Tạp chí CƠ HỌC, tập XV, 1993, số 3 (31 - 36)

VỀ MỘT BÀI TOÁN GYROXCỐP

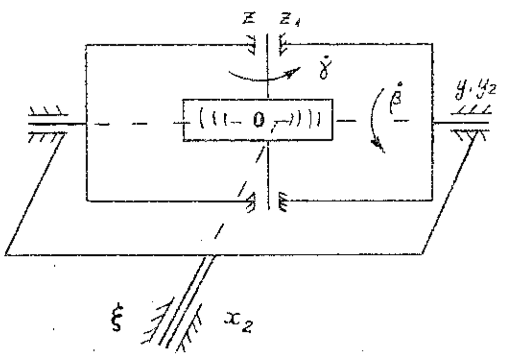
PHẠM HUYỄN, NGUYỄN THÀNH MẬU

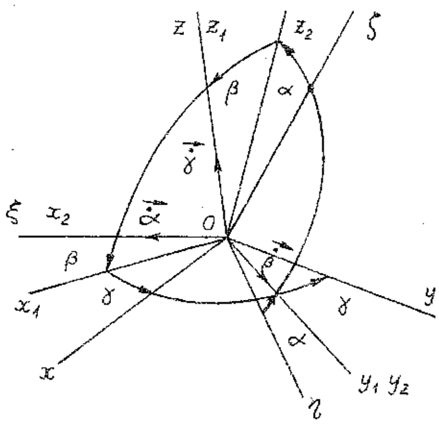
Bài toán về chuyển động của gyroxcốp trên đế quay quanh một trục cố định trùng với trục đối xứng của rô to là một bài toán khó. Người ta đã chứng minh được rằng gyroxcốp mất ổn định khi trục đối xứng của rô to tiến lại gần với trục quay khung ngoài. Vậy chuyển động của gyroxcốp sẽ như thế nào, nếu ta buộc nó quay quanh một trục cố định trùng với trục đối xứng của rô to?

Ở bài báo này, chúng tôi dùng phương pháp tiệm cận hiện đại là phương pháp tách chuyển động để giải bài toán trên.

1. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG

Xét một gyroxcốp cân bằng trên đế quay đều quanh trục cố định $O\varsigma^*$ mà khi chưa nhiễu động, nó trùng với trục đối xứng OZ của gyroxcốp. Ngoại lực là lực ma sát nhớt ở các ổ trục khung trong và khung ngoài. Giả sử đế chuyển động với vận tốc góc $\vec{u}(u_\xi, u_\eta, u_\varsigma)$ trong hệ $O\xi\eta\varsigma$ gắn liền với nó. Khi đó vận tốc góc tuyệt đối của khung ngoài của gyroxcốp $\vec{\omega}_2(p_2, q_2, r_2)$ đối với hệ $Ox_2y_2z_2$ gắn với khung ngoài. Vận tốc góc tuyệt đối của khung là $\vec{\omega}_1(p_1, q_1, r_1)$ trong hệ $Ox_1y_1z_1$ gắn với khung và $\vec{\omega}(p, q, r)$ là vận tốc góc tuyệt đối của rô to trong hệ tọa độ gắn liền với nó $Oxyz$. Tất cả các hệ tọa độ này được chọn sao cho gốc O trùng với điểm bất động của gyroxcốp và các trục tọa độ trùng với trục chính của elipxôit quán tính. Khi đó vị trí của rô to được xác định bằng ba góc Krưlôv: α, β, γ, ở đó α là góc tiến động, β - góc trương động, γ - góc quay riêng.





Rõ ràng là các bảng cosin chỉ phương có dạng:

	ξ	η	ς
x_2	1	0	0
y_2	0	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$
z_2	0	$-\sin\alpha$	$\cos\alpha$

	x_2	y_2	z_2
x_1	$\cos\beta$	0	$-\sin\beta$
y_1	0	1	0
z_1	$\sin\beta$	0	$\cos\beta$

	x_1	y_1	z_1
x	$\cos\gamma$	$\sin\gamma$	0
y	$-\sin\gamma$	$\cos\gamma$	1
z	0	0	1

Vì vậy gọi M_1, M_2, M_3 là các ma trận chuyển vị tương ứng. Có:

$$\begin{pmatrix} p_2 \\ q_2 \\ r_2 \end{pmatrix} = M_1 \begin{pmatrix} u_\xi \\ u_\eta \\ u_\varsigma \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot\alpha \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \qquad \begin{pmatrix} p_1 \\ q_1 \\ r_1 \end{pmatrix} = M_2 M_1 \begin{pmatrix} u_\xi \\ u_\eta \\ u_\varsigma \end{pmatrix} + M_2 \begin{pmatrix} \dot\alpha \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \dot\beta \\ 0 \end{pmatrix} \tag{1.1}$$

