

Lichtteilchen einfängt. Deswegen gehen viele Forscher davon aus, dass solar-elektrischen Antriebstechniken die Zukunft gehört, lassen sich doch mit ihnen die unerschöpflichen Energiereserven der Sonne unablässig anzapfen. Da durch Ionen angetriebene Raumsonden weniger Treibstoff benötigen, steht an Bord auch mehr Platz für wissenschaftliche Instrumente zur Verfügung. Dieser Vorteil soll etwa bei den beiden mit Ionenantrieb arbeitenden solaren und interplanetaren ESA-Missionen Solar Orbiter (Start 2017) und BepiColombo zum Merkur (Start 2014) vollends zum Tragen kommen.

Nach wie vor aber beschleunigen die gegenwärtigen Ionentriebwerke schlichtweg noch zu langsam. Sie benötigen Wochen oder Monate, um auf eine Geschwindigkeit zu kommen, die ein konventioneller Antrieb in Minuten oder Stunden erreicht. Dennoch soll die kleine FOCAL-Flotte dereinst mithilfe einer moderneren Version dieses Antriebssystems binnen 34 Jahren zum solaren Brennpunkt gelotst werden. Ob es klappt, steht in den Sternen, die FOCAL später einmal in Höchstauflösung fotografieren soll. Sicher ist sich Maccone nur darin, dass auch andere Intelligenzen irgendwann die Gravitationslinse ihrer Heimatsterne oder die unserer Sonne für ihre Art der Himmels- oder Erdbeobachtung längst entdeckt haben und konsequent nutzen.

*»Wenn jede Zivilisation ihr Wissen erweitert, wird sie wie wir erkennen, dass ihr eine einzigartige Quelle zur Verfügung steht: eine Linse von derart großer Leistungskraft, die keine vernunftbegabte andere Zivilisation je selbst produzieren könnte.[...] Eine, die Bilder erzeugt, auf denen kleinste Details von fernen Sternen oder Galaxien zu sehen sind. Jede Zivilisation wird diese Chance wahrnehmen und mit Sicherheit die Vorteile einer solchen Linse konsequent nutzen.«<sup>402</sup>*

## NuSETI: Jagd nach intelligenten Geisterteilchen

Informationen in extrem massearme Partikel stauen, außerirdische Botschaften aus geisterhaften Teilchen extrahieren, die keiner sehen, fühlen und greifen kann, via Phantomteilchen von extraterrestrischen Intelligenzen absichtlich gepulste hochenergetische Partikelströme einfangen – es ist nur schwer vorstellbar, dass Überlegungen dieser Art schon seit vielen Jahren in der SETI-Szene wohlwollend diskutiert werden. Noch unwirklicher wird das Ganze, wenn es sich bei dem gespenstischen Etwas um Teilchen handelt, die nur

---

402) Gilster, Paul: A Mission to the Gravity Focus, in: Centauri Dreams. The News Forum of the Tau Zero Foundation (26.10.2005) [<http://www.centauri-dreams.org?p=176>].

geringfügig schwerer als das Nichts und deshalb nur unter größtem Aufwand registriert werden können. Die Rede ist von Neutrinos, die – 1930 erstmals von Wolfgang Pauli (1900–1958) vorausgesagt, 1956 von Frederick Reines und Clyde Cowan im Experiment nachgewiesen und 1968 von Stanislaw Lem in seinem Roman »Gos Pana« (dt. Die Stimme des Herrn)<sup>403</sup> zum ersten Mal mit der SETI-Idee verknüpft – heute bei den Alien-Jägern salonfähig sind wie selten zuvor.

Den wissenschaftlichen Reigen über den Einsatz von Neutrinos bzw. Neutrinostrahlen für SETI-Observationen eröffnete 1979 der US-Physiker M. Subotowicz. Er sinnierte darüber, ob außerirdische hochstehende Zivilisationen nicht anstelle einer interstellaren Verständigung auf Radiowellenbasis möglicherweise starke Neutrinostrahlen durchs All senden und diskutierte die Chancen und Vorteile einer derartigen Kommunikation.<sup>404</sup> Noch im selben Jahr konkretisierte Isaac Asimow diesen Gedanken und gab zu bedenken, dass ein interstellares Neutrinosignal nur dann einen Abnehmer findet, wenn es energiereich genug ist und sich von seinem Zentralstern merklich abhebt. Doch selbst eine fortgeschrittene Zivilisation würde »allenfalls einen winzigen Bruchteil dieser Neutrinoemissionen künstlich erzeugen können«.<sup>405</sup> Jede gut gemeinte Neutrinobotschaft würde in dem vom Muttergestirn produzierten Neutrino Meer untergehen. Gelöst werden könne dieses Dilemma jedoch, wenn man gezielt Antineutrinos, die nur bei Atomkernspaltungen entstehen und gewissermaßen das Spiegelbild von Neutrinos sind, extrahiere und als Partikelpaket auf die Reise schicke.

