

Material Physik mit Astrophysik grundlegendes Anforderungsniveau

I (Induktionsschleifen im Straßenverkehr) M1: Mechanische Analogie zum elektromagnetischen Schwingkreis

Die ungedämpfte harmonische Schwingung eines horizontalen Federpendels mit zwei gleichartigen Federn, das sich auf einer horizontalen Unterlage bewegt und bei dem daher die Gravitation keine Rolle spielt, ist eine mechanische Analogie zur ungedämpften Schwingung eines elektromagnetischen Schwingkreises. Die Momentangeschwindigkeit des Pendelkörpers ist die analoge Größe zur momentanen Stromstärke im Schwingkreis.

In Abb. 1 sind vier aufeinanderfolgende Phasen einer ungedämpften harmonischen Schwingung eines Federpendels im zeitlichen Verlauf dargestellt. Das System aus Federn und Pendelkörper ist rechts und links befestigt. Zum Zeitpunkt t_1 ist die Auslenkung des Pendelkörpers maximal und die obere Platte des Kondensators maximal negativ geladen.

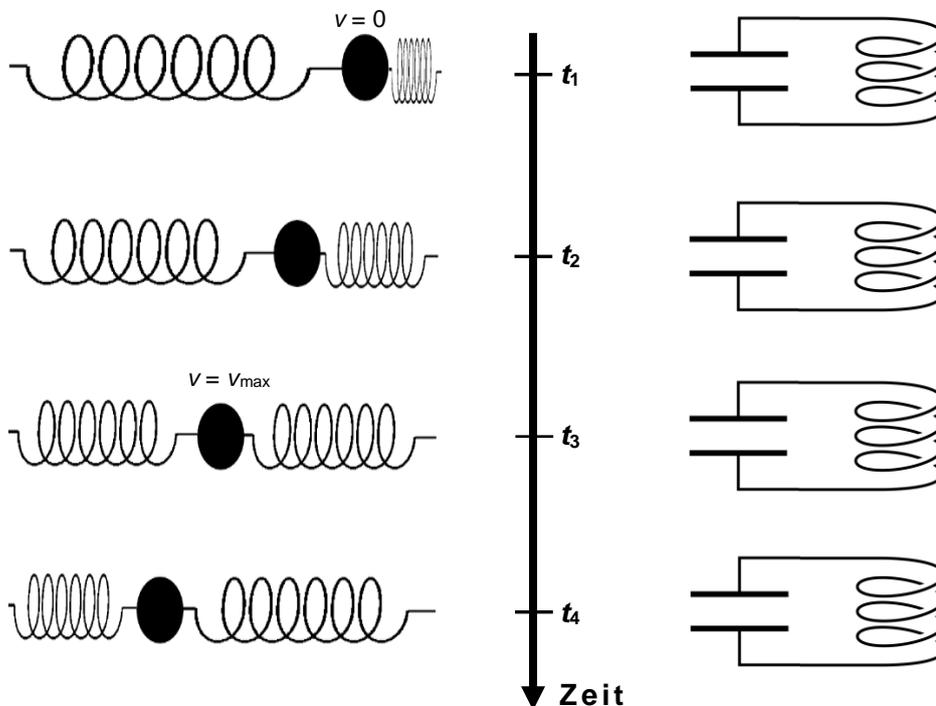


Abb. 1: Analogiebetrachtung von Federpendel und Schwingkreis für vier ausgewählte Zeitpunkte

I (Induktionsschleifen im Straßenverkehr) M2: Schwingkreis im Untergrund

Eine Induktionsschleife aus mehreren Drahtwindungen ist unter der Fahrbahnoberfläche verlegt. Sie bildet zusammen mit einem Kondensator der Kapazität $C = 50 \text{ nF}$ einen elektromagnetischen Schwingkreis.

Abb. 2 zeigt die Zeitabhängigkeit der Stromstärke einer idealisierten, ungedämpften elektromagnetischen Schwingung in diesem Schwingkreis.

