

Zentralabitur 2019/2020

Fach Physik

Prüfungsthema

Gravitation

Elemente und Aspekte des Unterrichts in der Sek.II

Dr. Uwe Wolter, Detlef Kaack, LiF13

Gravitation: Voraussetzungen

Voraussetzungen:

- Ungestörte Überlagerung von Bewegungen, waagerechter, senkrechter und schräger Wurf,
- Kreisbewegung (Massenträgheit, Bogenmaß, Zentralkraft, Zentripetalkraft, Zentralbeschleunigung, Winkelgeschwindigkeit)
- Potenzielle und kinetische Energie

Die Gravitation wird im Rahmen des Feldkonzepts betrachtet.

Das Feld als Eigenschaft des Raumes, auf eine Masse (bzw. Ladung) eine Kraft auszuüben...

Gravitation in der Sek. II: Überlegungen

Das Thema Astronomie ist hier nur in Teilbereichen abgedeckt (letzter Spiegelpunkt). Es geht hauptsächlich um die Physik der Gravitation.

Intellektuelles Spannungsfeld der Gravitation:

Gravitation als Kraft, das Gravitationsfeld im Feldkonzept

– und/oder –

Gravitation als kräftefreie Spur in der verbogenen Raumzeit,
(allgemeine Relativitätstheorie, nicht Thema der Schule)

Das Problem:

Es gibt noch keine Theorie der Gravitation auf Ebene der Teilchenphysik.

...und...

Es ist schwer vermittelbar, dass man im freien Fall keine Kräfte spürt. Der freie Fall ist offensichtlich Schwerelosigkeit.

Gravitation (A-Heft 2020 Teil 1)

Die Schülerinnen und Schüler können... (*erhöhter Anforderungsbereich gelb*)

- die keplerschen Gesetze und das Gravitationsgesetz erläutern und anwenden,
- Planeten- und Satellitenbahnen beschreiben und – eingeschränkt auf Kreisbahnen – berechnen,
- die Masse von Zentralkörpern berechnen,
- ~~Satellitenbahnen (u. a. stationäre Bahnen) für verschiedene Zentralkörper berechnen,~~
- die potenzielle Energie *und die Gesamtenergie* von Körpern in Gravitationsfeldern bestimmen,
- Fluchtgeschwindigkeiten bestimmen,

Gravitation (A-Heft 2019 Teil 2)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(erhöhter Anforderungsbereich gelb)*

- die verschiedenen Umlaufzeiten von Monden (z. B. des Jupiters) erklären und berechnen,
- **die** Energieerhaltung auf elliptische Bahnen so anwenden, dass sie Bahngeschwindigkeiten von Planeten oder Kometen bestimmen können,
- *mit Hilfe der Gesamtenergie eines Meteoriten bzw. Kometen analysieren, welche Bahnform (Ellipse, Parabel oder Hyperbel) seine Bewegung haben wird.*
- ~~unterschiedliche Himmelskörper (Monde, Sterne, Planeten, Galaxien) klassifizieren. Noch für 2018, aber 2019 entfallen.~~

Operatoren	AB	Definitionen
abschätzen	II-III	Durch begründete Überlegungen Größenordnungen physikalischer Größen angeben
analysieren, untersuchen	II-III	Unter gezielten Fragestellungen Elemente und Strukturmerkmale herausarbeiten und als Ergebnis darstellen
angeben, nennen	I	Ohne nähere Erläuterungen wiedergeben oder aufzählen
anwenden, übertragen	II	Einen bekannten Sachverhalt, eine bekannte Methode auf eine neue Problemstellung beziehen
aufbauen	II-III	Objekte und Geräte zielgerichtet anordnen und kombinieren
aufstellen	II	Einen Vorgang als eine Folge von Symbolen und Wörtern formulieren
auswerten	II	Daten oder Einzelergebnisse zu einer abschließenden Gesamtaussage zusammenführen
begründen	II-III	Einen angegebenen Sachverhalt auf Gesetzmäßigkeiten bzw. kausale Zusammenhänge zurückführen
benennen	I	Elemente, Sachverhalte, Begriffe oder Daten (er)kennen und angeben
berechnen	I-II	Ergebnisse von einem Ansatz ausgehend durch Rechenoperationen gewinnen
beschreiben	I-II	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge unter Verwendung der Fachsprache in eigenen Worten veranschaulichen
bestimmen	II	Einen Lösungsweg darstellen und das Ergebnis formulieren
beurteilen	II-III	Hypothesen bzw. Aussagen sowie Sachverhalte bzw. Methoden auf Richtigkeit, Wahrscheinlichkeit, Angemessenheit, Verträglichkeit, Eignung

