Messprotokoll 13.9.1907, Partner Albert Einstein

Aufgabe 1
Eigenfrequenz des Drehpendels messen

Dauer von 50 Schwingungen bei anfänglicher Auslenkung von 8 Skalenteilen: t=92,03s

Dauer von 50 Schwingungen bei anfänglicher Auslenkung von 4 Skalenteilen: t=91,78s

Aufgabe 2
Freie, gedämpfte Schwingung

t/T	0	1	2	3	4	5	6	7	8
y/Skt(links)	10	9,0	7,5	6,0	5,2	4,2	3,4	2,8	2,2
t/T	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
y/Skt(rechts)	8,3	8,3	7,0	5,6	4,8	3,9	3,2	2,6	2,2

Tabelle 1: Amplitudenmessungen einer freien gedämpften Schwingung, Dämpfungsstrom: ***I=0,3A***

t/T	0	1	2	3	4	5	6	7	8
y/Skt(links)	10	7,0	3,5	1,6	0,8	0,4	0,2	/	/
t/T	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
y/Skt(rechts)	5,5	5,5	2,7	1,3	0,5	0,2	0,1	/	/

Tabelle 2: Amplitudenmessungen einer freien gedämpften Schwingung, Dämpfungsstrom: ***I=0,6A***

Aperiodischer Grenzfall: I_{Ap} zwischen 1,6A und 2,2A

Aufgabe 3
Resonanzkurve einer erzwungenen Schwingung

U /V	4	5	6	7	8	9	10	11	12
y/Skt(links)	0,8	0,9	1,2	1,9	1,5	1,0	0,7	0,5	0,4

weitere Messwerte für den Resonanzbereich:

U /V	7,1	7,2	7,4	7,6	7,8	/
y/Skt(links)	2,1	2,2	2,2	2,0	1,9	/

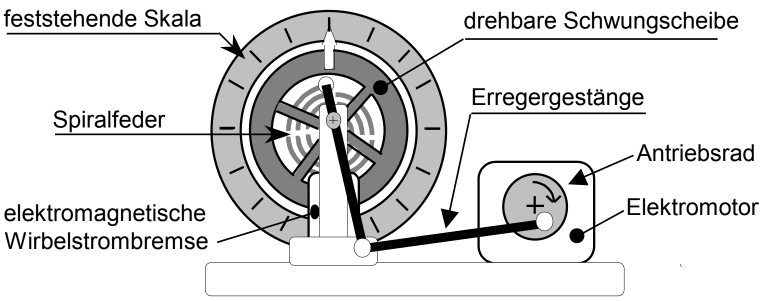
Tabelle 3: Amplitudenmessungen einer erzwungenen gedämpften Schwingung, Dämpfungsstrom: ***I=0,5A***

Dauer von 50 Schwingungen bei der Resonanzstelle: t=95s

Auswertung

Versuch 6, Mechanische Schwingungen

Im Versuch wurde das freie Schwingungsverhalten eines Drehpendels im ungedämpften und im gedämpften Zustand sowie das Resonanzverhalten bei erzwungener Schwingung untersucht. Dafür wurden die charakteristischen Größen: Periode, Frequenz und Amplitude bestimmt.



Die Schwungscheibe ist über die Spiralfeder mit dem Erregergestänge verbunden.

Graph1: Drehpendel mit Wirbelstrombremse

Bemerkung:
Dieser erste Teil mit einer Gesamtskizze und Gesamtbeschreibung macht nicht in allen Versuchen Sinn, bietet sich hier aber an. Bei anderen Versuchen wird bei jeder Aufgabe eine Skize und eine Beschreibung erforderlich sein.

Aufgabe 1: Eigenfrequenz des Drehpendels bestimmen

Einleitung, Aufbau, Durchführung und Rechnung :

Das oben skizzierte Drehpendel wurde durch drehen des Motors auf 0 Skaleteile gestellt und 4, bzw 8 SKT ausgelenkt. Die Zeit für 50 Perioden wurde bestimmt.
Aus der gemessenen Zeit für 50 Perioden errechnet sich die Periodendauer, die Eigenfrequenz und die Kreisfrequenz des frei schwingenden Drehpendels zu:
Messwerte:
Dauer von 50 Schwingungen bei anfänglicher Auslenkung von 8 Skalenteilen: $\underline{\underline{t = 92{,}03\,\mathrm{s}}}$

