

2021

Abitur

Original-Prüfungen
mit Lösungen

Gymnasium

**MEHR
ERFAHREN**

Physik

ActiveBook
Interaktives
Training



STARK

Inhalt

Vorwort

Stichwortverzeichnis

Hinweise und Tipps zum Abitur

Schriftliche Abiturprüfung	I
Mündliche Abiturprüfung (Kolloquium)	III
Bewährte Strategien für das Lösen physikalischer Aufgabenstellungen	XIII
Operatoren	XV
Zum Umgang mit diesem Buch	XVII

Abituraufgaben 2016

I.1: Modell der Zündanlage eines Autos; Untersuchung der Strahlung eines Presenters (Fernbedienung)	2016-1
I.2: Erzeugung eines fokussierten Protonenstrahls; Sendeanlage Wertachtal	2016-8
II.1: Leuchtendes Neongas in der Franck-Hertz-Röhre; Interferenzversuche mit dem Helium-Neon-Laser; Kernfusion	2016-15
II.2: Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA); Rutherford'scher Streuversuch; Radioaktive Leuchtfarben	2016-22
III.1: Die Venus; Extrasolare Planeten in der habitablen Zone des Sterns Kepler-62; Kosmische Hintergrundstrahlung	2016-29
III.2: Sterne mit extrem unterschiedlicher Leuchtkraft; Algol im Sternbild Perseus; Landung auf dem Kometen Tschurjumow-Gerassimenko	2016-38

Abituraufgaben 2017

I.1: Elektronen in el. und mag. Feldern; Reale el.-mag. Schwingung	2017-1
I.2: Plattenkondensator; Elektrische Zahnbürste	2017-9
II.1: Elektronen am Doppelspalt; Ein historisches Experiment zur Radioaktivität; Altersbestimmung von Zirkonen	2017-16
II.2: Myonische Bleiatome; Positronen-Emissions-Tomographie	2017-24
III.1: Mission „New Horizons“; Der Eulennebel	2017-31
III.2: Itokawa; Spektroskopische Untersuchungen eines Doppelsterns; Pistolenstern	2017-39

Abituraufgaben 2018

- | | | |
|--------|---|---------|
| I.1: | Elektronen im gebogenen Plattenkondensator; Waren sicherung | 2018-1 |
| I.2: | Magnetfeld einer langen Spule; CDs und Blu-ray-Disks | 2018-10 |
| II.1: | Spektrum von Antiwasserstoff; Rückbau von Kernreaktoren | 2018-18 |
| II.2: | Tomatenrot; Radioiodtherapie bei Schilddrüsenerkrankungen | 2018-25 |
| III.1: | Helvetica und sein Planet, der „Heiße Jupiter“ Dimidium;
Der Kugelsternhaufen NGC 6652 | 2018-33 |
| III.2: | Das Doppelsternsystem VV Cephei; Juno bei Jupiter | 2018-43 |

Abituraufgaben 2019

- | | | |
|--------|--|---------|
| I.1: | Coulomb-Gesetz; Weidezaun | 2019-1 |
| I.2: | Interferenz von Dipolstrahlung; Betatron | 2019-9 |
| II.1: | Brennstäbe; Bestimmung der Planck-Konstanten | 2019-15 |
| II.2: | Kernfusionsreaktor ITER; Metallhydrid-Speicher | 2019-23 |
| III.1: | Internationale Raumstation; Tau Ceti f – ein belebter Exoplanet? . . . | 2019-30 |
| III.2: | Kilonova im Sternbild Wasserschlange; Sombrero-Galaxie | 2019-40 |

Abituraufgaben 2020 (online)

- | | | |
|--------|--|---------|
| I.1: | Strahlentherapie mit Elektronen; Mikrowellen im Mobilfunk-
standard 5G | 2020-1 |
| I.2: | Elektrisches Feld bei einem Gewitter; Geschwindigkeitsmessung
beim Fahrrad | 2020-8 |
| II.1: | Experiment von Davisson und Germer; Das künstliche Element
mit der Ordnungszahl 117 | 2020-16 |
| II.2: | Rauchmelder retten Leben; Untersuchung von Quanten-Dashes . . . | 2020-24 |
| III.1: | Merkur; Hubble | 2020-31 |
| III.2: | Regulus; Die Sonne | 2020-42 |

