle E_{\text{tot}} \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T [E(t) + K(t)] dt = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} [E(t) + K(t)] dt.$$

Haciendo el cambio de variable $\theta = \omega t$, $dt = d\theta/\omega$, obtenemos

$$\langle E_{\text{tot}} \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[E\left(\frac{\theta}{\omega}\right) + K\left(\frac{\theta}{\omega}\right) \right] d\theta.$$

Sustituyendo las expresiones concretas de $E(t)$ y $K(t)$ y evaluando la integral, se comprueba que

$$\langle E_{\text{tot}} \rangle = hf.$$

Desplazamientos

- **Oscilante:**

$$X_o(t) = c \left(t - \frac{\sin(\omega t)}{\omega} \right)$$

Derivación de $X_o(t)$

Partimos de la velocidad instantánea propuesta:

$$V(t) = c(1 - \cos(\omega t)).$$

Como el desplazamiento acumulado viene dado por

$$X_o(t) = c \left(t - \frac{\sin(\omega t)}{\omega} \right)$$

integramos:

$$\begin{aligned} X_o(t) &= \int_0^t c(1 - \cos(\omega t')) dt' = c \left[\int_0^t 1 dt' - \int_0^t \cos(\omega t') dt' \right] \\ &= c \left[t - \frac{1}{\omega} \sin(\omega t) \right]_0^t = c \left(t - \frac{\sin(\omega t)}{\omega} \right). \end{aligned}$$

De esta forma queda explícito que

$$\frac{dX_o}{dt} = V(t)$$

- **Lineal:**

$$X(t) = ct$$

Lagrangiano y conservación de la energía en el Modelo oscilatorio del fotón

El lagrangiano que se ajusta plenamente a lo expuesto en el modelo y que contempla la suma de la energía instantánea $E(t)$ y la energía cinética $K(t)$ es:

$$L = \frac{1}{2}I\dot{\phi}^2 - hf(1 - \cos \phi),$$

donde:

- I es el momento de inercia efectivo asociado al mecanismo interno.
- ϕ representa la fase interna vinculada al proceso de conversión masa-energía.
- hf es la energía promedio del fotón, de modo que el término de potencial $V(\phi) = hf(1 - \cos \phi)$ oscila entre 0 (para $\phi = 0$) y $2hf$ (para $\phi = \pi$).

El Hamiltoniano (energía total) asociado se expresa como:

$$H = \frac{1}{2}I\dot{\phi}^2 + hf(1 - \cos \phi).$$

Con las condiciones adecuadas de oscilación, este sistema garantiza que la energía instantánea oscile entre 0 y $2hf$ y que, en promedio, se mantenga en hf . Además, la energía total se conserva, es decir, H es constante en el tiempo, lo que refleja la conservación de la energía en el proceso de conversión masa-energía.

3 Propuesta de Gráficos e Ilustraciones

Figura 1: Gráfico de $V(t)$. Representa la función $V(t) = c(1 - \cos(\omega t))$, mostrando que varía de 0 a $2c$.

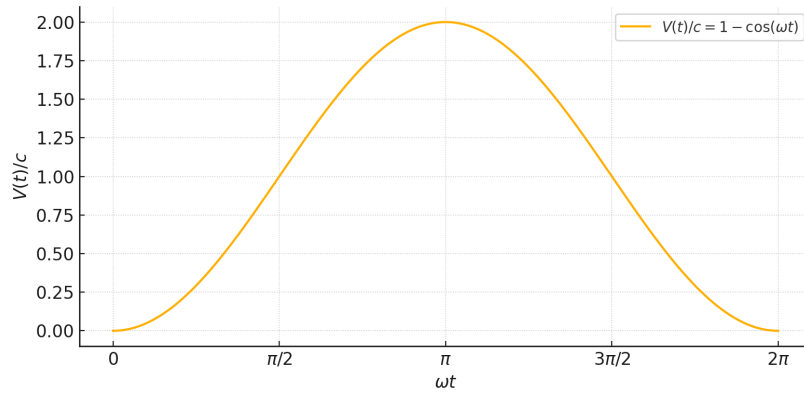


Figura 2: Comparación de Desplazamientos: Gráfica de $X(t) = ct$ y $X_o(t) = c\left(t - \frac{\sin(\omega t)}{\omega}\right)$. Ilustra la diferencia entre el movimiento macroscópico y el oscilatorio.

