

VELAS SOLARES, EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN ESPACIAL

X.C.M Cubillos^a

^a Space Mechanics and Control Division / National Institute for Space Research – INPE
Avenida dos Astronautas, 1758 – P.O. Box 515
12201-940 - São José dos Campos, S.P., Brazil
Email: ximena.cubillos@inpe.br

RESUMEN

Por un largo tiempo, la humanidad ha contemplado con entusiasmo el cielo y sus misterios. La observación y la curiosidad por el espacio exterior han sido siempre constantes. La busca por otros planetas, formas y civilizaciones donde la exploración del espacio es lo que despierta el deseo. Pero el desafío fue por años obtener suficiente autonomía de energía para realizar las misiones. Así, la procura de misiones que tengan una mayor autonomía es lo que se desea obtener y por consecuente, reducción del costo de la misión. Actualmente las velas solares han demostrado un gran potencial para la aplicación y la investigación. Y con los recientes avances en instrumentos livianos y ultralivianos en misiones que usan vela solar se ha convertido en una realidad. Este trabajo propone presentar las velas solares, desde su originaria esencia hasta los días de hoy, las misiones en actividad, los más diversos campos de investigación y los desafíos que se exhibe a la ingeniería aeroespacial.

Palabras clave: velas solares, misiones, investigación, ingeniería aeroespacial.

INTRODUCCIÓN

En 1619, Kepler observó que la cola de un cometa estaba de espaldas al sol, y entonces llegó a la conclusión de que eso se debía a la presión de la luz solar [1]. Las primeras ideas sobre las velas solares empezaron en el siglo 17 con Julio Verne en su libro de ficción científica, "De la Tierra a la Luna", de 1865, escribió [2]: "Algún día habrá velocidades mucho más altas que de las naves y proyectiles, en el que la luz o la electricidad será posiblemente el agente mecánico... para un viaje a la luna, los planetas y las estrellas." Es muy probable que esta fue la primera publicación que la luz podía mover una nave espacial a través del espacio. Teniendo en cuenta la fecha de publicación de su trabajo, lo más probable es que venga a ser considerado como el creador del concepto de una vela solar espacial propulsada por la presión de la luz, a pesar de que todo el concepto se quedó en la teoría.

Julio Verne probablemente tuvo la idea en la teoría de Maxwell. Maxwell publicó su teoría de los campos electromagnéticos y la radiación, lo que demuestra que la luz es muy fuerte, que puede ejercer presión sobre los objetos. Su trabajo proporciona la base teórica para la navegación con la presión de la luz [3]. Sin embargo, de acuerdo con McInnes [4], los primeros conceptos de velas solares se introdujeron a principios de los años 20 por Tsiolkovsky y Tsander [5,6]. La idea era aprovechar la fuerza como medio de propulsión. Tsiolkovsky propuso en 1924 que una gran sonda podría ser empujada hacia el espacio por la presión de los fotones, y el mismo año Tsander propuso un modelo de vela solar. Pero, debido a la imposibilidad de fabricación de las velas solares en la época, la falta de materiales livianos, el concepto no fue profundado.

Las velas solares por mucho tiempo fueron tratadas solamente como una idea teórica, no obstante, actualmente, con el avance de la ingeniería, han sido tratadas como una económica y promisoría tecnología puesto que es una opción de bajo costo. Y con la promesa de la exploración espacial, ya que utiliza para propulsar un recurso abundante en el espacio: la radiación solar [7]. La vela solar tiene su inspiración en las embarcaciones tradicionales de vela que se utilizan en la Tierra, **Figura 1**. Las embarcaciones tradicionales utilizan el viento: la vela es sometida a la simple presión del viento,

que impulsa el barco hacia adelante [8]. En el espacio, la vela solar utiliza la misma idea. El sol emite radiación solar (fotones) en todas las direcciones, también vale la pena recordar que el viento solar es un haz de partículas cargadas, que consiste principalmente de hidrógeno y helio [9].



