

Habt ihr schon gewusst 162 ... fremde Formel neu

In den Physikbildungsstandards steht in der Kompetenz Nr. 3: „Formalisierung und Mathematisierung in der Physik“: *Die Schülerinnen und Schüler können vorgegebene - auch bisher nicht im Unterricht behandelte - Formeln zur Lösung von physikalischen Problemen anwenden.*

In diesem Sinne sind hier anspruchsvolle Aufgaben formuliert, die in Teamarbeiten zum Training dieser Kompetenz eingesetzt werden können.

Beispiel 01

Gegeben ist die Formel

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Hierbei haben die Formelbuchstaben folgende Bedeutung: ΔE – Energieportion; Δt – Zeitabschnitt, A – Fläche, ΔT – Temperaturdifferenz, Δx – Schichtdicke.

Arbeitsauftrag

- (01.) Bestimmen Sie die Einheiten, in der λ angegeben wird?
- (02.) Die Energie ΔE ist eine Funktion von anderen physikalischen Größen. Stellen Sie diese funktionale Abhängigkeit als Formel dar – und formulieren Sie diesen Zusammenhang verbal.
- (03.) Welchen physikalischen Hintergrund beschreibt diese Formel?
- (04.) Formulieren Sie einen Dialog, in dem Sie einen Gesprächspartner durch möglichst zwingende Argumente davon überzeugen, dass die obige Formel plausibel erscheint.
- (05.) Aus dem obigen Gespräch geht eine Hypothese hervor; welche Schritte müssen nun gegangen werden, damit aus dieser Hypothese eine naturwissenschaftlich anerkannte Theorie wird?
- (06.) Formulieren Sie eine Aufgabe auf der Basis dieser Formel, wenn der Zahlenwert von λ bei Luft 0,025, bei Rindfleisch 0,5 und bei Kupfer 400 ist.

Test ...

Gegeben ist die Formel

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Hierbei haben die Formelbuchstaben folgende Bedeutung: ΔE – Energieportion; Δt – Zeitabschnitt, A – Fläche, ΔT – Temperaturdifferenz, Δx – Schichtdicke.

Testfragen

- (01.) Bestimmen Sie die Einheiten, in der λ angegeben wird – und kreuzen Sie dann die korrekte Antwort in der folgenden Reihe an:
 W/(m·K) J/(s·m·K) J/(m·K) W/(s·m·K)
- (02.) Die Energie ΔE ist eine Funktion von anderen physikalischen Größen. Überlegen Sie sich, welche funktionale Abhängigkeit in dieser Formel dargestellt wird. Kreuzen Sie die korrekten Aussagen in der folgenden Reihe an:
 Die Energiestromstärke (Leistung), die bei der Temperaturdifferenz ΔT durch eine Wand mit der Dicke Δx geht, ist direkt proportional zur betrachteten Wandfläche.
 Die Energiestromstärke (Leistung) pro Flächeneinheit, die bei der Temperaturdifferenz ΔT durch eine Wand mit der Dicke Δx geht, ist unabhängig von der Wandfläche.
 Die Energie, die bei der Temperaturdifferenz ΔT durch eine Wand mit der Dicke Δx geht, ist direkt proportional zur Zeit, in der dieser Vorgang stattfindet.
 Die Energiestromstärke (Leistung), die bei der Temperaturdifferenz ΔT durch eine Wand mit der Dicke Δx geht, ist direkt proportional zur betrachteten Wandfläche und hängt vom Wandmaterial ab. Diese Abhängigkeit wird durch die Proportionalitätskonstante λ beschrieben.

Beispiel 02

Gegeben ist die Formel

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = -\sigma \cdot A \cdot T^4$$

Hierbei haben die Formelbuchstaben folgende Bedeutung: ΔE – Energieportion; Δt – Zeitabschnitt, A – Fläche, T – absolute Temperatur.

Arbeitsauftrag

- (01.) Die Energie ΔE ist eine Funktion von anderen physikalischen Größen. Stellen Sie diese funktionale Abhängigkeit als Formel dar – und formulieren Sie diesen Zusammenhang verbal.
- (02.) Welchen physikalischen Hintergrund beschreibt diese Formel?
- (03.) Formulieren Sie einen Dialog, in dem Sie einen Gesprächspartner durch möglichst zwingende Argumente davon überzeugen, dass die obige Formel plausibel erscheint.
- (04.) Aus dem obigen Gespräch geht eine Hypothese hervor; welche Schritte müssen nun gegangen werden, damit aus dieser Hypothese eine naturwissenschaftlich anerkannte Theorie wird?
- (05.) Die Proportionalitätskonstante ist eine so genannte Naturkonstante. Was versteht man unter „Naturkonstanten“.
- (06.) Formulieren Sie eine Aufgabe auf der Basis dieser Formel, wenn der Zahlenwert der Naturkonstanten σ den Wert $5,67 \cdot 10^{-8}$ hat.