Cuối cùng là:

$$\begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = M_3 M_2 M_1 \begin{pmatrix} u_\xi \\ u_\eta \\ u_\varsigma \end{pmatrix} + M_3 M_2 \begin{pmatrix} \dot\alpha \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + M_3 \begin{pmatrix} 0 \\ \dot\beta \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot\gamma \end{pmatrix}. \tag{1.2}$$

Dùng phương trình động lực học Ơle viết cho hệ $Oxyz$ chuyển động với vận tốc góc $\vec\Omega$ so với hệ cố định $O\xi^*\eta^*\varsigma^*$:

$$\frac{d\vec G}{dt} + \vec\Omega \times \vec G = \vec M_0$$

$\vec G$ - Mô men động lượng của vật rắn, $\vec M_0$ - Mô men chính ngoại lực tác dụng lên vật rắn. Viết 3 phương trình cho 3 vật rắn a) rô to, b) rô to + khung trong, c) rô to + khung trong + khung ngoài; chiếu lên trục quay tương ứng là Oz_1, Oy_1, Ox_2, được:

$$\begin{aligned}
&\frac{dG_{0z_1}}{dt} + p_1 G_{0y_1} - q_1 G_{0x_1} = L_{z_1}, \\
&\frac{d(\vec G_0 + \vec G_1)_{y_1}}{dt} + r_1(\vec G_0 + \vec G_1)_{x_1} - p_1(\vec G_0 + \vec G_1)_{z_1} = L_{y_1}, \\
&\frac{d(\vec G_0 + \vec G_1 + \vec G_2)_{x_2}}{dt} + q_2(\vec G_0 + \vec G_1 + \vec G_2)_{z_2} - r_2(\vec G_0 + \vec G_1 + \vec G_2)_{y_2} = L_{x_2}.
\end{aligned} \tag{1.3}$$

Gọi A_i, B_i, C_i - Mô men quán tính chính của các vật rắn tương ứng $i = 0, 1, 2$.

Thay các giá trị (1.1), (1.2) vào (1.3) được phương trình vi phân chuyển động của gyroxcốp cân bằng trên đế di động trong giá các đăng:

1) Nếu rô to có elipxôit quán tính tròn xoay thì $A_0 = B_0 \Rightarrow H = C_0 r$ – const

$$\begin{aligned}
&(D_0\cos^2\beta + A_2 + C_1\sin^2\beta)\ddot\alpha + D_2\dot\alpha\dot\beta\sin 2\beta + \dot\beta[D_2 u_\xi \sin 2\beta + r_2(D_2\cos 2\beta - \gamma_3) + \\
&\quad + H\cos\beta] + \varphi(\dot u_\xi, \dot u_\eta, \dot u_\varsigma) + q_2\cos\beta(H + C_1 u_\xi\sin\beta + C_1 r_2\cos\beta - D_0 u_\xi \sin\beta) + \\
&\quad + q_2 r_2(D_0\sin^2\beta + D_4 - D_3) = L_{x_2}, \\
&D_3\ddot\beta + \dot\alpha(D_3 r_2 - D_2 r_1\cos\beta - H\cos\beta) - \psi(\dot u_\xi, \dot u_\eta, \dot u_\varsigma) - (D_2 r_1 + \\
&\quad + H)(u_\xi\cos\beta - r_2\sin\beta) = L_{y_1}, \\
&q_2 = u_\eta\cos\alpha + u_\varsigma\sin\alpha, \quad r_2 = -u_\eta\sin\alpha + u_\varsigma\cos\alpha, \quad r_1 = (u_\xi + \dot\alpha)\sin\beta + r_2\cos\beta, \\
&\psi(\dot u_\xi, \dot u_\eta, \dot u_\varsigma) = D_3(\dot u_\eta\cos\alpha + \dot u_\varsigma\sin\alpha), \\
&\varphi(\dot u_\xi, \dot u_\eta, \dot u_\varsigma) = D_0(\dot u_\xi\cos\beta - \dot u_\varsigma\cos\alpha\sin\beta + \dot u_\eta\sin\alpha\sin\beta)\cos\beta + \\
&\quad + C_1\sin\beta(\dot u_\xi\sin\beta + \dot u_\varsigma\cos\alpha\cos\beta - \dot u_\eta\sin\alpha) + D_3(\dot u_\eta\cos\alpha + \dot u_\varsigma\sin\alpha), \\
&D_0 = A_0 + A_1, \quad D_2 = C_1 - A_0 - A_1, \quad D_3 = A_0 + B_1, \quad D_4 = C_2 - B_2.
\end{aligned} \tag{1.4}$$