*»Wenn [...] Antineutrinos aufgefangen werden, lösen sie andere Reaktionen aus als die Neutrinos, sodass man zwischen beiden unterscheiden kann. Wenn daher eine Zivilisation einen Strom von Antineutrinos auf die Reise schicken würde, dann könnte der Zentralstern dieses Planetensystems noch so viele Neutrinos freisetzen – man würde die Antineutrinos immer herausfinden.«<sup>406</sup>*

Inspiziert von Subotowicz und Asimovs Vorschlag verwiesen der US-Physiker John Learned von der Universität in Hawaii (USA) und seine Institutskollegen Sandip Pakvasa, W. A. Simmons und X. Tata im Jahr 1994 darauf, dass eine Kommunikation mit Neutrinos »gegenüber jeder Methode mit elektro-

---

403) Lem, Stanislaw: Die Stimme des Herrn, Insel-Verlag, Frankfurt a. Main 1981.

404) Subotowicz, M.: Interstellar communication by neutrino beams, in: Acta Astronautica (Januar-Februar 1979), Bd. 6, Nr. 1 u. 2, S. 213–220 [doi: 10.1016/0094-5765(79)90157-7].

405) Asimov, Isaac: Außerirdische Zivilisationen. Sind wir nicht allein im Weltall?, Bastei-Lübbe, Bergisch-Gladbach 1989, S. 352 f.

406) Ebd., S. 353.

magnetischer Strahlung mehr signifikante Vorteile« habe und es daher »mit Sicherheit Sinn« mache, nach ihnen zu suchen.<sup>407</sup> Eine sehr hochstehende außerirdische Zivilisation könnte vor allem, betonten beide Forscher, starke Neutrinostrahlen durchs All jagen, um ihre weit entfernten Uhren und Instrumente galaxisweit zu synchronisieren. Bereits die zur Verfügung stehenden Detektoren auf der Erde könnten die zufällig ausgestrahlten Emissionen der Synchronisationsvorgänge erfassen. »Neutrino-Signale dieser Art sind extrem markant und mit natürlichen Quellen kaum zu verwechseln.«<sup>408</sup> Eine technisch weit fortgeschrittene fremde Kultur, die einen Teil der Galaxis kolonisiert hat, könnte sich diesen Umstand längst zunutze gemacht und eine auf Neutrinos gestützte exoplanetare Telefonleitung etabliert haben – weniger zum Zwecke einer interstellaren Kommunikation mit fernen Zivilisationen als vielmehr zum Synchronisieren interstellarer Zeitzonen. Schließlich ticken auch die Uhren von Exoplanet zu Exoplanet anders.

*»Falls eine fortgeschrittene, über die Milchstraße verteilte Zivilisation diese Methode nutzt, um ihre weit voneinander entfernten Instrumente zu synchronisieren, besteht eine echte Chance, solche Signale zu entdecken.«<sup>409</sup>*

Am anderen Ende der Galaxis dürfte die Superzivilisation allerdings nicht wohnen, wenn *wir* ihre Neutrinosignale nachweisen wollten. Allenfalls interstellare Synchronisationen in einem Umkreis von einem Kiloparsec (=3259 Lichtjahre) wären für die irdischen Neutrino-Detektoren gerade noch messbar.

