

Таблица 2.

Контактная площадь и потеря массы стальных контртел

	исходное состояние	после ТО	после РКУП	После РКУП и ТО
Площадь контакта А, мм ²	1	0,8	0,4	0,2
Потеря массы $\Delta m \cdot 10^{-6}$ г	0,54	0,62	0,60	0,75

Заключение. Таким образом, применение ИПД РКУП приводит к формированию однородной структуры матричного типа: феррит и равномерно распределенные карбидные частицы двух размеров: крупная фракция карбидов имеет средний размер 3 мкм, высокодисперсная – около 100 нм. После закалки и низкого отпуска стали после РКУП получается мартенсит отпуска с дисперсными карбидами. Такая структура демонстрирует значительное изменение трибологических свойств.

Список литературы

1. Караваева М.В. Микроструктура и механические свойства среднеуглеродистой стали, подвергнутой интенсивной пластической деформации / М.В. Караваева, С.К. Нуриева, Н.Г. Зарипов, А.В. Ганеев, Р.З. Валиев // МиТОМ. – 2012. – №4. – С. 3–7.

2. Закирова А. А. Структура и механические свойства углеродистых сталей, подвергнутых интенсивной пластической деформации

кручением/ А.А. Закирова, Р.Г. Зарипова, В.И. Семенов //Вестник УГАТУ: Машиностроение/Материаловедение и термическая обработка. – 2008. – Т.11. – №2 (29). С. 123 – 130

3. Кошовкина В.С. Влияние кручения под давлением и последующих отжигов на структуру и микротвердость стали 06МБФ/ В.С. Кошовкина, Г.Г. Майер// Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии». – 2013. – с 45 – 46. 4. Ganeev A.V. On the nature of high-strength state of carbon steel produced by severe plastic deformation/ A.V. Ganeev, M.V. Karavaeva, X. Sauvage, E. Courtois-Manara,

4. Y. Ivanisenko, R.Z. Valiev// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 63. – 2014. – 012128. 5. Ivanisenko Yu. The mechanism of formation of nanostructure and dissolution of cementite in a pearlitic steel during high pressure torsion/ Yu. Ivanisenko, W. Lojkwski, R.Z. Valiev, H.-J. Fecht// Acta Mat. – 51. – 2003. – pp.5555-5570.

УДК 519.837.2

О ЗАДАЧЕ ПРОСТОГО ПРЕСЛЕДОВАНИЯ НА ПРАВИЛЬНОМ ЗВЕЗДНОМ МНОГОУГОЛЬНИКЕ

Маматов Маширабжон Шахабутдинович
Национальный университет Узбекистана
имени Мирзо Улугбека, Узбекистан
доктор физико-математических наук
профессор кафедры "Геометрия и Топология".

Зуннунов Азизхон Олимхон угли
Национальный университет Узбекистана
имени Мирзо Улугбека, Узбекистан
Докторант кафедры "Геометрия и Топология"

ABOUT THE PROBLEM OF SIMPLE PERSECUTION ON THE STELLAR COMPACT SET

Mamatov Mashrabjon Shakhabutdinovich
National University of Uzbekistan
named after Mirzo Ulugbek, Uzbekistan
Doctor of physics and mathematics sciences,
professor of the department "Geometry and Topology"

Zunnunov Azizkhan Olimkhan ugli
doctoral student of the
department "Geometry and Topology"
National University of Uzbekistan
named after Mirzo Ulugbek, Uzbekistan
DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.76.903

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается задача преследования с простыми движениями в смысле l -поймки на плоскости звездного компактного множества. Предложена структура построения кусочно - постоянных управлений преследования, которая обеспечит завершение игры за конечное время. Получена оценка сверху времени игры для завершения преследования.

ABSTRACT

The article considers the pursuit problem with simple motions in the sense of l -capture on the plane of a stellar compact set. A structure is proposed for constructing piecewise - constant pursuit controls that will ensure the completion of the game in a finite time. An upper bound is obtained for the time of the game to complete the pursuit.

Ключевые слова: звездный компакт, преследование, преследующий, убегание, управление преследования, управление убегания.

Keywords: star compact, pursuit, pursuer, evader, pursuit control, evasion control.