Cho $L_{x_2} = -N_1\dot{\alpha}$; $\quad L_{y_1} = -N_2\dot{\beta}$

2. CHUẨN HÓA HỆ (1.4)

Trước hết hãy hạ bậc (1.4), đặt :

$$\frac{d\alpha}{dT} = \Omega_1; \qquad \frac{d\beta}{dT} = \Omega_2 \tag{2.1}$$

Điều kiện đầu chọn như sau:

$$\alpha(0) = \alpha_0; \quad \dot{\alpha}(0) = \theta; \quad \dot{\beta}(0) = 0; \quad \beta(0) = 0.$$

Chuẩn hóa hệ (1.4) trong biến số (2.1) bằng cách đưa (1.4) về dạng không thứ nguyên

$$\begin{aligned} &T = T_* t, \quad \alpha = \alpha_* X, \quad \beta = \beta_* Y, \quad A_i = I_* a_i, \quad B_i = I_* b_i, \\ &C_i = I_* c_i, \quad U_i = U_* v_i, \quad N_i = N_* n_j, \quad \Omega_j = \Omega_* W_j, \quad i = 0,1,2 \quad j = 1,2. \end{aligned}$$

Đặt $T_0 = I_*/H$, $\mu = T_0/T_*$. Xét lớp các chuyển động mà T_0 bé còn $T_* = T_d$ - thời gian chuyển động của đế rất lớn, khi đó $\mu \ll 1$. Các giá trị đặc trưng còn lại được chọn:

$$\begin{aligned} &I_* = \max(A_i, B_i, C_i); \quad U_* = \max\{\max[u_\xi(T), u_\eta(T), u_\zeta(T)]\} \\ &N_* = \max(N_i), \quad \alpha_* = \beta_* = 1, \quad \Omega_* = 1/T_*, \quad \Omega_* \sim U_*. \end{aligned}$$

Bây giờ hệ (1.4) ở dạng không thứ nguyên sẽ là:

$$\frac{dX}{dt} = W_1\ ; \qquad \frac{dY}{dt} = W_2 \tag{2.2}$$

$$\begin{aligned} &\mu A^{(0)}(Y)\frac{dW_1}{dt} + \mu\big[\cos Y \sin Y(2d_2W_1W_2 + 2d_2W_2v_1 + \tilde{q}_2v_1 - d_0v_1\tilde{q}_2) + W_2\tilde{r}_2(d_2\cos 2Y - d_3) + \\ &\quad + c_1\tilde{q}_2\tilde{r}_2\cos^2 Y + \tilde{q}_2\tilde{r}_2(d_0\sin^2 Y + d_4 - d_3)\big] + \mu\tilde{\varphi} + W_2\cos Y + \tilde{q}_2\cos Y = -n_1\chi W_1, \\ &\mu d_3\frac{dW_2}{dt} + \mu\big[W_1(d_3\tilde{r}_2 - d_2\tilde{r}_1(v_1\cos Y - \tilde{r}_2\sin Y)\big] - W_1\cos Y + v_1\cos Y + \tilde{r}_2\sin Y + \mu\tilde{\psi} = \\ &\quad = -n_2\chi W_2, \end{aligned}$$

d_i - là các đại lượng không thứ nguyên của của D_i, $\tilde{r}_2$, $\tilde{q}_2$, $\tilde{p}_2$, $\tilde{\varphi}$, $\tilde{\psi}$ - các đại lượng không thứ nguyên tương ứng

Ở đây $\chi = N_*/H$, $A^{(0)}(Y) = d_0\cos^2 Y + a_2 + c_1\sin^2 Y$

Hệ (2.2) là hệ phương trình vi phân chứa tham số bé ở đạo hàm bậc lớn nhất. Dễ thấy (2.2) thỏa mãn tất cả điều kiện của định lý Tikhônôv và điều kiện khai triển trên đoạn $0 \le t < \infty$.

