

Didaktische Lernwerkstatt: Aufgabenstellung der 2. schriftliche Arbeit aus Physik

Simon Unterholzner

27. Oktober 2016

Tagung Trient

Das erste Problem

Das zweite Problem

Das dritte Problem, Ein kleines Naja!

Das vierte Problem

Fragen 1-6

Fragen 7-12

*Beispiel Leistungskurs, Stark-Verlags-Lautenschläger

Bezugsrahmen

Bezugsrahmen: Induzione elettromagnetica

Bezugsrahmen: Equazioni di Maxwell e Onde Elettromagnetiche

Bezugsrahmen: Relatività

Bezugsrahmen: Fisica Quantistica

Der Beginn: Brocca/Non-Brocca

Brancaccio (**Miur**): Die zukünftige 2. schriftliche Prüfung wird sich von den ehemalige Brocca-Aufgaben unterscheiden.

1. **2. Schriftliche neu** → problemi
2. **Brocca:** → trattazioni
3. **Eindruck:** Man sollte sich auf keinen Fall mit den Brocca-Aufgaben auseinandersetzen.

weitere Eindrücke

1. Sehr sicher externe Prüfer (molto rigoroso: **sara esterno**)
2. Brancaccio ist der Meinung, dass Physik als 2. Schriftliche zweimal in Folge kommen sollte.
3. *"Questo proplema c'e lo volevamo conservare per l'esame"*
(Problem 2, siehe später)
4. Um 16.30h: Brocca ist vielleicht doch nicht so schlecht.

Was haben wir in Trient bekommen

- ▶ 4 Probleme
- ▶ 12 Fragen
- ▶ Info's zu *griglia di valutazione*: quattro criteri con quattro livelli, BlaBla
"colona delle evidenze ist " vorhanden, (evidenze: wo man das Erlangen der Kompetenz erkennt)

Webressourcen: piattaforma delle simulazioni

<http://ls-osa.uniroma3.it>

Folgende Präsentation ist hoch geheim ;-)

Le prove d'esame e le competenze richieste

Nei problemi (art. 3 DM 10/2015) quali tipi di competenze sono richieste?
Potremmo suddividerle grosso modo in tre aree:

- Competenze finali (risultati di apprendimento) di indirizzo: metodologiche, logico-argomentative
- Competenze Linguistiche (imprescindibili perché necessarie alla decodifica delle informazioni nella prospettiva della successiva modellizzazione.)
- Competenze Disciplinari
 - Ricordiamo una definizione di competenza matematica e competenza di base in scienze e tecnologia inserita dalla Commissione Europea tra le competenze di cittadinanza: **La competenza matematica è l'abilità di sviluppare e applicare il pensiero per risolvere una serie di problemi in situazioni quotidiane. [...] la competenza matematica comporta, in misura variabile, la capacità e la disponibilità a usare modelli matematici di pensiero (pensiero logico e spaziale) e di presentazione (formule, modelli, costrutti, grafici, carte). La competenza in campo scientifico riguarda la capacità di interpretare il mondo che ci circonda essendo in grado di individuare le problematiche e traendo conclusioni basandosi su fatti fondati** (Raccomandazione 2006/962/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 18/12/2006, relativo a competenza chiave per l'apprendimento permanente)

Risultati di apprendimento indirizzo LS

Gli studenti dovranno:

- ▶ **comprendere** le strutture portanti dei procedimenti argomentativi e dimostrativi della matematica, anche attraverso la padronanza del linguaggio logico-formale; usarle in particolare nell'individuare e risolvere problemi di varia natura;
- ▶ **saper utilizzare** strumenti di calcolo e di rappresentazione per la **modellizzazione** e la **risoluzione di problemi**;
- ▶ **aver raggiunto una conoscenza** sicura dei contenuti fondamentali delle scienze fisiche e naturali (chimica, biologia, scienze della terra, astronomia) e, anche attraverso l'uso sistematico del laboratorio, una padronanza del linguaggio specifici e dei metodi di indagine propri delle scienze sperimentali;
- ▶
- ▶ **saper cogliere** la potenzialità delle applicazioni dei risultati scientifici nella vita quotidiana.

Risultati di apprendimento indirizzato LSOSA

Gli studenti, a conclusione del percorso di studio, oltre a raggiungere i risultati di apprendimento comuni, dovranno:

- **aver appreso** concetti, principi e teorie scientifiche anche attraverso esemplificazioni operative di laboratorio;

e saranno in grado di:

- **elaborare** l'analisi critica dei fenomeni considerati, la riflessione metodologica sulle procedure sperimentali e la ricerca di strategie atte a favorire la scoperta scientifica;
- **analizzare** le strutture logiche coinvolte ed i modelli utilizzati nella ricerca scientifica;
- **individuare** le caratteristiche e l'apporto dei vari linguaggi (storico-naturali, simbolici, matematici, logici, formali, artificiali);
- **comprendere** il ruolo della tecnologia come mediazione fra scienza e vita quotidiana;
- **utilizzare** gli strumenti informatici in relazione all'analisi dei dati e alla modellazione di specifici problemi scientifici e individuare la funzione dell'informatica nello sviluppo scientifico;
- **applicare** i metodi delle scienze in diversi ambiti.

Bewertung Kompetenzen

Competenze Disciplinari (Indicazioni Nazionali) – Fisica

Conoscenze

Abilità

Competenze

«In particolare, lo studente avrà acquisito le seguenti competenze: **osservare** e **identificare** fenomeni; **formulare** ipotesi esplicative **utilizzando** modelli, analogie e leggi; **formalizzare** un problema di fisica e **applicare** gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la sua risoluzione; fare esperienza e **rendere ragione** del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, **sceglie delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati** e dell'affidabilità di un processo di misura, **costruzione e/o validazione** di modelli...»

«Lo studente **completerà** lo studio dell'elettromagnetismo con l'induzione magnetica e le sue applicazioni, per giungere, privilegiando gli aspetti concettuali, alla sintesi costituita dalle equazioni di Maxwell. Lo studente **affronterà** anche lo studio delle onde elettromagnetiche, della loro produzione e propagazione, dei loro effetti e delle loro **applicazioni** nelle varie bande di frequenza...»

D.G. per gli Ordinamenti Scolastici e la Valutazione del Sistema Nazionale di Istruzione

Bezugsrahmen: was er nicht ist!

Quadro di riferimento (nota prot. 13577 del 15/12/2015)

- Strumento orientativo alla seconda prova per docenti e alunni
- NON sostituisce, NON integra, NON modifica le Indicazioni Nazionali
- ✓ ■ NON è una programmazione didattica
- Elaborato da un Tavolo Tecnico MIUR – Scuole – Università
- Per ognuna delle aree tematiche di cui alle Indicazioni Nazionali per il quinto anno, individua: Prerequisiti, Contenuti irrinunciabili, Abilità relative ai contenuti, Competenze settoriali

Competenze generali

Vengono elencate le competenze che ritroviamo nelle rubriche

■ COMPETENZE GENERALI DELLA DISCIPLINA "FISICA"

- Essere in grado di esaminare una situazione fisica formulando ipotesi esplicative attraverso modelli o analogie o leggi
- Essere in grado di formalizzare matematicamente un problema fisico e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la loro risoluzione
- Essere in grado di interpretare e/o elaborare dati, anche di natura sperimentale, verificandone la pertinenza al modello scelto
- Essere in grado di descrivere il processo adottato per la soluzione di un problema e di comunicare i risultati ottenuti valutandone la coerenza con la situazione problematica proposta.

