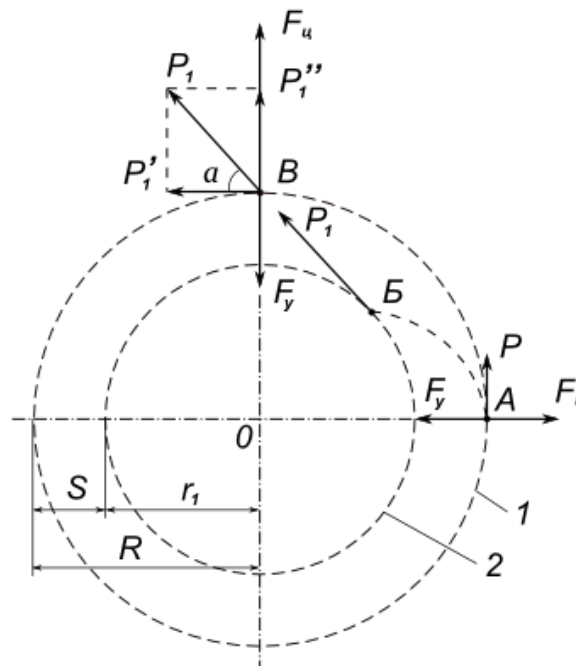


## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС РОТАЦИИ

Автором данной работы ставилась задача по раскрытию механизма перехода энергии затрачиваемой на принудительное, циклическое перемещение материальной точки массой  $m$  обращающейся вокруг второй материальной точки массой  $m_1$  лежащей в центре системы  $O$ , причём масса первой материальной точки несоизмеримо меньше массы второй материальной точки

$$m_1 \gg m$$

Тогда можно условно принять, что первая материальная точка ( в дальнейшем просто материальная точка ) обращается вокруг центра  $O$  ( см. фиг. 1 ).



Фиг. 1

На своей орбите материальная точка удерживается силой, например упругой силой Гука.

Силы, действующие на материальную точку, описываются системой

$$\begin{cases} F_u = \omega^2 m r & (1.1) \\ F_y = -c(R - r) & (1.2) \\ L = \omega m r^2 & (1.3) \\ F_k = 2m \frac{R-r}{t} \omega & (1.4) \end{cases} \quad (1)$$

Здесь:

- $F_u$  - центробежная сила
- $\omega$  - угловая скорость
- $m$  - масса материальной точки
- $r$  - текущее значение радиуса орбиты
- $F_y$  - удерживающая сила
- $C$  - жёсткость
- $R$  - радиус стационарной (внешней) орбиты
- $L$  - момент количества движения
- $t$  - время перехода материальной точки, с внешней орбиты, на внутреннюю

На стационарной орбите значение  $F_k = 0$ , т.е. Кориолисова сила отсутствует.  
 Для параметрической накачки характерно то - обстоятельство, что упругость  $C$  может приобретать несколько значений, в нашем случае - три:

$C$  – стационарное (исходное) значение жёсткости

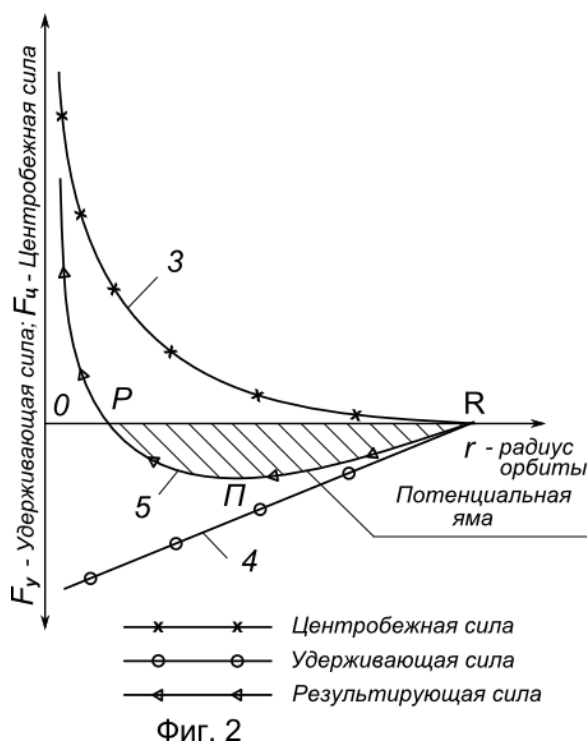
$C_1$ - жёсткость, в момент перехода тела с внешней орбиты на внутреннюю

$C_2$ - жёсткость, при переходе тела с внутренней орбиты на внешнюю

причём всегда  $C_1 > C$ , а  $C_2 > 0$ .