3. XÂY DỰNG TIỆM CẬN NGHIỆM CHO (2.2)

Cho $v_1 = v_2 = 0$ còn $v_3 = \omega_0$ được:

$$\frac{dX}{dt} = W_1\,, \qquad \frac{dY}{dt} = W_2,$$

$$\mu A^{(0)}(Y)\frac{dW_1}{dt} = -\mu\big[d_2W_1W_2\sin^2 Y + W_2\omega_0\cos Y(-d_3+d_2\cos Y) + c_1\frac{\omega_0^2}{2}\sin 2X\cos^2 Y +$$
$$+\frac{\omega_0^2}{2}\sin 2X(d_4-d_3+d_0\sin^2 Y)\big] - (W_2+\omega_0\sin X)\cos Y - \chi n_1 W_1, \tag{3.1}$$
$$\mu\frac{dW_2}{dt} = -\mu\{W_1\left[d_0\omega_0 - d_2(W_1\sin Y+\omega_0\cos X\cos Y)\cos Y\right] + d_2\omega_0(W_1\sin Y+$$
$$+\omega_0\cos X\sin Y)\cos X\sin Y + W_1\cos Y - \omega_0\cos X\sin Y - \chi n_2 W_2.$$

Điều kiện đầu $\dot{X}(0) = x_0$, $\dot{X}(\theta) = 0$, $\dot{Y}(0) = Y(0) = 0$.

Hệ (3.1) có vị trí cân bằng ổn định (0,0). Nghiệm tiệm cận của nó được xây dựng quanh vị trí này. Do đó coi X, Y nhỏ: $X = \varepsilon x$, $Y = \varepsilon y$. Nghiệm tiệm cận sẽ được xây dựng theo μ bằng phương pháp tách chuyển động và theo ε bằng phương pháp Poăngcarê.

a) Nghiệm tiệm cận ở ngoài lớp biên

Ở bậc "0" theo μ được:

$$\begin{aligned}
&\cos\varepsilon y^{(0)}\frac{dy^{(0)}}{dt} + \omega_0\varepsilon^{-1}\sin\varepsilon x^{(0)}\cos\varepsilon y^{(0)} + n\chi\frac{dx^{(0)}}{dt} = 0,\\
&\cos\varepsilon y^{(0)}\frac{dx^{(0)}}{dt} - \omega_0\varepsilon^{-1}\sin\varepsilon y^{(0)}\cos\varepsilon x^{(0)} - n\chi\frac{dy^{(0)}}{dt} = 0.
\end{aligned}\tag{3.2}$$

Điều kiện đầu của hệ (3.2) là:

$$y^{(0)}(0) = 0, \qquad x^{(0)}(0) = x_0$$

Nghiệm của (3.2) xây dựng theo Poăngcarê:

$$\begin{aligned}
x^{(0)}(t) &= x_1^{(0)}(t) + \varepsilon x_2^{(1)}(t) + \varepsilon^2\ldots,\\
y^{(0)}(t) &= y_1^{(0)}(t) + \varepsilon y_2^{(1)}(t) + \varepsilon^2\ldots
\end{aligned}\tag{3.3}$$

Ở bậc "1" theo μ được:

$$\frac{dx^{(0)}}{dt} = \omega_1^{(1)}; \qquad \frac{dy^{(1)}}{dt} = \omega_2^{(1)} \tag{3.4}$$

$$\omega_2^{(1)}\cos\varepsilon y^{(0)} + n\chi\omega_1^{(0)} + \omega_0 x^{(1)}\cos\varepsilon y^{(0)}\cos\varepsilon x^{(0)} - y^{(1)}\sin\varepsilon y^{(0)}(\varepsilon\omega_1^{(0)} + \omega_0\sin\varepsilon x^{(0)}) =$$
$$= -(d_0\cos^2\varepsilon y^{(0)} + a_2 + c_1\sin^2\varepsilon y^{(0)}\frac{d\omega_1^{(0)}}{dt} - \omega_1^{(0)}\varepsilon\omega_2^{(0)}d_2\sin 2\varepsilon y^{(0)} - \omega_2^{(0)}(d_2\cos 2\varepsilon y^{(0)} -$$
$$-d_3)\omega_0\cos\varepsilon x^{(0)} - \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon}\sin 2\varepsilon x^{(0)}(c_1\cos^2\varepsilon y^{(0)} + d_4 - d_3 + d_0\sin\varepsilon y^{(0)}), \tag{3.5}$$
$$-\omega_1^{(1)}\cos\varepsilon y^{(0)} - \omega_0 x^{(1)}\sin\varepsilon x^{(0)}\sin\varepsilon y^{(0)} + n\chi\omega_1^{(1)} + y^{(1)}(\varepsilon\omega_1^{(0)}\sin\varepsilon y^{(0)} +$$
$$+\omega_0\cos\varepsilon x^{(0)}\cos\varepsilon y^{(0)}) = -d_3\frac{d\omega_2^{(0)}}{dt} + \varepsilon(\omega_2^{(0)})^2 d_2\sin\varepsilon y^{(0)} -$$
$$-\omega_2^{(0)}\omega_0\cos\varepsilon x^{(0)}(d_0 + d_2\sin^2\varepsilon y^{(0)}) - \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon}d_2\cos^2\varepsilon x^{(0)}\sin\varepsilon y^{(0)}.$$

