STATE UNIVERSITY OF NEW YORK AT BUFFALO

Mechanical and Aerospace Engineering Department

MAE562 Analytical Dynamics

Final Project

NAME: LENG-FENG LEE

ADVISOR: DR. ELBERT L. MARSH

DATE: 8th May 2006.

Table of Content

MTH 562 ANALYTICAL DYNAMICS FINAL PROJECT

Leng-Feng Lee (#2963-2068, llee3@eng.buffalo.edu)
Advisor: Dr. Albert L. Marsh (emarsh@nsm.buffalo.edu)
8 May 2006.

ABSTRACT:
In this final project, equation of motion of a bicycle is developed using Kane's Equation. The equation of motion is formulated without considering the nonholonomic constraints of the bicycle and assuming that both wheels roll without slip and that all bearings are smooth. First, the kinematics of the system is formulated, then we determine the generalized active force and generalized inertia force of the system, and finally the equation of motion is obtained by utilize the Autolev program. The equation of motion is then being verified by considering the bicycle is moving in a straight line.

PROBLEM SUMMARY:
The bicycle model used in this project is shown in Figure 1. The bicycle comprises of four connected bodies: the bicycle frame, the steering, the front wheel and the rear wheel.

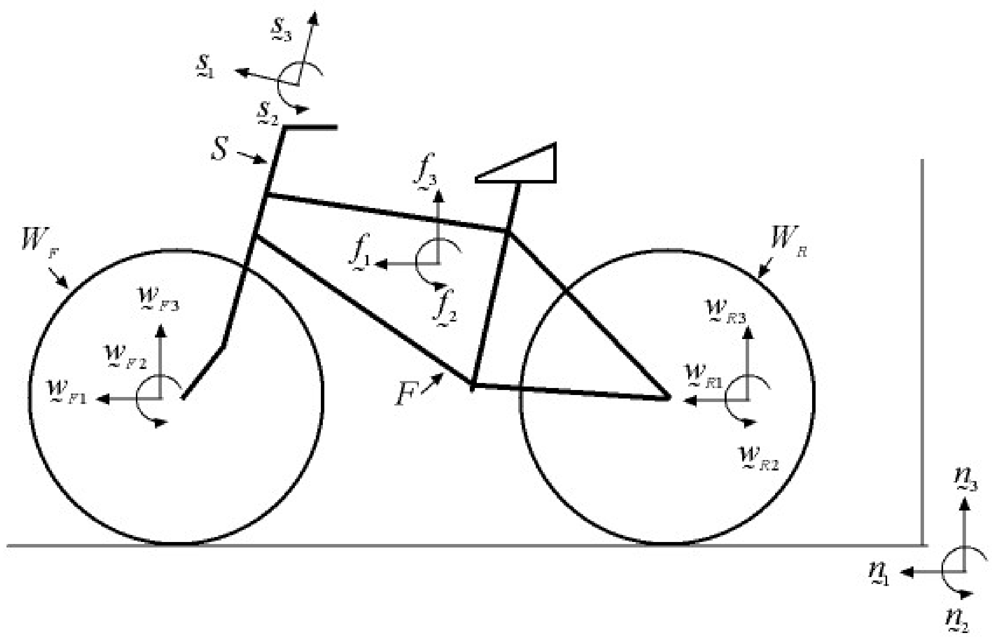

Figure 1: The bicycle model used in the project comprise of four parts: The frame F ; the steering S ; the front wheel W_F ; and the rear wheel W_R .

NOTE:
In the following formulation, Autolev is being utilized to obtain the solution.

KINEMATICS**:**

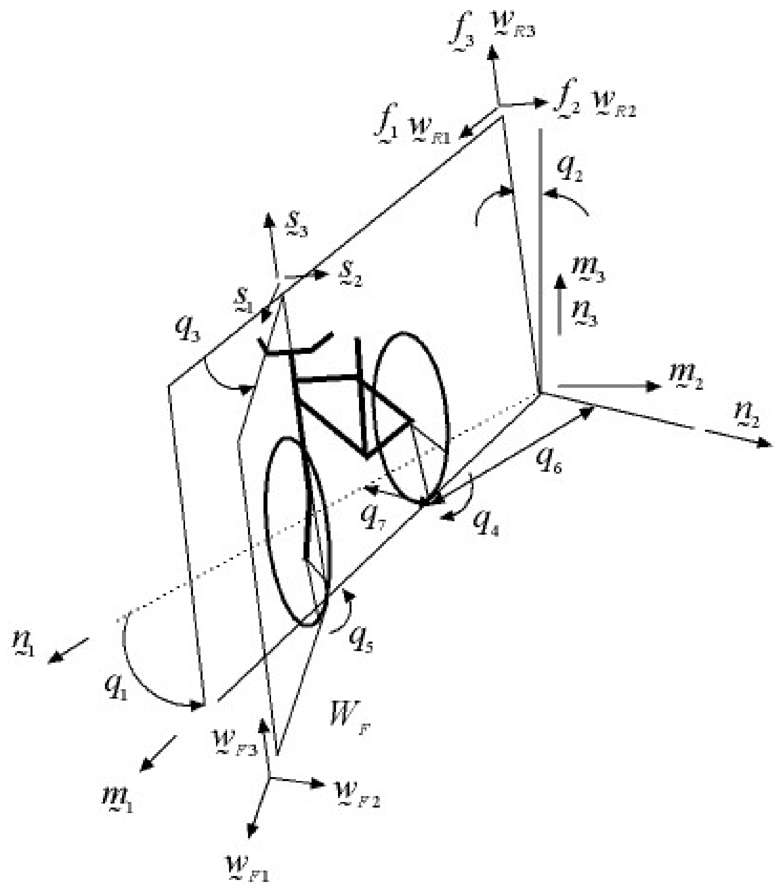

Figure 2: The generalized coordinates of the bicycle model. There are eight generalized coordinates, the angle $q_1, \cdots, q_5$ as labeled, and q_6, q_7 position of the mass center of the bicycle.

Some of the relations between each coordinates will be useful in formulating the equation motion for the bicycle; hence it is useful to have them handy.

$$\begin{bmatrix} \underset{\sim}{n}_1 \\ \underset{\sim}{n}_2 \\ \underset{\sim}{n}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underset{\sim}{m}_1 \\ \underset{\sim}{m}_2 \\ \underset{\sim}{m}_3 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \underset{\sim}{m}_1 \\ \underset{\sim}{m}_2 \\ \underset{\sim}{m}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_2 & -\sin q_2 \\ 0 & \sin q_2 & \cos q_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underset{\sim}{f}_1 \\ \underset{\sim}{f}_2 \\ \underset{\sim}{f}_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underset{\sim}{f}_1 \\ \underset{\sim}{f}_2 \\ \underset{\sim}{f}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underset{\sim}{p}_1 \\ \underset{\sim}{p}_2 \\ \underset{\sim}{p}_3 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \underset{\sim}{p}_1 \\ \underset{\sim}{p}_2 \\ \underset{\sim}{p}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_3 & -\sin q_3 & 0 \\ \sin q_3 & \cos q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underset{\sim}{s}_1 \\ \underset{\sim}{s}_2 \\ \underset{\sim}{s}_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underset{\sim}{s}_1 \\ \underset{\sim}{s}_2 \\ \underset{\sim}{s}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underset{\sim}{w}_{F1} \\ \underset{\sim}{w}_{F2} \\ \underset{\sim}{w}_{F3} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} \underset{\sim}{f}_1 \\ \underset{\sim}{f}_2 \\ \underset{\sim}{f}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underset{\sim}{w}_{R1} \\ \underset{\sim}{w}_{R2} \\ \underset{\sim}{w}_{R3} \end{bmatrix}$$

***Simple angular velocities*:**

$$ {}^{S}\vec{\omega}^{W_F} = \dot{q}_5 \underset{\sim}{w}_{F2} = \dot{q}_5 \underset{\sim}{s}_2 \tag{1} $$

$$ {}^{F}\vec{\omega}^{S} = \dot{q}_3 \underset{\sim}{s}_3 = \dot{q}_3 \underset{\sim}{f}_3 \tag{2} $$

$$ {}^{M}\vec{\omega}^{F} = \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1 = \dot{q}_2 \underset{\sim}{m}_2 \tag{3} $$

$$ {}^{F}\vec{\omega}^{W_R} = \dot{q}_4 \underset{\sim}{w}_{R2} = \dot{q}_4 \underset{\sim}{f}_2 \tag{4} $$

$$ {}^{N}\vec{\omega}^{M} = \dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 = \dot{q}_1 \underset{\sim}{m}_3 \tag{5} $$

Other simple angular velocities involving n auxiliary frames can be obtain using the addition theorem for angular velocities:

$$ {}^{A}\omega^{B} = {}^{A}\omega^{A_1} + {}^{A_1}\omega^{A_2} + \cdots + {}^{A_{n-1}}\omega^{A_n} + {}^{A_n}\omega^{B} \tag{6} $$

Hence, to find ${}^{N}\vec{\omega}^{W_F}$, we have:

$$ \begin{aligned} {}^{N}\vec{\omega}^{W_F} &= {}^{N}\vec{\omega}^{M} + {}^{M}\vec{\omega}^{F} + {}^{F}\vec{\omega}^{S} + {}^{S}\vec{\omega}^{W_F} \\ &= \dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 + \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1 + \dot{q}_3 \underset{\sim}{s}_3 + \dot{q}_5 \underset{\sim}{w}_{R2} \end{aligned} \tag{7} $$

