
 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 5	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Termodinámica de agujeros negros: Introducción a la concepción de entropía de acuerdo con la segunda ley generalizada.
Autor(es)	Arenas Beltrán, Juan Sebastián
Director	Cruz, Yesid Javier
Publicación	Bogotá, Universidad pedagógica Nacional, 2014. 45p.
Unidad Patrocinante	Departamento de física, Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Agujeros negros, termodinámica, relatividad general.

2. Descripción
<p>La investigación teórica acerca de los agujeros negros y su relación con la termodinámica han logrado plantear toda una rama de las ciencias que no podría ser desapercibida, no solo por su impresionante formulación, sino por sus impactantes resultados teóricos tales como: la entropía de los agujeros negros, la radiación de Hawking y la inquietante relación con la teoría de la información, entre otros. Al ser la termodinámica una visión física del universo, las connotaciones ya conocidas acerca de esta y de sus leyes fundamentales pueden ser entendidas de manera profunda y alternativa con un ejemplo físicamente extremo: los agujeros negros; regiones particulares del espacio-tiempo en donde la gravedad es tan intensa, que ni siquiera la luz puede escapar de allí. En el presente trabajo se abordan e identifican de manera introductoria, las relaciones termodinámicas en la relatividad general, en particular, los agujeros negros.</p>

3. Fuentes
<p>[1] Schwarzschild, K., "Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften 189-196, 1916.</p> <p>[2] Dinverno, R., Introducing Einstein's Relativity. 5 ed.: Oxford University Press, 1998.</p> <p>[3] Weinberg, S., Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of The general Theory of Gravity. 1 ed.: John Wiley & Sons, Inc., 1972.</p> <p>[4] Misner, W., Thorne S., Wheeler A., Gravitation. 3 ed.: Freeman and Company, 1973.</p> <p>[5] Wald, R., General Relativity 1 ed.: The University of Chicago Press, 1984.</p> <p>[6] Eddington, A.S., The Mathematical Theory of Relativity 1 ed.: Cambrish University Press, 1924.</p> <p>[7] Mammadov, G., Reissner-Nordström metric Replacement project for the final exam of the adv. electromagnetic theory II, Syracuse University NY. May 04 2009 [http://gmammado.mysite.syr.edu/notes/RN_Metric.pdf]</p> <p>[8] Hawking, S., Ellis, G., The large scale structure of space-time 12 ed.: Cambrish University Press, 1994.</p> <p>[9] McMahon, D., General Relativity Demystified 1 ed.: Mc Graw-Hill Inc., 2006.</p> <p>[10] Chandrasekhar, S., The Mathematical Theory of Black Holes 1 ed.: Oxford University Press, NY, 1983.</p> <p>[11] W. Rindler, "Kruskal space and the uniformly accelerating frame," Am. J. Phys. 34, 1174-8 (1966).</p> <p>[12] A. S. Eddington, "A comparison of Whitehead's and Einstein's Formulae," Nature 113, 192 (1924).</p> <p>[13] D. Finkelstein, "Past future asymmetry of the gravitational field of a point particle," Phys. Rev. 110, 965 (1958).</p> <p>[14] M. D. Kruskal, "Maximal Extension Of Schwarzschild Metric," Phys. Rev. 119, 1743 (1960). 56</p> <p>[15] G. Szekeres, "On the singularities of a Riemannian manifold," Publ. Mat. Debrecen 7, 285-301, (1960).</p> <p>[16] H. Reissner, "Über die Eigengravitation des elektrischen Felds nach den Einsteinschen Theorie," Ann. Phys. bf 50, 106-120 (1916).</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 5

[17] G. Nordström, On the energy of the gravitational field in Einstein's theory," Proc. Kon. Ned. Akad. Wet. 20, 1238-1245 (1918).

[18] R. P. Kerr, Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics," Phys. Rev. Lett. 11, 237 (1963).

[19] R. H. Boyer and R. W. Lindquist, \Maximal analytic extension of the Kerr metric," J. Math. Phys. 8, 265-281, (1967).

