



ANALISA LAGRANGE PADA DINAMIKA STROLLER NON-HOLONOMIC BERBASIS KOMPUTASI FISIKA

LAGRANGE ANALYSIS OF NON-HOLONOMIC STROLLER DYNAMICS BASED ON COMPUTATIONAL PHYSICS

Rohim Aminullah F.^{1,*}, Mohammad Arif R.², Dzulkifli³, Muhimmatul K.⁴
^{1,2,3,4} Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Kota Surabaya

Kata Kunci:

Dinamika Stroller, Komputasi Fisika, Metode Lagrange

Keywords:

Stroller Dynamics,
Computational Physics,
Lagrange Method

INDEXED IN

Crossref
Google Scholar
Garba Rujukan Digital: Garuda

CORRESPONDING AUTHOR

Rohim Aminullah Firdaus
Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Surabaya
Indonesia

EMAIL

rohinfirdaus@unesa.ac.id

OPEN ACCESS

e ISSN 2623-2022



Copyright (c) 2023 Jurnal Kolaboratif Sains

Abstrak: Dalam membantu memecahkan persamaan dinamika kompleks baik secara translasi maupun rotasi, fisika komputasi dapat digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perbedaan dinamika sistem *stroller* dengan kendala non-holonomik di berbagai ruang konfigurasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan matematis persamaan *lagrange* pada sistem mekanik *stroller* (kereta bayi). Metode ini digunakan karena dapat menurunkan persamaan *stroller* yang bergerak di bola pepat. Temuan dalam penelitian ini adalah persamaan dinamika dan grafik persamaan *stroller* dengan atau tanpa gesekan yang bergerak pada bidang lengkung berbentuk bola pepat. Penelitian ini digunakan untuk membuktikan konsep-konsep fisika tentang dinamika *stroller* dengan menggunakan komputasi fisika dan juga untuk menentukan sifat kompleks gerak *stroller*, baik secara translasi maupun rotasi.

Abstract: In help solve complex dynamics equations both translationally and rotationally, computational physics can be used. This study aims to obtain differences in the dynamics of the stroller system with non-holonomic constraints in various configuration spaces. The method used in this research is the mathematical calculation of the Lagrange equation in the mechanical system of the stroller. This method is used because it can derive the stroller equation moving on an pepat ball. The findings in this study are dynamics equation and the graph of the stroller equation with or without friction that moves on a curved plane in the form of an pepat ball. This research is used to prove the physics concepts about the dynamics of the stroller by using computational physics and also to determine the complex nature of stroller motion, both in translation and rotation.

Jurnal Kolaboratif Sains (JKS)

Volume 6 Issue 7 Juli 2023

Pages: 749-756

LATAR BELAKANG

Cabang ilmu fisika yang mempelajari gerak benda disebut mekanika. Perkembangan mekanika telah ada selama berabad-abad, sejak zaman Galileo dan Newton. Mekanika sendiri terbagi menjadi beberapa mata pelajaran yang terdiri dari statistika, kinematika, dan dinamika. Cabang mekanika ini juga memiliki peran tersendiri. Dimana statistik mempelajari tentang benda-benda yang diam, kinematika mempelajari tentang benda-benda yang bergerak, dan dinamika mempelajari tentang benda-benda yang dipengaruhi oleh gaya. Dinamika juga merupakan cabang ilmu mekanika yang erat kaitannya dengan konsep keadaan gerak benda dan keadaan luar yang menyebabkan terjadinya perubahan keadaan gerak benda itu sendiri.

Ilmu mekanika yang biasa kita jumpai dalam bidang fisika juga dapat dipelajari dalam bidang fisika matematika (fismat), teknik, dan matematika yang subur dengan tema-tema penelitian yang biasa disebut mekanika geometri. Dalam perkembangannya pada disiplin ilmu, mekanika geometri dapat digunakan untuk mempelajari sistem mekanika *non-holonomic* (Ciocci et al., 2012). Ilmuwan bernama Hertz memperkenalkan sistem mekanika *non-holonomic* ini pada tahun 1894. Sistem ini dalam implementasinya mengalami banyak kendala dimana kendala tersebut terdapat pada ruang konfigurasi dan tidak mengurangi derajat kebebasan. Ruang konfigurasi yang dimaksud di sini berupa grup Lie. Dalam karya Branicki dan Shimomura tahun 2006, disebutkan bahwa jika ingin mencari kendala teori grup, dapat dicari dengan menggunakan perhitungan diferensial. Salah satu contoh sederhana dalam penerapan kendala *non-holonomic* adalah *Stroller*. *Stroller* merupakan kendaraan kecil beroda tiga yang digunakan oleh balita.