Bewertung der Kompetenzen

La **valutazione** delle competenze...

- Una valutazione richiede il confronto con un profilo per determinare il conseguimento o meno dei risultati desiderati. Il profilo di competenza rappresenta la descrizione degli obiettivi della competenza da conseguire
- Data la natura della competenza il profilo descrive, in particolare, l'applicazione di abilità e atteggiamenti dimostrati in contesti reali
- La competenza è un risultato «emergente» di un'attività complessa: sapere, saper fare, perché fare in un certo modo, come fare meglio...osservata in contesti reali o simulati
- Nella valutazione di una prova scritta (esame di Stato) si possono al più trovare degli **indicatori** della competenza, riferiti a conoscenze, abilità, atteggiamenti

Bewertungsraster Probleme

Die Kommission entscheidet über die Verwendung (wie bisher). Ab 2019 verpflichtend???

Für das Problem (z.B. 75 Punkte):

- ▶ download: commissione web (president)
- ▶ download: sidi (nur sekretariat)
- ▶ evidenze vorhanden: "Wo man das Erreichen der Kompetenz sieht"

La valutazione delle competenze... Necessità di una tipologia di valutazione che privilegiasse l'attenzione ai processi e alle competenze rispetto alle sole conoscenze (rubrica)

Indicatori	Livello	Descrittori	Evidenze	Punti	Punteggio
Esaminare la situazione fisica proposta formulando le ipotesi esplicative attraverso modelli o analogie o leggi	L1	Analizza in modo superficiale o frammentario il contesto teorico o sperimentale proposto; dai dati numerici o dalle informazioni non riesce a dedurre il modello o le analogie o la legge che esplicita la situazione problematica; individua nessuna o solo alcune delle grandezze fisiche necessarie.		0-4	
	L2	Analizza in modo parziale il contesto teorico o sperimentale proposto; dai dati numerici o dalle informazioni deduce in parte o in modo non completamente corretto, il modello o le analogie o la legge che esplicita la situazione problematica; individua solo alcune delle grandezze fisiche necessarie.		5-9	
	L3	Analizza in modo completo anche se non critico il contesto teorico o sperimentale proposto; dai dati numerici o dalle informazioni deduce il modello o le analogie o la legge che esplicita quasi correttamente la situazione problematica; individua tutte le grandezze fisiche necessarie.		10-14	
			Analizza in modo completo e critico il contesto teorico o sperimentale proposto; dai dati numerici o dalle informazioni deduce e commenta correttamente il modello o le analogie o la legge che esplicita la situazione problematica; individua tutte le grandezze fisiche necessarie.		

Bewertungsraster Fragen

Für die Fragen (z.B. 75 Punkte):

- ▶ download: vermutlich gleich

applicazione di regole, analogie, leggi... comprensione e valutazione

Indicatori	Quesiti (Valore massimo attribuibile 75/150 = 25x3)						Punteggio sez. B
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	
COMPRESIONE e CONOSCENZA <i>Comprende la richiesta. Conosce i contenuti.</i>	(0-6)	(0-6)	(0-4)	(0-5)	(0-7)	(0-5)	
ABILITA' LOGICHE e RISOLUTIVE <i>È in grado di separare gli elementi dell'esercizio evidenziandone i rapporti. Usa un linguaggio appropriato. Sceglie strategie risolutive adeguate.</i>	(0-4)	(0-6)	(0-4)	(0-4)	(0-5)	(0-3)	
CORRETTEZZA dello SVOLGIMENTO <i>Esegue calcoli corretti. Applica Tecniche e Procedure, anche grafiche, corrette.</i>	(0-3)	(0-7)	(0-4)	(0-5)	(0-6)	(0-5)	
ARGOMENTAZIONE <i>Giustifica e Commenta le scelte effettuate.</i>	(0-6)	(0-3)	(0-8)	(0-6)	(0-4)	(0-6)	
VALUTAZIONE <i>Formula autonomamente giudizi critici di valore e di metodo.</i>	(0-6)	(0-3)	(0-5)	(0-5)	(0-3)	(0-6)	
Punteggio totale quesito							

Struktur des Problems

in Abhängigkeit "nach was bewertet wird", und umgekehrt.

Richiede → evidenze → prestazioni → competenze

Struttura del problema rispetto a cosa si valuta
Struttura della rubrica rispetto al problema

- **Problema**
 - **Situazione problematica**

Costruire una situazione nella quale lo studente si possa riconoscere in modo da facilitare l'immedesimazione e motivare allo svolgimento del compito. Riprodurre, ad esempio, una situazione laboratoriale oppure creare una situazione sfidante non necessariamente contestualizzata ad esempio ricreando una situazione storica.
 - **Dati**

Raccogliere, selezionare ed organizzare le informazioni significative
 - **Richieste --> evidenze --> prestazione --> competenza**

Dare una consegna chiara e dettagliata che può richiedere:

 - di rispondere a domande specifiche
 - e/o di realizzare un'elaborazione dei dati forniti che risponda a determinate caratteristiche
 - di valutare ed argomentare le scelte fatte

Come prepararsi

Come prepararsi..... Ambienti di apprendimento

- Enfasi alla costruzione della conoscenza e non alla sua riproduzione
- Evitare eccessive semplificazioni nel rappresentare la complessità delle situazioni reali
- Presentare compiti autentici (contestualizzare anziché astrarre)
- Offrire ambienti di apprendimento derivanti dal mondo reale
- Offrire rappresentazioni multiple della realtà
- Favorire la riflessione e il ragionamento
- Permettere costruzioni della conoscenza dipendenti dal contesto e dai contenuti
- Presentare più fattori significativi in una situazione "problematica"

Piattaforma

Wer hat es bereits geschafft sich anzumelden?

