



Russian Journal Astrophysical Research. Series A

Has been issued since 2015.
E-ISSN: 2413-7499
2021. 7(1). Issued once a year

EDITORIAL BOARD

Dr. Prokopiev Evgeny – Kurchatov Institute, Institute of Theoretical and Experimental Physics, Russian Federation (Editor in Chief)

Dr. Bisnovaty-Kogan Gennady – Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Dr. Blinnikov Sergei – Kurchatov Institute, Institute of Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russian Federation

Dr. Md Azree Othuman Mydin – University Sains Malaysia, Penang, Malaysia

Dr. Moskalenko Igor – Stanford University, Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford, USA

Dr. Nakariakov Valery – University of Warwick, Coventry, United Kingdom

Dr. Sokoloff Dmitry – Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Dr. Suntola Tuomo – Physics Foundations Society, Espoo, Finland

Dr. Tsvetkov Viktor – Institute for Scientific Research of Aerospace Monitoring AEROCOSMOS, Moscow, Russian Federation

Dr. Utkin Lev – Saint-Petersburg Forestry University, Saint-Petersburg, Russian Federation

Journal is indexed by: **CrossRef, MIAR, OAJI, Russian Science Citation Index**

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 1367/4, Stara Vajnorska str., Bratislava – Nove Mesto, Slovakia, 831 04

Release date 22.06.2021
Format 21 × 29,7/4.

Website: <http://ejournal28.com/>
E-mail: aphr.sro@gmail.com

Headset Georgia.

Founder and Editor: Academic Publishing House Researcher s.r.o.

Order № RJAP-7.

Russian Journal of Astrophysical Research. Series A

2021

Is. 1

CONTENTS

Articles

Construction and Design of Objects on the Surface of Planets R.G. Bolbakov	3
Determination of the Spatial Coordinates of the Planet Using One Camera G.S. Gospodinov	13
The Gravitational Force Generated by an Interaction between Matter and the ZPF field in the Vacuum, and the Property of a Superfluid Vacuum T. Musha, M.J. Pinheiro	20
Determination of the Linear Parameters of the Planet by Measuring the Angular Diameter V.P. Savinych	28
Angular Measurements in Space Geoinformatics V.Ya. Tsvetkov	35
Logic of Space Observations A.M. Tyagunov, V.Ya. Tsvetkov	43

Copyright © 2021 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2021. 7(1): 3-12

DOI: 10.13187/rjar.2021.1.3
www.ejournal28.com



Articles

Construction and Design of Objects on the Surface of Planets

Roman G. Bolbakov ^{a, *}

^a Russian Technologies University (RTU MIREA), Russian Federation

Abstract

The article examines the problem of designing structures on planets taking into account the curvature of the planet's surface. The approach of comparative planetology is used, which consists in the possibility of transferring the methods of terrestrial technologies to other planets. The difference between the planetocentric and topocentric coordinate systems is shown. The main problem of determining the altitude on the planets is revealed. It consists in a double way of determining the height. The first way is related to vertical measurements. The second method involves measuring the height between the surfaces of the planet model. Regardless of this problem, the problem of contradiction between the designs of structures in the Cartesian coordinate system and their implementation in the curvilinear system associated with the planet's surface has been identified. This contradiction leads to the fact that rectangular structures on the surface of the planet become trapezoidal. This situation is due to the fact that when designing verticals are considered as parallel lines, but in reality they are not. The verticals are directed normal to the surface and intersect at the planet's center of mass. The article gives an assessment of the admissibility of using the Cartesian system on the surface of different planets. The article gives an estimate of the discrepancy for different planets between the horizontal chord and the arc corresponding to the real curvature of the planet.

Keywords: space research, Cartesian coordinate system, curvature of the planet's surface, vertical, ellipsoid, curvilinear coordinate system, spatial relations, level surface.

1. Введение

Освоение космического пространства связано с понятиями информационное пространство и информационное поле (Tsvetkov, 2014). Поскольку прямую информацию о планетах получить сложно применяют методы сравнительной планетологии (Glassmeier, 2020; Sauro et al., 2020; Tsvetkov, 2015; Bean et al., 2017). Сравнительная планетология дает основание применять земные технологии и методы для изучения и использования на других планетах. При освоении космического пространства возникает задача возведения сооружений на поверхности планет или их спутников. При строительстве объектов на поверхности планет возникает противоречие между исходным проектом, который, как правило, создается в прямоугольных Декартовых координатах, и конструированием объекта в условия реальной кривизны поверхности планеты ее реальной массы. Проблема

* Corresponding author
 E-mail addresses: bolbakov@mirea.ru (R.G. Bolbakov)

эта связана со спецификой методики определения высоты как земных условиях, так и в условиях любой другой планеты или небесного тела. Один способ определения высоты является геометрическим связан с понятием вертикали на поверхности планеты. Другой способ определения высоты является морфологическим и связан с моделированием некой криволинейной поверхности, которую называют поверхностью уровня или поверхностью нулевой высоты (Бородко и др., 2008; Torge, Müller, 2012). Для отсчета высот моделируют другие поверхности, подобные исходной. Расстояние между поверхностями (нормаль) считают высотой в данной точке. Поверхность такого типа моделируется исходя из кривизны поверхности планеты, массы планеты, которая определяет силу тяжести и гравитационных аномалий. При отсутствии гравитационных аномалий такая поверхность уровня близка к сферической. В этом случае главный фактор – сила тяжести на поверхности планеты. Такие модели называют сфероидическими, то есть близкими к сфере. Сфероид имеет постоянную кривизну во всех точках. Он имеет один радиус кривизны, а нормаль к поверхности сфероида направлена к центру масс. В этом случае нормаль к поверхности модели планеты и вертикаль совпадают по направлению. В земных условиях сфероид называют геоидом (Бородко и др., 2008; Eteje, 2018; Das et al., 2018). При наличии гравитационных аномалий или четко выраженной не сферической формы приходится создавать математическую модель фигуры планеты, которая как правило является эллипсоидальной. Большинство планет Солнечной системы имеют такую форму, что обусловлено механизмом их образования. В этом случае для моделирования используют два фактора: форма планеты и распределение потенциал силы тяжести на поверхности планеты. Такие модели называют эллипсоидальными, то есть близкими к поверхности эллипсоида. В этом случае высоты определяют не по направлению вертикали, а по нормали к поверхности эллипсоида. При этом задают эталонную отсчетную поверхность (Бородко и др., 2008; Torge, Müller, 2012) нулевой высоты. Семейство таких поверхностей называют поверхностями уровня (Ганиева, 2019).

2. Обсуждение и результаты

Определение высот с использованием поверхностей уровня

Для всех планет существуют проблемы пространственных отношений. Эти проблемы связаны с относительным расположением (Цветков, 2013; Цветков, 2016) объектов на поверхности планеты. Эти проблемы связаны с пространственными отношениями высоты как расстояния от центра масс и высоты связанной с формой поверхности планеты (Романов, Устинова, 2020). Эти проблемы связаны с координатными преобразованиями (Цветков, Максимова, 2013; Yan et al., 2020; Цветков, 2016). Проблемой исследования пространственных отношений в космосе занимается космическая геоинформатика (Савиных, 2016; Bondur, Tsvetkov, 2018), геодезическая астрономия (Господинов и др., 2017) и космическая геодезия. В земных условиях для определения поверхности уровня или равной высоты используют технологии нивелирования (Бородко и др., 2008; Torge, Müller, 2012), которые, за неимением другого, будут использовать и на поверхностях других планет. Нивелированием называют комплекс работ с помощью специального прибора – нивелира. С его помощью и с использованием специальных реек инструментально определяют превышение между точками поверхности. Основным критерием нивелирования является направление вертикали, которое определяют как направление к центру масс планеты. При возможности использования сфероидической модели направление вертикали всегда совпадает с нормалью к поверхности.

При необходимости использования эллипсоидальной модели возникает различие между вертикалью и нормалью к поверхности фигуры планеты. Трехосный эллипсоид или эллипсоид вращения имеют поверхность переменной кривизны. Поэтому для такой модели направление к центру масс и нормаль к поверхности уровня различаются. Для эллипсоида, как модели любой планеты, максимальное расхождение имеется на 45-и градусной широте. Оно может составлять около 40 секунд. Вертикаль для эллипсоидальной модели совпадает с нормалью только на полюсах и экваторе.

Кривизна поверхности планеты задает проблему пространственных отношений между сферической системой координат, связанной с центром масс планеты и Декартовой системой координат (Розенберг, 2009; Dudnik et al., 2018), связанной с поверхностью

планеты. Для планет подобных Земле и больше по радиусу планеты существуют участки, для которых можно применять Декартову систему координат при относительно не точных конструкциях. Для планет с радиусом близким к земному (6371 км) это участки примерно с размером 20 x 20 км. Для Юпитера с радиусом 69911 км это участки примерно 220 x 220 км. Для Луны с радиусом 1737, 1 км – это участки примерно 5, 46 x 5, 46 км.

Для малых небесных тел необходимо применять только сферическую систему координат. Существуют экзотические работы [ныр] – применять эллипсоидальную модель на малых небесных телах неправильной формы. По нашему мнению, это математическая казуистика, связанная с попыткой картографического представления тел с неправильной геометрической формой с помощью правильной геометрии.

Пространственные отношения на поверхности планет

Существует объективное противоречие, связанное с проектированием и выносом в натуру в разных системах геометрии. Проекты объектов выполняют в прямоугольной Декартовой системе координат. В этой системе координат вертикальные линии проекта являются параллельными прямыми. В этой системе координат горизонтальные линии проекта являются параллельными прямыми и не пересекаются. Горизонтальные линии проекта описывают горизонтальные плоскости. Горизонтальные плоскости проекта являются поверхностями равной высоты. При выносе в натуру на криволинейную поверхность планеты прямоугольные проекты трансформируются в другую форму. Вертикальные линии на поверхности планеты не являются параллельными, а пересекаются примерно в центре масс планеты ([Рисунок 1](#))

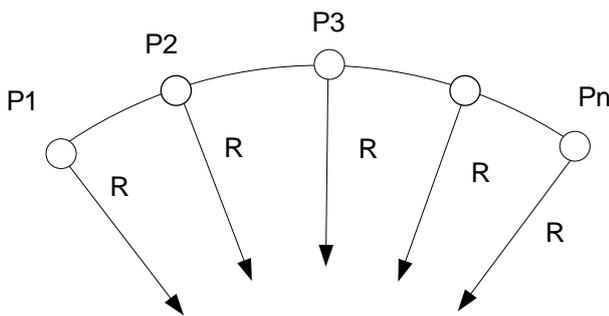


Рис. 1. Вертикали и физическая поверхность уровня

Горизонтальные плоскости трансформируются в криволинейные поверхности равных высот ([Рисунок 1](#)). Использование нивелиров, задающих равные высотные отметки в точках P1, P2, P3, Pn ([Рисунок 1](#)) – формирует не горизонтальную линию, а геодезическую линию, которая прямой не является. Использование нивелиров, задающих равные высотные отметки, формирует не горизонтальную плоскость, а поверхность уровня, которую в земной геодезии называют «уровенная поверхность» ([Бородко и др., 2008](#); [Ганиева, 2019](#); [Романов, Устинова, 2013](#)), которая плоскостью не является, а является криволинейной поверхностью второго порядка.

На [Рисунке 1](#) точки P1, P2, P3, Pn – точки стояния нивелиров, соответствующие равным высотам. R – радиус кривизны которому соответствует направление вертикали в планетоцентрической системе координат. На [Рисунке 1](#) отчетливо видно, что вертикали не являются параллельными и пересекаются в центре масс планеты.

На малых расстояниях криволинейностью основания сооружения и не параллельностью вертикальных линий пренебрегают. Однако при необходимости строительства высокоточных сооружений ([Krasnoperov, Sidorov, 2015](#); [Peyret et al., 2000](#)), для которых необходимо соблюдение строгой горизонтальности уровней, необходимы специальные расчеты, учитывающие кривизну и рассчитывающие поправки для построения горизонтальных плоскостей.

Системы координат при исследовании планет

На поверхностях планет используют разные координатные системы. Для моделирования поверхности планет применяют планетоцентрические, референсные (модельные), топоцентрические координатные системы и поверхностные или фрагментарные системы.

Планетоцентрические системы координат (Розенберг, Цветков, 2009) связывают с центром масс планеты. В основе этих систем координатных положена модель либо сфероида, либо эллипсоида. Для модели эллипсоида необходимо задавать параметры эллипсоида, плоскость экватора, полюса и центр. Планетный эллипсоид служит для моделирования формы планеты, если она похожа на эллипсоид. Поэтому главной задачей такой модели есть моделирование формы.

Референсные системы координат связывают с моделью референц-эллипсоида. Эти системы используют для изученных территорий. Дополнительной процедурой является ориентирование референц-эллипсоида в теле планеты. Референц-эллипсоиды задают систему высот. Поэтому в отличие от общеземного эллипсоида для ориентирования и закрепления референц-эллипсоида в теле планеты необходимо задать исходные геодезические даты (*datum*). Главной задачей такой модели есть моделирование высот на поверхности планеты.

Планетоцентрической системой координат принято называть криволинейную систему координат (X, Y, Z) , у которой начало отсчета O совпадает с центром масс планеты (Рисунок 2). Эта система координат связана со сферической системой координат.

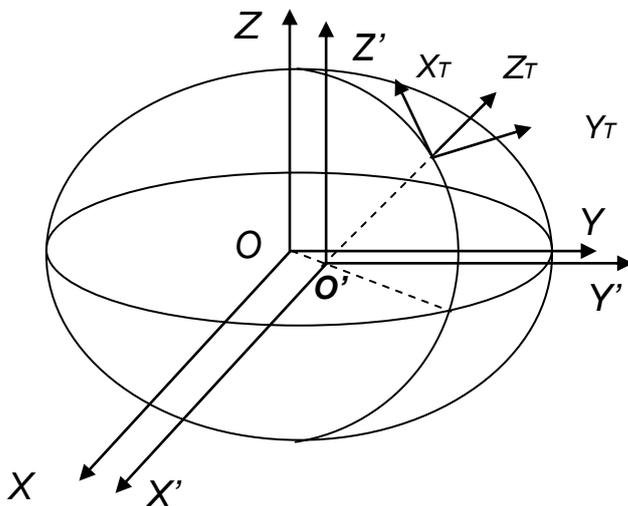


Рис. 2. Планетоцентрическая и топоцентрическая системы координат (Tsvetkov, 2018)

Если начало отсчета системы O' располагается вблизи центра масс, то такая система координат (X', Y', Z') называется квази планетоцентрической (Рисунок 2). В планетоцентрической системе координат ось Z направлена на северный полюс планеты (Рисунок 2). Ось X направлена в точку пересечения экватора с Гринвичским меридианом. Ось Y дополняет образованную экваториальную систему до правой. Планетоцентрические системы координат используют в первую очередь для навигации при движении объектов околоземном пространстве (Barmin et al., 2014) или на поверхности планеты. Планетоцентрическая система одна, а топоцентрических может быть много. Планетоцентрическая система координат является криволинейной и может быть рассмотрена как глобальная, а топоцентрические системы координат могут быть рассмотрены как локальные.

Топоцентрическую систему координат (Рисунок 2) используют для измерений на поверхности планеты и строительства объектов на поверхности большой планеты. Ее качественным отличием от планетоцентрической является то, что она использует

Декартову систему координат. Эту систему координат можно рассматривать как скользящую Декартову систему координат, которая связана с одной точкой поверхности планеты.

Топоцентрической системой (**Рисунок 2**) называют прямоугольную систему координат (XT, YT, ZT), у которой начало отсчета находится на поверхности планеты или вблизи нее. Ось ZT совпадает с нормалью к поверхности сфероида или эллипсоида. Ось XT лежит в плоскости меридиана и направлена на северный полюс. Ось YT дополняет образованную систему до левой. Система участвует в суточном вращении планеты, оставаясь неподвижной относительно точек поверхности.

Измерение высот и понятие вертикали

Ось Z топоцентрической системы (**Рисунок 2**) задает условную вертикаль и служит основой измерения высот. Однако в геодезической литературе существует много противоречий. «Вертикаль – прямая в пространстве, перпендикулярная к горизонтальной плоскости». Горизонтальных плоскостей не существует в природе. Поверхность любой планеты не является горизонтальной. Большинство крупных планет имеют форму близкую к сферической. В силу этого для определения высот необходимо использовать другие подходы.

В работе А.В. Бородко и др. дано определение «Высота – расстояние между точками объекта по вертикали» (**Бородко и др., 2008: 124**). Это применимо для разных планет. На этой же странице «высота одной и той же точки может иметь различные значения, зависящие от пути нивелирования, а сумма превышений по замкнутому полигону не равна нулю». В статье о динамической высоте говорится: «Высота динамическая – высота, которая при перемещении точки по уровневой поверхности не меняется». Такое явление обусловлено расхождением направления нормали к поверхности уровня с направлением вертикали в центр масс (**Романов, Устинова, 2020**).

Вывод. При измерениях на поверхности планет используют декартову систему координат, вертикаль которой не всегда совпадает с вертикалью, направленной в центр масс планеты. Использование декартовых координат требует обоснования.

Трансформация конструкций из-за кривизны планеты

На **Рисунке 3** дано схематичное изображение проекта сооружения, который планируется к установке на поверхность планеты.