Similarly, ${}^{N}\vec{\omega}^{W_R}$ is determine from:

$$ \begin{aligned} {}^{N}\vec{\omega}^{W_R} &= {}^{N}\vec{\omega}^{M} + {}^{M}\vec{\omega}^{F} + {}^{F}\vec{\omega}^{W_R} \\ &= \dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 + \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1 + \dot{q}_4 \underset{\sim}{w}_{R2} \end{aligned} \tag{8} $$

And ${}^{N}\vec{\omega}^{F}$:

$$ \begin{aligned} {}^{N}\vec{\omega}^{F} &= {}^{N}\vec{\omega}^{M} + {}^{M}\vec{\omega}^{F} \\ &= \dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 + \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1 \end{aligned} \tag{9} $$

Finally, ${}^{N}\vec{\omega}^{S}$ is found from:

$$ \begin{aligned} {}^{N}\vec{\omega}^{S} &= {}^{N}\vec{\omega}^{M} + {}^{M}\vec{\omega}^{F} + {}^{F}\vec{\omega}^{S} \\ &= \dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 + \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1 + \dot{q}_3 \underset{\sim}{s}_3 \end{aligned} \tag{10} $$

***Velocities at the center of mass of each of the four bodies*:**

The velocities at the center of mass of the bicycle frame, steering column, and front and rear wheel are determine by first defining the position vector to these position and take the time derivatives of the position vector in the reference frame N . The center of mass for each body is shown in

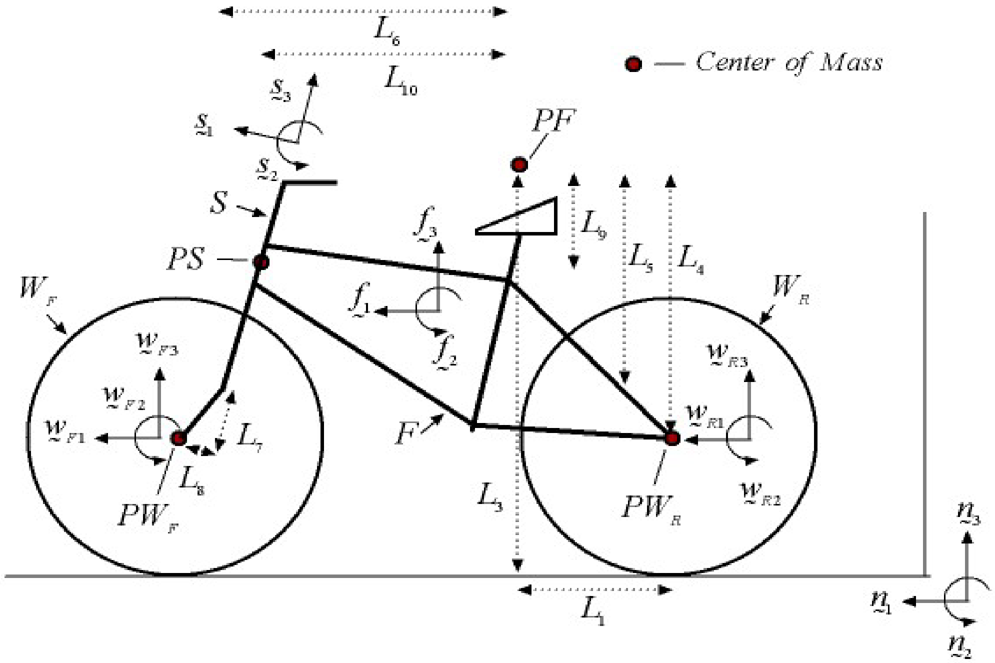

Figure 3: The location of the center of mass (CM) of each of the four bodies on the bicycle. PF **denotes the CM of the combined bicycle frame and human,** PS **denote the CM of the steering column, and** PW_F **and** PW_R **denote the CM of the front and rear wheel.**

For bicycle frame, the position vector to the CM (point PF in Figure 3)is:

$$\vec{P}^F = q_6\underset{\sim}{n}_1 + q_7\underset{\sim}{n}_2 + L_1\underset{\sim}{f}_2 + L_3\underset{\sim}{f}_3 \tag{11}$$

the velocity vector is define as:

$$\begin{aligned}\vec{V}^F &= \frac{{}^N d}{dt}\left(\vec{P}^F\right)\\ &= \frac{{}^N d}{dt}\left(q_6\underset{\sim}{n}_1 + q_7\underset{\sim}{n}_2 + L_1\underset{\sim}{f}_1 + L_3\underset{\sim}{f}_3\right)\\ &= \dot{q}_6\underset{\sim}{n}_1 + \dot{q}_7\underset{\sim}{n}_2 + \frac{{}^N d}{dt}\left(L_1\underset{\sim}{f}_1 + L_3\underset{\sim}{f}_3\right)\\ &= \dot{q}_6\underset{\sim}{n}_1 + \dot{q}_7\underset{\sim}{n}_2 + L_1\left({}^N\omega^F \times \underset{\sim}{f}_1\right) + L_3\left({}^N\omega^F \times \underset{\sim}{f}_3\right)\end{aligned} \tag{12}$$

Using Autolev, the velocity of point PF is:

$${}^N\vec{V}^F = L_3\dot{q}_1\sin q_2\underset{\sim}{f}_1 - L_3\dot{q}_2\underset{\sim}{f}_2 + L_1 q_1\underset{\sim}{m}_2 + \dot{q}_6\underset{\sim}{n}_1 + \dot{q}_7\underset{\sim}{n}_2 \tag{13}$$

Or, express in N-Frame, we have the following expression:

$$
\begin{aligned}
{}^{N}\vec{V}^{F} &= \left\{ \dot{q}_6 + L_1 \dot{q}_2 \sin q_1 \sin q_2 + L_3 \dot{q}_2 \sin q_1 \cos q_2 - \dot{q}_1 \cos q_1 \left(L_1 \cos q_2 - L_3 \sin q_2 \right) \right\} \underset{\sim}{n}_1 \\
&\quad + \left\{ \dot{q}_7 - L_1 \dot{q}_2 \sin q_2 \cos q_1 - L_3 \dot{q}_2 \cos q_1 \cos q_2 - \dot{q}_1 \sin q_1 \left(L_1 \cos q_2 - L_3 \sin q_2 \right) \right\} \underset{\sim}{n}_2 \\
&\quad + \left\{ \dot{q}_2 \left(L_1 \cos q_2 - L_3 \sin q_2 \right) \right\} \underset{\sim}{n}_3
\end{aligned}
$$

For steering column, the position vector to the CM is:

$$
\vec{P}^{S} = \vec{P}^{F} - L_9 \underset{\sim}{f}_3 + L_{10} \underset{\sim}{f}_1 \tag{14}
$$

The velocity vector of the CM of the steering column is thus:

$$
\begin{aligned}
\vec{V}^{S} &= \frac{{}^{N}d}{dt} \left(\vec{P}^{F} - L_9 \underset{\sim}{f}_3 + L_{10} \underset{\sim}{f}_1 \right) \\
&= \vec{V}^{F} + \frac{{}^{N}d}{dt} \left(L_{10} \underset{\sim}{f}_1 - L_9 \underset{\sim}{f}_3 \right) \\
&= \vec{V}^{F} + {}^{N}\omega^{F} \times \left(L_{10} \underset{\sim}{f}_1 - L_9 \underset{\sim}{f}_3 \right) \\
&= \left(L_3 - L_9 \right) \dot{q}_1 \sin q_2 \underset{\sim}{f}_1 - \left(L_3 - L_9 \right) \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_2 + \left(L_1 + L_{10} \right) \dot{q}_1 \underset{\sim}{m}_2 + \dot{q}_6 \underset{\sim}{n}_1 + \dot{q}_7 \underset{\sim}{n}_2
\end{aligned} \tag{15}
$$

For the front wheel, the position vector to the CM is:

$$
\vec{P}^{W_F} = \vec{P}^{F} - L_5 \underset{\sim}{f}_3 + L_6 \underset{\sim}{f}_1 - L_7 \underset{\sim}{s}_3 + L_8 \underset{\sim}{s}_1 \tag{16}
$$

The velocity vector of the CM of the front wheel is given by:

$$
\begin{aligned}
\vec{V}^{W_F} &= \frac{{}^{N}d}{dt} \left(\vec{P}^{W_F} \right) \\
&= \frac{{}^{N}d}{dt} \left(\vec{P}^{W_F} - L_5 \underset{\sim}{f}_3 + L_6 \underset{\sim}{f}_1 - L_7 \underset{\sim}{s}_3 + L_8 \underset{\sim}{s}_1 \right) \\
&= \vec{V}^{F} + \frac{{}^{N}d}{dt} \left(L_6 \underset{\sim}{f}_1 - L_5 \underset{\sim}{f}_3 + L_8 \underset{\sim}{s}_1 - L_7 \underset{\sim}{s}_3 \right) \\
&= \vec{V}^{F} + {}^{N}\omega^{F} \times \left(L_6 \underset{\sim}{f}_1 - L_5 \underset{\sim}{f}_3 + L_8 \underset{\sim}{s}_1 - L_7 \underset{\sim}{s}_3 \right) \\
&= \left(L_3 - L_5 \right) \dot{q}_1 \sin q_2 \underset{\sim}{f}_1 - \left(L_3 - L_5 - L_7 \cos \gamma \right) \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_2 \\
&\quad + \left(L_1 + L_6 \right) \dot{q}_1 \underset{\sim}{m}_2 + \dot{q}_6 \underset{\sim}{n}_1 + \dot{q}_7 \underset{\sim}{n}_1 - L_7 \left(\sin q_2 \cos q_3 - \sin q_3 \cos q_2 \right) \dot{q}_1 \underset{\sim}{s}_1 \\
&\quad + \left[L_7 \left(\sin q_2 \sin q_3 + \sin \gamma \cos q_2 \cos q_3 \right) \dot{q}_1 - L_8 \left(\sin \gamma \dot{q}_2 - \dot{q}_3 - \cos \gamma \cos q_2 \dot{q}_1 \right) \right] \underset{\sim}{s}_2 \\
&\quad + \left[L_8 \left(\cos \gamma \sin q_3 \dot{q}_2 - \left(\sin q_2 \cos q_3 - \sin \gamma \cos q_2 \sin q_3 \right) \dot{q}_1 \right) \right] \underset{\sim}{s}_3
\end{aligned} \tag{17}
$$