Piattaforma di condivisione LS-OSA aperta a tutti i licei scientifici

ESPERIMENTI FORUM PARTECIPANTI - PROGETTO CONTATTI VETRINA

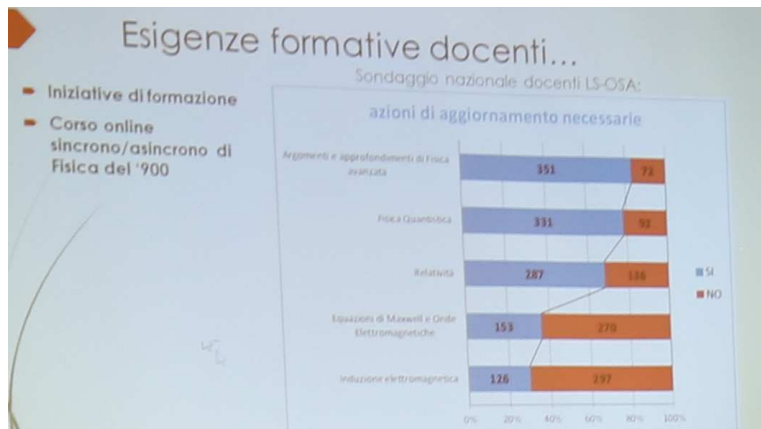
Liceo Scientifico/Opzione Scienze Applicate

FARE LABORATORIO

“Molto meglio è studiare quelle cose che si possono conoscere con l’esperienza, poiché solo l’esperienza non falla. E laddove non si può applicare una delle scienze matematiche, non si può avere la certezza.”
Leonardo da Vinci - Codice Atlantico

LS-OSA lab ROMA TRE

Umfrage zu Weiterbildungsnotwendigkeit

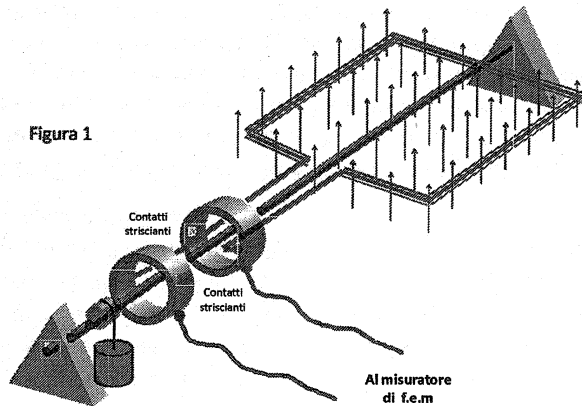


Überblick

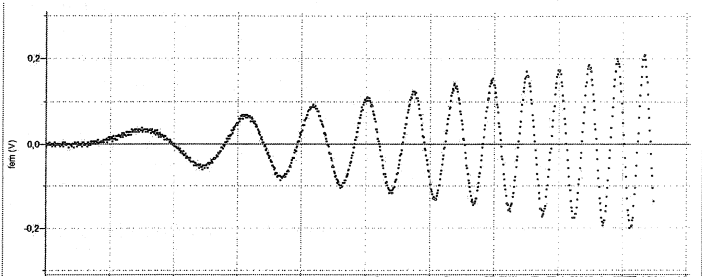
Folgendes stellt nur einen kurzen Einblick dar.

Das erste Problem

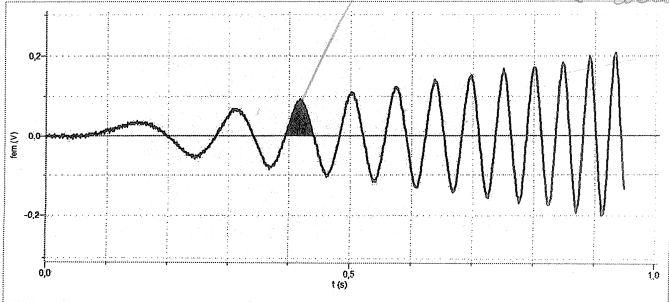
Viel Text und ..



Das erste Problem



gang
wertung



PROBLEMA 2.

Figura 3

Das erste Problem

Die Teilaufgaben

1. Phänomen beschreiben und in Zusammenhang mit dem Aufbau stellen.
2. Das physikalische Gesetz verwenden, um das Zustandekommen des zweiten Graphen zu erklären (Parameter B , $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$)
3. B , α bestimmen mit ersten Graphen
4. in zweitem Graphen eine Flächeninterpretation einer Halbperiode (liefert Φ)

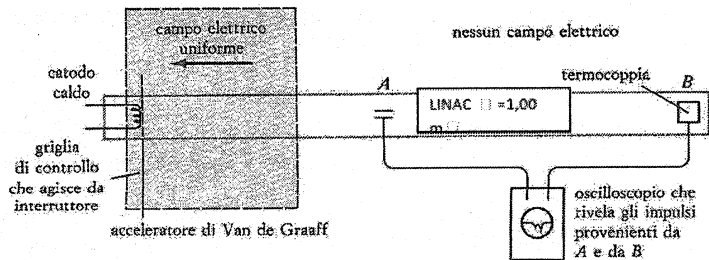
Das erste Problem, Naja!

Persönliche Stellungnahmen:

1. Abbildung nicht klar \rightarrow wie freier Fall
2. $v = g \cdot r \Rightarrow \omega = \frac{v}{r} \Rightarrow U(t)$ WOOOOW
3. Trägheitsmoment darf den Schülern nicht in den Sinn kommen
4. Teilaufgabe 4 ergibt meiner Meinung nach wenig Sinn wenn in Teilaufgabe 3 der differentiell Aspekt im Vordergrund steht (eingekleidet)
5. Dieses Problem ist die Fortführung der letzten Simulationen.
6. Dem experimentellen Aspekt soll man durch Interpretation der Diagramme gerecht werden.

Das zweite Problem

Viel Text und ..



Fonte: http://giulioannovi.altervista.org/fisica/quinta/Energia_cinetica_relativistica.pdf

Das zweite Problem

Figura 1

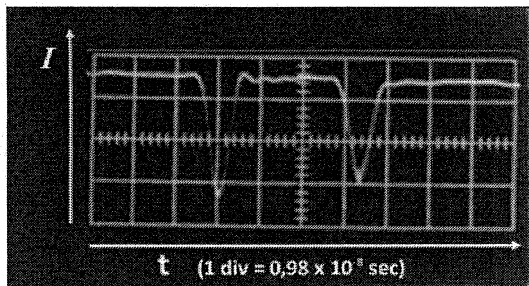


Figura 2 Impulsi provenienti da A e da B

Das zweite Problem

- 1) Analizzare l'esperimento descritto e rappresentare in un piano cartesiano l'andamento di $\frac{v^2}{c^2}$, dove v è la velocità degli elettroni nel punto B e c è la velocità della luce nel vuoto, in funzione del lavoro W compiuto dal campo elettrico nell'acceleratore, sia per i valori di velocità previsti dal modello classico che per i valori effettivamente misurati nell'esperimento.
- 2) Individuare il modello fisico più adatto a descrivere la situazione sperimentale, relativamente all'andamento di $\frac{v^2}{c^2}$ in funzione del lavoro W compiuto dal campo elettrico nell'acceleratore.
- 3) Calcolare l'andamento di $\frac{v^2}{c^2}$ atteso in base al modello fisico individuato, confrontandolo con l'andamento sperimentale.
- 4) Verificare, utilizzando i dati di Tabella 2 nei casi di differenza di potenziale 1,5 e 4,5 milioni di volt, che l'energia cinetica posseduta dagli elettroni quando arrivano in B è circa uguale a quella fornita dall'acceleratore, giustificando così la seguente affermazione: "Il fatto che il valore della velocità misurata sia inferiore a quello previsto dalla fisica classica non è dovuto a perdite di energia nell'apparato".