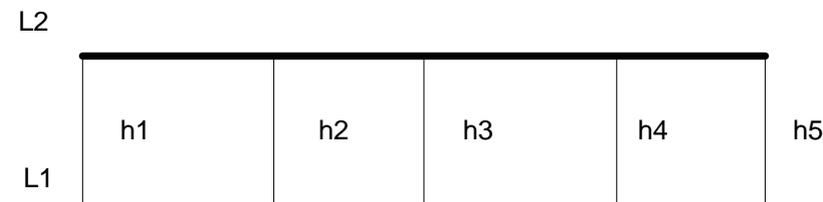


Рис. 3. Схематичное изображение проекта прямоугольного сооружения

Проект сооружения на **Рисунке 3** имеет прямоугольную форму. На **Рисунке 3** показано основание или нижний уровень $L1$. Оно параллельно верхней границе сооружения $L2$. Сооружение имеет равные параллельные высоты пяти сечений проекта ($h1=h2=h3=h4=h5$). На **Рисунке 4** дан результат выноса этого проекта на поверхность планеты.

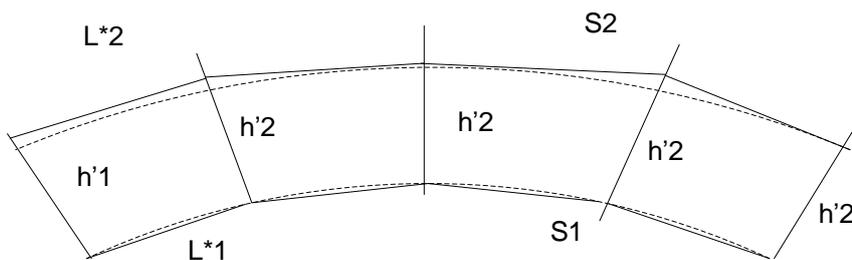


Рис. 4. Результат монтажа проекта на поверхности планеты

На [Рисунке 4](#) видно, что прямоугольное сооружение преобразуется в трапецевидное. На [Рисунке 4](#) показано, что горизонтальное основание $L1$ переходит в ломанную кусочно-линейную поверхность L^*1 , которая задается поверхностью уровня $S1$. Верхняя граница сооружения $L2$ переходит в ломанную линию L^*2 , которая задается поверхностью уровня $S2$. Высоты становятся приблизительно равными ($h'1 \approx h'2 \approx h'3 \approx h'4 \approx h'5$). С помощью нивелирования обнаружит ломанную кривую невозможно. Она будет по измерениям соответствовать горизонтали $L2$ на [Рисунке 3](#). Для учета влияния кривизны поверхности планеты на геометрию сооружения используем схему на [Рисунке 5](#).

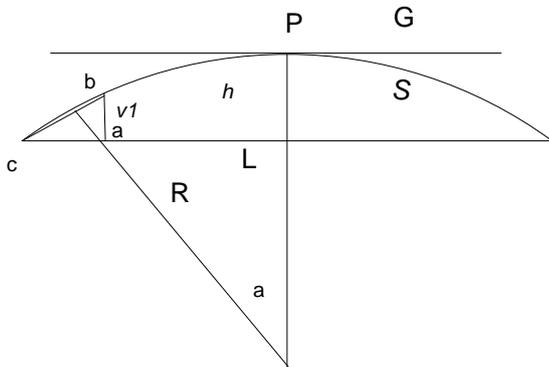


Рис. 5. Схема расчета поправок для дуги

На [Рисунке 5](#) S – дуга криволинейной поверхности равного уровня, L – хорда этой дуги. Эта хорда и параллельна горизонтальной линии G к точке поверхности планеты P . Горизонтальная линия G задает горизонтальную плоскость топоцентрической системы координат. Величина v обозначает поправку или расхождение между горизонтальной плоскостью и сечением криволинейной поверхности уровня. Величина h обозначает высоту хорды или максимальное расхождение между горизонтальной плоскостью и криволинейным участком поверхности планеты. Величина l есть смещение по горизонтальной оси. Величина vl есть поправка между дугой S и хордой для смещения l .

Для того чтобы рассчитать поправки по высоте воспользуемся схемой на [Рисунке 5](#). Из курса геометрии известно, что высота хорды определяется по формуле

$$h = R - \frac{1}{2} (4R^2 - L^2)^{1/2} \quad (1)$$

В выражении (1) h – высота хорды или максимальное отклонение горизонтальной L от криволинейной поверхности, R – радиус кривизны планеты, L – длина хорды или длина основания сооружения, которое возводят на поверхности планеты.

Для участка в 20 км на земной поверхности расстояние между хордой и дугой в соответствии с выражением (1) будет равно $h = 7,848066$ метров. То есть разница в высоте составляет около 8 метров. Это значительная величина. Относительная ошибка составляет $1,23184E-06$ или около одной миллионной. Для участка Юпитера, который можно считать плоским разница в высоте составляет около $h = 86$ метров. Для участка Луны, который можно считать плоским разница в высоте составляет около $h = 2$ метров.

Если перейти к конечному объекту, который устанавливают на поверхности планеты с длиной 400 м, то для него разница между поверхностью уровня и горизонталью составляет в земных условиях 6,25 мм. Это означает что использование нивелиров при проектировании объекта на поверхности планеты с радиусом, близким к земному, поднимет центральную часть сооружения на 6.25 мм по отношению к краям объекта. Важно, что именно нивелирование задает отклонение высоты основания сооружения от строгой горизонтальной плоскости ([Рисунок 4](#)). Для Юпитера эта поправка для сооружения длиной 400 м составит примерно 0,29 мм. Для луны эта поправка для сооружения длиной 400 м составит примерно 11,5 мм. Почти вдвое больше, чем на Земле. Вывод: поправка по высоте значима для горизонтальных сооружений и ее необходимо учитывать при высокоточных работах.

3. Заключение

Основная проблема в определении высоты состоит в отклонении вертикали, направленной в центр масс планеты, от нормали к эллипсоидальной модели планеты. Строительство объектов на поверхности планет необходимо выполнять с использованием сферической геометрии. Проектирование объектов для космического строительства должно использовать криволинейные координаты. Это обусловлено действием силы тяжести. Для сооружений, возводимых на поверхности любой планеты, необходима оценка кривизны поверхности планеты и оценка допустимости применения проектов в Декартовой системе координат. Вертикали в реальных планетных условиях не являются параллельными линиями. В условиях кривизны поверхности планеты прямоугольные проекты преобразуются в трапециевидные конструкции с непараллельными стенами. Для разных условий эксплуатации планетных сооружений необходимо принимать решение о допустимости или не допустимости искривления основания объекта. Несоответствие между высотой криволинейной поверхности и горизонтальной плоскостью хорды для разных планет достигает значений от 2 метров до 90 метров. Принципиально, что погрешность по высоте больше, чем погрешности плановых координат. Это необходимо учитывать при строительстве высокоточных объектов и отказаться от обычных методов нивелирования и переходить к лазерным уровням.

Литература

- [Бородко и др., 2008](#) – Бородко А.В., Бугаевский Л.М., Верещака Т.В., Запругаева Л.А., Иванова Л.Г., Книжников Ю.Ф., Савиных В.П., Спиридонов А.И., Филатов В.Н., Цветков В.Я. Геодезия, Картография, Геоинформатика, Кадастр. Энциклопедия. В 2 томах. / Под редакцией А.В. Бородко, В.П. Савиных. Москва, 2008. Том I А-М.
- [Ганиева, 2019](#) – Ганиева С.А. Об эволюции параметров уровенной поверхности Земли // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2019. № 8-1(86).
- [Господинов, 2017](#) – Господинов Г.С. Геодезическая астрономия и космическая геоинформатика // *Наука и технологии железных дорог*. 2017. Т.1. 1(1). С. 45-50.
- [Розенберг, Цветков, 2009](#) – Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009. 67 с.
- [Романов, Устинова, 2020](#) – Романов А.А., Устинова М.В. Анализ динамики уровенной поверхности океана в акватории залива Аляска по данным спутниковой альтиметрии // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 4. С. 256-266.
- [Савиных, 2016](#) – Савиных В.П. Развитие космической геоинформатики // *Славянский форум*. 2016. 2(12). С. 223-230.
- [Цветков, 2013](#) – Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // *Успехи современного естествознания*. 2013. № 5. С. 138-140.
- [Цветков, 2016](#) – Цветков В.Я. Алгоритм преобразования координат пространственных объектов при построении трехмерных сцен и карт // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. №10-2. С. 186-189.
- [Цветков, 2016](#) – Цветков В.Я. Отношение, связь, соответствие // *Славянский форум*. 2016. 2(12): 272-276.
- [Цветков, Максимова, 2013](#) – Цветков В.Я., Максимова М.В. Современный геоинформационный мониторинг // *Геодезия и картография*. 2013. № 8. С. 57-59.
- [Barmin et al., 2014](#) – Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Near_Earth Space as an Object of Global Monitoring // *Solar System Research*. 2014. Vol. 48. No. 7, pp. 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X
- [Bean et al., 2017](#) – Bean J.L., Abbot D.S., Kempton E.M.-R. A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system // *The Astrophysical Journal Letters*. 2017. Т. 841. № 2. Pp. L24.
- [Das, 2018](#) – Das R.K. et al. Polynomial interpolation methods in development of local geoid model // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2018. Т. 21. № 3. Pp. 265-271.
- [Dudnik, 2018](#) – Dudnik A.E. et al. Geocentric Coordinate Systems and Actual Problems of Modernization of the State Geodetic Network // *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2018. Т. 931. Pp. 687-691.

- Eteje et al., 2018 – Eteje S.O. et al. Procedure for the Determination of Local Gravimetric-Geometric Geoid Model // *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*. 2018. T. 4. № 8. Pp. 206-214.
- Glassmeier, 2020 – Glassmeier K.H. Solar system exploration via comparative planetology // *Nature Communications*. 2020. T. 11. № 1. Pp. 1-4.
- Krasnoperov et al., 2015 – Krasnoperov R.I., Sidorov R.V., Soloviev A.A. Modern geodetic methods for high-accuracy survey coordination on the example of magnetic exploration // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. T. 55. № 4. Pp. 547-554.
- Peyret et al., 2000 – Peyret F., Betaille D., Hintzy G. High-precision application of GPS in the field of real-time equipment positioning // *Automation in construction*. 2000. T. 9. № 3. Pp. 299-314.
- Sauro, 2012 – Sauro F. et al. Lava tubes on Earth, Moon and Mars: A review on their size and morphology revealed by comparative planetology // *Earth-Science Reviews*. 2020. P. 103288.
- Torge, Müller, 2012 – Torge W., Müller J. Geodesy. Walter de Gruyter. Geodesy. 4th Edition, Walter de Gruyter, Berlin, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110250008>
- Tsvetkov, 2014 – Tsvetkov V.Ya. Information Space, Information Field, Information Environment // *European researcher*. 2014. № 8-1(80): 1416-1422.
- Tsvetkov, 2018 – Tsvetkov V.Ya. The Development of the Direction "Comparative Planetology" // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 34-41.
- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.
- Yan, 2020 – Yan X. et al. Study on the Method of Conversion from Beidou Coordinate System to Local Coordinate System / *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. T. 440. № 5. P. 052082.

References

- Barmin et al., 2014 – Barmin, I.V., Kulagin, V.P., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Near_Earth Space as an Object of Global Monitoring. *Solar System Research*. 48(7): 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X
- Bean et al., 2017 – Bean, J.L., Abbot, D.S., Kempton, E.M.-R. (2017). A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system. *The Astrophysical Journal Letters*. T. 841. 2: L24.
- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.
- Borodko i dr., 2008 – Borodko, A.V., Bugaevskii, L.M., Vereshchaka, T.V., Zapryagaeva, L.A., Ivanova, L.G., Knizhnikov, Yu.F., Savinykh, V.P., Spiridonov, A.I., Filatov, V.N., Tsvetkov, V.Ya. (2008). Geodeziya, Kartografiya, Geoinformatika, Kadastr. Entsiklopediya. V 2 tomakh [Cartography, Geoinformatics, Cadastre. Encyclopedia. In 2 volumes]. Pod redaktsiei A.V. Borodko, V.P. Savinykh. Moskva. Tom I A-M. [in Russian]
- Das, 2018 – Das, R.K. et al. (2018). Polynomial interpolation methods in development of local geoid model. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. T. 21. 3: 265-271.
- Dudnik, 2018 – Dudnik, A.E. et al. (2018). Geocentric Coordinate Systems and Actual Problems of Modernization of the State Geodetic Network. *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd. T. 931. Pp. 687-691.
- Eteje et al., 2018 – Eteje, S.O. et al. (2018). Procedure for the Determination of Local Gravimetric-Geometric Geoid Model. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*. T. 4. 8: 206-214.
- Ganieva, 2019 – Ganieva, S.A. (2019). Ob evolyutsii parametrov urovennoi poverkhnosti Zemli [On the evolution of the parameters of the level surface of the Earth]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 8-1(86). [in Russian]
- Glassmeier, 2020 – Glassmeier, K.H. (2020). Solar system exploration via comparative planetology. *Nature Communications*. T. 11. 1: 1-4.
- Gospodinov, 2017 – Gospodinov, G.S. (2017). Geodezicheskaya astronomiya i kosmicheskaya geoinformatika [Geodetic astronomy and space geoinformatics]. *Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog*. T.1. 1(1): 45-50. [in Russian]

Krasnoperov et al., 2015 – Krasnoperov, R.I., Sidorov, R.V., Soloviev, A.A. (2015). Modern geodetic methods for high-accuracy survey coordination on the example of magnetic exploration. *Geomagnetism and Aeronomy*. T. 55. 4: 547-554.

Peyret et al., 2000 – Peyret, F., Betaille, D., Hintzy, G. (2000). High-precision application of GPS in the field of real-time equipment positioning. *Automation in construction*. T. 9. 3: 299-314.

Romanov, Ustinova, 2020 – Romanov, A.A., Ustinova, M.V. (2020). Analiz dinamiki urovnenoi poverkhnosti okeana v akvatorii zaliva Alyaska po dannym sputnikovoi al'timetrii [Analysis of the dynamics of the ocean level surface in the water area of the Gulf of Alaska according to satellite altimetry data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. T. 17. 4: 256-266. [in Russian]

Rozenberg, Tsvetkov, 2009 – Rozenberg, I.N., Tsvetkov, V.Ya. (2009). Koordinatnye sistemy v geoinformatike – MGUPS [Coordinate systems in geoinformatics – MGUPS]. 67 p. [in Russian]

Sauro, 2012 – Sauro, F. et al. (2012). Lava tubes on Earth, Moon and Mars: A review on their size and morphology revealed by comparative planetology. *Earth-Science Reviews*. P. 103288.

Savinykh, 2016 – Savinykh, V.P. (2016). Razvitie kosmicheskoi geoinformatiki [Development of space geoinformatics]. *Slavyanskii forum*. 2(12): 223-230. [in Russian]

Torge, Müller, 2012 – Torge, W., Müller, J. (2012). Geodesy. Walter de Gruyter. Geodesy. 4th Edition, Walter de Gruyter, Berlin. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110250008>

Tsvetkov, 2013 – Tsvetkov, V.Ya. (2013). Vidy prostranstvennykh otnoshenii [Types of spatial relations]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 5: 138-140. [in Russian]

Tsvetkov, 2014 – Tsvetkov, V.Ya. (2014). Information Space, Information Field, Information Environment. *European researcher*. 8-1(80): 1416-1422.

Tsvetkov, 2016 – Tsvetkov, V.Ya. (2016). Algoritm preobrazovaniya koordinat prostranstvennykh ob"ektov pri postroenii trekhmernykh stsen i kart [Algorithm for transforming the coordinates of spatial objects when constructing three-dimensional scenes and maps]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 10-2: 186-189. [in Russian]

Tsvetkov, 2016 – Tsvetkov, V.Ya. (2016). Otnoshenie, svyaz', sootvetstvie [Attitude, connection, conformity]. *Slavyanskii forum*. 2(12): 272-276. [in Russian]

Tsvetkov, 2018 – Tsvetkov, V.Ya. (2018). The Development of the Direction "Comparative Planetology". *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 34-41.

Tsvetkov, Maksimova, 2013 – Tsvetkov, V.Ya., Maksimova, M.V. (2013). Sovremennyyi geoinformatsionnyi monitoring [Modern geoinformation monitoring]. *Geodeziya i kartografiya*. 8: 57-59. [in Russian]

Yan, 2020 – Yan, X. et al. (2020). Study on the Method of Conversion from Beidou Coordinate System to Local Coordinate System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. T. 440. 5: 052082.

Строительство и проектирование объектов на поверхности планет.

Роман Геннадьевич Болбаков ^{a, *}

^a Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Российская Федерация

Аннотация. Статья исследует проблему конструирования сооружений на планетах с учетом кривизны поверхности планеты. Используется подход сравнительной планетологии, который заключается в возможности переноса методов земных технологий на другие планеты. Показано различие между планетоцентрической и топоцентрической системами координат. Выявлена основная проблема определения высоты на планетах. Она заключается в двойном способе определения высоты. Первый способ связан с измерениями по вертикали. Второй способ связан с измерением высоты между поверхностями модели планеты. Независимо от этой проблемы выявлена проблема противоречия между проектами сооружений в декартовой системе координат и их реализацией в криволинейной

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: bolbakov@mirea.ru (Р.Г. Болбаков)

системе, связанной с поверхностью планеты. Это противоречие приводит к тому, что прямоугольные сооружения на поверхности планеты становятся трапециевидными. Такая ситуация обусловлена тем, что при проектировании вертикали рассматривают как параллельные линии, а в реальности они таковыми не являются. Вертикали направлены по нормали к поверхности и пересекаются в центре масс планеты. Статья дает оценку допустимости применения Декартовой системы на участке поверхности разных планет. Статья дает оценку расхождения для разных планет между горизонтальной хордой и дугой соответствующей реальной кривизне планеты.