Operatoren	AB	Definitionen
		oder Anwendbarkeit überprüfen
bewerten	II-III	Eine eigene Position nach ausgewiesenen Normen oder Werten vertreten
diskutieren	II-III	Physikalische Systeme oder Zusammenhänge hinsichtlich ihres Verhaltens bei Größenänderungen analysieren
durchführen	I-II	An einer Experimentieranordnung zielgerichtete Messungen und Änderungen vornehmen
einordnen, zuordnen	II	Mit erläuternden Hinweisen in einen Zusammenhang einfügen
entwerfen, planen	II-III	Zu einem vorgegebenen Problem eine Experimentieranordnung finden
entwickeln	II-III	Eine Skizze, eine Hypothese, ein Experiment, ein Modell oder eine Theorie schrittweise weiterführen und ausbauen
erklären, erläutern	II-III	Ergebnisse, Sachverhalte oder Modelle nachvollziehbar und verständlich veranschaulichen
erörtern	III	Im Zusammenhang mit Sachverhalten, Aussagen oder Thesen unterschiedliche Positionen und Pro- und Kontra- Argumente einander gegenüberstellen und abwägen
herausarbeiten	II-III	Die wesentlichen Merkmale darstellen und auf den Punkt bringen
herleiten, nachweisen, zeigen	II	Aus Größengleichungen durch logische Folgerungen eine physikalische Größe bestimmen
interpretieren	II-III	Phänomene, Strukturen, Sachverhalte oder Versuchsergebnisse auf Erklärungsmöglichkeiten untersuchen und diese gegeneinander abwägend darstellen
prüfen, überprüfen, testen	II-III	Sachverhalte oder Aussagen an Fakten oder innerer Logik messen und eventuelle Widersprüche aufdecken
skizzieren	I-II	Sachverhalte, Strukturen oder Ergebnisse kurz und übersichtlich darstellen mithilfe von z. B. Übersichten, Schemata, Diagrammen, Abbildungen, Tabellen und Texten
vergleichen, gegenüberstellen	II-III	Nach vorgegebenen oder selbst gewählten Gesichtspunkten Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede ermitteln und darstellen
zeichnen	I-II	Eine hinreichend exakte bildhafte Darstellung anfertigen

Gravitation (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können...

- die keplerschen Gesetze und das Gravitationsgesetz erläutern und anwenden,

Analogie zum Coulomb-Gesetz,

Feldkonzept in der Schule,

Bedeutung der Formel erfahren: Zieht der Mond oder die Erde???

Ebbe/Flut, Deformation der Erde !, Deformation des Monds ?,

Konjunktionen und Tektonik...