Dalam penelitian ini, pendekatan pemodelan menggunakan sistem *Lagrange* dengan kendala *non-holonomic*. Dalam penelitian ini juga diturunkan persamaan gerak kereta dorong dengan menggunakan dua metode yaitu *lagrange* dan koneksi terkendala Levi-Civita. Kedua metode tersebut digunakan karena sistem dengan kendala *non-holonomic* tidak dapat dilihat jika menggunakan koneksi Levi-Civita lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana sistem non-holonomik dapat digunakan dalam mekanika geometri. Mekanika geometri terkadang juga digunakan dalam menganalisis masalah gerak secara geometris.

Kehidupan modern saat ini dimana teknologi berkembang sangat pesat. Sehingga pembelajaran fisika juga mengikuti arus perkembangan teknologi yang ada. Penanaman teknologi dalam pembelajaran fisika dapat dilakukan dengan memberikan pembelajaran berbasis komputer atau mata kuliah berbasis fisika yang biasa disebut dengan fisika komputasi.

Penelitian ini membahas tentang gerak benda berupa gerak kereta dorong. Dimana gerak kereta dorong ini merupakan gerak suatu benda secara translasi atau rotasi (Blankenstein, 2003). Penelitian sebelumnya juga telah melakukan penelitian yang kurang lebih sama yaitu penelitian yang dilakukan oleh M. Ariska dkk yang penelitiannya berhasil memecahkan persamaan dinamika *tippe top* pada bidang datar dan juga menggambarkan persamaan gerak dengan fisika komputasi. Tidak hanya itu, ada penelitian lain yang dilakukan oleh M. Ariska yang pada penelitian kedua ini telah berhasil menyelesaikan persamaan *Port Controlled Hamilton System* (PCHS). Dalam penelitian ini, peneliti akan menganalisis suatu benda yang bergerak pada bidang datar dan bola pepat dengan metode komputasi fisika.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dinamika sistem pada kereta dorong dengan kendala *non-holonomic* yang bergerak dalam ruang konfigurasi translasi dengan bantuan fisika komputasi. Penelitian ini juga menerapkan teknologi untuk menyelesaikan persamaan umum sistem gerak dalam ruang tiga dimensi dan juga menghitung dinamika benda-benda yang memiliki konfigurasi ruang yang terdiri dari gerak translasi dan rotasi yang akan sangat sulit untuk dihitung secara manual. Penelitian ini juga memberikan manfaat bagi dosen dan mahasiswa dalam memecahkan dinamika kompleks suatu objek.

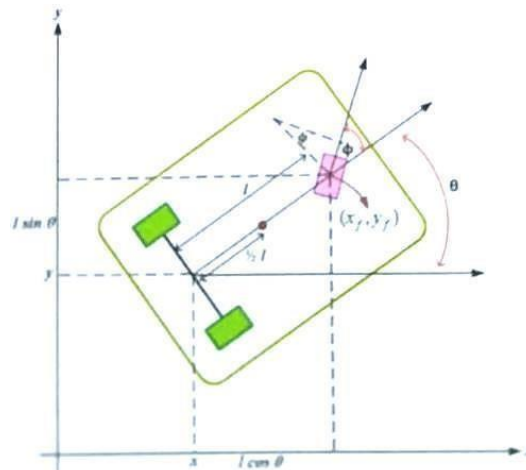
Pada penelitian sebelumnya dimana sistem dinamika diformulasikan untuk *tippetop* dan *stroller*, *tippe top* hanya bergerak pada bidang datar serta permukaan dalam silinder, dan untuk *stroller* tidak

dengan kendala *non-holonomic* tetapi menggunakan *Port Controlled Hamiltonian* Metode Sistem (PCHS). Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan merumuskan dinamika