Введение. Большое количество работ исследователей посвящено дифференциальным играм [1]-[12]. Роль вопроса «Лев и человек», представленного Р. Радо в развитии теории дифференциальных игр, неопределима. Суть вопроса такова: «Лев и человек движутся в замкнутой круговой арене. Их максимальные скорости равны. Какую стратегию следует использовать льву, чтобы убедиться, что он может поймать свою добычу? В течение многих лет на этот вопрос были разные ответы. Окончательный ответ на этот вопрос впервые дал А.С. Безикович. То есть доказано, что независимо от того, какую стратегию выберет лев, человек может от нее убежать столько, сколько он хочет [4].

В этой работе мы предлагаем вашему вниманию проблему, поставленную Р.Радо на примере правильного звездного многоугольника в смысле l -поймки. Равносторонние многоугольники, в которых все вершины находятся на концентрических окружностях, называются правильным звездным многоугольником. Напомним, что компактное множество $K \subset E^2$ называется звездным относительно точки $x \in K$,

если для всех $y \in K$, $[x, y]$ отрезок принадлежит множеству K как целое $[x, y] \subset K$ [2].

1. Математическая модель задачи.

Рассмотрим задачу преследования, состоящую из одного убегающего объекта(игрока) - x_0 и одного преследующего - x_1 объекта(игрока) в правильном звездном многоугольнике K на плоскости E^2 (рис.1). Допустим, их движения даны следующим простым дифференциальным уравнением

$$\dot{x}_0 = u_0, \dot{x}_1 = u_1 \quad (1)$$

Здесь u_0 и u_1 являются управляющими параметрами; u_0 — управляющий параметр убегающего объекта, а u_1 — управляющий параметр преследующего объекта, они выбираются в виде измеримой функции $u_0 \equiv u_0(t), u_1 \equiv u_1(t)$. Их значения почти во всех $t \geq 0$ удовлетворяют следующие граничные условия

$$\|u_0\| \leq 1, \|u_1\| \leq 1. \quad (2)$$

Здесь $\|z\| = \sqrt{\langle z, z \rangle}$ - простая норма в $z \in E^2$, $\langle z, z \rangle$ - скалярное произведение.

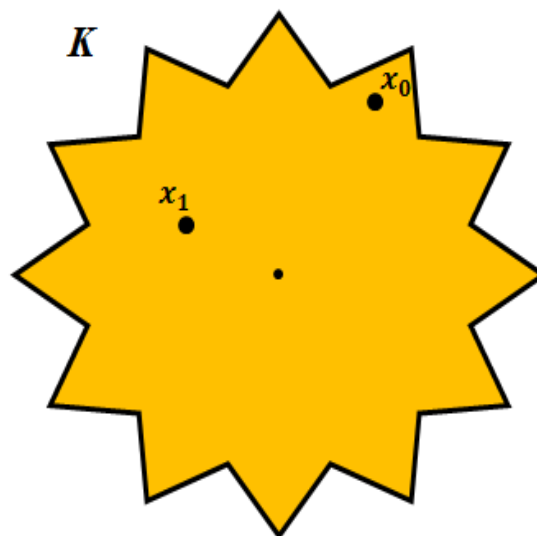


Рис.1.

Таким образом, в правильном звездном многоугольнике K точка x_1 преследует точку x_0 . Если в течение некоторого ограниченного времени

выполняется условие $\|x_1 - x_0\| \leq l, l > 0$ (здесь l — заранее заданное число), то считается, что игра завершилась. Преследующий игрок x_1 с помощью

своего управления старается, чтобы как можно скорее выполнялось условие $\|x_1 - x_0\| \leq l$, а убегающий x_0 с помощью своего управления старается, чтобы в течение как можно большего времени это условие не выполнялось.

Прежде чем представить теорему, мы нарисуем внутренние круги радиуса r и внешние

круги радиуса R на правильном звездном многоугольнике K . Эти круги, в свою очередь, разделяют множество K на две части: 1) часть, расположенная внутреннего круга; 2) часть, расположенная между внутренним и внешним кругами (рис. 2).