Finally, for the rear wheel, the position vector to the CM is:

$$\vec{P}^{W_R} = \vec{P}^F - L_1 \underset{\sim}{f}_1 - L_4 \underset{\sim}{f}_3 \tag{18}$$

And the corresponding velocity of the CM of the rear wheel is:

$$\begin{aligned}
\vec{V}^{W_F} &= \frac{{}^N d}{dt}\left(\vec{P}^{W_F}\right) \\
&= \frac{{}^N d}{dt}\left(\vec{P}_F - L_1 \underset{\sim}{f}_1 - L_4 \underset{\sim}{f}_3\right) \\
&= \vec{V}^F - \frac{{}^N d}{dt}\left(L_1 \underset{\sim}{f}_1 + L_4 \underset{\sim}{f}_3\right) \\
&= \vec{V}^F - {}^N\omega^F \times \left(L_1 \underset{\sim}{f}_1 + L_4 \underset{\sim}{f}\right) \\
&= \left(L_3 - L_4\right)\dot{q}_1 \sin q_2 \underset{\sim}{f}_1 - \left(L_3 - L_4\right)\dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_2 + \dot{q}_6 \underset{\sim}{n}_1 + \dot{q}_7 \underset{\sim}{n}_2
\end{aligned} \tag{19}$$

Now we are able to construct the partial velocities table for the generalized coordinates:

q_r	${}^N\vec{\omega}_r^F$	${}^N\vec{\omega}_r^S$	${}^N\vec{\omega}_r^{W_F}$	${}^N\vec{\omega}_r^{W_R}$
1	$\underset{\sim}{m}_3$	$\underset{\sim}{m}_3$	$\underset{\sim}{m}_3$	$\underset{\sim}{m}_3$
2	$\underset{\sim}{f}_1$	$\underset{\sim}{f}_1$	$\underset{\sim}{f}_1$	$\underset{\sim}{f}_1$
3	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{s}$	$\underset{\sim}{s}$	$\underset{\sim}{s}$
4	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{w}_{R2}$
5	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{w}_{F2}$	$\underset{\sim}{0}$
6	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$
7	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$

q_r	${}^N\vec{V}_r^F$	${}^N\vec{V}_r^S$	${}^N\vec{V}_r^{W_F}$	${}^N\vec{V}_r^{W_R}$
1	$L_3 \sin q_2 \underset{\sim}{f}_1 + L_2 \underset{\sim}{m}_2$	$\left(L_3 - L_9\right)\sin q_2 \underset{\sim}{f}_1$	*	$\left(L_3 - L_4\right)\sin q_2 \underset{\sim}{f}_1$
2	$L_3 \underset{\sim}{f}_2$	$\left(L_1 + L_{10}\right)\underset{\sim}{m}_2$	**	$\left(L_4 - L_3\right)\underset{\sim}{f}_2$
3	$\underset{\sim}{0}$	$\left(L_9 - L_3\right)\underset{\sim}{f}_2$	$L_8 \underset{\sim}{s}_2$	$\underset{\sim}{0}$
4	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$
5	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$	$\underset{\sim}{0}$
6	$\underset{\sim}{n}_1$	$\underset{\sim}{n}_1$	$\underset{\sim}{n}_1$	$\underset{\sim}{n}_1$
7	$\underset{\sim}{n}_2$	$\underset{\sim}{n}_2$	$\underset{\sim}{n}_2$	$\underset{\sim}{n}_2$

$$\begin{aligned}
* = &\left(L_3 - L_5\right)\sin q_2 \underset{\sim}{f}_1 + \left(L_1 + L_6\right)\underset{\sim}{m}_2 - L_7\left(\sin q_2 \cos q_3 - \sin\gamma \sin q_3 \cos q_2\right)\dot{q}_1 \underset{\sim}{s}_1 \\
&+ \left[L_8 \cos\gamma \cos q_2 + L_7\left(\sin q_2 \sin q_3 + \sin\gamma \cos q_2 \cos q_3\right)\right]\underset{\sim}{s}_2 \\
&- L_8\left(\sin q_2 \cos q_3 - \sin\gamma \cos q_2 \sin q_3\right)\underset{\sim}{s}_3
\end{aligned}$$

$$** = \left(+L_5 + L_7 \cos\gamma - L_3\right)\underset{\sim}{f}_2 - L_8 \sin\gamma \underset{\sim}{s}_2 + L_8 \cos\gamma \sin q_3 \underset{\sim}{s}_3$$

Using Autolev, the angular acceleration of each body and the linear acceleration of the center of mass of each body are given as follow:

Angular acceleration of each body:

For bicycle’s body:

Expression	Autolev solution
${}^N\vec{\alpha}^F = \frac{{}^N d}{dt}\left({}^N\vec{\omega}^F\right) = \frac{{}^N d}{dt}\left(\dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 + \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1\right)$	AFN> = q2''*F1> + q1'*q2'*M2> + q1''*M3>

For bicycle’s steering:

Expression	Autolev solution
${}^N\vec{\alpha}^S = \frac{{}^N d}{dt}\left({}^N\vec{\omega}^S\right) = \frac{{}^N d}{dt}\left(\dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 + \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1 + \dot{q}_3 \underset{\sim}{s}_3\right)$	ASN> = q2''*F1> - COS(gamma)*q2'*q3'*F2> + q1'*q2'*M2> + q1''*M3> + (SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*q3'*S1> - (SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*q3'*S2> + q3''*S3>

For bicycle’s front wheel:

Expression	Autolev solution
${}^N\vec{\alpha}^{W_F} = \frac{{}^N d}{dt}\left({}^N\vec{\omega}^{W_F}\right) = \frac{{}^N d}{dt}\left(\dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 + \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1 + \dot{q}_3 \underset{\sim}{s}_3 + \dot{q}_5 \underset{\sim}{w}_{R2}\right)$	AAN> = q5'*((SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*q2'-(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5) + SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3) + SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1')*A1> + q5''*A2> + q5'*((SIN(gamma)*SIN(q5) + COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*q2' - (COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2) -COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3) + SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1')*A3> + q2''*F1> - COS(gamma)*q2'*q3'*F2>+ q1'*q2'*M2> + q1''*M3> - q3'*(q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')*S1> - (SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*q3'*S2 > + q3''*S3>

For bicycle’s rear wheel:

Expression	Autolev solution
${}^N\vec{\alpha}^{W_R} = \frac{{}^N d}{dt}\left({}^N\vec{\omega}^{W_R}\right) = \frac{{}^N d}{dt}\left(\dot{q}_1 \underset{\sim}{n}_3 + \dot{q}_2 \underset{\sim}{f}_1 + \dot{q}_4 \underset{\sim}{w}_{R2}\right)$	ABN> = q4''*B2> + q2''*F1> + q2'*q4'*F3> - COS(q2)*q1'*q4'*M1> + q1'*q2'*M2> + q1''*M3>

Linear acceleration of each body:

For bicycle's body:

Expression	Autolev solution
$^N\vec{a}^F = \frac{^Nd}{dt}\left(^N\vec{V}^F\right)$	L3*(2*COS(q2)*q1'*q2'+SIN(q2)*q1")*F1> - L3*q2"*F2> - L3*q2'^2*F3> - L1*q1'^2*M1> + (L3*SIN(q2)*q1'^2+L1*q1")*M2> + q6"*N1> +q7"*N2>

For bicycle's steering:

Expression	Autolev solution
$^N\vec{a}^S = \frac{^Nd}{dt}\left(^N\vec{V}^S\right)$	(L3-L9)*(2*COS(q2)*q1'*q2'+SIN(q2)*q1")*F1> - (L3-L9)*q2"*F2> - (L3- L9)*q2'^2*F3> - (L1+L10)*q1'^2*M1> + ((L3- L9)*SIN(q2)*q1'^2+(L1+L10)*q1")*M2> + q6"*N1> + q7"*N2>

For bicycle's front wheel:

