

Восьмая Всероссийская Открытая конференция

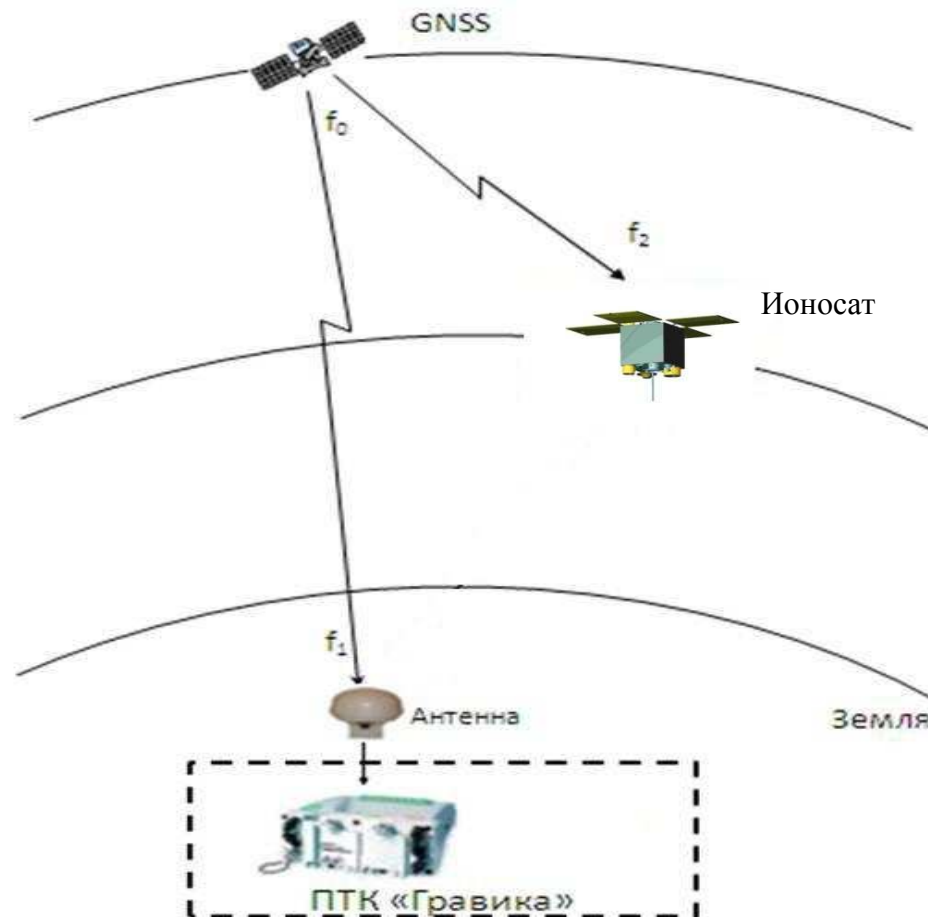
15.11.2010 – 19.11.2010 г.,
г. Москва, ИКИ РАН

ПАТЕНТНО-КОНЪЮКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ.

С.Матвиенко, О.Мороз

Государственное предприятие
«Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля»
г. Днепропетровск, Украина

Системы измерения гравитационного поля с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (вариант 1)

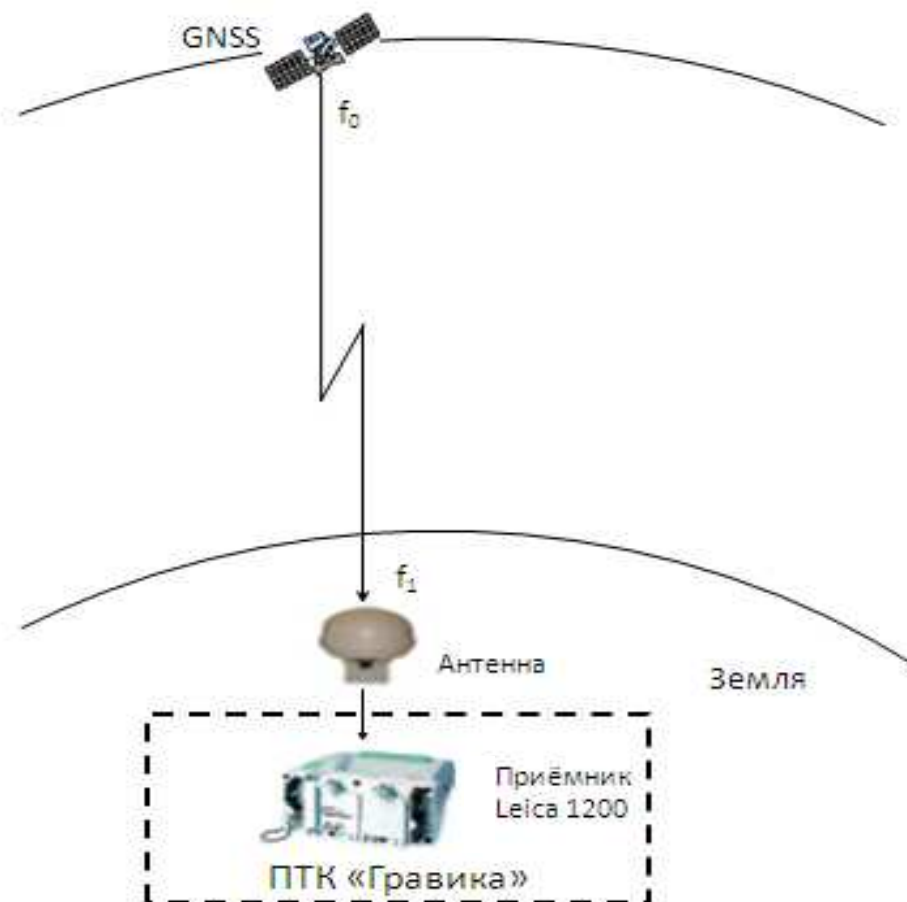


$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta U_{650}^{20000}}{c^2}$$

Патент Украины № 83239 от 25.06.2008. Способ измерения параметров гравитационного поля.

