

Кафедра общей и теоретической физики

А. Симонов<sup>1</sup>

## Определение угловой скорости вращения Земли

(научно-исследовательская работа)

### Аннотация

В работе предложена новая методика определения угловой скорости ( $\omega_{\oplus}$ ) вращения Земли. Здесь решена задача об определении угловой скорости видимого движения небесного объекта по небосводу. Установлена взаимоднозначная связь между указанным параметром и  $\omega_{\oplus}$ . Получены точная и приближенная формулы расчета  $\omega_{\oplus}$ ,  $\Delta\omega_{\oplus}$  с учетом рефракции. Строго доказана ошибочность распространенного мнения об ограниченности приближенной формулы в определении угловых масштабов небесного объекта при больших  $\delta$ . Выполнен численный анализ полученных результатов с использованием данных наблюдений Юпитера. Показано, что погрешность определения  $\omega_{\oplus}$  является малой и в большинстве экспериментов не превосходит 1%. Результаты, полученные на основе имеющихся данных, к сожалению, не позволяют строго зафиксировать неравномерный характер вращения Земли. Однако обнаружено ряд косвенных фактов, указывающих на присутствие последнего.

Комментарии: работа выполнена под научным руководством старшего преподавателя кафедры общей и теоретической физики СамГУ, к.ф.-м.н., Филиппова Ю.П.<sup>2</sup> и представлена на XVII Всероссийской научно-практической конференции для одаренных школьников «Intel-Династия-Авангард 2008». Отмечена дипломом победителя третьей степени в секции "Теоретическая физика".



Работа выставлена на **ASTRODROME**: 25.01.2008

---

<sup>1</sup>E-mail:

<sup>2</sup>E-mail:yuphil@ssu.samara.ru

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>1 Теоретические основы сферической астрономии и фундаментальной астрометрии</b>	<b>6</b>
1.1 Основные задачи сферической астрономии и фундаментальной астрометрии . . . . .	6
1.2 Небесная сфера: ее основные точки, линии и круги . . . . .	10
1.3 Сферические системы координат . . . . .	14
1.4 Сферический треугольник. Основные формулы сферической тригонометрии . . . . .	17
1.5 Параллактический треугольник. Перевод систем координат . .	21
1.6 Современные представления о сложном характере вращения Земли . . . . .	22
<b>2 Методика определения угловой скорости вращения Земли по данным наблюдений</b>	<b>24</b>
2.1 Определение угловой скорости видимого движения небесного тела	24
2.2 Зависимость угловой скорости видимого движения объекта от его склонения . . . . .	25
2.3 Вычисление ошибки определения угловой скорости . . . . .	29
<b>3 Обработка данных эксперимента. Численный анализ результатов</b>	<b>31</b>
3.1 Основные инструменты эксперимента и их характеристики . . .	31
3.2 Результаты и анализ . . . . .	33
<b>Заключение</b>	<b>39</b>
<b>Литература</b>	<b>41</b>
<b>Приложения</b>	<b>43</b>
А. Обработка данных эксперимента . . . . .	43

# Введение

Актуальность работы. Вращение Земли вокруг оси издавна принималось за основу счета времени, а сутки – одна из основных единиц счета времени и в природе, и в человеческой жизни [1]. Продолжительность суток определяется ее *сидерическим периодом* вращения  $T_{\oplus} = 23^{\text{ч}}56^{\text{м}}3.445^{\text{с}}$  [2], а средняя угловая скорость вращения Земли  $\bar{\omega}_{\oplus}$  есть

$$\bar{\omega}_{\oplus} = \frac{2\pi}{T_{\oplus}} \cdot 206264.8062'' = 15.041''/с. \quad (1)$$

Вплоть до конца XIX было общепринятым мнение о постоянстве периода  $T_{\oplus}$  и, следовательно, угловой скорости  $\bar{\omega}_{\oplus}$  [3].

Однако первые предположения о потенциально возможном неравномерном вращении Земли были сделаны еще Галлеем в 1693 г. Сопоставляя моменты затмений, наблюдавшихся в древности, с их моментами, вычисленными на основе гравитационной теории, привело его к заключению, что «прежде Луна двигалась медленнее, чем в настоящее время». Это ускорение Луны могло быть либо реальным, происходящим из-за увеличения скорости обращения ее вокруг Земли, либо кажущимся, из-за уменьшения скорости вращения Земли вокруг своей оси. В XIX столетии были обнаружены отклонения от теории также и в движениях Солнца, Меркурия, Венеры, Марса и спутников Юпитера. Поскольку величины этих отклонений у всех светил были пропорциональны их средним движениям, то стало ясно, что эти изменения в движениях светил являются кажущимися и происходят вследствие реальных изменений скорости вращения Земли вокруг своей оси. Сопоставление астрономического времени<sup>3</sup> с равномерным временем, положенным в основу гравитационной теории, позволяет выявить лишь значительные изменения скорости вращения Земли за большой промежуток времени.