Beispiel 03

Gegeben sind die beiden Formeln

$$(A) \frac{\Delta E}{\Delta t} = -\sigma \cdot A \cdot T^4 \quad \text{und} \quad (B) \frac{\Delta E}{\Delta t} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Hierbei haben die Formelbuchstaben folgende Bedeutung: ΔE – Energieportion; Δt – Zeitabschnitt, A – Fläche, T – absolute Temperatur, ΔT – Temperaturdifferenz, Δx – Schichtdicke.

Die Proportionalitätskonstante σ ist eine Naturkonstante und hat den Wert $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$, während die Proportionalitätskonstante λ stoffabhängig ist: $\lambda_{\text{Luft}} = 0,025 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; $\lambda_{\text{Kupfer}} = 400 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Arbeitsauftrag

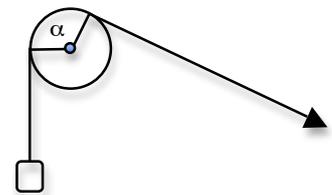
Beschreibe verbal die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede dieser beiden Formeln. Welchen physikalischen Hintergrund könnten diese beiden Formeln haben?

Beispiel 04

Wir legen ein Seil über eine Stativstange und hängen an das Seil einen Körper mit der Masse m . Die Kraft, mit der man das Seil halten muss, kann man – so die Literatur – nach der folgenden Formel bestimmen.

$$F = F_G \cdot e^{-\mu \cdot \alpha}$$

Hierbei ist der Winkel α der Winkel zwischen den beiden Berühr-Radien der Seile und μ ist Reibungszahl zwischen dem Seil und der Stativstange.



Arbeitsauftrag

- (01.) Wie kann man auf der Basis dieser Formel die Reibungszahl bestimmen?
- (02.) Formeln kann man prinzipiell nicht beweisen ... man kann nur das Vertrauen in diese Formel erhöhen. Wie wächst das Vertrauen in die Gültigkeit einer „Formel“ (Naturgesetz | Modellvorstellung | Hypothese ...)?
- (03.) Wie könnte man das Vertrauen in die oben angegebene Formel vergrößern?
- (04.) Siehe Freihandexperiment → „Habt ihr gewusst 160 ... Reibungseffekte“

Beispiel 05

Gegeben ist die Formel

$$U = \frac{2 \cdot \pi \cdot B_0 \cdot A}{T}$$

Hierbei ist B_0 eine homogene magnetische Flussdichte, A eine Fläche und T eine Periodendauer

Arbeitsauftrag 01

- (01.) Auf welchen Themenkomplex kann man aus den obigen Angaben schließen?
- (02.) In dieser Formel kommt der Term „ $2 \cdot \pi$ “ ... welche Rückschlüsse kann man daraus ziehen ... zu welchem obigen Details in den Angaben passt dieser Term?
- (03.) In welcher Größenordnung liegt die Spannung U , wenn man von einer Flussdichte im Bereich des Erdfeldes und einer Fläche im Bereich von etwa 1m^2 ausgeht.

Arbeitsauftrag 02

- (01.) Formeln kann man prinzipiell nicht beweisen ... man kann nur das Vertrauen in diese Formel erhöhen. Wie wächst das Vertrauen in die Gültigkeit einer „Formel“ (Naturgesetz | Modellvorstellung | Hypothese ...)?
- (02.) Formuliere den konkreten experimentellen Aufbau, so dass man mit der obigen Formel die Induktionsspannung bestimmen kann?

Arbeitsauftrag 03

Sie haben mehrere 2m lange Labor-Kabel, einen Meterstab, ein Computermesserschaltungssystem, das mit einem extrem hochohmigen Spannungssensor mit hinreichender Genauigkeit das U-t-Diagramm aufnehmen kann.

- (01.) Wie könnte man mit dieser Anordnung die Flussdichte des Erdmagnetfeldes untersuchen?
- (02.) Warum muss es ein „hochohmiges Voltmeter“ sein ... was versteht man eigentlich unter „hochohmiges Voltmeter“?
- (03.) Finden Sie Abschätzungen des Flächeninhalts, der bei diesem Experiment auftritt ...1

Arbeitsauftrag 04

- (01.) Leiten Sie diese Formel deduktiv aus dem Formel-Fundus her, den Sie in Ihrem Physikunterricht kennengelernt haben.
- (02.) Erläutern Sie an konkreten Beispielen die beiden physikalischen Methoden (a) Deduktion und (b) Induktion.
- (03.) Erläutern Sie ein Beispiel an „Erkenntnisgewinnung“ durch „Analogie-Betrachtung“.