Das Corona-Virus hat im vergangenen Schuljahr auch die Prüfungsabläufe durcheinandergebracht und manches verzögert. Daher sind die Aufgaben und Lösungen zur Prüfung 2020 in diesem Jahr nicht im Buch abgedruckt, sondern erscheinen in digitaler Form: Sie können das PDF zu den Original-Prüfungsaufgaben 2020 auf der Plattform MyStark herunterladen. Den Zugangscode finden Sie auf den Farbseiten vorne im Buch.

Jeweils zu Beginn des neuen Schuljahres erscheinen die neuen Ausgaben der Abiturprüfungsaufgaben mit Lösungen.

Autoren der Lösungen

TB I und II: StD Florian Borges TB III: StD Ferdinand Hermann-Rottmair

Vorwort

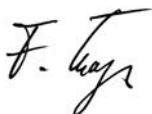
Liebe Schülerinnen und Schüler,

Sie haben Physik in der Oberstufe des achtjährigen Gymnasiums in Bayern belegt und möchten in diesem Fach Ihr Abitur ablegen. Das Übungsbuch, das Sie jetzt in Ihren Händen halten, gibt Ihnen die Möglichkeit, sich optimal auf diese Prüfung vorzubereiten. Zudem eignet sich der Band hervorragend dazu, sich gezielt auf die Schulaufgaben und Tests in Physik während der Qualifikationsphase vorzubereiten:

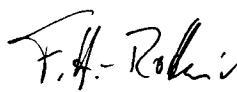
- Sie erhalten zunächst **Hinweise zum Abitur in Physik** mit Informationen zu Ablauf, Struktur und Inhalt der schriftlichen und mündlichen Abiturprüfung, dazu viele weitere Tipps, die Ihnen beim Lösen der Prüfungsaufgaben helfen werden.
- Der Hauptteil des Buches enthält die **Abiturprüfungen der Jahre 2016 bis 2019**.
- Die **Abiturprüfung 2020** steht auf MyStark als Download zur Verfügung.
- Auf sämtliche Aufgaben folgen separate **Tipps zum Lösungsansatz**, die Ihnen das selbstständige Lösen der Aufgaben erleichtern, sowie **vollständige, kommentierte Lösungsvorschläge**.

Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2021 vom Kultusministerium bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet ebenfalls auf MyStark.

Die Autoren wünschen Ihnen viel Erfolg in der Abiturprüfung!



Florian Borges



Ferdinand Hermann-Rottmair

PS: Kennen Sie das STARK AbiturSkript Physik (Best.-Nr. 9530S1)? Es führt Sie systematisch durch das prüfungsrelevante Basiswissen, illustriert dieses mit vielen Beispielen und macht Sie mit typischen Aufgabenstellungen und Lösungswegen vertraut – die perfekte Ergänzung zum vorliegenden Prüfungsband!



Ihr Coach zum Erfolg: Mit dem **interaktiven Training** erhalten Sie **online auf MyStark** Aufgaben und Lernvideos zu allen relevanten Themengebieten des Physikabiturs. Am besten gleich ausprobieren! Zusätzlich steht der **Abiturjahrgang 2020** als PDF zum Download zur Verfügung.

Ausführliche Infos inkl. Zugangscode finden Sie auf den Farbseiten vorne in diesem Buch.