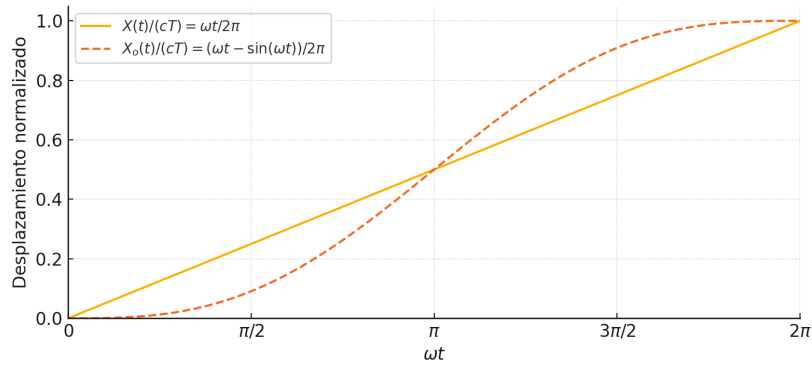


Figura 3: Gráfico de $m(t)$ y $E = E(t) + K(t)$. Muestra frente a ωt la variación interna de la “Masa en reposo efectiva” y la “Energía instantánea”.

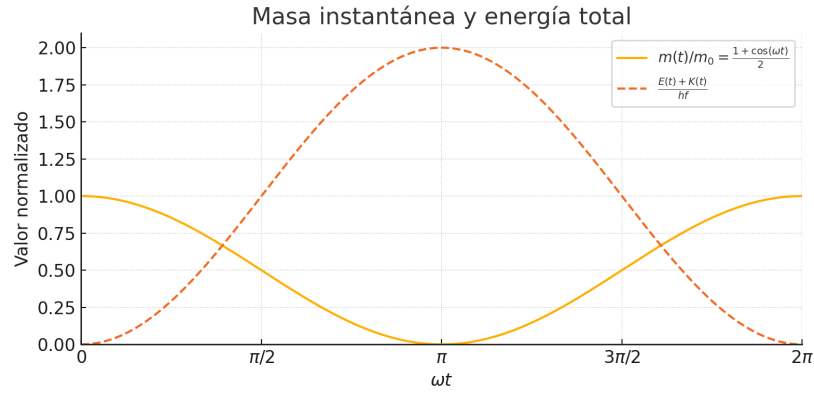


Figura 4: Gráfico de la energía instantánea $E(t)$ y de la energía cinética $K(t)$, que ilustra la interacción entre ambas energías..

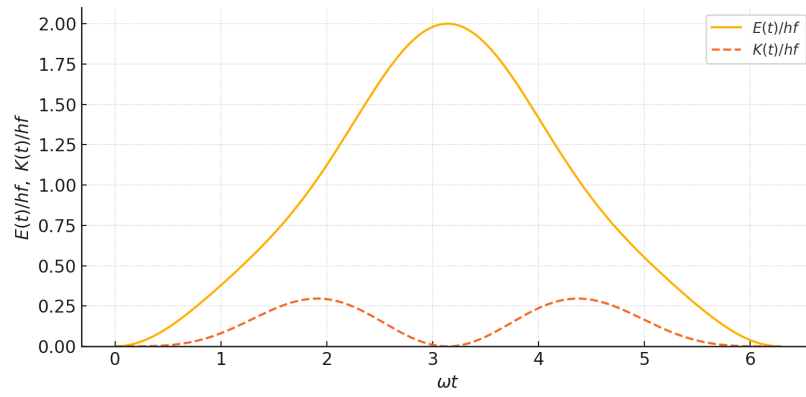
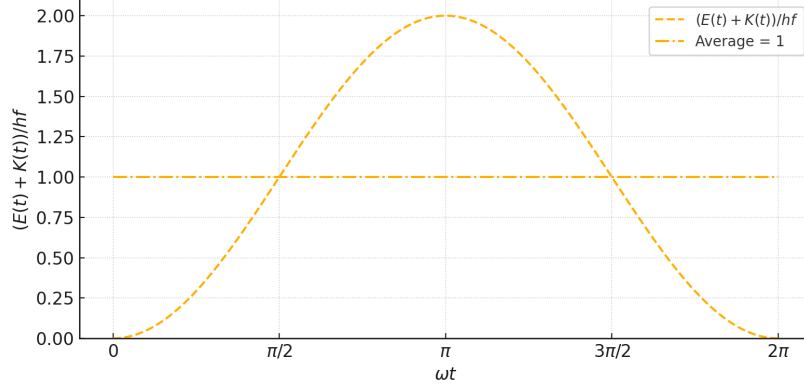