Центробежная сила  $F_u$  направлена от центра орбиты по радиусу, а удерживающая сила  $F_y$  – к центру орбиты.

На фиг.2 представлены кривые зависимостей сил действующих на материальную точку от изменения радиуса  $r$  орбиты движения.



$$F_u = \frac{L^2}{mr^3} \quad (2)$$

Здесь:  $r$  – текущее значение радиуса орбиты

Центробежная сила возрастает по кубическому закону от укорочения радиуса  $r$ .  
 Кривая 4 отображает изменение удерживающей силы  $F_y$ . Кривая 5 есть результирующая этих двух сил и содержит потенциальную яму.

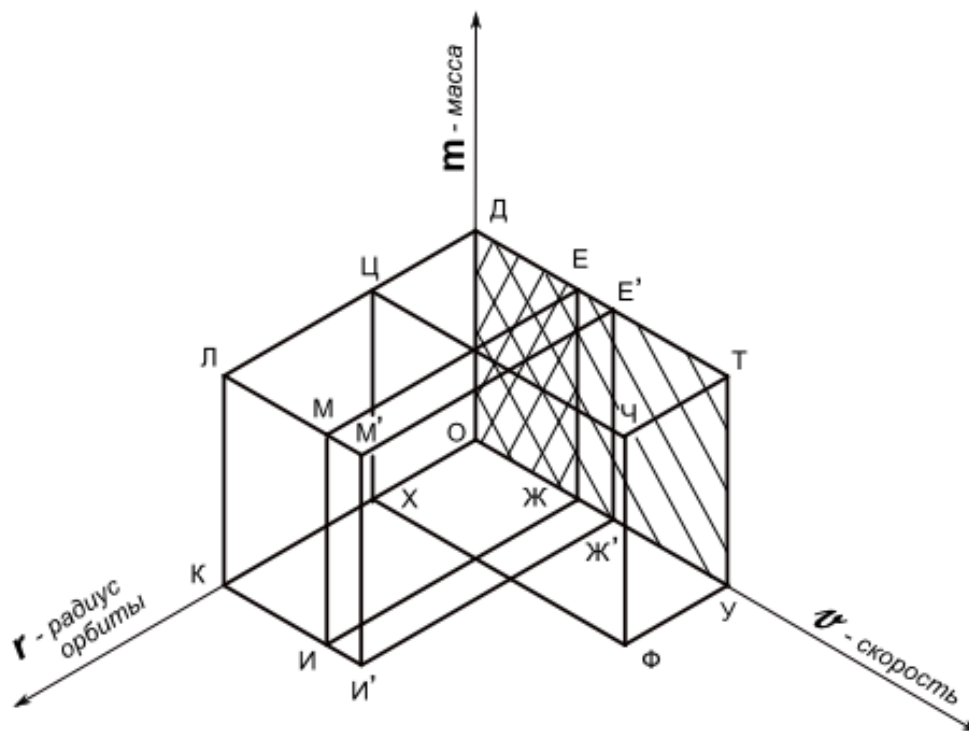
Количество движения  $P$  на внешней орбите 1 равно:

$$P = m v \quad (3)$$

Здесь:

$v$  – линейная скорость материальной точки в точке А.

Количество движения  $P$  представлено графически прямоугольником ОДЕЖ на фиг.3.



Фиг. 3

Момент количества движения  $L$  (момент импульса) равен согласно уравнения (1.3)

$$L = m v r \quad (4)$$

и представлен объёмом  $ОДЕЖИКЛМ$ . Кинетическая энергия  $E$  при укорочении радиуса орбиты изменяется по квадратичному закону:

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{L^2}{2mr^2} \quad (5)$$

При увеличении удерживающей силы  $F_y$  за счёт увеличения жёсткости  $C$  до большего значения  $C_1$  произойдёт перемещение материальной точки с внешней орбиты **1** на внутреннюю орбиту **2** по кривой  $AB$  (см. фиг.1)

Радиус  $r=R$  исходной орбиты **1** уменьшится до значения  $r_1$  внутренней орбиты **2**, вследствие чего, согласно действию закона сохранения момента количества движения – уравнение (1.3) и (4), значение скорости  $v$  увеличится до значения  $v_1$  во столько раз, во сколько раз произошло укорочение радиуса орбиты.