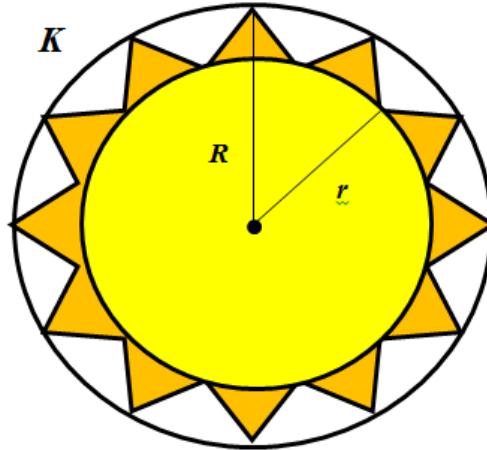


Рис.2.

Теорема. Предположим, что на плоскости E^2 на правильном звездном многоугольнике K рассматривается задача преследования в виде (1),

(2). Тогда преследующий игрок завершает игру за время

$$T(l) = \left(\left[\frac{4(R-l)}{l} \right] + 1 \right) \cdot \frac{l}{4} + 2\pi \sum_{i=1}^n i \frac{l}{4} + \pi \sum_{i=n+1}^{n+m} \frac{i \alpha_i^0}{180^\circ} + R \quad (3)$$

где R - радиус внешней окружности, нарисованной на множестве K , а r - радиус внутренней окружности, $[\theta]$ - целая часть числа θ . n - количество перемещений по радиусу R с l -окружностью к границе внутреннего круга.

2. Стратегия, используемая преследователем и доказательство теоремы.

Ясно, что если $\frac{4(r-l)}{l}$ - равна 0 или является натуральным числом, то $n = \frac{4(r-l)}{l}$. Если $\frac{4(r-l)}{l}$ не является натуральным числом, то $n = \left[\frac{4(r-l)}{l} \right] + 1$. m - количество перемещений по радиусу R от границы внутреннего круга до границы внешнего круга на множестве K . Если $\frac{4(R-r)}{l}$ и n равны 0 или натуральным числам, то $m = \frac{4(R-r)}{l}$. Если $\frac{4(R-r)}{l}$ и n не являются натуральными числами, то $m = \left[\frac{4(R-r)}{l} \right] + 1$. Если $\frac{4(R-r)}{l}$ не является натуральным числом, а n равно 0 или натуральным числом, то $m = \left[\frac{4(R-r)}{l} \right] + 1$. α_i^0 -- центральный угол, который тянет дугу круга с радиусом $i \frac{l}{4}$ ($i = \overline{n+1, n+m}$). l - положительное число, заданное условием задачи.

Доказательство теоремы. Согласно условию задачи убегающий x_0 и преследующий x_1 - максимальные скорости которых равны - движутся в множестве K . В начале игры преследователь перемещается к центру K по кратчайшему пути, независимо от того, где

находится убегающий игрок. Теперь преследующий будет двигаться в сторону убегающего по радиусу R где находится убегающий игрок на расстоянии $\frac{l}{4}$. За это время точка x_0 не может находиться за круга с радиусом $\frac{l}{4}$. Рассмотрим отдельно следующие случаи: а) убегающий находится по радиусу R ; б) в не радиуса R .

В случае а) преследующий снова будет двигаться в сторону убегающего по радиусу R на расстояние $\frac{l}{4}$. В случае б) преследующий, переместившись от центра K по радиусу круга R на расстояние $\frac{l}{4}$, в зависимости от того, на какой стороне расположен убегающий, с целью поймать его начинает преследовать убегающего по окружности, центр которого совпадает с центром K и длина радиуса которого равна $\frac{l}{4}$. Тогда за счет угловой скорости игроков, через некоторое конечное время они будут находиться на одном радиусе. Таким образом, преследующие и убегающие игроки находятся на одном радиусе R , то происходит случай а) и преследующий опять перемещается на расстояние $\frac{l}{4}$ по радиусу R в направлении границы круга. Ясно, что за это время убегающий игрок не может уйти за пределы окружности радиуса $\frac{l}{4}$, т.к. максимальные скорости игроков одинаковы и равны единице (2). Тогда

имеет место случай а) или б). Если случай а) преследующий опять перемещается на расстояние $\frac{l}{4}$ по радиусу R в направлении границы круга. Если имеет место случай б), то преследователь начинает преследовать убегающего по кругу центра K и радиусом $2\frac{l}{4}$, в зависимости от того, на какой стороне расположен убегающий. Через некоторое время они снова лежат на одном радиусе и так далее. В i -ом сдвиге по радиусу R , в сторону убегающего игрока, преследующий продолжает преследовать по окружности, центр которой совпадает с центром K и радиусом $i\frac{l}{4}$, в зависимости на какой стороне расположен убегающий.