Figura 5: Gráfico de $E = E(t) + K(t)$, cuyo valor promedio sobre el período de la oscilación es constante y coincide con hf .



4 Discusión: Límite de Velocidad y Conversión Masa-Energía

La descripción clásica del fotón no explica por qué la velocidad no puede superar un determinado límite. En este modelo, se postula que la energía emitida por la fuente se convierte en masa y viceversa de forma oscilatoria. Este proceso permite que, cuando uno de los componentes se agota temporalmente en la conversión, el fotón alcanza su velocidad extrema (ya sea 0 o $2c$). Sin embargo, el valor promedio de la velocidad, que es el que se mide a nivel macroscópico, se conserva en c .

Esta interpretación se alinea con el principio de que, a pesar de las fluctuaciones internas, la información y la energía no viajan a velocidades superiores a c . Se puede establecer una analogía con los conceptos de velocidad de fase y de grupo en sistemas ondulatorios, en los cuales la velocidad de la onda individual puede exceder c , sin que ello implique una violación de la causalidad. De esta manera, el modelo proporciona una perspectiva innovadora sobre la limitación en la velocidad de propagación del fotón.

5 Conclusiones y Perspectivas Futuras

El modelo presentado ofrece una reinterpretación original de la naturaleza del fotón al introducir un mecanismo interno oscilatorio de conversión masa-

energía. Esta aproximación explica cómo la velocidad instantánea puede fluctuar entre 0 y $2c$ sin que el valor promedio, que es el que se verifica experimentalmente, exceda c .

Perspectivas futuras:

- **Validación Experimental:** Se sugiere desarrollar experimentos con resolución subfemtosegundo y simulaciones numéricas que permitan detectar señales indirectas de las oscilaciones internas.
- **Refinamiento Teórico:** Es necesario profundizar en el análisis dimensional y en la conservación de la energía, así como explorar la integración del modelo con la teoría cuántica de campos y la relatividad especial.
- **Colaboraciones Interdisciplinarias:** Se propone fomentar la colaboración entre teóricos y experimentadores para diseñar pruebas que validen o refuten los postulados del modelo.

6 Defensa Conceptual y Respuestas a Objeciones

A continuación se abordan posibles objeciones teóricas que podrían surgir frente al modelo propuesto, con el objetivo de anticipar críticas y clarificar su coherencia con principios fundamentales de la física.

6.1 ¿Viola el modelo la Relatividad Especial?

Objeción: Proponer velocidades instantáneas superiores a c contradice la relatividad.

Respuesta: El modelo no implica la transferencia de información o energía a velocidades superiores a c . La oscilación de la velocidad instantánea se refiere a un *comportamiento interno del fotón*, análogo a la diferencia entre *velocidad de fase* y *velocidad de grupo* en física de ondas. En estos sistemas, ciertas velocidades pueden superar c sin violar la causalidad ni transmitir señales superlumínicas. De forma similar, en este modelo la *velocidad promedio*, que es la relevante a nivel macroscópico y en la transmisión causal, permanece invariablemente en c . Por tanto, no se violan los postulados fundamentales de la relatividad especial.

6.2 ¿No es el fotón una partícula sin masa?

Objeción: Introducir masa al fotón contradice la física moderna.

Respuesta: El modelo plantea que el fotón sí posee masa, pero que esta oscila a escalas temporales extremadamente rápidas, lo cual impide su detección directa con los instrumentos actuales. Esta masa es una *manifestación transitoria* de su energía según $E = mc^2$, y su efecto promedio es compatible con la descripción tradicional del fotón como partícula sin masa en reposo.

6.3 ¿Qué oscila físicamente dentro del fotón?