[20] E. T. Newman and A.I. Janis, \Note on the Kerr Spinning-Particle Metric," J. Math. Phys. 6, 915-7 (1965).

[21] R. C. Henry, Kretschman Scalar for a Kerr-Newman Black Hole," The Astrophysical Journal, (1999).
<http://arxiv.org/abs/astro-ph/9912320v1>

[22] J. Lense and H. Thirring, The Influence of the Self-Rotation of Central Bodies on the Movemens of the Planets and the Moon According to Einsteins Theory of Gravitation" Physicalische Zeitschrift, 19, 156-163, (1918).

[23] E. T. Newman, E. Couch, K. Chinnapared, A. Exton, A. Prakash and R. Torrence Metric of a rotating charged mass," J. Math. Phys. 6, 918-9 (1965).

[24] R. Penrose, Gravitational collapse and space-time singularities," Phys. Rev. Lett. 57, 57-59 (1965)

[25] R. Penrose, Gravitational collapse: the role of general relativity," Riv. Nuo. Cim. Numero speciale I, 257 (1969) reprinted in Gen. Rel. and Grav. 34, 1141 (2002).

[26] S. Hawking, R. Penrose, The Singularities of Gravitational Collapse and Cosmology,"Proc. Roy. Soc. Lond. A. 314, 529-48 (1970)

[27] R. Penrose and R. M. Floyd, Extraction of rotational energy from a black hole," Nature, Phys. Schi. 229, 177-179 (1971).

[28] D. Christodoulou, Reversible and irreversible transformations in black hole physics,"Phys. Rev. Lett. 25, 1596-7 (1970).

[29] D. Christodoulou and R. Ruffini, Reversible transformations of a charged black hole,"Phys. Rev. D 4, 3552-5 (1971).

[30] S. W. Hawking, Gravitational radiation from colliding black holes," Phys. Rev. Lett. 26, 1344-6 (1971).

[31] J. D. Bekenstein Black holes and the second law," Lett. Nuo. Cim. 4, 737-740 (1972).

[32] L. Smarr, Mass Formula for Kerr Black Holes," Phys. Rev. Lett. 30, 71-3 (1973).

[33] A. Curir, M. Francaviglia Isoareal Transformations of the Kerr-Newman Black Holes,"Acta Physica Polonica B9, (1978).

[34] J. M. Bardeen, B. Carter and S. W. Hawking, The Four laws of black hole mechanics,"Commun. Math. Phys. 31, 161 (1973).

[35] Reif, F., Fundamentals of Statistical and Thermal Physics Students ed.: Mc Graw-Hill Inc., 1965.

[36] Adkins, C.J., Equilibrium Thermodynamics 3 ed.: Cambrish University Press, 1988.

[37] Hawking, S. W., Israel, W., Three Hundred Years of Gravitation 1 ed.: Cambrish University Press, 1989.

[38] Landau, L. D., Lifshitz, E. M., Course of Theoretical Physics vol. 5: Statistical Physics 2 ed.: Pergamon Press, 1970.

[39] J. D. Bekenstein Black holes and Entropy," Phys. Rev. D 7, 2333-46 (1973).

[40] C. E. Shannon \A Mathematical Theory of Communication," The Bell System Technical Journal 27-I, 379-423 (1948).

[41] Brillouin, L., Science and Information Theory 2 ed.: Academic Press, New York,1962.

[42] J. D. Bekenstein Generalized Second Law of Thermodynamics in Black-Hole Physics,"Phys. Rev. D 9, 3292-3300 (1974).

[43] S. W. Hawking, Black Hole Explosions?" Nature 248, 30-31(1974).

[44] S. W. Hawking, Particle creation by black holes," Commun. Math. Phys. 43, 199-220 (1975).

[45] G. W. Gibbons and S. W. Hawking, \Action integrals and partition functions in quantum gravity," Phys. Rev. D 15, 2752 (1977).


[46] P. C. W. Davies, Thermodynamics of Black Holes," Rep. Prog. Phys. 41, 1313-55 (1978).