Теперь покажем, что в случае а), применяемом преследующим игроком стратегий убегающий игрок не может обойти преследователя, так как согласно (1),(2) убегающий игрок не может уйти за пределы окружности радиуса $\frac{l}{4}$. Для того, чтобы убегающий мог обойти преследующего он должен за это время находиться больше чем на расстоянии l . Таким образом, убегающий игрок не может обойти преследователя.

Далее покажем, что в случае б) через некоторое конечное время игроки будут находиться на одном радиусе. Действительно, длина окружности, в которой движется преследователь, равна $d_1 = 2\pi i\frac{l}{4}$, а длина окружности, в которой движется убегающий игрок равна $2\pi(i\frac{l}{4} + l) < d_0 < 2\pi r$. Когда преследователь перемещается по радиусу R на расстояние $\frac{l}{4}$ по направлению в сторону убегающего, убегающий игрок также перемещается на расстояние $\frac{l}{4}$. Поэтому мы добавляем эту длину к длине окружности $d'_1 = 2\pi i\frac{l}{4} + \frac{l}{4}$. Теперь, сравним длины d'_1 и d_0 . $2\pi i\frac{l}{4} + \frac{l}{4} < 2\pi i\frac{l}{4} + 2\pi l$ отсюда следует, что $d'_1 < d_0$. Согласно (1),(2), преследователь проходит свой путь быстрее, чем убегающий.

Таким образом, после повторения выше изложенного процесса несколько раз количество перемещений по радиусу R достигает на n и l -окружность преследователя достигает границы круга с радиусом r , проведенного внутри K и преследователь движется по окружности с центром K и радиусом $n\frac{l}{4}$, и через некоторое время преследующий и убегающий будут находиться на одном радиусе. Если в это время убегающий находится внутри круга с радиусом r , то преследующий поймает убегающего. Если убегающий игрок не попадает в l -окружность преследователя, то он будет находиться в одном из кусков K , который находится вне круга радиуса r .

Дальше преследующий в этом куске применяет ту же стратегию, которую применял раньше. После того, как преследователь повторяет вышеописанный процесс еще несколько раз, то число сдвигов по радиусу R достигает $n + m$. За это время l – окружность преследователя достигает предела K и этих сдвигов достаточно, чтобы поймать убегающего. Таким образом, мы доказали, что преследователь может завершать игру за определенное конечное время, независимо от того, как убегающий строит свое управление.

Здесь преследующий игрок при построении своего управления не использовал управление убегающего, он воспользовался положениями убегающего в определенные моменты времени. Это является важным параметром при решении практических задач.

В следующих пунктах будем заниматься оценкой времени завершения игры.

3. Оценка времени для завершения игры. На плоскости, в K идет процесс преследования между убегающим и преследователем. Докажем, что преследователю понадобится не больше времени $T(l) = T_1(l) + T_2(l) + T_3(l) + T_4(l)$, чтобы попасть в l -окружность убегающего. Где $T_1(l)$ - время, потраченное преследователем в процессе преследования убегающего от центра K по радиусу R к его крайней границе (или вершине K), чтобы поймать убегающего. $T_2(l)$ - это сумма времени, которая потрачена преследователем в процессе преследования по концентрическими окружностями с радиусом $i\frac{l}{4}$ ($i = \overline{1, n}$), центр которой находится в центре K . $T_3(l)$ - сумма времени, потраченная преследователем в процессе преследования за дугами концентрической окружности с радиусом $i\frac{l}{4}$ ($i = \overline{n + 1, n + m}$), центр которой находится в центре K . $T_4(l)$ - время, потраченное преследователем, чтобы добраться от произвольной точки K до центра K , через самое короткое расстояние. Теперь будем рассчитывать времена $T_1(l)$, $T_2(l)$, $T_3(l)$ и $T_4(l)$.