Objeción: El modelo no define claramente qué “oscila” entre masa y energía.

Respuesta: Se propone que las oscilaciones no corresponden a una estructura material interna, sino a una *dinámica intrínseca de la condición de masa-energía*, derivada de $E = mc^2$. El fotón es aquí una entidad cuya energía y masa efectiva se intercambian cíclicamente. Esta idea guarda una analogía con el modelo cosmológico del *Big Bounce*¹, donde el universo pasa de contracción a expansión de manera oscilatoria, evitando singularidades y favoreciendo un proceso continuo entre dos extremos.

6.4 ¿Dónde está la evidencia experimental?

Objeción: No se han observado efectos compatibles con este modelo.

Respuesta: Se reconoce la ausencia de observación directa, dado que las oscilaciones ocurren en escalas de tiempo subfemtosegundo o attosegundo. No obstante, podrían buscarse *efectos indirectos* mediante simulaciones numéricas, interferometría ultrarrápida o estudios de óptica no lineal en regímenes extremos.

6.5 ¿No es erróneo permitir velocidades instantáneas mayores que c ?

Objeción: La relatividad prohíbe que cualquier partícula supere c .

Respuesta: Este modelo afirma que el fotón varía su velocidad entre 0 y $2c$ como parte de un ciclo oscilatorio continuo, sin que ello implique transmisión

¹Por ejemplo, en la *Loop Quantum Cosmology* de Ashtekar et al. (2006) o en el escenario ekpirótico de Khoury et al. (2002), el universo atraviesa ciclos de contracción y expansión evitando singularidades.

de información o energía más allá de c . Es análogo a la velocidad de fase superlumínica: un fenómeno interno compatible con la causalidad, mientras que la velocidad promedio medida sigue siendo c .

6.6 ¿Cómo se conserva la energía en el modelo?

Objeción: Las oscilaciones podrían infringir la conservación energética.

Respuesta: El modelo define una energía total $E(t) + K(t)$, donde la energía instantánea y la energía cinética oscilan en fase, pero su *suma promedio* en cada ciclo permanece constante e igual a hf , en total acuerdo con la ley de conservación de la energía.

7 Referencias Bibliográficas

Referencias

- [1] Einstein, A. (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. Annalen der Physik, 17, 891–921.
- [2] Planck, M. (1901). *Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum*. Annalen der Physik, 4(3), 553–563.
- [3] Jackson, J. D. (1999). *Classical Electrodynamics* (3rd ed.). Wiley.
- [4] Born, M., & Wolf, E. (1999). *Principles of Optics* (7th ed.). Cambridge University Press.
- [5] Brabec, T. y Krausz, F. (2000). *Campos láser de pocos ciclos intensos: Fronteras de la óptica no lineal*. Reviews of Modern Physics, 72(2), 545–591.

Abstract

In this work, we propose that a photon-emitting system releases energy—equivalent to a certain mass—and undergoes an oscillatory process of mass–energy conversion in which its instantaneous speed fluctuates between 0 and $2c$. When either mass or energy is momentarily depleted, the system reaches its minimum or maximum speed, while the average speed remains precisely c . We develop the corresponding mathematical formalism and present a Lagrangian formulation, enabling exploration of the model’s theoretical implications and derivation of equations describing the photon’s cyclic evolution during its mass–energy conversion process.

The model we introduce opens the possibility of reevaluating fundamental principles in the study of light and energy. We also discuss experimental strategies for verifying this oscillatory mechanism, considering methods that could detect variations in photon dynamics under specific conditions.

Conceptual Framework of the Oscillatory Model

This work proposes an alternative framework to special and general relativity for interpreting photon dynamics and the mass–energy relationship. Unlike the relativistic approach, where the speed of light c is postulated as constant and invariant for all observers, in this model c emerges as the average value of an internal oscillation describing the cyclical transformation of mass into energy within the photon. This sinusoidal oscillation naturally explains why no physical system can exceed c , without invoking the Lorentz factor or space–time transformations.

Here, the photon is treated as an entity with a variable effective instantaneous mass, allowing its trajectory to be influenced by gravitational fields in a classical manner, without resorting to space–time curvature. The total energy of the system is conserved at all times, and the average propagation speed remains equal to c , in agreement with observable results.

