Klausurvorbereitung | physik221

Stella Hoffmann, Jonas Wortmann

August 9, 2023

Contents

1 Quickies

1.1 Übungszettel

1. Wie ist die Lagrange–Funktion definiert?
2. Wie wird die Wirkung aus der Lagrange–Funktion definiert?
3. Wie lauten die Euler–Lagrange–Gleichungen?
4. Welche Eigenschaften muss die Lagrange–Funktion erfüllen, damit die Gesamtenergie erhalten ist?
5. Welche Zwangsbedingungen gelten in Kartesischen Koordinaten für die folgenden Beispiele?
   a) Ein Massenpunkt hängt an einem nicht dehnbaren Faden.
   b) Ein Gummiball springt auf dem Boden.
6. Wie viele Erhaltungsgrößen hat das Kepler–Problem?
7. Welche sind dies?
8. Wie lautet die Hamilton–Funktion?
9. Wie lauten die Bewegungsgleichungen im Hamilton–Formalismus?
10. Wie lauten die Kepler'schen Gesetze?
11. Wann ist der Drehimpuls erhalten?
12. Wie ist der Trägheitstensor eines Systems aus N Massenpunkten definiert?
13. Was sind Hauptträgheitsmomente?
14. Wie lautet der Satz von Steiner?
15. Wie viele Koordinaten werden benötigt, um die Bewegung eines starren Körpers zu beschreiben?
16. Nenne 3 Scheinkräfte.
17. Wie lautet Newtons Theorem?
18. Wie lauten die Euler–Gleichungen?
19. Wie lautet Newtons Theorem?
20. Was ist der Virialsatz?

1.1.1 Lösungen Übungszettel

1. $$L = T - V$$

2. $$S = \int_{t_1}^{t_2} L\left(q, \dot{q}, t\right)\, \mathrm{d}t$$

3. $$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0$$

4. Wenn L nicht explizit von der Zeit abhängt, also:
$$\frac{\partial L}{\partial t} = 0$$

5. Zwangsbedingung

   a) $$l^2 = x^2 + y^2 + z^2 = \text{const.}$$

   b) $$z \geq 0$$

6. 5

7. Kepler-Erhaltungsgrößen

   a) Runge-Lenz-Vektor

   b) Gesamtdrehimpuls

   c) Gesamtimpuls

   d) Energie

   e) Schwerpunkt

8. $$H = \sum_i \dot{q}_i p_i - L$$

9. $$\dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i} \qquad \wedge \qquad \dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}$$

10. Kepler'schen Gesetze

    a) Die Planeten kreisen auf elliptischen Bahnen um ihr Zentralgestirn.

    b) $$\frac{a^3}{T^2} = \text{const.}$$

c) Die Ortsvektoren der Planeten überstreichen in gleichen Zeiten, die gleichen Flächen.

11. Der Drehimpuls ist erhalten, wenn das System invariant unter einer Rotation aller Koordinaten $\vec{x}_i$ ist.

12.
$$I_{ij} = \sum_{n}^{N} m_n \left(x_{ij}^2 \cdot \delta_{ij} - x_{ni} \cdot x_{nj} \right)$$

13. Die Hauptträgheitsmomente sind die Diagonalelemente/Eigenwerte des diagonalisierten Trägheitstensors.

14.
$$I_{\text{ges}} = I_{\text{SP}} + ma^2$$

15. 6: Dazu gehören 3 Ortskoordinaten und 3 Eulerinkel.

16. Scheinkräfte

a) Azimutalkraft
$$\vec{F} = -m\dot{\vec{\omega}} \times \vec{r}$$

b) Fliehkraft
$$\vec{F} = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

c) Corioliskraft
$$\vec{F} = -2m \left(\vec{\omega} \times \vec{v} \right)$$

d) Translationskraft
$$\vec{F} = -m \frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}t^2} \vec{R}$$

17. Sphärisch symmetrische Körper erzeugen die gleiche Kraft wie ein Massenpunkt im Mittelpunkt. Innerhalb dieser sphärisch symmetrischen Körper mit homogener Massenverteilung (z.B. Hohlkugel) wirkt keine Kraft.