Ключевые слова: космические исследования, декартова система координат, кривизна поверхности планеты, вертикаль, эллипсоид, криволинейная система координат, пространственные отношения, поверхность уровня.

Copyright © 2021 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2021. 7(1): 13-19

DOI: 10.13187/rjar.2021.1.13
www.ejournal28.com



Determination of the Spatial Coordinates of the Planet Using One Camera

Gospodinov Slaveyko Gospodinov ^{a,*}

^a University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia, Bulgaria

Abstract

The article proposes a method for determining the coordinates of points on the planet's surface using a single camera. The technique consists of two parts. The first part describes the process of shooting a rotating body in terrestrial conditions from a stationary camera. The principle of relativity of motion allows you to model this situation as a situation of moving the camera with a stationary object. This idea is used when photographing the surface of a planet from a space carrier or spacecraft. For this case, the rotation of the planet and the movement of the spacecraft can be reduced to one relative motion of the spacecraft. The solution of the problem uses the formulas of connection between the coordinates of the image and the points of the terrain, which are used in aerial photography. The specificity of satellite imagery makes it possible to simplify photogrammetric dependencies and obtain new formulas for linking the coordinates of the image and the terrain. Finding the angle of the camera from the second point becomes a problem. This problem is solved by the ballistic method. It is proposed to measure the coordinates of the auxiliary point approximately in the middle of the trajectory section between the survey points using inertial devices. Three points make it possible to determine the motion curve of the spacecraft and determine the derivatives at the survey points. The angle of tilt of the camera at the second point of the survey is determined by the difference in the angles of the derivatives at the points of the photograph or the difference in the angles of the normal at these points. The methodology and calculation formulas allow calculating the coordinates of a point on the planet's surface in a conventional coordinate system associated with the orbit of the spacecraft.

Keywords: space exploration, space geoinformatics, photogrammetry, survey of the planet's surface, trajectory of a space carrier, serif, rotating body, special shooting conditions.

1. Введение

В фотограмметрии определения пространственных координат объектов по их изображениям применяют две или более камер для получения стереоэффекта. При наличии стереоэффекта решают прямую пространственную засечку. Доказано (Цветков, 1978; Цветков, 2016), что для определения координат и кинематических характеристик вращающегося объекта можно использовать одну неподвижную фотокамеру. Такая ситуация включает тело, вращающееся относительно фиксированной оси и фотокамеру, стоящую неподвижно в одной точке. Такая ситуация возможна в космических исследованиях, когда в невесомости вращается некое тело, например внеземного происхождения, а с борта космического аппарата надо определить его размеры и скорость вращения. Если тело вращается, то можно фотографировать его с одной точки и

* Corresponding author

E-mail addresses: sgospodinov@mail.bg (G.S. Gospodinov)

использовать принцип относительности. Можно считать, что объект неподвижный, а камера вращается вокруг объекта. Математически несложно строить такие стереопары снимков и решать прямую фотограмметрическую засечку (Краснопевцев, 2008). При этом дополнительным условием является идентификация на объекте одних и тех же точек. Именно их фотографируют в процессе вращения объекта. Перед камерой стоит обтюратор, который периодически открывает изображение, чем создает временную зависимость фотографирования. Технология включает периодическую съемку вращающегося объекта на одну неподвижную камеру. На ней получают разные снимки по мере поворота объекта. Если фотокамера топографическая, то в этом случае используют обычную методику обработки снимков. Возможен случай съемки на не метрическую камеру. В этом случае снимки можно обрабатывать по специальной методике (Цветков, 1979) которая позволяет обрабатывать снимки с анаморфотными связками и двумя фокусными расстояниями для каждой из осей.

2. Результаты

Метод съемки вращающегося тела одной камерой

В практике космических и наземных исследований возникают ситуации относительного вращения камеры и объекта. На Рисунке 1 приведена ситуация съемки объекта с точки S . В качестве объекта выбран семиугольник как асимметричная фигура с вершинами, обозначенными от A до G . Видимыми вершинами являются вершины от A до D .

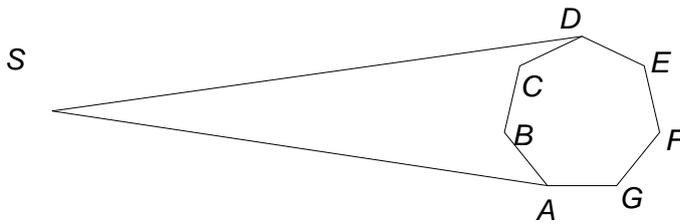


Рис.1. Первая ситуация фотосъемки

На Рисунке 2 приведена вторая ситуация съемки объекта с точки S . В этом случае объекта повернулся вокруг оси O на угол α . Видимыми вершинами являются вершины от A до C .

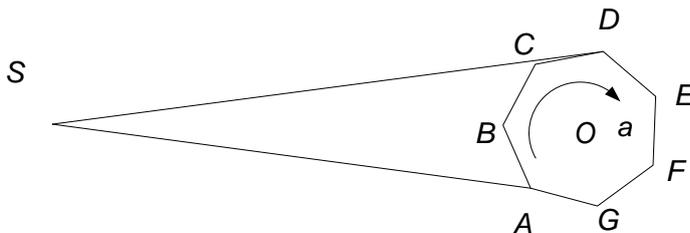


Рис. 2. Вторая ситуация фотосъемки

Используя принцип относительности движения, можно предположить, что вторая ситуация эквивалентна случаю поворота точки наблюдения на такой же угол, но при неподвижном объекте. Эта ситуация приведена на Рисунке 3.

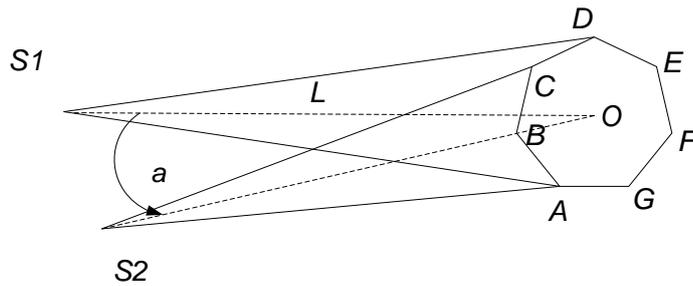


Рис. 3. Эквивалентная ситуация

Для **Рисунка 3** введены точки наблюдения S1, S2. Базис В между точками S1, S2 определяется на основе тривиального геометрического построения

$$B = 2 L \operatorname{tg}(a/2) \quad (1)$$

В выражении (1) a – угол поворота, L – расстояние от оси вращения до точки наблюдения. По снимкам, полученным из точек наблюдения S1, S2 можно определить координаты точек A, B, C. Для такой съемки имеет место $B = B_x = S1, S2; B_y = B_z = 0$. Для практического использования в космических условиях величина L является неизвестной. Поэтому необходимо предлагать методику, исключающую измерение величины L .

Определение координат точек планеты

Можно перенести метод съемки вращающегося тела на съемку поверхности планеты с фотокамеры, установленной на борту космического аппарата (КА). Планета может вращаться вокруг своей оси, а космический аппарат двигаться по орбите относительно планеты. Учитываем относительное движение. Математические зависимости связи координат снимка и координат точек планеты рассматриваем как при аэрофотосъемке. Ось Z соответствует вертикали по отношению к точке фотографирования первого снимка и определяет высоты КА по отношению к поверхности планеты. Ось X совпадает с направлением движения КА между точками фотографирования. Камера не меняет своего положения внутри КА, следовательно углы $\omega = 0, \chi = 0$. Другими, словами, при съемке поверхности планеты с орбиты КА положение камеры изменяется только на один угол в плоскости орбиты.

Используем известную связь между координатами снимка (x, y) и координатами местности (X, Y, Z) . Ось Z соответствует вертикали как при аэрофотосъемке. Используем известные в фотограмметрии зависимости (**Краснопевцев, 2008**).

$$X = X_s + (Z - Z_s) cX/cZ \quad (2)$$

$$Y = Y_s + (Z - Z_s) cY/cZ \quad (3)$$

В выражениях (2), (3) X_s, Y_s, Z_s – координаты точки фотографирования во внешней системе координат «Планета КА». В выражениях (2), (3) cX, cY, cZ – линейные функции вида скалярного произведения

$$cX = c_{11}(x - x_0) + c_{12}(y - y_0) - c_{13}f \quad (4)$$

$$cY = c_{21}(x - x_0) + c_{22}(y - y_0) - c_{23}f \quad (5)$$

$$cZ = c_{31}(x - x_0) + c_{32}(y - y_0) - c_{33}f \quad (6)$$

В выражениях (4-6) x_0, y_0 – координаты главной точки снимка, величина f – фокусное расстояние снимка, в первом случае направленное по оси.

Следует отметить интересную особенность, которая шокирует некоторых математиков. В аналитической геометрии существует понятие направляющие косинусы, которые являются функциями косинусов и только их. Они задают направление вектора в пространстве по отношению к трем осям координат.

В фотограмметрии, в альтернативу существующему в математике определению,

направляющими косинусами называют другие функции, включающие комбинацию косинусов и синусов. Это величины c_{ij} , которые входят в выражения (4-6). Они имеют следующие значения.

$$\begin{aligned} c11 &= \cos \alpha \cos \chi \\ c12 &= -\cos \alpha \sin \chi \\ c13 &= \sin \alpha \\ c21 &= \cos \omega \sin \chi + \sin \omega \sin \alpha \cos \chi \\ c22 &= \cos \omega \cos \chi - \sin \omega \sin \alpha \sin \chi \\ c23 &= -\sin \omega \cos \alpha \\ c31 &= \sin \omega \sin \chi - \cos \omega \sin \alpha \cos \chi \\ c32 &= \sin \omega \cos \chi + \cos \omega \sin \alpha \sin \chi \\ c33 &= \cos \omega \cos \alpha \end{aligned}$$

Для случая съемки при повороте камеры или объекта, или при съемке с траектории КА $\omega = 0$, $\chi = 0$ что дает значения

$$\begin{aligned} c11 &= \cos \alpha; c12 = 0; c13 = \sin \alpha \\ c21 &= 0; c22 = 1; c23 = 0 \\ c31 &= 0; c32 = 0; c33 = 1 \end{aligned}$$

Такое упрощение преобразует формулы (2) (3). Введем понятие первый и второй снимок и будем обозначать цифрами соответствующие снимки. Будем считать, что внешняя система координат совпадает по направлению вертикали с главной оптической осью первого снимка. То есть для первого снимка ось Z и f -соотсны. В этом случае съемки все углы равны 0. Это преобразует выражения (2), (3) в простой вид

$$X = Xs1 + (Z - Zs1) (x - x0) / (-f) \quad (7)$$

$$Y = Ys1 + (Z - Zs1) [y - y0] / (-f) \quad (8)$$

Полагаем для первого снимка $x1 = x - x0$, $y1 = y - y0$. Разрешая относительно неизвестны координат точки поверхности планеты, получаем

$$Z x1 + f X = f Xs1 + Zs1 x1 \quad (9)$$

$$Z y1 + f Y = f Ys1 + Zs1 y1 \quad (10)$$

В выражениях (9), (10) $Xs1$, $Ys1$, $Zs1$ – координаты точки фотографирования первого снимка. Чаще всего их берут как нулевые. Величины X , Y , Z – координаты точки на поверхности планеты, которые имеют изображения на первом снимке как $x1$, $y1$. Выражения (9), (10) дают два уравнения относительно трех неизвестных X , Y , Z . Для определения этих неизвестных необходим второй снимок, который дает еще два уравнения. Внешняя система координат является условной и связан с первой точкой фотографирования с орбиты КА.

При фотографировании из второй точки появится угол α , обусловленный наклоном орбиты. Значения фотограмметрических направляющих косинусов в этом случае

$$\begin{aligned} c11 &= \cos \alpha; c12 = 0; c13 = \sin \alpha \\ c21 &= 0; c22 = 1; c23 = 0 \\ c31 &= 0; c32 = 0; c33 = 1 \end{aligned}$$

При подстановке этих значений в выражения (2), (3) получаем

$$X = Xs2 + (Z - Zs2) [\cos \alpha (x - x0) - \sin \alpha f] / (-f) \quad (11)$$

$$Y = Ys2 + (Z - Zs2) [y - y0] / (-f) \quad (12)$$

Полагаем для второго снимка $x2 = x - x0$, $y2 = y - y0$. В выражениях (11), (12) $Xs2$, $Ys2$, $Zs2$ – координаты второй точки фотографирования для второго снимка. Величины X , Y , Z – координаты точки на поверхности планеты те же самые, что и для первого снимка. Они

имеют изображение на втором снимке и координаты второго снимка как x_2, y_2 . Камера одна и та же, поэтому координаты главной точки снимка не меняются. Выражения (11), (12) есть два дополнительных два уравнения относительно трех неизвестных X, Y, Z . Преобразуем их относительно неизвестных и получим.

$$Z [x_2 \cos \alpha - \sin \alpha f] + f X = f X s_2 + Z s_2 [x_2 \cos \alpha - f \sin \alpha] \quad (13)$$

$$Z y_2 + f Y = f Y s_2 + Z s_2 y_2 \quad (14)$$

Выражения (9), (10) совместно с выражениями (13), (14) дают возможность определения трех координат X, Y, Z – координат точки на поверхности планеты. На [Рисунке 4](#) приведена схема съемки планеты с борта КА.

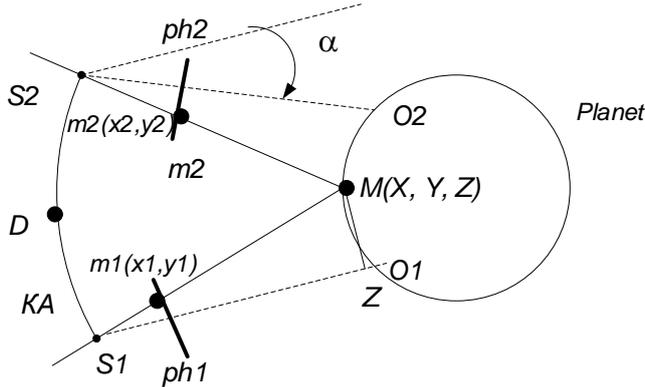


Рис. 4. съемка поверхности планеты с борта космического корабля

На [Рисунке 4](#) введены следующие обозначения. Траектория движения КА показана сплошной дугой, соединяющей точки фотографирования S_1, S_2 . Плоскость первого снимка обозначена как ph_1 , плоскость второго снимка обозначена как ph_2 . Точка на поверхности планеты (planet) показана как $M(X, Y, Z)$. Главные оптические оси (S_1-O_1, S_2-O_2) показаны пунктиром. Точками выделены изображения точки поверхности M на снимках (m_1, m_2). Главной задачей является определение угла α . В отличие от ситуации на [Рисунке 3](#) на [Рисунке 4](#) этот угол не связан с центром планеты, а определяется только наклоном траектории КА. Для определения наклона траектории в процессе движения КА на промежуточном участке определяют координаты вспомогательной точки D . Три точки S_1, D, S_2 траектории КА дают возможность определить кривую второго порядка и ее производную в точках S_1, S_2 . Нормали в этих точках дают возможность определить угол α . После определения этого угла все необходимые параметры в уравнениях (9), (10), (13), (14) – известны. Четыре линейных уравнения дают возможность линейно решить задачу нахождения трех неизвестных.

3. Заключение

Методика приемлема также для специальных наземных испытаний вращающихся тел, когда возможны взрывы вращающегося объекта и порча камеры. В этом случае снимки все же сохраняются и такие эксперименты не требуют дорогостоящего фотограмметрического оборудования. Применительно к космическим исследованиям данная методика относится к области космической геоинформатики ([Bondur, Tsvetkov, 2015](#)). Космическая фотограмметрия к настоящему времени не сформирована как наука. Несмотря на выпуск отдельных монографий по космической фотограмметрии, никакой специфике в этих работах нет. В этих работах применялась обычная фотограмметрия для обработки космическим снимком. Причем в ней использовались как специфика элементы математической картографии. Данная методика выявляет именно специфику космической съемки при помощи одной камеры, которая состоит в использовании только одного угла и зависимости этого угла от наклона траектории КА. В аспекте пространственных преобразований данная методика может быть отнесена в область космической

фотограмметрии. Данная методика может быть рассмотрена как метод получения нового пространственного знания (Savinych, 2016).

Литература

Краснопецев, 2008 – Краснопецев Б.В. Фотограмметрия. Москва: МИИГАиК, 2008, 160 с.

Цветков, 1978 – Цветков В.Я. Определение кинематических характеристик движущихся тел при помощи одной фотокамеры / Реферативный сборник ОНТИ ЦНИИГАиК, 1978. 60: 10.

Цветков, 1979 – Цветков В.Я. Методика обработки снимков неправильной формы / В книге: Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. Новосибирск: СО АН СССР, ИГИГ, ВЦ СО АН СССР, 1979. С. 56-63.

Цветков, 2016 – Цветков В.Я. Определение пространственных координат с помощью одной камеры // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 4-3: 646-646.

Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.

Savinych, 2016 – Savinych V.P. On the Relation of the Concepts of Space Knowledge, Knowledge, Knowledge of the Spatial // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2016. 1(2): 23-32.

References

Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

Krasnopecev, 2008 – Krasnopecev, B.V. (2008). Fotogrammetriya [Photogrammetry]. Moskva: MIIGAiK, 160 p. [in Russian]

Savinych, 2016 – Savinych, V.P. (2016). On the Relation of the Concepts of Space Knowledge, Knowledge, Knowledge of the Spatial. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 1(2): 23-32.