Figura 1. Embarcaciones de Vela

Para entender cómo la luz del sol impulsa una vela solar, primero hay que entender un poco sobre la interacción de la luz con la materia. Cuando la luz solar, que cuenta con momentum incide en una superficie se reflejará muy poco y la mayor parte será absorbida. En el espacio, no hay resistencia del aire y cualquier objeto es esencialmente libre de otras fuerzas, la luz del sol que actúa sobre una vela transferirá su impulso a ella causando su movimiento. Si el mismo material es ahora un material reflectante (como un espejo), se reflejan los fotones, minimizando la absorción [9]. Considerando que los momentum son transferidos por los fotones, tener una estructura suficientemente grande es necesario para capturar un gran número de fotones, que resultara en una mayor fuerza de aceleración.

Una partícula cargada que se mueve a través de un campo magnético experimentará una fuerza que o acelerará, dependiendo de la dirección en que se mueve en relación con el magnético. Newton dijo en la tercera ley " Para cada acción hay una reacción igual y opuesta", o sea, el campo magnético también se ve afectado. En este caso, la estructura experimentará la fuerza opuesta, dándole la aceleración, **Figura 2.** . La aceleración producida por la radiación solar a 1 UA es aproximadamente 1mm/s^2 . Este valor es de hecho es muy pequeño, pero es posible que el sistema alcanza la velocidades significativas por el hecho de que no hay medios de disipación de la energía cinética por la fricción [4].

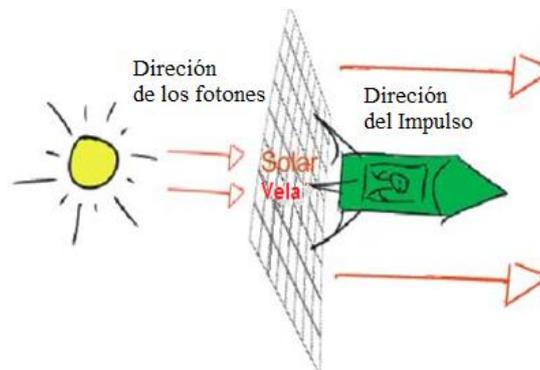


Figura 2. Funcionamiento de una Vela Solar [7].

La mayor contribución esperada por el desarrollo de la tecnología de las velas solares es para misiones de larga duración (escapar del sistema solar, su funcionamiento, viajando hacia el espacio exterior), siendo que la principal limitación de este tipo de proyecto es la cantidad de combustible embarcado, que también representa un gran peso y volumen al lanzamiento, en la cual es un recurso agotable. Provista la posibilidad de acceder a órbitas que antes eran inaccesibles y permitir una vida más larga de las misiones, las velas solares tienen un gran potencial para las aplicaciones y la investigación [8].

HISTORIOLOGÍA DAS VELAS SOLARES

El concepto moderno de la vela solar fue reinventado por Richard Garwin en 1958 [10]. En 1960, Arthur C. Clarke escribió un cuento, "El Viento del Sol" [11]: Carreras de vehículo interestelares movidos por la vela solar. En el mismo año, Echo-1, **Figura 3**, experimentó los efectos de la presión solar. Su formato era un globo de gran tamaño, con película delgada [12].



Figura 3. Echo-1.

Fue en 1973 que la NASA tuvo una experiencia más positiva con el uso de la luz solar, la sonda Mariner 10. Ella dirigió sus paneles solares hacia el sol, y se utilizó la presión de radiación para el control de actitud. Fueron siete a ocho años en que la NASA-JPL (Jet Propulsion Laboratory) se dedicó al uso de la propulsión solar, llevados al deseo de la misión "Halley Rendezvous Misión", que se proponía como un encuentro de una sonda utilizando la vela solar hasta encontrarse con el cometa Halley, en 1986. No obstante, este proyecto no fue logrado debido a problemas desconocidos.

