

УДК 621.039

Е. А. ИГУМЕНЦЕВ, Е. А. ПРОКОПЕНКО

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина

МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННОГО ГИРОСКОПА

Проведено моделирование магнитной индукции с использованием двух законов распределения вероятности электрического заряда вдоль радиуса вращающегося гироскопа. Показано, что для описания плотности распределения вероятности сферических слоев заряда вращающегося гироскопа целесообразно применять «хи»-распределение со степенью свободы четыре. Распределение плотности вероятности заряда сферических слоев вдоль радиуса вращающегося гироскопа - элементарной частицы определяется видом распределения заряда электрона, протона и нейтрона, полученным экспериментально.

Ключевые слова: гироскоп, магнитная индукция, напряженно-деформированное состояние, электромагнитная диагностика, электрический заряд, сферический вращающийся объект.

Введение

Применение гироскопов в приборостроении весьма разнообразно. Перспективы современного приборостроения связаны с использованием гироскопов в системах навигации, ориентации и стабилизации. Этим объясняется большое внимание в науке и технике, уделяемое в настоящее время разработке моделей гироскопов и исследованию их характеристик. Представляет практический интерес изучение объективных процессов перераспределения собственной энергии вращающегося гироскопа.

Актуальность изучения свойств и характеристик гироскопов подтверждается большим количеством публикаций [1] - [3].

В работе [1] рассмотрена детерминированная постановка задачи исследования напряженно-деформированного состояния заряженного гироскопа.

Работа [2] посвящена более широкому решению этой же задачи за счет применения распределения вероятности Максвелла. Получены выражения для определения магнитной индукции, использующие два закона распределения вероятности электрического заряда вдоль радиуса исследуемого вращающегося гироскопа: «хи» - распределение и «хи квадрат» - распределение.

Целью данной работы моделирование магнитной индукции с использованием двух законов распределения вероятности электрического заряда вдоль радиуса вращающегося гироскопа. В качестве моделей гироскопа рассматриваются вращающиеся элементарные частицы: электрон, нейтрон и протон.

Результаты исследований

Известно [2], что суммарную магнитную индукцию вращающегося гироскопа в направлении оси ω можно представить в виде:

$$B_{\omega} = \frac{8 \cdot k_{\varepsilon} \cdot \pi \cdot \rho \cdot \omega}{3c^2} \int_0^R r dr. \quad (1)$$

Данные, полученные в опытах по рассеянию электронов высоких энергий [4], позволили получить радиальное распределение заряда (рис. 1) внутри протона и нейтрона, считая от центра частицы. Вычтем из распределения заряда внутри нейтрона распределение заряда внутри протона. В результате получим, как нам кажется, распределение электрона. Здесь приведено нормированное значение с коэффициентом нормировки (см. рис. 1).

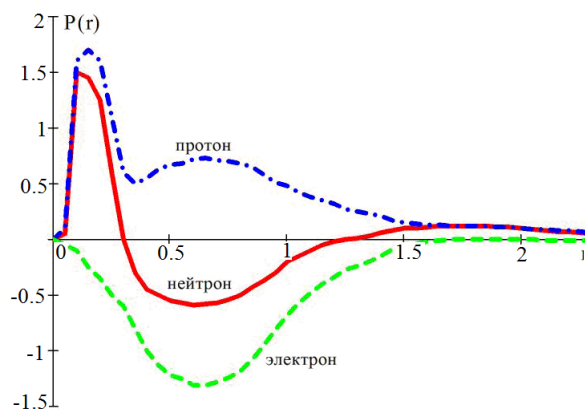


Рис. 1. Кривые радиального распределения заряда

На рис. 1 ординаты пропорциональны заряду тонкой сферической оболочки радиусом r . Площадь под всей кривой распределения до нормирования для протона равна заряду протона. Площадь, соответствующая всей кривой распределения до нормирования для нейтрона, равна нулю.

