

Dyson sphere

Autoren: Yannik Brier, David Heße

Fachlehrer: Herr Dr. Günther

Fach: Physik

Schule: Marie-Curie-Gymnasium



Abbildung 1: Illustration des Baues einer Dyson shell. Übernommen von Paradox Interactiv: Stellaris

1. Einleitung

Der weltweite Energieverbrauch steigt. Laut dem Internationalen Energieausblick 2019 der EIA um 50% von heute bis 2050[1]. In der ferneren Zukunft wird der Energiebedarf wahrscheinlich noch weiter steigen. Zur Bewältigung der Herausforderung der nachhaltigen Energiegewinnung und um vielleicht sogar zu einer Zivilisation der Stufe 2 auf der Kardaschew-Skala [2] zu werden und das Sonnensystem zu kolonialisieren, brauchen wir definitiv irgendwann ein Konstrukt, um so viel Energie wie möglich von der Sonne nutzbar zu machen. Ein möglicher Weg ist die Konstruktion einer Dyson sphere. Eine Megastruktur, die zuerst von Freeman John Dyson[3] erdacht wurde und die einen Stern umschließt, um seine gesamte Energie zu sammeln und in nutzbare Energie für eine Zivilisation umzuwandeln. Bei fast 100 Prozentiger Effizienz kann diese Struktur um die Sonne bis zu $3,84 \cdot 10^{26}$ Watt erzeugen. Eine Idee ist die Dyson shell, eine zusammenhängende Struktur, die einige große Nachteile mit sich bringt. Zum einen wäre die Konstruktion nach dem Shell Theorem gravitonell nicht an den Stern gebunden und würde ohne ständiges Korrigieren der Position irgendwann mit dem Stern kollidieren. Auch wären die Kräfte die das Konstrukt auf sich selber ausübt viel zu stark und es wäre sehr anfällig für Kollisionen. Ein in der Zukunft

praktikableres Konzept ist der Dyson swarm. Eine Megakonstellation, bestehend aus Milliarden von Spiegeln, die das Licht auf Sammelstationen fokussieren, die dann das fokussierte Sonnenlicht in nutzbare Energie umwandeln. Diese Form wäre weniger Effizient würde aber nicht den immensen Aufwand in Entwicklung von Technologie und Konstruktion erfordern wie eine zusammenhängende Kugel. Im weiteren werden wir die Problem der Dyson shell nochmal genauer erläutern und kurz mögliche Lösungen präsentieren und danach uns auf den Dyson swarm zu konzentrieren.

2. Problematiken der Dyson shell im Sonnensystem:

2.1 Annahmen

Um die Problematiken aufzuzeigen müssen einige Annahmen für den Bau der Dyson shell festgelegt werden. Die erste Annahme ist der Radius der Dyson shell. Diesen nehmen wir als größer als der Radius der Erde zur Sonne an um die Bewohnbarkeit auf der Erde zu erhalten. Außerdem sollte die am besten zwischen Mars und Jupiter ihren Radius haben um den Bau durch die gegebenen Materialien des Asteroidengürtels und der Jupitermonde zu vereinfachen und den Energieaufwand zu verringern.

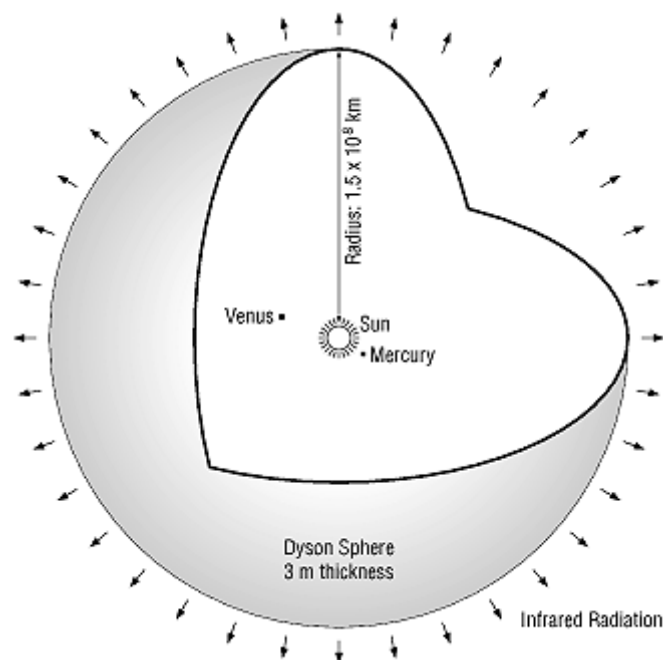


Abbildung 2: Eine Dyson shell im Sonnensystem mit dem Radius von 1 AE und einer Dicke von 3 Metern. Übernommen von *Dyson shell around White Dwarfs;* Ibrahim Semiz and Salim Oğurt Boğaziçi University, Department of Physics Bebek, İstanbul, Turkey.