Dauer von 50 Schwingungen bei anfänglicher Auslenkung von 4 Skalenteilen: $\underline{\underline{t = 91{,}78\,\mathrm{s}}}$

$$T = \frac{t}{n} = \frac{((92{,}03 + 91{,}78):2)\,\mathrm{s}}{50} = \underline{\underline{1{,}84\,\mathrm{s}}} \qquad \nu_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{1{,}84\,\mathrm{s}} \approx \underline{\underline{0{,}543\,\mathrm{Hz}}} \qquad \omega_0 = 2\pi\nu_0 = \underline{\underline{3{,}41\,\mathrm{s}^{-1}}}$$

Fehlerdiskussion: Die Messung erfolgte mit einer Hand–Stoppuhr. Da sich die Zeitmessung über 50 Perioden erstreckte, sind Fehler im Frequenzwert erst in der vierten Dezimalstelle zu erwarten.

Bei geschätztem $\Delta t = \pm 0{,}5\,\mathrm{s}$ wird der relative Fehler etwa: $\Delta t / T \approx 0{,}5/90 \approx 6 \cdot 10^{-3}$.

Fazit:

Die Eigenfrequenz ω_0 wurde zu $\omega_0 = \underline{\underline{3{,}41\,\mathrm{s}^{-1}}}$ bestimmt.

Für beide Auslenkungen wurde innerhalb der Fehlergrenzen, die durch eigene Reaktionsfähigkeit vorgegeben sind, der gleiche Messwert ermittelt. Die Periodendauer ist danach unabhängig von der maximalen Auslenkung (Amplitude).

Aufgabe 2: Freie, gedämpfte Schwingungen

Einleitung, Aufbau, Durchführung:

Dem Aufbau in Aufgabe 1(Siehe Skizze oben) wurde eine Dämpfung hinzugefügt.
Für die Dämpfung der freien Schwingungen wurde eine Wirbelstrombremse verwendet, die mit zwei verschiedenen Stromwerten betrieben wurde.
Für die Ausgangsamplituden wurde das Drehpendel versehentlich, anders als im Skript gefordert, um 10 Skaleneinheiten nach links ausgelenkt.
Nun wurden die Werte für die Amplituden rechts und links aufgenommen und auf linearem und halblogarithmischem Papier aufgetragen.

Messwerte:

Freie, gedämpfte Schwingung

t/T	0	1	2	3	4	5	6	7	8
y/Skt(links)	10	9,0	7,5	6,0	5,2	4,2	3,4	2,8	2,2
t/T	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
y/Skt(rechts)	8,3	8,3	7,0	5,6	4,8	3,9	3,2	2,6	2,2

Tabelle 1: Amplitudenmessungen einer freien gedämpften Schwingung, Dämpfungsstrom: ***I=0,3A***

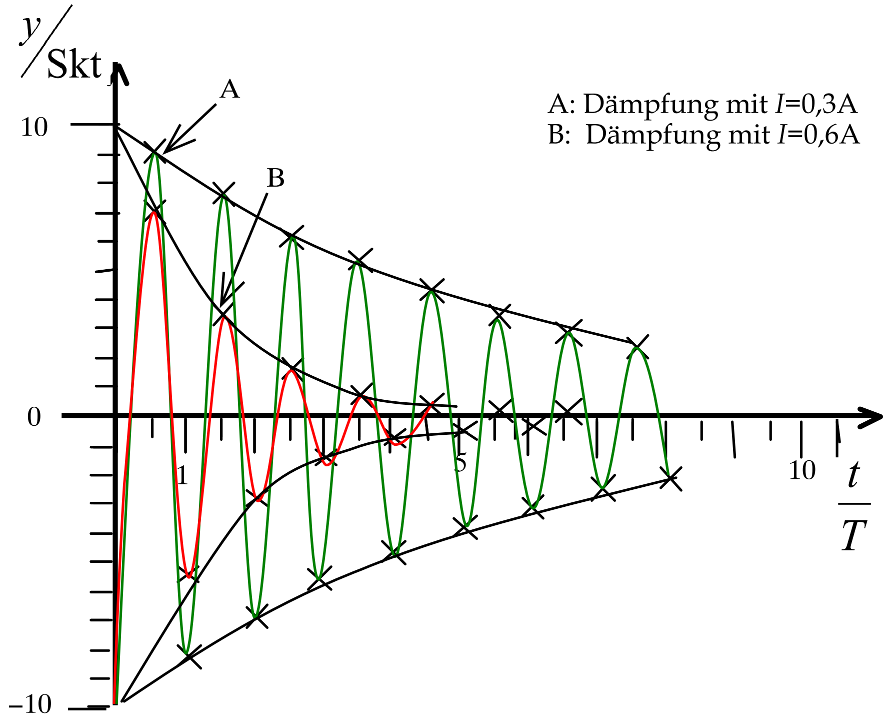
t/T	0	1	2	3	4	5	6	7	8
y/Skt(links)	10	7,0	3,5	1,6	0,8	0,4	0,2	/	/
t/T	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
y/Skt(rechts)	5,5	5,5	2,7	1,3	0,5	0,2	0,1	/	/