¹ Wenn man eine Leiterschleife an einem Ende befestigt und das andere Ende wie ein Springseil rotieren lässt, entsteht an den Enden des rotierenden Springseils eine Induktionsspannung. Das Problem besteht wohl darin, die Fläche dieses „Rotationsparaboloids“ (falls es überhaupt eines ist ©) zu bestimmen ... z.B. Annäherung durch eine Parabel ... Messung der Parameter ... graphische Lösung ... z.B. grobe Näherung: Kabel schwingt in einem Halbkreis ... z.B. Fotografie des Kabels ... Auswertung der Photographie mit Millimeterpapier ... z.B.

Beispiel 06

Die elektrische Stromstärke – als zeitliche Ableitung der elektrischen Ladung nach der Zeit $I = \Delta Q / \Delta t$ ist bekannt. Unter der Stromdichte j versteht man $j = I/A$... ALSO ist die Stromdichte die Stromstärke pro Flächeneinheit. Elektrische Ladungsträger bewegen sich in einem elektrischen Leiter nicht „geradlinig“ ... d.h. ihre so genannte Driftgeschwindigkeit (das ist die Strecke, um die die Ladungsträger pro Zeiteinheit längs des Leiters vorwärts kommen) ist kleiner als die Geschwindigkeit auf dem Zick-Zack-Kurs. Unter einer Observablen versteht man eine „beobachtbare“ (d.h. messbare) physikalische Größe.

Im Physik Journal 7 (2008) Nr.5 auf Seite 37 steht:

„Die für ein elektronisches Bauelement primär relevante makroskopische Observable ist der im elektrischen Feld fließende elektrische Strom. Die Stromdichte ist dabei gegeben durch die Anzahldichte n der Ladungsträger und deren Driftgeschwindigkeit v , wobei letztere mit der Beweglichkeit μ und dem elektrischen Feld E zusammenhängt:

$$j = e \cdot n \cdot v \quad \text{mit} \quad v = \mu \cdot E$$

Dieser Ausdruck verdeutlicht, dass der Stromfluss neben der Beweglichkeit vor allem von der Dichte der Ladungsträger abhängt.“

Im Physik Journal 7 (2008) Nr.5 auf Seite 48 steht:

Die maximale Schaltfrequenz f_{\max} eines Transistors ist begrenzt durch die Laufzeit der Ladungsträger im Kanal der Länge L zwischen Source- und Drain-Elektrode. Das Maß für die Ladungsträgergeschwindigkeit pro elektrischem Feld ist die Beweglichkeit μ der Ladungsträger. Je kleiner L und je höher μ , desto schneller schalten die Transistoren, wobei die Kanallänge sogar quadratisch eingeht:

$$f_{\max} = \frac{\mu \cdot U_{DS}}{L^2}$$

Im Internet findet man bei „<http://www.uni-kassel.de/fb16/te/download/werkstoffe/Werkstoffe-Uebung6.pdf>“ folgende Aussage:

„Die Beweglichkeit von Ladungsträgern in Silizium beträgt bei $T = 300 \text{ K}$ für Elektronen $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ und Löcher $\mu_p = 480 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$; die Ladungsträgerdichte (sowohl für negative als auch für positive Ladungsträger) beträgt $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$; durch eine Bohrdotierung wird eine Konzentration von $n = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ erreicht.

Arbeitsauftrag 01

- (01.) Welche Driftgeschwindigkeit erreichen beide Ladungsträgerarten in einer beidseitig kontaktierten Siliziumplatte der Dicke $d=0,1\text{mm}$ bei einer Spannung $U=15\text{V}$?
- (02.) Welche Stromdichte kann man in diesem Fall abschätzen?
- (03.) Beschreiben Sie, welche physikalische Aussage sowohl auf Seite 37 als auch auf Seite 48 steht.
- (04.) Von welchen physikalischen Größen hängt die elektrische Stromstärke ab ... welche der möglichen Formulierungen ist in welchem Kontext interessant?
- (05.) Zu welchem Ergebnis führen die hier möglichen Dimensionsanalysen?
- (06.) Schätzen Sie die Größenordnung der Schaltfrequenz bei einem MOSFET ab ... (es fehlen evtl. Angaben ☹)
- (07.) Diskutieren Sie mit Ihrem Team, welche weiteren Aufgabenstellungen man bei der vorliegenden Informationsslage formulieren kann.