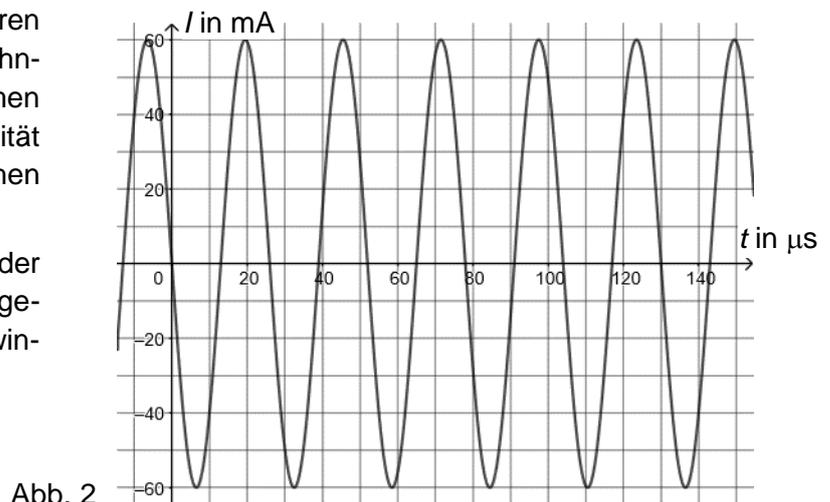


Abb. 2

I (Induktionsschleifen im Straßenverkehr) M3: Verstimmung der Induktionsschleifen

Ein in der Induktionsschleife fließender Wechselstrom erzeugt ein sich periodisch änderndes Magnetfeld. Wenn sich ein Fahrzeug oberhalb der Induktionsschleife (vgl. Abb. 3) befindet, so wird die Induktivität L des Schwingkreises gegenüber dem Zustand ohne Fahrzeug um ΔL verändert. Die relative Änderung $\Delta L/L$ wird auch „Verstimmung“ genannt. Tab. 1 zeigt typische Verstimmungen für verschiedene Fahrzeugtypen.

Eine Veränderung der Kapazität des Kondensators im Schwingkreis ist vernachlässigbar.

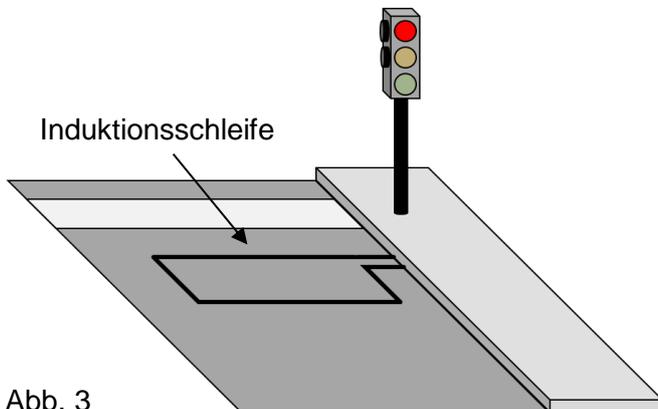


Abb. 3

Fahrzeugtyp	typische Verstimmung
Pkw	0,06
Lkw	0,015
Motorrad	0,01
Fahrrad	0,00018 ... 0,00022

Tab. 1

I (Induktionsschleifen im Straßenverkehr) M4: Wohin mit dem Fahrrad?

Die Schwierigkeit der Detektion eines Fahrrades liegt auch darin, dass das Magnetfeld oberhalb der Induktionsschleife nicht homogen ist und ein Fahrrad nur einen geringen Teil dieses Bereichs beeinflusst. Um eine gute Erkennung von Fahrrädern zu erreichen, sollten möglichst große Anteile des Fahrrades vom Magnetfeld des Schwingkreises durchsetzt werden, wobei die magnetische Flussdichte im Bereich des Fahrrades möglichst hoch sein sollte.

Abb. 4 zeigt zwei mögliche Positionen, die ein Fahrrad über der Induktionsschleife einnehmen kann.