18. Euler-Gleichungen

$$\begin{aligned}
\vec{M} &= I\dot{\vec{\omega}} + \vec{\omega} \times (I\vec{\omega}) \\
M_1 &= I_{11}\dot{\omega_1} + (I_{33} - I_{22}) \cdot \omega_3\omega_2 \\
M_2 &= I_{22}\dot{\omega_2} + (I_{11} - I_{33}) \cdot \omega_1\omega_3 \\
M_3 &= I_{33}\dot{\omega_3} + (I_{22} - I_{11}) \cdot \omega_2\omega_1
\end{aligned}$$

19. Außerhalb einer kugelsymmetrischen Massenverteilung wirkt die gleiche Gravitationskraft wie eine Punktmasse in dessen Mitte. Innerhalb einer z.B. Hohlkugel wirkt keine Gravitationskraft.

20. $\langle E_{\text{kin}} \rangle = \frac{k}{2} \langle E_{\text{pot}} \rangle$, mit $\langle . \rangle$ als Mittelwert. E_{pot} ist ein Potential k–ter Ordnung.

1.2 Zettel_14

1. Wann ist eine Kraft $\vec{F}$ konservativ?
2. Wie lautet die Lagrangefunktion?
3. Wie lauten die Bewegungsgleichungen zur Lagrangefunktion?
4. In einer Dimension sei das Potential $V = kx^2$. Wie lautet die Lösung der Bewegungsgleichung?
5. Wie lautet die kinetische Energie in Kugelkoordinaten?
6. Wie lautet die Galilei-Transformation?
7. Wie ist der kanonisch konjugierte Impuls definiert?
8. Wie lautet die Beziehung zwischen Lagrange- und Hamilton-funktion?
9. Wie lauten die Bewegungsgleichungen im Hamiltonformalismus?
10. Leite die Bewegungsgleichung des harmonischen Oszillators im Hamiltonformalismus her.
11. Wie ist ein starrer Körper definiert?
12. Wie ist der Trägheitstensor I_{ij} definiert?
13. Bestimme die Komponente des Trägheitstensors eines Stabes für die Rotationsachse orthogonal zum Stab durch den Schwerpunkt.
14. Wie lautet das Trägheitsmoment, wenn die Rotationsachse nicht durch den Schwerpunkt sondern durch das Ende des Stabes geht? Welchen Satz kann man hier benutzen?
15. Wie lauten die Bewegungsgleichungen eines starren Körpers?
16. Was sind Hauptträgheitsmomente?
17. Wie lautet Newtons Theorem?
18. Wie lauten die Keplerschen Gesetze?
19. Wann ist der Drehimpuls erhalten?
20. Was sind zyklische Koordinaten?

1.2.1 Lösungen Zettel_14

1. Wenn eine der drei folgenden Bedingungen erfüllt ist

   a) Wenn das geschlossene Integral über den Weg gleich null ist, oder die Arbeit wegunabhängig ist,

   $$\oint \vec{F}\,\mathrm{d}\vec{x} = 0$$
   $$\int_1^2 \vec{F}\,\mathrm{d}\vec{x} = W_{12}.$$

   b) Es existiert ein Potential, sodass

   $$\vec{F} = -\vec{\nabla} V.$$

   c) Wenn die Rotation der Kraft gleich null ist, also

   $$\vec{\nabla} \times \vec{F} = 0.$$

2. $L = T - V$

3. $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = 0$

4. Für ein Teilchen gilt

   $$\mathcal{L} = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 - k x^2.$$

   Mit

   $$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = 0,$$

   folgt

   $$m\ddot{x} + 2kx = 0$$
   $$\ddot{x} = -\frac{2k}{m} x.$$

   Der Ansatz ist $A\cos(\omega t) + B\sin(\omega t)$, da es sich um einen harmonischen Oszillator handelt. Das ergibt

   $$\omega^2 = \frac{2k}{m}$$

5. Kugelkoordinaten sind

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} r\cos\varphi\sin\theta \\ r\sin\varphi\sin\theta \\ r\cos\theta \end{pmatrix}.$$