2.2 Masse

Durch den riesigen Radius wird für den Bau eine große Menge an Material benötigt. Die Masse der Dyson shell wird durch

$$M_{ds} = 4 \pi R_{ds}^2 \cdot D_{ds} \cdot \rho \quad (1)$$

gegeben[4], wobei M_{ds} die Masse, R_{ds} der Radius, D_{ds} die Dicke der Dyson Shell und ρ die Dichte des Materials aus dem die Dyson Shell besteht ist. Wenn man beispielhaft als Material Aluminium, den Radius von 2 AE und die Dicke von einem Meter wählt kommt man auf eine Masse von ungefähr $3.036 \cdot 10^{27}$ Kg.

Zum Vergleich, der Jupiter hat eine Masse von $1.899 \cdot 10^{27}$ Kg. So müsste man also das gesamte Sonnensystem bis auf die Sonne abbauen um annähernd so viel Materie zusammen zu bekommen um die Dysons shell zu bauen, wenn man annimmt, dass jede Materie genutzt werden kann.

2.3 Innere Stabilität

Bei einer Megastruktur in der Größe einer Dysons shell ist die Innere Stabilität das größte Problem. Der größte Faktor ist die Gravitation der Sonne die gleichermaßen auf die gesamte Struktur wirkt. Damit die Dyson shell nicht zusammenbricht und in die Sonne stürzt muss sie aus einem extrem stabilen und leichten Material sein. Die benötigte Druckfestigkeit des Materials für eine Dyson shell ist gegeben durch[4]

$$S = \frac{F}{A} = \frac{GM}{2r} \rho \quad (2)$$

Wobei F die Kraft, A die Fläche, G die Gravitationskonstante, M die Masse der Sonne, r der Radius der Dyson shell und ρ die Dichte des Materials der Dyson shell darstellt.