Площадь под кривой плотности заряда электрона (см. рис. 1) в функции радиуса равна заряду электрона. Поэтому радиальная плотность заряда $e(r)$ может быть представлена произведением заряда электрона (e) на некоторую плотность вероятности $P(r)$. Эта плотность вероятности и приведена на рис. 1, т.е. проведено нормирование

$$e(r) = e \cdot P(r).$$

Нормирование проведено таким образом, что бы выполнялось условие

$$\int_0^R e(r) dr = \int_0^R e \cdot P(r) dr = e.$$

Радиальная вероятность $P(r)dr$ есть вероятность обнаружения величины заряда в пространстве между двумя концентрическими сферами с радиусами r и $r + dr$ [1]. Если плотность вероятности величины заряда вдоль радиуса обозначить $p(V)$, а элемент объема, зависящий только от радиуса, представляет собой сферическую оболочку, ограниченную двумя концентрическими сферическими поверхностями радиусами r и $r + dr$ с объемом $dV_r = 4\pi r^2 dr$, то радиальная вероятность заряда в объеме dV_r получается равной:

$$\begin{aligned} P(V)dr &= p(V)dV_r = p(V) \cdot 4\pi r^2 dr; \\ \rho &= e \cdot P(V); \quad P(V) = P(r) / 4\pi r^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Подставим последнее равенство (2) в соотношение (1) и получим выражение магнитной индукции электрона-гирокопа:

$$B_{\omega} = \frac{2k_e e \omega}{3c^2} \int_0^R P(r) r^{-1} dr. \quad (3)$$

Рассмотрим распределение молекул идеального газа по скоростям. По молекулярно-кинетической теории, как бы ни изменялись скорости молекул при столкновениях, средняя квадратичная скорость молекул газа, находящегося в состоянии равновесия, остается постоянной [4]. Это обусловлено тем, что в газе, находящемся в состоянии равновесия, устанавливается некоторое стационарное, не меняющееся

со временем, распределение молекул по скоростям, которое подчиняется статистическому закону, выведенному Максвеллом.

Однако, выражение для определения заряда [3] в функции локальной энергии и радиуса отличается от распределения Максвелла. Плотность распределения вероятности нахождения локальной энергии является хи-распределением с k степенями свободы. Умножая эту плотность вероятности на r/c , получим усеченное хи-распределение со степенью свободы $k + 1$. В результате нормировки получим распределение плотности электрического заряда в виде хи-распределения со степенью свободы $k + 1$. Для электрона $k = 4$, для нейтрона $k = 7$, для протона $k = 10$.

$$P_k(r) = \frac{r^{k-1} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)}{2^{\frac{k-2}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right) \sigma^k}. \quad (4)$$

Подставим хи-распределение (4) в (3) и получим выражение магнитной индукции сферического слоя вращающегося гирокопа при $k = 4$ соответственно электрона и $k = 10$ протона. Выражением суммарной магнитной индукции есть интегралы:

$$B_{\omega, \text{э}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{k_e e \omega}{3c^2 \sigma} \int_0^R \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{r^2 \exp(-r^2/2\sigma^2) dr}{\sigma^3};$$

$$B_{\omega, \text{п}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{35k_e e \omega}{2^7 c^2 \sigma} \int_0^R \frac{r^8 \exp(-r^2/2\sigma^2) dr}{2^{\frac{9-2}{2}} \Gamma(9/2) \sigma}.$$

Интегралы в представленном соотношении равны единице, т.к. подынтегральным выражением есть хи-распределение. Принимая это во внимание, получим окончательное выражение для суммарной магнитной индукции гирокопа-электрона и гирокопа-протона:

$$B_{\omega, \text{э}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{k_e e \omega}{3c^2 \sigma}; \quad (5)$$

$$B_{\omega, \text{п}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{35k_e e \omega}{2^7 c^2 \sigma}.$$

Вектор индукции магнитного поля B_{ω} электрона направлен вдоль оси ω и является суммой отдельных проекций распределенных по поверхности электрона. Здесь направление элементарных векторов магнитной индукции охватывает всю по-

верхность электрона, а максимальное значение сонаправлено с осью вращения ω . Проекция на ось, ортогональную ω , равны нулю. Таким образом, сумма проекций на ось ω и является суммарным мгновенным вектором магнитной индукции.