Tsvetkov, 1978 – Tsvetkov, V.Ya. (1978). Opredelenie kinematischeskih harakteristik dvizhushchihsiya tel pri pomoshchi odnoj fotokamery [Determination of the kinematic characteristics of moving bodies using one camera]. *Referativnyj sbornik ONTI CNIIGAiK*. 60: 10. [in Russian]

Tsvetkov, 1979 – Tsvetkov, V.Ya. (1979). Metodika obrabotki snimkov nepravil'noj formy [Methods for processing images of irregular shapes] V knige Razvitie i ispol'zovanie aerokosmicheskikh metodov izucheniya prirodnyh yavlenij i resursov. Novosibirsk.: SO AN SSSR, IGIG, VC SO AN SSSR, pp. 56-63. [in Russian]

Tsvetkov, 2016 – Tsvetkov, V.Ya. (2016). Opredelenie prostranstvennyh koordinat s pomoshch'yu odnoj kamery [Determination of spatial coordinates using one camera]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 4-3: 646-646. [in Russian]

Определение пространственных координат с помощью одной камеры

Господинов Славейко Господинов ^{a,*}

^a Университет архитектуры, строительства и геодезии, София, Болгария

Аннотация. Статья предлагает методику определения координат точек поверхности планеты с помощью одной камеры. Методика состоит из двух частей. Первая часть описывает процесс съемки вращающегося тела с неподвижной камеры. Принцип относительности движения позволяет смоделировать эту ситуацию, как ситуацию перемещения камеры при неподвижном объекте. Эта идея используется при съемке

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: sgospodinov@mail.bg (Г.С. Господинов)

поверхности планеты с космического носителя или космического аппарата. Для этого случая вращение планеты и движение космического аппарата можно свести к одному относительному движению космического аппарата. Для решения задачи используют формулы связи между координатами снимка и точек местности, которые применяют в аэрофотосъемке. Специфика космической съемки позволяет упростить фотограмметрические зависимости и получить новые формулы связи координат снимка и местности. Проблемой становится нахождение угла наклона камеры из второй точки. Эта проблема решается баллистическим методом. Предлагается примерно на середине участка траектории между точками съемки измерить координат вспомогательной точку с помощью инерциальных устройств. Три точки дают возможность определить кривую движения космического аппарата и определить производные в точках съемки. По разнице углов производных в точках фотосъемки или разнице углов нормалей в этих точках определяется угол наклона камеры во второй точке съемки. В этом случае координаты точки на поверхности планеты могут быть найдены в условной системе координат, связанной с орбитой космического аппарата.

Ключевые слова: космические исследования, космическая геоинформатика, фотограмметрия, съемка поверхности планеты, траектория космического носителя, прямая засечка, вращающееся тело, специальные условия съемки.

Copyright © 2021 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2021. 7(1): 20-27

DOI: 10.13187/rjar.2021.1.20
www.ejournal28.com



The Gravitational Force Generated by an Interaction between Matter and the ZPF field in the Vacuum, and the Property of a Superfluid Vacuum

Takaaki Musha^{a, *}, Mario J. Pinheiro^b

^aAdvanced Sci.-Tech. Research Organization, Yokohama, Japan

^bInstituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

Abstract

Jordan-Mbeutchou proposed a model for Newtonian gravity by assuming that space is filled with an ether fluid. But the existence of ether (or aether) in space was denied by the experimental investigation. Contrary to their theory, a new model of gravitation is proposed based on the interaction between matter and the ZPF field in a vacuum. Puthoff proposed a gravitation mechanism that gravitational force is an induced effect associated with ZPF of the vacuum in much the same manner as the van der Waals and Casimir forces. But his theory was not accepted by the science community. Instead of his theory, we consider that space is filled with an electromagnetic fluid consisting of ZPF energy, which is a fluctuation of zero-point energy in the vacuum. From which, it is seen that gravitational force is created by an interaction between the matter and ZPF field in the vacuum. From this theory, the gravitational waves will be radiated as a longitudinal wave which is faster than the light speed. In this context, a toy model of a moving body (or a spacecraft) flowing across a superfluid vacuum presents the possibility to be accelerated beyond any limiting speed and disengaged from friction. This proposed model points to the potentiality to use concepts from a superfluid representation of the universe to devise a process of space propulsion distinct from the ones based on general relativity theory.

Keywords: gravity, ether, ZPF field, electromagnetic fluctuation, gravitational wave, superfluid.

1. Introduction

In 1926 Pascual Jordan ([Born et al., 1926](#)) published the first attempt to quantize the electromagnetic field. In a joint paper with Max Born and Werner Heisenberg, he considered the field inside a cavity as a superposition of quantum harmonic oscillators. In his calculation, he found that in addition to the "thermal energy" of the oscillators there also had to exist infinite zero-point energy term. He was able to obtain the same fluctuation formula that Einstein had obtained in 1909 ([Einstein, 1909](#)). However, Jordan did not think that his infinite zero-point energy term was "real", writing to Einstein that "it is just a quantity of the calculation having no direct physical meaning" ([Mehra, Rechenberg, 2002](#)). Jordan found a way to get rid of the infinite term, publishing a joint work with Pauli in 1928 ([Jordan, Pauli, 1928](#)), performing what has been called "the first infinite subtraction, or renormalization, in quantum field theory" ([Schweber, 1994](#)).

Building on the work of Heisenberg and others Paul Dirac's theory of emission and absorption ([Weinberg, 1977](#)) was the first application of the quantum theory of radiation. Dirac's

* Corresponding author

E-mail addresses: takaaki.mushya@gmail.com (T. Musha)

work was seen as crucially important to the emerging field of quantum mechanics; it dealt directly with the process in which "particles" are created: spontaneous emission (Yokoyama, Ujihara, 1995). Dirac described the quantization of the electromagnetic field as an ensemble of harmonic oscillators with the introduction of the concept of creation and annihilation operators of particles. The theory showed that spontaneous emission depends upon the zero-point energy fluctuations of the electromagnetic field to get started. In a process in which a photon is annihilated (absorbed), the photon can be thought of as making a transition into the vacuum state. As early as 1951, P.A.M. Dirac published two papers where he pointed out that we should take into account quantum fluctuations in the flow of the aether (Dirac, 1951, 1952). Inspired by the Dirac ideas, K.P. Sinha, C. Sivaram, and E.C.G. Sudarshan published in 1975 a series of papers that suggested a new model for the aether, in which it is a superfluid state of fermion and anti-fermion pairs, describable by a macroscopic wave function (Sinha et al., 1976; Sinha, Sudarshan, 1978). In their papers, they decided to treat the superfluid as a relativistic matter – by putting it into the stress-energy tensor of the Einstein field equations. This enables us to take an important step – allowing us to describe relativistic gravity as one of the small fluctuations of the superfluid vacuum as well. Based on their ideas, we consider the mechanism of gravitation based on the interaction between matter and the ZPF (zero-point fluctuations) field contrary to Einstein's general relativity theory which claims that the gravitation is due to the curvature of the space.

2. Results

Gravitation from the standpoint of the ZPF energy in the vacuum

Zero-point energy (ZPE) is the lowest possible energy that a quantum mechanical system may have. Unlike in classical mechanics, quantum systems constantly fluctuate in their lowest energy state as described by the Heisenberg uncertainty principle (i.e., the ZPF field). According to quantum field theory, the universe can be thought of not as isolated particles but as continuous fluctuating fields. Puthoff proposed a gravitation mechanism by an interaction between elementary particles and the ZPF field (Puthoff, 1989). He considered that gravitational force is an induced effect associated with ZPF of the vacuum in much the same manner as the van der Waals and Casimir forces.

Jordan-Mbeutchou proposed a model for Newtonian gravity by assuming space is filled with an ether (or aether) fluid (Jordan, Fleury, 2019). Jordan-Mbeutchou modeled gravity as an interaction between matter and ether fluid and assumed that matter can absorb ether fluid proportionally to its mass. This phenomenon can be described by

$$\rho_e \nabla \cdot \vec{v}_e = -\rho / \tau, \quad (1)$$

where ρ_e is a density of ether, \vec{v}_e is its velocity field, ρ is normal matter mass density and τ is a time constant.

Then the radial velocity of the ether which flows in a sphere with a radius r becomes

$$\vec{v}_e = -\frac{1}{4\pi\rho_e\tau} \frac{m(t)}{r^2} \vec{e}_r, \quad (2)$$

where \vec{e}_r is the radial unitary vector.

Hence the amount of the ether momentum which enter the sphere during the time dt is given by

$$\frac{d}{dt} \vec{p}_e = -\int_S \rho_e \vec{v}_e (\vec{v}_e \cdot \vec{n}) dS, \quad (3)$$

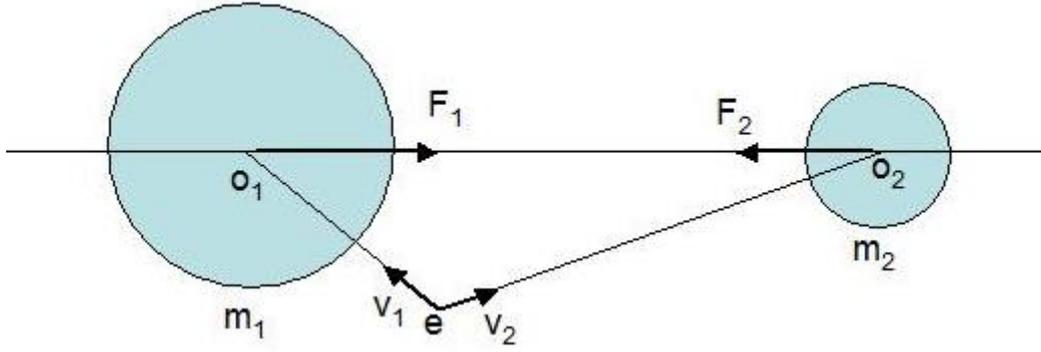


Fig. 1. Two rest masses undergo the force generated the flow of ether

From which, the ether flow is created by the mass m_1 and m_2 at the point o_1 can be estimated by

$$\frac{d}{dt} \vec{p}_e = -\lim_{r_1 \rightarrow 0} \int_S \rho_e (\vec{v}_1 + \vec{v}_2) [(\vec{v}_1 + \vec{v}_2) \cdot \vec{e}_1] dS, \quad (4)$$

where $\vec{e}_1 = \vec{o}_1 e / o_1 e$, and $o_1 e = r_1$.

If we let θ be the angle between \vec{e}_z and \vec{e}_1 , where \vec{e}_z is a vector connecting o_1 and o_2 , it can be obtained as

$$(\vec{v}_1 + \vec{v}_2) \cdot \vec{e}_1 = v_1(r_1) + v_2(r_2) \frac{r_1 - r \cos \theta}{\sqrt{r_1^2 + r^2 - 2r r_1 \cos \theta}}, \quad (5)$$

From which, by integrating the equation (4), the force between two masses can be shown to be

$$F = \frac{d}{dt} \vec{p}_e = \frac{4}{3} \frac{1}{4\pi\rho_e} \frac{m_1 m_2}{\tau^2} \frac{1}{r^2} \vec{e}_z, \quad (6)$$

Thus Jordan-Mbeutchou obtained the Newtonian law of the gravitation from the ether model as

$$F_1 = -F_2 = -\frac{G m_1 m_2}{r^2}, \quad (7)$$

where $G = \frac{1}{3\pi\rho_e \tau^2}$

Contrary to the Puthoff model of gravitation, we consider the gravity mechanism based on the Jordan-Mbeutchou model.

We assume that virtual particles (most of them are virtual photons) created from the ZPF field in a vacuum push matter, then the momentum flux density of virtual particles can be shown as

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\rho / \tau_0, \quad (8)$$

where $J = \rho_E / c$ (ρ_E : energy density of the ZPF energy), ρ is a mass density and τ_0 is a retardation time. For the ZPF field, we have like the equation (4) as

$$\frac{d}{dt} \vec{P} = -\lim_{r_1 \rightarrow 0} \int_S (\vec{p}_1 + \vec{p}_2) [(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) \cdot \vec{e}_1] / \rho_m \cdot dS, \quad (9)$$

where ρ_m is an equivalent mass density of the ZPF field.

As we can write $\vec{p} = \hbar \vec{\omega} / c$ and $\rho_m = \hbar \omega / c^2$, the amount of momentum created by the ZPF field can be shown as

$$\frac{d}{dt} \vec{P} = -\lim_{r_1 \rightarrow 0} \int_S \frac{\hbar}{c} (\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2) \frac{c^2}{\hbar \omega} \left[\left(\frac{\hbar \vec{\omega}_1}{c} + \frac{\hbar \vec{\omega}_2}{c} \right) \cdot \vec{e}_1 \right] dS$$

$$= \lim_{r_1 \rightarrow 0} \int_S \frac{\hbar \omega}{c^2} (c \vec{\omega}_1 / \omega + c \vec{\omega}_2 / \omega) [(c \frac{\vec{\omega}_1}{\omega} + c \frac{\vec{\omega}_2}{\omega}) \cdot \vec{e}_1] dS, \quad (10)$$

where $\vec{\omega}_1$ and $\vec{\omega}_2$ are vectors of the radial frequency of the ZPF field at the point e. This equation is equivalent to the equation (4), when we let $c \vec{\omega}_1 / \omega \rightarrow v_1$ and $c \vec{\omega}_2 / \omega \rightarrow v_2$. Then the force at the point o_1 becomes like the equation. (6) shown as

$$F = \frac{d}{dt} P = \frac{4}{3} \frac{1}{4\pi\rho_m} \frac{m_1 m_2}{\tau_0^2} \frac{1}{r^2} \vec{e}_z = \frac{1}{3} \frac{c^2}{\pi \hbar \omega \tau_0^2} \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{e}_z, \quad (11)$$

where a gravitational constant given by $G = \frac{1}{3} \frac{c^2}{\pi \hbar \omega \tau_0^2}$

If we let ω equals to the Plank frequency given by $\omega = \omega_p = 1,855 \times 10^{43} (Hz)$, the retardation time can be estimated as $\tau_0 = 2.7 \times 10^8 (sec)$. As the age of the universe can be estimated by $t_H \approx 4.65 \times 10^{17} (sec)$, then the value of t_H is very close to τ_0^2 , which suggests that the gravitational constant varies with time as claimed by the large number hypothesis.

The equation (11) shows that the gravitational force can be generated by an interaction between matter and the ZPF field in a vacuum. According to this equation, the Newtonian gravitational law can be obtained without ether flow in the vacuum. Hence it is considered that the gravity is an electromagnetic phenomenon induced by the ZPF field in the vacuum and it is not due to the curvature of space as claimed by Einstein.

Gravitational wave propagated as a longitudinal wave

According to the general relativity theory, the gravitational wave can be described by the fundamental equation (Hakim, 1999);

$$h_{\mu\nu} = 16\pi G T_{\mu\nu}, \quad (12)$$

where $T_{\mu\nu}$ is an energy-momentum tensor.

Its retarded solution can be given by

$$h_{\mu\nu}(t, r) \approx \frac{4G}{r} \int d^3 x' T_{\mu\nu}(t - r/c, x'), \quad (13)$$

where r is the distance from the origin.

However, from the standpoint that gravity is induced by an interaction between matter and the ZPF field in the vacuum, gravity wave can be generated by the fluctuation of the electromagnetic field in a ZPF vacuum, and it is radiated as a longitudinal wave into space as a fluctuation of the electric field of virtual particles shown as

$$\varphi(y, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int d^3 x \frac{\rho_0(x, t - r_{xy}/v_l)}{r_{xy}}, \quad (14)$$

where $\varphi(y, t)$ is a scalar potential of the longitudinal wave at the observation point, ρ_0 is the fluctuation of charge in a ZPF vacuum as shown in Figure 2, r_{xy} is a distance from the origin, and v_l is the speed of the longitudinal wave, which may be faster than the light speed.

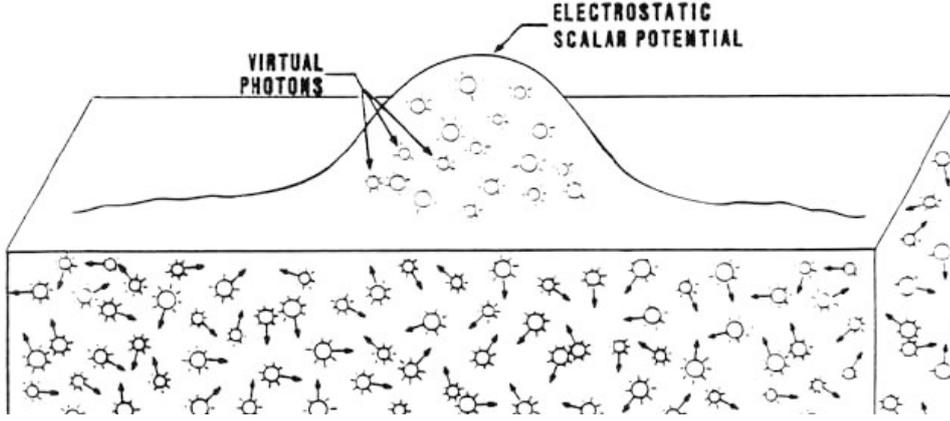


Fig. 2. Gravitational wave generation by ZPF vacuum filled with virtual particles

From this model, gravitational wave can be detected as a fluctuation of electric field in a vacuum.

