Karlsruher Institut für Technologie

KIT-Fakultät für Physik
Institut für Experimentelle Teilchenphysik
Institut für Theorie der Kondensierten Materie
Prof. Dr. Ulrich Husemann (ETP)
Dr. Nils Faltermann (ETP)
Dr. Andreas Poenicke (TKM)

Praktikum: Computergestützte Datenauswertung

Sommersemester 2021

Übungsblatt Nr. 7 Bearbeitung bis: 14.07., 18 Uhr

Aufgabe 7.1: Datenauswertung und „Musterprotokoll"

In dieser Abschlussaufgabe soll nun das Erlernte der vergangenen Übungen kombiniert werden. Ziel ist eine vollständige Versuchsauswertung, wie sie z.B. im Praktikum gefordert wird.

Bei größeren Versuchen wird die Auswertung häufig in Form eines LaTeX-Dokuments festgehalten. Hier verzichten wir auf diese zusätzliche Komplikation, die gesamte Auswertung soll in Form eines Jupyter-Notebooks durchgeführt werden. Das Notebook soll dabei durch „Markdown"-Zellen mit den Beschreibungen, d.h. Text und Gleichungen, strukturiert und dokumentiert werden.

Aufgabe ist die Bestimmung der Erdbeschleunigung g mit Hilfe einer Feder.

Die Bestimmung geschieht dabei in zwei Schritten:

a) In einem ersten Schritt wird dazu zunächst aus einer ersten Messung die Federkonstante D der Feder bestimmt: Eine bekannte Masse M wird an der Feder angebracht und in Schwingung versetzt. Aus der Periodendauer der Schwingung lässt sich nun die Federkonstante D ermitteln.

b) Mit dieser Information kann nun in einem zweiten Schritt aus einer weiteren Messreihe die gesuchte Erdbeschleunigung g bestimmt werden: Es wird die Auslenkungen s derselben Feder unter Last sehr genau bekannter Massen m_i gemessen. Durch die Anpassung des bekannten Zusammenhangs zwischen Auslenkung und wirkender Kraft an diese Messdaten wird nun am Ende g bestimmt.

Zur Erinnerung die **benötigten Formeln**:

Die Schwingungsfrequenz $\nu = \omega/(2\pi)$ der Schwingung einer Masse an einer Feder mit der Federkonstanten D ist gegeben über die Kreisfrequenz

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m_{\mathrm{eff}}}}\,, \tag{1}$$

wobei m_{eff} die effektive bewegte Masse ist. Sie ergibt sich aus der angehängten Masse M und der Federmasse M_{F}:

$$m_{\mathrm{eff}} = M + \frac{1}{3}M_{\mathrm{F}}\,. \tag{2}$$

Der Zusammenhang zwischen der auf das Ende der Feder wirkenden Kraft F und der Auslenkung s der Feder ist gegeben durch

$$F = D\,s\,. \tag{3}$$

Wenn die Kraft durch die Schwerkraft einer angehängten Masse m erzeugt wird, gilt dann also

$$s = \frac{m}{D}\,g\,. \tag{4}$$

a) Bestimmen Sie zunächst die Frequenz der Schwingung aus den Daten in der Datei `HandyPendel.csv`. Diese Daten wurden durch Auslesen des Beschleunigungssensors eines Mobiltelefons mit der App `phyphox` gewonnen. Das Handy mit der Masse $M = 141{,}74\,\mathrm{g}$ wurde dazu an der Feder mit der Masse $M_\mathrm{F} = 15{,}40\,\mathrm{g}$ befestigt und in vertikale Schwingungen versetzt[1].