Заключение

1. Для описания плотности распределения вероятности сферических слоев заряда вращающегося электрона-гирокопа целесообразно применять не распределение Максвелла, а хи-распределение со степенью свободы четыре.

2. Распределение плотности вероятности заряда сферических слоев вдоль радиуса вращающегося гироскопа - элементарной частицы определяется видом распределения заряда электрона, протона и нейтрона, полученным экспериментально.

Литература

1. Игуменцев, Е. А. Электромагнитная диагностика напряженно-деформированного состояния бесконтактным методом [Текст] / Е. А. Игуменцев, Е. А. Прокопенко // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2011. – № 3 (79). – С. 429-432.
2. Игуменцев, Е. А. Устойчивость заряженно-го гироскопа [Текст] / Е. А. Игуменцев, Е. А. Прокопенко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 7 (94). – С. 171-175.
3. Игуменцев, Е. А. Момент импульса заряженного гироскопа [Текст] / Е. А. Игуменцев, Е. А. Прокопенко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 8 (85). – С. 117-121.
4. Игуменцев, Е. А. Электромагнитные составляющие частоты вращения заряженного гироскопа [Текст] / Е. А. Игуменцев, Е. А. Прокопенко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2013. – № 10 (107). – С. 30-36.
5. Горкунов, Б. М. Вихрековый контроль поверхностных и подповерхностных деформаций структуры цилиндрических валов [Текст] / Б. М. Горкунов, В. В. Скопенко, И. В. Тюпа // *Вестник НТУ «ХПИ» : сб. науч. тр. – Х. : НТУ «ХПИ»*. – 2010. – Вып. 28. – С. 538-539.
6. Игуменцев, Е. А. Диагностика напряженно-го состояния [Текст] / Е. А. Игуменцев, Е. А. Прокопенко // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – Кременчук : КрНУ, 2012. – Вип. 3 (19). – С. 566-568.

7. Булгаков, Б. В. Прикладная теория гироскопов [Текст] / Б. В. Булгаков. – М. : Госиздат, 1976. – 400 с.

8. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики [Текст] / С. М. Тарг. – М. : Наука, 1967. – 478 с.

9. Репченко, О. Полевая физика [Текст] / О. Репченко. – М. : Изд-во Галерея. 2005. – 314 с.

10. Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] : учеб. пособие / Т. И. Трофимова. – М. : Изд-во Академия, 2008. – 560 с.