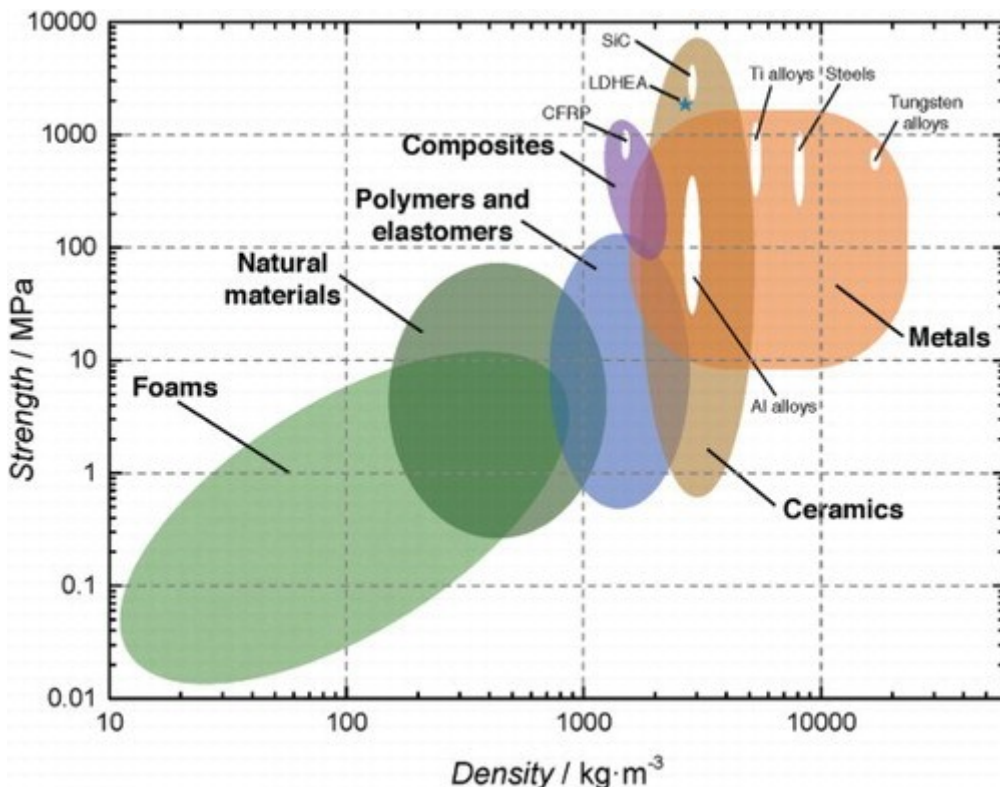


Abbildung 3: Graphische Darstellung der Festigkeit in Abhängigkeit zur Dichte von Materialgruppen. Übernommen von *A Novel Low-Density, High-Hardness, High-entropy Alloy with Close-packed Single-phase Nanocrystalline Structures*;

Khaled M. Youssef, Alexander J. Zaddach, Changning Niu, Douglas L. Irving & Carl C. Koch

Eines der besten Druckfestigkeit Dichteverhältnis hat Siliziumcabit. Um zu veranschaulichen wie Druckfest das Material für die Dyson shell sein muss wählen wir dieses Material. Für eine Dyson shell wie in unseren Annahmen und der Dicht von Siliziumcabit(3210Kg/m^3) benötigt sie eine Druckfestigkeit von ungefähr $7.12 \cdot 10^{11}\text{N/m}^2$. Siliziumcabit liefert jedoch nur ungefähr $4 \cdot 10^9\text{N/m}^2$. Somit ist der Bau einer Dyson shell ohne bis jetzt noch nicht bekannte Materialien, die ein deutlich höheres Druckfestigkeit Dichteverhältnis besitzen, oder weitere Stützstrukturen nicht möglich.

Eine Möglichkeit die Dyson shell zu Stützen wären Ringe, die sich drehen und die Hauptstruktur durch die Zentripetalkraft stabilisieren.[5]

Dies wäre realisierbar über ein Art Schiene oder Magneten.

Zuletzt ist noch die Gefahr von kollidierenden Asteroiden, Kometen und Meteore und auch interstellare Objekte, die Teile der Dyson shell beschädigen können. Eine Lösung könnten Plasmabeschleuniger, das Plasma gewonnen aus dem Sonnenwind, oder Hochleistungslaser sein, die die Objekte ablenken oder so weit zerkleinern, dass sie keine Gefahr mehr darstellen.

2.4 Stabilität im Verhältnis zur Sonne

Um die Funktionalität zu sichern muss die Dyson shell einen festen Radius um Sonne haben. Die Gravitation der Sonne spielt bei dem stabilen Radius keine Rolle aufgrund des *shell theorem*[6], welches besagt, dass zwischen einer sphärisch symmetrischen Hohlkugel und einem in der Hohlkugel befindlichen Objekt in der Summe keine gravitationellen Kräfte wirken unabhängig von der Position in der Hohlkugel. Es müssen Verschiebungen durch den Sonnenwind oder dem Interstellaren Medium ausgeglichen werden um eine stabilen Radius zu halten. Das Interstellare Medium wird durch den Sonnenwind normalerweise außerhalb des Sonnensystems gehalten. Da der Sonnenwind durch die Dyson shell abgeschirmt wird, dringt das Interstellare Medium bis an die Dyson shell vor. Die Dichte und die Temperatur des Interstellaren Mediums ist nicht konstant und kann also Kräfte auf die Dyson shell ungleichmäßig wirken lassen, genauso der Sonnenwind. Außerdem könnten Asteroiden, Kometen, Meteoriten und auch Interstellare Objekte die Dyson shell verschieben, aber vermutlich würden diese eher eine Gefahr für die (innere Stabilität) der Dyson shell darstellen. Zur Stabilisierung kann man Bussard Ramjets, welche den Sonnenwind sammeln und durch Fusion in Fusionsreaktoren Schub generieren, benutzen.[6]

2.5 Konklusion Dyson shell

Die Dyson shell eignet sich erst in weiter Zukunft, in der ein Teil der Energie eines Sterns nicht mehr ausreicht und die Technologie so weit fortgeschritten ist, dass Probleme wie die Stabilität effektiver gelöst werden können. Eine in naher Zukunft realistischere Art einer Dyson shell ist der Dyson swarm.