Tabelle 2: Amplitudenmessungen einer freien gedämpften Schwingung, Dämpfungsstrom: ***I=0,6A***

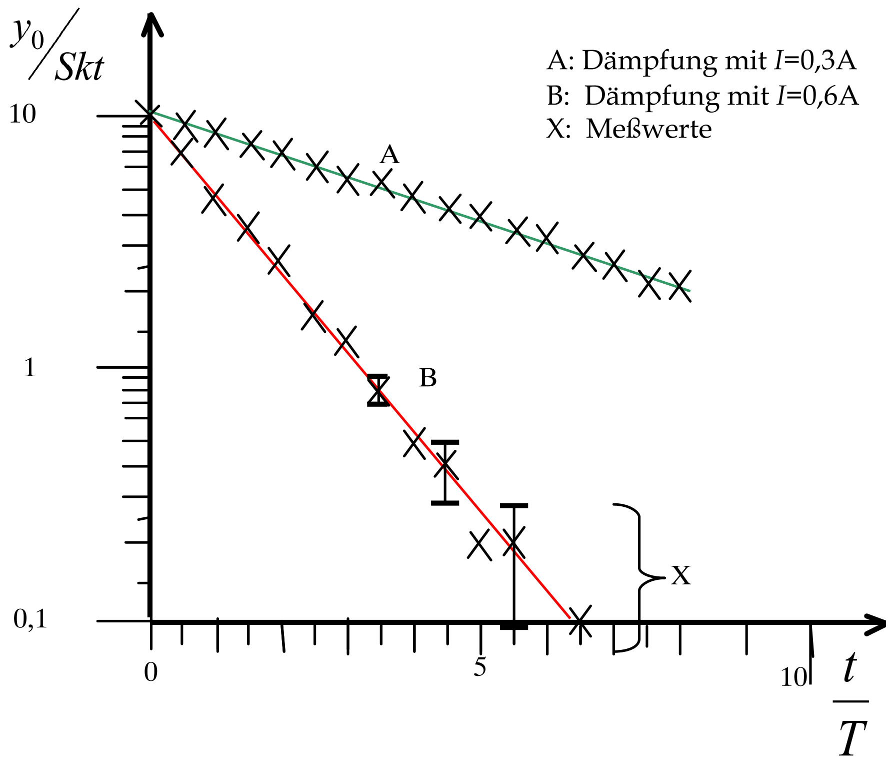
Aperiodischer Grenzfall: I_{Ap} zwischen 1,6A und 2,2A

Bemerkung: Nicht immer ist eine Wiederholung der Messwerte nötig, kann aber nötig werden, wenn das Messprotokoll schwer lesbar ist oder es der Übersichtlichkeit dient.

Graphische Auswertung zweier freier, gedämpfter Schwingungen



Graph 1: Abhängigkeit der Amplituden zweier freier, gedämpfter Schwingungen von der Periodenzahl



Graph 2: Verlauf der Amplituden zweier freier, gedämpfter Schwingungen als Funktion der Periodenzahl

Fehlerdiskussion:
Das Ablesen der Amplituden während der Bewegung war eine Herausforderung und ist deshalb mit einem höheren Fehler behaftet, als das Ablesen auf 0,1 SKT nahe legt, mindestens +/- 0,2 SKT.

