ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

УДК 629.78

РАДИАЦИОННЫЙ МОМЕНТ, ВОЗНИКАЮЩИЙ НА ЧЕРНО – БЕЛЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ТЕЛАХ

ДЖУМАНАЛИЕВ Н.Д.
КГТУ им. И. Раззакова
izvestiya@ktu.aknet.kg

В данный статье вычислены вращательные моменты, формирующиеся при взаимодействии черно-белых тел (сфера, цилиндр) правильной геометрической формы со световым потоком. Отмечается, что при отклонениях от положения равновесия вращательный момент растет, пропорциональна квадрату угла поворота.

Одним из интересных и важных астрофизических факторов является солнечное световое давление

Развитие космонавтики показало, что солнечное световое давление может оказывать и оказывает существенное влияние и на движение искусственных небесных тел.

Таким образом, возникло необходимость в решении задач, посвященных проблеме использования эффекта светового давления для создания силы тяги или для получения моментов, регулирующих угловое положение космических аппаратов.

Подсчитаем радиационные силы и моменты действующие на тело произвольной формы.

Теория электромагнитного поля [1] дает следующее выражение для силы, действующей на единицы поверхности тела, от которого отражается электромагнитная волна

$$\vec{P} = W\,\vec{l}\,(\vec{n}\,\vec{l}\,) + W^1(\vec{n}\,\vec{l}^{\,1}) \qquad (1)$$

где: $\vec{n}$ - вектор нормали к поверхности тела

W, W^1 – плотности энергии падающей и отраженной волны,

$(\vec{l},\vec{l}^{\,1})$ - единичные векторы нормами к фронтом подающих и отраженных волн.

Введя коэффициент отражения $E = \dfrac{W^1}{W}$ и угол падения $(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n})$(и равный ему же угол отражения) и переходя к компонентам, найдем нормальную тангенциальную компоненты светового давления

$$\begin{aligned} P_n &= W(1+\varepsilon)\cos^2(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n}) \\ P_\tau &= W(1-\varepsilon)\sin((\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n})\cos(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n}) \end{aligned} \qquad (2)$$

Величина светового давления на перпендикулярную лучам абсолютно черную площадку прямо пропорциональна мощности излучения и на расстоянии R от центра солнца дается формулой

$$P_0 = \frac{E_0}{C}\left(\frac{R_0}{R}\right)^2 \qquad (3)$$

где: R_0- средней радиус орбиты земли.

R – расстояние аппарата до солнца (в гелиоцентрической системе координат),

E_0 – величина потока энергии на расстоянии R_0 от центра солнца.

$E_0 \cong 2кал / мин.см^2$

При $R=R_0$ из выражения (3) следует, что

$$P_0 = \frac{E_0}{C} \cong 4{,}64 \cdot 10^{-5}\,\frac{дин}{см^2} \cong 0{,}46 \cdot 10^{-5}\,Па$$

Таким образом, величина солнечного светового давления обратно пропорциональна квадрату расстояния от солнца. Запишем основные соотношения для сил и моментов сил, возникающих при падении света на произвольное тело, которое способно менять свою ориентацию относительно потока света.

Для этого выберем неподвижную систему координат x y z и систему координат x^1 y^1 z^1,связанную с телом. Направляющие косинусы подвижной системы относительно x y z является функциями времени.

Обозначим орты осе x, y, z через $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$. при этом вектор внешней нормами в каждой точке поверхности тела принимает вид.

$$\vec{n} = n_x \vec{i} + n_y \vec{j} + n_z \vec{k}$$

Обозначим далее единичный вектор, противоположный направлению светового потока, через $\vec{l}$, а его направляющие косинусы в неподвижной системе координат осей через $l_x, l_y, l_z.$

Величин $l_x, l_y, l_z.$ будут также функциями времени.

Границу освещенной части поверхности тела (терминатор) определим исходя из того, что в каждой точке терминатора вектор $\vec{l}$ лежит в касательной плоскости. Следовательно на границе тени $\vec{l}\,\vec{n} = 0$

Рассматривая взаимодействие потока света с элементарной площадкой ds, полагаем в соответствии с законами геометрической оптики, что угол падения равен углу отражения; падающие и отраженные лучи лежат в одной плоскости, нормальной к ds.

Тогда поверхностная плотность пондерматорной силы, действующей на элементарную площадку поверхности тела с произвольным коэффициентом отражения с учетом равенства (2) имеет вид

$$\vec{P} = \frac{E_0}{R}\left(\frac{R_0}{R}\right)^2 [(1+\varepsilon)(\vec{n}\,\vec{l})^2\,\vec{n} + (1-\varepsilon)\left|[(\vec{l}\,\vec{n})]\right|(\vec{n}\,\hat{}\,\vec{l})\,\vec{\tau}_0] \qquad (4)$$

где: $\vec{l}\,\vec{n} = cos(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n})$ $\quad \left|[\vec{l}\,\vec{n}]\right| = \sin(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n})$

$\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n}$ - угол между нормально и падающим лучом.