Expression	Autolev solution
$^N\vec{a}^{W_F} = \frac{^Nd}{dt}\left(^N\vec{V}\right.$	A_Ao_N> = (2*(L3-L5)*COS(q2)*q1'*q2'+(L3-L5)*SIN(q2)*q1"- L7*COS(gamma)*COS(q2)*q1'*q2')*F1> + (- L8*COS(gamma)*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(L3-L5-L7*COS(gamma))* q2")*F2> - (L3-L5-L7*COS(gamma))*q2'^2*F3> - (L1+L6)*q1'^2*M1> + ((L3- L5)*SIN(q2)*q1'^2+(L1+L6)*q1")*M2> + q6"*N1> + q7"*N2> + (L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'- (SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')- L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'- SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'- COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'- COS(gamma)*COS(q2)*q1')- L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')- L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1")*S1> + (L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(SIN(gamma)*q2'-q3'- COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*q1'*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'- SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)* COS(q2)*q3')+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1"- L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')- L8*(COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2'+SIN(gamma)*q2"-q3"- COS(gamma)*COS(q2)*q1"))*S2> + (L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)*SIN(q3)*q2"- q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'- SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1")-L7*(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'- (SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')- (COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')- L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))*S3>

For bicycle's rear wheel:

Expression	Autolev solution
$^N\vec{a}^{W_R} = \frac{^Nd}{dt}\left(^N\vec{V}^{W_R}\right)$	(L3-L4)*(2*COS(q2)*q1'*q2'+SIN(q2)*q1")*F1> - (L3-L4)*q2"*F2> - (L3- L4)*q2'^2*F3> + (L3-L4)*SIN(q2)*q1'^2*M2> + q6"*N1> + q7"* N2>

MASS AND INERTIA PROPERTIES:

The mass and inertia of each component (given) are listed below:

Component	*Mass*	*Inertia*
Body frame + human	M_F	$I^F = \begin{bmatrix} I_1^F & 0 & 0 \\ 0 & I_2^F & 0 \\ 0 & 0 & I_3^F \end{bmatrix}$
Steering Column	M_S	$I^S = \begin{bmatrix} I_1^S & 0 & 0 \\ 0 & I_2^S & 0 \\ 0 & 0 & I_3^S \end{bmatrix}$
Front wheel	M_W	$I^W = \frac{M_W R^2}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Rear wheel	M_W	$I^W = \frac{M_W R^2}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

GENERALIZED ACTIVE FORCE AND GENERALIZED INERTIA FORCE:

The generalized active force for rigid body in a system is given by:

$$\vec{F}_r = \sum_{i=1}^{p} \vec{\omega}_r^i \cdot \vec{T} + \vec{V}_r^i \cdot \vec{R} \qquad (20)$$

Where:

$\vec{\omega}_r^i$ -partial angular velocity of body i with respect to generalized coordinate r.

$\vec{V}_r^i$ -partial linear velocity of body i with respect to generalized coordinate r.

$\vec{T}$ -sum of all resultant torque exert on the CM of body i.

$\vec{R}$ -sum of all resultant force exert on the CM of body i.

The generalized inertia force for rigid body in a system is given by:

$$\vec{F}_r^* = \sum_{i=1}^{p} \vec{\omega}_r^i \cdot \vec{T}^* + \vec{V}_r^i \cdot \vec{R}^* \qquad (21)$$

Where:

$\vec{\omega}_r^i$ - partial angular velocity of body i with respect to generalized coordinate r.

$\vec{V}_r^i$ -partial linear velocity of body i with respect to generalized coordinate r.

$\vec{R}^* = -M\vec{a}^*$, $\vec{a}^*$ is the linear acceleration of CM of body i.

$\vec{T}^* = -\alpha \cdot \prod - \vec{\omega} \cdot \prod \cdot \vec{\omega}$, $\prod$ is the dyadic of body i, α is the angular acceleration of body i, and $\vec{\omega}$ is the angular velocity of body i. It can also expressed as:

$$\vec{T}^* = -\left[\alpha_1 I_1 - \omega_2\omega_3\left(I_2 - I_3\right)\right]\underset{\sim}{c}_1 - \left[\alpha_2 I_2 - \omega_1\omega_3\left(I_3 - I_1\right)\right]\underset{\sim}{c}_2 - \left[\alpha_3 I_3 - \omega_1\omega_2\left(I_1 - I_2\right)\right]\underset{\sim}{c}_3$$

Using Autolev, the generalized active force is given as:

$\vec{F}_1$	0
$\vec{F}_2$	g*(L3*MF*SIN(q2)+MS*(L3-L9)*SIN(q2)+MW*(2*L3-L4)*SIN(q2)- MW*(L8*SIN(q3)*COS(q2)+(L5+L7*COS(gamma))*SIN(q2)- L8*SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))
$\vec{F}_3$	-g*L8*MW*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))
$\vec{F}_4$	0
$\vec{F}_5$	0
$\vec{F}_6$	0
$\vec{F}_7$	0

Similarly, using Autolev, the generalized inertia force is given as:

$\vec{F}_1^*$	I3S*COS(gamma)^2*SIN(q2)*COS(q2)*q1'*q2' + (I1S-I3S)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma) *COS(q2)*q1')*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1') + (I2S-I3S)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(COS(gamma)*SIN(q3)* q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') + I2S*(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)* SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')) + I1S*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)* COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'*q3'-COS(gamma)^2*SIN(q2)*COS(q3)*q1'*q3'-(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')) + 0.25*MW*R^2*(2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q3'- (COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')) +(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(q5)*q3'-(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*q2')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3) +SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(SIN(q5)*q3'-(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(ga mma)*COS(q3)*COS(q5))*q2')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(q5)*q3'*q5'+COS (gamma)*SIN(q3)*COS(q5)*q2'*q3'+COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3)*q2'*q5'-SIN (gamma)*COS(q5)*q2'*q5'-(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q2)*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q5')-(COS(gamma)*SIN(q2)*SIN(q5)+COS(q5)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(ga mma)*SIN(q2)*COS(q3)))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'-COS(gamma)*SIN(q3)*q5'))-(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(SIN(gamma)*SIN(q5)*q2'*q5'+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5)* q2'*q5'-SIN(q5)*q3'*q5'-COS(gamma)*SIN(q3)*SIN(q5)*q2'*q3'-(SIN(gamma) *COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q2)*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q5')-(COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q5)-SIN(q5)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))*q1'*(q2'-SIN (gamma)*q3'-COS(gamma)*SIN(q3)*q5'))) + (MF*(L1*SIN(q1)-L3*SIN(q2)*COS (q1))+MS*((L1+L10)*SIN(q1)-(L3-L9)*SIN(q2)*COS(q1))-MW*(2*L3-L4)*SIN(q2)*COS(q1)-MW*(L8*(SIN(gamma)*COS(q1)-COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2))*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))-(L1+L6)*SIN(q1)-L5*SIN(q2) *COS(q1)-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(COS(gamma)* COS(q1)*COS(q3)-SIN(q1)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))- (L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(gamma)*SIN(q3)*COS(q1)+SIN(q1)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)))))*q6'' + 0.25*(4*(I3F+I3S*COS(gamma)^2-I2F-MW*(L3-L4)^2) *SIN(q2)^2-4*I3F-4*I3S*COS(gamma)^2-MW*R^2*(1+SIN(q2)^2)-4*MF*(L1^2+ L3^2*SIN(q2)^2)-4*MS*((L1+L10)^2+(L3-L9)^2*SIN(q2)^2)-4*I1S*(SIN(q2)* SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))^2-4*I2S*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))^2-MW*R^2*(2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS (q2))^2+(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))^2+(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN (q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))^2)-4*MW*((L1+L6)^2+L7^2*(SIN(q2)*COS

		(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))^2+L8^2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)* SIN(q3)*COS(q2))^2+(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gam ma)*COS(q2)*COS(q3)))^2+2*(L1+L6)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)* SIN(q3))*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2) *COS(q3)))-2*L7*(L1+L6)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3))-SIN(q2)*(2*L7*COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)+2*L8*(L3-L5)*SIN(q3)*COS(q2)-(L3-L5)^2*SIN(q2)-2*L8*SIN (gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*COS(q3)-2*L8*COS(gamma)*(L1+L6)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)))))*q1" - 2*(I2F-I3F)*SIN(q2)*COS(q2)* q1'*q2' - 0.5*MW*R^2*COS(q2)*q2'*(q4'+SIN(q2)*q1') - 2*MW*(L3-L4)^2* SIN(q2)*COS(q2)*q1'*q2' - L3*MF*SIN(q2)*q2'*(L1*q2'+2*L3*COS(q2)*q1') - MS*(L3-L9)*SIN(q2)*q2'*((L1+L10)*q2'+2*(L3-L9)*COS(q2)*q1') - COS(gamma)*(I1S-I2S)*COS(q2)*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') - MW*((L1+L6)*(L3-L5-L7*COS(gamma))* SIN(q2)*q2'^2+(L3-L5)*(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*SIN(q2)*COS(q2)*q1'* q2'+L7*COS(gamma)*(L1+L6)*COS(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)* COS(q2))*q1'^2+L8*COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)^2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'^2+L8*COS(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*(SIN (q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q2'^2+L7*SIN(gamma)*(L3-L5- L7*COS(gamma))*COS(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))* q2'^2+COS(gamma)*(L1+L6)*SIN(q3)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)* SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1'^2+L8*SIN(gamma)*(2*L3-2*L5- L7*COS(gamma))*COS(q2)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))* q1'*q2'+SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q2'^2+(L3-L5)*SIN (q2)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1'^2+L7*L8*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')+(L1+L6)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(L7*(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS (q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)* q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))+(L8*COS(ga mma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1'*(L7* (SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gam ma)*SIN(q2)*q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))+ COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*COS(q3)*(L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN (q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)* SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)* SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(ga mma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))+(L1+L6)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3))*(L8*(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)* q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)* COS(q2)*COS(q3))*q1'))-L8*SIN(gamma)*(L1+L6)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gam ma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'^2-L8*COS(gamma)*(L1+L6)*COS(q2)*q2'*(COS(gam ma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7* COS(gamma)*(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)*COS(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*q2'-L7*(L3-L5)*SIN(q2)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)* COS(q3))*q1'^2-COS(gamma)*(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*COS(q2)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))) *q1'*q2'-L8*COS(gamma)*COS(q3)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)* SIN(q3)*q1'*(L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gam ma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)* COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)* q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)*q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)* COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*