Тогда количество движения материальной точки увеличится и станет равным

$$P_1 = m v_1 \quad (6)$$

Здесь:

$P_1$  - количество движения материальной точки  
в точке  $B$  на внутренней орбите **2**

$v_1$  – скорость материальной точки в точке  $B$

и оно (количество движения) отображено графически прямоугольником  $ОДТУ$  (фиг.3)

Момент количества движения  $L_1$  в точке  $B$  равен:

$$L_1 = m v_1 r_1 \quad (7)$$

И отображён объёмом  $ОДТУФХЦЧ$  (фиг.3)

Рассматривая объёмы *ОДЕЖИКЛМ* и *ОДТУФХЦЧ* не трудно заметить, что они одинаковы т.е.

$$L = L_1 \quad (8)$$

а это соответствует понятию закона о сохранении момента количества движения .  
Произошла лишь трансформация, первого объёма во второй, без количественного изменения, но качественно, однако количество движения – увеличилось, т.е.

$$P_1 > P \quad (9)$$

Графически это означает, что прямоугольник *ОДТУ* больше прямоугольника *ОДЕЖ* .  
Кинетическая энергия  $E_1$  материальной точки в точке *Б* равна

$$E_1 = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{L^2}{2mr_1^2} \quad (10)$$

Причём кинетическая энергия материальной точки в точке *Б* выше чем в точке *А* т.е

$$E_1 > E \quad (11)$$

Как только материальная точка перейдёт на внутреннюю орбиту *2* в точку *Б* происходит выключение удерживающей силы  $F_y$  за счёт изменения жёсткости *С* от значения  $C_1$  до значения  $C_2 = 0$ , в силу чего материальная точка движется по инерции и по касательной к внешней орбите *1* в точку *В*.

Во время отключения удерживающей силы  $F_y$  момент количества движения  $L_1$  схлопывается , поскольку радиус кривизны траектории, при прямолинейном движении, равен бесконечности, и переходит просто в количество движения  $P_1$  изображённый прямоугольником *ОДТУ* (см. фиг.3)

Центробежная сила  $F_u$  действующая на материальную точку, так же обращается в ноль, на силовой характеристике происходит движение по прямой *PR* (см. фиг.2).

Заштрихованная область *РПР* потенциальной ямы (см.фиг.2), есть работа затрачиваемая на переход с внешней орбиты *1* на внутреннюю орбиту *2* .

В точке *В* на внешней орбите *1* вновь включается удерживающая сила  $F_y$  за счёт восстановления жёсткости- до значения  $C_3$ , при котором материальная точка вновь будет удерживаться на данной орбите, при этом вектор количества движения  $P_1$  распадается на две составляющие, на тангенциальную  $P'_1$  и радиальную  $P''_1$  .

Тангенциальная составляющая определяется как

$$P'_1 = P_1 \cos \alpha \quad (12)$$

Вычислив момент количества движения  $L_2$  после цикла накачки согласно (12) для начального радиуса  $r = R$  получим:

$$L_2 = m v_2 \cos \alpha R \quad (13)$$

Здесь:

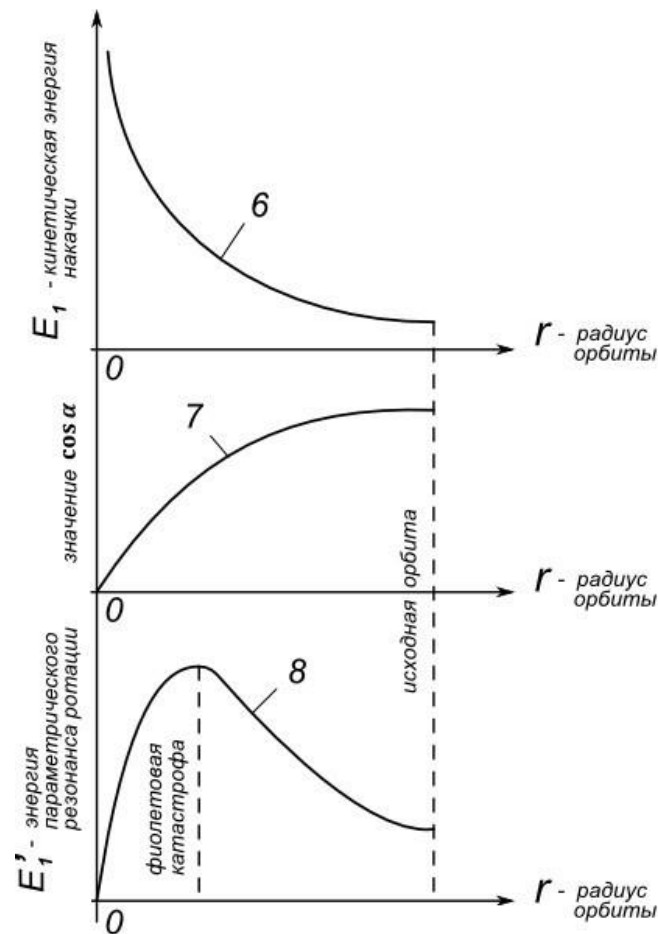
$v_2$  – скорость материальной точки в точке *В*  
после цикла накачки