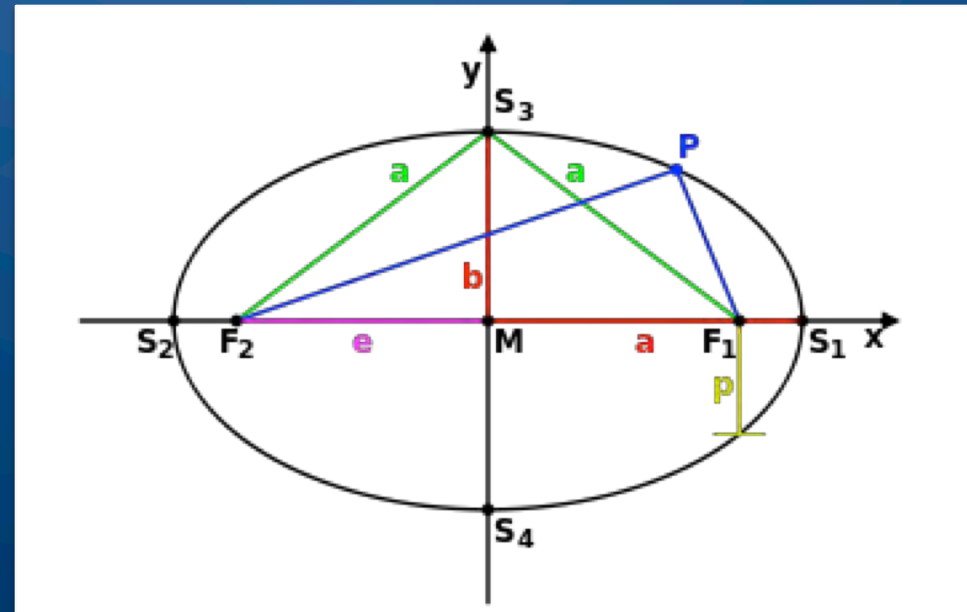
Gravitation (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können...

- Planeten- und Satellitenbahnen beschreiben und – eingeschränkt auf Kreisbahnen – berechnen,

Die **Ellipse** mathematisch und praktisch, Begriffe Exzentrizität, große und kleine Halbachse, Brennpunkte, Fahrstrahl...

Der **Kreis** als Sonderform der Ellipse,
Kreisbewegung (Physik) und
Kreisformeln (Mathematik)



Quelle der Grafik: Wikipedia 2014

Erste kosmische Geschwindigkeit oder Kreisbahngeschwindigkeit [\[Bearbeiten\]](#)

Wenn sich ein Körper antriebslos auf einer Kreisbahn um das Zentrum eines Planeten (oder anderen Himmelskörpers) herum bewegt, muss er die **Zentripetalbeschleunigung** $\frac{v^2}{r}$ erfahren. Dabei ist v die Geschwindigkeit des Flugkörpers und r der Radius der Kreisbahn. Diese Beschleunigung kann nur von der Gravitation des Planeten verursacht sein, also gilt

$$\frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2}.$$

Dabei ist G die **Gravitationskonstante** und M die Masse des Planeten. Die Kreisbahngeschwindigkeit ergibt sich durch Umstellen der obigen Gleichung zu

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}.$$

Die erste kosmische Geschwindigkeit v_1 ist diejenige Kreisbahngeschwindigkeit, die es einem Körper erlaubt, direkt an der Oberfläche eines Planeten um diesen herum zu kreisen. Anschaulich ausgedrückt ist sie diejenige Geschwindigkeit, mit der eine waagrecht geschossene Kanonenkugel die Erde umrunden würde, ohne den Boden zu berühren. Da der Abstand zum Zentrum des Planeten in diesem Fall dem Radius R des Planeten entspricht, wird $r = R$ gesetzt.

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}.$$

Die erste kosmische Geschwindigkeit für die Erde beträgt etwa 7,91 km/s (28476 km/h). Für den Mond beträgt sie 1,68 km/s (6048 km/h). Die Umlaufperiode auf dieser Kreisbahn entspricht der **Schuler-Periode**.

Für jede Kreisbewegung in einer bestimmten Höhe ist die Kreisbahngeschwindigkeit stets geringer als v_1 . Erdsatelliten haben eine Bahnhöhe von mindestens 150 km über der Erdoberfläche, da Reibung mit der oberen Erdatmosphäre die Satelliten sonst zu stark abbremst. In 150 km Höhe beträgt die Geschwindigkeit der Satelliten 7,815 km/s.