В тридцатых годах XX столетия были созданы кварцевые часы, применение которых позволило обнаружить годовые изменения скорости вращения Земли.

Введение в действие первого атомного стандарта частоты в 1955 г. позволило создать практически равномерное атомное время, использование которо-

---

<sup>3</sup>Следует отметить, что время, полученное из астрономических наблюдений и основанное на периоде вращения Земли вокруг своей оси, называется *астрономическим временем*.

го открывает принципиальную возможность выявить все детали изменения скорости вращения Земли. Однако точность определения астрономического времени не позволяет использовать все преимущества атомного времени.

В настоящее время принято рассматривать *три типа неравномерностей вращения Земли: вековое замедление, сезонные колебания* и нерегулярные изменения угловой скорости вращения Земли. Особый интерес представляет последний тип неравномерности вращения Земли. В результате нерегулярных изменений продолжительность суток увеличивается или уменьшается на несколько тысячных долей секунды. Резкие изменения в скорости происходят через разные промежутки времени и сравнительно быстро. Причины нерегулярных изменений до сих пор не вполне ясны. Именно поэтому *изучение вращения Земли – одна из важнейших и самых актуальных задач современной астрономии (астрометрии)*. Сегодня в мире насчитывается более 500 научных астрономических станций, расположенных в 290 пунктах наблюдения и предназначенных для изучения вращения Земли [4].

Как известно, астрономы-любители по-прежнему вносят ощутимый вклад в формирование научных астрономических знаний. В частности, значительная часть открытий комет за последние 30 лет принадлежат астрономам-любителям (их имена присваиваются кометам) [5]; до сих пор лучшими исследователями метеорных потоков и болидов являются астрономы-любители [6]. Таким образом, любительская астрономия дополняет данные профессионалов, иногда их уточняет или даже приносит новые данные.

Естественным образом возникает вопрос: *«Что может сделать астроном-любитель в исследовании проблемы неравномерности вращения Земли с использованием самых простых инструментов?»*

Разумеется, самый простой метод исследования характера вращения Земли основан на периодических наблюдениях последовательных верхних (нижних) кульминаций далеких космических объектов – далеких звезд с использованием весьма точных инструментов для измерения времени [3]. Таким образом можно определить период вращения  $T_{\oplus}$ . Однако этот метод выдвигает жесткие требования к погрешностям используемых инструментов для измерения времени – погрешность не должна превосходить  $10^{-3}$  с за одни сутки. Кроме того, данный метод требует высокоточного определения положения точки юга математического горизонта. Самый большой недостаток данного метода заключается в том, что в лучшем случае мы можем зафиксировать суточные вариации  $T_{\oplus}$  и, следовательно,  $\bar{\omega}_{\oplus}$ , но сказать что-либо о нерегулярных внутрисуточных вариациях  $\omega_{\oplus}$  (что является особенно интересным с точки зрения астрономии-науки) уже в принципе невозможно!

В связи со сказанным, главной целью настоящей работы является построение последовательной, завершенной методики экспериментального оп-

ределения угловой скорости вращения Земли на основе использования данных для горизонтальных координат двух положений небесного тела, разделенных интервалом времени  $\tau_{vis} \ll T_{\oplus}$ .

Согласно сформулированной цели, основными задачами настоящей работы являются следующие положения:

1. Построение точной и приближенной аналитических формул определения угловой скорости вращения Земли по данным измерений горизонтальных координат двух положений небесного тела, разделенных интервалом времени  $\tau_{vis} \ll T_{\oplus}$ .

2. Расчет ошибки определения угловой скорости вращения Земли. Решение вопроса о возможности детектирования ее нерегулярных внутрисуточных изменений.

3. Обработка данных наблюдений, полученных для Юпитера научным руководителем. Численный анализ полученных результатов.

Побочной задачей настоящей научно-исследовательской работы является освоение нами следующего программного обеспечения: системы аналитических вычислений Mathematica5.0; текстового процессора MikTeX+WinEdt5.3; программ-просмотрщиков GhostScript+GSView 4.8; программы для создания и обработки векторной графики Corel Draw 12. Мы используем пробные, ознакомительные версии этих программных продуктов.

Основными методами решения поставленных задач являются:

1. Методы сферической астрономии, фундаментальной астрометрии и плоской геометрии Евклида.

2. Методы интегро-дифференциального исчисления.

Данная работа имеет следующую структуру.

В **первой главе** представлены элементы сферической астрономии и фундаментальной астрометрии. Отдельный параграф посвящен особенностям сложного характера вращения Земли вокруг своей оси.

Во **второй главе** подробно представлены решения поставленных теоретических задач (1-ой, 2-ой) и их анализ.

В **третьей главе** представлены данные экспериментальных наблюдений Юпитера. Представлен их алгоритм обработки и численные результаты.

Резюме по проделанной работе представлено в **заключении**. Финальная часть работы содержит список использованных источников и приложение.