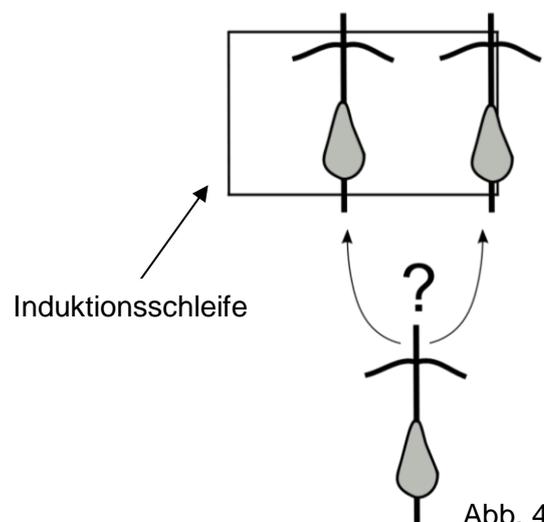


Abb. 4

I (Induktionsschleifen im Straßenverkehr) M5: Die richtige Empfindlichkeit

Ein Hersteller von Induktionsschleifen schreibt auf seiner Homepage:

„[Statt andere Maßnahmen zu ergreifen, wird] oft versucht, durch übermäßige Erhöhung der Empfindlichkeitsstufe am Auswertgerät eine funktionierende Fahrraderfassung zu gewährleisten. Berücksichtigt man allerdings, dass auf der höchsten Empfindlichkeitsstufe eines Schleifendetektors eine Frequenzänderung von etwa 0,01 Prozent ausreicht um ein Signal auszulösen, kann man sich vorstellen, dass diese Einstellung im Praxisbetrieb zu ständigen Störungen führt. Das Auswertgerät reagiert dabei auf kleinste Änderungen der Umgebung und neigt dazu sich "aufzuhängen". [Dadurch können keine Fahrzeuge mehr erfasst werden.]“

II (Sonnenbrillen) M1: Tönung von Brillengläsern und UV-Schutz

Die sogenannte Tönung von Brillengläsern beschreibt deren Absorptionseigenschaften im sichtbaren Spektralbereich. Die Brillengläser können in verschiedenen Farben getönt sein. Bei einer Grautönung wird bei jeder Wellenlänge des sichtbaren Spektralbereichs näherungsweise der gleiche Anteil der einfallenden Lichtenergie absorbiert, wodurch für den Brillenträger bzw. die Brillenträgerin alle Farben gleichmäßig abgedunkelt werden.

Da für die Brillenträgerin bzw. den Brillenträger die Umgebung abgedunkelt erscheint, weiten sich die Pupillen und die Augen werden nicht mehr zugekniffen. Das Sehen wird insgesamt als weniger anstrengend wahrgenommen und damit verbundene Probleme wie Kopfschmerzen sind weniger häufig bzw. intensiv.

Sonnenbrillengläser werden in fünf Kategorien (siehe Tab. 1) eingeteilt. Der Absorptionsgrad gibt dabei den Anteil der einfallenden Lichtenergie an, der vom Brillenglas absorbiert wird.

Kategorie	Absorptionsgrad im sichtbaren Spektralbereich	Eignung
0	< 20 %	an bewölkten Tagen und an Abenden
1	20 – 57 %	an Frühlingstagen, bei wechselndem Wetter
2	57 – 82 %	normaler Blendschutz für den Sommer in Mitteleuropa
3	82 – 92 %	Südeuropa, Strand, Berge, Lesen in der Sonne
4	> 92 %	Hochgebirge, Gletscher

Tab. 1

Über die Absorption im UV-Bereich gibt das CE-Siegel auf der Sonnenbrille Auskunft: Es wird nur vergeben, wenn die Brille einen 100-prozentigen UV-Filter für Licht mit Wellenlängen kleiner als 380 nm hat. Die zusätzliche Kennzeichnung „UV 400“ erhält die Brille dann, wenn alle Wellenlängen unterhalb von 400 nm herausgefiltert werden.

II (Sonnenbrillen) M2: Reflektierende Beschichtung eines Brillenglases

Beim Durchgang von Licht durch teilweise lichtdurchlässige Schichten treten an Grenzflächen Reflexion und Brechung auf. Abb. 1 zeigt den Lichtweg durch eine solche Schicht. Die im Bild mit ① und ② gekennzeichneten reflektierten Lichtstrahlen liegen in der Realität an der in Abb. 1 mit P markierten Stelle nahezu aufeinander.

Sichtbares Licht hat in teilweise lichtdurchlässiger Materie eine kleinere Ausbreitungsgeschwindigkeit als im Vakuum. Der Brechungsindex n gibt das Verhältnis dieser Geschwindigkeiten an.