3.0 Dyson swarm

Ein Dyson swarm besteht im Gegensatz zur Dyson shell nicht aus einer zusammenhängenden Struktur, sondern aus vielen Millionen einzelnen Teilen, die im Orbit des Sterns kreisen. Aufgrund der benötigten Materialien bietet es sich an den Dyson swarm in unserem Sonnensystem in dem Orbit von Merkur zu bauen, den Grund werden wir noch im Abschnitt Konstruktion näher erläutern.

3.1 Bestandteile

Die Hauptbestandteile sind Spiegel, die die Sonnenstrahlung auf Kollektoren fokussieren. Diese wandeln die Energie dann so um, dass sie über ein Relay System im Sonnensystem verteilt wird, wo sie dann genutzt werden kann. Zum Instandhalten des swarm gibt es dann noch Reparatur Stationen die leicht beschädigte Spiegel reparieren und irreparabel zerstörte Spiegel austauschen und recyceln

3.1.1. Spiegel

Die meiste Anzahl und somit die größte Masse des Dyson Swarm werden die Fokusspiegel haben. Die Anzahl der Spiegel N_s lässt sich, wenn man von keinen Überschneidungen ausgeht durch die Fläche die der Dyson swarm abdecken soll und die Größe der Spiegel berechnen:

$$N_s = \frac{4 \pi R_M^2 \cdot p}{100 A_s} \quad (3)$$

Wobei R_M als der Radius des Merkur Orbits, p als die Fläche, die die Dyson swarm abdecken soll in Prozent, und A_s als die Größe der Spiegel festgelegt ist.

Wenn man für die Größe der Spiegel einen km^2 wählt und 10% der Fläche der Sonne abdeckt, erhält man eine Menge von ungefähr $4.58 \cdot 10^{15}$ Spiegeln. Trotz dieser riesigen Menge an Spiegel hält sich die Menge der benötigten Ressourcen in Grenzen, aufgrund der geringen Dicke der Spiegel.[7] Dazu sind Ressourcen wie Eisen leicht in großen Mengen im Merkur kern vorhanden, die man gut für die Spiegel nutzen kann. Die Spiegel müssen leicht parabolisch gekrümmt sein, damit sie die Sonnenstrahlung fokussieren. Und um den Fokuspunkt auf die Kollektoren, die sich in einem niedrigen Orbit befinden zu halten, und um Kurskorrekturen vornehmen zu können, benötigen die Spiegel ein RCS(Reaktion Control System). Dieses könnte aus mehreren Ion Antrieben[8], die durch Sonnenwindkollektoren mit Treibstoff und durch kleine Solarzellen mit Energie versorgt werden, und einer Steuereinheit, bestehen.

3.1.2. Kollektoren und Relay system

Die Kollektoren funktionieren mit einem Hitzemotor auf den die Sonnenstrahlen durch die Spiegel fokussiert werden. Diese sollten dabei möglichst klein sein, damit die Sonnenstrahlung nicht von den Kollektoren vor den Spiegeln abgeschirmt wird. Somit muss der Hitzemotor auf den die Sonnenstrahlen fokussiert werden extreme Hitze aushalten können. Als Relay System eignen sich Hochenergielaser, die die Energie zu speziellen Energieempfängerstationen strahlen, die dann die Energie an anderen Energieempfängerstationen weiterleiten. Eine Netzwerk aus diesen Energieempfängerstationen an den Lagrange Punkten L_1 , L_3 , L_4 , L_5 sorgt dann für eine stabile Energieübertragung.