En 1982, la NASA publicó un informe técnico sobre la idea de la iluminación urbana, con el uso de un tipo de vela en una órbita geoestacionaria, reflejando la luz solar. Ella sería desplegada en el espacio a través de la Space Shuttle. La idea era proporcionar a las zonas industriales densamente pobladas una iluminación densa. El local sería el noreste de Estados Unidos durante toda la noche un área de aproximadamente 330 kilómetros de diámetro del haz de luz solar, **Figura 4**. Una constelación de focos iluminaría cuatro o cinco grandes áreas urbanas en todo el país por cerca de 2 horas. Alaska durante el invierno y el Canal de Panamá estaban en las ciudades también incluidas [13].

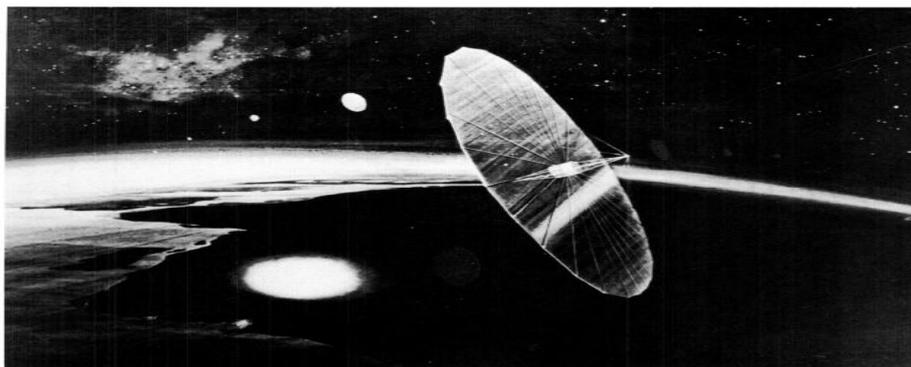


Figure 4. El Espejo Solar.

Los estudios realizados [13] confirmaron la viabilidad de la iluminación desde el espacio. Sin embargo, el proyecto nunca llegó a realizarse por los estadounidenses, y sólo vino a tener éxito más adelante a través de los científicos rusos. La Agencia Espacial de Rusia en 1993 lanzó un disco espejado de 20 metros de diámetro, llamado Znamya 2, **Figura 5**. Con el objetivo de proyectar un haz de luz solar en la superficie terrestre. El Znamya 2 se desplegó con éxito y un punto brillante de 5 km

de ancho en toda Europa desde el sur de Francia en el oeste de Rusia a una velocidad de 8 km/s. El brillo fue equivalente a una noche de luna llena. Originalmente, el espejo Znamya fue concebido como un prototipo de una vela solar, pero fue reasignado como un espejo en el espacio para la iluminación [14].



Figura 5. Znamya 2.

El siguiente paso importante en el desarrollo del tema se produjo en 1999 con el libro de Collin R. McInnes, "Solar Sailing: Technology, Dynamics and Mission Applications". Los investigadores del tema tienen adoptado este libro como una referencia sobre el tema. McInnes [15] informa en detalle la construcción de una vela solar, destacando su aplicabilidad, con el deseo del propio autor de que una vela solar viniera a ser construida. Con la publicación de McInnes, el tema vela solar emergió en todas las ramas de investigación espacial europea, con el deseo de tener su propio prototipo y realizar sus ensayos.

En febrero de 1999, la Agencia Espacial Italiana organizó un simposio en conjunto con la Sociedad de Aeronáutica y Astronáutica de velas solares. Como resultado, y el pleno apoyo de la comunidad científica, el primer prototipo italiano de vela solar experimental llegó a surgir [14]. Fue también en 1999 que la ESA (European Space Agency) e el DLR (Deutschen Zentrums für Luft-und Raumfahrt) estaban juntos en proyecto de una vela solar de 20m², probando con éxito el suelo los ensayos [16], Figura 6. El proyecto tenía el nombre ODISSEE (Orbital Demonstration of an Innovative, Solar Sail driven Expandable structure Experiment), en el que su propuesta era demostrar y afirmar los principios básicos de la fabricación de una vela solar, envasado y almacenamiento, modo de operación y control [16].