METODE

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kepustakaan dimana data diperoleh dari *review* artikel. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kepustakaan dengan menggunakan sumber data primer dan sekunder. Sumber data primer menggunakan buku mekanika yang relevan dengan pembahasan penelitian. Untuk sumber data sekunder menggunakan jurnal, artikel, dan situs internet. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif. Serta teknik dalam penelitian ini menggunakan teknik berpikir induktif, yaitu proses menyusun sebuah fakta observasional dari sebuah fakta tersendiri. Penelitian ini terdiri dari tiga tahap, yaitu pengenalan fisika komputasi dalam menghitung persamaan gerak benda ruang tiga dimensi, pembahasan materi pada topik yang diteliti, dan yang utama adalah pembahasan dinamika kereta dorong melalui *non-holonomik*. persamaan *Lagrange*.

HASIL



Gambar 1 Skema Dinamika Stroller

Perhitungan kendala pada *stroller* (kereta bayi) diselesaikan dengan metode *lagrange non-holonomic*. Dimana kendala itu sendiri adalah suatu kondisi yang membatasi gerak suatu sistem mekanis sehingga dapat mengurangi derajat kebebasan dan jangkauan setiap derajat

$$dx = \frac{\partial x}{\partial q_1} dq_1 + \frac{\partial x}{\partial q_2} dq_2 + \dots$$

$$dx = \frac{\partial x}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial x}{\partial \eta} d\eta + \frac{\partial x}{\partial \mu} d\mu$$

kebebasan. Gambar di atas merupakan skema dinamika *stroller*, dimana sudut mutlak pada roda depan *stroller* adalah $(\theta + \phi)$. Di *stroller*, roda depan terletak dalam persamaan berikut,

$$x_{depan} = x + l \cos \theta \tag{1}$$

$$y_{depan} = y + l \sin \theta \tag{2}$$

Maka turunan posisi terhadap waktu roda depan kereta dorong adalah,

$$x_{depan} dt = x + l \cos \theta dt$$

$$\dot{x}_{d\epsilon\eta\mu} = \dot{x} + l \cos \theta \dot{\theta} \tag{3}$$

$$y_{d\epsilon\eta\mu} dt = y + l \sin \theta dt$$

$$\dot{y}_{d\epsilon\eta\mu} = \dot{y} + l \sin \theta \dot{\theta} \tag{4}$$

Koordinat umum dalam dinamika kereta dorong ini bersifat dependen dan tidak independen, sehingga disebut *non-holonomic*. Dalam skema dinamika kereta dorong di atas titik P memiliki koordinat (x,y, z) dalam sistem koordinasi Cartesian, dan pada setiap titik memiliki koordinat umum (ε, η, μ). sehingga diperoleh,

$$\begin{aligned} x &= a \cosh \epsilon \cos \eta \cos \mu \\ y &= a \cosh \epsilon \cos \eta \sin \mu \\ z &= a \sinh \epsilon \sin \mu \end{aligned} \tag{5}$$

Jika menggunakan persamaan *Lagrange* pada koordinat umum (ε, η, μ), maka diperoleh persamaan berikut,

$$\begin{aligned} dx &= \frac{\partial(a \cosh \epsilon \cos \eta \cos \mu)}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial(a \cosh \epsilon \cos \eta \cos \mu)}{\partial \eta} d\eta + \frac{\partial a \cosh \epsilon \cos \eta \cos \mu}{\partial \mu} d\mu \\ dx &= -a \cosh \epsilon \sin \eta \cos \mu d\eta - a \cosh \epsilon \cos \eta \sin \mu d\mu \end{aligned} \tag{6}$$

$$dy = \frac{\partial y}{\partial q_1} dq_1 + \frac{\partial y}{\partial q_2} dq_2 + \dots$$

$$dy = \frac{\partial y}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial y}{\partial \eta} d\eta + \frac{\partial y}{\partial \mu} d\mu$$