	COS(q2))*q1'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)* q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)* COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(ga mma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')* (L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+ SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-COS(gamma)*(L1+L6)*SIN(q2)*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN (q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)* q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)* q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2) *COS(q3))*q1'))-SIN(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2' *q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)* SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))- L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'- SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'- COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))) - 0.5*MW*R^2*SIN(q2)*q4" - 0.5*MW*R^2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q5" - 0.25*(4*I3S*COS(gamma)*COS(q2)+MW*R^2* COS(gamma)*COS(q2)-4*L8*MW*(COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*COS(gamma)*COS(q2)-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))-(L1+L6) *(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)))))*q3" - (MW*(2*L3-L4)* SIN(q1)*SIN(q2)+MF*(L1*COS(q1)+L3*SIN(q1)*SIN(q2))+MS*((L1+L10)*COS(q1)+(L3-L9)*SIN(q1)*SIN(q2))+MW*((L1+L6)*COS(q1)+L8*(SIN(gamma)*SIN(q1)+COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q1))*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)* COS(q2))-L5*SIN(q1)*SIN(q2)-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS (q2))*(COS(gamma)*SIN(q1)*COS(q3)+COS(q1)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)* SIN(q2)*COS(q3)))-(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q3)-COS(q1)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))))))*q7" - 0.25*(4*I1S*COS(gamma)*COS(q3)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))-4*L1*L3*MF*COS(q2)-4* I3S*SIN(gamma)*COS(gamma)*COS(q2)-4*MS*(L1+L10)*(L3-L9)*COS(q2)-4*I2S* COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))-MW*R^2 *(2*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*(COS(gamma)*SIN(q5)*COS (q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))+(SIN(gamma) *COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))))-4*MW*(L8*(L1+L6)* SIN(q2)*SIN(q3)+L8*SIN(gamma)*(L1+L6)*COS(q2)*COS(q3)+(L1+L6)*(L3-L5- L7*COS(gamma))*COS(q2)+L7*SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)+L8* COS(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)*COS(q3)+L8^2*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+L8*SIN(gamma)*(L8*COS (gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))))*q2 "
$\vec{F}_2^*$	MF*L3^2*SIN(q2)*COS(q2)*q1'^2 + (I2F-I3F)*SIN(q2)*COS(q2)* q1'^2 + MS*(L3-L9)^2*SIN(q2)*COS(q2)*q1'^2 + MW*(L3-L4)^2*SIN(q2)*COS(q2)*q1'^2 + 0.25*MW*R^2*COS(q2)*q1'*(2*q4'+SIN(q2)*q1') + COS(gamma)*(I2S-I3S)*COS(q3)*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(COS(gam ma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') + I1S*COS(gamma)*COS(q3)*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'*q3'-COS(gamma)^2*SIN(q2)*COS(q3)*q1'*q3'-(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')) + SIN(gamma)*(I1S-I2S)*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(COS(gamma)*SIN(q3)* q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') + 0.5*MW*R^2*COS (gamma)*SIN(q3)*q5" + 0.25*(4*I3S*SIN(gamma)+MW*R^2*SIN(gamma)+4*L8* MW*(L8*SIN(gamma)+(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q3)))*q3" + COS(q1)*(L3* MF*COS(q2)+MS*(L3-L9)*COS(q2)+MW*(2*L3-L4)*COS(q2)-MW*((L5+L7*COS(gam ma))*COS(q2)-L8*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q7" - I3S*SIN(gamma)*COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2' - COS(gamma)*(I1S-I3S)* SIN(q3)*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1') - I2S*COS(

	gamma)*SIN(q3)*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')) - 0.25*MW*R^2*(2*COS(gamma)*SIN(q3)*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'))+(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')*(COS(q5)*q3'+(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1')-(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')*(SIN(q5)*q3'+(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1')-(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*(COS(q5)*q3'*q5'+COS(gamma)*SIN(q3)*COS(q5)*q2'*q3'+COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3)*q2'*q5'-SIN(gamma)*COS(q5)*q2'*q5'-(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q2)*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q5')-(COS(gamma)*SIN(q2)*SIN(q5)+COS(q5)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'-COS(gamma)*SIN(q3)*q5'))-(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*(SIN(gamma)*SIN(q5)*q2'*q5'+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5)*q2'*q5'-SIN(q5)*q3'*q5'-COS(gamma)*SIN(q3)*SIN(q5)*q2'*q3'-(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q2)*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q5')-(COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q5)-SIN(q5)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'-COS(gamma)*SIN(q3)*q5'))) - MW*(L7*SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q2)*q1'*q2'+L8*SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)*q1'*(2*COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')+L8*COS(gamma)*SIN(q3)*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-L8*(L3-L5)*SIN(q3)*SIN(q2)^2*q1'^2-L8*SIN(gamma)^2*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*q2'^2-(L3-L5)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q2)*COS(q2)*q1'^2-L7*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(SIN(gamma)*q2'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*(L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*q3'-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-L8*SIN(gamma)*((L3-L5)*SIN(q2)*COS(q2)*COS(q3)*q1'^2+L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*q1'*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q3)*COS(q3)*q2'*(COS(gamma)*q2'+SIN(gamma)*COS(q2)*q1')-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))) - SIN(q1)*(L3*MF*COS(q2)+MS*(L3-L9)*COS(q2)+MW*(2*L3-L4)*COS(q2)-MW*((L5+L7*COS(gamma))*COS(q2)-L8*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q6'' - 0.25*(4*I1F+MW*R^2+4*MF*L3^2+4*I3S*SIN(gamma)^2+4*MS*(L3-L9)^2+4*MW*(L3-L4)^2+4*I1S*COS(gamma)^2*COS(q3)^2+4*I2S*COS(gamma)^2*SIN(q3)^2+4*MW*((L3-L5-L7*COS(gamma))^2+L8^2*SIN(q3)^2-L8*SIN(gamma)*COS(q3)*(2*L5+2*L7*COS(gamma)-2*L3-L8*SIN(gamma)*COS(q3)))+MW*R^2*(2*COS(gamma)^2*SIN(q3)^2+(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))^2+(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))^2))*q2'' - 0.25*(4*I1S*COS(gamma)*COS(q3)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))-4*L1*L3*MF*COS(q2)-4*I3S*SIN(gamma)*COS(gamma)*COS(q2)-4*MS*(L1+L10)*(L3-L9)*COS(q2)-4*I2S*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))-MW*R^2*(2*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))+(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))))-4*MW*(L8*(L1+L6)*SIN(q2)*SIN(q3)+(L1+L6)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)+L7*SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)+L8*COS(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)*COS(q3)+L8^2*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+L8*SIN(gamma)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+(L1+L6)*COS(q2)*COS(q3)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))))*q1''
$\vec{F}_3^*$	I3S*COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2' + L8*MW*(COS(gamma)*SIN(q3)*COS(q1)+SIN(q1)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)))*q6'' +