Material body moving through vacuum superfluid

An alternative theory to the General Theory of Relativity is the Superfluid Vacuum Theory which conceives vacuum as a superfluid performing in some regards to ^3He and in some ways a reminiscence of the old aether. We follow the theory developed by Grigory E. Volovik (Volovik, 2003). We shall consider the system aether + matter satisfying the continuity equation

$$m \frac{\partial n}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{P} = 0 \quad (15)$$

with

$$\vec{P} = mn\vec{v}_s + \vec{P}^M \quad (16)$$

and

$$\vec{P}^M = \int \frac{d^3 p}{(2\pi\hbar)^3} f(\vec{r}, p) \vec{p}. \quad (17)$$

The two-fluid hydrodynamics contains the superfluid vacuum and a normal component, $n = n_n + n_s$. The balance equation.(15) can be written in this context as

$$\frac{\partial n_s}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J}_s + \vec{\nabla} \cdot \vec{J}_n = -\frac{\partial n_n}{\partial t} \quad (18)$$

Here, $\vec{J} = \frac{\vec{P}}{m} = n\vec{v}_s + \frac{\vec{P}^M}{m} = \vec{J}_s + \vec{J}_n$. The term $\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_s$ represents the flux of superfluid vacuum

entering the material body (or a spacecraft) with boundary $\partial\Omega$. We will assume $\vec{\nabla} \cdot \vec{J}_n = 0$, meaning that there is no matter going out of volume Ω or equivalently, that the amount of matter that leaves Ω equals the amount create inside it, joining an assumption made by Jordan-Mbeutchou' paper (Jordan, Fleury, 2019).

We shall now consider the limit when the counterflow velocity $\vec{w} = \vec{v}_n - \vec{v}_s$ is small. In this situation we may write

$$P_i^M = mn_{nik} w_k = mn_{nik} (v_{nk} - v_{sk}) \quad (19)$$

with n_{nik} representing the normal density tensor defined by

$$n_{nik} = -\sum_p \frac{p_i p_k}{m} \frac{\partial f}{\partial E} \quad (20)$$

where the distribution function is

$$f_{\tau}(\vec{p}, \vec{r}) = \left[\exp \left(\frac{\tilde{E}(\vec{p}, \vec{r}) - \vec{p} \cdot \vec{v}_n(\vec{r})}{k_B T(\vec{r})} \pm 1 \right) \right]^{-1} \quad (21)$$

With $\vec{v}_n(\vec{r})$ denotes the quasiparticle gas velocity and, as usual, the sign (+) is for fermionic quasiparticles in Fermi superfluid, and the sign (−) is for bosonic quasiparticles in Bose superfluid. We could introduce an additional Chern-Simon term into Eq. (19) featuring the effect of spin-orbitronics on the boundary of the moving body forming chiral textures but we will postpone for future work (Dongwook et al., 2017).

The momentum equation now should be written under the form

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\Omega} mn v_{si} dv - \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\Omega} m \sum_{\mathbf{p}} \frac{p_i p_k}{m} \frac{\partial f_{\tau}}{\partial \tilde{E}} (v_{nk} - v_{sk}) dv = \iint_{\partial\Omega} \left(m \sum_{\mathbf{p}} \frac{p_i p_k}{m} \frac{\partial f_{\tau}}{\partial \tilde{E}} \cdot \vec{n} \right) dS \\ - \iint_{\partial\Omega} mn (\vec{v}_s \cdot \vec{n}) dS \end{aligned} \quad (22)$$

where Eq. (16) acquires a tensorial character due to Eq. (19) is oriented (to the exterior of the surface) normal tensor. Presently, we necessitate to figure out what would be the total quasiparticles energy created on the surface of the moving body due to its motion along with the physical super vacuum, and, needless to say, due to the extreme complexity, we simply can propose at this stage a toy-model. According to Ref. (Lambert, 1992), a candidate for the energy spectrum, describing so far a qualitative assessment, considering a flow parallel to the z-axis in a pipe, is provided by:

$$\tilde{E}_n = \alpha k_z (v_n - v_s) + \frac{2|k_z|}{L_z} \left[\pi n + \arctg \left(\frac{[\Delta_{\infty}^2 - (E - k_z v)^2]^{1/2}}{E - k_z v} \right) \right]. \quad (23)$$

Here, Δ_{∞} is the bulk energy gap, the parameter α , characterizing the backflow around an arbitrary object, has a value about 2, E is the energy of a quasiparticle for a wave vector \vec{k} , n is an integer ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) and L_z might be identified with the body (or a spacecraft), length, and $v(\vec{r})$ is the local, position dependent superfluid velocity. Observe that in Eq. (22) the first term on in the LHS and the last of the RHS are the ones examined in Ref. (Jordan, Fleury, 2019). We may solve Eq. (22) in the limit of a high rate of quasiparticles emission in which case the last term of Eq. (23) may be discarded leading to an estimation of the surface integral present on the RHS to be of the order of

$$\iint \sum p_i p_k \frac{\partial f_{\tau}}{\partial \tilde{E}} \cdot \vec{n} dS \approx \frac{192 \hbar^5 L_z^3}{\alpha^5} (v_n - v_s)^{-5} \quad (24)$$

We then obtain the differential equation for the variable $w = v_n - v_s$:

$$\frac{\partial w_z}{\partial t} + a w_z - \frac{b}{x^2} + \frac{c}{w_z^5} = 0 \quad (25)$$

Eq. (25) governs the speed and acceleration of a moving body (or a spacecraft) cruising across a superfluid vacuum and it can hold unusual solutions. We had assumed a potential nearby the moving body decreasing as $1/x^2$ perpendicularly to the walls of the moving body.

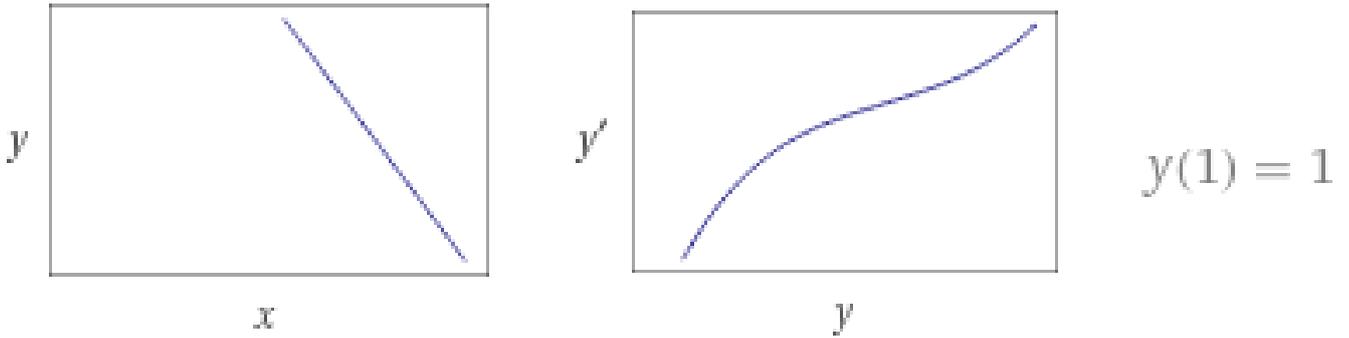


Fig. 3. Numerical solutions for the Eq. (25) with specific parameters ($a = 2, b = 1, c = 0.07$). Left: speed vs. distance from the boundary of the moving body; Right: acceleration vs. speed of the spacecraft crossing the super-vacuum.

Figure 3 reveals the numerical solution for the parameters attesting that with a particular design, the moving body can notice an increasing acceleration when a threshold speed is achieved as it is clear in Figure 3b.

Figure 4 displays the region $x > 0$ to the right of the moving body, racing along the Oz axis, exposing a laminar flow across the boundary. Interestingly, it was recently found that there is no speed limit for an object moving in a superfluid and the reason for the absence of the speed limit is that exotic particles that stick to all surfaces in the superfluid (Auti et al., 2020).

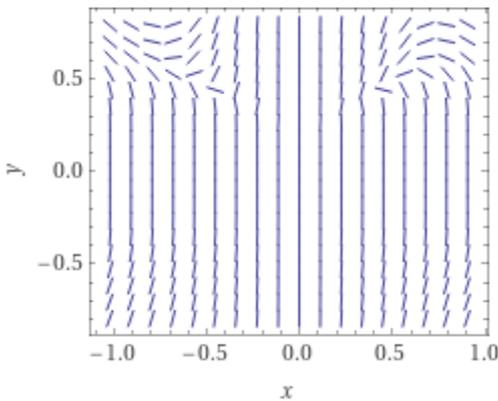


Fig. 4. To the right side of the graphic, it is the region around the moving body showing a recirculation of the quasiparticles fluid in the super-vacuum space but notice that the region near the surface shows no perturbation in the flow

The proposed toy model points to the potentiality to use concepts from a superfluid representation of the universe to devise a process of space propulsion distinct from the ones based on general relativity theory.

3. Discussion

One difficulty in general relativity theory is known as the equivalent paradox. A uniformly accelerated charge is recognized to radiate electromagnetic radiation. However, a charged particle suspended at rest in a uniform gravitational field does not emit radiation. According to general relativity, a uniformly accelerating system in a free space should be equivalent to one at rest in a uniform gravitational field. Hence, in this case, the principle of equivalence seems to be violated.

This problem has been discussed at the classical level without adequate resolution (Boulware, 1980; del Almeda, Saa, 2005). However, the gravity is not due to the curvature of space, but due to the interaction between matter and the ZPF field, this contradiction can be solved.

4. Conclusion

In this article, the gravity mechanism by an interaction between matter and the ZPF field in the vacuum is discussed. According to the Jordan and Mbeutchou model, it becomes clear that the

gravity mechanism can be explained by an interaction between matter and the ZPF field.

From this conclusion, gravitation is not a force to pull but a push from the ZPF field in the vacuum contrary to Einstein's curvature of space. From this standpoint, gravitational waves propagate as longitudinal waves in the vacuum which may be faster than the light speed.

Based on the theory of super-fluid of space, it was found that there is no speed limit for an object moving in a superfluid contrary to Einstein's relativity theory.

References

- Autti et al., 2020** – Autti, S., Ahlstrom, S.L., Haley, R.P., Jennings, A., Pickett, G.R., Poole, M., Schanen, R., Soldatov, A.A., Tsepelin, V., Vonka, J., Wilcox, T., Woods, A.J., Zmeev, D.E. (2020). Fundamental dissipation due to bound fermions in the zero-temperature limit. *Nature Communications*. 11(1). DOI: 10.1038/s41467-020-18499-1
- Boulware, 1980** – Boulware, D.G. (1980). Radiation from a Uniformly accelerated Charge. *Annals of Physics*. 124: 169-188.
- Born et al., 1926** – Born, M., Heisenberg, W., Jordan, P. (1926). Zur Quantenmechanik [To quantum mechanics]. II". *Zeitschrift für Physik*. 35(8): 557-615. [in German]
- Dongwook et al., 2017** – Dongwook, G. et al. (2017). Scientific Reports 7, Article number: 46742.
- del Almeda, Saa, 2005** – del Almeda, C., Saa, A. (2005). The radiation of a uniformly accelerated charge is beyond the horizon: A simple derivation, arXiv: physics/0506049v5,2
- Dirac, 1951** – Dirac, P.A.M. (1951). Is there an Aether? *Nature*. 168: 906-907.
- Dirac, 1952** – Dirac, P.A.M. (1952). Is there an Aether? *Nature*. 169: 702.
- Einstein, 1909** – Einstein, E. (1909). Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems [On the current state of the radiation problem]. *Phys. Z.* 10: 185-193. [in German]
- Hakim, 1999** – Hakim, R. (1999). An Introduction to Relativistic gravitation, Cambridge University Press.
- Jordan, Pauli, 1928** – Jordan, P., Pauli, W. (1928). Zur Quantenelektrodynamik ladungsfreier Felder [On the quantum electrodynamics of charge-free fields]. *Zeitschrift für Physik*. 47(3): 151-173. [in German]
- Jordan, Fleury, 2019** – Jordan N., Fleury, P. (2019). Analogies between Gravity and Fluid Dynamics. African Institute for Mathematical Sciences (AIMS): 1-23. [Electronic resource]. URL: <https://researchgate.net/publication/334721090>.
- Lambert, 1992** – Lambert, C.J. (1992). *Physica B*. 178: 294-303.
- Mehra, Rechenberg, 2002** – Mehra, J., Rechenberg, H. (2002). The Historical Development of Quantum Theory. Vol. 6. Springer: 57.
- Puthoff, 1989** – Puthoff, H.E. (1989). Gravity as a zero-point-fluctuation force. *Physical Review A*. 39(5): 2333-2342.
- Schweber, 1994** – Schweber, S.S. (1994). QED and the Men Who Made It: Dyson, Feynman, Schwinger and Tomonaga. Princeton University Press: 108-112.
- Sinha et al., 1976** – Sinha, K.P., Sivaram, C., Sudarshan, E.C.G. (1976). Aether as a superfluid state of particle-antiparticle pairs. *Found. Phys.* 6(1): 65-70.
- Sinha et al., 1976** – Sinha, K.P., Sivaram, C., Sudarshan, E.C.G. (1976). The superfluid vacuum state, time-varying cosmological constant, and nonsingular cosmological models. *Found. Phys.* 6(6): 717-726.
- Sinha, Sudarshan, 1978** – Sinha, K.P., Sudarshan, E.C.G. (1978). The superfluid as a source of all interactions. *Found. Phys.* 8: 823-831.
- Volovik, 2003** – Volovik, G.E. (2003). The Universe in a Helium Droplet, Clarendon Press, Oxford.
- Weinberg, 1997** – Weinberg, S. (1977). The Search for Unity: Notes for a History of Quantum Field Theory. *Daedalus*. 106 (4): 17-35.
- Yokoyama, Ujihara, 1995** – Yokoyama, H., Ujihara, K. (1995). Spontaneous emission and laser oscillation in microcavities. Boca Raton: CRC Press: 6.

Copyright © 2021 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2021. 7(1): 28-34

DOI: 10.13187/rjar.2021.1.28
www.ejournal28.com



Determination of the Linear Parameters of the Planet by Measuring the Angular Diameter

Viktor P. Savinych ^{a, b, *}

^a Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russian Federation

^b Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky (RACT), Russian Federation

Abstract

The article proposes a technique for determining the linear diameter of a planet by measuring the angular diameters of the planet. Ballistic characteristics of spacecraft motion and phase angle change are used as additional characteristics. The article reflects the general problem of astronomy, space geoinformatics and geodetic astronomy – the determination of linear characteristics through angular measurements. It is recommended to use the concept and model of the information situation in private observations of space bodies. The article offers two options for determining the planet's diameter by angular measurements. The first option is called normal. It describes the situation of a spacecraft moving along a straight line connecting the observation point with the center of the planet. He describes the situation of displacement of the comic apparatus only vertically. The second option for determining the diameter of the planet is called oblique. He describes the situation of displacement of the comic apparatus vertically and horizontally relative to the center of the planet. To solve the problem in the second case, it is recommended to use a change in the phase angle.

Keywords: space research, phase angle, instrumental observations, angular measurements, planet angular diameter, planet linear diameter, normal measurements, oblique measurements, survey basis.

1. Введение

Основным методом наблюдений и измерений в космическом пространстве являются угловые измерения. Соответственно, ряд линейных характеристик становятся угловыми. К таким характеристикам относят угловой диаметр планеты. Угловым диаметром планеты называют угол, под которым наблюдается диаметр планеты из произвольной точки наблюдения (Shingareva, Krasnopevtseva, 2011; Mahoney, 2014). Угловой диаметр планеты есть условная величина. Он меняется в зависимости от приближения или удаления космического аппарата (КА) к поверхности планеты, с которого производят наблюдение или фотосъемку. На практике важны фактические, то есть линейные размеры небесного тела, в частности планет. Большинство планет имеют шарообразную форму. Это условие используется в предлагаемой методике. Космические визуально—инструментальные наблюдения основаны на угловых измерениях и одной из задач космических исследований является преобразование угловых измерений в линейные. В данном варианте предполагаем, что наблюдения осуществляют с применением фотосъемки и фотоснимков, которая

* Corresponding author

E-mail addresses: president@miigaik.ru (V.P. Savinych)

позволяет объективно измерять угловые характеристики. Угловой диаметр планеты можно наблюдать только с относительно близких расстояний. Критерием его наблюдения является критерий из геоинформатики (Савиных, Цветков, 2001), когда точечный объект становится ареальным и приобретает форму. Отсюда возникает целесообразность применения понятия и модели информационная ситуация (Tsvetkov, 2012) в космических исследованиях. Информационная ситуация определяет морфологию объекта и условия применения методик его измерения.

2. Результаты

Нормальный случай приближения к планете

На Рисунках 1 и 2 приведены варианты приближения космического аппарата (КА), с которого производится съемка, к поверхности планеты. Будем использовать понятие информационная ситуация для описания этих вариантов.

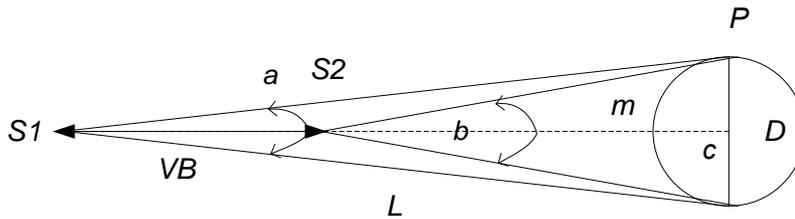


Рис. 1. Синхронная нормальная ситуация приближения к планете

На Рисунке 1 показана точка наблюдения (фотографирования) с борта космического аппарата. Планета (P) имеет линейный диаметр (D), который виден под углом (a) из точки наблюдения до центра планеты из точки наблюдения существует расстояние (L), которое неизвестно. Космический аппарат или точка наблюдения приближается к планете по прямой, соединяющей точку наблюдения (S1) с центром планеты (c) и некой точкой (m), лежащей на поверхности планеты. Нормальная ситуация имеет такое название в силу того, что приближение КА происходит по прямой (S1-c) на которой лежит еще точка (m). Именно наличие точки поверхности (m) на линии сближения КА с планетой определяет синхронность ситуации. В реальности это означает, что КА приближаясь к планете синхронно вращается с этой планетой. Формально такое движение в пространстве есть движение по спирали, но для относительных расчетов это угловое движение роли не играет. Выделяют две точки наблюдения или фотофиксации (S1, S2). Расстояние между точками наблюдения (вертикальный базис VB) измеряют с помощью инерциальных устройств или с помощью простого расчета, зная скорость движения КА по отношению к планете и время между точками наблюдения. В первой точке наблюдения (S1) угловой диаметр равен (a), во второй точке наблюдения (S2) угловой диаметр равен (b). На Рисунке 2 показана асинхронность ситуации.