$$\begin{aligned} dy &= \frac{\partial(a \cosh \epsilon \cos \eta \cos \mu)}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial(a \cosh \epsilon \cos \eta \cos \mu)}{\partial \eta} d\eta + \frac{\partial a \cosh \epsilon \cos \eta \cos \mu}{\partial \mu} d\mu \\ dy &= -a \cosh \epsilon \sin \eta \sin \mu d\eta - a \cosh \epsilon \cos \eta \cos \mu d\mu \end{aligned} \tag{7}$$

$$dz = \frac{\partial z}{\partial q_1} dq_1 + \frac{\partial z}{\partial q_2} dq_2 + \dots$$

$$dz = \frac{\partial z}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial z}{\partial \eta} d\eta + \frac{\partial z}{\partial \mu} d\mu$$

$$\begin{aligned} dz &= \frac{\partial(a \sinh \epsilon \sin \mu)}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial(a \sinh \epsilon \sin \mu)}{\partial \eta} d\eta + \frac{\partial(a \sinh \epsilon \sin \mu)}{\partial \mu} d\mu \\ dz &= a \sinh \epsilon \cos \mu d\eta + a \sinh \epsilon \cos \mu d\mu \end{aligned} \tag{8}$$

Seorang ilmuwan bernama Cohen dalam karyanya pada tahun 1977, mengungkapkan asal usul sistem *non-holonomic*. Ia menyatakan bahwa kelahiran teori dinamika sistem *non-holonomic* terjadi ketika formalisme analitik umum yang dimasukkan dalam persamaan *Euler-Lagrange* diperoleh, yang kemudian menarik perhatian banyak ilmuwan lain (Bou-Rabee et al., 2008). Sistem mekanik *non-holonomic* memiliki banyak contoh masalah dalam kehidupan sehari-hari seperti robotika, dinamika kendaraan, gerak kontinu, dan sistem terkendala.

Ciucci & Langerock, 2007; Ueda et al., 2005) mengungkapkan bahwa sistem kendali untuk semua robot yang bergerak dengan roda, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, dijalankan berdasarkan teknik kendali elektronik menggunakan komputasi berbasis Maple 18 yang digunakan untuk memodelkan persamaan gerak *Stroller*. Kereta dorong yang bergerak pada bidang vektor bidang datar diperoleh sebagai berikut,

$$\begin{aligned} X_1 &= l \cos \theta \frac{\partial}{\partial x} + l \sin \theta \frac{\partial}{\partial y} + \tan \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \\ X_2 &= \frac{\partial}{\partial \varphi} \end{aligned} \quad (9)$$

Sedangkan jika *stroller* bergerak di atas permukaan bola pepat maka akan diperoleh medan vektor sebagai berikut,

$$\begin{aligned} X_1 &= l \cos \eta \cos(\theta - \mu) \frac{\partial}{\partial \eta} - l \sin \eta \sin(\theta - \mu) \frac{\partial}{\partial \mu} \\ X_2 &= \frac{\partial}{\partial \varphi} \end{aligned} \quad (10)$$

Penelitian ini mengkaji dinamika kereta dorong *non-holonomic* menggunakan fisika komputasi dan juga mengkaji sifat kompleks gerak kereta dorong, baik secara translasi maupun rotasi.

DISKUSI

Tabel 1. Riview Artikel

Metode	Alat	Hasil	Kelebihan	Kekurangan
Metode <i>Port Controlled Hamiltonian System (PCHS)</i>	<i>Stroller</i> atau kereta bayi	Menghasilkan persamaan dinamika pada bidang lengkung dan datar dengan energi yang tidak dibatasi.	Lebih kompleks karena menggunakan 2 arena yaitu lengkung dan datar dan persamaan PCHS yang digunakan dapat menemukan persamaan dinamika untuk penelitian tentang geometri lain.	Kurang menjabarkan hasil dari penelitiannya dengan menggunakan dua arena tersebut.