[47] S. W. Hawking Black Holes and Thermodynamics," Phys. Rev. D 13, 191-7 (1976).

[48] J. D. Bekenstein Universal Upper Bound on the Entropy-to-Energy Ratio for Bounded Systems," Phys. Rev. D 23, 287-298 (1981).


[49] J. D. Bekenstein Energy Cost of Information Transfer," Phys. Rev. Lett. 46, 623-6 (1981).

[50] Schutz, B., Gravity from the Ground up 1 ed.: Cambridge University Press, 2003.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 5


4. Contenidos
<p>1. Relatividad General: La métrica de Schwarzschild</p> <p>Se introducen las ecuaciones de campo de Einstein, las cuales constituyen una teoría de gravitación en la que se introduce el concepto de curvatura del espacio-tiempo. Con esto se inicia el estudio que da lugar a la física de agujeros negros y que constituye la base del estudio de los posibles escenarios que localmente reproducen la geometría alrededor de aquellos cuerpos. Se presenta por completo solo la deducción de la primera solución, con el fin de iniciar con una apropiada matematización de los conceptos básicos de la relatividad general. La primera solución a las ecuaciones de campo de A. Einstein, fue desarrollada por Karl Schwarzschild en 1916. Aquella solución representa el “campo gravitacional” circundante a una masa que se considera puntual, y está situada en un origen de coordenadas.</p> <p>2. Agujeros negros</p> <p>Este capítulo está dedicado, especialmente, a las soluciones exactas de las ecuaciones de campo de Einstein; en él se pretende enseñar detenidamente y sin embargo, de manera global, los tres casos restantes en cuanto a la geometría proporcionada por cuerpos que podemos considerar agujeros negros desde el punto de vista físico de la relatividad general. Anteriormente, se expusieron las cualidades geométricas y físicas de la solución de Schwarzschild, la cual puede ser asociada con un agujero negro estático y de simetría axial; y aquí se introducirán los diferentes tipos de agujeros negros, sus soluciones y propiedades generales. Se realiza la clasificación correspondiente para agujeros negros estáticos (Schwarzschild), con carga eléctrica (Reissner-Nordström) y agujeros rotantes (Kerr-Newman), con sus respectivas propiedades.</p> <p>3. Termodinámica de agujeros negros</p> <p>Se estudian las características generales de la mecánica de los agujeros negros y sus leyes. En este capítulo se introducen los conceptos de similitud entre el formalismo de la teoría de los agujeros negros con la de la termodinámica al enunciar y compilar las cuatro leyes consideradas clásicas desde la base de las investigaciones históricas en el tema.</p> <p>4. Análisis de la termodinámica en agujeros negros</p> <p>Para este capítulo se inicia formalmente con las comparaciones entre termodinámica y agujeros negros, haciendo las comparaciones correspondientes para cada una de las leyes estudiadas desde el marco de cada disciplina. Se introduce la segunda ley generalizada de la termodinámica y su concepción de entropía desde la teoría de la información para los agujeros negros. Se finaliza con la explicación de la temperatura de radiación de Hawking y los respectivos cálculos obtenidos para las magnitudes termodinámicas de los agujeros negros.</p>

5. Metodología
<p>El conjunto de procedimientos que se utilizan para obtener conocimientos científicos, es conocido como “método científico”. Puesto que este método, no es particularmente definido para cualquier investigación, existe una manera específica de estudiar dichos procedimientos con el fin de dar coherencia a lo que se quiere investigar. Esta labor es la que cumple la metodología en las ciencias naturales.</p> <p>Para la realización del presente trabajo, es necesario definir qué tipo de metodología es la más apropiada para lograr los objetivos propuestos. Esta metodología tiene que ser parte de un proceso hipotético-deductivo que cumpla con las actividades de:</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 5