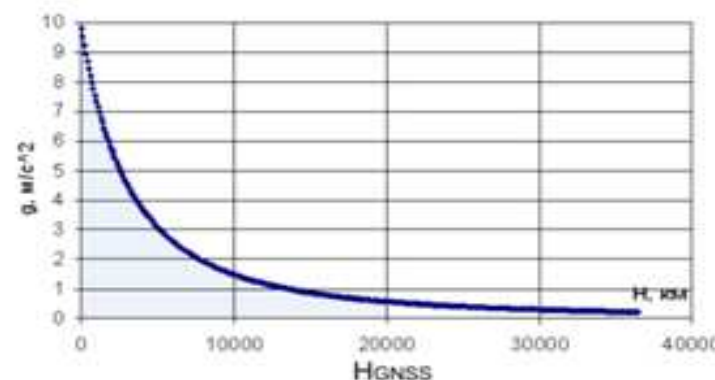
Авторы: Макаров А.Л., Матвиенко С.А., Мелешко А.В., Андросов М.А.

Системы измерения гравитационного поля с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (вариант 2)



$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta U_0^{20000}}{c^2}$$

График изменения ускорения силы тяжести от высоты



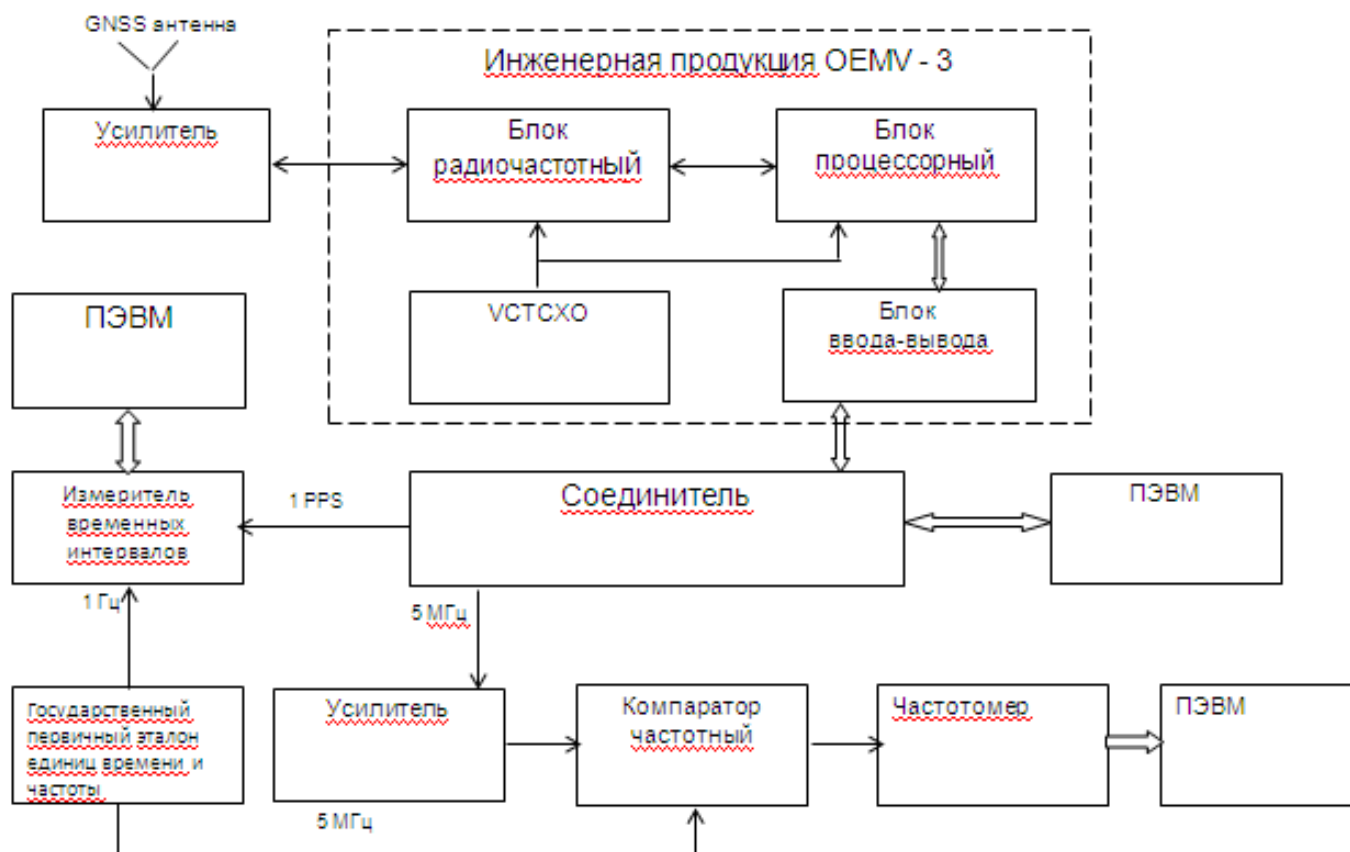
Патент Украины № 84704 от 25.11.2008. Спутниковая радионавигационная система. Автор Матвиенко С.А.

Патент Украины № 90960 от 10.06.2010. Спутниковая радионавигационная система. Автор Матвиенко С.А.

Проект УНТЦ № 3856. Измерение ГПЗ с помощью спутниковых навигационных систем. Рук. Матвиенко С.А.

Программно-технический комплекс «Гравика»

Схема измерений гравитационного поля с использованием GNSS-приемника

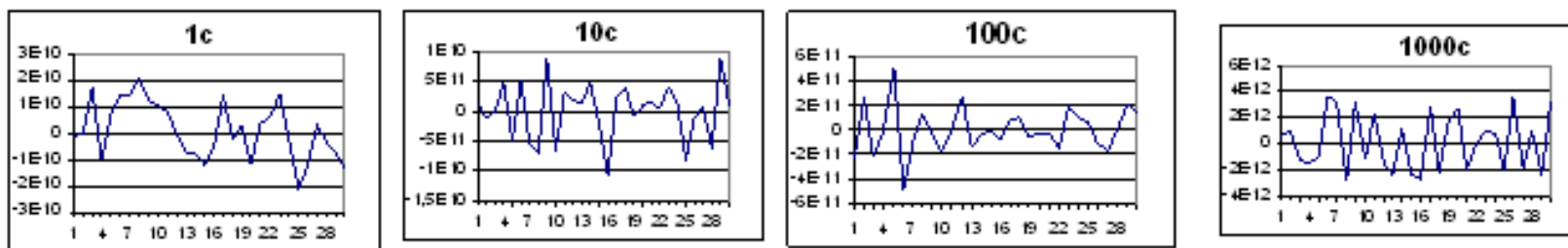


Программно-технический комплекс «Гравика»