Im November 2008 knüpfte John Learned an seine alte These an, erweiterte diese und stellte die offensichtlichen Vorteile einer neutrino-gestützten Suche nach hochintelligenten Lebensformen noch stärker in der Vordergrund. Seinem Dafürhalten nach sind Nachrichten auf Neutrino-Basis den konventionellen ETI-Radio- oder Lichtbotschaften in vielerlei Hinsicht überlegen. Während etwa künstliche Radio- oder Lichtsignale extraterrestrischer Herkunft auf ihrer Odyssee durchs Universum ständig Gefahr laufen, von Materie abgeschwächt oder abgeblockt zu werden, durchdringen Neutrinos mit spielerischer Leichtigkeit ohne Informationsverlust jedwede Form von Materie. Dadurch erhöht sich die Reichweite kosmischer Neutrinos unheimlich. Unbeeinflusst von kosmischen Magnetfeldern, der baryonischen Materie, denen Radio- und Lichtsignale Tribut zollen müssen, durchfliegen Neu-

---

407) Learned, John G./Pakvasa, S./Simmons, W. A./Tata, X.: Timing Data Communication with Neutrinos – a New Approach to SETI, in: *Quarterly Journal R. astr. Soc.* (1994), Bd. 35, Nr. 3, S. 329.

408) Ebd.

409) Ebd.

trinos fast alles, was sich ihnen in den Weg stellt, interessanterweise sogar jene astrophysikalischen Objekte, denen sie entstammen. Hierzu zählen vornehmlich Sterne, in deren Inneren Neutrinos als Nebenprodukt von Fusionsreaktionen in großer Zahl anfallen.

**Neutrinos und IceCube:** Wenn Kerne von Galaxien brodeln, Schwarze Löcher zusammenstoßen, Supernovae das All erschüttern, Kernfusionsprozesse im Innern von Sternen ablaufen oder Gammastrahlenblitze – die energiereichsten Phänomene im All überhaupt – grell aufleuchten, schlägt die Geburts-Millisekunde der Neutrinos, die unmittelbar danach das All mit Lichtgeschwindigkeit überfluten. Neutrinos sind elektrisch neutrale Elementarteilchen, die wie Elektronen zu den Leptonen zählen. Ihr Minitelchen-Zoo besteht aus drei Arten: Elektron-Neutrino, Myon-Neutrino und Tauon-Neutrino (plus deren Antiteilchen). Die Masse eines einzelnen Neutrinos beträgt höchstens den millionstel Bruchteil der Masse eines Elektrons. Und da bereits das Elektronengewicht sich auf gerade einmal den millionsten Teil eines trilliardstel Gramms beläuft, sind Neutrinos nur geringfügig schwerer als das Nichts. Obwohl Neutrinos in dieser Welt en masse vorhanden sind und auch in diesem Moment unsere Körper ungebremst durchfliegen, und obgleich unsere Sonne sekundlich 60 Milliarden Neutrinos pro Quadratcentimeter der Erdoberfläche emittiert, ist ihr Nachweis enorm schwer. Nur eine Handvoll dieser 60 Milliarden Neutrinos reagiert auf dem Weg durch den Erdball mit Materie, der Rest fliegt unbeeinflusst weiter. Etwas günstiger werden die Verhältnisse bei jenen hohen Energien, welche die IceCube-Forscher interessieren: immerhin 1% der Neutrinos kollidieren dann auf ihrem Weg durch die Erde mit einem Atomkern. Um die seltenen Kollisionen zu messen, nutzen irdische Forscher das massereichste Objekt unseres Planeten als Filter: die Erde selbst. Daher blicken die Teleskope der Neutrino-Jäger nicht zum Himmel, sondern in den Erdboden, so wie die Detektoren des IceCube-Projekts am Südpol. IceCube hat ein Volumen von  $1 \text{ km}^3$ . Während das Eis über der Antarktis vor einfallender kosmischer Strahlung schützt, stecken insgesamt 5160 Messmodule kopfüber im kristallklaren Polareis des Südkontinents in einer Tiefe von 1,4 – 2,4 Kilometern und warten auf Myonen. Solche entstehen, wenn vom Weltraum kommende Myon-Neutrinos auf die nördliche Hemisphäre treffen und bei ihrer Reise durch die Erde mit Atomkernen zusammenstoßen. Die Myonen emittieren extrem schwache Cerenkov-Strahlung, die die Fotomultiplier des IceCube 10 Millionen Mal verstärken. Aus den Ankunftszeiten des Lichts können die Forscher den Herkunftsort des jeweiligen Myon-Neutrinos berechnen.