In Luft gilt: $n_{\text{Luft}} \approx 1$, in Beschichtungen von Brillengläsern gilt: $n > 1$.

Den Gangunterschied Δs der Teilwellen ① und ② erhält man, indem man den Wegunterschied mit n multipliziert.

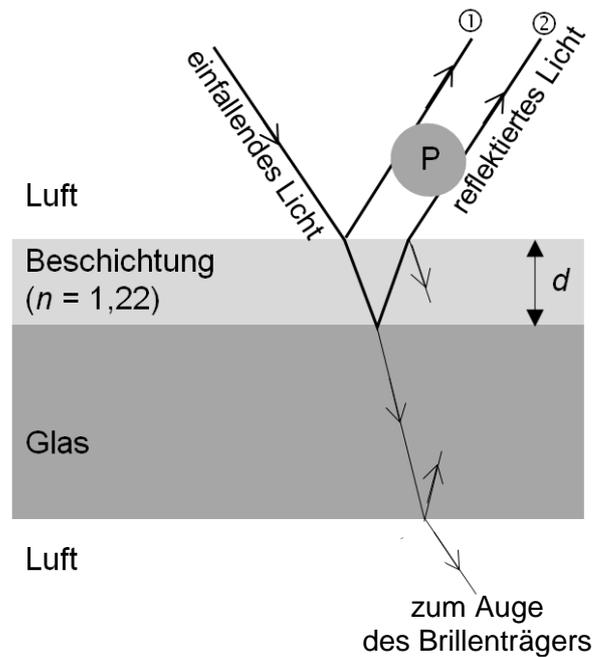


Abb. 1: Lichtweg durch eine teilweise lichtdurchlässige Schicht

II (Sonnenbrillen) M3: Polarisation bei Transmission und Reflexion

Sonnenbrillen mit polarisierenden Brillengläsern laden viele Menschen zum „Spielen“ ein, weil sich Helligkeiten und Kontraste verändern, wenn man durch das Brillenglas sieht und die Brille um die Sichtachse dreht. Diese Brillengläser sind mit einer Schicht versehen, die aus dem unpolarisierten Sonnenlicht linear polarisiertes Licht macht. Dazu absorbiert die Schicht alle Komponenten der eintreffenden elektromagnetischen Wellen außer einer, deren Schwingungsrichtung durch die Schicht vorgegeben ist. Die Intensität des Lichts, das das Brillenglas durchdringt, wird dabei insgesamt reduziert.

Für den Sehkomfort ist folgender Effekt besonders von Bedeutung: Wenn Sonnenlicht an einer ebenen Grenzfläche zwischen zwei Materialien reflektiert wird, ist das reflektierte Licht teilweise bis vollständig polarisiert (siehe Abb. 2). Im Alltag tritt dies häufig an Eis- oder Wasserflächen sowie glatten Lackflächen auf. Polarisierende Brillengläser filtern aufgrund der Ausrichtung der polarisierenden Schicht gerade dieses reflektierte Licht besonders gut heraus, wodurch sie ein blendarmes, kontrastreiches Sehen mit einer verbesserten Farbwahrnehmung ermöglichen.

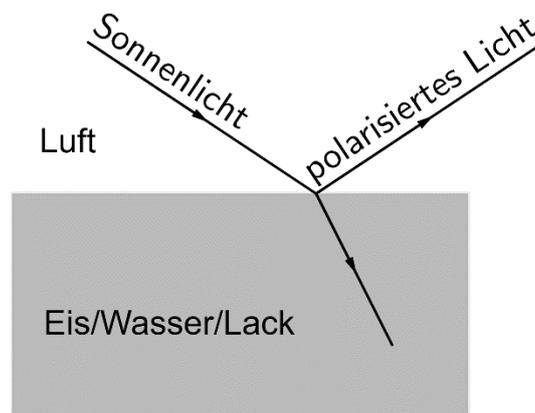


Abb. 2: Polarisation bei Reflexion

III (Exoplaneten) M1: Der Stern CoRoT-7

Der Hauptreihenstern CoRoT-7 befindet sich im Sternbild Einhorn und ist 490 Lichtjahre von der Erde entfernt. Folgende Eigenschaften des Sterns sind bekannt:

Masse:	$1,8 \cdot 10^{30}$ kg
Oberflächentemperatur:	$5,3 \cdot 10^3$ K
Radius:	$5,7 \cdot 10^5$ km
Scheinbare Helligkeit:	11,7

In der Umgebung des Sterns wurden bisher drei Exoplaneten nachgewiesen, der erste war CoRoT-7b.