Gravitation (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können...

- die Masse von Zentralkörpern berechnen,

Anwendung des 3. Kepler-Gesetzes,

Mathematik: Umformen, Potenzen, Wurzeln,
Taschenrechner und sehr große Werte,
sichere Verwendung von Exponenten,
Überblick behalten

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Anwendung des Gravitationsgesetzes,

Mathematik: Umformen, Einheitenverwaltung

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Gravitation (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können im *erhöhten Anforderungsbereich*

- die potenzielle Energie *und die Gesamtenergie* von Körpern in Gravitationsfeldern bestimmen (*neu in 2017*)

Relative Sichtweise des Potentials: Übereinkunft der Nullstelle in unendlichem Abstand bei Rechnungen, die mehrere Himmelskörper einschließen. (Problem der Vergleichbarkeit!)

Vergleich mit alltäglichen Sichtweisen, z. B. potenzieller Energie.

Bei Rechnungen, die sich ausschließlich auf die Erde und ihre Satelliten beziehen, kann auch als Referenz die Erdoberfläche 0 gesetzt werden.

Gravitation (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können im grundlegenden Anforderungsbereich

- Fluchtgeschwindigkeiten bestimmen, (neu eingestuft)

Hier macht es Sinn, auch die Parabel- und Hyperbelbahnen neben der Ellipsenbahn zu behandeln.

Zweite kosmische Geschwindigkeit oder Fluchtgeschwindigkeit [\[Bearbeiten\]](#)

Die *zweite kosmische Geschwindigkeit* ist die Mindestgeschwindigkeit für eine offene, nicht zurückkehrende Bahn. Bei dieser *Fluchtgeschwindigkeit* ist die kinetische Energie eines Probekörpers gleich seiner Bindungsenergie im Gravitationsfeld, also

$$\frac{1}{2} mv_2^2 = \frac{GMm}{r}.$$

Umstellen nach v_2 ergibt

$$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{r}}.$$

Die Fluchtgeschwindigkeit ist also um den Faktor $\sqrt{2}$ größer als die erste kosmische Geschwindigkeit.

Mit der Schwerebeschleunigung $g = \frac{GM}{r^2}$ (in einem nicht rotierenden Bezugssystem) gilt

$$v_2 = \sqrt{2gr}.$$

Für Himmelskörper mit konstanter mittlerer Dichte ρ und Radius R skalieren M mit R^3 und für $r = R$ sowohl g als auch v_2 linear mit R . Nebenstehende Tabelle enthält Beispiele.

Gravitation (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können...

- die verschiedenen Umlaufzeiten von Monden (z. B. des Jupiters) erklären und berechnen,

Kepler-Gesetze, Gravitationsgesetz

Diskussion der Parameter und ihrer Einflüsse auf die Umlaufzeiten:
Mondmasse, Planetenmasse, Abstand

Gravitation (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können im *erhöhten Anforderungsbereich*

- die Energieerhaltung auf elliptische Bahnen so anwenden, dass sie Bahngeschwindigkeiten von Planeten oder Kometen bestimmen können, *(neu ab 2017, jetzt gA für 2020)*

Dazu ist eine mathematische Beschreibung der Ellipse nicht erforderlich. Es geht um Gesamtenergie, kinetische Energie und Bahngeschwindigkeit. Dazu muss der Abstand von der Zentralmasse erfasst werden können.

Gravitation (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können im *erhöhten Anforderungsbereich*

- *mit Hilfe der Gesamtenergie eines Meteoriten bzw. Kometen analysieren, welche Bahnform (Ellipse, Parabel oder Hyperbel) seine Bewegung haben wird.*

Siehe Bahnformen und Energien bzw. Geschwindigkeiten,
z. B. im „Metzler Physik“.