Dank ihrer Eigenart, ungebremst und geradlinig durch jegliche Materie zu rasen, lässt sich auch die Flugbahn jedes eingegangenen Neutrino-Signals spielend leicht zurückverfolgen. Die Herkunft der Quelle können Wissenschaftler punktgenau berechnen. Sollten Forscher einmal zielstrebig nach

artifiziellen Neutrinos suchen, bräuchten sie im Gegensatz zu den Kollegen aus der beobachtenden Astronomie keine teure Observationszeit zu beantragen oder zu kaufen. Da jedes eintreffende Partikel Neutrino für Neutrino automatisch erfasst, en detail registriert, kategorisiert und katalogisiert wird, können Geisterteilchenjäger aus dem Vollen schöpfen und ohne großen Aufwand im Computerarchiv wühlen.<sup>410</sup> Kostengünstiger geht es nimmer – vorausgesetzt die Neutrino-Observatorien sind erst einmal gebaut.

Selbst eine sehr vorsichtig taktierende fremde Hochtechnologie, die einerseits kontaktfreudig ist, andererseits Begegnungen mit aggressiven Spezies vorbeugen will, könnte von einer Neutrinokommunikation profitieren, erläutert John Learned:

*»Wenn dies [der potenzielle Kontakt mit einer aggressiven Zivilisation] in der Tat eine reale Gefahr darstellt, wird eine fortgeschrittene Zivilisation vielleicht eine Transmitterstation, einen Leuchtturm in einiger Entfernung von zu Hause betreiben.«<sup>411</sup>*

Auf diese Art ließe sich zumindest die direkte Position des Heimatplaneten der Absender kaschieren, insbesondere dann, wenn der Strahl stark fokussiert ist. Es wäre eine »wertvolle Sicherheitsmaßnahme«, weil ihn nicht alle Zivilisationen wahrnehmen könnten.<sup>412</sup>

Keineswegs kaschieren lässt sich hingegen das größte Problem bei der Neutrino-Variante: die Energiefrage. Denn wer er- und gehört werden will, muss für die Herstellung hochenergetischer Neutrinos enorm viel Energie bereitstellen und fernerhin dafür Sorge tragen, dass seine Botschaft nicht in dem konventionellen Neutrino-Inferno untergeht, sondern sich merklich von dem natürlichen Neutrino-Hintergrund abhebt. Leicht ist ein derartiges Unterfangen nicht, erreichen doch die solaren Neutrino-Partikel bereits eine Energie von  $10^6$  Elektronenvolt (eV). Um alle störenden natürlichen Neutrino-Hintergrundinterferenzen zu »überstrahlen«, müssten Aliens Elektron-Neutrinos mit einem mittleren Energiewert von 6,3 Peta-Elektronenvolt-Bereich (PeV;  $P=10^{15}$ ) herstellen, was 6,3 Billionen eV entspräche.  $6,3 \times 10^{15}$  sind ein stolzer Energiewert, der im Universum auf diesem Level auf natürliche Weise nirgendwo anzutreffen ist und folglich einen klaren Hinweis auf eine künstliche intelligente Quelle gäbe. Learned glaubt, dass eine hochtech-

---

410) Silagadze, Z. K.: SETI and the Muon Collider, in: Acta Physica Polonica B (2008), Bd. 39, Nr. 11, S. 2946.

411) Learned, John G./Pakvasa, Sandip/Zee, A.: Galactic Neutrino Communication, in: Physical Letters (12.01.2009), Bd. 671, Nr. 1, S. 17 [doi: 10.1016/j.physletb.2008.11.057] [arXiv:0805.2429v3].

412) Ebd., S. 16.

nologisch orientierte Kultur vom Kardashev-Typ I (S. 229 ff.) imstande wäre, einen Neutrinostrahl dieser Intensität zu erzeugen.<sup>413</sup> Aber auch für sie wäre die Herausforderung enorm. Versuchte uns eine fremde Intelligenz aus 3000 Lichtjahren Entfernung eine Neutrino-Nachricht zuzustellen, müsste sie einen Neutrino-Generator konstruieren, der  $10^{26}$  Neutrinos produzieren und absenden könnte. Für irdische Verhältnisse ist dieser Wert illusorisch, für außerirdische möglicherweise ein Kinderspiel.