Hinweise und Tipps zum Abitur

Schriftliche Abiturprüfung

Struktur

Im Physikabitur werden vom Kultusministerium zentral sechs Aufgaben gestellt, von denen Ihr Kursleiter Ihrem Kurs **zwei aus verschiedenen Themenbereichen** vorlegt. Dabei muss in jedem Fall einer der beiden Aufgabenvorschläge zum Thema „Elektromagnetische Felder, Relativitätstheorie“ der 11. Jahrgangsstufe ausgewählt werden, die andere Aufgabe ist entweder eine der beiden Alternativen aus dem Bereich „Aufbau der Materie“ (12. Jahrgangsstufe des Standardphysikkurses) oder, falls Sie für die 12. Klasse die Lehrplanalternative „Astrophysik“ gewählt haben, eine der beiden Astrophysikaufgaben. Sie selber haben also keine Auswahlmöglichkeit und müssen beide Ihnen vorgelegten Aufgaben bearbeiten.

Die **Prüfungsdauer** beträgt 180 Minuten.

Zugelassene **Hilfsmittel** sind ein elektronischer Taschenrechner (nicht programmierbar), die Mathematik-Merkhilfe und eine zugelassene naturwissenschaftliche Formelsammlung (in denen die Merkhilfe als Anhang integriert ist).

Zugelassene Formelsammlungen:

- Formelsammlung Naturwissenschaften, Gymnasium Bayern, Eigenverlag Johannes Almer, Prien, zweite Fassung, ISBN 978-3-00-040017-9
- Formelsammlung Naturwissenschaften m. Merkhilfe Mathematik, zweite Fassung, Gym. Bayern, Cornelsen Verlag, Berlin/München, ISBN 978-3-464-54224-8
- Naturwissenschaftliche Formelsammlung für die bayerischen Gymnasien, Duden Paetec Verlag, Berlin, zweite Fassung, ISBN 978-3-8355-3209-0
- Naturwissenschaftliche Formelsammlung für die bayerischen Gymnasien, C. C. Buchners Verlag, Bamberg, zweite Fassung, ISBN 978-3-7661-6700-2

Prüfungsrelevante Themen und Inhalte

Der Prüfungsstoff gliedert sich in drei Themenbereiche, die sowohl die theoretischen Grundlagen als auch die Anwendungen in Natur und Technik abdecken (siehe die nachfolgende Auflistung der prüfungsrelevanten Themen).

Bitte beachten Sie: Aufgrund der besonderen, coronabedingten Lernsituation im Schuljahr 2019/20 werden bestimmte Lehrplaninhalte in der schriftlichen Abiturprüfung 2021 **nicht** geprüft.

Themenbereich I: Elektromagnetische Felder, Relativitätstheorie

- statisches elektrisches und magnetisches Feld
- Bewegung geladener Teilchen in Feldern
- Elemente der speziellen Relativitätstheorie
- elektromagnetische Induktion

kein Prüfungsstoff: Selbstinduktion – Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule

- elektromagnetische Wellen
kein Prüfungsstoff: elektromagnetische Schwingungen
- Anwendungen, z. B. Mobiltelefon oder Mikrowellenherd

Themenbereich II: Aufbau der Materie

- Eigenschaften von Quantenobjekten
- Atom- und Kernmodelle, endlich hoher Potentialtopf, Tunneleffekt, Coulomb-potenzial, Orbitale des Wasserstoffatoms (Behandlung mithilfe stehender Wellen ohne Thematisierung der Schrödinger-Gleichung), Standardmodell der Elementarteilchenphysik, Röntgenstrahlung
kein Prüfungsstoff: Schrödinger-Gleichung, Ausblick auf Mehrelektronensysteme
- Radioaktivität und Kernreaktionen
- Anwendungen in Medizin, Wissenschaft und Technik, z. B. Materialforschung oder Energieversorgung

Themenbereich III: Astrophysik

- Astronomische Objekte und ihre täglichen und jährlichen Bewegungen
kein Prüfungsstoff: Orientierung am Himmel
- Sonnensystem und Physik der Sonne
kein Prüfungsstoff: Aufbau der Sonne und Energietransport
- Sterne (Entfernungsbestimmung, Kenngrößen, Klassifikation, Entwicklung)