Gravitation (A-Heft) 2018 und 2019

Die Schülerinnen und Schüler können...

- ~~unterschiedliche Himmelskörper (Monde, Sterne, Planeten, Galaxien) klassifizieren.~~ *Ab 2019 entfallen.*

Das betraf Astronomie...

Hier empfahl sich ein separates Lehrbuch, siehe Lehrmittelhandel. Auch aktuell ist das Thema eine sinnvolle Grundlage, da die Gravitation sich in der Astronomie am besten zeigt.

Der Besuch der Astronomiewerkstatt an der Hamburger Sternwarte (Bergedorf) ist zu erwägen: www.astronomiewerkstatt.de

Zusatzinformationen

- Hilfsmittel 2019, 2020
 - Taschenrechner (nicht programmierbar, nicht grafikfähig),
 - Formelsammlung
 - „Das große Tafelwerk interaktiv“ (Cornelsen-Verlag),
 - „Das große Tafelwerk interaktiv 2.0“ (Cornelsen-Verlag),
 - Zeichenhilfsmittel,
 - Rechtschreibwörterbuch
- Es wird wieder kein extra Formelbeiblatt geben.
- Die Arbeitszeiten bleiben für Physik unverändert:
 - 240 min gA
 - 300 min eA
- Lese- und Auswahlzeit 30 min
- Extra 30 min für Einwanderer (Abitur 2020)

Apps und Programme

- **Sternatlas**, Astronomieprogramm mit Richtungssensibilität und eingebetteten Daten, Bildern und Filmen
iOS / App Store
- **Star Rover**, Astronomieprogramm
iOS / App Store
- **Solar Walk**, Astronomie, Simulation des Sonnensystems
iOS / App Store
- **Gravitation**, Ellipsenbahn, Win-Progr. Hamburg
<http://www.schul-physik.de/Downloads.html#gravitation>
http://www.schul-physik.de/downloads/Gravitation_3.14.zip
- <http://phet.colorado.edu/en/simulation/my-solar-system>
- <http://phet.colorado.edu/en/simulation/gravity-force-lab>

Programmierung der Bahnen

- **Simulation unter Cassylab2**

siehe Hilfe -> Versuchsbeispiele -> Physik
-> (über P1.7.1.3) „Dreikörperproblem (mit Modellbildung)“

- **Tabellenkalkulation**

(Quelle Klett Impulse Physik Oberstufe, S.71)

- **Leifi Physik**

www.leifiphysik.de/mechanik/gravitationsgesetz-und-feld/ausblick/numerische-behandlung-von-satellitenbahnen

Programmierung der Bahnen

- **Netlogo**, (mit Java 6 auf Win, MacOSX, Unix)
(Ein Beispielprogramm ist gefragt.)
<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- **Python 2 und 3**, Programmiersprache (Win & MacOS & Unix & Raspian auf Raspberry Pi),
Downloadquellen, Anleitungen, Literaturtipps und
Sonderdateien unter:
www.schul-physik.de/python.html
- Weitere Programmierumgebungen siehe:
www.schul-physik.de/Software.html#sprachen

Weitere Themen

Künstliche Gravitation

- *Film „Interstellar“*

www.youtube.com/watch?v=a3lcGnMhvsA

*Anregungen dazu in „Astronomie“ Ausgabe 5 Oktober 2017
Nr.161*

- *Film Odyssee im Weltraum 2001*

Links / Literatur 1

- *Raabits Physik 22, Keplersche_Gesetze, Raabe-Verlag, www.raabe.de*
- *Raabits Physik 6, Bewegungen im Gravitationsfeld, Raabe-Verlag, www.raabe.de*
- Universe, Freedman / Kaufmann (engl.), ca. 150.- US\$
- Das Universum, Martin Rees (deutsch), ca. 40,- €
- Schwere Experimente: Messung der Gravitationskonstanten
Physik Journal (DPG), 14.Jg, Nov. 2015, Seite 37ff
- Allgemeine Relativitätstheorie: Einfacher Einstieg
www.kornelius.de/arth/