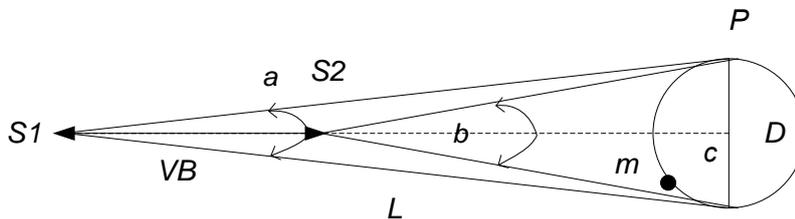


Рис. 2. Асинхронная нормальная ситуация приближения к планете

Асинхронность ситуации на Рисунке 2 состоит в том, в этом случае точка поверхности (m) уходит с прямой (S1-S2-c) за время движения космического аппарата между точками (S1, S2). Физически это означает, что КА, приближаясь к планете, не вращается с этой планетой синхронно. Формально это также движение по другой спирали, но для геометрических расчетов это движение роли не играет.

Рассмотрим расчеты для ситуации на [Рисунке 1](#). Несложные геометрические построения показывают, что

$$L \operatorname{tg} (a/2) = D/2 \quad (1)$$

$$(L-VB) \operatorname{tg} (b/2) = D/2 \quad (2)$$

Это дает основание вычислить сначала расстояние до центра планеты.

$$L = \frac{VB \operatorname{tg} b/2}{\operatorname{tg} b/2 - \operatorname{tg} a/2} \quad (3)$$

Затем на основе этого расстояния можно вычислить линейный диаметр планеты

$$D = \frac{2 VB \operatorname{tg} b/2 \operatorname{tg} a/2}{\operatorname{tg} b/2 - \operatorname{tg} a/2} \quad (4)$$

В формулы (3) (4) входят величины, измеряемые с борта КА: вертикальный базис и два угловых диаметра. В процессе приближения КА к планете, количество точек съемки может быть больше двух. Это дает возможность более точно рассчитывать диаметр планеты по серии наблюдений. Следует отметить, что всегда $b > a$.

Использование фазового угла при контроле движения.

Фазовым углом (Phase angle) называют угол в тринитарной системе «звезда – объект – наблюдатель» или в системе «Солнце-объект-наблюдатель». Это угол определяют как угол между падающим и отражённым от объекта светом ([Рисунок 3](#)), получаемым наблюдателем ([Shingareva, Krasnopevtseva, 2011; Mahoney, 2014](#)). В рамках астрономических наблюдений с Земли он обычно является углом в системе «Солнце-объект-наблюдатель» ([Рисунок 3](#)).

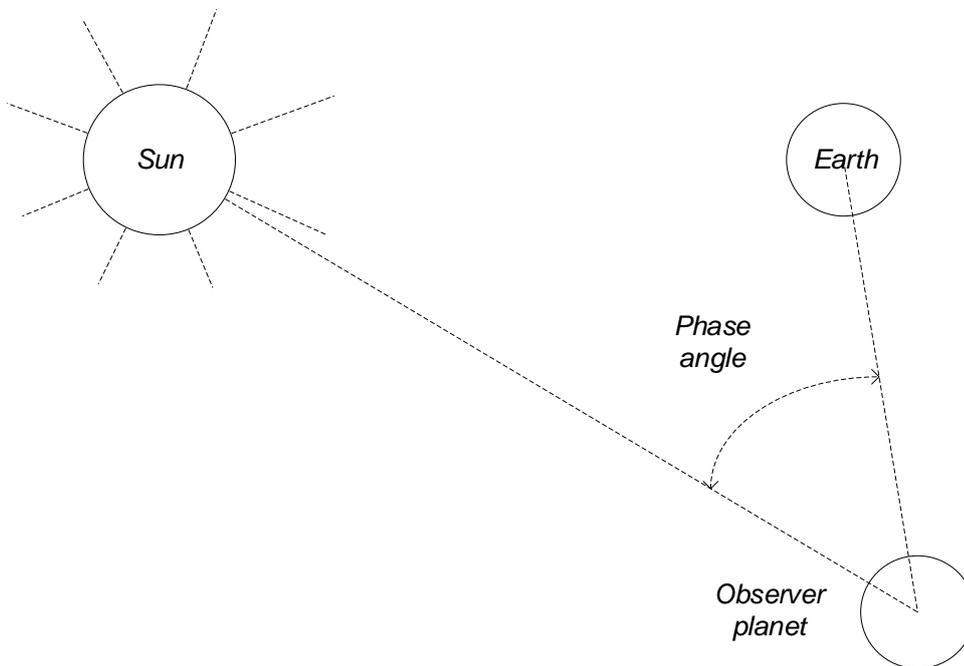


Рис. 3. Фазовый угол в системе «Солнце-объект-Земля»

Название угла формально связано с фазой планеты, поскольку яркость объекта и доля видимой освещённой поверхности является функцией фазового угла. Однако в навигационном значении это относительный угол позволяет ориентировать КА или наблюдателя независимо от планеты по твердым точкам пространства.

Фазовый угол может меняться от 0° до 180° . Значение 0° соответствует ситуации, для которой освещающий объект, наблюдатель и объект наблюдения находятся на прямой с одной стороны от наблюдаемого объекта. Эту ситуацию называют противостоянием. Значение 180° соответствует ситуации, при которой наблюдаемый объект находится между освещающим объектом и наблюдателем. Для объектов, таких как Луна, Венера и Меркурий, фазовый угол при наблюдении с Земли может принимать любые значения в интервале $0-180^\circ$. У верхних планет интервал значений фазовых углов более узкий.

Для нашей методики расчета диаметра, отраженной в выражения (3) (4), фазовый угол является дополнительным условием. Если при движении КА к планете его фазовый угол (Рисунок 3) не меняется, то такая космическая съемка или наблюдение считаются нормальной.

Наклонный случай приближения к планете

Для вычисления диаметра планеты при наклонном приближении используем фазовый угол. Эта ситуация приведена на Рисунок 4. В этом случае движение КА отличается от прямой «точка наблюдения центр планеты».

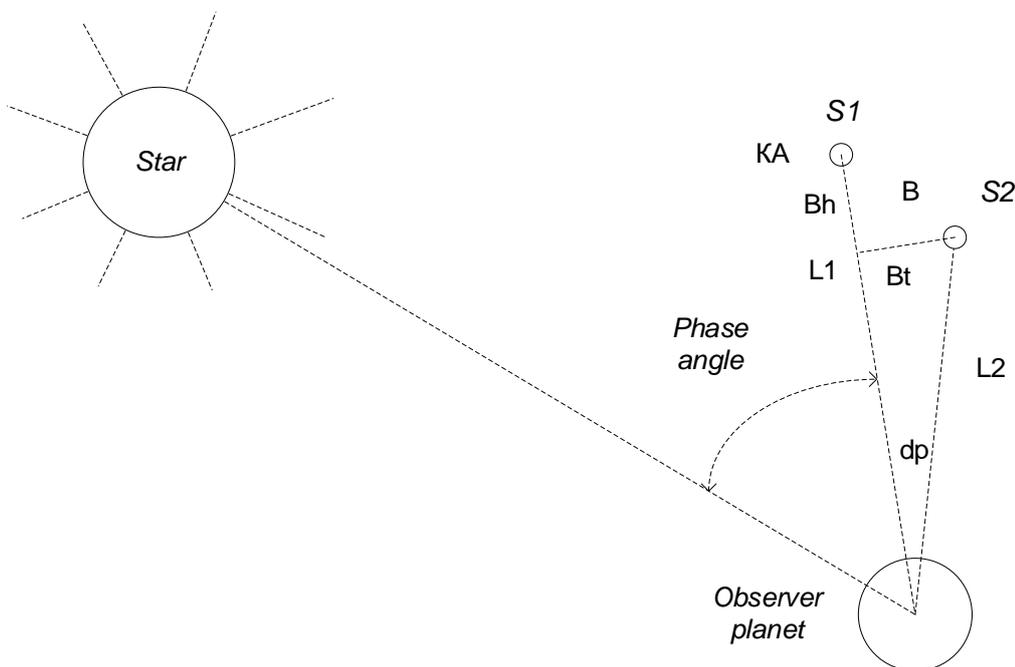


Рис. 4. Использование изменения фазового угла для расчета диаметра.

Рисунок 4 описывает следующую информационную ситуацию. Космический аппарат (КА) производит наблюдение (фотографирование) в первой точке наблюдения, затем перемещается во вторую точку наблюдения. В каждой точке наблюдения измеряют угловой диаметр. А расстояние между точками наблюдения определяют либо с помощью инерциальных устройств, либо с помощью измерения времени и скорости перемещения между точками.

На Рисунок 4. имеют место следующие обозначения. КА – космический аппарат. S1 – первая точки наблюдения, S2 – вторая точка наблюдения. L1 – расстояние от первой точки наблюдения до центра планеты. L2 – расстояние от второй точки наблюдения до центра планеты, dp изменение фазового угла, B – базис, определяемы с помощью инерциальных устройств или расстояние между точками S1, S2, Bh – радиальная компонента базиса, Bt тангенциальная компонента базиса, D – линейный диаметр планеты, a – угловой диаметр планеты из первой точки наблюдения, b – угловой диаметр планеты из второй точки наблюдения

Используем следующие базовые геометрические построения. Между расстоянием из первой точки наблюдения и диаметром планеты существует зависимость

$$L1 \operatorname{tg} (a/2) = D \quad (5)$$

Между расстоянием из второй точки наблюдения и диаметром планеты существует другая зависимость

$$L_2 \operatorname{tg}(b/2) = D \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) дают возможность найти пропорциональное отношение между отрезками L_2 , L_1 .

$$L_2 = L_1 \operatorname{tg}(a/2) / \operatorname{tg}(b/2) = L_1 k, \quad k < 1 \quad (7).$$

Или $L_1 = L_2 / k$

Изменение фазового угла дает возможность найти тангенциальную составляющую базиса B_t .

$$B_t = L_2 \operatorname{tg}(dp) \quad (8)$$

Базис связан со своими компонентами с помощью выражения

$$B^2 = B_h^2 + B_t^2 \quad (9)$$

Радиальная составляющая базиса, связана с расстояниями от точек наблюдения до центра планеты следующим образом.

$$L_2 = L_1 - B_h \quad (10)$$

Или

$$B_h = L_1 - L_2 \quad (11)$$

Подставим в выражение (11) выражение (7) и получим

$$B_h = L_2(1-k)/k; \quad k < 1 \quad (12)$$

Подставим в выражение (9) значение B_t из выражения (8) и получим

$$B_h^2 = B^2 - L_2^2 \operatorname{tg}^2(dp) \quad (13)$$

Преобразуем правую сторону выражения (13) из выражения (12) и получим

$$L_2^2(1-k)^2/k^2 = B^2 - L_2^2 \operatorname{tg}^2(dp) \quad (14)$$

Выражение (14) можно разрешить относительно L_2

$$L_2 = B k / [(1-k)^2 + k^2 \operatorname{tg}^2(dp)]^{1/2} \quad (15)$$

Выражение (15) позволяет по угловым измерениям диаметра планеты из двух точек, по величине базиса и по изменению фазового угла определить расстояние из второй точки наблюдения до центра планеты. В отличие от нормального случая приближения к планете в данной методике в качестве дополнительной информации используется изменение фазового угла.

Линейный диаметр планеты определяется по формуле.

$$D = \operatorname{tg}(b/2) B k / [(1-k)^2 + k^2 \operatorname{tg}^2(dp)]^{1/2} \quad (16)$$

Таким образом, при возможности использования фазового угла можно определить реальный линейный диаметр планеты при любом приближении к планете. Эта методика позволяет также определять точку надира на поверхности планеты по отношению к точке наблюдения.

3. Заключение

Рассмотренные методы относятся к области космической геоинформатики (Bondur, Tsvetkov, 2015) и геодезической астрономии (Gospodinov, 2018) и пространственной логики. Они основаны на пространственных угловых измерениях и линейных баллистических измерениях при движении КА. Общая концепция данной методики строится на том, что в космических исследованиях угловые измерения являются основой измерительных и вычислительных процедур. Угловые измерения во многих случаях являются единственным средством наблюдения в космическом пространстве. Добавление к ним линейных характеристик движения КА позволяет получать линейные характеристики планет и иных небесных тел. При этом в этих наблюдениях и измерениях обязательно присутствует когнитивный фактор (Tsvetkov, 2015) при выборе граничных точек или исключений ореола вокруг планеты. Кроме этого целесообразно использование методов пространственной логики (Kudzh, Tsvetkov, 2020) Следует отметить, что для анализа измерительных ситуаций в космическом пространстве целесообразно применение модели информационной ситуации.

Литература

- Савиных, Цветков, 2001 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. Москва, Картоцентр-Геодезиздат, 2001, 224 с.
- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.
- Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic concepts. *Revista inclusions*. 2020. 7. Número Especial. Julio – Septiembre: 837-849.
- Mahoney, 2014 – Mahoney T.J. Glossary of Terms Used. In Mercury (pp. 27-45). Springer, New York, NY, 2014.
- Shingareva, Krasnopevtseva, 2011 – Shingareva K., Krasnopevtseva B. (2011). A new version of the multilingual glossary of planetary cartography. *Advances in Cartography and GIScience*. Volume 2 (pp. 289-295). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tsvetkov, 2012 – Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // *European researcher*. 2012. 12-1(36): 2166-2170.
- Tsvetkov, 2015 – Tsvetkov V.Ya. The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 149-158.

References

- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33.
- Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh, S.A., Tsvetkov, V.Ya. (2020). Spatial logic concepts. *Revista inclusions*. 7. Número Especial. Julio – Septiembre: 837-849.
- Mahoney, 2014 – Mahoney, T.J. (2014). Glossary of Terms Used. Mercury (pp. 27-45). Springer, New York, NY.
- Savinykh, Tsvetkov, 2001 – Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2001). Geoinformatsionnyi analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. Moskva, Kartotsentr-Geodezizdat, 224 p. [in Russian]
- Shingareva, Krasnopevtseva, 2011 – Shingareva, K., Krasnopevtseva, B. (2011). A new version of the multilingual glossary of planetary cartography. *Advances in Cartography and GIScience*. 2: pp. 289-295. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tsvetkov, 2012 – Tsvetkov, V.Ya. (2012). Information Situation and Information Position as a Management Tool. *European researcher*. 12-1(36): 2166-2170.
- Tsvetkov, 2015 – Tsvetkov, V.Ya. (2015). The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 149-158.

Определение линейных параметров планеты по измерению углового диаметра

Виктор Петрович Савиных ^{a, b, *}

^a Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ), Российская Федерация

^b Московский государственный университет геодезии и картографии, Российская Федерация

Аннотация. Статья предлагает методику определения линейного диаметра планеты по измерениям угловых диаметров планеты. В качестве дополнительных характеристик используют баллистические характеристики движения космического аппарата и изменение фазового угла. Статья отражает общую проблему астрономии, космической геоинформатики и геодезической астрономии – определение линейных характеристик через угловые измерения. Рекомендовано использовать понятие и модель информационной ситуации при частных наблюдениях космических тел. Статья предлагает два варианта определения диаметра планеты по угловым измерениям. Первый вариант называется нормальным. Он описывает ситуацию движения космического аппарата по прямой, соединяющей точку наблюдения с центром планеты. Он описывает ситуацию смещения космического аппарата только по вертикали. Второй вариант определения диаметра планеты называется наклонным. Он описывает ситуацию смещения космического аппарата по вертикали и горизонтали относительно центра планеты. Для решения задачи во втором случае рекомендовано использовать изменение фазового угла.

Ключевые слова: космические исследования, фазовый угол, инструментальные наблюдения, угловые измерения, угловой диаметр планеты, линейный диаметр планеты, нормальные измерения, наклонные измерения, базис съемки.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: president@miigaik.ru (В.П. Савиных)

Copyright © 2021 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2021. 7(1): 35-42

DOI: 10.13187/tjar.2021.1.35
www.ejournal28.com



Angular Measurements in Space Geoinformatics

Viktor Ya. Tsvetkov^{a,*}

^a Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article explores the application of angular measurements in space geoinformatics. The difference between space geoinformatics and terrestrial geoinformatics is shown. The difference between terrestrial geodata and space geodata is shown. Space geoinformatics uses angular measurements more often than terrestrial geoinformatics. The article introduces the concept of the angular diameter of a planet. The relationship between the angular diameter of the planet and the linear diameter of the planet is shown. The article provides visual examples of the angular diameters for the Earth and the Moon at different distances. The calculation of the linear diameter of the planet with a correction for the radius of the planet from altimetric measurements of the planet's surface is presented. The article gives a method for determining the distance to the planet's surface by angular measurements using the trigonometric parallax method.

Keywords: space research, space geoinformatics, linear measurements, angular measurements, angular diameter of a planet, linear diameter of a planet, trigonometric parallax, altimetric measurements.