Результаты измерений

Результаты измерения частоты за время усреднения 1, 10, 100 и 1000 секунд

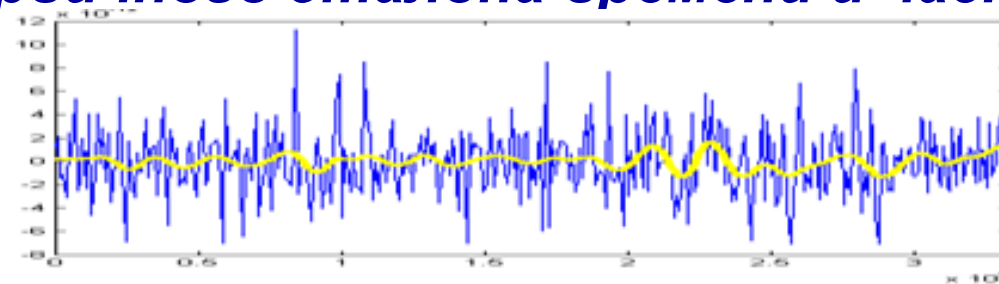


Статистические характеристики полученных результатов измерения частоты за время наблюдения от 1 с до 1000 с

	Stat 1 c	Stat 10 c	Stat 100 c	Stat 1000 c
$\Delta f/f_{cs}$	1,1E-11	5,0E-13	-6,7E-14	1,8E-13
CKO_c	1,1E-10	4,8E-11	1,9E-11	2,2E-12
CKO_r	9,5E-11	4,8E-11	1,9E-11	2,2E-12
CK_{var}	1,2E-10	7,9E-11	3,2E-11	3,7E-12
A	9,5E-11	-1,5E-12	-4,7E-12	1,5E-13
SYS_x	-5,4E-12	1,3E-13	3,0E-13	1,9E-15

Результаты сравнения сигналов на частоте 5 МГц

GNSS –приемника DL-V3 и Государственного первичного эталона времени и частоты



Результаты сличения на частоте 5 МГц ГПЭВЧ и DL-V3 за интервал времени наблюдений 4 суток. Представлен график сигнала, полученный в результате устранения шумов путем проведения процедуры вейвлет-разложения, устранения шумовых вейвлет-коэффициентов и дальнейшего восстановления этих сигналов

$$CKO_{\Delta f/f} = 2,9 \cdot 10^{-12}, CKO_{\Delta f/f \text{ без шумов}} = 5,9 \cdot 10^{-13}$$

При очистке от шума было использовано свойство набора вейвлетов $\psi(t)$ и скейлинг-функций $\varphi(t)$ приближать сложный сигнал, причем идеально точно или с некоторой погрешностью, так как любую функцию $s(t)$ из гильбертового пространства $L^2(R)$ можно разложить на некотором заданном уровне разрешения j_0 в ряд вида

$$s(t) = \sum_k p_{j_0,k} \varphi_{j_0,k} + \sum_{j \geq j_0,k} d_{j,k} \psi_{j,k}$$

где $p_{j,k}$ - коэффициенты приближения (аппроксимации), $d_{j,k}$ - детализирующие коэффициенты.

Почти всегда адаптивная фильтрация шумов реализуется путем динамического изменения порога, что изменяет вейвлет-коэффициенты, которые детализируют сигнал, по правилу:

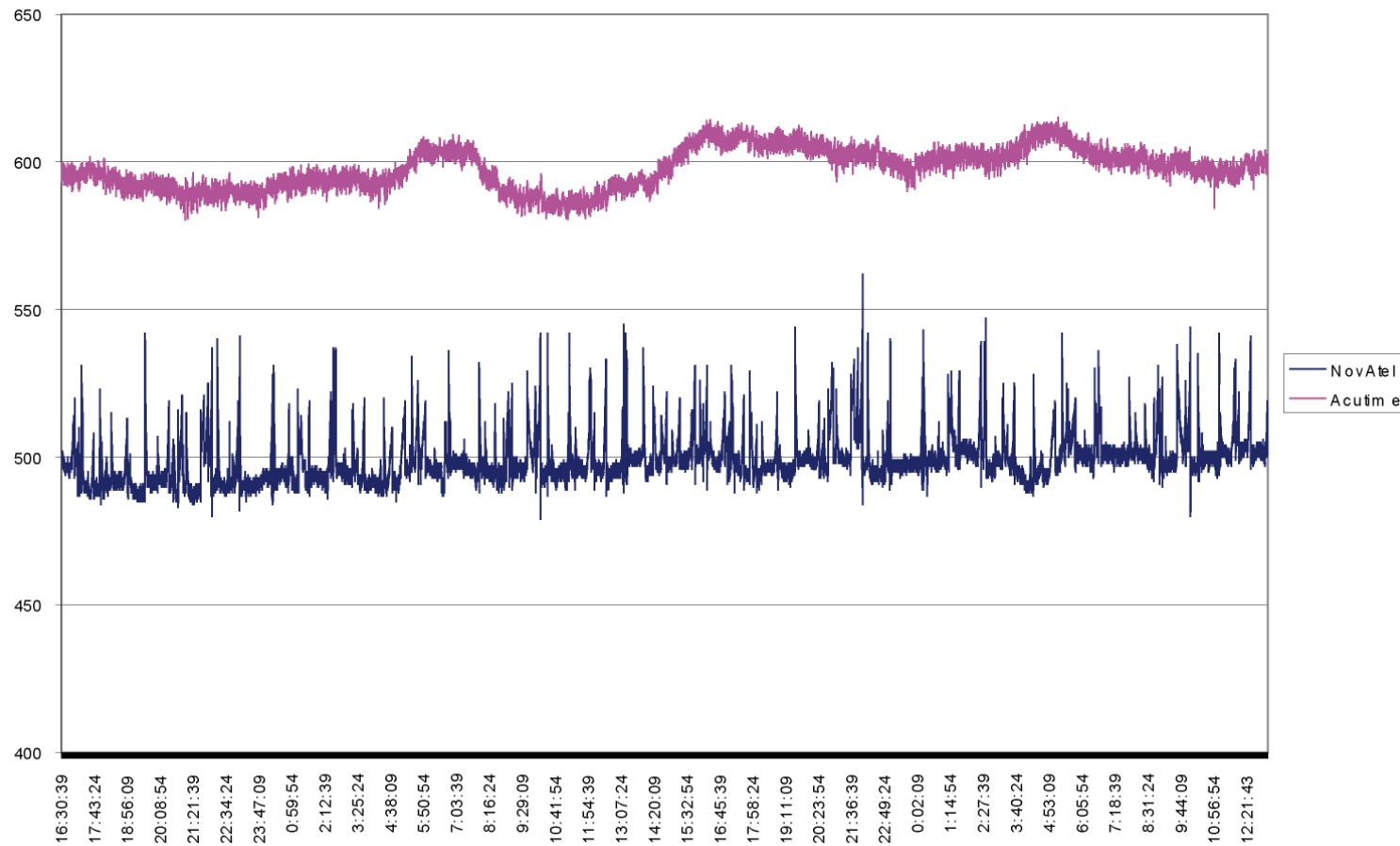
$$d_{j,k} = \begin{cases} 0, & |d_{j,k}| \leq thr; \\ d_{j,k} - \text{sign}(d_{j,k}) \times (|d_{j,k}| - thr), & |d_{j,k}| \geq thr, \end{cases}$$