Figura 6. La Vela Solar del DLR/ESA.

Tras el éxito de ODISSEE, ESA financió una serie de estudios en conjunto con la Universidad de Glasgow. Debido al potencial para el futuro de esta tecnología y sus aplicaciones [4]. A "Planetary Society", una institución privada fundada por Carl Sagan, también trató de demostrar la tecnología de las velas solares con la misión Cosmos 1 en 2000, en colaboración con el centro espacial ruso (Babakin Space Center). Una curiosidad sobre el Cosmos 1 era su formato circular, **Figura 7**.

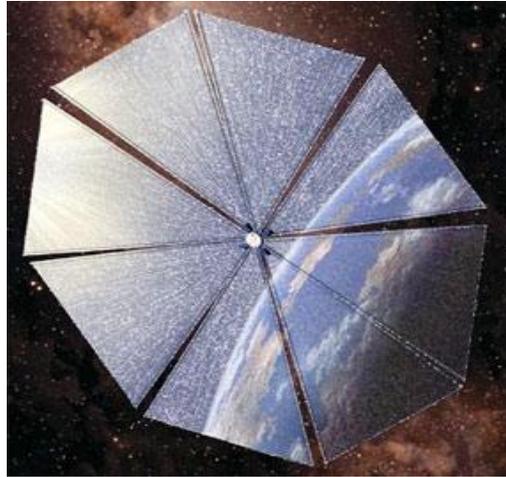


Figura 7. Cosmos 1.

Los pétalos de la vela solar del Cosmos 1 se hicieron con una membrana recubierta de polímero fino y liviano de aluminio, capaz de reflejar la luz, y no eran vulnerables al polvo interplanetario, su red de apoyo le permitía permanecer en funcionamiento continuo. El motor tenía alrededor de 1 metro de largo y 100 kg de peso. Cosmos 1 tenía cámaras de televisión instaladas a bordo con la finalidad de supervisar el proceso de abertura de los pétalos y su vuelo. El lanzamiento se produjo en 2001, y por desgracia falló en la separación de la tercera etapa del cohete, causando explosión y destrucción del Cosmos 1 [17].

En el mismo año de 2001, la Universidad Carnegie Mellon (CMU) y la Fuerza Aérea de los EE.UU desarrollaron y pusieron a volar "Solar Blade Nano-Satellite", **Figura 8**. Totalmente basado en la tecnología de los satélites nano, que produjo una reducción considerable de la masa del artefacto espacial (5kg) es decir, un diseño de la vela solar extremadamente muy compacto [18]. Un proyecto extremadamente más práctico y factible que la mayoría de otros modelos de velas solares. Cuatro hélices 30 metros cada uno, para un 1 metro de ancho, con la apariencia de un molino de viento holandés y su control similar al de un helicóptero [14].

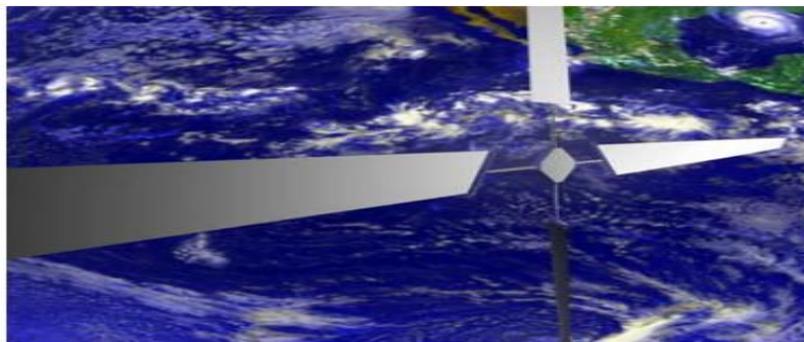


Figura 8. Solar Blade Nano-Satellite.

En 2004, el Instituto Japonés ISAS (Institute of Space and Astronautical Science) lanzó con éxito un cohete suborbital en el que la apertura de la vela solar 10m^2 se realizó con éxito [19]. El objetivo del

proyecto fue precisamente el momento de la apertura de la vela solar, **Figura 9**, uno de los momentos más críticos de la misión. El éxito deste proyecto ya previa el futuro promisor de la vela IKAROS.