III (Exoplaneten) M2: Der Exoplanet CoRoT-7b

Der Exoplanet CoRoT-7b wurde im Februar 2009 aufgrund einer periodischen Helligkeitsschwankung seines Zentralsterns entdeckt.

Wenn der Exoplanet vor dem Zentralstern vorbeizieht, nimmt die auf der Erde beobachtete Strahlungsleistung geringfügig ab. Abb. 1 zeigt vereinfacht die relative Strahlungsleistung $L_C/L_{C,max}$ des Zentralsterns während eines Planetendurchgangs (Transits) von CoRoT-7b.

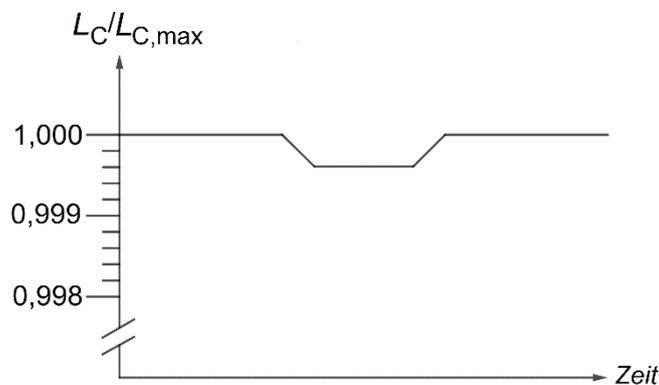


Abb. 1

Im Gegensatz zur Erde führt CoRoT-7b eine sogenannte gebundene Rotation durch, d. h. die eine Seite des Planeten zeigt immer zu CoRoT-7, die andere ist stets von ihm abgewandt. Dies könnte auf der dem Stern zugewandten Seite zu einer Oberflächentemperatur von mehr als 2000°C und auf der abgewandten Seite zu einer Temperatur von ungefähr minus 200°C führen.

IV (Das Galaxientrio Holm 820) M1: Das Galaxientrio Holm 820

Die drei Galaxien NGC 7769, NGC 7770 und NGC 7771 (Abb. 1) werden als Galaxientrio Holm 820 bezeichnet. Sie haben alle etwa die gleiche Entfernung zur Erde und stehen in gravitativer Wechselwirkung miteinander.

In NGC 7771 findet gerade ein massiver Sternentstehungsschub statt, welcher durch die Zwerggalaxie NGC 7770 verursacht worden sein könnte. Diese bewegt sich auf NGC 7771 zu und scheint sich in einem Anfangsstadium einer Verschmelzung mit NGC 7771 zu befinden.

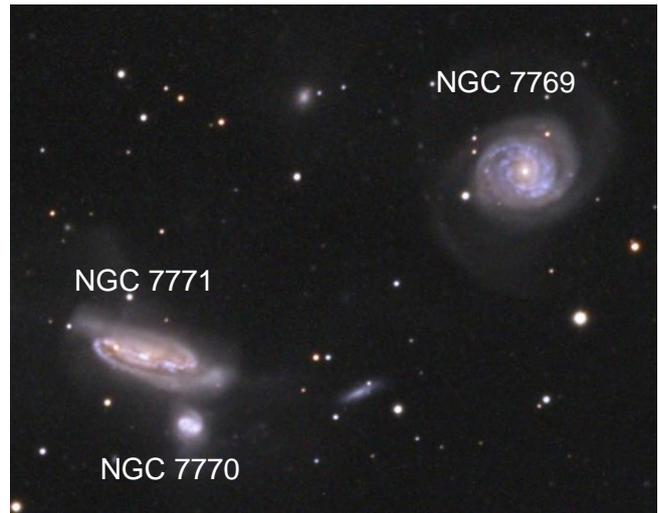


Abb. 1

	Deklination	Rotverschiebung	Scheinbare Helligkeit
NGC 7769	20°9'2"	0,01405	12,6
NGC 7770	20°5'47"	0,01450	13,7
NGC 7771	20°6'42"	0,01446	10,8

Tab. 1: Daten zum Galaxientrio Holm 820

IV (Das Galaxientrio Holm 820) M2: Bahnen von Himmelskörpern

Die grau gefärbte Ebene in Abb. 2 ist die Horizontebene eines Beobachters in Bayern, die Himmelsrichtungen sind beschriftet.