Момент количества движения  $L_2$  отображён графически на фиг.3 объёмом *ОДЕЖ'ИКЛМ'*. Сравнивая объём *ОДЕЖИКЛМ* и объём *ОДЕЖ'ИКЛМ'*, видно, что произошло количественное увеличение момента количества движения , при чём увеличение это произошло скачком , после цикла укорочения радиуса орбиты – после цикла накачки.

Соответственно кинетическая энергия ротации в точке *В* равна:

$$E_1' = \frac{L_2^2}{2mR^2} \cos^2 \alpha \quad (14)$$

График распределения кинетической энергии  $E_1$  параметрического резонанса ротации от укорочения радиуса орбиты представлен на фиг. 4.



Фиг. 4

Кривая **6** отображает зависимость энергии накачки  $E_1$  от радиуса укорочения, кривая **7** отображает зависимость значения  $\cos \alpha$  - угла между векторами  $P_1$  и  $P_1'$ .

Кривая **8** отображает зависимость энергии  $E_1'$  параметрического резонанса ротации от радиуса укорочения орбиты и получается путём перемножения ординаты кривой **6** на ординату кривой **7**, согласно уравнения (14).

Эффективность параметрической накачки зависит также, от времени перехода материальной точки с внешней орбиты на внутреннюю, благодаря действию кориолисовой силы (см. 1.4.). Чем меньше время перехода с внешней орбиты на внутреннюю, тем эффективней параметрическая накачка.

Уравнение (1) имеет смысл только при ротации тела и на момент цикла накачки т.е. во время перехода материальной точки с внешней орбиты на внутреннюю.

В момент перехода материальной точки, с внутренней орбиты на внешнюю, справедливо уравнение (6), поскольку движение прямолинейно и осуществляется по инерции - без затрат энергии, т.е. на тело не действуют ни какие силы (в том числе и сила Кориолиса).

Отобразим наши выводы в виде теоремы и присвоим ей очередной номер согласно нумерации начатой в работе «О ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛЕ».

Если на тело, движущееся по круговой орбите (ротация тела), действует некая сила, заставляющая его принудительно и циклично переходить на внутреннюю (меньшую) орбиту, то работа этой силы переходит на увеличение скорости ротации, при этом момент количества движения увеличивается с каждым циклом накачки скачкообразно – квантовано.

#### Комментарии

Между событиями  $L_1$  и  $L_2$  нет причинно следственной связи. Эти события лежат в разных отрезках времени и пространства.

Кривая **8** (см. фиг.4), отображающая распределение энергии от укорочения радиуса орбиты, идентична кривой распределения энергии спектра излучения (поглощения) абсолютно чёрного тела. Действительно; в обоих случаях энергия вначале возрастает, а затем резко падает до нуля, что соответствует понятию – «фиолетовая катастрофа».

В случае если в качестве удерживающей силы  $F_y$  будут выступать тяготеющие силы например гравитационная, магнитная, или электрическая, изменяющаяся в квадратичной зависимости от  $r$ , то максимум максимумов кривых **5** и **8** сместиться в лево.

Впервые параметрический резонанс ротации был продемонстрирован 27 августа 1981г.



Куйбышевский  
завод кабелей связи  
(КЗКС)

"УТВЕРЖДАЮ"  
главный инженер

Искаков А.С.



№ \_\_\_\_\_  
от 27 августа 1981 г.