где thr - избранный порог.

Обработка временных рядов проводилась в системе компьютерной математики MATLAB с использованием программных пакетов Signal Processing, Simulink, Wavelet Toolbox.

Анализ полученных результатов свидетельствует о высокой эффективности процедуры очистки от шумов, причиной которых является аппаратная часть эксперимента для сигнала с частотой 5 МГц. Процедура очистки от шумов приводит к существенному снижению дисперсии, что свидетельствует о возможности повышения точности оценки результата измерений.

Сравнительные характеристики GNSS-приемников



Определение частоты опорного генератора GPS-спутника №14

Спутник №14 :

- Частота опорного генератора: - 5,343 E-12
- Навигационное сообщение TTS-2: - 5,4 E-12
- Оценка погрешности с учетом
разности шкал UTC –UTC(UA): - 1,53 E-13

Миссии по изучению гравитационного поля Луны

- **Миссия космической станции Lunar Prospector.**
- **Миссия с использованием японского зонда Кагуя/Selene.**
- **Миссия NASA Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL).**

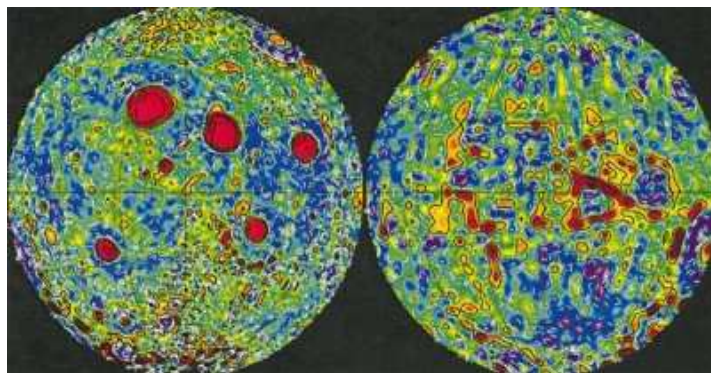
Миссия Lunar Protection



Автоматическая межпланетная станция Lunar Prospector была предназначена для глобальной съёмки элементного состава поверхности Луны, исследования её гравитационного поля и внутреннего строения, магнитного поля и выделения летучих веществ.

В результате полета АМС по возмущениям в движении были обнаружены 7 новых масконов (сокращенно от «концентрации масс»). Также была создана модель гравитационного поля Луны с гармониками до 100-го порядка.

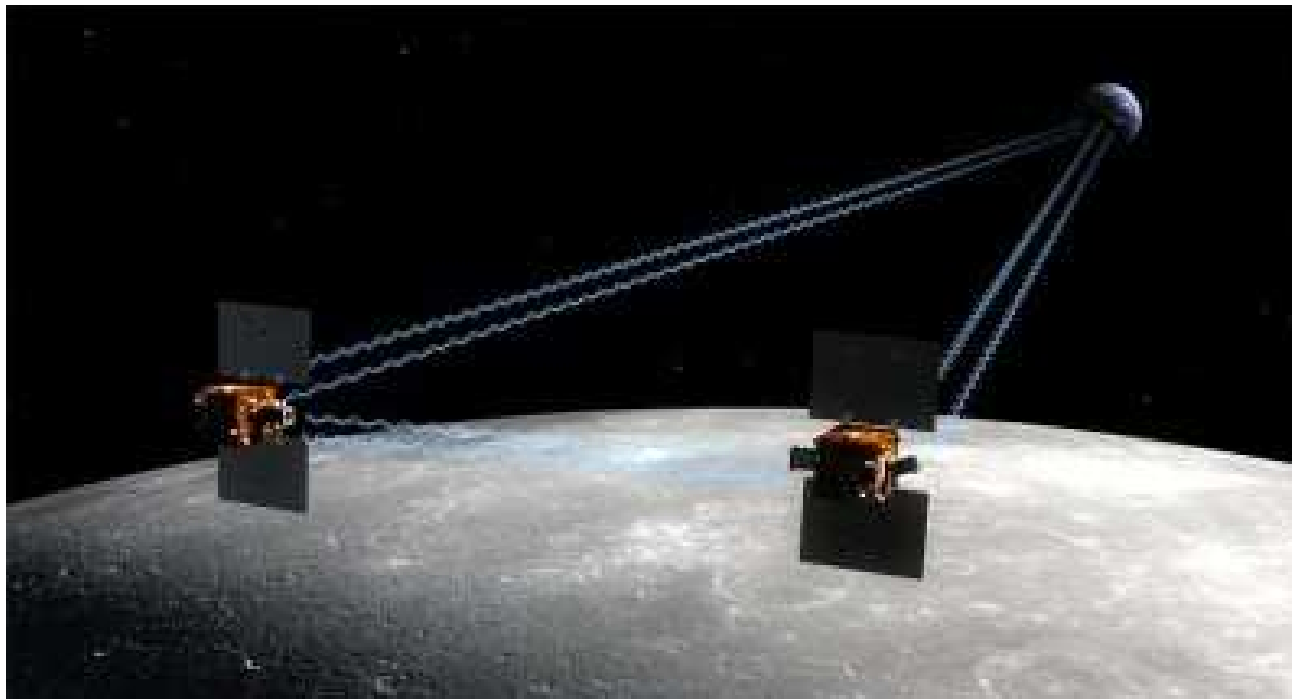
Миссия Кагуяа/SELENE



На основе собранных им данных составлена первая в истории подробная карта гравитационных аномалий на обратной стороне Луны. Для этого аппарату потребовалась помощь пары небольших отдельных модулей «Окина» и «Оуна», отправленных с него в полет еще в 2007 г. Некоторые свойства траектории полета всех трех зондов будут определяться гравитационным полем Луны, и изменениями в нем. Фиксируя параметры полета – и своего, и дополнительных модулей – Кагуяа/SELENE и провел самые точные замеры гравитационного поля спутника. При этом сам он так и не появился в прямой видимости с Земли: данные с него на наземные станции ретранслировались тоже одним из «ассистентов».