Das zweite Problem. Naja!

Die Teilaufgaben

1. Zwei Graphen sind zu erstellen für β^2 (theoretisch/experimentell) gegen $W_{\text{Beschleunigung}}$ der Beschleunigungsstrecke
2. Ein physikalisches Modell ist zu erstellen, welches gut den Verlauf β^2 in Abhängigkeit der $W_{\text{Beschleunigung}}$
3. Berechnung von $\frac{v^2}{c^2}$ und Vergleich mit den experimentelle Daten

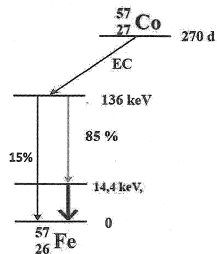
Persönliche Stellungnahme:

1. Die Teilaufgaben klingen ähnlich,
2. Teilaufgabe 2 und 3 könnten wohl eine sein.

Das dritte Problem

Der Mößbauereffekt

1. Zuerst mal Text
2. Gegeben ist nebenstehendes Schema.



Teilaufgaben

1. Berechnung der emmitierten Wellenlängen.
2. Kinetische Energie des emitierende Kerns aufgrund des Rückstoßes.
3. Unschärenrelation: Berechnung von ΔE bei gegebenen Δt .
4. Damit soll begründeten werden, wieso die Beobachtung bei festen Eisen möglich ist.

Das vierte Problem

Klassischer Fotoeffekt

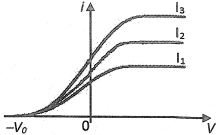
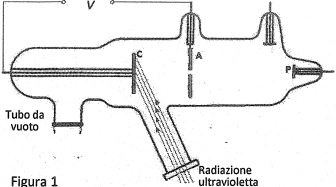
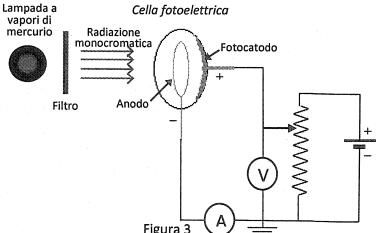


TABELLA 1

λ (nm)	V_0 (V)
580	0,693
546	0,809
436	1,312
405	1,536
365	1,940



Die erste Frage

1. Lampe strahlt in einem Würfel, und gesucht ist die Energie in 10 *min* auf eine Fläche
2. Geschenkte Aufgabe

Die zweite Frage

1. e^+ und e^- mit gleicher Geschwindigkeit bzgl. Laborsystem.
Umrechnen auf das System eines Teilchens!
2. \Rightarrow relativistische Geschwindigkeitsaddition

$$w = \frac{v + w'}{1 + \frac{v \cdot w'}{c^2}}$$

3. Wohl kaum machbar?

Die dritte Frage

1. Gegeben ist die Anregungsenergie eines Elektrons im Wasserstoffatoms.
 2. Gesucht sind die möglichen Übergänge in das Grundniveau.
1. Berechnung aller möglichen Energieschritte mit der Formel nach Balmer unter der Verwendung der angegebenen Rydbergkonstante bis zum gegebenen Energiewerte.
 2. Anmerkung: Vielleicht schöne Aufgabe

... in den Frequenzen der sichtbaren Linien des Wasserstoffspektrums.



Durch einen glücklichen Zufall hatte Balmer dabei eine Gleichung auf Zahlen gefunden, mit der sich annähernd exakte Aussagen über die Frequenzen der vier sichtbaren Linien des Wasserstoffspektrums machen ließen. Später erwies sich die Gültigkeit der Formel auch für weitere Linien.

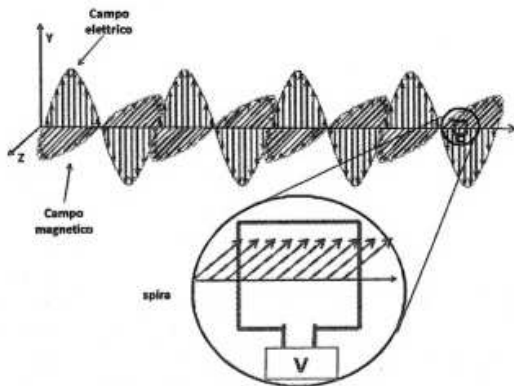
Rydberg-Konstante

$$f = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Diese Gleichung konnte Balmer die Frequenzen der vier Wasserstofflinien berechnen. Wenn n_f (final) = 2; n_i (initial) = 3, 4, 5, und 6; R für die

Die vierte Frage

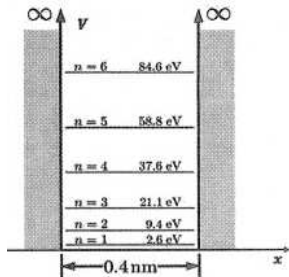
Aus der von einer *em*-Welle induzierten Spannung soll die ursprünglich abgestrahlte Leistung bestimmt werden.



Doch sehr fordernd!

Die fünfte Frage

1. Potentialtopf mit Breite und mehrere Energieniveaus eines darin eingeschlossenen Teilchens sind gegeben (Stichwort Moden).
2. Gesucht ist die Masse

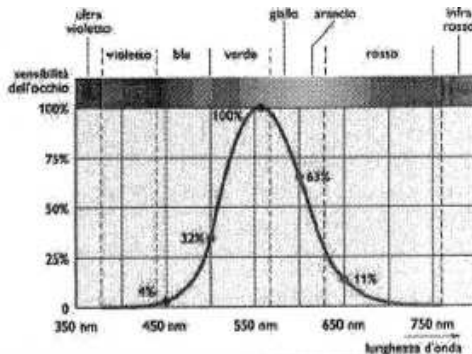


Anmerkung zur Lösung

1. MIUR&Co: Schüler sollten zu jedem Energieniveau die Masse bestimmen und diese dann mitteln.
2. Meine Meinung: Masse mit dem Grundniveau ist bereits 12/15
3. Falls Schüler die Rechnung mit einem weiteren Energieniveau wiederholen und feststellen, dass die Masse vergleichbar ist würde ich die volle Punkteanzahl geben.
4. Brocca ähnlich (z.B. 2000)

Die sechste Frage

Gegeben ist
nebenstehendes
Diagramm.



1. Es soll ein weiteres Diagramm gezeichnet werden, indem man sieht, welche Energie bei den eingezeichneten Wellenlängen nötig ist, damit die von der Netzhaut an das Hirn geschickte Energie konstant ist.
2. Photonenanzahl ist auch zu bestimmen

Anmerkung: Wie sinnvoll ist das gesuchte Diagramm?

Die siebte Frage

Quesito n. 1

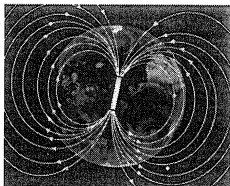


Figura 1

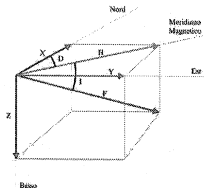


Figura 2

1. Ein Flugzeug fliegt im Erdmagnetfeld.
2. Gesucht ist die Spannung zwischen den Flügelspitzen.

Müsste gehen.