Для идеально отражающей (ε=1) u поглощающей (ε=0) поверхностей из формы (2) с учетом (3) имеет

$$\vec{P}_{\varepsilon=1} = 2P_0 \cos^2(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n})\,\vec{n} \qquad (5)$$

$$\vec{P}_{\varepsilon=0} = P_0[\cos^2(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n})\,\vec{n} + \cos(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n})\sin(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n})\,\vec{\tau}_0] \qquad (6)$$

Отсюда видно, что для поглощающей поверхности существует кроме нормального усилия еще и касательное

$$P_n = P_0\,cos^2(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n}) \quad P_\varepsilon = P_0 \sin(\vec{l}\,\hat{}\,\vec{n}) \quad \vec{P} = P_n \vec{n} + P_\tau \vec{\tau}_0) \qquad (7)$$

Следует отметить, что строгое решение задачи об отражении света от поверхности вещества требует применения формул Френеля [2]
с использованием оптических характеристик материала, являющихся функции частоты световых колебаний из формул (3)и (4) следует, что для отражающей зеркальной поверхности давление излучения направлено по нормали к поверхности, в то время как на абсолютно поглощающую поверхность, давление действует параллельно падающему лучу.

Полная сила $\vec{F}$ светового давления, действующая на тело произвольной формы, равна

$$\vec{F} = \int d\,\vec{F} = \int (Px\,\vec{i} + Py\,\vec{j} + Pz\,\vec{k})ds \quad (8)$$

где (S) – освещенная часть поверхности, то есть та часть, где $\vec{l}\,\vec{n} \geq 0$

Момент силы светового давления равен

$$\vec{M} = \int_s [\vec{r}\,d\vec{F}] \quad (9)$$

где $\vec{r}$ - радиус – вектор точки относительно центра масс тела на рассматриваемой поверхности.

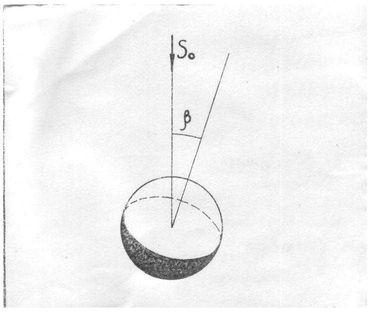
Подынтегральные выражения и область интегрирования зависят от параметров поверхности тела и его ориентации.

По этому вычисление сил и моментов представляют определенные трудности и требует задания конкретной формы тела. Совокупность формул (4), (8), (9),

Определяет силовое воздействие потока света на тело помещенное в этот поток.

Возмущающий момент, возникающий под действием солнечной радиации, зависит от формы, размеров тело и отражательной способности его поверхности.

Если космический аппарат имеет форму сферической оболочки, часть поверхности которой отражает свет, а часть поглощает, то вращательный момент не формируется на ее отражающих участках, рис. 1



Отсюда следует, что если одна полусфера белая, а другая черная, давление излучения будет стремиться удержать белую полусферу направленной, на солнце, [3]
Это положение дает принципиальную возможность создать космический объект с пассивной солнечной ориентацией.

Величина управляющего момента возрастает при отклонении от равновесного положения, так что освещенное солнцем черно-белое тело находится в свое образной потенциальной яме рис.1. расчеты показывают, что возвращающий момент для черно белой сферы и единичного отрезка черно-белого цилиндра равен

$$M = K_{1,2} P_0 \sin^2 \beta \qquad (10)$$

$$K_1 = \frac{2R_0}{3} \text{ для сферы}$$

$$K_2 = \frac{1}{2} R_0^2 \text{ для цилиндра}$$

R_0- радиус сферы или цилиндра

Заданный выражением (1) момент управляет угловым положением сферы по крену тангажу, а в случае цилиндра поворотом вокруг его оси симметрии. Ориентация белой половины тело на солнце объяснятся тем, что световое давление на белой стороне сферы и цилиндра направлено по нормали к поверхности, т. е. по радиусу, и не дает вклада во вращательный момент

Литература

1. Б.В. Раушенбах, G. Н. Токарь.
Сб. искусственные спутники звали, выпуск 5, из –во Ан СССР, 1960, стр 41.
2. Г.С. Ландсберг. Оптика. Гостехтеарет издать. 1957
3. Джуманалиев Н.Д. Кмселев М.И.
Омалых Колебанях черно-белых тел, стабилизированных световым давлением. – космич. Иссед, 1967, Т.5 № 4, С. 636-637.