Расчет $T_1(l)$. Для этого предположим, что преследующий игрок находится в центре K . Тогда оставшееся расстояние $(R-l)$ делим на $\frac{l}{4}$ и получим количество перемещений $\frac{(R-l)}{l/4} = \frac{4(R-l)}{l}$. Если $\frac{4(R-l)}{l}$ - равно 0 или является натуральным числом, то потребуется $\frac{4(R-l)}{l}$ перемещений. Если $\frac{4(R-l)}{l}$ не является натуральным числом, то потребуются $\left[\frac{4(R-l)}{l}\right] + 1$ перемещений. Если учитывать, что время, потраченное для каждого перемещения равно $\frac{l}{4}$, тогда соответственно время, потраченное преследующему игроку для перемещения от центра K по радиусу R в сторону границы K во время преследования не превышает значения

$$T_1(l) = \left(\frac{4(R-l)}{l}\right)^{\frac{l}{4}} = (R-l) \text{ или } T_1(l) = \left(\left[\frac{4(R-l)}{l}\right] + 1\right)^{\frac{l}{4}} \cdot T_1(l) = \begin{cases} R-l & \text{если } \frac{4(R-l)}{l} - \text{равно } 0 \text{ или является натуральным числом,} \\ \left(\left[\frac{4(R-l)}{l}\right] + 1\right)^{\frac{l}{4}} & \text{если } \frac{4(R-l)}{l} - \text{не является натуральным числом.} \end{cases} \quad (4)$$

Расчет $T_2(l)$. Запишем $T_2(l)$ в виде $T_2(l) = t_2\left(\frac{l}{4}\right) + t_2\left(2\frac{l}{4}\right) + \dots + t_2\left((n-1)\frac{l}{4}\right) + t_2\left(n\frac{l}{4}\right) = \sum_{i=1}^n t_2\left(i\frac{l}{4}\right)$. Здесь n - количество перемещений от центра K по радиусу R с l -окружностью к границе круга с радиусом r . Как было сказано выше, если $\frac{4(r-l)}{l}$ - равно 0 или является натуральным числом, то $n = \frac{4(r-l)}{l}$. Если $\frac{4(r-l)}{l}$ не является натуральным числом, то будет $n = \left[\frac{4(r-l)}{l}\right] + 1$. Также $t_2\left(i\frac{l}{4}\right)$, $(i = \overline{1, n})$ - время, которое потрачено преследователем в процессе преследования в i -сдвиг по концентрической окружности, центр которого расположен в центре K , а радиус равен $i\frac{l}{4}$. Значит $t_2\left(\frac{l}{4}\right)$ - время, которое потрачено для того, чтобы преследующие и убегающие игроки будут находиться на одном радиусе, то есть $t_2\left(\frac{l}{4}\right) = 2\pi\frac{l}{4}$. Точно также вычислим $t_2\left(2\frac{l}{4}\right) = 2\pi 2\frac{l}{4}, \dots, t_2\left(i\frac{l}{4}\right) = 2\pi i\frac{l}{4}$.

Таким образом, для $T_2(l)$ -сумма времени, которая потрачена преследователем в процессе преследования убегающего по концентрической окружности радиусом $i\frac{l}{4}$ ($i = \overline{1, n}$), центр которой находится в центре K получим

$$T_2(l) = 2\pi\frac{l}{4} + 2\pi 2\frac{l}{4} + \dots + 2\pi(n-1)\frac{l}{4} + 2\pi n\frac{l}{4} = \sum_{i=1}^n t_2\left(i\frac{l}{4}\right) = 2\pi \sum_{i=1}^n i\frac{l}{4} \quad (5)$$

Расчет $T_3(l)$. Запишем $T_3(l)$ в виде

$$T_3(l) = t_3\left((n+1)\frac{l}{4}\right) + t_3\left((n+2)\frac{l}{4}\right) + \dots + t_3\left((n+m-1)\frac{l}{4}\right) + t_3\left((n+m)\frac{l}{4}\right) = \sum_{i=n+1}^{n+m} t_3\left(i\frac{l}{4}\right).$$

Здесь n - количество перемещений от центра K по радиусу R к границе круга с радиусом r . m - количество перемещений по радиусу R от границы внутреннего круга до границы внешнего круга на множестве K . Также $t_3\left(i\frac{l}{4}\right)$, $(i = \overline{n+1, n+m})$ -время, которое потрачено преследователем в процессе преследования в i ($i = \overline{n+1, n+m}$)-сдвиге по дуге концентрических окружностей, центр которого расположен в центре K , а радиус равен $i\frac{l}{4}$.