Regarding time, this model does not consider it as a geometric dimension or a relative quantity between observers, but rather as a common physical reference based on a universal oscillation—for example, a frequency associated with light itself. This notion can account for the desynchronization of real clocks under the influence of external factors (gravity, electromagnetic fields, relative velocity), without invoking time dilation as a geometric concept.

In this section, we revisit the principle of inertia by observing that the photon exhibits a sinusoidal speed.

Overall, the model constitutes a physically consistent alternative, capable of explaining phenomena such as gravitational redshift, frequency variations in strong fields, and the behavior of dynamic systems in gravitational environments. It is presented as a basis for theoretical discussion, further extension, and experimental confrontation.

Comments and suggestions on the present model are welcome. The author is open to constructive discussion and dialogue.

You may leave your feedback at the following form:

<https://forms.gle/KaG7tK9oBQq7VdbRA>

1 Introduction

The photon is described here as a particle with mass whose energy is given by:

$$E = hf$$

The objectives of this work are:

- To introduce a mathematical formalism including an internal angular frequency ω associated with mass–energy conversion.
- To explain, via this formalism, the oscillation of the instantaneous speed between 0 and $2c$ and the resulting conservation of the average value c .
- To establish a Lagrangian formulation that reproduces the photon’s internal oscillatory dynamics.
- To discuss theoretical objections and propose possible experimental verification methods.

2 Model and Mathematical Formalism

2.1 Definition of Parameters and Variables

We define the following constants and variables:

- c : Speed of light = 299792458 m/s.
- h : Planck's constant = $6.62607015 \times 10^{-34}$ J · s.
- f : Electromagnetic frequency.
- T : Period = $1/f$.
- ω : Internal angular frequency, defined by

$$\omega = 2\pi f.$$

- t : Time, with $t \in [0, T]$.
- $V(t)$: Instantaneous speed of the internal process.
- $X_o(t)$: Oscillatory displacement of the internal component.
- $X(t)$: Macroscopic (linear) displacement.
- E_p : Photon's average energy.
- m_0 : Effective rest mass.
- $m(t)$: Instantaneous mass.
- $E(t)$: Instantaneous energy.
- $K(t)$: Kinetic energy associated with internal oscillations.
- E : Total energy of the system.

2.2 Model Equations

The model relies on the photon's internal oscillatory behavior. In terms of the internal phase ωt , the equations are:

1. Instantaneous speed:

$$V(t) = c(1 - \cos(\omega t))$$

This expression allows $V(t)$ to oscillate between 0 and $2c$, with an average value of c .

2. **Average energy:**

$$E_p = hf$$

3. **Effective rest mass (via mass–energy equivalence):**

$$m_0 = \frac{E_p}{c^2}$$

4. **Instantaneous mass:**

$$m(t) = m_0 \frac{1 + \cos(\omega t)}{2}$$

5. **Instantaneous energy:**

$$E(t) = hf(1 - \cos(\omega t)) - \frac{1}{2} m(t)V(t)^2$$

6. **Kinetic energy:**

$$K(t) = \frac{1}{2} m(t)V(t)^2$$

7. **Total energy:**

$$E_{\text{tot}} = E(t) + K(t)$$

The time average of $E = E(t) + K(t)$ over one period equals hf , i.e. the photon's average energy.

Calculation of the Cycle-Averaged Energy

Define

$$E_{\text{tot}}(t) = E(t) + K(t).$$

The average energy over one period $T = 2\pi/\omega$ is

$$\langle E_{\text{tot}} \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T [E(t) + K(t)] dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[E\left(\frac{\theta}{\omega}\right) + K\left(\frac{\theta}{\omega}\right) \right] d\theta.$$

Substituting the explicit forms and evaluating the integral confirms

$$\langle E_{\text{tot}} \rangle = hf.$$

Displacements

- **Oscillatory:**

$$X_o(t) = c \left(t - \frac{\sin(\omega t)}{\omega} \right)$$

Derivation of $X_o(t)$

Starting from

$$V(t) = c(1 - \cos(\omega t))$$

we integrate:

$$X_o(t) = \int_0^t c(1 - \cos(\omega t')) dt' = c \left[t - \frac{\sin(\omega t)}{\omega} \right],$$

showing that $dX_o/dt = V(t)$.