References

1. Igumentsev, E. A., Prokopenko, E. A. Elektromagnitnaia diagnostika napriazhenno-deformirovannogo sostoiania bezkontaktnim metodom [Electromagnetic diagnostics of the stress-strain state a noncontact method]. *Electrotekhnicheskie i khomp'uternie sistemi*, 2011, no. 3 (79), pp. 429-432.
2. Igumentsev, E. A., Prokopenko, E. A. Us-toitchivost' zariazhennoho hiroskopa [Stability rotation of the charged gyroscope]. *Aviatcionno-kosmicheskaiia tekhnika i tekhnolohia*, 2012, no. 7 (94), pp. 171 -175.
3. Igumentsev, E. A., Prokopenko, E. A. Moment impul'sa zariazhennoho hiroskopa [Moment of impulse of the charged gyroscope]. *Aviatcionno-kosmicheskaiia tekhnika i tekhnolohia*, 2011, no. 8 (85), pp. 117-121.
4. Igumentsev E.A., Prokopenko E.A. Elektromagnitnie sostavliaiutchie tchastoti vraschenia zariazhennoho hiroskopa [Electromagnetic components of the charged gyroscope rotational frequency]. *Aviatcionno-kosmicheskaiia tekhnika i tekhnolohia*, 2013, no. 10 (107), pp. 30 -36.
5. Gorkunov, B. M. Skopenko, V. V., Tyupa, I. V. Vikhretokovii kontrol' poverkhnosnikh i podpoverkhnosnikh deformatcii cilindricheskikh valov [Vortex-current control of superficial and subsuperficial deformations of structure of cylindrical billows], *Vestnikh NTU «KHPI»*, 2010, vol. 28, pp. 538-539.
6. Igumentsev, E. A., Prokopenko, E. A. Diagnostika napriazhennoho sostoiania [Diagnostics of the stress-strain state]. *Elektromekhanichni i Energoberegayushchie systemy*, Kremenichuh, 2012, no. 3 (19), pp. 566-568.
7. Bulhakov, B. V. Prikladnaia teoria hiroskopov [Applied theory of gyroscopes]. Moscow, Gosizdat Publ., 1976. 400 p.
8. Tarh S. M. Kratkii kurs teoreticheskoi mekhaniki [Short course of theoretical mechanics]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 478 p.
9. Repchenko O. Polevaia fizika [Field physics], Moscow, Galereia Publ., 2005. 314p.
10. Trofimova, T. I. Kurs fiziki [Course of physics]. Moscow, Akademia Publ., 2008. 560 p.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. отделом проблем управления магнитным полем Б. И. Кузнецов, Научно-технический центр магнетизма технических объектов НАНУ, Харьков.

МАГНІТНА ІНДУКЦІЯ ГІРОСКОПУ, ЩО МАЄ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

Є. О. Ігуменцев, О. О. Прокопенко

Проведено моделювання магнітної індукції з використанням двох законів розподілу ймовірності електричного заряду вздовж радіуса обертового гіроскопа. Показано, що для опису щільності розподілу ймовірності сферичних шарів заряду обертового гіроскопа доцільно застосовувати « χ^4 » - розподіл зі ступенем свободи чотири. Розподіл щільності ймовірності заряду сферичних шарів уздовж радіуса обертового гіроскопа - елементарної частинки визначається видом розподілу заряду електрона, протона і нейтрона, отриманим експериментально.

Ключові слова: гіроскоп, магнітна індукція, напружено-деформований стан, електромагнітна діагностика, електричний заряд, сферичний об'єкт, що обертається.

MAGNETIC INDUCTION IN THE GYRO WITH AN ELECTRIC CHARGE

I. Igumentsev, O. Prokopenko

In the article we simulated the magnetic induction of a gyroscope with an electric charge. Two laws of the distribution of the probability of electric charge along the radius of the rotating gyroscope were used. The probability density distribution of the spherical charge layers in a rotating gyroscope is described. It is shown that the " χ^4 " distribution with the degree of four freedom is expedient to apply. The distribution of the probability density in spherical layers with charge along the radius of a rotating gyroscope - an elementary particle is determined. This distribution depends on the type of charge distribution of the electron, proton, and neutron. The charge distributions of an electron, a proton, and a neutron are obtained experimentally.

Keywords: gyro, magnetic induction, tensely-deformed state, electromagnetic diagnostics, electric charge, spherical revolved object.

Игуменцев Евгений Александрович – д-р техн. наук, проф., проф. каф. теплоэнергетики и энергосберегающих технологий Украинской инженерно-педагогической академии Харьков, Украина, e-mail: izumea@i.ua.

Прокопенко Елена Александровна – канд. техн. наук, доц., доц. каф. теплоэнергетики и энергосберегающих технологий Украинской инженерно-педагогической академии Харьков, Украина, e-mail: lleennaa@i.ua.

Igumentsev Ievgen Oleksandrovich - Doctor of Technical Science. Professor of Dept. of Thermal Energy and Energy-Saving Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy Kharkov, Ukraine, e-mail: izumea@i.ua.

Prokopenko Olena Oleksandrivna - Candidate of Technical Science. Assistant Professor of Dept. of Thermal Energy and Energy-Saving Technologies, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy Kharkov, Ukraine, e-mail: lleennaa@i.ua.