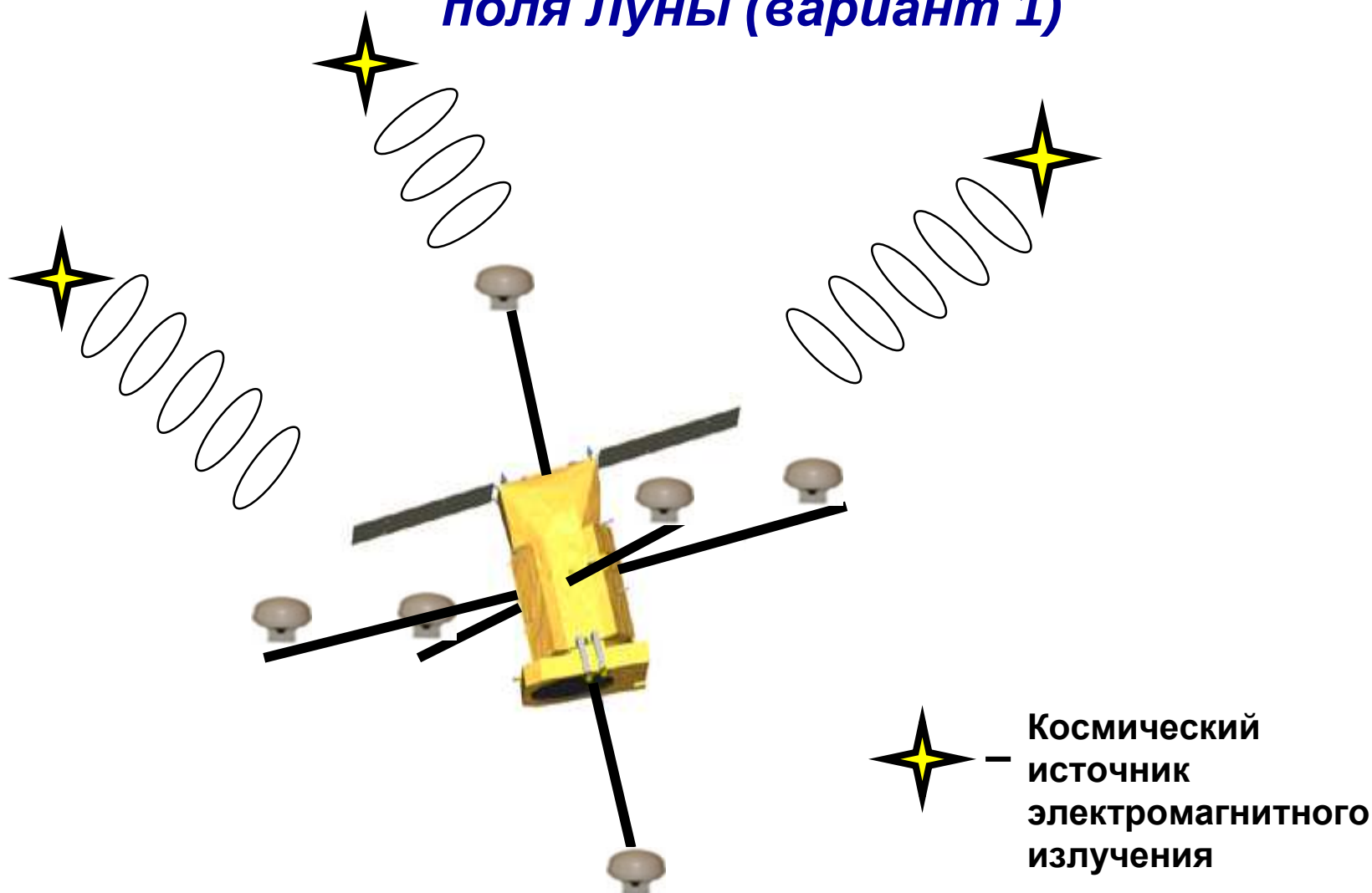
Проект GRAIL

Миссия NASA Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) по исследованиям гравитационного поля Луны намечена на 2011 год.