Learned, Sandip Pakvasa (Universität Hawaii) und Tony Zee (Kavli Institut für Theoretische Physik der Universität in Kalifornien) schließen gleichwohl nicht aus, dass technisch weit fortgeschrittene Zivilisation über das entsprechende Equipment und Know-how verfügen und daher längst Morsecode-ähnliche Neutrino-Signale oder ein digitales Neutrino-Muster über Hunderte, Tausende, Zehntausende Lichtjahre hinweg durchs All gesandt haben. Vielleicht haben die Außerirdischen ihre Neutrino-Botschaften auf ganz spezielle Weise kodiert, indem sie etwa bestimmte Teilchen unter Protonenbeschuss genommen haben und Partikel kreiert haben, die ein Umschalten von Neutrinos zu Antineutrinos ermöglichen.<sup>414</sup> Solchen Gedanken hängt auch der russische Physiker Z. K. Silagadze vom Budker Institut für Nukleare Physik der Nowosibirsk-Universität in Russland gerne nach. Ginge es nach ihm, sollten SETI-Wissenschaftler und Astroteilchenphysiker in Zukunft verstärkt ein Auge auf artifizielle, stark gebündelte Neutrino-Strahlen werfen. Denn Außerirdische könnten einen Myon-Teilchenbeschleuniger gezielt als Neutrino-fabrik nutzen. Myonen sind sehr kurzlebige Elementarteilchen, die wie ein Elektron zur Klasse der Leptonen zählen, gleichwohl eine deutlich höhere Masse aufweisen. Sie bilden einen Hauptbestandteil der sekundären kosmischen Strahlung und lassen sich in einem Hochenergie-teilchenbeschleuniger für kurze Zeit künstlich erzeugen. Eine hochentwickelte extraterrestrische Technologie, die uns um Äonen voraus wäre, könnte mit einem Myon-Beschleuniger einen stabilen starken Neutrinostrahl aufbauen und diesen für interne oder externe interstellare Kommunikationszwecke instrumentalisieren:

*» Wenn Myon-Teilchenbeschleuniger arbeiten, geht das mit einem sehr intensiven und enggebündelten hochenergetischen Neutrinostrahl einher, der selbst über astronomische Distanzen leicht zu entdecken wäre.«<sup>415</sup>*

---

413) Ebd., S. 17.

414) Ebd., S. 15.

415) Silagadze, Z. K.: SETI and the Muon Collider, a.a.O., S. 2943.

Bereits mit dem noch im Umbau befindlichen leistungsstärksten Neutrino-Teleskop der Gegenwart, dem IceCube-Observatorium am Südpol, könnte Silagadzes Ansicht nach der Coup gelingen, ein absichtliches oder unabsichtliches extraterrestrisches Signal auf Neutrino-Basis aufzuspüren. IceCube könne nach einer einjährigen Operationsphase die Existenz eines direkt auf die Erde gerichteten Neutrino-Beams nachweisen, sofern der Energieeinsatz stimmt. Es müsste eine immens hohe Energie sein, die von einem extraterrestrischen Multi-TeV-Myon-Collider (1 TeV = Tera-Elektronenvolt, eine Billion eV) kreiert wurde. Ein solch starker Strahl wäre noch in einigen Lichtjahren Entfernung nachweisbar. Auch wenn die irdische Technik ausgereift genug sei, einen Myon-Collider und somit eine kleine Neutrino-Fabrik herzustellen, würde die Energie für eine interstellare Verbindung mitnichten ausreichen. Außerirdische hingegen würden eine auf Neutrino gestützte Kommunikation und daher Myonen-Collider gezielt zum Einsatz bringen, die alle notwendigen Strahlen generieren.<sup>416</sup> In solchen Teilchenbeschleunigern würden sie einen Protonenstrahl auf ein Target (Zielmaterie) schießen. Dabei würden negative und positive Pionen erzeugt, deren entsprechenden Zerfallsprodukte negative bzw. positive Myonen wären. Die Myonen würden in dem Myon-Collider gespeichert, und die, welche nicht miteinander kollidieren, zerfallen – die positiven in Neutrinos, die negativen in Antineutrinos. Durch Ausblenden der unterschiedlichen Ladungssorten könnte man also mit Neutrino-Strahlen Informationen kodieren, indem man zwischen Neutrinos und Antineutrinos umschaltet.