Dargestellt sind zudem Himmelskugel, Himmelsnordpol (HN) und verschiedene scheinbare Bahnen A, B und C von Himmelskörpern.

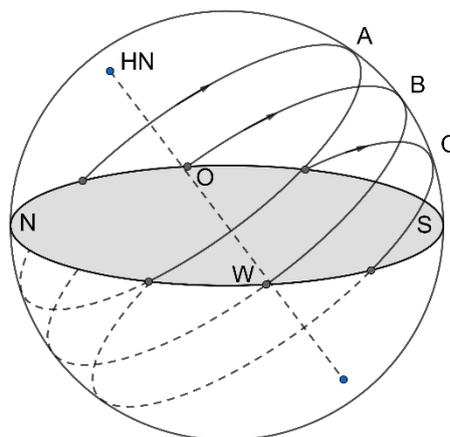


Abb. 2

IV (Das Galaxientrio Holm 820) M3: Gravitationswellen als Sensor für Dunkle Materie

In einem Artikel des Max-Planck-Instituts für Kernphysik (Heidelberg) ist zu lesen:

„Im Universum muss es gut fünfmal mehr unsichtbare als sichtbare Materie geben. Woraus diese Dunkle Materie besteht, ist immer noch unbekannt. [...]

Einer der Vorschläge ist, dass Dunkle Materie aus sehr leichten Teilchen besteht, die [...] ein Bose-Einstein-Kondensat [bilden]. Damit ließe sich – im Gegensatz zu anderen Vorschlägen – die Struktur des Universums auf allen Größenskalen erklären. Ein Bose-Einstein-Kondensat ist ein Materiezustand, in dem sich alle Teilchen in demselben [...] Zustand befinden [...]. Im Labor lassen sich Bose-Einstein-Kondensate mit bestimmten Atomen bei ultratiefen Temperaturen erzeugen.

Und wie kann man den genannten Vorschlag überprüfen? Mit Gravitationswellen! Das klingt überraschend, aber Rechnungen zeigen, dass ein solches Bose-Einstein-Kondensat die Geschwindigkeit von durchgehenden Gravitationswellen, die sich eigentlich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, verlangsamt. Ursache dafür sind die von den Gravitationswellen hervorgerufenen Verzerrungen der Raumzeit, welche das Bose-Einstein-Kondensat anregen. Das ist ähnlich wie bei Licht, das beim [Eintritt in] ein dichtes Medium wie Wasser gebremst und damit gebrochen wird.

Wie stark eine Gravitationswelle gebremst wird, wenn sie durch [...] Dunkle Materie [...] läuft, [die eine Galaxie durchdringt und umgibt,] hängt nur von der Masse und der Wechselwirkung der Teilchen im Bose-Einstein-Kondensat sowie der Frequenz der Gravitationswelle ab: je niedriger die Frequenz, desto stärker der Effekt [...].

Intensive Gravitationswellen entstehen beim engen Umkreisen und Verschmelzen [von] ultradichte[n] Objekte[n] wie Schwarzen Löchern oder Neutronensternen, aber auch bei Supernova-Explosionen. Gelingt es, solche Ereignisse, die von der Erde aus gesehen hinter einer Galaxie stattfinden, auch mit Neutrinos oder [Lichtwellen, die bei diesen Ereignissen zeitgleich mit den Gravitationswellen entstehen] zu beobachten, lässt sich anhand möglicher Zeitunterschiede, wann die Signale eintreffen, entscheiden, ob die Dunkle Materie aus einem Bose-Einstein-Kondensat sehr leichter Teilchen besteht oder nicht.“