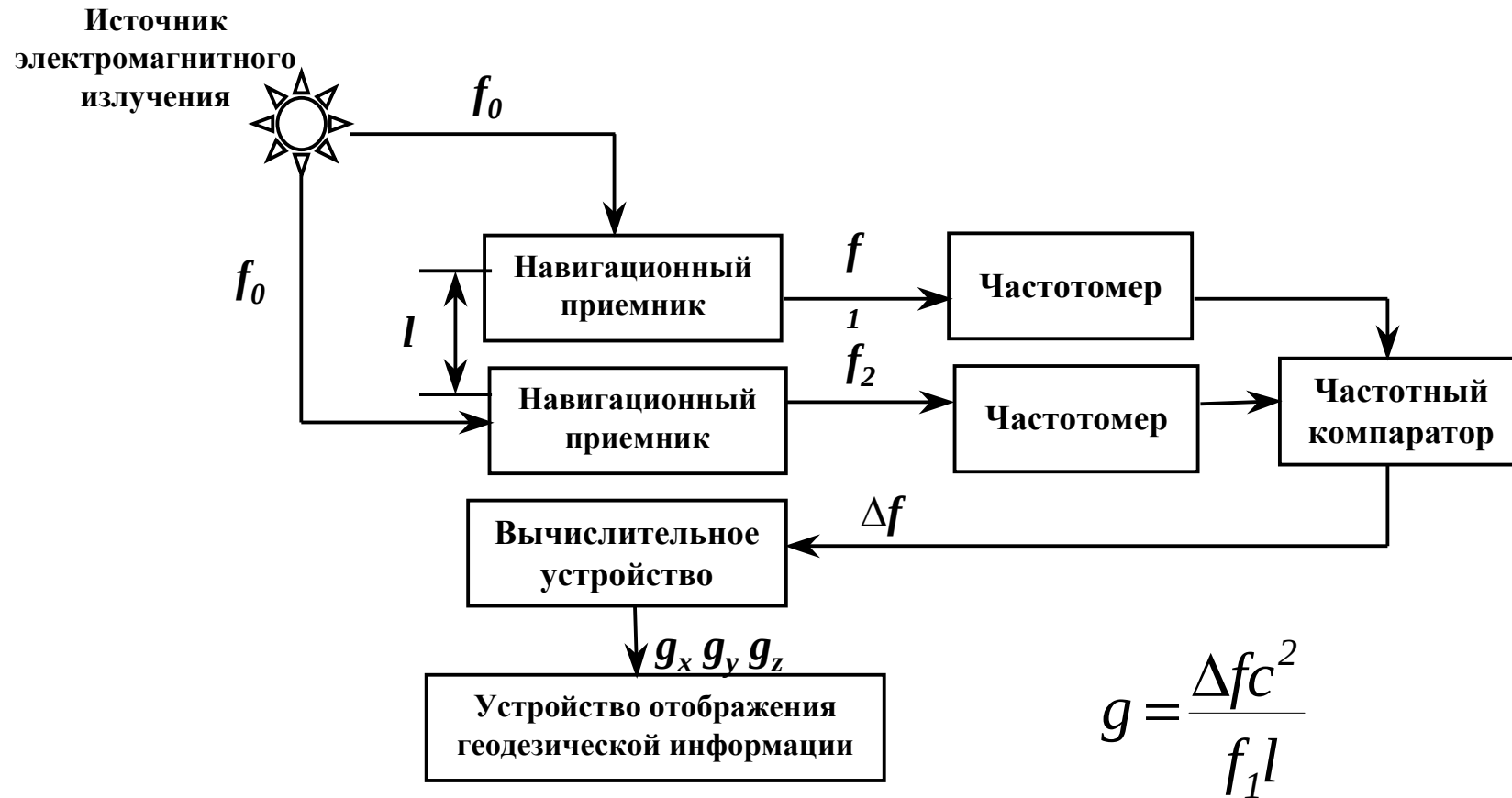
GRAIL запустит на несколько месяцев вокруг Луны две одинаковые космические станции, одну за другой. Все это время система измерения дальности будет производить точные измерения расстояния между двумя спутниками. Наблюдая за тем, как будет увеличиваться и сокращаться расстояние, когда оба спутника будут пролетать над лунной поверхностью, исследователи смогут составить карту гравитационного поля нижележащих районов Луны.

Космическая радиофизическая система измерения параметров гравитационного поля Луны (вариант 1)

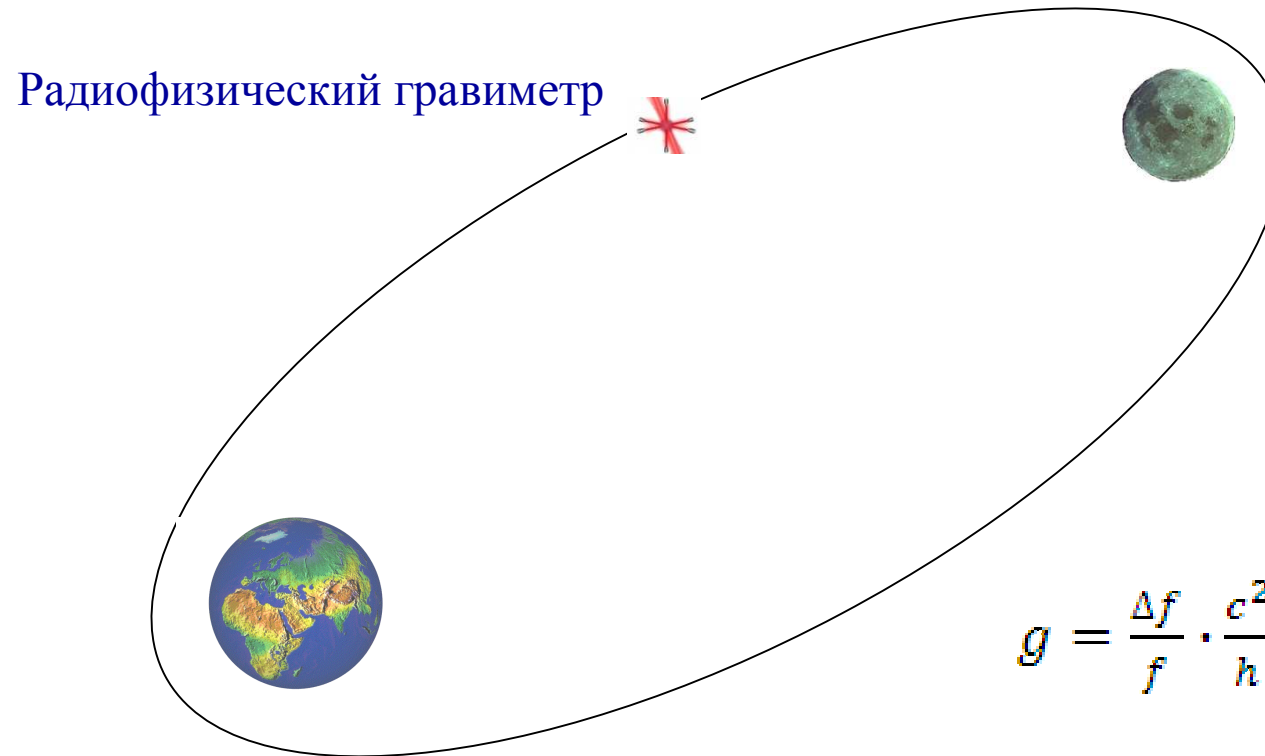


Принцип построения системы измерения параметров гравитационного поля Луны (вариант 1)

Заявка на патент Украины а2010 06857. Способ определения геодезических параметров и устройство для его осуществления.
Авторы: Матвиенко С.А., Романько В.Н., Романько О.В.