Điều kiện đầu của (3.4) là:

$$x^{(1)}(0) = 0, \qquad y^{(1)}(0) = 0$$

Nghiệm của (3.4) theo Poăngcarê được tìm:

$$\begin{aligned} x^{(1)}(t) &= x_1^{(1)}(t) + \varepsilon x_2^{(1)}(t) + \varepsilon^2 \dots \\ y^{(1)}(t) &= y_1^{(1)}(t) + \varepsilon y_2^{(1)}(t) + \varepsilon^2 \dots \end{aligned} \tag{3.6}$$

Thay (3.3) vào (3.2) giữ lại những khai triển đến bậc "0" theo ε. Thay (3.6) vào (3.5) giữ lại những số hạng đến bặc "1" theo ε sẽ được các phương trình xác định

$$x_1^{(0)}(t),\quad y_1^{(0)}(t),\quad x_1^{(1)}(t),\quad y_1^{(1)}(t),\quad x_2^{(1)}(t),\quad y_2^{(1)}(t).$$

b) Nghiệm tiệm cận ở trong lớp biên

Phương trình chuyển động gyroxcốp ở trong lớp biên:

$$\frac{dx}{d\tau} = \mu\omega_1, \qquad \frac{dy}{d\tau} = \mu\omega_2, \qquad \mu\tau = t$$

$$\begin{aligned} A^{(0)}(\varepsilon y)\frac{d\omega_1}{d\tau} &= -\mu\big[d_2\omega_1\omega_2\varepsilon\sin 2\varepsilon y + \omega_1\omega_0\cos\varepsilon x(d_2\cos\varepsilon y - d_3) + \\ &+ \frac{\omega_0^2}{2\varepsilon}\sin 2\varepsilon x(c_1\cos^2\varepsilon y + d_0\sin^2\varepsilon y + d_4 - d_3)\big] - (\omega_2 + \frac{\omega_0}{2}\sin 2\varepsilon x)\cos\varepsilon y - \chi n\omega_1, \\ d_3\frac{d\omega_2}{d\tau} &= -\mu\{\omega_1\big[d_0\omega - 0\cos\varepsilon x - d_2(\omega_1\sin\varepsilon y + \frac{\omega_0}{\varepsilon}\cos\varepsilon x\cos\varepsilon y)(\cos\varepsilon y - \\ &- \omega_0\cos\varepsilon x\sin\varepsilon y)\} + \omega_1\cos\varepsilon y - \frac{\omega_0}{\varepsilon}\cos\varepsilon x\sin\varepsilon y - n\chi\omega_2. \end{aligned}$$

Ở bậc "0" theo μ được:

$$\frac{dx^{(0)}}{d\tau} = 0, \qquad \frac{dy^{(0)}}{d\tau} = 0, \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned} A^{(0)}(\varepsilon y^{(0)})\frac{d\omega_1^{(0)}}{d\tau} &= -(\omega_2^{(0)} + \frac{\omega_0}{2}\sin\varepsilon x^{(0)})\cos\varepsilon y^{(0)} - \chi n\omega_1^{(0)} \\ d_3\frac{d\omega_2^{(0)}}{d\tau} &= -\omega_1^{(0)}\cos\varepsilon y^{(0)} - \frac{\omega_0}{2}\cos\varepsilon x^{(0)}\sin\varepsilon y^{(0)} - \chi n\omega_2^{(0)}. \end{aligned}$$