	L8*MW*(COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q3)-COS(q1)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)* SIN(q2)*SIN(q3)))*q7'' + 0.25*(4*I3S*SIN(gamma)+MW*R^2*SIN(gamma)+4* L8*MW*(L8*SIN(gamma)+(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q3)))*q2'' - (I1S-I2S)* (COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))* q1')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') - 0.25*MW*R^2*(SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q5'+2*COS(gamma)*COS(q3)* q2'*q5'+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q1'*q5'-COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2'- COS(gamma)*COS(q3)*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')) - L8*MW*(COS(gamma)*(L1+L6)*SIN(q3)*q1'^2+SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*q2'^2+(L3-L5)*SIN(q2)*(COS(q2)*COS(q3) +SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'^2+L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*q1'*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2' -SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2'-COS(ga mma)*(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*COS(q2)*q1'*q2'-L8*COS(gamma)* COS(q3)*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'* (COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))* q1')) - 0.25*(4*I3S+MW*R^2+4*MW*L8^2)*q3'' - 0.25*(4*I3S*COS(gamma)* COS(q2)+MW*R^2*COS(gamma)*COS(q2)-4*L8*MW*(COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)* SIN(q3)-L8*COS(gamma)*COS(q2)-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)* COS(q3))-(L1+L6)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))))*q1''
$\vec{F}_4^*$	-0.5*MW*R^2*(COS(q2)*q1'*q2'+q4''+SIN(q2)*q1'')
$\vec{F}_5^*$	0.5*MW*R^2*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q3'+COS(gamma)*SIN(q3)*q2''-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')-q5''-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'')
$\vec{F}_6^*$	MW*(L3-L4)*(SIN(q1)*SIN(q2)*q1'^2+SIN(q1)*SIN(q2)*q2'^2-2* COS(q1)*COS(q2)*q1'*q2') + MF*(L1*COS(q1)*q1'^2+L3*SIN(q1)*SIN(q2)*q1' ^2+L3*SIN(q1)*SIN(q2)*q2'^2-2*L3*COS(q1)*COS(q2)*q1'*q2') + MS*((L1+ L10)*COS(q1)*q1'^2+(L3-L9)*SIN(q1)*SIN(q2)*q1'^2+(L3-L9)*SIN(q1)*SIN(q2)*q2'^2-2*(L3-L9)*COS(q1)*COS(q2)*q1'*q2') + L8*MW*(SIN(q1)*COS(q2)* COS(q3)+SIN(q3)*(COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))*q3'' + (MF*(L1*SIN(q1)-L3*SIN(q2)*COS(q1))+MS*((L1+L10)*SIN(q1)-(L3-L9)*SIN (q2)*COS(q1))-MW*(2*L3-L4)*SIN(q2)*COS(q1)-MW*(L8*(SIN(gamma)*COS(q1)- COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2))*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(q1)*SIN(q3)* COS(q2)-COS(q3)*(COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))-(L1+ L6)*SIN(q1)-L5*SIN(q2)*COS(q1)-(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(SIN(q1)*COS(q2)*COS(q3)+SIN(q3)*(COS (gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2))))))*q1'' - MW*((2*L3-2*L5- L7*COS(gamma))*COS(q1)*COS(q2)*q1'*q2'+L8*COS(gamma)*SIN(q1)*COS(q2)* q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(L1+L6)*COS(q1)*q1'^2-(L3-L5)*SIN(q1)*SIN(q2)*q1'^2-(L3-L5- L7*COS(gamma))*SIN(q1)*SIN(q2)*q2'^2-(SIN(q1)*COS(q2)*COS(q3)+SIN(q3)* (COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))*q1'*(L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2) *q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)* COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)*q2'- L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)* q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))-(SIN(q1)*SIN(q3)*COS(q2)-COS(q3)*(COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))*(L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN (gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)* q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-(SIN(gamma)*COS(q1)-COS(gamma)* SIN(q1)*SIN(q2))*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)* q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'* (COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))* q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)* SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))) - (MF+MS+2*MW)*q6'' - SIN(q1)*(L3*MF*COS(q2)+MS*(L3-L9)*COS(q2)+MW*(2*L3-L4)*COS(q2)-MW*((L5+L7* COS(gamma))*COS(q2)-L8*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))

	*q2"
$\vec{F}_7^*$	MF*(L1*SIN(q1)*q1'^2-2*L3*SIN(q1)*COS(q2)*q1'*q2'-L3*SIN(q2)*COS(q1)*q1'^2-L3*SIN(q2)*COS(q1)*q2'^2) + MS*((L1+L10)*SIN(q1)*q1'^2-2*(L3-L9)*SIN(q1)*COS(q2)*q1'*q2'-(L3-L9)*SIN(q2)*COS(q1)*q1'^2-(L3-L9)*SIN(q2)*COS(q1)*q2'^2) + COS(q1)*(L3*MF*COS(q2)+MS*(L3-L9)*COS(q2)+MW*(2*L3-L4)*COS(q2)-MW*((L5+L7*COS(gamma))*COS(q2)-L8*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q2" - MW*(L3-L4)*(SIN(q2)*COS(q1)*q1'^2+SIN(q2)*COS(q1)*q2'^2+2*SIN(q1)*COS(q2)*q1'*q2') - MW*((L3-L5)*SIN(q2)*COS(q1)*q1'^2+(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q2)*COS(q1)*q2'^2+(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*SIN(q1)*COS(q2)*q1'*q2'+(COS(q1)*COS(q2)*COS(q3)-SIN(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))*q1'*(L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)*q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))+(SIN(q3)*COS(q1)*COS(q2)+COS(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))*(L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-(L1+L6)*SIN(q1)*q1'^2-L8*COS(gamma)*COS(q1)*COS(q2)*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(SIN(gamma)*SIN(q1)+COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q1))*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))) - (MF+MS+2*MW)*q7" - L8*MW*(COS(q1)*COS(q2)*COS(q3)-SIN(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))*q3" - (MW*(2*L3-L4)*SIN(q1)*SIN(q2)+MF*(L1*COS(q1)+L3*SIN(q1)*SIN(q2))+MS*((L1+L10)*COS(q1)+(L3-L9)*SIN(q1)*SIN(q2))-MW*(L5*SIN(q1)*SIN(q2)+L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(q3)*COS(q1)*COS(q2)+COS(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))-(L1+L6)*COS(q1)-L8*(SIN(gamma)*SIN(q1)+COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q1))*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))-(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(q1)*COS(q2)*COS(q3)-SIN(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))))*q1"

Equation of Motion:

The equation of motion formulated using Kane's approach is given by:

$$\vec{F}_r + \vec{F}_r^* = 0 \qquad (22)$$

Using Autolev, the equation of motion are given by:

$\vec{F}_1 + \vec{F}_1^*$	I3S*COS(gamma)^2*SIN(q2)*COS(q2)*q1'*q2' + (I1S-I3S)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1') + (I2S-I3S)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') + I2S*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')) + I1S*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'*q3'-COS(gamma)^2*SIN(q2)*COS(q3)*q1'*q3'-(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')) + 0.25*MW*R^2*(2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'))+(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(q5)*q3'-(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*q2')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(SIN(q5)*q3'-(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*q2')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(

		q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(q5)*q3'*q5'+COS (gamma)*SIN(q3)*COS(q5)*q2'*q3'+COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3)*q2'*q5'-SIN (gamma)*COS(q5)*q2'*q5'-(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q2)*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q5')-(COS(gamma)*SIN(q2)*SIN(q5)+COS(q5)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(ga mma)*SIN(q2)*COS(q3)))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'-COS(gamma)*SIN(q3)*q5'))-(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(SIN(gamma)*SIN(q5)*q2'*q5'+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5)* q2'*q5'-SIN(q5)*q3'*q5'-COS(gamma)*SIN(q3)*SIN(q5)*q2'*q3'-(SIN(gamma) *COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q2)*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q5')-(COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q5)-SIN(q5)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))*q1'*(q2'-SIN (gamma)*q3'-COS(gamma)*SIN(q3)*q5'))) + (MF*(L1*SIN(q1)-L3*SIN(q2)*COS (q1))+MS*((L1+L10)*SIN(q1)-(L3-L9)*SIN(q2)*COS(q1))-MW*(2*L3-L4)*SIN(q2)*COS(q1)-MW*(L8*(SIN(gamma)*COS(q1)-COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2))*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))-(L1+L6)*SIN(q1)-L5*SIN(q2) *COS(q1)-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(COS(gamma)* COS(q1)*COS(q3)-SIN(q1)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))- (L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(gamma)*SIN(q3)*COS(q1)+SIN(q1)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)))))*q6" + 0.25*(4*(I3F+I3S*COS(gamma)^2-I2F-MW*(L3-L4)^2) *SIN(q2)^2-4*I3F-4*I3S*COS(gamma)^2-MW*R^2*(1+SIN(q2)^2)-4*MF*(L1^2+ L3^2*SIN(q2)^2)-4*MS*((L1+L10)^2+(L3-L9)^2*SIN(q2)^2)-4*I1S*(SIN(q2)* SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))^2-4*I2S*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))^2-MW*R^2*(2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS (q2))^2+(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))^2+(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN (q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))^2)-4*MW*((L1+L6)^2+L7^2*(SIN(q2)*COS (q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))^2+L8^2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)* SIN(q3)*COS(q2))^2+(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gam ma)*COS(q2)*COS(q3)))^2+2*(L1+L6)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)* SIN(q3))*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2) *COS(q3)))-2*L7*(L1+L6)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3))-SIN(q2)*(2*L7*COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)+2*L8*(L3-L5)*SIN(q3)*COS(q2)-(L3-L5)^2*SIN(q2)-2*L8*SIN (gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*COS(q3)-2*L8*COS(gamma)*(L1+L6)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)))))*q1" - 2*(I2F-I3F)*SIN(q2)*COS(q2)* q1'*q2' - 0.5*MW*R^2*COS(q2)*q2'*(q4'+SIN(q2)*q1') - 2*MW*(L3-L4)^2* SIN(q2)*COS(q2)*q1'*q2' - L3*MF*SIN(q2)*q2'*(L1*q2'+2*L3*COS(q2)*q1') - MS*(L3-L9)*SIN(q2)*q2'*((L1+L10)*q2'+2*(L3-L9)*COS(q2)*q1') - COS(gamma)*(I1S-I2S)*COS(q2)*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') - MW*((L1+L6)*(L3-L5-L7*COS(gamma))* SIN(q2)*q2'^2+(L3-L5)*(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*SIN(q2)*COS(q2)*q1'* q2'+L7*COS(gamma)*(L1+L6)*COS(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)* COS(q2))*q1'^2+L8*COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)^2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'^2+L8*COS(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*(SIN (q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q2'^2+L7*SIN(gamma)*(L3-L5- L7*COS(gamma))*COS(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))* q2'^2+COS(gamma)*(L1+L6)*SIN(q3)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)* SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1'^2+L8*SIN(gamma)*(2*L3-2*L5- L7*COS(gamma))*COS(q2)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))* q1'*q2'+SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q2'^2+(L3-L5)*SIN (q2)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1'^2+L7*L8*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')+(L1+L6)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(L7*(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS (q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)* q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))+(L8*COS(ga mma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1'*(L7* (SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gam ma)*SIN(q2)*q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(

		gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))+ COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*COS(q3)*(L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN (q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)* SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)* SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(ga mma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))+(L1+L6)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3))*(L8*(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)* q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)* COS(q2)*COS(q3))*q1'))-L8*SIN(gamma)*(L1+L6)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gam ma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'^2-L8*COS(gamma)*(L1+L6)*COS(q2)*q2'*(COS(gam ma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7* COS(gamma)*(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)*COS(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*q2'-L7*(L3-L5)*SIN(q2)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)* COS(q3))*q1'^2-COS(gamma)*(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*COS(q2)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))) *q1'*q2'-L8*COS(gamma)*COS(q3)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)* SIN(q3)*q1'*(L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gam ma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)* COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)* q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)*q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)* COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)* COS(q2))*q1'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)* q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)* COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(ga mma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')* (L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+ SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-COS(gamma)*(L1+L6)*SIN(q2)*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN (q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)* q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)* q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2) *COS(q3))*q1'))-SIN(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2' *q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)* SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))- L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'- SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'- COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))) - 0.5*MW*R^2*SIN(q2)*q4" - 0.5*MW*R^2*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q5" - 0.25*(4*I3S*COS(gamma)*COS(q2)+MW*R^2* COS(gamma)*COS(q2)-4*L8*MW*(COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*COS(gamma)*COS(q2)-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))-(L1+L6) *(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))))*q3" - (MW*(2*L3-L4)* SIN(q1)*SIN(q2)+MF*(L1*COS(q1)+L3*SIN(q1)*SIN(q2))+MS*((L1+L10)*COS(q1)+(L3-L9)*SIN(q1)*SIN(q2))+MW*((L1+L6)*COS(q1)+L8*(SIN(gamma)*SIN(q1)+COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q1))*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)* COS(q2))-L5*SIN(q1)*SIN(q2)-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS (q2))*(COS(gamma)*SIN(q1)*COS(q3)+COS(q1)*(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)* SIN(q2)*COS(q3)))-(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q3)-COS(q1)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)))))*q7" - 0.25*(4*I1S*COS(gamma)*COS(q3)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))-4*L1*L3*MF*COS(q2)-4*

	I3S*SIN(gamma)*COS(gamma)*COS(q2)-4*MS*(L1+L10)*(L3-L9)*COS(q2)-4*I2S* COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))-MW*R^2 *(2*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*(COS(gamma)*SIN(q5)*COS (q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))+(SIN(gamma) *COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))))-4*MW*(L8*(L1+L6)* SIN(q2)*SIN(q3)+L8*SIN(gamma)*(L1+L6)*COS(q2)*COS(q3)+(L1+L6)*(L3-L5- L7*COS(gamma))*COS(q2)+L7*SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)+L8* COS(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)*COS(q3)+L8^2*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+L8*SIN(gamma)*(L8*COS (gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))))*q2 "
$\vec{F}_2 + \vec{F}_2^*$	g*L3*MF*SIN(q2) + g*MS*(L3-L9)*SIN(q2) + g*MW*(L3-L4)*SIN(q2) + MF*L3^2*SIN(q2)*COS(q2)*q1'^2 + (I2F-I3F)*SIN(q2)*COS(q2)*q1'^2 + MS*(L3-L9)^2*SIN(q2)*COS(q2)*q1'^2 + MW*(L3-L4)^2*SIN(q2)*COS(q2)* q1'^2 + 0.25*MW*R^2*COS(q2)*q1'*(2*q4'+SIN(q2)*q1') + COS(gamma)*(I2S- I3S)*COS(q3)*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(COS(gamma)* SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') + I1S* COS(gamma)*COS(q3)*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'*q3'-COS(gamma)^2*SIN(q2)* COS(q3)*q1'*q3'-(SIN(q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3))*q1'*(q2'- SIN(gamma)*q3')) + SIN(gamma)*(I1S-I2S)*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') + 0.5*MW*R^2*COS(gam ma)*SIN(q3)*q5" + 0.25*(4*I3S*SIN(gamma)+MW*R^2*SIN(gamma)+4*L8*MW*(L8*SIN(gamma)+(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q3)))*q3" + COS(q1)*(L3*MF* COS(q2)+MS*(L3-L9)*COS(q2)+MW*(2*L3-L4)*COS(q2)-MW*((L5+L7*COS(gamma)) *COS(q2)-L8*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q7" - g* MW*(L8*SIN(q3)*COS(q2)-L8*SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)-(L3-L5-L7*COS(ga mma))*SIN(q2)) - I3S*SIN(gamma)*COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2' - COS(gamma)*(I1S-I3S)*SIN(q3)*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1') - I2S*COS(gamma)*SIN(q3)*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN (q2)*SIN(q3)*q1'*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'* (q2'-SIN(gamma)*q3')) - 0.25*MW*R^2*(2*COS(gamma)*SIN(q3)*(COS(gamma)* COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+ SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'))+(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)* COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')*(COS(q5)*q3'+(COS(gamma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1') -(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)* q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')*(SIN(q5)*q3' +(COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q1')-(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))*(COS(q5)*q3'*q5'+COS(gamma)*SIN(q3)*COS(q5)*q2'*q3'+COS(gamma)*SIN(q5)* COS(q3)*q2'*q5'-SIN(gamma)*COS(q5)*q2'*q5'-(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(ga mma)*COS(q3)*COS(q5))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q2)*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN (gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q5')-(COS(gamma)*SIN(q2)*SIN(q5)+COS(q5)*(SIN (q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'-COS(gamma)*SIN(q3)*q5'))-(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*(SIN(gamma)*SIN(q5)*q2'*q5'+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5)*q2'*q5'-SIN(q5)* q3'*q5'-COS(gamma)*SIN(q3)*SIN(q5)*q2'*q3'-(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(ga mma)*SIN(q5)*COS(q3))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q2)*q3'-(COS(q2)*COS(q3)+SIN (gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q5')-(COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q5)-SIN(q5)*(SIN (q3)*COS(q2)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3'-COS(gamma)*SIN(q3)*q5'))) - MW*(L7*SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q2)*q1'*q2'+L8*SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)*q1'*(2*COS(ga mma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')+L8* COS(gamma)*SIN(q3)*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)* q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)* q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2) *COS(q3))*q1'))-L8*(L3-L5)*SIN(q3)*SIN(q2)^2*q1'^2-L8*SIN(gamma)^2*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*q2'^2-(L3-L5)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q2)*COS(q2)*q1'^2-L7*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)- SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(SIN(gamma)*q2'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*(L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*q3'-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(

	SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(ga mma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-L8*SIN(gamma)*((L3-L5)*SIN(q2)*COS(q2)*COS (q3)*q1'^2+L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*q1'*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN (q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS (q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q3)*COS(q3)*q2'*(COS(gamma)*q2'+SIN(gamma) *COS(q2)*q1')-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*(COS (gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))) - SIN(q1)*(L3*MF*COS(q2)+MS*(L3-L9)*COS(q2)+MW*(2*L3-L4)*COS(q2)-MW* ((L5+L7*COS(gamma))*COS(q2)-L8*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*SIN(gamma)*COS(q2)* COS(q3)))*q6" - 0.25*(4*I1F+MW*R^2+4*MF*L3^2+4*I3S*SIN(gamma)^2+4*MS* (L3-L9)^2+4*MW*(L3-L4)^2+4*I1S*COS(gamma)^2*COS(q3)^2+4*I2S*COS(gamma) ^2*SIN(q3)^2+4*MW*((L3-L5-L7*COS(gamma))^2+L8^2*SIN(q3)^2-L8*SIN(gamma)*COS(q3)*(2*L5+2*L7*COS(gamma)-2*L3-L8*SIN(gamma)*COS(q3)))+MW*R^2*(2 *COS(gamma)^2*SIN(q3)^2+(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))^2+(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))^2))*q2" - 0.25*(4 *I1S*COS(gamma)*COS(q3)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))-4 *L1*L3*MF*COS(q2)-4*I3S*SIN(gamma)*COS(gamma)*COS(q2)-4*MS*(L1+L10)*(L3-L9)*COS(q2)-4*I2S*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)* SIN(q3)*COS(q2))-MW*R^2*(2*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(ga mma)*SIN(q3)*COS(q2))+(SIN(gamma)*SIN(q5)+COS(gamma)*COS(q3)*COS(q5))* (COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q2)-COS(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))+(SIN(gamma)*COS(q5)-COS(gamma)*SIN(q5)*COS(q3))*(COS(ga mma)*COS(q2)*COS(q5)+SIN(q5)*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))))-4*MW*(L8*(L1+L6)*SIN(q2)*SIN(q3)+(L1+L6)*(L3-L5-L7*COS(gamma))* COS(q2)+L7*SIN(gamma)*(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)+L8*COS(gamma)*(L3- L5-L7*COS(gamma))*COS(q2)*COS(q3)+L8^2*COS(gamma)*SIN(q3)*(SIN(q2)*COS (q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+L8*SIN(gamma)*(L8*COS(gamma)*COS(q2)+ (L1+L6)*COS(q2)*COS(q3)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))))*q1"
$\bar{F}_3 + \bar{F}_3^*$	I3S*COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2' + L8*MW*(COS(gamma)*SIN(q3)* COS(q1)+SIN(q1)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)))*q6" + L8*MW*(COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q3)-COS(q1)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)* SIN(q2)*SIN(q3)))*q7" + 0.25*(4*I3S*SIN(gamma)+MW*R^2*SIN(gamma)+4* L8*MW*(L8*SIN(gamma)+(L3-L5-L7*COS(gamma))*COS(q3)))*q2" - g*L8*MW*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)) - (I1S-I2S)*(COS(gamma)* COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(COS(ga mma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1') - 0.25*MW*R^2*(SIN(q2)*SIN(q3)*q1'*q5'+2*COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q5'+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q1'*q5'-COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2'-COS(gamma)* COS(q3)*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-q5'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')) - L8*MW*(COS(gamma)*(L1+L6)*SIN(q3)*q1'^2+SIN(gamma)*(L3-L5- L7*COS(gamma))*SIN(q3)*q2'^2+(L3-L5)*SIN(q2)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gam ma)*SIN(q2)*SIN(q3))*q1'^2+L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*q1'*(SIN(q2)* COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(ga mma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)*q1'*q2'-COS(gamma)*(2* L3-2*L5-L7*COS(gamma))*SIN(q3)*COS(q2)*q1'*q2'-L8*COS(gamma)*COS(q3)* q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'*(COS(ga mma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')) - 0.25*(4*I3S+MW*R^2+4*MW*L8^2)*q3" - 0.25*(4*I3S*COS(gamma)*COS(q2)+ MW*R^2*COS(gamma)*COS(q2)-4*L8*MW*(COS(gamma)*(L3-L5)*SIN(q2)*SIN(q3)- L8*COS(gamma)*COS(q2)-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))- (L1+L6)*(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3))))*q1"
$\bar{F}_4 + \bar{F}_4^*$	-0.5*MW*R^2*(COS(q2)*q1'*q2'+q4"+SIN(q2)*q1")
$\bar{F}_5 + \bar{F}_5^*$	0.5*MW*R^2*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'+COS(gamma)^2*SIN(q2)* SIN(q3)*q1'*q3'+COS(gamma)*SIN(q3)*q2"-(COS(q2)*COS(q3)+SIN(gamma)* SIN(q2)*SIN(q3))*q1'*(q2'-SIN(gamma)*q3')-q5"-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1")
$\bar{F}_6 + \bar{F}_6^*$	MW*(L3-L4)*(SIN(q1)*SIN(q2)*q1'^2+SIN(q1)*SIN(q2)*q2'^2-2* COS(q1)*COS(q2)*q1'*q2') + MF*(L1*COS(q1)*q1'^2+L3*SIN(q1)*SIN(q2)*q1' ^2+L3*SIN(q1)*SIN(q2)*q2'^2-2*L3*COS(q1)*COS(q2)*q1'*q2') + MS*((L1+ L10)*COS(q1)*q1'^2+(L3-L9)*SIN(q1)*SIN(q2)*q1'^2+(L3-L9)*SIN(q1)*SIN(q2)*q2'^2-2*(L3-L9)*COS(q1)*COS(q2)*q1'*q2') + L8*MW*(SIN(q1)*COS(q2)* COS(q3)+SIN(q3)*(COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))*q3" + (MF*(L1*SIN(q1)-L3*SIN(q2)*COS(q1))+MS*((L1+L10)*SIN(q1)-(L3-L9)*SIN