Die achte Frage

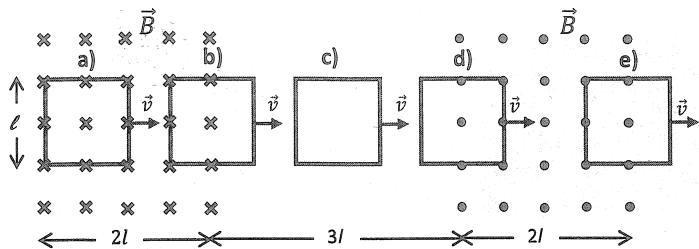


Figura 1

Selbsterklärend. Denke machbar.

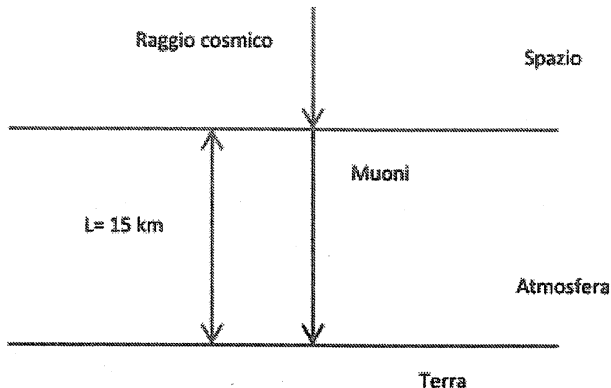
Die neunte Frage

Elektronenmikroskop (Beschleunigungsspannung $\approx kV$),
ausgehend von der Materiewellenlänge der Elektronen:

1. Es ist abzuschätzen, ob die Berechnung der Geschwindigkeit relativistisch zu erfolgen hat,
2. anschließend ist die Geschwindigkeit zu berechnen,
3. und dann die Beschleunigungsspannung.

könnte passen. Brocca, Lautenschläger

Die zehnte Frage



Myonenexperiment relativistisch:

müsste passen.

Die elfte Frage

Comptoneffekt am Elektron, gegeben ist die Energie des einfallenden Photons (20 kV):

1. Zu bestimmen ist die Wellenlänge des eintretenden und unter 90° austretenden Photons,
2. dann die Energie des austretenden Photons und die kinetische Energie des Elektrons.

machbar. Brocca [2][6],[7], Lautenschläger [8]

Die zwölfte Frage

- ▶ Bohrsches Atommodell: gegeben ist $-\frac{13,6 \text{ kV}}{n^2}$
- ▶ Von einem Elektron im ersten Anregungszustand ist der Bahnradius und die Geschwindigkeit zu bestimmen.

Müsste passen. Lautenschläger [8]

Literatur



2000: [Esame di stato, Liceo scientifico-Brocca: 2. prova fisica e laboratorio, sessione ordinaria.](#)
Welle-Teilchen-Dualismus, teils relativistisch.



2002: [Esame di stato, Liceo scientifico-Brocca: 2. prova fisica e laboratorio, sessione ordinaria.](#)
Fotoeffekt, Plank, Compton.



2004: [Esame di stato, Liceo scientifico-Brocca: 2. prova fisica e laboratorio, Sessione ordinaria.](#)
Plank, Lichtquanten, Fotoeffekt.



2004: [Esame di stato, Liceo scientifico-Brocca: 2. prova fisica e laboratorio, Sessione ordinaria.](#)
Elektronenablenkung teils relativistisch.



2006: [Esame di stato, Liceo scientifico-Brocca: 2. prova fisica e laboratorio, Sessione ordinaria.](#)
Fotoeffekt.



2008: [Esame di stato, Liceo scientifico-Brocca: 2. prova fisica e laboratorio, Sessione ordinaria.](#)
Plank, Fotoeffekt, Compton.



2014: [Esame di stato, Liceo scientifico-Brocca: 2. prova fisica e laboratorio, Sessione ordinaria.](#)
Compton.



[Horst Lautenschlager.](#)

Abitur-Training Physik: Atom und Quantenphysik.
Stark-Verlag, Freising Deutschland, 2007.

Beispiel Leistungskurs, Stark-Verlags-Lautenschläger

Vorwort

Relativistische Dynamik **1**

- 1 Relativistische Masse 2
- 2 Äquivalenz von Masse und Energie 7

Kinetische Deutung der Wärme **11**

- 3 Hinweise auf die atomistische Struktur der Materie 12
- 4 Molekülgröße und Avogadrokonstante 13
- 5 Die Zustandsgleichung des idealen Gases 15
- 6 Modell des einatomigen idealen Gases 18

25

Beispiel Leistungskurs, Stark-Verlags-Lautenschläger

Lichtquanten **25**

7	Fotoeffekt	26
8	Photon	32
9	Comptoneffekt	35

Elementare Quantenphysik **41**

10	Grundlagen der Röntgenspektroskopie	42
11	Materiewellen	46
12	Dualismus	50
13	Heisenberg'sche Unschärferelation	53

Beispiel Leistungskurs, Stark-Verlags-Lautenschläger

Lösungen
Lösungen

6. Präzisionsmessung zur Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse

Bewegung im Magnetfeld Bewegung im elektrischen Feld

$F_{\text{zentral}} = F_{\text{Lorentz}}$ $F_{\text{zentral}} = F_{\text{elektrisch}}$

$\frac{m \cdot v^2}{r_e} = B \cdot c \cdot v$ (1) $\frac{m \cdot v^2}{r_e} = c \cdot E$ (2)

(1) : (2) $\frac{\frac{m \cdot v^2}{r_e}}{\frac{m \cdot v^2}{r_e}} = \frac{B \cdot c \cdot v}{c \cdot E} \Rightarrow v = \frac{E \cdot r_e}{B \cdot r_e}$

Setzt man diese Beziehung z. B. in (2) ein, so ergibt sich für die Masse:

$\frac{m \cdot \frac{E \cdot r_e}{B \cdot r_e}}{r_e} = c \cdot E \Rightarrow m = \frac{c \cdot B^2 \cdot r_{\text{M}}}{E \cdot r_e}$

7. Relativistische Masse

a) Aufgrund zahlreicher Versuche (vgl. Aufgaben 4, 5, 6) weiß man, dass die Masse eines Körpers mit wachsender Geschwindigkeit zunimmt. Die Masse m , die der Körper bei der Geschwindigkeit v besitzt, heißt relativistische Masse. Die Ruhemasse m_0 ist die Masse des Körpers bei $v = 0$. Zwischen m und m_0 besteht folgende Beziehung:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

b)

c) $\frac{m - m_0}{m_0} > 0,01 \Leftrightarrow \frac{m}{m_0} - 1 > 0,01 \Leftrightarrow \frac{m}{m_0} > 1,01 \Leftrightarrow \frac{\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}{m_0} > 1,01$

$\Leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > 1,01 \Leftrightarrow \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < \frac{1}{1,01} \Leftrightarrow 1 - \frac{v^2}{c^2} < \frac{1}{1,01^2}$

$\Leftrightarrow 1 - \frac{1}{1,01^2} < \frac{v^2}{c^2} \Leftrightarrow v^2 > \left(1 - \frac{1}{1,01^2}\right) \cdot c^2$

$\Leftrightarrow v > \sqrt{1 - \frac{1}{1,01^2}} \cdot c \Leftrightarrow v > 0,14 \cdot c$

d) Wenn $v > 0,1 \cdot c$, wenn also die Teilchengeschwindigkeit mehr als 10% der Vakuumlichtgeschwindigkeit beträgt, muss für die Teilchenmasse die relativistische Masse verwendet werden.