Figura 9. Abertura Vela Solar ISAS.

La NASA, en 2005, creo un programa para el perfeccionamiento de las velas solares, un proyecto duplo: ATK y L'Garde Inc, **Figura 10**. Sin embargo, por recortes en el presupuesto, y algunas incompatibilidades de las agencias, el proyecto no tuvo éxito.



Figura 10. Velas Solares: ATK (a la izquierda), L'Garde Inc. (a la derecha).

RESULTADOS ACTUALES

En el día 21 de mayo de 2010, JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) lanzó la vela solar IKAROS (Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation Of the Sun) actualmente en operación con éxito en el espacio. Uno de los objetivos principal del la misión es adquirir la habilidad de guiar la vela solar hasta llegar a Venus[20], **Figura 11**.

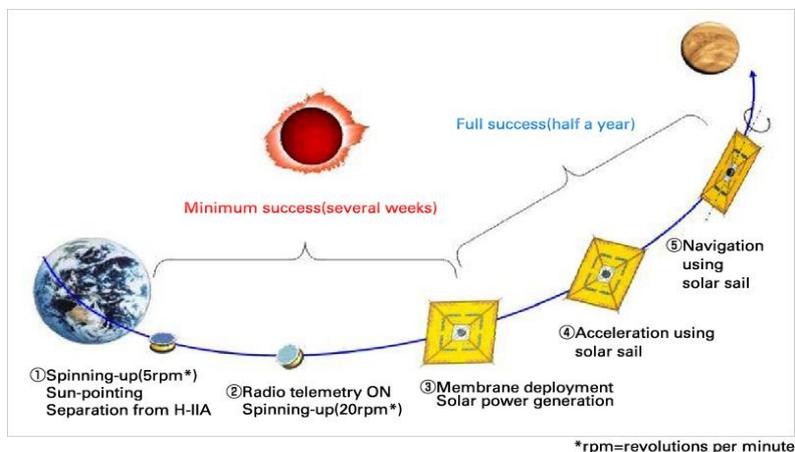


Figura 11. Misión IKAROS.

Actualmente, DLR/ESA trabajan juntas en el proyecto Gossamer [21]. Realizado en tres etapas, el lanzamiento de Gossamer-1 está previsto en 2014, una vela solar 5x5m de 150 kg, a 320 kilómetros de la Tierra; con el fin de determinar el comportamiento de toda la estructura y el proceso de abertura. Gossamer-2, 20x20m, año de lanzamiento en el 2015, a 500 km de la Tierra, con el objetivo de probar el Sistema de Control de Actitud (SCA) [7] y el uso de materiales más leves y finos que los anteriores.

Gossamer-3 está programada para 2016, 50x50m, más de 1000 km de la Tierra, tiene el objetivo de poner a prueba el sistema SCA y, posiblemente ir hasta la Luna. La posibilidad de poner a prueba la estructura y la tecnología es extremadamente importancia para lograr la confiabilidad necesaria para escenarios más complejos [21].

Tras la pérdida de la Cosmos 1, la Planetary Society está de vuelta, con proyecto de también tres etapas: LightSail, impulsado por miles de donaciones anónimas. El LightSail-1, tiene por objeto orbitar alrededor de la Tierra, **Figura 12**. El LightSail - 2 se arriesgará a un largo vuelo a órbitas más distantes de la Tierra por lo que el siguiente paso es hacia misiones al espacio exterior. La idea de LightSail-3 es navegar entre el Sol y la Tierra [22].