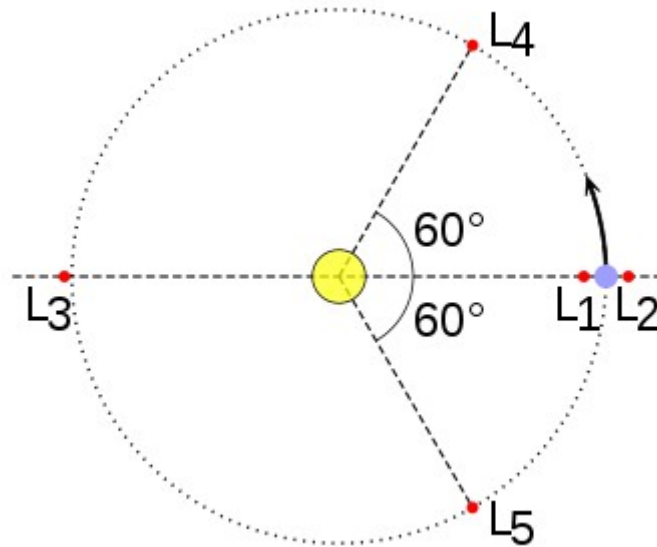


Abbildung 4: Lagrange Punkte L_1 bis L_5 in einem System mit Zentralsystem (gelb) und Planet (blau) Übernommen von de.wikipedia.org/wiki/Lagrange-Punkt abgerufen am 16.06.2020

Die Lagrange Punkte eignen sich besonders gut für ein Netzwerk aus Energieempfängerstationen, weil die relative Position zu dem Planeten und dem Stern bzw. der Sonne sich nicht ändern[9]. Außerdem müssen Stationen bei den Punkten L_4 und L_5 nicht mit einem RCS stabilisiert werden da sie durch die Lagrange Punkte selbst stabilisiert werden. Die Stationen der anderen Lagrange Punkte L_1 und L_3 können sich auf einer Achse verschieben und müssen dementsprechend leichte Kurskorrekturen vornehmen, diese sind aber nicht nennenswert groß.

3.1.3. Wartung und Reparatur Stationen

Aufgrund der konstanten Aussetzung der Dyson swarm durch Sonnenwinde, Kometen, Asteroiden, Meteoriten, und auch einfachem stellarem Staub, benötigen alle Stationen und Spiegel, auch wenn nur im geringen Maße, da es sich um ein simples Design handelt, Wartung und Reparaturen. Diese werden dann von speziellen automatisierten Wartungsstationen erledigt. Diese befinden sich im Ruhezustand in einem höheren Orbit, damit sie effizienter und schneller zu den Stationen und Spiegeln mit Hilfe von Hohmann Transfer gelangen können. Eine Hohmann Transfer ist ein Energieeffizienter Übergang zwischen zwei Orbits um ein dominierendes Himmelskörper und ist in unserem Fall ein guter Kompromiss zwischen

Manövern, die Energie ineffizienter sind aber dafür länger in der Durchführung brauchen wie z.B. gravity assisted Manöver, oder Manöver, die Schneller sind aber Energieaufwändiger, z.B. Brachistochrone trajectory, welches durch konstante Beschleunigung und anschließende Verzögerung am schnellsten zu einem Ziel führt. [10]

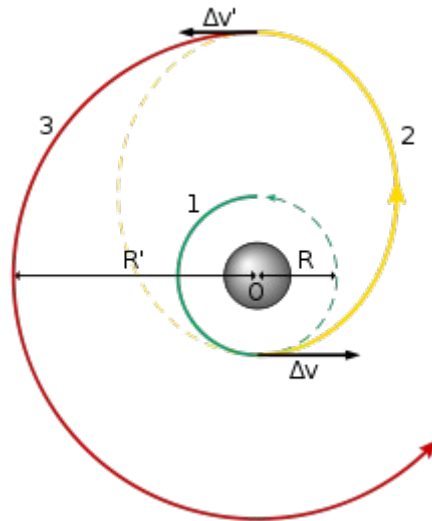


Abbildung 5: Ein Hohmann Transfer in einen größeren Orbit in drei Phasen: 1. Ausgangsorbit, 2. Transferorbit, 3. Zielorbit. R ist der Radius des Ausgangsorbit und R' der Radius des Zielorbits. Δv ist die Geschwindigkeitsänderung um in den Transferorbit zu gelangen und $\Delta v'$ die Geschwindigkeitsänderung um von dem Transferorbit in den Zielorbit zu gelangen.

Außerdem sind die Wartungsstation in einem höheren Orbit effizienter mit Ressourcen zu versorgen.