1. Введение

В настоящее время науки о Земле расширяют свое влияние на космическое пространство. Существует космическая геодезия (Jin et al., 2013), существует геодезическая астрономия (Gospodinov, 2018), существует космическая геоинформатика (Bondur, Tsvetkov, 2015; Савиных, 2016) планетология и сравнительная планетология являются основой изучения поверхностей планет. Космическая геоинформатика полноправно ведет себя в околоземном пространстве (Barmin et al., 2014). При использовании космических снимков поверхностей планет используют проверенные методы геодезии и фотограмметрии, которые также применяют в космической геоинформатике с ориентацией на космическое пространство.

Космическая геоинформатика имеет ряд отличий от земной геоинформатики. Первое отличие состоит в иной интерпретации модели геоданных (Savinykh, Tsvetkov, 2014). Понятие космические геоданные или геоданные космического пространства качественно отличается от понятия космические данные. На космические данные не накладывается никаких ограничений. Это любая совокупность данных, сформированная по принципу «что смогли, то получили». В отличие от произвольной совокупности пространственных данных, геоданные есть классифицированная и систематизированная совокупность данных. То есть в геоданных главным является не то, что они принадлежат к земному пространству, а то, что в

* Corresponding author
 E-mail addresses: cvj2@mail.ru (V.Ya. Tsvetkov)

них пространственные данные систематизированы и классифицированы, и интегрированы с не пространственными данными. Космические геоданные качественно не отличаются от земных геоданных. Они также структурированы, систематизированы, классифицированы и интегрированы. Различие в том, что пространственные данные в них (координаты) описывают не земное пространство, а внеземное. Поэтому можно употреблять термин геоданные как обобщение космических и земных геоданных.

Второе отличие космической геоинформатики состоит в широком использовании угловых измерений, что в земной геоинформатике встречается не так часто. Планетологические исследования (Tsvetkov, 2018) и планетологические измерения (Bean et al., 2017) не имеют возможности линейных прямых измерений. Большинство измерений в астрономии и космической геоинформатике являются угловыми. Статья исследует угловые измерения поверхности планеты или иного космического тела с борта космического аппарата.

2. Результаты

Угловой и линейный диаметры планеты

Большинство объектов, которые исследуются космической геоинформатикой и астрономией находятся на неопределенном расстоянии. Сведения об их относительных размерах могут быть получены только на основе угловых измерений. Сведения об их линейных размерах также могут быть получены на основе угловых измерений, дополненных линейными измерениями. Для угловых измерений планет существует специфическое понятие угловой диаметр. На [Рисунке 1](#) приведена ситуация наблюдения планеты (P) из точки наблюдения S .

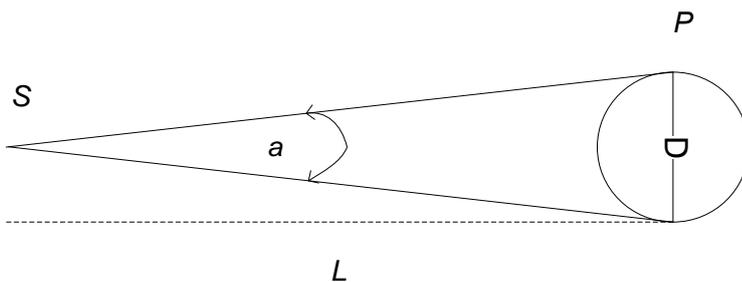


Рис. 1. Угловой и линейный диаметры планеты

Линейный диаметр или фактический диаметр планеты равен D . Расстояние между точкой наблюдения S и центром планеты равно L . Угол a , под которым видна планета, есть угловой диаметр. Существует зависимость.

$$\operatorname{tg}(a/2) = D/2L \quad (1)$$

Выражение (1) показывает, что угловой диаметр планеты (или иного небесного тела) зависит от расстояния до точки наблюдения.

На [Рисунке 2](#) приведена космическая фотография Земли. Угловой диаметр $a = 19^\circ 11' 17,3'' = a_1$, линейный диаметр $D = 12756,2$ км, расстояние наблюдения $L = 31892$ км.

На [Рисунке 3](#) приведена космическая фотография Земли с другими параметрами. Угловой диаметр $a = 12^\circ 27' 10,7'' = a_2$, линейный диаметр $D = 12756,2$ км, расстояние наблюдения $L = 52429$ км.



Рис. 2. Земля, угловой диаметр α_1



Рис. 3. Земля, угловой диаметр $\alpha_2 = 0,65 \alpha_1$

На [Рисунке 4](#) приведена космическая фотография Земли и Луны. Для Луны имеются следующие параметры. Угловой диаметр $\alpha = 1^\circ 35' 41,3''$, линейный диаметр $D = 3475$ км, расстояние наблюдения $L = 123110$ км.



Рис. 4. Угловое наблюдение Луны и Земли

Для Земли на [Рисунке 4](#) имеются следующие параметры. Угловой диаметр $\alpha = 1^\circ 30' 51,0'' = \alpha_2$, линейный диаметр $D = 12756,2$ км, расстояние наблюдения $L = 476330$ км

На [Рисунке 5](#) приведена фотография Луны другими параметрами. Для Луны на [Рисунке 5](#) имеются следующие параметры. Угловой диаметр $\alpha = 9^\circ 16' 38,6''$, линейный диаметр $D = 3475$ км, расстояние наблюдения $L = 19747$ км.

Таким образом, можно констатировать, что угловой диаметр одного и того же объекта существенно меняется в зависимости от расстояния наблюдения. Сравнить угловые диаметры разных объектов можно, если они находятся примерно на одном расстоянии от точки наблюдения.



Рис. 5. Фотография Луны с расстояния 19747 км

На практике сложно измерить расстояние L до точек диаметра (Рисунок 1). Значительно проще, используя методы планетной альтиметрии (Storm et al., 2016) определить расстояние H до ближайшей точки поверхности планеты. Эта ситуация приведена на Рисунке 6.

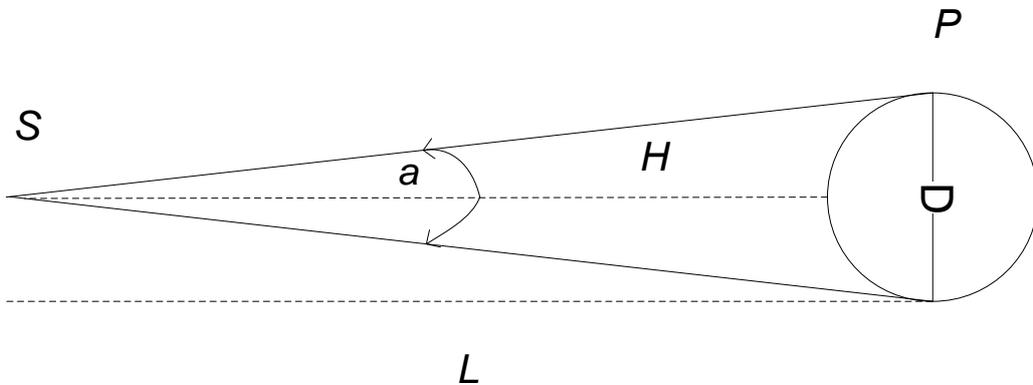


Рис. 6. Определение линейного диаметра планеты по угловым и линейным наблюдениями

Для случая на Рисунке 6 известными являются угловой диаметр и расстояние H до поверхности. Оно отличается от L на радиус планеты $R = D/2$. Несложные построения позволяют в этом случае определить линейный диаметр планеты по угловому диаметру.

$$D = \frac{2 H \operatorname{tg} a/2}{1 - \operatorname{tg} a/2}$$

Использование метода тригонометрического параллакса

При определении расстояний до небесных сложно выполнять прямые линейные измерения, поэтому для решения данной задачи используют не прямые методы. Один из наиболее простых косвенных методов – метод тригонометрического параллакса

При наблюдении на небесное тело (планету) из разных точек можно заметить, что его положение на фоне более далеких предметов изменяется. Изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя называют параллаксом. Расстояние между точками, из которых производится наблюдение, называют базисом. На Рисунке 7 приведена схема наблюдения, которую можно назвать симметричной.

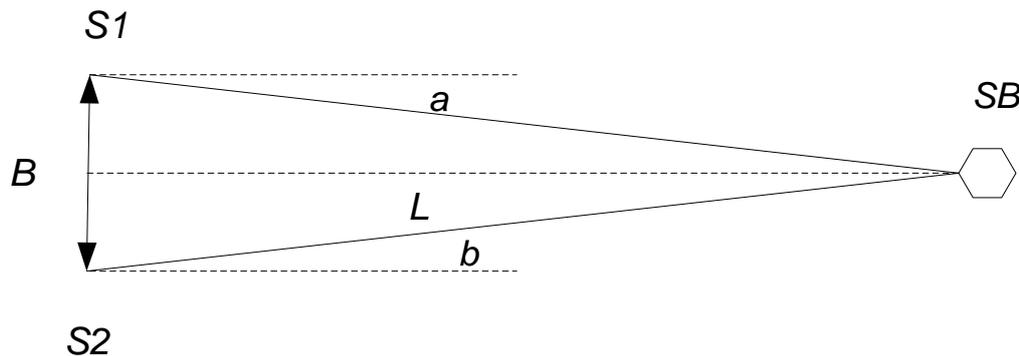


Рис. 7. Симметричная схема наблюдения небесного тела

На Рисунке 7 SB – космический объект, точка m которого наблюдается, $S1, S2$ – точки наблюдения, B – известный базис наблюдения, a, b – углы наблюдения точки m . L – неизвестное расстояние до небесного тела. Несложные геометрические построения позволяют определить расстояние по простой тригонометрической формуле.

$$L = \frac{B}{\operatorname{tg} a + \operatorname{tg} b} \quad (2)$$

Выражение (2) имеет силу и для несимметрической ситуации наблюдения, приведенной на [Рисунке 8](#).

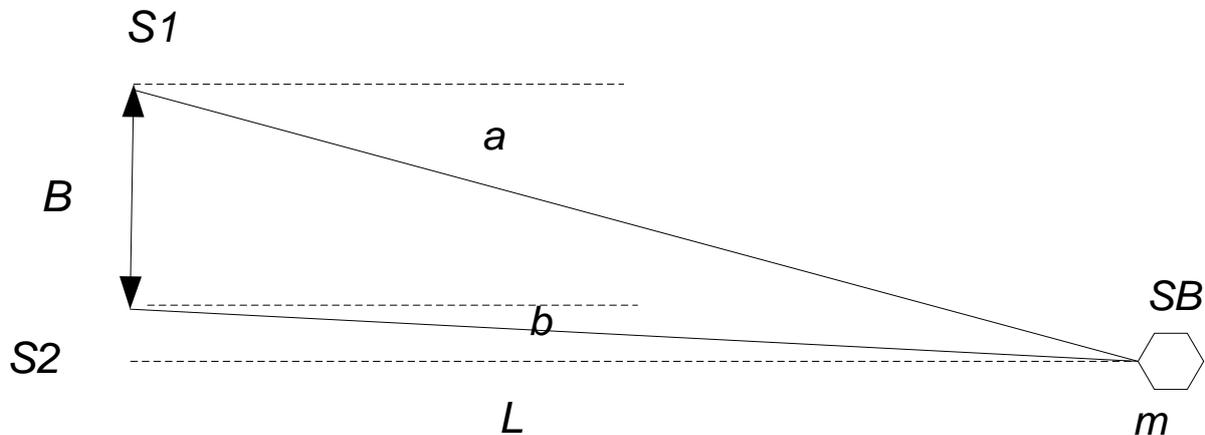


Рис. 8. Несимметричная схема наблюдения небесного тела

Опыт исследования поверхности Земли с помощью аэрофотосъемки перенесен время на исследование небесных тел с помощью наблюдения с космических аппаратов. Существуют разные методы определения координат для таких ситуаций. Чаще всего используют точки наблюдения S_1 , S_2 ([Рисунок 8](#)) с борта космического аппарата как базис съемки ([Barmin et al., 2014](#)).

3. Заключение

Угловые измерения являются основными наблюдениями в космических исследованиях и космической геоинформатике. Космическая геоинформатика это в большей степени наука о пространстве, чем наука о Земле. Она использует методы земных наук для космических исследований. Ярким примером является геометрия, которая по формальным признакам трактуется как измерение Земли (гео – Земля, метрию – измерение). Но уже столетиями геометрию не считают земной наукой, а считают наукой о пространстве. При этом рассматривают не только декартово пространство, но и пространство Римана и пространство Лобачевского. Угловые измерения в космической геоинформатике это новое применение геометрических построений и пространственной логики для решения пространственных задач. Угловые измерения в космической геоинформатике это новое сочетание геометрии и пространственной логики для решения задач пространственного анализа.

Литература

[Савиных, 2016](#) – *Савиных В.П.* Развитие космической геоинформатики // *Славянский форум*. 2016. 2(12): 223-230.

[Barmin et al., 2014](#) – *Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya.* Near_Earth Space as an Object of Global Monitoring // *Solar System Research*. 2014. 48(7): 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X

[Barmin et al., 2014](#) – *Barmin I.V., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya.* (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface // *Solar System Research*. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028

[Bean et al., 2017](#) – *Bean J.L., Abbot D.S., Kempton E.M.R.* (2017). A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system // *The Astrophysical Journal Letters*. 841(2): L24.

[Bondur, Tsvetkov, 2015](#) – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.

[Gospodinov, 2018](#) – Gospodinov S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.

[Jin et al., 2013](#) – Jin S., van Dam T., Wdowinski S. (2013). Observing and understanding the Earth system variations from space geodesy // *Journal of Geodynamics*. 2013. 72: 1-10.

[Savinykh, Tsvetkov, 2014](#) – Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Geodata As a Systemic Information Resource // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2014. 84(5): 365-368. DOI: 10.1134/S1019331614050049

[Storm et al., 2016](#) – Storm M., Engin D., Mathason B., Utano R., Gupta S. Space-Based Erbium-Doped Fiber Amplifier Transmitters for Coherent, Ranging, 3D-Imaging, Altimetry, Topology, and Carbon Dioxide Lidar and Earth and Planetary Optical Laser Communications / *EPJ Web of Conferences*. 2016. Vol. 119, p. 02002. EDP Sciences.

[Tsvetkov, 2018](#) – Tsvetkov, V.Ya. The Development of the Direction "Comparative Planetology" // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 34-41.

References

[Barmin et al., 2014](#) – Barmin, I.V., Kulagin, V.P., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Near_Earth Space as an Object of Global Monitoring. *Solar System Research*. 48(7): 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X

[Barmin et al., 2014](#) – Barmin, I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface. *Solar System Research*. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028

[Bean et al., 2017](#) – Bean, J.L., Abbot, D.S., Kempton, E.M.R. (2017). A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system. *The Astrophysical Journal Letters*. 841(2): L24.

[Bondur, Tsvetkov, 2015](#) – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

Gospodinov S. G., 2018. *Gospodinov S. G.* (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*, 4(1): 9-33.

[Jin et al., 2013](#) – Jin, S., van Dam, T., Wdowinski, S. (2013). Observing and understanding the Earth system variations from space geodesy. *Journal of Geodynamics*. 72: 1-10.

[Savinyh, 2016](#) – Savinyh, V.P. (2016). Razvitie kosmicheskoy geoinformatiki [Development of space geoinformatics]. *Slavyanskij forum*. 2(12): 223-230. [in Russian]

[Savinykh, Tsvetkov, 2014](#) – Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Geodata As a Systemic Information Resource. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 84(5): 365-368. DOI: 10.1134/S1019331614050049

[Storm et al., 2016](#) – Storm, M., Engin, D., Mathason, B., Utano, R., Gupta, S. (2016). Space-Based Erbium-Doped Fiber Amplifier Transmitters for Coherent, Ranging, 3D-Imaging, Altimetry, Topology, and Carbon Dioxide Lidar and Earth and Planetary Optical Laser Communications. *EPJ Web of Conferences*. 119: 02002. EDP Sciences.

[Tsvetkov, 2018](#) – Tsvetkov, V.Ya. (2018). The Development of the Direction "Comparative Planetology". *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 34-41.

Угловые измерения в космической геоинформатике

Виктор Яковлевич Цветков ^{a, *}

^a Научно-исследовательский и проектно конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС), Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: cvj2@mail.ru (В.Я. Цветков)

Аннотация. Статья исследует применение угловых измерений в космической геоинформатике. Показано отличие космической геоинформатики от земной геоинформатики. Показано различие между наземными геоданными и космическими геоданными. Космическая геоинформатика применяет угловые измерения чаще, чем земная геоинформатика. Статья вводит понятие угловой диаметр планеты. Показана связь между угловым диаметром планеты и линейным диаметром планеты. Статья приводит визуальные примеры угловых диаметров для Земли и Луны на разных расстояниях. Приведен расчет линейного диаметра планеты с поправкой на радиус планеты по альтиметрическим измерениям поверхности планеты. Статья приводит метод определения расстояния до поверхности планеты по угловым измерениям с использованием метода тригонометрического параллакса.

Ключевые слова: космические исследования, космическая геоинформатика, линейные измерения, угловые измерения, угловой диаметр планеты, линейный диаметр планеты, тригонометрический параллакс, альтиметрические измерения.