Der Kursleiter wird die beiden Aufgaben so auswählen, dass sein Kurs das bestmögliche Ergebnis erzielen kann. Dazu ist es sinnvoll, den im Kurs behandelten Stoff möglichst wenig durch das „Ausschließen“ bestimmter Inhalte einzuschränken. Andererseits ist es für den Kursleiter hilfreich, die Vorlieben seiner Schüler zu kennen und zu berücksichtigen. Setzen Sie daher durchaus Schwerpunkte, geben Sie Ihrem Kursleiter aussagekräftige Hinweise zu Ihren Wunschthemen, aber lassen Sie möglichst keinen Themenbereich völlig unvorbereitet, denn gelegentlich sind die Aufgaben in eigentlich unerwünschten Gebieten sehr angenehm zu bearbeiten und die Lehrkraft dadurch im Zwiespalt.

Zur Bewertung der schriftlichen Prüfung

In jeder der beiden Aufgaben einer Prüfungsaufgabe können maximal 60 Bewertungseinheiten (BE), insgesamt also **maximal 120 BE** erreicht werden. Die Bewertung der Aufgaben erfolgt nach dem in der Tabelle auf der nächsten Seite dargestellten Schlüssel.

In die Bewertung gehen zunächst einmal die **fachliche Richtigkeit** und **Vollständigkeit** ein. Ein weiteres wichtiges Bewertungskriterium stellt die **Darstellungsqualität** dar, in welche der richtige Einsatz der Fachsprache und die Strukturiertheit der Ausführungen einfließen. Sollten Sie in Ihrer Lösung unkonventionelle aber richtige Wege gehen, so werden diese natürlich entsprechend gewürdigt.

Selbstverständlich geht auch die **Sprachrichtigkeit** (Rechtschreibung, Grammatik, Zeichensetzung) bei Erläuterungen oder Beschreibungen in die Bewertung ein. Hierbei führen Verstöße gegen die sprachliche Korrektheit oder die gute äußere Form möglicherweise zu Punktabzügen.

Notenpunkte	Notenstufen	Bewertungseinheiten	Intervalle in %
15	+1	120–115	15
14	1	114–109	
13	1–	108–103	
12	+2	102–97	15
11	2	96–91	
10	2–	90–85	
9	+3	84–79	15
8	3	78–73	
7	3–	72–67	
6	+4	66–61	15
5	4	60–55	
4	4–	54–49	
3	+5	48–41	20
2	5	40–33	
1	5–	32–25	
0	6	24 – 0	20

Mündliche Abiturprüfung (Kolloquium)

Struktur

Die dreißigminütige mündliche Abiturprüfung besteht aus zwei Prüfungsteilen von etwa 15 Minuten Dauer:

- einem Kurzreferat, das Sie zu dem Ihnen gestellten Thema (ca. 10 Minuten) halten, anschließend findet ein Gespräch darüber statt (ca. 5 Minuten);
- einem Gespräch (ca. 15 Minuten) zu Problemstellungen aus den beiden weiteren Ausbildungsabschnitten, die Sie gewählt haben.

Zur Wahl des Themenbereiches schreibt die Schulordnung vor:

- Zu allen vier Ausbildungsabschnitten werden vom Prüfungsausschuss Themenbereiche festgelegt (mehr als zwei pro Halbjahr), über deren Inhalte Sie geprüft werden. Spätestens vier Wochen vor dem Prüfungstermin müssen Sie sich für einen der angebotenen Themenbereiche entscheiden.
- Das Thema wird Ihnen 30 Minuten vor der Prüfung bekannt gegeben.

Prüfer im Kolloquium ist der Kursleiter der 12. Jahrgangsstufe. Weiter ist noch ein Physiklehrer an der Prüfung beteiligt, der ebenfalls durch Fragen zum Prüfungsstoff helfend in das Gespräch eingreifen kann. (Dies wird vermutlich dann geschehen, wenn der Prüfling in der 11. Jahrgangsstufe nicht im Kurs des Prüfers war, weil aus zwei Parallelkursen nur ein weiterführender Kurs entstanden ist.)