- **Linear:**

$$X(t) = ct.$$

Lagrangian and energy conservation in the oscillatory photon model

The Lagrangian that fully conforms to the model described and that encompasses the sum of the instantaneous energy $E(t)$ and the kinetic energy $K(t)$ is:

$$L = \frac{1}{2} I \dot{\phi}^2 - hf(1 - \cos \phi),$$

where:

- I is the effective moment of inertia associated with the internal mechanism.
- ϕ represents the internal phase related to the mass-energy conversion process.
- hf is the average energy of the photon, so that the potential term $V(\phi) = hf(1 - \cos \phi)$ oscillates between 0 (for $\phi = 0$) and $2hf$ (for $\phi = \pi$).

The associated Hamiltonian (total energy) is expressed as:

$$H = \frac{1}{2}I\dot{\phi}^2 + hf(1 - \cos\phi).$$

Under appropriate oscillatory conditions, this system ensures that the instantaneous energy oscillates between 0 and $2hf$ and that, on average, it remains at hf . Furthermore, the total energy is conserved, i.e., H is constant over time, which reflects the conservation of energy in the mass-energy conversion process.

3 Proposed Graphs and Illustrations

Figure 1: Graph of $V(t)$. This graph represents the function $V(t) = c(1 - \cos(\omega t))$, showing that the speed varies from 0 to $2c$.

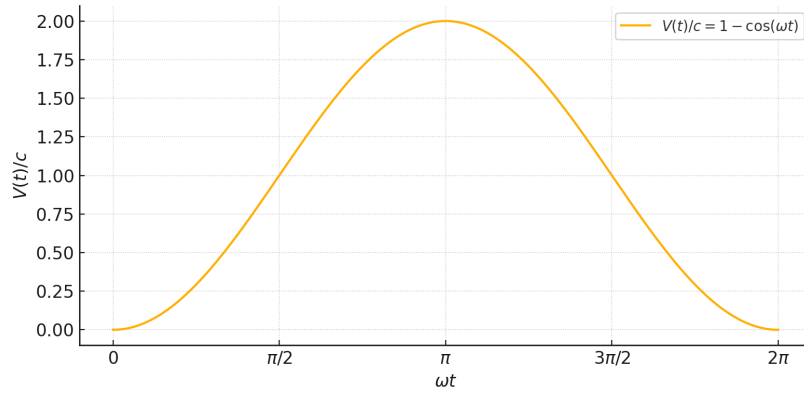


Figure 2: Comparison of Displacements: Plot of $X(t) = ct$ and $X_o(t) = c\left(t - \frac{\sin(\omega t)}{\omega}\right)$. This illustrates the difference between macroscopic motion and the oscillatory displacement.

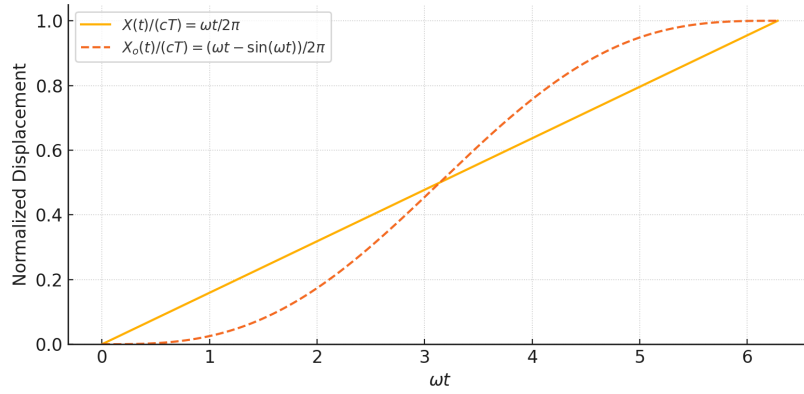


Figure 3: Graph of $m(t)$ and $E = E(t) + K(t)$. This plot shows the internal variation of the “Effective Rest Mass” and the “Instantaneous Energy” as a function of ωt .