Теперь вычислим, когда преследователь перемещается $i-l$ ($i = \overline{n+1, n+m}$) раз по радиусу R , l -окружность преследователя достигает окружности с радиусом $(i+3)\frac{l}{4}$ ($i = \overline{n+1, n+m}$). Следовательно, эти радиусы также представляют собой центральный угол, под которым радиус $i\frac{l}{4}$ ($i = \overline{n+1, n+m}$) преследователя следует за дугой окружностей в процессе движения вдоль дуги окружностей при $n+i$ ($i = \overline{n+1, n+m}$)-сдвиге по радиусу R . Мы определим этот угол с помощью α_i^o ($i = \overline{n+1, n+m}$) (рис. 3).

Итак, при i ($i = \overline{n+1, n+m}$)-перемещении потребуется время $t_3\left(i\frac{l}{4}\right) = \frac{\pi i \frac{l}{4} \alpha_i^o}{180^o}$. Таким образом, получим следующее

$$T_3(l) = \frac{\pi(n+1)\frac{l}{4}\alpha_{(n+1)}^o}{180^o} + \frac{\pi(n+2)\frac{l}{4}\alpha_{(n+2)}^o}{180^o} + \dots + \frac{\pi(n+m-1)\frac{l}{4}\alpha_{(n+m-1)}^o}{180^o} + \frac{\pi(n+m)\frac{l}{4}\alpha_{(n+m)}^o}{180^o} = \sum_{i=n+1}^{n+m} t_3\left(i\frac{l}{4}\right) = \pi \sum_{i=n+1}^{n+m} \frac{i \frac{l}{4} \alpha_i^o}{180^o} \quad (6)$$

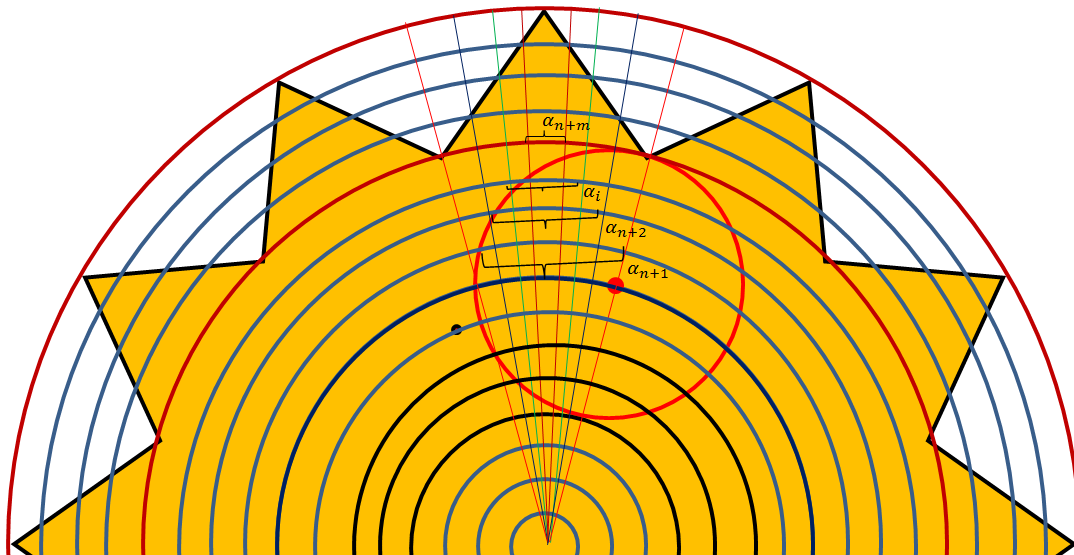


Рис. 3.