Zugelassene Hilfsmittel bei der Vorbereitung sind:

- eine zugelassene physikalische Formelsammlung
- ein zugelassener Taschenrechner (kein CAS)

Aus dieser Aufstellung ergibt sich, dass Sie keinerlei Skripten oder Aufzeichnungen in den Vorbereitungsräumen mitnehmen können.

Aufgabenvorschlag 1

1. Elektronen im gebogenen Plattenkondensator

Aus einer Elektronenquelle (EQ) treten Elektronen mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit in einen Beschleunigungskondensator ein, an dem zunächst die Spannung $U_B = 1,0 \text{ kV}$ anliegt.

- a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v der Elektronen nach Durchlaufen des Beschleunigungskondensators und begründen Sie, dass hier nichtrelativistisch gerechnet werden kann. [zur Kontrolle: $v = 1,9 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$]

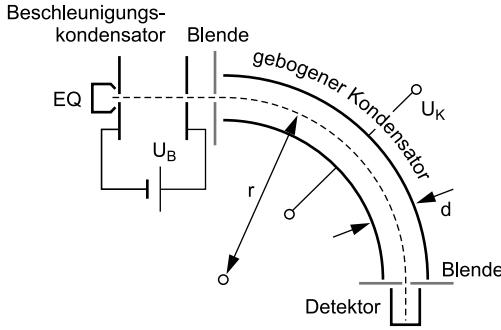


Abb. 1

(5 BE)

Anschließend gelangen die Elektronen in einen gebogenen Plattenkondensator mit Plattenabstand $d = 1,4 \text{ cm}$. Bei Anlegen einer Spannung U_K durchlaufen sie einen Viertelkreis mit Radius $r = 2,1 \text{ m}$.

- b) Da der Plattenabstand d sehr viel kleiner ist als der Bahnradius r , ist der Betrag der elektrischen Feldstärke E im Kondensator näherungsweise durch die Beziehung $E = \frac{U_K}{d}$ gegeben. Begründen Sie diesen Sachverhalt.
- c) Erläutern Sie die Gründe, die dazu führen, dass sich die Elektronen in dem gebogenen Kondensator auf einer Kreisbahn mit konstanter Bahngeschwindigkeit bewegen. Geben Sie auch die Polung des Kondensators an.
- d) Zeigen Sie, dass für die Kondensatorspannung

$$U_K = \frac{m \cdot d \cdot v^2}{e \cdot r}$$

gilt, und berechnen Sie ihren Wert (Elektronenmasse m , Elementarladung e).

(5 BE)

Bei einer Erhöhung der Beschleunigungsspannung U_B muss auch die Kondensatorspannung U_K erhöht werden, damit die Elektronen den Detektor erreichen.

- e) Ein Experimentator stellt fest, dass bei kleinen Veränderungen von $U_B = 1,0 \text{ kV}$ das Verhältnis $\frac{U_K}{U_B}$ konstant ist. Bestimmen Sie, wie dieses Verhältnis von den geometrischen Größen r und d abhängt. (5 BE)
- f) Bei sehr großen Werten von U_B ändert sich das Verhältnis aus Teil-aufgabe e bei Variation von U_B . Nennen Sie die Ursache für diese Änderung und geben Sie die jetzt erforderlichen Ansätze für die Berechnung von v und U_K an. (4 BE)

2. Warensicherung

Bestimmte Warensicherungsetiketten enthalten einen elektromagnetischen Schwingkreis mit der Eigenfrequenz 8,2 MHz. Der Schwingkreiskondensator besteht aus zwei Platten im Abstand 15 μm . Die Plattenfläche (in der Abbildung grau dargestellt) beträgt ca. 13 % der Gesamtfläche des Waren-

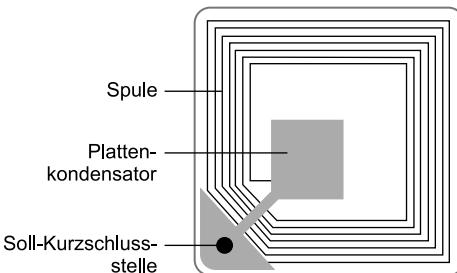


Abb. 2

sicherungsetiketts. Der Raum zwischen den Platten ist mit Polypropylen gefüllt, wodurch sich die Kapazität des Kondensators um den Faktor $\epsilon_r = 2,3$ gegenüber der eines luftgefüllten Kondensators erhöht. Aufgrund einer eingebauten Soll-Kurzschlussstelle wird der Kondensator zerstört, wenn die Plattenspannung einen Wert von 4,5 V übersteigt.