Links / Literatur 2

- [Astronomie](#), Schroedel-Verlag
Metzler Astrophysik SII - Ausgabe 2011 für Bayern,
ISBN: 978-3-507-10703-8
- Dorn-Bader Physik 11 Sek. II
- Impulse Physik Oberstufe, Klett
- Metzler Physik
- Sterne über Hamburg, Jochen Schramm,
ISBN 978-3-9811271-8-8, 2.Auflage 2010, Kultur- und Geschichtskontor
- Weiße Zwerge – Schwarze Löcher, R. u. H. Sexl, vieweg
studium, ISBN 3-528-17214-2, 1979
- Roche-Grenze, Potenzial 3D, Wikipedia
<https://de.wikipedia.org/wiki/Roche-Grenze>

Links / Literatur 3

- **Material zum Nobelpreis:** www.kva.se, The Nobel Committee for Physics, 2017, „THE LASER INTERFEROMETER GRAVITATIONAL-WAVE OBSERVATORY AND THE FIRST DIRECT OBSERVATION OF GRAVITATIONAL WAVES“
- **Relativität Gruppen Teilchen**, Roman U. Sexl und Helmuth K. Urbantke, 2. Auflage, Springer-Verlag, 1982
- **Essential Relativity**, Wolfgang Rindler, Van Nostrand Reinhold Company, 1969
- **Bildatlas der Galaxien**, Michael König, Stefan Binnewies, Kosmos, ISBN 978-3-440-15045-0

Links / Literatur 4

- **Physik lernen mit Excel und Visual Basic: Anwendungen auf Teilchen, Wellen, Felder und Zufallsprozesse** von Dieter Mergel, ISBN-10: 9783662575123, ISBN-13: 978-3662575123, € 29,90

Zielgruppen sind:

- Studierende mit Hauptfach Physik ab dem ersten Semester
- Studierende mit Nebenfach Physik mit Interesse an der Mathematik
- Lehramtsstudierende und ausgebildete Mathe-, Physik- und Informatiklehrer , die darin Anregungen für die Einbindung von Computerverfahren im Unterricht finden und
- „Physiker im Beruf“, die systematisch Tabellenkalkulation erlernen wollen.

- **Physik mit Excel und Visual Basic: Anwendungen auf Teilchen, Wellen, Felder und Zufallsprozesse** von Dieter Mergel, ISBN-10: 9783642378560, ISBN-13: 978-3642378560, € 29,90

Zielgruppen sind:

einerseits Studierende mit Haupt- oder Nebenfach Physik, die in Computerverfahren einsteigen und gleichzeitig ihre Physikkenntnisse vertiefen wollen.

Lehramtsstudierende oder ausgebildete Mathe-, Physik- und Informatiklehrer als Hilfe, Computerverfahren in ihren Unterricht einzubinden.

Auch „Physiker im Beruf“, die systematisch Tabellenkalkulation erlernen wollen.

Grundlegende Dokumente

- Hamburger Rahmenpläne
www.hamburg.de/bildungsplaene
- Materialien wie EPA, APO-AH, Rahmenpläne (neu und älter), A-Heft auch unter
- www.hamburg.de/abitur-2017
- www.hamburg.de/abitur-2018
- **Achtung:** Eine neue APO-AH ist veröffentlicht und gilt bereits für 2017, siehe Anlage 29 Physik. Das ändert auch die Operatoren in einigen Punkten.
Diese ist von 2015 und löst die von 2012 ab.
- www.schul-physik.de/Downloads.html

Links

- Diverse Dateien zum Thema:
www.schul-physik.de/Downloads.html
- Astronomie
<http://www.schul-physik.de/Themen/Astronomie/Astronomie.html>
- Gravitation
<http://www.schul-physik.de/Themen/Gravitation/Gravitation.html>