- Revisión de las teorías existentes
 - Propuesta de una o varias hipótesis
 - Sustentación mediante el diseño de investigación adecuado
 - Confirmación o refutación
- Estos procesos se ajustan de manera más consistente con la metodología de tipo cuantitativa y dentro de esta, específicamente la no-experimental (ex-post-facto). En este tipo de metodología no se tiene control sobre las variables independientes, debido a que los fenómenos ya han ocurrido o no pueden ser reproducidos y se proporcionan técnicas para describir la realidad, analizar relaciones, categorizar, simplificar y organizar las variables que configuran el objeto de estudio. El propósito es realizar inferencias sobre la relación entre las variables, sin dar una intervención directa.
- Finalmente, se presentan las fases que siguen de manera consistente el objeto de la metodología estudiada y presentada con anterioridad, las cuales fueron la guía y estructura del trabajo realizado:
- Recopilación de información acerca del fenómeno (o campo fenoménico) a estudiar.
 - Identificación del problema teórico a investigar y planteamiento de objetivos acerca de lo que se pretende obtener.
 - Establecimiento de un marco teórico suficientemente delimitado y consecuente con los antecedentes (históricos) sobre el tema.
 - Conclusiones del trabajo investigativo.

6. Conclusiones
<ol style="list-style-type: none"> 1. Al ir paulatinamente por el estudio de la relatividad general, los agujeros negros parecen ser los cuerpos más simples en el cosmos denidos por tan solo tres parámetros (masa, carga y momento angular); el estudio de estas propiedades demuestra que se puede desarrollar una formalización adecuada para el estudio especializado de los agujeros y que, además, existe un conjunto de leyes asociadas que son similares -o equivalentes a las de la termodinámica. 2. La entropía del agujero negro y su temperatura, pueden ser asociados con el área de su horizonte de eventos y gravedad superficial, respectivamente. Pese a que existe una conexión establecida entre la termodinámica y los agujeros negros, la naturaleza de las cantidades mencionadas se desconoce a nivel fundamental (estadístico) y por lo tanto, el estatus de la teoría permanece como algo especulativo que requeriría de una presunta teoría de gravedad cuántica para dar cuenta de los aspectos envueltos; como la radiación de Hawking, entre otros. 3. El usar un análisis semi-clásico de los agujeros negros permite dar una primera aproximación a la concepción de entropía en los agujeros negros. Aunque se desconocen por completo los grados de libertad adicionales que dan lugar a un valor de entropía tan enorme para aquellos cuerpos, se relaciona a esta con el carácter de irreversibilidad que posee la pérdida de información (como el aumento de la incertidumbre acerca de la configuración interna de un cuerpo que ha caído al agujero) que se ve reflejada en el incremento de la entropía del agujero negro, y en su aumento de tamaño (área). Dado que siempre existe una compensación entre la entropía de los agujeros negros y la del resto del universo, se asume que la segunda ley de la termodinámica es generalizada por medio de esta teoría. 4. La obtención del resumen de las leyes de la termodinámica para los agujeros negros sugiere que el marco disciplinar de la termodinámica es aún vigente para los aspectos relevantes de la física, debido a que su contundente formulación no ha encontrado ninguna falsación hasta el momento. De una buena manera, este trabajo ha rescatado una parte clásica de la física -de la termodinámica de máquinas de vapor o procesos químicos- para trasladarla a la relatividad general en el campo de eventos astrofísicos como la mecánica de agujeros negros, y además, desde este formalismo algunos aspectos de estos cuerpos pueden ser tomados como ejemplos extremos no muy conocidos de la termodinámica: calor específico negativo, evaporación de Hawking y entropía de Bekenstein, entre otros.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 5 de 5	

5. El trabajo realizado se constituye por completo como un aporte introductorio hacia temas no muy conocidos dentro del ámbito de la física contemporánea, los cuales pueden ser trabajados y/o estudiados a partir de conceptos previos en las áreas trabajadas en el pregrado en física.
6. La recopilación de fuentes históricas de autores originales han sido una gran base teórica para la ardua elaboración del texto, que se pretende como una fuente confiable de conocimientos básicos en las respectivas áreas trabajadas.

Elaborado por:	Juan Sebastián Arenas Beltrán
Revisado por:	Yesid Javier Cruz

Fecha de elaboración del Resumen:	01	09	2014
--	----	----	------