- a) Bestimmen Sie mithilfe der Abbildung 2 (Originalgröße) die Kapazität des Kondensators im Schwingkreis und daraus die Induktivität der Spule. [zur Kontrolle: $C = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ F}$] (8 BE)
- b) Berechnen Sie die maximale Energie, die der Schwingkreis aufnehmen kann, ohne zerstört zu werden. (3 BE)

Warenhäuser besitzen am Ausgang Schleusen, die aus einer Sendespule S und einer Empfangsspule E in einem Abstand von ca. einem Meter bestehen. An die Sendespule wird eine sinusförmige Wechselspannung der Frequenz f angelegt.

- c) Erklären Sie, dass ein an E angeschlossenes Messgerät eine Wechselspannung anzeigt. (4 BE)

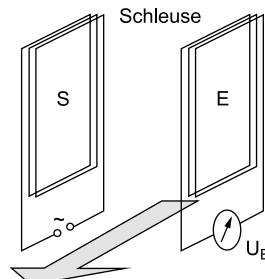


Abb. 3

(4 BE)

Tipps und Hinweise zum Aufgabenvorschlag 1

Tipps zu Teilaufgabe 1

- ↗ **a:** Im Beschleunigungskondensator erhalten die Elektronen kinetische Energie aus dem elektrischen Feld.
- ↗ **b:** Betrachten Sie den Verlauf der elektrischen Feldlinien zwischen den Platten.
- ↗ **c:** Machen Sie sich zuerst die Polung klar (wohin werden die Elektronen abgelenkt?). Begründen Sie, warum die elektrische Feldkraft hier als Zentripetalkraft wirkt.
- ↗ **d:** Wählen Sie den üblichen Ansatz für eine Zentripetalkraft.
- ↗ **e:** Verwenden Sie die Gleichungen aus 1a und 1d zur Bestimmung des Spannungsverhältnisses.
- ↗ **f:** Für hohe Beschleunigungsspannungen muss man relativistisch rechnen. Erläutern Sie die Konsequenzen: Welche Größen ändern sich dadurch? Wie wirkt sich das auf das Spannungsverhältnis aus?
Sie müssen die Rechenansätze nur nennen, aber nicht ausführen.

Tipps zu Teilaufgabe 2

- ↗ **a:** Sie benötigen die Grundformel zur Berechnung der Kapazität im Plattenkondensator. Beachten Sie, dass er mit einem Dielektrikum gefüllt ist.
Verwenden Sie zur Berechnung der Induktivität die Thomsonformel.
- ↗ **b:** Wie hängen Energie, Kapazität und Spannung im Kondensator zusammen?
- ↗ **c:** Denken Sie an das Funktionsprinzip des Transformators.
- ↗ **d:** Die Energieübertragung ist im Resonanzfall groß. Wann tritt dieser jeweils ein?
- ↗ **e:** Wenden Sie das Induktionsgesetz an. Die Ableitung der Flussdichte hat einen Höchstwert, mit dem die Höchstspannung ermittelt werden kann.

Lösungen zum Aufgabenvorschlag 1

1. a) Die elektrische Energie aus dem Beschleunigungskondensator erhält das Elektron beim Durchlauf als kinetische Energie. Mit nichtrelativistischem Ansatz erhält man aus der Energiebilanz für die **Geschwindigkeit des Elektrons** nach Verlassen des Kondensators:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{el}}$$

$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 = e \cdot U_B \quad (*)$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2e \cdot U_B}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \text{ V}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = \underline{\underline{1,9 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \approx 0,06 \text{ c}$$

Wegen $v < 0,1 \text{ c}$ müssen gemäß **Faustregel** relativistische Effekte nicht berücksichtigt werden.