   Eine sehr genaue Bestimmung der Frequenz gelingt durch eine Autokorrelationsanalyse der Schwingungsdaten. Dazu können Sie sich an den Beispielen aus der 19. Online-Vorlesung orientieren. Die Unsicherheit der Frequenzbestimmung erhalten Sie am einfachsten wie im Beispiel aus der Streuung der Abstände zwischen den Maxima bzw. Minima der Autokorrelationsfunktion (siehe auch Übungsaufgabe 5.2). Die Messungen der Massen wurden mit einer sehr präzisen Waage mit einer Genauigkeit von $\pm 0{,}1\,\mathrm{g}$ durchgeführt.

   Bestimmen Sie die Federkonstante D und deren Unsicherheit. Wenden Sie dazu das lineare Fehlerfortpflanzungsgesetz für unkorrelierte Unsicherheiten an um aus der Unsicherheit der Frequenz- und Massenmessungen die Unsicherheit von D zu bestimmen.

b) Die Datei `Messtabelle.txt` enthält die Daten der zweiten Messreihe: Die Auslenkungen s_i (in cm) gemessen mit einer Genauigkeit von $\pm 0{,}2\,\mathrm{cm}$, bei verschiedenen angehängten Massen m_i (in g). Die Massenmessung hatte wieder eine Genauigkeit von $\pm 0{,}1\,\mathrm{g}$.

   Lesen Sie die Daten der Messreihe in `numpy-arrays` ein und führen Sie mit `PhyPraKit.k2Fit` oder `kafe2` eine Anpassung analog zum Beispiel `ausgleichsgerade.py` aus der sechsten Videokonferenz durch. Sie können dazu den Zusammenhang $s(g)$ aus Gleichung (4) direkt als Fit-Funktion implementieren. Bestimmen Sie so die Erdbeschleunigung g und deren Unsicherheit.

   Begründen Sie, warum für die Unsicherheit auf das Ergebnis für g weder die Unsicherheiten der Federkonstanten D aus Aufgabenteil a) noch die Unsicherheiten der Massenmessungen von m_i berücksichtigt werden müssen.

   Tipp: Zur Überprüfung könnten Sie die Anpassung für Werte von $D + \Delta D$ bzw. $D - \Delta D$ durchführen und die Veränderung des Ergebnisses für g mit der Unsicherheit Δg vergleichen.

   Freiwillig: Sollten Sie diese Unsicherheiten berücksichtigen wollen, so können Sie die Unsicherheiten der Massenmessungen Δm_i als x-Fehler in `kafe2` angeben. Die Unsicherheiten auf die Federkonstante D kann als *Einschränkung* in der Anpassung berücksichtigt werden. Dazu wird zunächst D als weiterer anzupassender Parameter in die Fit-Funktion eingeführt und dann mit Hilfe der Funktion `kafe2.fit.add_parameter_constraint()` auf den gemessenen Wert innerhalb seiner Unsicherheit eingeschränkt[2].

c) Erstellen Sie ein kurzes Protokoll, in dem Sie Ihr Jupyter-Notebook um beschreibenden Text erweitern: In dem Protokoll sollen dabei die Ergebnisse aus den Aufgabenteilen a) und b) festhalten werden. Zeigen Sie jeweils Grafiken der Eingangsdaten, die Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Abstände der Minima und Maxima der Autokorrelationsfunktion und das Ergebnis der Anpassung mit `PhyPraKit.k2Fit` oder `kafe2`. Dokumentieren Sie die Fehlerrechnung zu Aufgabenteil a) mit LaTeX-Gleichungen in Markdown und evtl. das Ergebnis der freiwilligen Studie zur vollständigen Analyse der eingehenden Unsicherheiten.

---

[1] Der Sensor misst die Beschleunigung in alle drei Raumrichtungen. Überlegen Sie sich, welche Spalte der Datei die Auslenkung in Schwingungsrichtung repräsentiert.

[2] Die Parametereinschränkung ist ein etwas vereinfachter Weg die Unsicherheit zu berücksichtigen. Eine bessere Beschreibung z.B. über Beiträge zu χ^2 geht leider über diese Vorlesung hinaus.