Die kinetische Energie ist

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2}m\dot{r}^2 \\ &= \frac{1}{2}m\left(\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right)^2 \\ &= \frac{1}{2}m\left(\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2 + r^2\dot{\varphi}^2\sin^2\theta\right) \end{aligned}$$

6.

$$\vec{x} \mapsto \vec{x}' = \mathcal{R}\vec{x} + \vec{v}t + \vec{a} \qquad t \mapsto t' = t + t_0$$
$$\mathcal{R} \in \mathbb{R}^{3\times 3} \,\mathrm{mit}\, \mathcal{R}^T = \mathcal{R}^{-1},$$

mit $\mathcal{R}$ unabhängig von t, $\vec{v}$ einer konstanten Geschwindigkeit und $\vec{a}$ einer konstanten Raumverschiebung.

7. $p_i = \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{q}_i}$

8. $\mathcal{H} = \sum_i p_i\dot{q}_i - \mathcal{L}$

9.

$$\begin{aligned} \dot{p}_i &= -\frac{\partial\mathcal{H}}{\partial q_i} \\ \dot{q}_i &= \frac{\partial\mathcal{H}}{\partial p_i} \end{aligned}$$

10. Man nimmt eine Dimension an, mit

$$T = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 \qquad V = \frac{1}{2}kx^2.$$

Also ist die Lagrange–Funktion

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 - \frac{1}{2}kx^2.$$

Der kanonische Impuls ist

$$\begin{aligned} p &= \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{x}} \\ &= m\dot{x}. \end{aligned}$$

Die Hamilton–Funktion ist dann

$$\begin{aligned}\mathcal{H} &= p\dot{x} - \mathcal{L} \\ &= p\dot{x} - \frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}kx^2.\end{aligned}$$

$\mathcal{H} = \mathcal{H}(x, p, t)$ ist nur eine Funktion von x, p und t, also muss $\dot{x}$ mit $\dot{x} = \frac{p}{m}$ ersetzt werden

$$\begin{aligned}\mathcal{H} &= \frac{p^2}{m} - \frac{1}{2}\frac{p^2}{m} + \frac{1}{2}kx^2 \\ &= \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}kx^2.\end{aligned}$$

Die Bewegungsgleichungen sind dann

$$\begin{aligned}\dot{p} &= -\frac{\partial\mathcal{H}}{\partial x} & \dot{x} &= \frac{\partial\mathcal{H}}{\partial p} \\ &= -kx & &= \frac{p}{m} \\ & & \ddot{x} &= \frac{\dot{p}}{m}.\end{aligned}$$

Daraus folgt $m\ddot{x} = -kx$.

11. Der starre Körper ist der idealisierte Festkörper, dessen Massenelemente einen festen Abstand zueinander haben. Verformungen werden vernachlässigt. (Für diskrete Massenverteilung gilt $\forall \vec{x}_i, \vec{x}_j : |\vec{x}_i - \vec{x}_j| = \text{const.}$.)

12. Für diskrete Massenverteilungen

$$I_{ij} = \sum_{n=1}^{N} m_n \left(|\vec{x}_n|^2\delta_{ij} - x_{ni}x_{nj}\right).$$

Für kontinuierliche Massenverteilungen

$$I_{ij} = \int \mathrm{d}^3x\rho\left(|\vec{x}|\right)\left(\vec{x}^2\delta_{ij} - x_ix_j\right).$$

13. Der Stab wird entlang der x–Achse gelegt. Das Trägheitsmoment ist dann

$$\begin{aligned}
I_{yy} &= \int \mathrm{d}V \rho\left(\vec{x}\right)\left(|\vec{x}|^2\delta_{yy} - yy\right) \\
&\equiv \rho \int \mathrm{d}x\left(x^2+y^2+z^2-y^2\right) \\
&= \rho \int \mathrm{d}x\left(x^2+z^2\right) && z=0 \\
&= \rho \int_{-l}^{l} x^2\,\mathrm{d}x \\
&= \rho \frac{1}{3}x^3\bigg|_{-l}^{l} \\
&= \frac{m}{2l}\frac{2}{3}l^3 && \rho = \frac{m}{2l} \\
&= \frac{1}{3}ml^2
\end{aligned}$$

14. (Mit Satz von Steiner)

15. (Wahrscheinlich) Euler–Gleichungen

$$\vec{M} = I\dot{\vec{\omega}} + \vec{\omega}\times\left(I\vec{\omega}\right)$$

16. Die HTM sind die Diagonalelemente der Trägheitsmatrix, im Falle dass diese diagonalisiert wurde. Um diese zu diagonalisieren muss über Rotationsmatrizen $\mathcal{R} \in \mathbb{R}^{3\times 3}$ in das HTS transformiert werden. Die HTM beziehen sich auf Drehungen bzgl. der HTA.