3.2 Konstruktion

Der Merkur besteht aus 70% Metallen und hat einen niedrigen Orbit. Damit ist er die effizienteste Ressourcenquelle im Sonnensystem für ein Dyson swarm. Diese große Menge an Metallen liegt allerdings im Kern des Merkur vor. Dementsprechend benötigt man für das einerseits für das abbauen, als auch für das Transportieren der Ressourcen in den Merkurorbit eine hohe Menge Startenergie. Um diese Startenergie zu generieren, könnte man eine Solarsatelliten im Orbit des Merkurs platzieren. Dazu bietet sich etwas ähnliches wie das Konzept der Nasa des SPS (Solar Power Satellite) an. [11] Dadurch, dass fertige Teile des Dyson swarm mehr Energie liefern steigt die Geschwindigkeit der Konstruktion exponentiell an. All diese Prozesse sollte möglichst automatisch stattfinden um die Ressourcennutzung so effizient wie möglich zu gestalten. Das Transportieren der Ressourcen in den Merkurorbit durch Raketen ist ineffizient, da vorallem bei Chemischen Triebwerken die Effizienz sehr niedrig ist und viel Energie verloren geht. Eine sehr viel effizientere Methode sind Gaußgeschütze, die die Ressourcen mit hoher Geschwindigkeit in den Orbit schießen, da die Effizienz sehr viel höher ist, und die Geschosse leichter sind, da sie den Treibstoff nicht mit sich tragen müssen. Außerdem hat der Merkur keine Atmosphäre, dementsprechend gibt es keinen

Atmosphärenwiderstand. Für Menschliche Transporte ist das Gaußgeschütz nicht geeignet, weil ein Mensch die extreme Beschleunigung nicht Überleben kann. Diese Ressourcen können dann im Orbit von Konstruktionsstationen aufgesammelt und verarbeitet werden. Zuletzt müssen die fertigen Stationen und Spiegel aus dem Merkurorbit an den geplanten Ort im Sonnenorbit beschleunigt werden.

3.3 Konklusion

Eine Dyson sphere, egal in welcher Form, ist für eine weit fortgeschrittene vielleicht sogar interstellare Zivilisation ein notwendiger Energielieferant um den immensen Energiebedarf zu decken. Zum einen könnten diese Zivilisationen die Energie nutzen um einen Supercomputer in der Form eines *Matrioshka Brains* [12] zu versorgen, zum anderen könnte sie die Energie nutzen um eine *Stellar Engine* [13] zu betreiben. Eine weitere Form der Nutzung sind *Supramundane Planets* [5]. Der Nutzen für den Menschen in naher Zukunft lässt sich vermutlich nur über die Dyson swarm realisieren, womit dann erst einmal der allgemeine Energiebedarf gedeckt werden könnte und zukünftige Projekte, wie Kolonisation von anderen Planeten, versorgt werden können. Mit dem Erbauen einer Dyson sphere wird die Menschheit in ein neues Zeitalter schreiten.

4. Referenzen

- [1] US Energy Information Administration, International Energy Outlook 2019
- [2] N. S. Kardashev, Transmission of Information by Extraterrestrial Civilisation., 8 (1964) 217
- [3] F. J. Dyson, Search for artificial stellar sources of infrared radiation, Science 131 (1960) 1667-1668
- [4] I. Semiz, S. Oğur, Dyson Spheres around a White Dwarf, arXiv e-prints (2015) arXiv:1503.04376
- [5] P. Birch, Supramundane Planets, Journal of the British Interplanetary Society 44 (1991) 169-182.
- [6] Shell Theorem, Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/Shell_theorem(16.06.2020 16:54)

- [7] R. W. Bussard, Galactic matter and interstellar flight, *Astronautica Acta* 6 (1960) 179-195
- [8] S. Amstong, A. Sandberg, Eternity in six hours: Intergalactic spreading of intelligent life and sharpening the fermi paradox, *Acta Astonautica* 89 (2013) 1 – 13.
- [9] R.-H. Giese, *Weltraumforschung Band 1*, Bibliogr. Institut, Mannheim 1966
- [10] Lagrange-Punkte, Wikipedia, de.wikipedia.org/wiki/Lagrange-Punkte (16.06.2020 16:54)
- [11] Hohmann-Transfer, Wikipedia, de.wikipedia.org/wiki/Hohmann-Transfer (16.06.2020 16:54)
- [12] J. C. Menkins, SPS-ALPHA: The First Practical Solar Power Satellite via Arbitrarily Large Phased Array, NASA 15 September 2012
- [13] R. J. Bradbury, *Matrioshka Brains*, 1997-2000
- [14] M. E. Caplan, Stellar Engines: Design Consideration for Maximizing Acceleration, *Acta Astronautica* 165(2019) 96-104