Pendekatan <i>Jellet Invariant (JI)</i>	Tippe Top (TT)	Menghasilkan persamaan sistem gerak dan mengevaluasi simulasi model benda dengan kendala <i>non holonomic</i> dan juga menampilkan hasil eksperimen dinamika benda tegar dalam ruang konfigurasi $R^2 \times SO(3)$.	Sangat spesifik, penulis juga berhasil menggambarkan dinamika gerak tippe top secara <i>real time</i> dengan koordinat yang sudah ditentukan. Serta dapat diterapkan untuk perancangan taman bermain tippe top yang tepat.	Artikel ini hanya menggunakan arena bidang datar sehingga tidak bisa dibandingkan dengan arena gerak lainnya dan juga kurang dalam penjelasannya.
Persamaan <i>Eular-Lagrange</i>	Pesawat Atwood	Menghasilkan persamaan dinamika sistem yang lebih kompleks dengan jelas tanpa harus menginventarisasi gaya-gaya pada sistem gerak tersebut.	Dapat dijadikan sebagai landasan berpijak untuk meneliti sistem mekanik bukan hanya dengan kendala <i>holonomic</i> dan kendala <i>non-holonomic</i>	Kurang dalam penjabarannya dan arena yang digunakan tidak bervariasi.

Dalam review artikel yang penulis lakukan perbedaan terletak pada metode dan juga objek benda yang digunakan untuk penelitian yang penulis gabungkan pada tabel 1 diatas. Dari review yang dilakukan ada tiga metode yang digunakan yaitu Metode *Port Controlled Hamiltonian System (PCHS)*, Pendekatan *Jellet Invariant (JI)*, dan Persamaan *Eular-Lagrange*. Selain metode, jenis benda yang digunakan juga berbeda antara lain *Stroller* atau kereta bayi, *Tippe Top (TT)*, dan Pesawat *Atwood*. Dengan metode dan objek yang berbeda ini hasil penelitian pada artikel tersebut juga berbeda-beda.

Artikel dengan metode *Port Controlled Hamiltonian System (PCHS)* dalam mencari dinamika *stroller* berbasis komputasi fisika menghasilkan persamaan dinamika pada bidang lengkung dan datar dengan energi yang tidak dibatasi. Penelitian ini juga dapat diterapkan pada desain taman bermain tippe top yang tepat. Untuk penelitian menggunakan *Invariant Jellet Approach (JI)* dalam pemodelan dinamika *Tippe Top (TT)* berbasis fisika komputasi, menghasilkan persamaan sistem gerak dan mengevaluasi simulasi model objek dengan kendala *non-holonomic* dan juga menampilkan hasil eksperimen benda tegar dinamika dalam ruang konfigurasi $R^2 \times SO(3)$. Keunggulan dalam penelitian menggunakan pendekatan *Jellet Invariant (JI)*, dimana penulis berhasil menggambarkan dinamika gerak *tippe top* secara *real time* dengan koordinat yang sudah ditentukan. Metode terakhir yang biasa digunakan dengan penelitian serupa adalah Persamaan *Eular-Lagrange* pada dinamika Pesawat *Atwood*. Metode ini menghasilkan persamaan dinamika sistem yang lebih kompleks secara jelas tanpa harus menginventarisasi gaya-gaya pada sistem gerak. Penelitian dengan metode ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk meneliti sistem mekanik tidak hanya dengan kendala *holonomic* dan kendala *non-holonomic*.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa penelitian terbaru adalah penelitian dengan menggunakan persamaan *Eular-Lagrange*, hal ini dikarenakan dalam penelitian dengan metode ini persamaan yang dihasilkan lebih kompleks dan jelas serta dapat dikaitkan dengan kendala *holonomic* atau *non-holonomic*.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu terletak pada metode yang digunakan. Dimana penelitian ini menggunakan dua metode yaitu *non-holonomic lagrange* dan koneksi terkendala Levi-Civita. Kelebihan artikel ini adalah dapat membuktikan konsep fisika tentang dinamika kereta dorong dengan menggunakan fisika komputasi dan juga untuk menentukan sifat kompleks gerak kereta dorong, baik dalam translasi maupun rotasi. Penelitian ini juga lebih spesifik karena menggunakan dua arena yaitu bola melingkar dan bidang datar.

Faktanya, banyak penelitian yang menggunakan dinamika objek non-holonomik, seperti Gray et al. pada tahun 2010, Ueda dkk. pada tahun 2005, Ariska pada tahun 2020, dan Ciocci, dkk. tahun 2008. Dalam sebuah artikel yang dibuat oleh Gray, dkk pada tahun 2010 mengusulkan rumusan teorema mengenai pencilun parsial sistem roda tiga dan lubang berpola. Selain itu ada artikel dari Ueda, dkk dimana artikel ini dilakukan untuk mencari batasan prinsip pada efek bersih dari proses pengoperasian mesin kalor dengan batasan waktu yang terbatas. Penelitian terakhir dari Ciocci pada tahun 2008 yang menyarankan pengembangan model matematika untuk sistem *non-holonomic*.