- b) In dem kreisförmig gebogenen Plattenkondensator verlaufen die Feldlinien des durch die Spannung U_K erzeugten elektrischen Felds radial. Insbesondere sind sie nicht parallel zu einander, sodass das Feld innen stärker ist als außen (der Abstand der Feldlinien nimmt nach außen zu). Unterscheiden sich Innen- und Außenradius kaum vom Bahnradius (= „mittlerer Radius“), dann ist das Auseinanderlaufen der Feldlinien innerhalb des Kondensators vernachlässigbar, man kann sie daher dort als parallel und das Feld damit als näherungsweise **homogen** betrachten. Für dieses homogene Feld gilt mit dem konstanten Plattenabstand d der Zusammenhang

$$E = \frac{U_K}{d}$$

- c) Damit die negativ geladenen Elektronen innerhalb des kreisförmig gebogenen Plattenkondensators laufen, muss die **innere Kondensatorplatte positiv**, die **äußere negativ geladen** sein.
Die elektrische Feldkraft wirkt an jedem Ort, den das Elektron innerhalb des Kondensators einnimmt, senkrecht zu den Kondensatorplatten und ist radial zum Kreismittelpunkt gerichtet. Folglich erfährt das Elektron im homogenen Feld durch die Feldkraft eine **konstante Zentripetalbeschleunigung** radial nach innen. Da das Elektron senkrecht zu den Feldlinien in den Kondensator eintritt und außer der Feldkraft **keine weiteren Kräfte** wirken, ist die **Bahngeschwindigkeit** des Elektrons **konstant**; die rein radiale Ablenkraft besitzt eben keinen Anteil in Bewegungsrichtung, der beschleunigen oder bremsen würde. Die Elektronen fliegen entlang einer Äquipotenziallinie.

- d) Mit der Formel $E = \frac{U_K}{d}$ aus Teilaufgabe 1 b und der Tatsache, dass es sich um eine Zentripetalkraft handelt, ergibt sich die **Kondensatorspannung** aus einem Kraftansatz:

$$\begin{aligned} F_{\text{el}} &= F_Z \\ e \cdot E &= \frac{m \cdot v^2}{r} \\ e \cdot \frac{U_K}{d} &= \frac{m \cdot v^2}{r} \Rightarrow U_K = \frac{d \cdot m \cdot v^2}{e \cdot r} \quad (***) \end{aligned}$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte erhält man:

$$U_K = \frac{1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot \left(1,9 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 2,1 \text{ m}} = \underline{\underline{13 \text{ V}}}$$

- e) Mit den bereits bekannten Beziehungen (*) und (**) aus den Teilaufgaben 1 a und 1 d ergibt sich durch Umformen der Quotient:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2} m \cdot v^2 &= e \cdot U_B \Rightarrow U_B = \frac{m \cdot v^2}{2e} \\ U_K &= \frac{d \cdot m \cdot v^2}{e \cdot r} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{U_K}{U_B} = \frac{\frac{d \cdot m \cdot v^2}{e \cdot r}}{\frac{m \cdot v^2}{2e}} = \frac{\frac{d}{r}}{\frac{1}{2}} = \underline{\underline{\frac{2d}{r}}}$$

Damit ist das Verhältnis der beiden Spannungen tatsächlich konstant.

- f) Für große Werte der Beschleunigungsspannung U_B ist **relativistische Rechnung** notwendig: Die Masse wird geschwindigkeitsabhängig,

$$m = m(v) = m_0 \cdot \gamma \quad \text{mit } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

und statt mit der klassischen Beziehung $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_0 \cdot v^2$ müsste die kinetische Energie und damit auch die Geschwindigkeit v mithilfe der Beziehung

$$E_{\text{kin}} = E - E_0 = (m - m_0) \cdot c^2 = (\gamma - 1) \cdot m_0 \cdot c^2$$

bestimmt werden. Daher ändern sich die Bestimmungssterme für beide Spannungen (vgl. Teilaufgabe 1 e), ihr Verhältnis ist nicht mehr notwendig konstant.