17. (Newtons Theorem)

18. (Keplers Gesetze)

19. Der Drehimpuls ist erhalten, wenn das System invariant unter einer Rotation aller Koordinaten $\vec{x}_i$ ist.

20. Eine zyklische Koordinate ist eine Koordinate q_i von der die Lagrange–Funktion nicht abhängt. Sei q_i zyklisch, dann gilt

$$\begin{aligned}
\mathcal{L} &= \mathcal{L}\left(\ldots, q_{i-1}, q_{i+1}, \ldots; \ldots \dot{q}_{i-1}, \dot{q}_i, \dot{q}_{i+1}, \ldots\right) \\
\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial q_i} &= 0.
\end{aligned}$$

1.3 2022 Klausur I

1. Wie viele und welche Erhaltungsgrößen gibt es im Zentralkraftproblem im Allgemeinen? Woraus folgen diese Erhaltungsgrößen?

2. Welche weitere Erhaltungsgröße findet man beim Keplerproblem und welche Funktion mit zentraler Bedeutung für das Keplerproblem kann hieraus leicht berechnet werden?

3. Wie ist die Lagrange–Funktion definiert und wie lauten die Euler–Lagrange–Gleichungen?

4. Was ist das Hamilton'sche Prinzip? Wie ist die Wirkung definiert?

5. Betrachten Sie eine Lagrange–Funktion mit generalisierten Koordinaten $q : \mathcal{L} = \mathcal{L}(q, \dot{q}, t)$. Was sind zyklische Koordinaten und wie stehen diese in Zusammenhang mit den Euler–Lagrange–Gleichungen?

6. Was ist eine Legendre–Transformation? Berechnen Sie aus $f(x) = ax^2$ die zugehörige Legendre–Transformierte $g(y)$ mit $y = \frac{\partial f}{\partial x}$.

7. Wie lautet das Neother–Theorem, wenn die Lagrange–Funktion unter einer kontinuierlichen, stetig differenzierbaren Koordinatentransformation bis auf eine Eichtransformation invariant ist?

8. Wie sind Poisson–Klammern definiert? Wie lauten die Hamilton'schen Bewegungsgleichungen, ausgedrückt durch Poisson–Klammern?

9. Zeige, für welche a, b die Transformation $Q = q^a \cos(bp)\,, P = q^a \sin(bp)$ kanonisch ist.

1.3.1 Lösungen 2022 Klausur I

1. 5:

   a) Energie, da es sich bei Gravitation um ein konservatives Kraftfeld handelt.

   b) Gesamtdrehmipuls, da kein Drehmoment ausgeübt wird.

   c) Gesamtimpuls, da keine äußere Kraft ausgeübt wird.

   d) Schwerpunkt, da

   e) Runge–Lenz–Vektor, da

2. (wahrscheinlich Runge–Lenz–Vektor)

3. Lagrange–Funktion: $L = T - V$.
   Euler–Lagrange: $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} = \frac{\partial L}{\partial q}$.

4. Das Hamilton–Prinzip ist ein Extremalprinzip. Es besagt, dass Felder und Teilchen für eine bestimmte Größe einen extremalen Wert annehmen. Dies wird auch Wirkung genannt. Sie ist

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{L} \,\mathrm{d}t.$$

5. Man bezeichnet die Koordinate q_j, für die $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_j} = 0$ gilt, als zyklische Koordinate. Man nennt das System translationsinvariant in der zyklischen Koordinate; diese ist widerum äquivalent zur Erhaltung des Impulses, welcher der zyklischen Koordinate zugeordnet ist.