Copyright © 2021 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2021. 7(1): 43-48

DOI: 10.13187/rjar.2021.1.43
www.ejournal28.com



Logic of Space Observations

Alexey M. Tyagunov ^a, Viktor Ya. Tsvetkov ^{b, *}

^a Department of RTU MIREA, Moscow, Russian Federation

^b Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article introduces a new concept of the logic of space observations. Space observation logic is interpreted as a synthesis of space logic and space exploration. The article shows and proves that space images show not the real hemisphere of the planet, but its smaller part. The article introduces new concepts: the apparent diameter of the planet and the "spherical shadow" of the planet. Formulas are given for calculating the real diameter from the "apparent diameter" of the planet. Formulas are given for calculating the "spherical shadow" in the center plane of the planet. The article analyzes the dimensions of the spherical segment on the surface of the planet, which is the closest to the observation point. This segment is shown with exaggeration in satellite images. The article provides working formulas for calculating the real dimensions of a spherical segment. On the basis of the research carried out, the logical rules of the logic of space observations are introduced. The article states that the logic of space observations can be a section of space geoinformatics and a section of spatial logic.

Keywords: space exploration, logic, spatial logic, apparent diameter of a planet, spherical shadow, geometric logic, logic of visibility, logic of space observations.

Введение

Логика чаще всего интерпретируется как наука о рассуждениях (Haack, 1978), доказательствах и опровержениях. В последнее время логика трактуется как наука о поиске и описании закономерностей окружающего мира. Существуют разные виды логик. Для космических исследований наибольшее значение имеет пространственная логика. Пространственная логика (Kudzh, Tsvetkov, 2020; Цветков, 2020) связывает логические последовательности с пространственными конструкциями и конфигурациями. Можно говорить об особом направлении: пространственная логика в космических исследованиях. Пространственная логика в космических исследованиях включает геометрическую логику, образную логику и логику видимости. Логика видимости обусловлена особенностью космических наблюдений. Объекты, такие как планеты, имеют большие размеры в сравнении с наземными объектами. Космические объекты движутся с огромными скоростями. Пространственную логику применяют в траекторных расчетах и анализе. Расстояния наблюдения в космосе на порядки превышают расстояния в земных условиях. Пространственную логику применяют при построении виртуальных моделей космического

* Corresponding author

E-mail addresses: cvj2@mail.ru (V.Ya. Tsvetkov), tyagun72@bk.ru (A.M. Tyagunov)

пространства. Логика необходима при изучении околоземного пространства (Barmin et al., 2014) и изучении поверхности планет (Barmin et al., 2014a).

2. Обсуждение и результаты

Видимый и невидимый диаметры планеты.

Большинство планет, которые наблюдают в космосе, находятся на большом расстоянии от точки наблюдения, которая на много превышает диаметр планеты (Florenskii, et al., 1981; Bean et al., 2017). На Рисунке 1 показана типичная ситуация наблюдения планеты (Pl) из точки S. На рис.1 даны следующие обозначения: D – расстояние от точки наблюдения S до ближайшей точки поверхности планеты, H – расстояние от точки наблюдения S до экватора планеты, R – радиус планеты, b – угол наблюдения точки обзора планеты, V – видимые размеры или «видимый диаметр» планеты, $mm'=d$ – «тень» наблюдения, Q – точка обзора планеты, $R'=R+d$ – «псевдорadius» планеты, XOY – условная система координат связанная с центром масс планеты. Направление SO является направлением нормали из точки наблюдения.

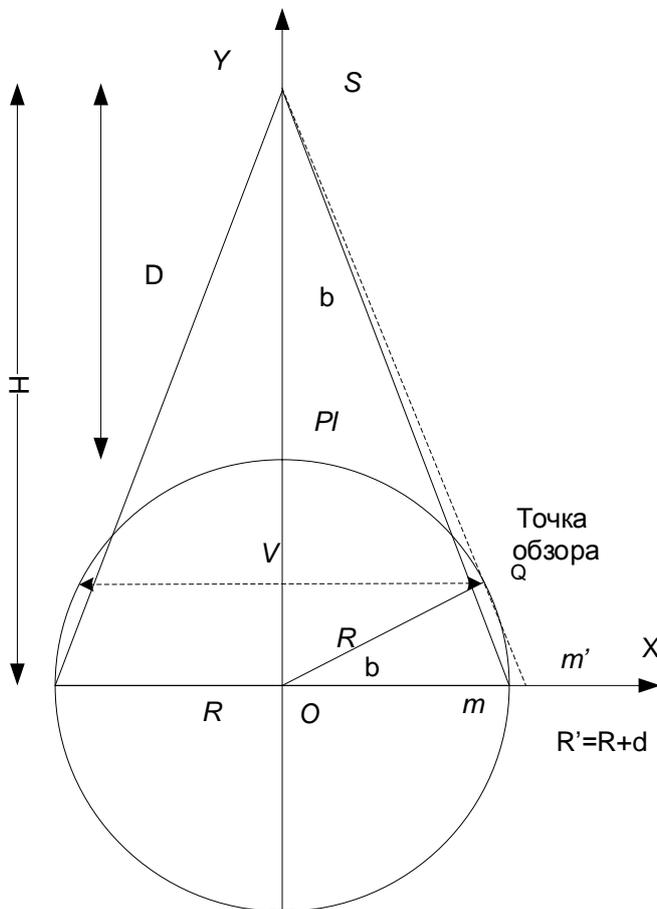


Рис. 1. Видимый и невидимый диаметры планеты

Если наблюдение ведется так, что ближайшая к точке S точка на поверхности планеты – полюс, то плоскость по оси OX есть экваториальная плоскость. Схема на Рисунке 1 говорит о том, что видимый диаметр на снимках показан с преуменьшением к реальному диаметру планеты.

Поясним некоторые новые понятия. В силу углового наблюдения из точки наблюдения S виден не реальный диаметр $2R$, а видимая часть планеты V (на Рисунке 1 показана пунктиром). Как следует из геометрической логики $V < 2R$. Если использовать расстояние до экватора, то расчетный радиус планеты R' или «псевдорadius» будет больше реального

$R' > R$. Как следует из построений на рис.1 на экваторе планеты появляется «тень» $mm'=d$. Именно эта тень увеличивает расчетное значение радиуса до R' . Планета наблюдается из точки S под углом $2b$. Касательная показана пунктиром. Представляет интерес расчет реального диаметра $2R$ или радиуса R по видимому диаметру V . Исходными данными являются расстояние до точки обзора, угол наблюдения b . Выполним простые логические геометрические построения.

$$V=2 SQ \sin(b) \quad (1)$$

$$2R=V/ \cos(b)= 2 SQ \operatorname{tg}(b) \quad (2)$$

$$R'=Om'=R/\cos(b)= SQ \operatorname{tg}(b) /\cos(b) \quad (3)$$

$$H= R' / \operatorname{tg}(b)= SQ/\cos(b); \quad (4)$$

$$mm'= R/\cos(b)- R = R(1/ \cos(b) -1)= SQ \operatorname{tg}(b) 1/ \cos(b) -1) \quad (5)$$

Выражение (1) позволяет найти «видимый диаметр» планеты. Выражение (2) позволяет найти фактический радиус планеты и фактический диаметр. Выражение (3) позволяет найти «псевдорadius» планеты. Эта величина переменная и зависит от точки наблюдения. Фактический радиус планеты величина постоянная. Выражение (4) позволяет найти расстояние от точки наблюдения S до экватора планеты. Выражение (5) позволяет найти или «сферическую тень» – невидимую часть на экваторе планеты, которая закрывается сферической формой. Невидимая часть диаметра сферы определится как

$$Dd=2 R(1-\cos(b))$$

Чем дальше расстояние от планеты, тем меньше угол (b) и тем полнее виден диаметр планеты или ее полусфера.

Вывод. При угловых наблюдениях в космосе реальный диаметр планеты не виден и его заменяет меньший по размеру «видимый» диаметр планеты. Реальный диаметр получается на основе видимого диаметра на основе расчетов при учете положения точки наблюдения и расстоянии до планеты.

Определение хорды сферического сегмента на поверхности планеты по изображению сегмента.

В практике космических исследований возникает задача определения площади сегмента сферической поверхности по его изображению на снимке. Как вспомогательная задача возникает задача нахождения хорды этого сегмента. На рис.2 приведены логические построения в сечении планеты.

На [Рисунке 2](#) приведены следующие обозначения: D – расстояние от точки наблюдения S до ближайшей точки поверхности планеты, H – расстояние от точки наблюдения S до экватора планеты, R – радиус планеты, a – угол наблюдения точки границы сферического сегмента, l – видимые размеры границы сегмента на снимке, f – фокусное расстояние снимка, L – длина полухорды, L' – проекция полухорды на экватор, $ХОУ$ – условная система координат связанная с центром масс планеты. Соблюдалась сопоставимость с [Рисунком 1](#).

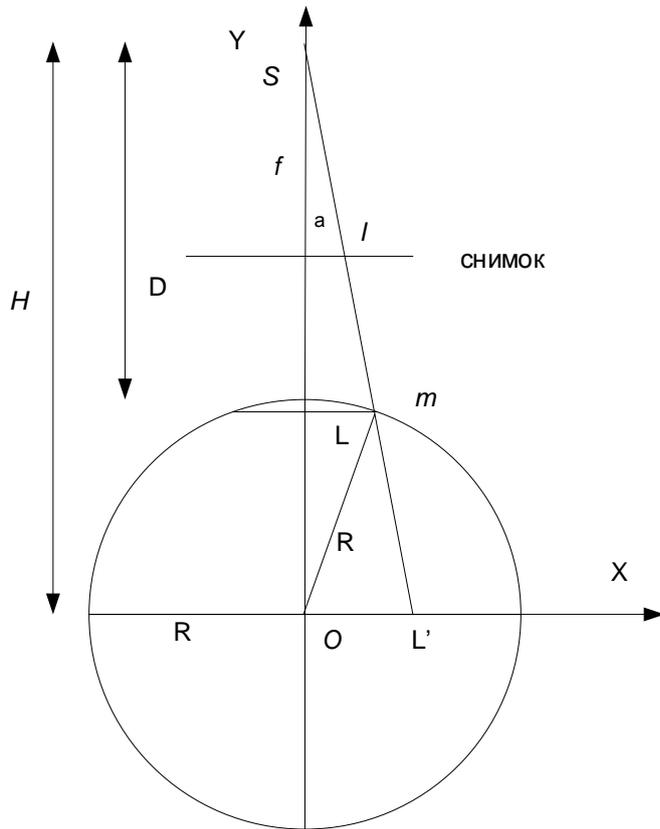


Рис. 2. Логические построения для вычисления хорды сферического сегмента планеты.

Направление SO – есть направление нормали к поверхности планеты и к плоскости секущей планету по ее диаметру. Для пространственной ситуации на [Рисунке 2](#) имеют место отношения.

$$L'/H=l/f; L'>L \quad (6)$$

Выражение (6) говорит о том, что хорда сегмента на снимке показана с преувеличением по отношению к диаметру планеты.

Граница полухорды m определяется как точка пресечения прямой SL' с окружностью, которая образована сечением вертикальной плоскости сферы планеты (XOY). Для точки m имеет место уравнение прямой в плоскости XOY .

$$Y=H - X \operatorname{tg}(a) \quad (7)$$

И уравнение окружности прямой в плоскости XOY .

$$Y^2+X^2=R^2 \quad (8)$$

Подставляем (7) в (8) и получаем

$$(H - X \operatorname{tg}(a))^2 + X^2=R^2 \quad (9)$$

Раскрываем скобки в выражении (9) и приходим к выражению (10)

$$H^2 - 2H X \operatorname{tg}(a)+ X^2 \operatorname{tg}^2(a) + X^2- R^2 =0 \quad (10)$$

Преобразуем (10) относительно X

$$X^2 (1+ \operatorname{tg}^2(a)) - 2H X \operatorname{tg}(a) + H^2 - R^2 =0 \quad (11)$$

Выражение (11) преобразуем к приведенной форме (12)

$$X^2 - 2H X \sin(a)\cos(a) + (H^2 - R^2) \cos^2(a)=0 \quad (12)$$

Выражение (12) можно рассмотреть как каноническую форму (13) уравнения второго порядка

$$X^2 - 2p X +q=0 \quad (13)$$

Исходя из логических рассуждений оставляем первый корень

$$X_1= p- (p^2-q)^{1/2} \quad (14)$$

Откуда длина хорды определяется как

$$L= 2 X_1 \quad (15)$$

3. Заключение

Исследования показывают, что целесообразно введение понятий: видимый диаметр планеты, тень от сферической поверхности на плоскости экватора или на иной плоскости, секущей планету относительно нормали к направлению наблюдения. Можно ввести новое понятие пространственная логика в космических исследованиях. Можно сформулировать правила пространственной логики в космических исследованиях.

Первое правило. При наблюдениях в космосе реальный диаметр планеты не виден, а виден меньший по размеру «видимый» диаметр планеты. На космических снимках часть полусферы планеты показана с преуменьшением

Второе правило. Реальный диаметр планеты получается на основе видимого диаметра путем вычислений при учете положения точки наблюдения и расстоянии до планеты, формула (2).

Третье правило. При наблюдениях поверхности планет ближайший к точке наблюдения сферический сегмент на поверхности планеты виден с преувеличением. На космических снимках сферический сегмент на поверхности планеты показан с преувеличением относительно видимого диаметра планеты. Хорда сферического сегмента показана с преувеличением на космических снимках.

Четвертое правило. Реальный размер хорды сферического сегмента планеты получается на основе вычислений при учете положения точки наблюдения и расстоянии до планеты, формулы (7-15).

Пятое правило. Прежде чем выполнять расчеты по космическим снимкам, необходим логический анализ пространственной конфигурации космических тел, приведенных на снимке. Пространственная логика в космических исследованиях должна предшествовать вычислениям.

Пространственная логика в космических исследованиях это новое сочетание геометрии, пространственной логики и пространственного анализа в космических исследованиях. Пространственная логика в космических исследованиях может быть рассмотрена как раздел космической геоинформатики (Bondur, Tsvetkov, 2015), раздел пространственной логики и раздел геодезической астрономии (Gospodinov, 2018).

Литература

Цветков, 2020 – Цветков В.Я. Пространственная логика в геоинформатике // *Вектор ГеоНаук*. 2020. Т. 3. № 2. С. 91-100.

Barmin et al., 2014 – Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Near Earth Space as an Object of Global Monitoring // *Solar System Research*. Vol. 48. No. 7. Pp. 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X

Barmin et al., 2014a – Barmin I.V., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface // *Solar System Research*. 2014. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028

Bean et al., 2017 – Bean J.L., Abbot D.S., Kempton E.M.R. A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system // *The Astrophysical Journal Letters*. 2017. 841(2): L24.

Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.

Florenskii et al., 1981 – Florenskii K.P., Bazilevskii A.T., Burba G.A., Volkov V.P., Ivanov A.V., Kuzmin P. O., ... , Rode O.D. Sketches on comparative planetology. Moscow Izdatel Nauka, 1981.

Gospodinov, 2018 – Gospodinov S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.

Haack, 1978 – Haack S. Philosophy of logics. Cambridge University Press, 1978.

Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh S.F., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic concepts // *Revista inclusions*. 2020. Vol. 7. Número Especial / Julio – Septiembre. Pp. 837-849.

References

- Barmin et al., 2014 – Barmin, I.V., Kulagin, V.P., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Near Earth Space as an Object of Global Monitoring. *Solar System Research*. 48(7): 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X
- Barmin et al., 2014a – Barmin, I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface. *Solar System Research*. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028
- Bean et al., 2017 – Bean, J.L., Abbot, D.S., Kempton, E.M.R. (2017). A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system. *The Astrophysical Journal Letters*. 841(2): L24.
- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.
- Florenskii et al., 1981 – Florenskii, K.P., Bazilevskii, A.T., Burba, G.A., Volkov, V.P., Ivanov, A.V., Kuzmin, P.O., ... , Rode, O.D. (1981). Sketches on comparative planetology. Moscow Izdatel Nauka.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33.
- Haack, 1978 – Haack, S. (1978). Philosophy of logics. Cambridge University Press.
- Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh, S.F., Tsvetkov, V.Ya. (2020). Spatial logic concepts. *Revista inclusions*. Número Especial / Julio – Septiembre. 7: 837-849.
- Tsvetkov, 2020 – Tsvetkov, V.Ya. (2020). Prostranstvennaya logika v geoinformatike [Spatial logic in geoinformatics]. *Vektor GeoNauk*. 3(2): 91-100. [in Russian]

Логика космических наблюдений

Алексей Михайлович Тягунов ^a, Виктор Яковлевич Цветков ^{b, *}

^a Управление информатизации РТУ МИРЭА, Москва, Российская Федерация

^b Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС), Москва, Российская Федерация

Аннотация. Статья вводит новое понятие логика космических наблюдений. Логика космических наблюдений интерпретируется как синтез пространственной логики и космических исследований. Статья показывает и доказывает, что на космических снимках видна не реальная полусфера планеты, а ее меньшая часть. Статья вводит новые понятия: видимый диаметр планеты и «сферическая тень» планеты. Даются формулы для расчета реального диаметра по «видимому диаметру» планеты. Даются формулы для расчета «сферической тени» в диаметальной плоскости планеты. Статья анализирует размеры сферического сегмента на поверхности планеты, который является ближайшим к точке наблюдения. Показано, что этот сегмент на космических снимках показан с преувеличением. Статья приводит рабочие формулы для расчета реальных размеров сферического сегмента. На основе проведенных исследования вводятся логические правила логики космических наблюдений. Статья констатирует, что логика космических наблюдений может быть разделом космической геоинформатики и разделом пространственной логики.

Ключевые слова: космические исследования, логика, пространственная логика, видимый диаметр планеты, сферическая тень, геометрическая логика, логика видимости, логика космических наблюдений.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: cvj2@mail.ru (В.Я. Цветков), tyagun72@bk.ru (А.М. Тягунов)