Fazit:

Die grafische Darstellung der Amplituden in Abhängigkeit der Periodenzahl auf linearem Netz zeigt für beide gedämpften Schwingungen bereits einen nicht linearen Zusammenhang beider Größen; die Darstellung auf halblogarithmischem Netz bestätigt für beide Schwingungen einen exponentiellen Zusammenhang innerhalb der zu erwartenden Fehlergrenzen ($|\Delta y|$=0,2Skt wird angenommen), da sich durch die Messwerte eine Gerade als Ausgleichskurve legen lässt. Einige Fehlerbalken sind exemplarisch den Messwerten hinzugefügt.

Aufgabe 3: Resonanzkurve einer erzwungenen, gedämpften Schwingung

Einleitung, Aufbau, Durchführung und Rechnung:

Dem Aufbau in Aufgabe 2 wurde nun noch ein Motor zugeschaltet, der das „erzwingen“ übernahm.
Die Spannung des Erregermotors sollte als proportional zu seiner Frequenz angesehen werden; deshalb kann die Pendelamplitude als Funktion dieser Spannung die Resonanzkurve zeigen. Das Schwingungsverhalten wurde mit einer konstanten Dämpfung bei einem Strom von I=0,5A untersucht. Bei der ermittelten Resonanzstelle bei der Spannung U=7,3V wurde die Zeit für 50 Schwingungen gemessen. Daraus errechnet sich die Resonanzfrequenz zu:

$$T = \frac{t}{n} = \frac{95\,\mathrm{s}}{50} = \underline{\underline{1{,}90\,\mathrm{s}}} \quad \nu_{res} = \frac{1}{T} = \frac{1}{1{,}90\,\mathrm{s}} = \underline{\underline{0{,}526\,\mathrm{Hz}}} \quad \omega_{res} = 3{,}31\ \mathrm{s}^{-1}$$

Messwerte:

U/V	4	5	6	7	8	9	10	11	12
y/Skt(links)	0,8	0,9	1,2	1,9	1,5	1,0	0,7	0,5	0,4

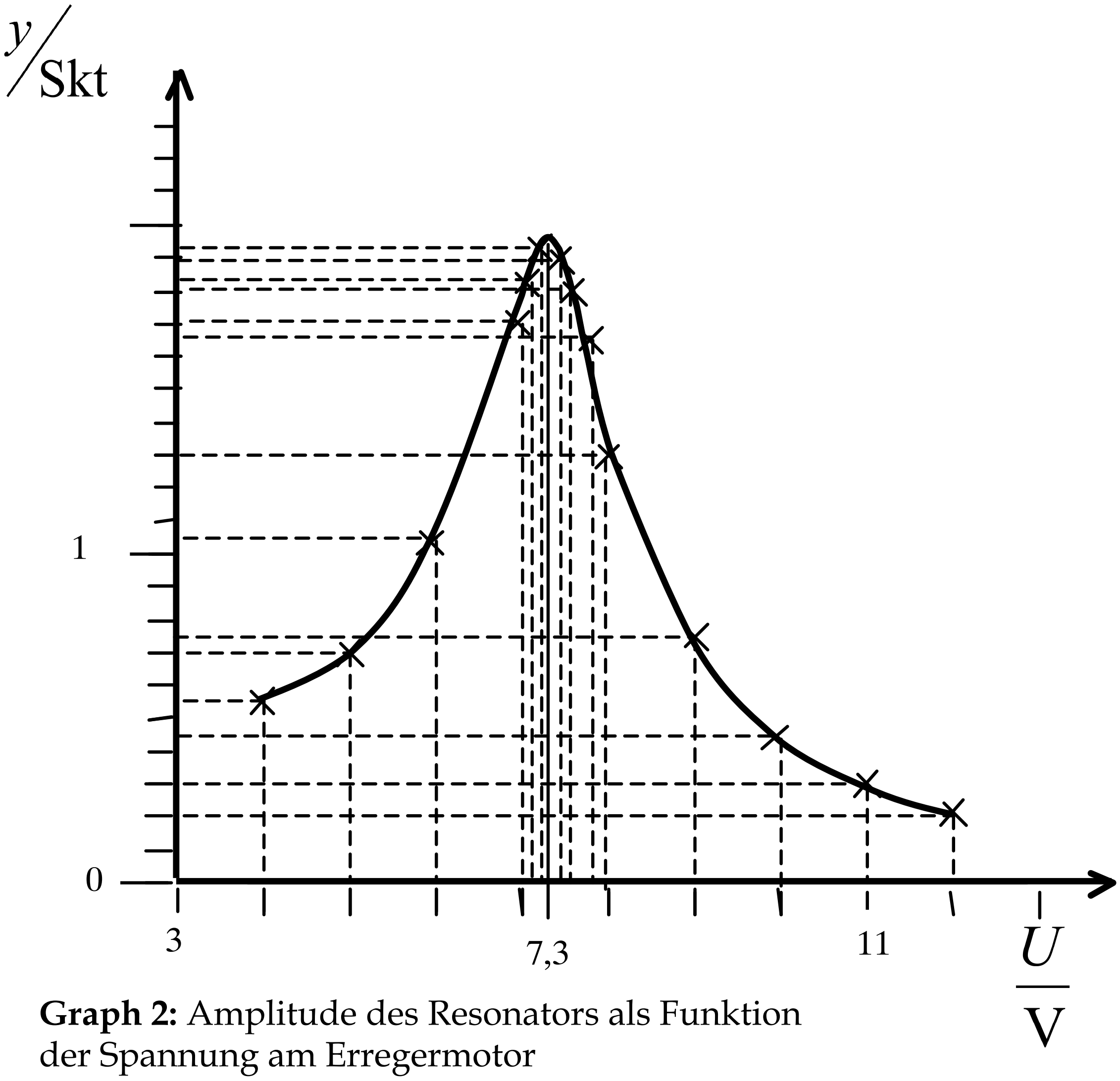
weitere Messwerte für den Resonanzbereich:

U/V	7,1	7,2	7,4	7,6	7,8	/
y/Skt(links)	2,1	2,2	2,2	2,0	1,9	/

Tabelle 3: Amplitudenmessungen einer erzwungenen gedämpften Schwingung, Dämpfungsstrom: ***I=0,5A***

Bemerkung: Nicht immer ist eine Wiederholung der Messwerte nötig, kann aber nötig werden, wenn das Messprotokoll schwer lesbar ist oder es der Übersichtlichkeit dient.

Graphische Auswertung der Meßwerte einer erzwungenen, gedämpften Schwingung



Graph 2: Amplitude des Resonators als Funktion der Spannung am Erregermotor

Fehlerdiskussion:
Da sämtliche Zeitmessungen mit der Handstoppuhr ausgeführt wurden, ist eine große Zahl von Schwingungen zu messen gewesen, um den Messfehler für die Angabe der Resonanzfrequenz gering zu halten. Neben diesem „menschlichen" Fehler kommen wie immer auch statistische Fehler zum tragen.
Ferner hat während des Versuchs die angezeigte Motorspannung um bis zu 0,5 V geschwankt.

Fazit:
Die Resonanzkurve wurde aufgenommen und zeigte den erwarteten Verlauf, die Resonanzfrequenz wurde zu $\nu_{res} = \underline{\underline{0{,}526\,\mathrm{Hz}}}\,;\omega_{res} = 3{,}31\,\mathrm{s}^{-1}$ bestimmt.

Der Vergleich der Eigenfrequenz des Drehpendels mit seiner Resonanzfrequenz zeigt im gedämpften Fall nur eine geringe Abweichung, siehe: $\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$.

Resümee:

Die Anfänglich durchgeführte Messung der Eigenfrequenz eines Drehpendels sollte wegen des kleinen relativen Fehlers als Referenz für den Vergleich der Resonanzfrequenz im gedämpften

Fall taugen. Der Vergleich zeigt dann doch nicht die Vergrößerung der Periode, wie sie aus der Theorie zu erwarten ist.

Dagegen ergeben in halblogarithmischer Darstellung die Graphen der Amplitudenverläufe beider gedämpfter Schwingungen die typische exponentielle Abhängigkeit der Amplitude von der Zeit. Auch der Graph der Resonanzkurve zeigt einen charakteristischen Verlauf, woraus sich nachträglich der gebildete Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung am Erregermotor und der aufgenommenen Amplitude legitimiert, der einen linearen Zusammenhang zwischen Betriebsspannung und Drehfrequenz vorausgesetzt hat.