Điều kiện đầu cho (3.7):

$$\begin{aligned} & x^{(0)}(\tau)\big|_{\tau=0} = 0, \quad y^{(0)}(\tau)\big|_{\tau=0} = 0, \\ & \omega_1^{(0)}(\tau)\big|_{\tau=0} = \chi n x_0\tilde{\omega}_0; \quad \omega_2^{(0)}(\tau)\big|_{\tau=0} = x_0\tilde{\omega}_0; \quad \tilde{\omega}_0 = \frac{\omega_0}{1 + n^2\chi^2}. \end{aligned}$$

Ở bậc "1" theo μ được:

$$\frac{dx^{(1)}}{d\tau} = \omega_1^{(0)}, \qquad \frac{dy^{(1)}}{d\tau} = \omega_2^{(0)}, \tag{3.8}$$

$$\begin{aligned} (d_0 + a_2)\frac{d\omega_1^{(1)}}{d\tau} &= -\omega_0(d_2 - d_3)\omega_2^{(0)} - \omega_2^{(1)} - \omega_0 x^{(1)} - n\chi\omega_1^{(1)}, \\ d_3\frac{d\omega_2^{(1)}}{d\tau} &= -\omega_1^{(0)}(d_3\omega_0 - d_2\omega_0) + \omega_1^{(1)} - \omega_0 y^{(1)} - \chi n\omega_2^{(1)}. \end{aligned}$$

Điều kiện đầu cho (3.8):

$$x^{(1)}(\tau)\big|_{\tau=0} = 0, \quad y^{(1)}(\tau)\big|_{\tau=0} = 0.$$

Giải các hệ (3.2), (3.4) và (3.7), (3.8) được kết quả:

$$x(t,\mu) = x_0 e^{-\tilde{\omega}_0 \chi nt}\big[1 + (M_1 + M_2)\mu t \cos\tilde{\omega}_0 t\big] + \mu s_1,$$
$$y(t,\mu) = x_0 e^{-\tilde{\omega}_0 \chi nt}\big\{-\big[1 - \mu t(M_1 + M_2)(\sin\tilde{\omega}_0 t + \cos\tilde{\omega}_0 t)\big] + \mu s_2\big\}.$$

M_1, M_2 - các hằng số không thứ nguyên phụ thuộc các mô men quán tính chính của các bộ phận gyroxcốp, s_1, s_2 - hằng số không phụ thuộc vào ω_0, y, x, v. v...

Nhận xét: Kết quả cho thấy:

- Gyroxcốp có tiến động hệ thống
- Tốc độ tiến động này phụ thuộc chiều chuyển động của đế theo luật hàm mũ.
- Phương pháp tách chuyển động cho thêm số hạng thế kỷ bậc μ. Dù μ nhỏ nhưng nếu t lớn thì vẫn là một bổ sung đáng kể đối với tốc độ tiến động.
- Hệ số ma sát cũng có ảnh hưởng đáng kể đến tiến động.

Những kết luận này là sự khác biệt đối với tất cả những kết luận đã biết.

Để minh họa thêm cho kết luận này, xét thêm một thí dụ cụ thể. Giả sử đế là tàu biển, chuyển động theo cung tròn 6° trong 5s. Khi đó:

$$\omega_t = 2.10^{-2} 1/s, \quad T_* = 5s, \quad \alpha_* = \beta_* = 1.$$

Vậy:

$$\omega_0 = 2.10^{-2} 1/s \quad \text{và} \quad \mu = 2.10^{-3}, \quad t = 1.$$

Được:

$$\Delta x \approx x_0(2^{\pm 10^{-5}} - 1), \quad \Delta y \approx 0,1 x_0 e^{\pm 10^{-5}}, \quad \mu \sim \chi$$

Nếu $\omega_0 > 0$ thì $|\Delta x| \approx 0,0091 x_0$, $\Delta y \approx 0,1 x_0$, $\omega_0 < 0$ thì $|\Delta x| \approx 0,02 x_0$, $\Delta y \approx 0,1 x_0$. Do đó:

$$\Delta\alpha_{(\omega_0<0)} > 2\Delta\alpha_{(\omega_0>0)}$$

Công trình này được hoàn thành với sự tài trợ của Chương trình Nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực Khoa học tự nhiên

Địa chỉ:
Đại học Xây dựng
Đại học Sư phạm I Hà Nội

Nhận ngày 2/10/1992

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Новожилов И. В. Методы разделения движений. МЭИ - 1982.

SUMMARY

ON THE MOTION OF GYROSCOP

In this work the authors had studied the motion of Gyro in mobile basis. Introducing the uncountable by degree units the differential equation system is coming to the standart form, which can be solver by the method of separation motion. Computed result is the exponential function.