6. Die Legendre–Transformation beschreibt den Übergang der Variablen x in einer Funktion $f(x)$ zu den neuen Variablen $u := \frac{\partial f}{\partial x}$ in einer neuen Funktion $g(u) = ux(u) - f$. Also ist

$$\begin{aligned} f(x) &= ax^2 \\ g(u) &= ux(u) - f && \Big| u = \frac{\partial f}{\partial x} = 2ax \Leftrightarrow x(u) = \frac{u}{2a} \\ &= u \cdot \frac{u}{2a} - a \cdot \frac{u^2}{4a^2} \\ &= \frac{u^2}{4a} \end{aligned}$$

7.

$$I(q, \dot{q}, t) := \sum_{i=1}^{3N-k} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}} \cdot \frac{\partial q_i(q', t, \alpha)}{\partial \alpha}\Bigg|_{\alpha=0}$$

8. (nicht behandelt, stand: 2023 Dreeeeeeeeeeeeeeeeeeeeeees)

9. s.o.

1.4 2022 Klausur II

1. Erläutern Sie kurz die drei Newton'schen Axiome.

2. Was sagt das Noether–Theorem im Lagrange–Formalismus aus?

3. Wie lautet die totale zeitliche Ableitung $\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t}$ einer Funktion $f(q,p,t)$? Drücken Sie $\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t}$ durch die Hamilton–Funktion aus und zeigen Sie, dass sich das Ergebnis kompakt mit Hilfe der Poisson–Klammern schreiben lässt. Wann ist f eine Erhaltungsgröße wenn sie nicht explizit zeitabhängig ist?

4. Berechne aus $f(x) = ax^2$ die zugehörige Legendre–Transformation $g(y)$ mit $y = \frac{\partial f}{\partial x}$.

5. Wie ist der Trägheitstensor eines starren Körpers bestehend aus N Punktmassen definiert?

6. Untersuche ob folgende Kraftfelder konservativ sind (c_i sind Konstanten, x, y, z sind Ortskoordinaten, t ist die Zeit)

   i. $\vec{F}_1 = c_1 \left(x^2 z, xy, xz\right)^T$

   ii. $\vec{F}_2 = c_2 \left(y^3 z, 3xy^2 z, xy^3\right)^T$

   iii. $\vec{F}_3 = c_3 t^2 \left(x^2\sqrt{z}\tan(xyz), \sqrt{y}z^5, x^{3/2}\cos y\right)^T$

7. Wann ist die Anwendung der Störungstheorie sinnvoll?

8. Betrachten Sie die Bewegungsgleichung $\ddot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = \varepsilon\zeta\,\mathrm{i}\,x^2(t) + O(\varepsilon^2)$ des anharmonischen Oszillators, die für alle Werte ε eine Lösung besitzen soll. Skizzieren Sie (ohne explizite Rechnung), wie man vorgehen muss, um für diese inhomogene Differenzialgleichung mit beliebig fixierten Anfangsbedingungen perturbativ eine explizite Lösung für $x(t)$ bis zur ersten Ordnung in ε zu finden.

9. Zeigen Sie, für welche a, b die Transformation $Q = q^{a/2}\sin(bp), P = q^{a/2}\cos(bp)$ kanonisch ist.

1.4.1 Lösungen 2022 Klausur II

1. a) Ein kräftefreier Körper bleibt in Ruhe oder bewegt sich geradelinig mit konstanter Geschwindigkeit.

   b) $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$.

   c) $\vec{F}_{A \to B} = -\vec{F}_{B \to A}$.

2. Wenn die Lagrange–Funktion unter der kontinuierlichen, stetig differenzierbaren Koordinatentransformation, dann ist die Funktion eine Erhaltungsgröße. Das bedeutet insbesondere, dass zu jeder Transformation die die Lagrange–Funktion nicht ändert, eine Erhaltungsgröße gehört. Sie wird mit

$$I(q, \dot{q}, t) := \sum_{i=1}^{3N-k} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}} \cdot \frac{\partial q_i(q', t, \alpha)}{\partial \alpha} \Bigg|_{\alpha=0}$$

   berechnet.