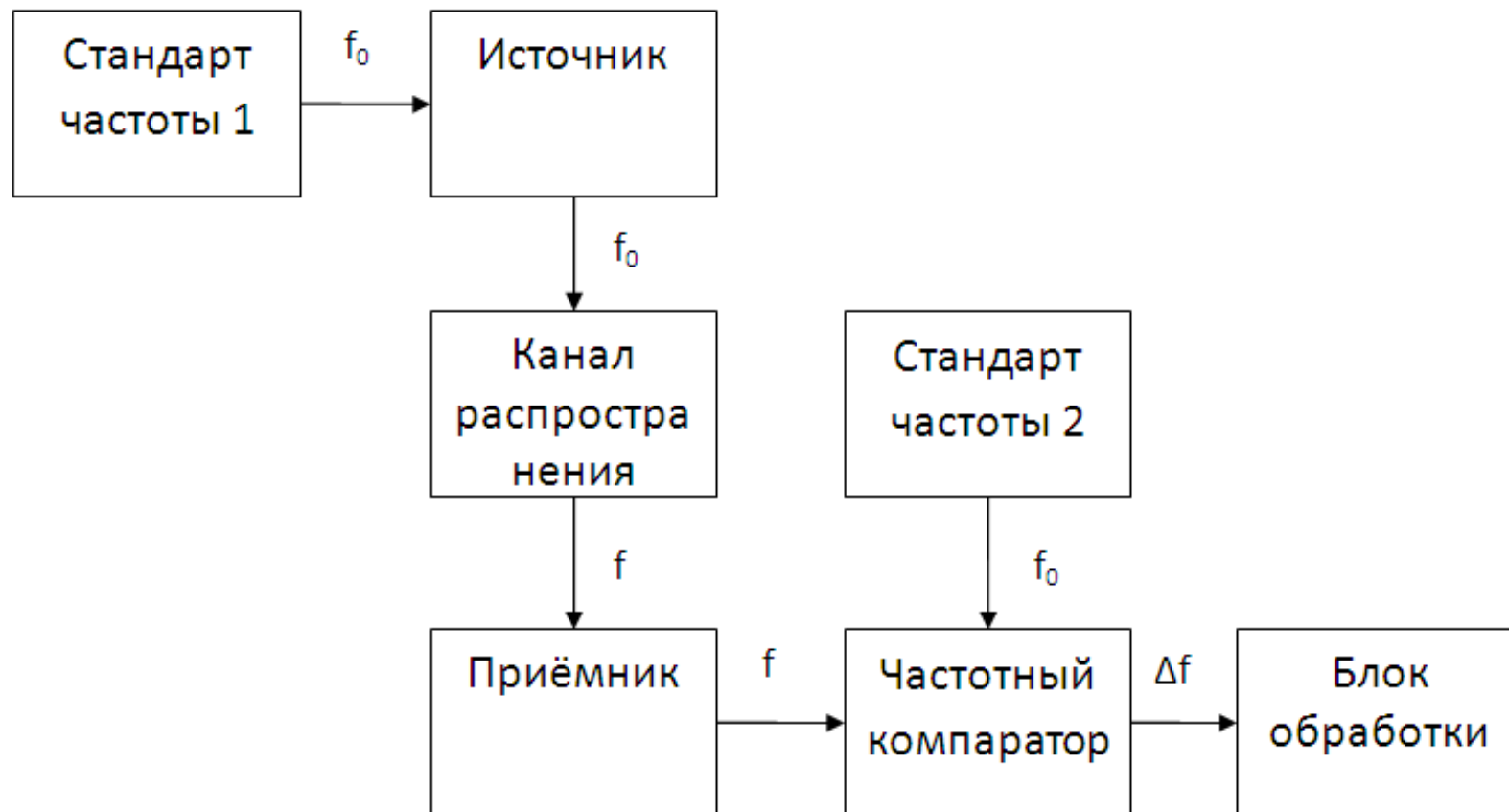
Космическая радиофизическая система измерения параметров гравитационного поля Луны (вариант 2)