8. Relativistischer Impuls

a) Unter dem relativistischen Impuls versteht man das Produkt aus relativistischer Masse und Geschwindigkeit:

$$p = m \cdot v = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot v$$

b) Das 2. Newton'sche Gesetz der klassischen Mechanik lässt sich unter Verwendung des Impulses schreiben als:

$F = m_0 \cdot a = m_0 \cdot \dot{v} = (m_0 \cdot \dot{v}) = \dot{p}$

Diese Beziehung zwischen Kraft und Impuls gilt auch dann, wenn man statt m_0 die relativistische Masse setzt.

$$F = \dot{p} = \left(\frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) = \left(m_0 \cdot v \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \right)$$

(Anwendung der Produkt- und Kettenregel)

$$= m_0 \cdot v \cdot \left(-\frac{1}{2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{3}{2}} \right) \cdot \left(-2 \cdot \frac{v}{c^2} \cdot \dot{v} \right) + m_0 \cdot \dot{v} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

(Ausklammern)

$$= m_0 \cdot \dot{v} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{3}{2}} \cdot \left[\frac{v^2}{c^2} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} + 1 \right]$$

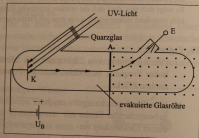
Beispiel Leistungskurs, Stark-Verlags-Lautenschläger

Lösungen

2. Zusammen mit dem Fotoeffekt kennen sie jetzt drei Möglichkeiten zur Erzeugung freier Elektronen. Die Emission von Elektronen aus Metallen kann man erreichen durch
- starke elektrische Felder: Überschreitet die elektrische Feldstärke an der Oberfläche kalter Metalle einen Mindestwert vom $10^8 \frac{N}{m}$, so treten Elektronen aus. Man nennt sie Feldelektronen.
 - hohe Temperaturen: Überschreitet die Temperatur eines Metalls einen Wert von ca. 2000 K, so emittiert es Elektronen (glühelctrischer Effekt oder Edison-Effekt). Man nennt diese Elektronen Glühelctronen.
 - Bestrahlung mit Licht: Die durch Licht ausgelösten Elektronen heißen Fotoelektronen.
3. Verwendet man bei obigem Versuch ein sehr empfindliches Elektroskop und eine ungeladene Metallplatte, so beobachtet man bei Bestrahlung mit UV-Licht eine positive Aufladung der Platte. (vgl. Aufgabe 66)

60. Lenards Identifizierungsversuch

- a) In einem hochevakuierten Glaskolben befinden sich entsprechend nebenstehender Skizze zwei plattenförmige Elektroden, eine Kathode K und eine Anode A mit Durchlassöffnung. UV-Licht kann durch einen seitlich ange-



brachten Stützen mit Quarzglasfenster so in den Kolben eintreten, dass es auf K trifft und dort Fotoelektronen auslöst. Diese werden in einem elektrischen Feld zwischen K und A beschleunigt. Ein Teil davon tritt anschließend durch die Anodendöffnung senkrecht zu den Feldlinien in ein homogenes Magnetfeld ein und bewegt sich bei passend gewähltem B auf einem Kreisbogen zur Auffangelektrode E. Lenard verwendete hierfür einen Faradaybecher, der mit einem Elektroskop verbunden war.

- b) Gemessen wurden die Werte für U_B und \vec{B} , bei denen das Elektroskop einen Ausschlag zeigt und der Radius r des Kreisbogens, den die Elektronen durchlaufen haben.

Lösungen

- c) Aus den Teilaufgabe b) gemessenen Daten ergibt sich die spezifische Ladung der vom Licht ausgelösten Teilchen folgendermaßen:

Energiesatz im elektrischen Längsfeld zwischen K und A:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = q \cdot U_B$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot \frac{q}{m} \cdot U_B} \quad (1)$$

Kräftebilanz im homogenen Magnetfeld im Raum hinter A:

$$q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$\Rightarrow v = \frac{q}{m} \cdot B \cdot r \quad (2)$$

(1) und (2):

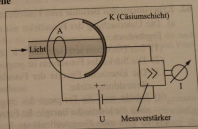
$$\sqrt{2 \cdot \frac{q}{m} \cdot U_B} = \frac{q}{m} \cdot B \cdot r \Rightarrow 2 \cdot \frac{q}{m} \cdot U_B = \left(\frac{q}{m}\right)^2 \cdot B^2 \cdot r^2$$

$$\Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2 \cdot U_B}{B^2 \cdot r^2}$$

Der so von Lenard für $\frac{q}{m}$ gefundene Wert stimmt mit der spezifischen Elektronenladung überein.

61. Wirkungsweise einer Fotozelle

- a) In einem evakuierten Glaskolben steht eine lichtelektrisch empfindlichen Schicht (z. B. aus Cäsium) eine ringförmige Anode A gegenüber. Legt man entsprechend nebenstehender Skizze zwischen Fotokathode K und Anode A eine Gleichspannung U an, so werden die vom auftretenden Licht bei K ausgelösten Fotoelektronen zum Anodenring gezogen.



Beispiel Leistungskurs, Stark-Verlags-Lautenschläger

Lösungen

$$d) E_{\text{kin},n} + \frac{1}{2} E_{\text{pot},n} \stackrel{(6),(7)}{=} \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2} - \frac{1}{2} \frac{e^4 \cdot m}{4 \epsilon_0^2 h^2 n^2} = 0 \Rightarrow E_{\text{kin},n} = -\frac{1}{2} E_{\text{pot},n}$$

$$E_{\text{kin},n} \stackrel{(6)}{=} \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2} \stackrel{(7)}{=} -E_n$$

171. Potenzialbezugspunkte

- a) Wählt man als Bezugspunkt für das elektrische Potenzial einen beliebigen Punkt im zunächst beliebigen Abstand r_0 vom Kernmittelpunkt, so gilt für die Gesamtenergie E_n des Elektrons auf der n -ten Quantenbahn:

$$E_n = \frac{1}{2} m \cdot v_n^2 + \int_{r_0}^{\infty} \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 r^2} dr$$

$$= \frac{1}{2} m \cdot v_n^2 - \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{\infty} \right)$$

$$= \frac{1}{2} m \cdot v_n^2 - \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0} \frac{1}{r_0} + \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0} \frac{1}{\infty}$$

Aufgabe $\frac{m}{170c} \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2} + \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0} \frac{1}{r_0} \stackrel{!}{=} 0$

$$\Rightarrow \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0} \frac{1}{r_0} = -\frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2}$$

$$\Rightarrow r_0 = \frac{2 \epsilon_0 h^2 n^2}{m \cdot e^2 \cdot \pi}$$

Man muss also einen Punkt im Abstand $\frac{2 \epsilon_0 h^2 n^2}{m \cdot e^2 \cdot \pi}$ vom Kernmittelpunkt als Bezugspunkt für das elektrische Potenzial wählen.