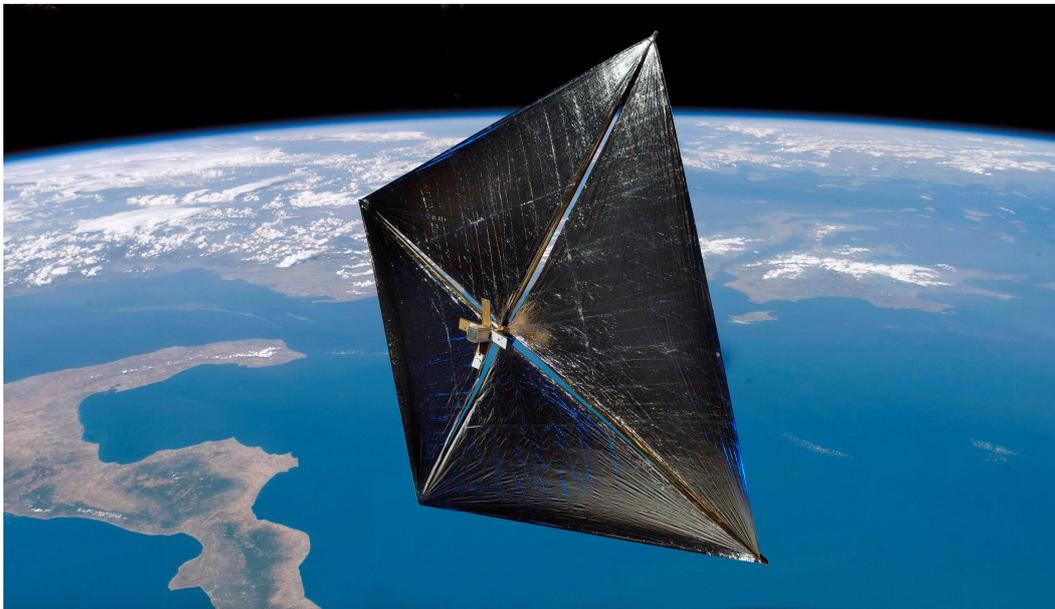


Figura 10. Una Vela Solar Navegando.

CONCLUSIONES

La vela solar es un concepto excepcional y elegante que está siendo ampliamente investigado. Y como cualquier artefacto espacial lanzada al espacio tiene la necesidad de un Sistema de Control de Actitud (SCA) [7]. Una vez desarrollado, las velas solares abren la oportunidad de realizar desafiantes misiones adentro del espacio profundo. El futuro de utilización de las la vela solar son las misiones científicas a fin de explotar la habilidad de este forma excepcional de propulsión para proporcionar continuo avance de las misiones de larga duración. Los proyectos presentados en este documento demuestran con éxito el uso de una vela solar en la exploración del espacio. Especialmente IKAROS operando con excelencia. La agencias de DLR/ESA ya tiene años de experiencia en el tema y seguramente cosechará los buenos frutos de esta asociación. Por último, tenemos la NASA y Planetary Society, ambos ahora comprometidos en obtén éxito en el uso de las velas solares. Además, se puede decir que la vela solar es una manera ecológica de navegar en el espacio interestelar. Las investigaciones en relación a este asunto se desarrollan en varias aéreas, tales como estructuras, flexibilidad, incertezas, temperatura, mecánica, y SCA entre otras conductas de la misma. Por tales razones vale la pena el esfuerzo de profundarse sobre el tema.