А К Т

испытания учебного пособия "Ротационный маятник"

Мы ниже подписавшиеся, главный метролог Криштафович Ю.Н., начальник лаборатории К.И.П. Агафонов О.П. и слесарь К.И.П. Колобов А.А. произвели испытание учебного пособия "Ротационный маятник" состоящий из Т-образной стойки, на одном конце которой установлен контрольный маятник, а на другом - рабочий маятник, при чём Т-образная стойка в основании снабжена балкой с отверстием через которое проходит нижняя нить прикреплённая снизу к массе рабочего маятника, ось отверстия совпадает с осью (отвесом) рабочего маятника, а масса рабочего маятника соединена с нитями при помощи двух карабинов.

Параметры маятников: Длина нити обоих маятников - 1 метр.  
Вес масс обоих маятников - 50 грамм.

Накачку энергией параметрического резонанса изохронной ротации производили вручную. Для этого оператор (Криштафович Ю.Н.) поочерёдно раскрутил оба маятника на угол  $\varphi = 12^\circ - 15^\circ$  и взявшись за нижний конец нижней нити рабочего маятника совершал возвратно-поступательные движения так, что масса рабочего маятника двигалась по эллипсу. Через 10-12 циклов угол  $\varphi$  достиг значения  $25^\circ - 30^\circ$  после чего накачку прекратили. По достижении первоначального значения  $\varphi = 12^\circ - 15^\circ$  накачку производили вновь.

Всего число накачек составляло - 6 раз.

Через 22 минуты от начала испытания контрольный маятник остановился, а рабочий маятник обращался с прежним радиусом орбиты.

- 2 -

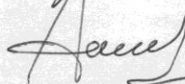
В виду явно выраженного эффекта - параметрического резонанса изохронной ротации, дальнейшую работу устройства прекратили.

Главный метролог



Криштофович

Начальник лаборатории  
К.И.П.



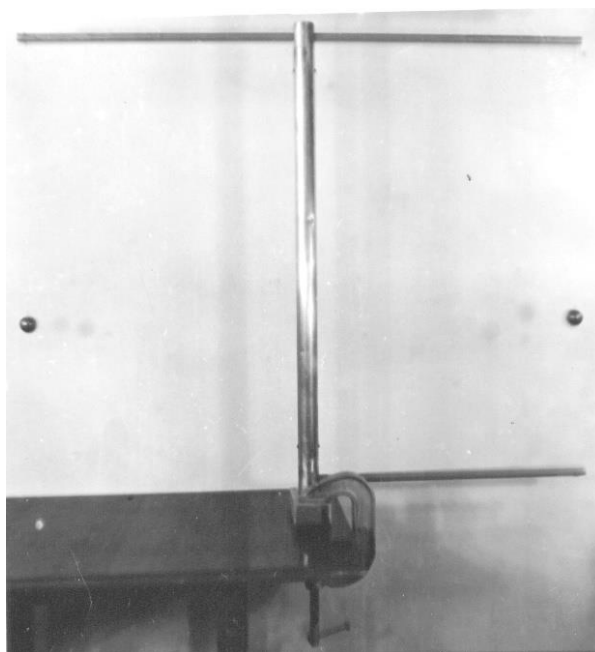
Агафонов

Слесарь К.И.П.



Колобов

на приборе «Учебный прибор по физике» по А.С. №1043724, М.Кл. G 09 В 23/08.  
См. так же фото.



Рекомендации по применению учебного прибора по физике  
По А.С. № 1043724

Применять следует только не растяжимые нити, например хлопчатобумажная нить № 00 кручёная. Капроновые и нейлоновые нити не пригодны. Масса маятника должна быть не менее 50 грамм, желательно шарообразной формы. Длина подвеса – 1 метр. Накачку производить в ручную как можно резче, при этом стараться не оборвать нижнюю нить. После 5, 10 укорочений, радиуса орбиты, нижнюю нить отпускают (бросают), что бы она раскрутилась, затем опять производят накачку и т.д. до требуемого значения ротации.

При переходе тела на внешнюю орбиту, для предотвращения «разбалтывания» маятника, нижнюю нить удерживать в небольшом натяге.

«Параметрический резонанс ротации» был применён в ряде технических решений см. бюллетни к авторским свидетельствам №№ 1043724 М.Кл. G 09 B 23/08; 1001155 М.Кл. G 09 B 23/06; 1027751 М.Кл. G 09 B 23/06; 1119060 М.Кл. G 09 B 23/06; 1156113 М.Кл. G 09 B 23/06; 1104476 М.Кл. G 05 D 13/10; 1265723 М.Кл. G 05 D 13/10.