

## КЛАССИЧЕСКИЙ БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ГРАВИОМЕТР НА ОСНОВЕ ОПТОДИНАМИКИ МИКРОЧАСТИЦЫ

Лешев А.С.<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Рождественский Ю.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

19leshal@gmail.com

### Введение

Измерение силы тяжести представляет собой значимую практическую задачу в решении широкого спектра проблем, включая геологические исследования, изучение космических объектов и определение гравитационной постоянной. В настоящее время разработан ряд гравиметрических методов [1], общим принципом которых является наблюдение за движением пробного тела, например груза массой порядка нескольких килограмм, зеркала, одиночного атома или атомного облака в гравитационном поле. Теоретически, квантовые гравиметры обладают потенциалом достижения исключительной точности измерений [2], однако технические сложности реализации ограничивают их практическую точность. Поскольку гравитационное воздействие пропорционально массе объекта, использование более массивных пробных тел рассматривается как перспективный путь повышения точности гравиметрических измерений [3].

### Основная часть

В представленной работе исследована динамика сферической диэлектрической микрочастицы в поле оптического излучения с гауссовым профилем пучка в условиях вакуума, а также проанализирована возможность использования представленной динамики для гравиметрии. В рассматриваемой системе частица движется под действием трёх сил: продольной оптической силы, направленной по распространению оптического пучка; градиентной оптической силы, направленной к оси пучка и силы тяжести. Ускорение свободного падения в силе тяжести представлено в виде суммы постоянного значения в фокусе пучка и градиента по вертикальной оси. Под действием указанных сил частица совершает колебательное движение по спиральной траектории, радиус которой возрастает по мере удаления от фокуса пучка.

Для проведения гравиметрических измерений исследуется режим, при котором амплитуда поперечных колебаний частицы пренебрежимо мала. В этом случае движение частицы по вертикальной оси в первом приближении может быть описано моделью гармонического осциллятора. При известных параметрах лазерного излучения амплитуда и частота колебаний частицы становятся функциями исключительно от силы тяжести. Для определения обеих компонент ускорения свободного падения требуется измерить параметры колебаний на двух различных высотах при неизменных географических координатах. Далее, необходимо использовать теоретические значения постоянного значения и градиента ускорения свободного падения в качестве подгоночных параметров в уравнениях движения частицы и получить наилучшее совпадение теоретических и экспериментальных параметров колебаний частиц.

### Выводы

Таким образом, анализ динамики сферической микрочастицы в поле оптического излучения позволяет использовать данную систему для гравиметрии. По принципу действия предложенный метод аналогичен классическим баллистическим гравиметрам, где роль падающего тела выполняет микрочастица, а оптическое поле

выступает в качестве механизма, обеспечивающего её возвратное движение. Ключевым преимуществом является возможность регистрации непрерывной траектории, включающей как подъём, так и спуск частицы. Это позволяет, по сравнению с методом одиночных падений, набрать существенно больший статистический объём данных за то же время измерений.

Расчётная чувствительность метода потенциально не уступает точности современных квантовых гравиметров. Важным практическим преимуществом является его реализация в полностью классическом режиме и относительно простая экспериментальная конфигурация, что создаёт предпосылки для достижения высокой воспроизводимой точности в реальных условиях. Подобный уровень прецизионных измерений открывает новые возможности не только в прикладных областях, таких как геофизическая разведка и изучение гравитационного поля Земли, но и в фундаментальных исследованиях.

### Литература

1. Fang J., Wang W., Zhou Y., Li J., Zhang, D., Tang B., Zhong J., Hu J., Zhou F., Chen, X., Wang J., Zhan M. Classical and Atomic Gravimetry // Remote Sensing. 2024. Vol. 16, no. 14. P. 2634. <https://doi.org/10.3390/rs16142634>
2. Qvarfort S., Serafini A., Barker P. F., Bose S. Gravimetry through non-linear optomechanics // Nature communications. 2018. Vol. 9, no. 1. P. 3690. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06037-z>
3. Rademacher M., Millen J., Li Y. L. Quantum sensing with nanoparticles for gravimetry: when bigger is better // Advanced Optical Technologies. 2020. Vol. 9, no. 5. P. 227–239. <https://doi.org/10.1515/aot-2020-0019>