REFERENCIAS

1. Grossman, J., 2000. "Solar Sailing: The Next Space Craze?" *Engineering and Science*, 63 (4). pp. 18-29. ISSN 0013-7812
2. Verne, J. "From the Earth to the Moon." (1865). *Encyclopædia Britannica*. Encyclopædia Britannica Online Academic Edition. Encyclopædia Britannica Inc., 2012. Web. 25 Jul. 2012
3. Macdonald, M., 2011. "Solar Sailing: Applications and Technology Advancement. In: *Advances in Spacecraft Technologies*". InTech, Chapter 2. ISBN 978-953-307-551-8
4. McInnes, C. R., 2003. "Solar Sailing: Mission Applications and Engineering Challenges". *Royal Society of London Philosophical Transactions A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361 (1813). pp. 2989-3008. ISSN 1364-503.
5. Tsiolkovsky, K. E. 1936 "In Extension of Man into Outer Space". *Proceedings Symp. Jet Propulsion*, vol. 2. United Scientific and Technical Presses.
6. Tsander, K. 1924 "From a scientific heritage". NASA. Technical Translation no. TTF-541 1967 a translation of *Iz Nauchnogo Naslediya*, Nauca Press, Moscow, 1924.
7. Cubillos, X.C.M.; Pereira, M.C.; de Souza, L. C. G.; "A Influencia dos Modos de Vibração numa Vela Solar Flexível e o Desempenho do Sistema de Controle". CIBEM 10, Oporto, Portugal, 2011.
8. Wie B., Murphy D.; 2004, "Robust Attitude Control Systems Design for Solar Sail, Part 1": Propellantless primary ACS. In: *Proceedings of AIAA guidance, navigation, and control conference and exhibit*, providence, Rhode Island, 2004, pp 1–28.
9. Vulpetti, G.; Johnson L. and Matloff, G.L. "Solar Sails - A Novel Approach to Interplanetary Travel" Copernicus Books An imprint of springer science. Business Media in Association with Praxis Publishing Ltd. ISBN 978-0-387-34404-1 E-ISBN 978-0-387-68500-7 ©2008 praxis publishing, Ltd.
10. Garwin, R. L. 1958 "Solar Sailing: A practical method of propulsion within the Solar System." *Jet Propulsion* 28, 188-190.
11. Clarke, A. C. 1960. "The Wind from the Sun", *Boy's Life Magazine*, March 1964.
12. Echo-1, 1960. < <http://www.astronautix.com/craft/echo.htm>>
13. Canaday J.E., and Allen, J.L., "Illumination from Space with Orbiting Solar-Reflector Spacecraft". NASA-TP-2065. FOLH-1^oed. 1982.
14. Garner, C.; Diedrich, B.; Leipold, M.; "A Summary of Solar Sail Technology Developments and Proposed demonstration Missions". AIAA-99-2697, 35th AIAA Joint Propulsion Conference, June 20-24, 1999. JPC-99-2697.
15. Wright, J.L. "Space Sailing" Gordon and Breach Science Publishers, Philadelphia Pennsylvania, 1992.
16. Leipold, M., Solar Sail Mission Design, Doctoral thesis, Lehrstuhl für Flugmechanik und Flugregelung; Technische Universität München, DLR-FB-2000-22, 1999.
17. Herbeck, L; Sickinger, C; Eiden, M; Leipold, M., 2002. "Solar Sail Hardware Developments." *European Conference on Spacecraft Structures, Materials and Mechanical Testing*, Toulouse.
18. Garner, C., "Recent Activities in Solar Sail Technology". 12th Annual Advanced Propulsion Workshop, Pasadena, April 2001
19. Tsuda, Y., Nakaya, K., Mori, O., Yamamoto, T., "Microsatellite-Class Solarsail Demonstrator - Mission Design and Development Status"; 25th International Symposium on Space Technology and Science, ISTS 2006-k-37, 2006
20. Osamu M., Yuichi T., Hirotaka S., Ryu F., Takayuki Y., Takanao S., Katsuhide Y., Hirokazu H., Hiroyuki M., Tatsuya E., Junichiro K.; 2010. "World's First Demonstration of Solar Power Sailing by IKAROS," *Proceedings of the 2nd ISSS (International Symposium on Solar Sailing)*, New York, NY, July 20-22, 2010.
21. Geppert, U.; Biering, B.; Lura, F.; Block, J.; Reinhard, R. "The 3-Step DLR-ESA Gossamer Roadmap to Solar Sailing". DLR-ESA_Solar_ISSS > U.R.M.E. > DLR-ESA_ISSS_NY_2010 > 07/2010.
22. Bidy, C., and Nehrenz, M., "LightSail – The Solar Sail Project of The Planetary Society". *Proceedings of the CalPoly 2010 CubeSat Developer's Workshop*, San Luis Obispo, CA, USA, April 21-23, 2010.