Расчет $T_4(l)$. Преследующий игрок, независимо от того, в какой точке K он не располагался, доберется до центра K по самому короткому расстоянию. Поэтому, преследующему для прибытия от любой точки K на его центр по

самому короткому расстоянию потребуется время не больше $T_4(l) = R$.

Таким образом, исходя из выражений (4), (5), (6) и $T_4(l) = R$ получили оценку времени, которая потребуется для завершения игры

$$T(l) = \begin{cases} 2R - l + 2\pi \sum_{i=1}^n i \frac{l}{4} + \pi \sum_{i=n+1}^{n+m} i \frac{l}{4} \frac{\alpha_i^0}{180^\circ} & \text{если } \frac{4(R-l)}{l} - 0 \text{ или натуральное,} \\ \left(\left\lfloor \frac{4(R-l)}{l} \right\rfloor + 1 \right) \cdot \frac{l}{4} + 2\pi \sum_{i=1}^n i \frac{l}{4} + \pi \sum_{i=n+1}^{n+m} i \frac{l}{4} \frac{\alpha_i^0}{180^\circ} + R & \text{если } \frac{4(R-l)}{l} - \text{ не является натуральным.} \end{cases}$$

Отсюда получим

$$T(l) = \left(\left\lfloor \frac{4(R-l)}{l} \right\rfloor + 1 \right) \cdot \frac{l}{4} + 2\pi \sum_{i=1}^n i \frac{l}{4} + \pi \sum_{i=n+1}^{n+m} i \frac{l}{4} \frac{\alpha_i^0}{180^\circ} + R \quad (7)$$

И так, теорема доказана.

Заключение. Дифференциальные игры с простыми движениями привлекали внимание многих исследователей. Несмотря на их простоту, в таких дифференциальных играх имеются много не решенных задач [4-7]. Например, в приведенной выше работе, если убегающие и преследующие игроки не имеют сведений о месте расположения друг-друга и об управлении, вопрос завершения игры остается открытым. Иными словами, информации, которые даются участникам дифференциальных игр, в данном случае убегающему и преследующему, имеют большое значение. Например, преследующему для того, чтобы строить свое управление, не требуются информации об управлении убегающего. В таком смысле в данной работе полученные результаты, отличаются от других известных работ. И наоборот, в работах [3], [5]-[8] в частности в работе [9] тоже для того, чтобы преследующий смог построить свое управление, должно быть известно управление убегающего $v(t)$ для каждого конкретного момента времени t . Кроме этого, для

$T(l)$ – времени завершения игры получена оценка в виде (7). Вместе с тем, стратегия преследования, предложенная в этом исследовании, отличается от стратегии в работах [10]-[12]

References

1. Isaacs, R. (1967). Differential games. Moscow: Mir.480p.
2. Berger, M. (2010). Geometry revealed. Springer, p.728.
3. Pontryagin, L.S. (1980). Linear differential pursuit games. Matematicheskii sbornik. V.112. Issue 3. Pp. 307-330.
4. Mishchenko, Y.F., Nikolskiy, M.S., Satimov N.Yu. (1977). The problem of avoiding meeting in the differential games of many individuals. Trudy Matematicheskogo instituta AN SSSR. V. 143. Pp.105-128.
5. Littlewood. J.E. (1953). A mathematician’s miscellany. London: Methuen.
6. Pshenichnyi, B.N., Chikrii, A. A., Rappoport, I.S. (1981). Pursuit by several controlled objects in the

presence of phase constraints. Dokl. Akad. Nauk SSSR, V.259, Issue 4, Pp 785–789.

7.Satimov, N.Yu., Mamatov, M.Sh. (1981). On a class of linear differential pursuit and evasion games. Trudy TashGU. Issue 670. Pp. 64-75.

8.Satumov, N.Yu., Mamatov, M.Sh. (1983). On the problems of pursuit and evasion of meeting in differential games between groups of pursuers and evaders. Doklady AN UzSSR. Issue 4. Pp. 3-6.

9.Ivanov, R.P. (1980). Simple pursuit-evasion on a compact. Doklady AN SSSR. V. 254. Issue 6. Pp.1318-1321.