KESIMPULAN

Sistem dinamika *Stoller* dengan kendala *non-holonomic* yang bergerak pada bidang datar dan bola pepadat dapat digambarkan dengan metode *lagrange non-holonomic*. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk meneliti sistem mekanika dengan kendala *non-holonomik* pada *stroller* yang bergerak pada bidang melengkung dengan energi tidak terbatas, dan persamaan *Lagrange* pada *stroller* dapat digunakan untuk mencari persamaan dinamika geometri lainnya.

Artikel ini juga dapat menambah pengetahuan bagi siapa saja yang membacanya tentang teori mekanika geometri dan penerapannya dalam menganalisa sistem mekanika pada dinamika *stroller* atau kereta bayi. Penelitian ini juga dapat berguna dalam merancang gerakan kompleks untuk memahami kendala *non-holonomic* dalam teknologi mekanika.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariska, M., Akhsan, H., & Muslim, M. 2020a. *Dynamic Analysis of Tippe Top on Cylinder's Inner Surface with and Without Friction based on Routh Reduction*. Journal of Physics: Conference Series, 1467(1).
<http://doi.org/10.1088/1742-6596/1467/1/012040>
- Ariska, M., Akhsan, H., & Muslim, M. 2020b. *Potential Energy of Mechanical System Dynamics with Nonholonomic Constraints on the Cylinder Configuration Space*. Journal of Physics : Conference Series, 1480(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6569/1480/1/012075>
- Ariska, M., Akhsan, H., & Muslim, M. 2019. *Utilization of Physics Computation Based on Maple in Determining the Dynamics of Tippe Top*. Journal of Physics : Conference Series, 1166(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6569/1480/1/01207>
- Akhsan, H., Wiyono, K., Ariska, M., & Melvany, N. E. 2020. *Development of HOTS (Higher Order Thinking Skills) Test Instruments for the Concept of Fluid and Harmonic Vibrations for High Schools*. Journal of Physics : Conference Series, 1480(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6569/1480/1/01207>
- Ariska, M., Akhsan, H., & Muslim, M. 2020a. *Dinamika Sistem Mekanik Non-Holonomik Dengan Metode*. 6(1), 20-23.
- Ariska, M., Akhsan, H., & Muslim, M. 2020b. *Vector Fields of the Dynamics of Non-Holonomic Constraint System With Elliptical Configuration Space*. 513, 738-744.
- Ariska, M., Akhsan, H., & Zulherman, Z. 2018. *Utilization of Maple-Based Physics Computation in Determining the Dynamics of Tippe Top*. Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA), 8(2), 123.

- <https://doi.org/10.26740/jpfa.v8n2.p.123-131>
- Ciocchi, M. C., Malengier, B., Langerock, B., & Grimonprez, B. 2012. *Towards a Prototype of a Spherical Tippe Top*. Journal of Applied Mathematics, 2012.
<https://doi.org/10.1155/2012/268537>
- Naomi Altman & Martin Krzywinski. 2015. *Simple Linear Regression*. *BMJ (Online)*, 346 (7904), 999-1000.
<https://doi.org/10.1136/bmj.f2340>
- Shaidullin, R. N., Safiullin, L.N., Gafurov, I. R., & Safiullin, N. Z. 2014. *Blended Learning : Leading Modern Educational Technologies*. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 131(904), 105-110.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.087>
- Zobova, A. A. 2012. *Comments on the Paper by M. C. Ciocchi, B. Malengier, B. Langerock, and B. Grimonprez "Towards a Prototype of a Spherical Tippe Top"*. *Regular and Chaotic Dynamics*, 17(3-4), 367-369. 2019. *Utilization of Physics Computation Based on Maple in Determining the Dynamics of Tippe Top*. *Journal of Physics : Conference Series*, 1166(1)
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1166/1/10/012009>