	(q2)*COS(q1))-MW*(2*L3-L4)*SIN(q2)*COS(q1)-MW*(L8*(SIN(gamma)*COS(q1)-COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2))*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))+L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(q1)*SIN(q3)*COS(q2)-COS(q3)*(COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))-(L1+L6)*SIN(q1)-L5*SIN(q2)*COS(q1)-(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(SIN(q1)*COS(q2)*COS(q3)+SIN(q3)*(COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))))*q1" - MW*((2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*COS(q1)*COS(q2)*q1'*q2'+L8*COS(gamma)*SIN(q1)*COS(q2)*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(L1+L6)*COS(q1)*q1'^2-(L3-L5)*SIN(q1)*SIN(q2)*q1'^2-(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q1)*SIN(q2)*q2'^2-(SIN(q1)*COS(q2)*COS(q3)+SIN(q3)*(COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))*q1'*(L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)*q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))-(SIN(q1)*SIN(q3)*COS(q2)-COS(q3)*(COS(gamma)*COS(q1)+SIN(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2)))*(L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-(SIN(gamma)*COS(q1)-COS(gamma)*SIN(q1)*SIN(q2))*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))) - (MF+MS+2*MW)*q6" - SIN(q1)*(L3*MF*COS(q2)+MS*(L3-L9)*COS(q2)+MW*(2*L3-L4)*COS(q2)-MW*((L5+L7*COS(gamma))*COS(q2)-L8*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q2"
$\vec{F}_7 + \vec{F}_7^*$	MF*(L1*SIN(q1)*q1'^2-2*L3*SIN(q1)*COS(q2)*q1'*q2'-L3*SIN(q2)*COS(q1)*q1'^2-L3*SIN(q2)*COS(q1)*q2'^2) + MS*((L1+L10)*SIN(q1)*q1'^2-2*(L3-L9)*SIN(q1)*COS(q2)*q1'*q2'-(L3-L9)*SIN(q2)*COS(q1)*q1'^2-(L3-L9)*SIN(q2)*COS(q1)*q2'^2) + COS(q1)*(L3*MF*COS(q2)+MS*(L3-L9)*COS(q2)+MW*(2*L3-L4)*COS(q2)-MW*((L5+L7*COS(gamma))*COS(q2)-L8*SIN(q2)*SIN(q3)-L8*SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*q2" - MW*(L3-L4)*(SIN(q2)*COS(q1)*q1'^2+SIN(q2)*COS(q1)*q2'^2+2*SIN(q1)*COS(q2)*q1'*q2') - MW*((L3-L5)*SIN(q2)*COS(q1)*q1'^2+(L3-L5-L7*COS(gamma))*SIN(q2)*COS(q1)*q2'^2+(2*L3-2*L5-L7*COS(gamma))*SIN(q1)*COS(q2)*q1'*q2'+(COS(q1)*COS(q2)*COS(q3)-SIN(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))*q1'*(L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')+L7*(SIN(q2)*COS(q3)*q3'+SIN(q3)*COS(q2)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q3)*q2'-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2)*q3')-L8*COS(gamma)*SIN(q2)*q2'-L8*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'))+(SIN(q3)*COS(q1)*COS(q2)+COS(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))*(L8*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-L7*q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3')-(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))-(L1+L6)*SIN(q1)*q1'^2-L8*COS(gamma)*COS(q1)*COS(q2)*q2'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(SIN(gamma)*SIN(q1)+COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q1))*(L8*(COS(gamma)*COS(q3)*q2'*q3'-q1'*(COS(q2)*COS(q3)*q2'+SIN(gamma)*SIN(q2)*SIN(q3)*q2'-SIN(q2)*SIN(q3)*q3'-SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)*q3'))-L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1'*(COS(gamma)*SIN(q3)*q2'-(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*q1')-(COS(gamma)*COS(q3)*q2'+(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1')*(L8*(SIN(gamma)*q2'-q3'-COS(gamma)*COS(q2)*q1')-L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3))*q1'))) - (MF+MS+2*MW)*q7" - L8*MW*(COS(q1)*COS(q2)*COS(q3)-SIN(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))*q3" - (MW*(2*L3-L4)*SIN(q1)*SIN(q2)+MF*(L1*COS(q1)+L3*SIN(q1)*SIN(q2))+MS*((L1+L10)*COS(q1)+(L3-L9)*SIN(q1)*SIN(q2))-MW*(L5*SIN(q1)*SIN(q2)+L7*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))*(SIN(q3)*COS(q1)*COS(q2)+COS(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*

	SIN(q2)*COS(q1)))-(L1+L6)*COS(q1)-L8*(SIN(gamma)*SIN(q1)+COS(gamma)*SIN(q2)*COS(q1))*(SIN(q2)*COS(q3)-SIN(gamma)*SIN(q3)*COS(q2))-(L8*COS(gamma)*COS(q2)+L7*(SIN(q2)*SIN(q3)+SIN(gamma)*COS(q2)*COS(q3)))*(COS(q1)*COS(q2)*COS(q3)-SIN(q3)*(COS(gamma)*SIN(q1)-SIN(gamma)*SIN(q2)*COS(q1)))))*q1"

Verification:
To verify the equation of motion obtained, we evaluate the equation at a condition where it is moving in a straight line. That is we let $\dot{q}_4 = Y, \dot{q}_5 = Z, \dot{q}_6 = X \;\; q_4 = Yt, q_5 = Zt, q_6 = Xt$, where X, Y, Z are constant, and. Also, $\dot{q}_1 = \dot{q}_2 = \dot{q}_3 = \dot{q}_7 = 0$, $\ddot{q}_1 = \ddot{q}_2 = \ddot{q}_3 = \ddot{q}_7 = 0$.
Evaluate this, the equation of motion become all zeros. Hence it is moving in a straight line.

CONCLUSION AND DISCUSSION:
In this project, we formulated the equation of motion for a bicycle using Kane's approach. The bicycle composed of four rigid bodies, the body frame, the steering column, and the front and rear wheel. Because of the complexity of this system, we utilized the Autolev software to help us formulate the equation of motion. By using Autolev, we need to follow the proper steps to define all the bodies, their center of mass position, and their mass properties. Other than that, the program can provide the equation of motion of a system in a very fast manner (provided everything is defined properly). In this process, the power of Kane's approach becomes apparent: one can formulate the equation of motion of a multi-body system in a very efficient, and step by step manner. Hence, Kane's approach is a very powerful tool for an engineer.

The Autolev code for this project is attached for reference.