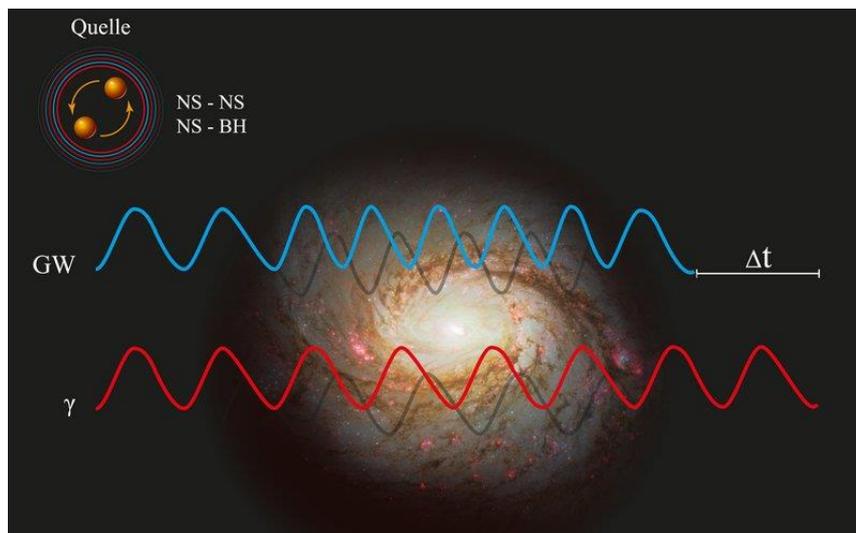


Abb. 3: Falls die Dunkle Materie einer Galaxie aus einem Bose-Einstein-Kondensat sehr leichter Teilchen besteht, werden durchgehende Gravitationswellen (GW), nicht aber Lichtwellen (γ) gebremst. Daraus resultiert ein messbarer Laufzeitunterschied Δt . Quelle der Gravitationswellen können umeinander kreisende und schließlich ineinander stürzende Schwarze Löcher (BH) bzw. Neutronensterne (NS) sein.

Quellen:

I (Induktionsschleifen im Straßenverkehr)

Abbildungen selbst erstellt

Tab. 1 in Anlehnung an: Joachim Herz Stiftung (Hrsg.): Induktionsschleifen im Straßenverkehr. Verfügbar unter <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetische-induktion/ausblick/induktionsschleifen-im-strassenverkehr> (Zugriff am 7.5.2023)

M5 mit Zitat von Stadlmayr Verkehrssysteme (Hrsg.): Induktionsschleifen für automatische Schranken. Verfügbar unter <https://www.stadlmayr.at/fahrradschleifen.html> (Zugriff am 7.5.2023)

II (Sonnenbrillen)

Abbildungen selbst erstellt

Tab. 1 in Anlehnung an: Carl Zeiss AG (Hrsg.): Sonnenbrillen – alles, was Sie über UV-Schutz, Tönungen, Verspiegelungen, polarisierte Gläser und mehr wissen müssen. Verfügbar unter <https://www.zeiss.de/vision-care/besser-sehen/sport-freizeit/sonnenbrille-ist-nicht-gleich-sonnenbrille.html#3> (Zugriff 24.6.2023)

III (Exoplaneten)

M1, inkl. Abb. 1: siehe Abitur Bayern 2021 (Nachtermin)

Aufgabe 7 mit Zitat aus: The Washington Post (Hrsg.): NASA's Griffin: 'Humans Will Colonize the Solar System'. 25.9.2005. Verfügbar unter <https://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2005/09/23/AR2005092301691.html> (Zugriff am 7.5.2023)

IV (Das Galaxientrio Holm 820)

M1 Abb. 1: Radek Chromik: NGC 7771 Galaxiengruppe. Verfügbar unter <https://www.deepskycorner.ch/obj/ngc7771.de.php> (Zugriff am 7.5.2023)

M1 Tab. 1: NASA/IPAC Extragalactic Database. Verfügbar unter <https://ned.ipac.caltech.edu/> (Zugriff am 7.5.2023)

M2, inkl. Abb. 2 in Anlehnung an: ISB (Hrsg.): Handreichung Astrophysik

M3, inkl. Abb. 3: Manfred Lindner, Sebastian Ohmer: Gravitationswellen als Sensor für Dunkle Materie. 05.12.2016. Verfügbar unter <https://www.mpi-hd.mpg.de/mpi/de/nachrichten/nachricht-gravitationswellen-als-sensor-fuer-dunkle-materie> (Zugriff am 7.5.2023)