- b) Die modifizierte Gesamtenergie wird mit E_n^* bezeichnet.

$$E_1^* = 0 \Rightarrow E_n^* = E_n - E_1 = -\frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2} - \frac{1}{\pi} \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2} = \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

Jeder Punkt im Abstand $\frac{2 \epsilon_0 h^2 n^2}{m \cdot e^2 \cdot \pi}$ vom Kernmittelpunkt kann nach Teilaufgabe a) als Bezugspunkt fürs elektrische Potenzial gewählt werden.

Lösungen

172. Herleitung der allgemeinen Serienformel für das Wasserstoffatom

- a) 2. Bohr'sches Postulat:

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = E_{n_2} - E_{n_1} \quad \text{mit } n_2 > n_1$$

$$\Rightarrow \frac{h \cdot c}{\lambda} = -\frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2 n_2^2} + \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2 n_1^2} = \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

Allgemeine Serienformel:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (2)$$

(1) und (2) stimmen dann überein, wenn

$$R = \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^3 c}$$

$$\frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s})^4 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{8 (8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}})^2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^3 \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,1 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}$$

Experimentell bestimmter Wert für R: $R = 1,1 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}$

\Rightarrow Übereinstimmung

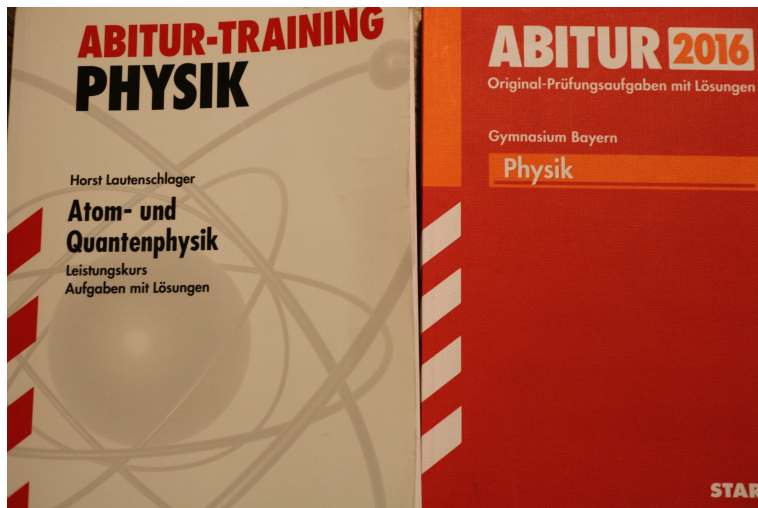
$$b) E_n = \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} \quad \Rightarrow E_n = \frac{R \cdot h \cdot c}{n^2}$$

$$R = \frac{e^4 \cdot m}{8 \epsilon_0^2 h^3 c}$$

c) $E_n = \frac{R \cdot h \cdot c}{n^2} = \frac{1,10 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{n^2} = -13,7 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$

Damit ergeben sich für die Skizze folgende numerische Werte:
 $E_1 = -13,7 \text{ eV}; \quad E_2 = -3,4 \text{ eV}; \quad E_3 = -1,5 \text{ eV}; \quad E_4 = -0,86 \text{ eV};$
 $E_5 = -0,5 \text{ eV}$

Beispiel Leistungskurs, Stark-Verlags-Lautenschläger



Mein Fazit

1. *problemi*: Die Schüler müssen lernen aus viel Text die Aufgabe zu erkennen.
2. *problemi*: Sie sind nicht leichter als vergangene Simulationen.
3. *quesiti*: Sind zum Teil leichter als die vom letzten Jahr.
4. *brocca* für die *problemi*-Vorbereitung: In Erwägung ziehen? Es existieren zum Teil gut erklärte Lösungen. Die bringen evtl. einen Einblick in die "*italienische physikalische Arbeitsweise*"
5. *Leistungskurs* und *Abitur-Vorbereitungen* (z.B Stark-Verlag): Sollte man auch in Erwägung ziehen. Sind vermutlich hilfreich auch bei den *quesiti*.
6. Einen Manko sehe ich in Hinblick auf das Themengebiet **Equazioni di Maxwell e Onde Elettromagnetiche**.
7. Übersetzungen der Aufgaben: Wer?

Fazit

1. Link zu Scans:

http://www.rg-me.it/drupal7/?q=matura_fisik

2. Link zum *Stark-Verlag*: <https://www.stark-verlag.de/>

Weitere Recherche zwecks Verlage wären natürlich angebracht.

3. Link zur *Piattaforma*:

<http://ls-osa.uniroma3.it/home/index>

Anmeldung ist mir aber noch nicht gelungen.

4. Link zum PI:

<http://www.bildung.suedtirol.it/unterricht/naturwissenschaften-technik/umsetzung-der-rahmenrichtli>

CONTENUTI IRRINUNCIABILI

- ▶ Il fenomeno della induzione elettromagnetica: la forza elettromotrice indotta e sua origine.
- ▶ Legge di Faraday-Neumann-Lenz
- ▶ Le correnti indotte tra circuiti
- ▶ Il fenomeno della autoinduzione e il concetto di induttanza
- ▶ Energia associata a un campo magnetico

PREREQUISITI

- ▶ Il concetto di campo
- ▶ I campi conservativi
- ▶ Il campo gravitazionale
- ▶ Il campo elettrico e le sue proprietà
- ▶ Relazioni tra campo elettrico e le sue sorgenti
- ▶ Il campo magnetico e le sue proprietà Relazioni tra campo magnetico e le sue sorgenti
- ▶ La forza elettrostatica e la forza di Lorentz Calcolo del flusso di un campo vettoriale
- ▶ Leggi del flusso e della circuitazione per il campo elettrico e magnetico stazionari nel vuoto
- ▶ Energia associata al campo elettrico
- ▶ Accumulo e dissipazione di energia da parte di una corrente elettrica

ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI

- ▶ Descrivere e interpretare esperimenti che mostrino il fenomeno dell'induzione elettromagnetica
- ▶ Discutere il significato fisico degli aspetti formali dell'equazione della legge di Faraday-Neumann-Lenz
- ▶ Descrivere, anche formalmente, le relazioni tra forza di Lorentz e forza elettromotrice indotta
- ▶ Utilizzare la legge di Lenz per individuare il verso della corrente indotta e interpretare il risultato alla luce della conservazione dell'energia
- ▶ Calcolare le variazioni di flusso di campo magnetico
- ▶ Calcolare correnti e forze elettromotrici indotte utilizzando la legge di Faraday-Neumann-Lenz anche in forma differenziale
- ▶ Derivare e calcolare l'induttanza di un solenoide
- ▶ Determinare l'energia associata ad un campo magnetico
- ▶ Risolvere esercizi e problemi di applicazione delle formule studiate inclusi quelli che richiedono il calcolo delle forze su conduttori in moto in un campo magnetico

COMPETENZE SETTORIALI

- ▶ Essere in grado di riconoscere il fenomeno dell'induzione elettromagnetica in situazioni sperimentali
- ▶ Essere in grado di esaminare una situazione fisica che veda coinvolto il fenomeno dell'induzione elettromagnetica

CONTENUTI IRRINUNCIABILI

- ▶ Relazione tra campi elettrici e magnetici variabili
- ▶ La corrente di spostamento
- ▶ Sintesi dell'elettromagnetismo: le equazioni di Maxwell
- ▶ Onde elettromagnetiche piane e loro proprietà a polarizzazione delle onde elettromagnetiche
- ▶ L'energia e l'impulso trasportato da un'onda elettromagnetica
- ▶ Cenni sulla propagazione della luce nei mezzi isolanti, costante dielettrica e indice di rifrazione
- ▶ Lo spettro delle onde elettromagnetiche
- ▶ La produzione delle onde elettromagnetiche
- ▶ Le applicazioni delle onde elettromagnetiche nelle varie bande di frequenza

PREREQUISITI

- ▶ Onde e oscillazioni
- ▶ Caratteristiche generali della propagazione delle onde
- ▶ Onde stazionarie
- ▶ Interferenza e diffrazione delle onde a legge della riflessione
- ▶ La legge della rifrazione e suo legame con la velocità di propagazione
- ▶ La risonanza

ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI

- ▶ Illustrare le implicazioni delle equazioni di Maxwell nel vuoto espresse in termini di flusso e circuitazione
- ▶ Discutere il concetto di corrente di spostamento e il suo ruolo nel quadro complessivo delle equazioni i Maxwell
- ▶ Calcolare le grandezze caratteristiche delle onde elettromagnetiche piane
- ▶ Applicare il concetto di trasporto di energia di un'onda elettromagnetica
- ▶ Descrivere lo spettro elettromagnetico ordinato in frequenza e in lunghezza d'onda
- ▶ Illustrare gli effetti e le principali applicazioni delle onde elettromagnetiche in funzione della lunghezza d'onda e della frequenza

COMPETENZE SETTORIALI

- ▶ Essere in grado di collegare le equazioni di Maxwell ai fenomeni fondamentali dell'elettricità e del magnetismo e viceversa
- ▶ Saper riconoscere il ruolo delle onde elettromagnetiche in situazioni reali e in applicazioni tecnologiche

CONTENUTI IRRINUNCIABILI

- ▶ alla relatività galileiana alla relatività ristretta
- ▶ I postulati della relatività ristretta
- ▶ Relatività della simultaneità degli eventi
- ▶ Dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze
- ▶ Evidenze sperimentali degli effetti relativistici
- ▶ Trasformazioni di Lorentz
- ▶ Legge di addizione relativistica delle velocità; limite non relativistico: addizione galileiana delle velocità
- ▶ L' Invariante relativistico
- ▶ La conservazione della quantità di moto relativistica
- ▶ Massa ed energia in relatività

PREREQUISITI

- ▶ Relatività galileiana
- ▶ Sistemi di riferimento inerziali
- ▶ Trasformazioni di coordinate
- ▶ Invarianti
- ▶ Legge non relativistica di addizione delle velocità

ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI

- ▶ Applicare le relazioni sulla dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze e saper individuare in quali casi si applica il limite non relativistico
- ▶ Utilizzare le trasformazioni di Lorentz
- ▶ Applicare la legge di addizione relativistica delle velocità
- ▶ Risolvere problemi di cinematica e dinamica relativistica
- ▶ Applicare l'equivalenza massa-energia in situazioni concrete tratte da esempi di decadimenti radioattivi, reazioni di fissione o di

COMPETENZE SETTORIALI

- ▶ Saper mostrare, facendo riferimento a esperimenti specifici, i limiti del paradigma classico di spiegazione e interpretazione dei fenomeni e saper argomentare la necessità di una visione relativistica
- ▶ Saper riconoscere il ruolo della relatività in situazioni sperimentali e nelle applicazioni tecnologiche
- ▶ Essere in grado di comprendere e argomentare testi divulgativi e di critica

CONTENUTI IRRINUNCIABILI

- ▶ L'emissione di corpo nero e l'ipotesi di Planck
- ▶ L'esperimento di Lenard e la spiegazione di Einstein dell'effetto fotoelettrico
- ▶ L'effetto Compton
- ▶ Modello dell'atomo di Bohr e interpretazione degli spettri atomici
- ▶ L'esperimento di Franck – Hertz.
- ▶ Lunghezza d'onda di De Broglie.
- ▶ Dualismo onda-particella. Limiti di validità della descrizione classica
- ▶ Diffrazione/Interferenza degli elettroni
- ▶ Il principio di indeterminazione

PREREQUISITI

- ▶ L'esperimento di Rutherford e modello atomico
- ▶ Spettri atomici
- ▶ Interferenza e diffrazione (onde, ottica)
- ▶ Scoperta dell'elettrone
- ▶ Urti classici

ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI

- ▶ Illustrare il modello del corpo nero interpretandone la curva di emissione in base alla legge di distribuzione di Planck
- ▶ Applicare le leggi di Stefan-Boltzmann e di Wien, saperne riconoscere la natura fenomenologica
- ▶ Applicare l'equazione di Einstein dell'effetto fotoelettrico per la risoluzione di esercizi
- ▶ Illustrare e applicare la legge dell'effetto Compton
- ▶ Discutere il dualismo onda- corpuscolo
- ▶ Calcolare le frequenze emesse per transizione dai livelli dell'atomo di Bohr
- ▶ Calcolare la lunghezza d'onda di una particella e confrontarla con la lunghezza d'onda di un oggetto macroscopico
- ▶ Descrivere la condizione di quantizzazione dell'atomo di Bohr usando la relazione di De Broglie
- ▶ Calcolare l'indeterminazione quantistica sulla posizione/quantità di moto di una particella
- ▶ Analizzare esperimenti di interferenza e diffrazione di

COMPETENZE SETTORIALI

- ▶ Saper mostrare, facendo riferimento a esperimenti specifici, i limiti del paradigma classico di spiegazione e interpretazione dei fenomeni e saper argomentare la necessità di una visione quantistica
- ▶ Saper riconoscere il ruolo della fisica quantistica in situazioni reali e in applicazioni tecnologiche Essere in grado di comprendere e argomentare testi divulgativi e di critica scientifica che trattino il tema della fisica quantistica

Vertiefungen

BlaBlaBla ;-)