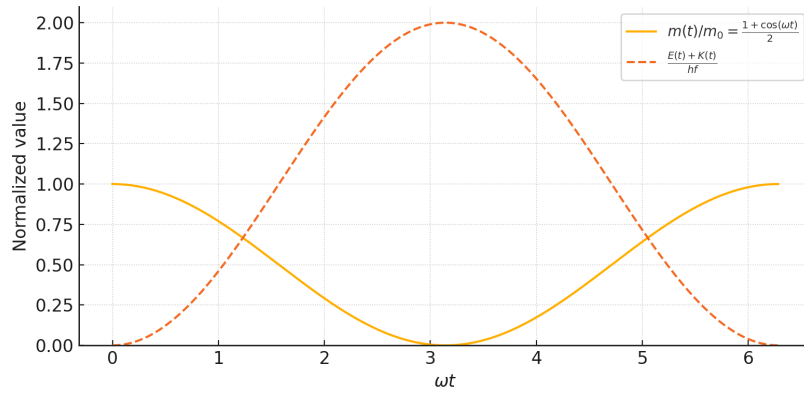


Figure 4: Graph of the instantaneous energy $E(t)$ and the kinetic energy $K(t)$, illustrating the interplay between these two energy components.

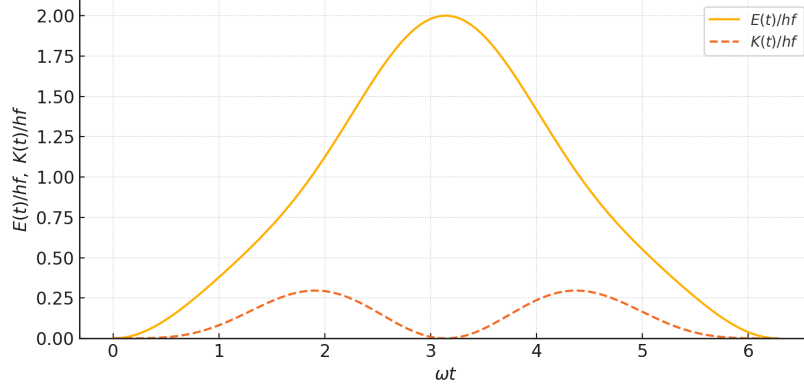
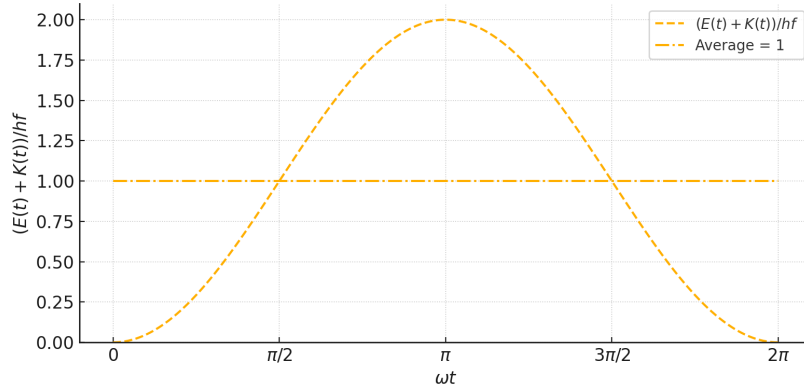


Figure 5: Graph of $E = E(t) + K(t)$, whose average value over a complete oscillation remains constant and coincides with hf .



4 Discussion: Speed Limit and Mass-Energy Conversion

The classical description of the photon does not explain why its speed cannot surpass a certain limit. In the proposed model, it is postulated that the energy emitted by the source is converted into mass and, conversely, the mass into energy, in an oscillatory manner. This process allows the photon to reach

its extreme speed (either 0 or $2c$) when one of the components is temporarily exhausted. However, the averaged macroscopic speed remains constant at c .

This interpretation is in accordance with the principle that, despite internal fluctuations, neither information nor energy can be transmitted at speeds exceeding c . An analogue can be drawn from the concepts of phase velocity and group velocity in wave phenomena: whereas individual wave components may exhibit superluminal phase velocities, the net transmission of information (i.e., the group velocity) remains at or below c . In a similar manner, the model guarantees that the *average speed* maintains the causal limit.