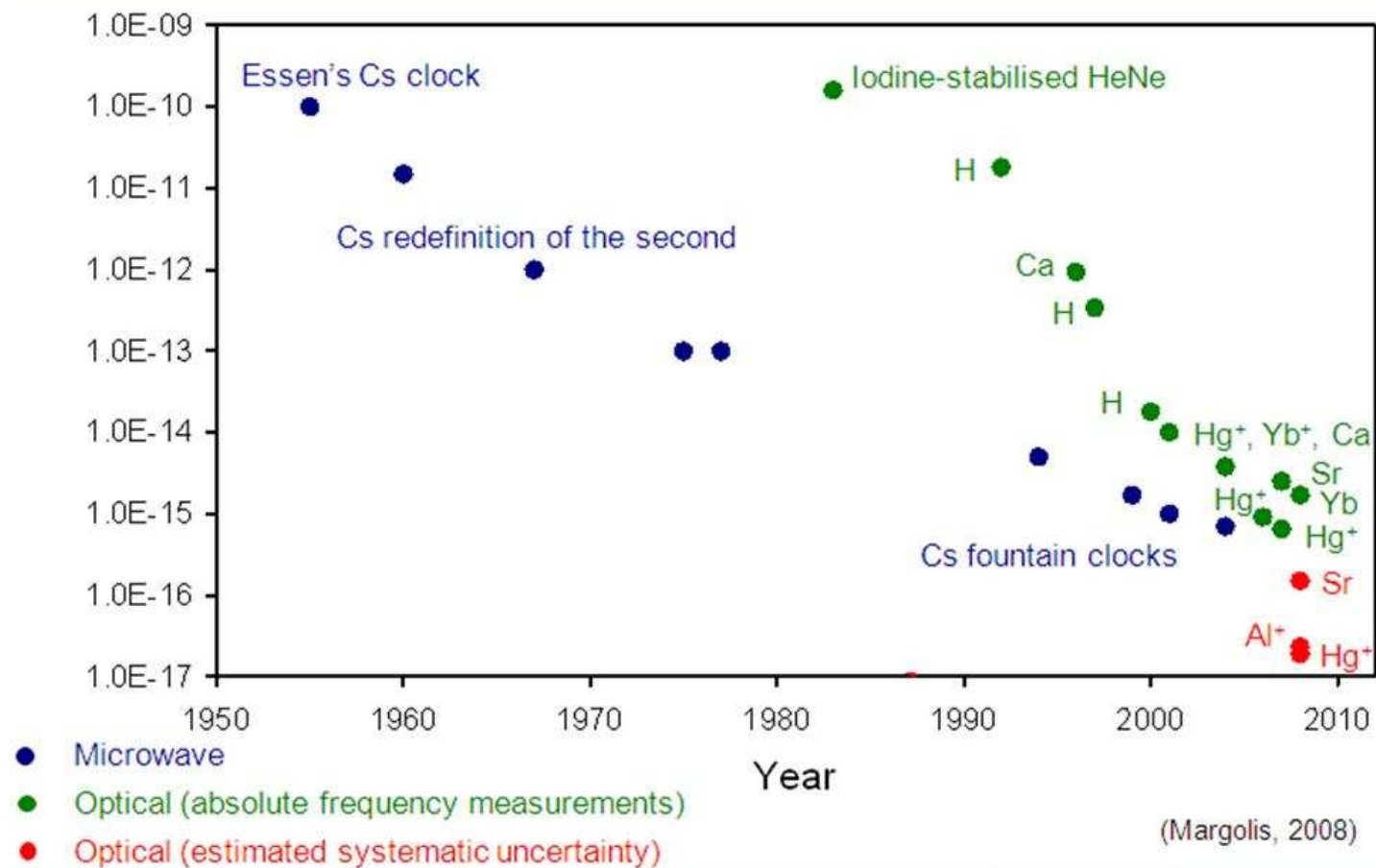
Радиофизический гравиметр

Патент Украины на изобретение № 90961 от 10.06.2010.

Радиофизический гравиметр. Авторы: Матвиенко С.А., Матвиенко А.П., Мелешко А.В.

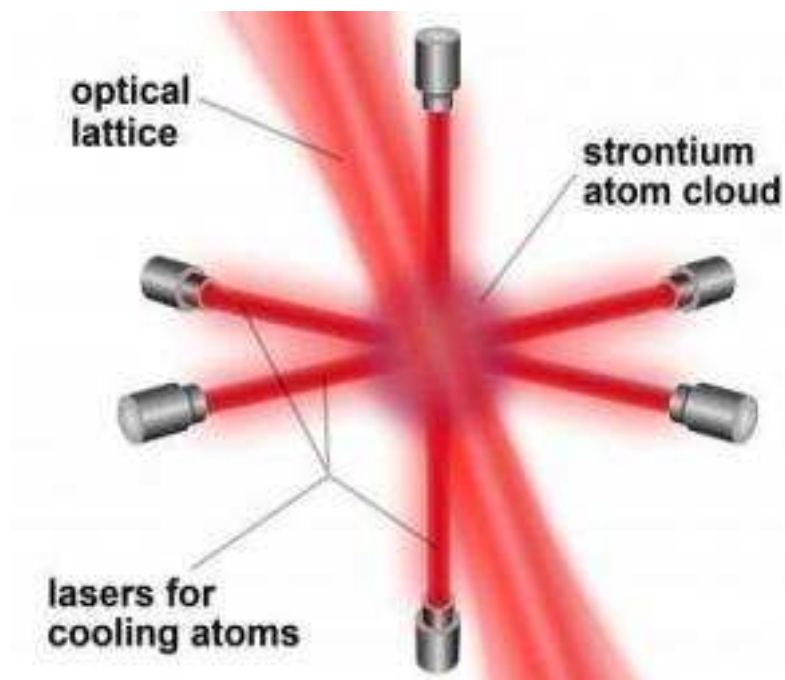


Эволюция стандартов частоты

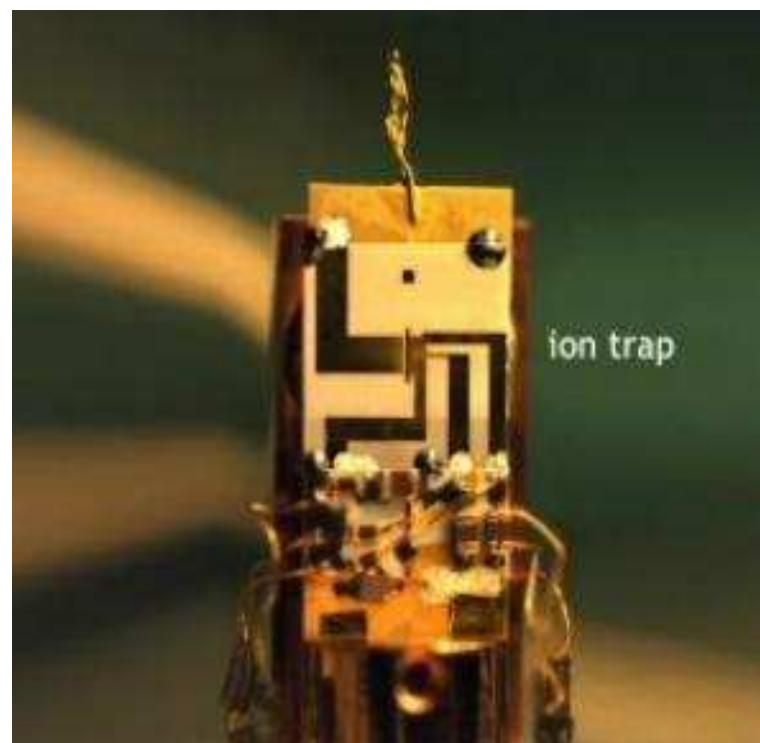


Последние разработки эталонов частоты

Атомные стронциевые часы JILA:
точность 10^{-16}



Квантовые логические часы NIST:
точность 10^{-17}



Выводы

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- Радиофизический метод является новым методом измерения параметров гравитационного поля;
- Радиофизический гравиметр является единственным устройством, которое позволяет автономно измерять параметры гравитационного поля во всех трех плоскостях как стационарно, так и на движущихся объектах;
- Создание радиофизического гравиметра означает переход от существующих механических устройств такого типа к лазерным и позволит осуществить гравиметрические миссии как в ближнем, так и в дальнем космосе;
- Применение радиофизического метода в европейской навигационной системе “Галилео” и в проекте ACES на МКС позволит Украине участвовать в этих перспективных программах.