3.

$$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t} = \frac{\partial f}{\partial q}\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial p}\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial t}$$

$$H = \sum_i p_i \dot{q}_i - f \qquad ?$$

4. Die Legendre–Transformation beschreibt den Übergang der Variablen x in einer Funktion $f(x)$ zu den neuen Variablen $u := \frac{\partial f}{\partial x}$ in einer neuen Funktion $g(u) = ux(u) - f$. Also ist

$$\begin{aligned} f(x) &= ax^2 \\ g(u) &= ux(u) - f & \Bigg| u = \frac{\partial f}{\partial x} = 2ax \Leftrightarrow x(u) = \frac{u}{2a} \\ &= u \cdot \frac{u}{2a} - a \cdot \frac{u^2}{4a^2} \\ &= \frac{u^2}{4a} \end{aligned}$$

5.

$$I_{ij} := \sum_n^N m_n \left(|\vec{x}|^2 \delta_{ij} - x_{ni} \cdot x_{nj} \right)$$

6. konservativ, wenn $\vec{\nabla} \times \vec{F} = 0$ oder $\oint_C \vec{F}\, \mathrm{d}s = 0$.

7. (gibts nicht)

8. s.o.

9. s.o.

1.5 2021 Klausur I

1. Geben Sie die Euler–Lagrange Gleichungen zu einer Lagrangefunktion $\mathcal{L}(q, \dot{q}, t)$ an.

2. Zeigen Sie die Energieerhaltung bei der eindimensionalen Bewegung in einem Potential $U(x)$ ausgehend von der Newton'schen Bewegungsgleichung $m\ddot{x} = -\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}x}$.

3. Es sei die Zwangsbedingung $\frac{x^2}{a} + \frac{y^2}{b} = 1$ für eine Bewegung gegeben. Was bedeutet diese Bedingung geometrisch? Berechnen Sie die zugehörige Zwangskraft Z.

4. Zeigen Sie, dass für eine Lagrange–Funktion $\mathcal{L}(q, \dot{q})$, die nicht explizit von der Zeit abhängt, auf der physikalischen Bahnkurve $q(t), \dot{q}(t)$ (welche die Bewegungsgleichung erfüllt) gilt $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\mathcal{L} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}}\dot{q}\right) = 0$.

5. Was bedeutet es, wenn eine Variable q zyklisch ist? Was gilt dann für den kanonischen Impuls p bezüglich der Variablen q?

6. Welche Erhaltungsgrößen hat das Keplerproblem?

7. Wie lauten die Hamilton'schen Bewegungsgleichungen allgemein?

8. Wie sind die Poissonklammern definiert?

9. Wie ist das Skalarprodukt im Minkowski–Raum definiert? Geben Sie den metrischen Tensor im Minkowski–Raum in Matrixform an.

10. Wie lautet die relativistische Energie–Impuls–Beziehung?

11. Wie hängt die Rotationsenergie mit dem Trägheitstensor zusammen?

12. Was besagt der Satz von Steiner? (Formel angeben).

1.6 2019 Klausur I

1. Wie lauten die Newton'schen Axiome?
2. Zeigen Sie, dass für den Drehimpuls $\vec{L}$ im Zentralpotential $\frac{\mathrm{d}\vec{L}}{\mathrm{d}t} = 0$ gilt.
3. Was ist das Hamilton'sche Prinzip? Wie ist die Wirkung definiert?
4. Was besagt das Neother–Theorem im Lagrange–Formalismus?
5. Wann ist eine Verschiebung der Frequenz bei der Störungstheorie eines anharmonischen Oszillators notwendig? Was passiert wenn man diese nicht berücksichtigt?
6. Wie lautet der Satz von Steiner?
7. Wie lauten die Hamilton'schen Bewegungsgleichungen?
8. Wie lautet die totale zeitliche Ableitung einer Funktion $f(q, p, t)$ ausgedrückt durch Poisson–Klammern? Wann ist f eine Erhaltungsgröße, wenn sie nicht explizit zeitabhängig ist?

$$\ddot{\theta} = -\frac{g\theta}{l\left(1 - \dfrac{m}{M+m}\right)} \tag{1.1}$$