5 Conclusions and Future Perspectives

The model presented offers an original reinterpretation of the photon's nature by introducing an internal oscillatory mechanism for mass-energy conversion. This approach accounts for how the instantaneous speed can fluctuate between 0 and $2c$ without causing the average speed—verified experimentally—to exceed c .

Future Perspectives:

- **Experimental Validation:** It is suggested to develop experiments with sub-femtosecond resolution and numerical simulations that could detect indirect signals corresponding to the internal oscillations.
- **Theoretical Refinement:** Further analysis regarding dimensional consistency and energy conservation should be pursued, along with efforts to incorporate the model within the frameworks of quantum field theory and special relativity.
- **Interdisciplinary Collaborations:** Promoting collaborations between theorists and experimentalists is recommended to design tests that can verify or refute the proposed postulates.

6 Conceptual Defense and Responses to Objections

Below, potential theoretical objections to the proposed model are addressed, in order to preempt criticisms and clarify its adherence to fundamental principles

of physics.

6.1 Does the Model Violate Special Relativity?

Objection: Proposing speeds greater than c contradicts the theory of relativity.

Response: The model does not imply the transfer of information or energy at superluminal speeds. The oscillation of the instantaneous speed refers to an *internal behavior of the photon*, analogous to the distinction between *phase velocity* and *group velocity* in wave physics. In such systems, certain velocities may exceed c without violating causality. Similarly, in this model, the *average speed*—the relevant observable macroscopic parameter—remains c , thus preserving the core postulates of special relativity.

6.2 Isn't the Photon a Massless Particle?

Objection: Introducing mass to the photon contradicts current physical theories.

Response: The model posits that the photon does indeed possess mass, but that this mass oscillates at extremely rapid time scales, preventing its direct detection with present-day instruments. This mass is a *transient manifestation* of its energy, as prescribed by $E = mc^2$, and its net effect is consistent with the conventional description of the photon as a massless particle in terms of its observable properties.

6.3 What is Oscillating Physically Within the Photon?

Objection: The model does not clearly define what “oscillates” between mass and energy.

Response: The oscillations do not correspond to a material internal structure; rather, they signify an *intrinsic dynamic process of the mass–energy equivalence* derived from $E = mc^2$. In this model, the photon is interpreted as an entity in which energy and effective mass cyclically interchange. This concept is analogous to the cosmological *Big Bounce*², where the universe transitions continuously between contraction and expansion phases.

²For example, in Ashtekar et al.'s (2006) Loop Quantum Cosmology or in the ekpyrotic scenario of Khoury et al. (2002), the universe undergoes cycles of contraction and expansion, thereby avoiding singularities.

6.4 Where is the Experimental Evidence?

Objection: No measurable effects corresponding to this model have been observed.

Response: The absence of direct observation is acknowledged, as the oscillations occur on sub-femtosecond or attosecond time scales. Nonetheless, indirect effects may be identified via numerical simulations, ultrafast interferometry, or studies in extreme nonlinear optics.

6.5 Is it Incorrect to Allow Instantaneous Speeds Greater than c ?

Objection: Relativity forbids any particle from exceeding the speed c .

Response: The model asserts that the photon's instantaneous speed varies between 0 and $2c$ as part of a continuous oscillatory cycle, without implying that information or energy is transmitted at superluminal speeds. This is analogous to a superluminal phase velocity observed in wave phenomena: an internal characteristic that does not conflict with the causal limits imposed by the average (group) velocity.

6.6 How is Energy Conserved in the Model?

Objection: The oscillations might seem to violate energy conservation.

Response: The total energy defined as $E(t) + K(t)$ oscillates internally; however, the *average sum* over a complete cycle remains constant at hf , in full compliance with the law of energy conservation.

7 Bibliographical References

References

- [1] Einstein, A. (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. Annalen der Physik, 17, 891–921.
- [2] Planck, M. (1901). *Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum*. Annalen der Physik, 4(3), 553–563.
- [3] Jackson, J. D. (1999). *Classical Electrodynamics* (3rd ed.). Wiley.

- [4] Born, M., & Wolf, E. (1999). *Principles of Optics* (7th ed.). Cambridge University Press.
- [5] Brabec, T., & Krausz, F. (2000). *Intense few-cycle laser fields: Frontiers of nonlinear optics*. Reviews of Modern Physics, 72(2), 545–591.