Die Augen und Detektoren offenhalten sollte man auch für Cepheiden, jene veränderlichen Sterne mit sehr regelmäßiger Pulsation, die ihre Leuchtkraft streng periodisch ändern. Dieser Meinung vertritt John Learned. Er würde Cepheiden, die Astrophysiker mit Vorliebe zur Bestimmung der stellaren Leuchtkraft und Entfernungen nutzen, am liebsten auf andere Weise nutzen. Die Extraterrestrischen könnten doch, so Learneds Idee, Neutrinoströme gezielt auf Cepheiden richten, um deren Pulsfrequenz kontrolliert zu stören und darin Information zu kodieren. Im Wissen, dass Neutrinos anders als viele andere Partikel in das Innere des Sterns eindringen und somit dessen Periode stärker manipulieren, würden Aliens ausgewählten Cepheidensternen 1 TeV starke Neutrinospritzen injizieren, um deren Rhythmus und deren periodische Helligkeit zu verändern. Dabei wäre die Spritze dermaßen dosiert, dass nur eine intellektuell gleichwertige Spezies dem veränderten kryptischen Rhythmus etwas Informationsreiches abgewinnen könnte.<sup>417</sup>

---

416) Ebd., S. 2944.

**Gravitationswellen als Flaschenpost:** Sie sind die Wellen in der Raumzeit, die den Raum dehnen, strecken und stauchen. Von der Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt, gestaltet sich ihr Nachweis allerdings sehr schwierig. Tatsächlich konnten Forscher sie bis dato nur indirekt nachweisen. Den Gedanken, Gravitationswellen wie Radiowellen als Informationsträger für einen interstellaren Kontakt zu nutzen, hielt bereits Isaac Asimov 1979 für abwegig, weil Gravitonen, die fiktiven Partikel der Gravitationswellen, noch weniger Energie als Neutrinos haben dürften und somit noch schwerer nachzuweisen sind. Überdies müsste man für einen einzigen Gravitationenstrahl gewaltige Massen auf eine Weise bewegen und beschleunigen (z. B. die Pulsation oder die Rotations- bzw. Umlaufbewegung eines Sterns), dass sich daraus ein verständliches künstliches Signal ergibt. »In unserer Fantasie können wir uns zwar eine Zivilisation vorstellen, die in der Lage ist, einen riesigen Stern in einer Art Morsecode pulsieren zu lassen. Aber selbst eine derart weit entwickelte Zivilisation würde sich nach einer einfacheren Informationsübertragung umsehen.«<sup>418</sup> Zivilisationstypen, die auf der Kardachev-Skala auf der Stufe III rangieren, könnten theoretisch signifikante Gravitationswellen erzeugen, indem sie zwei Supernova-Explosionen synchron steuern oder Doppelsternsysteme mit einer bestimmten Periode synchronisieren<sup>419</sup> – dies alles nur zu einem Zweck: um ausschließlich ähnlich fortgeschrittene Kulturen kennenzulernen.

Wann Astroteilchenphysiker und SETI-Astronomen ihren ersten Suchlauf nach künstlich hergestellten Neutrino-Emissionen starten, bleibt reine Spekulation. Bis heute jedenfalls ist in den Annalen der SETI-Forschung noch keine offizielle Neutrino-Observation verzeichnet. Noch hat neben der klassischen SETI-Suche und der neuen OSETI-Variante keine dritte allseits anerkannte SETI-Option Fuß gefasst. NeutrinoSETI, das der Autor dieser Zeilen erstmals mit dem Akronym NuSETI versehen hat, ist aber am dichtesten dran. Es könnte noch in dieser Dekade auf den SETI-Zug aufspringen. Der Vorhang zum ersten NuSETI-Suchlauf, bei dem eigentlich nur bereits gesammeltes Material auszuwerten wäre, könnte schon 2011 aufgehen, wenn alle Detektoren des IceCube-Experiments einsatzbereit sind. Dann könnten die ungeladenen und unsichtbaren Neutrinopartikel Zeugnis von den Geheimnissen des Kosmos ablegen oder möglicherweise sogar eine unheimliche Visitenkarte

---

417) Rink, Jürgen: Jenseits von Licht- und Radiowellen. Neutrinos und Gravitationswellen als Träger künstlicher Signale, in: Telepolis Special Kosmologie (2010), Bd. 1, Heise-Verlag München/Hannover, S. 94.

418) Asimov, Isaac: Außerirdische Zivilisationen, a.a.O., S. 353 f.

419) Mehr zu Gravitationsbotschaften siehe Rink, Jürgen: Jenseits von Licht- und Radiowellen, a.a.O., S. 91 ff. Vgl. auch Breuer, Reinhard: Kontakt mit den Sternen. Leben auf fremden Planeten?, Ullstein, Frankfurt a. M./Berlin/Wien 1978, S. 252–258.