10.Mamatov, M.Sh., Zunnunov, A.O. (2016). About the task of simple pursuit-evasion on a compact. Aktualnye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk. Issue 1. Pp.15-18.

11.Mamatov, M.SH., Zunnunov, A.O. (2019). The task of prosecuting simple differential games on the square. Samarkand SamSU vestnik Issue1. Pp. 20-26.

12.Mamatov, M.SH., Zunnunov, A.O., Esonov, E.E. (2020). Quantitative Analysis of the Problem of Lion and Man in the Presence of a Circular Obstacle. Journal of Automation and Information. Scopus. V. 52, Issue 1, Pp 42-52.

УДК 521
ГРНТИ 41.29.33

МАССИВНЫЕ ФОТОННЫЕ ПАРЫ И ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ РЕНТГЕНОВСКОГО ФОНА СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ И МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Мирзоева Ирина Константиновна

*кандидат физико-математических наук,
Институт космических исследований РАН,
118997, г.Москва, ул. Профсоюзная, д.84/32
DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.76.902*

АННОТАЦИЯ

В работе проведен анализ рентгеновского фона солнечной короны в диапазоне 2–25 кэВ за три месяца 2003 года, получен интегральный энергетический спектр по данным проекта *RHESSI*. Сопоставление с данными рентгеновского фона магнитосферы Земли по данным проекта *XMM-Newton* в мягком диапазоне рентгеновского излучения позволило сделать вывод о едином характере особенностей сезонных вариаций рентгеновского фона магнитосферы Земли и теплового рентгеновского фона солнечной короны. Основной причиной таких изменений может являться расщепление массивных фотонных пар, рождающихся из вакуума, в магнитном поле солнечной короны и в магнитном поле Земли. По данным проектов *RHESSI*, *XMM-Newton*, *Plank*, приводятся теоретические и экспериментальные доказательства существования массивных фотонных пар (сверхлегких скалярных бозонов).

ABSTRACT

The analysis of the x-ray background of the solar corona in the range of 2-25 Kev for three months of 2003 was carried out. The integrated energy spectrum was obtained according to the *RHESSI* project. Comparison with the data of the x-ray background of The earth's magnetosphere according to the *XMM-Newton* project in the soft range of x-rays allowed us to draw a conclusion about the common nature of the features of seasonal variations of the x-ray background of The earth's magnetosphere and the thermal x-ray background of the solar corona. The main reason for these changes is the splitting of massive photon pairs born from vacuum in the magnetic field of the solar corona and in the magnetic field of the Earth. According to the *RHESSI*, *XMM-Newton*, and *Plank* projects, theoretical and experimental evidence for the existence of massive photon pairs (ultralight scalar bosons) is provided.

Ключевые слова: фотоны, массивные фотонные пары, рентгеновское излучение, рентгеновский фон, солнечная корона, вакуум.

Keywords: photons, massive photon pairs, x-ray radiation, x-ray background, solar corona, vacuum.

ВВЕДЕНИЕ

В 2005 году, на основе данных проекта *Интербол-Хвостовой зонд*, в диапазоне рентгеновского излучения 2 – 15 кэВ было обнаружено явление падения интенсивности этого излучения в области меньших энергий [1]. В дальнейшем это явление нашло подтверждение по данным миссии *RHESSI* и было детально исследовано в работах [2] и [3].

В работах [2] и [3] был так же установлен факт независимости наблюдаемых явлений от вспышек и всех явлений в активных вспышечных областях солнечной короны. Было сделано предположение о том, что физический механизм найденных явлений, скорее всего, лежит в области квантовых

процессов, и, в свою очередь, этот механизм может являться причиной аномального нагрева плазмы солнечной короны.

Для объяснения причины подобных вариаций рентгеновского фона солнечной короны было необходимо привлечь фундаментальные законы астрофизики и квантовой физики. Данное исследование было проведено в работе [4], где впервые было сделано предположение, что в основе аномального нагрева солнечной короны и подобных вариаций рентгеновского фона солнечной короны лежит явление расщепления массивных фотонных пар (сверхлегких скалярных бозонов) в магнитном поле Солнца. При расщеплении массивных фотонных пар,