Für Interessierte: Die Aufgabe ist damit gelöst, ergänzend soll aber das Spannungsverhältnis für diesen Fall betrachtet werden. Mit den Beziehungen aus Teilaufgabe 1 e gilt:

$$\left. \begin{aligned} U_B &= \frac{1}{e} \cdot (\gamma - 1) \cdot m_0 \cdot c^2 \quad (*)' \\ U_K &= \frac{d \cdot m_0 \cdot \gamma \cdot v^2}{e \cdot r} \quad (**') \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{U_K}{U_B} = \frac{\frac{d \cdot m_0 \cdot \gamma \cdot v^2}{e \cdot r}}{\frac{m_0 \cdot c^2 \cdot (\gamma - 1)}{e}} = \frac{d \cdot \gamma \cdot v^2}{r \cdot c^2 \cdot (\gamma - 1)}$$

Dieser Term lässt sich mithilfe der Definition von γ vereinfachen. Mit

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow \gamma^2 - \gamma^2 \cdot \frac{v^2}{c^2} = 1 \Rightarrow \gamma^2 \cdot \frac{v^2}{c^2} = \gamma^2 - 1$$

folgt:

$$\frac{U_K}{U_B} = \frac{d}{r} \cdot \frac{\gamma \cdot v^2}{c^2 \cdot (\gamma - 1)} = \frac{d}{r} \cdot \frac{\gamma^2 - 1}{\gamma - 1} = \frac{d}{r} \cdot \frac{(\gamma + 1) \cdot (\gamma - 1)}{\gamma - 1} = \frac{d}{r} \cdot (\gamma + 1)$$

Das Verhältnis ist für große Beschleunigungsspannungen nicht mehr allein von der Geometrie der Anordnung abhängig, sondern steigt mit zunehmender Geschwindigkeit der Elektronen an. U_K muss also in diesem Fall bei Vergrößerung von U_B stärker angehoben werden, als man bei klassischer Rechnung erwarten würde.

2. a) Die **Kapazität** eines Plattenkondensators berechnet sich über die Formel

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

Der Plattenabstand $d = 15 \mu\text{m}$ und die Dielektrizitätszahl $\epsilon_r = 2,3$ für Polypropylen sind unmittelbar angegeben. Die Seitenlänge des Chips ist etwa $3,5 \text{ cm}$, das ergibt für die Plattenfläche des Kondensators bei einem Anteil von rund 13% an der Gesamtfläche

$$A = 0,13 \cdot (3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Eingesetzt erhält man:

$$C = 2,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{15 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = \underline{\underline{2,2 \cdot 10^{-10} \text{ F}}} = 0,22 \text{ nF}$$

Die **Induktivität** der Spule lässt sich mithilfe der angegebenen Eigenfrequenz von $8,2 \text{ MHz}$ und der Thomsonformel ermitteln, es ist nämlich

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

und damit

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot C} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 8,2 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ F}} = \underline{\underline{1,7 \cdot 10^{-6} \text{ H}}} = 1,7 \text{ } \mu\text{H.}$$

- b) Für die Energie im Kondensator gilt die Grundformel

$$E = \frac{1}{2} C \cdot U^2.$$

Die **maximal mögliche Energie** im Schwingkreis ist dann durch die angegebene Maximalspannung bestimmt:

$$E_{\max} = \frac{1}{2} C \cdot U_{\max}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot (4,5 \text{ V})^2 = \underline{\underline{2,2 \cdot 10^{-9} \text{ J}}} = 2,2 \text{ nJ}$$



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH
ist urheberrechtlich international geschützt.
Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung
des Rechteinhabers in irgendeiner Form
verwertet werden.

STARK