KIT-Fakultät für Physik
Institut für Experimentelle Teilchenphysik
Prof. Dr. Ulrich Husemann
Dr. Michael Waßmer

Übungen zu Klassische Experimentalphysik I

Wintersemester 2021/22

Übungsblatt Nr. 1

Abgabe bis 01.11.2021, 12:00

Wichtig: Falls nicht schon geschehen, treten Sie bitte dem Kurs auf der ILIAS-Kursseite

`https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_1588539&client_id=produktiv`

bei. Dort finden Sie alle aktuellen Informationen und Materialien zum Kurs. Wir nutzen das ILIAS-System um mit Ihnen per E-Mail in Kontakt zu treten. Bitte checken Sie deshalb **regelmäßig** Ihr KIT-E-Mail-Postfach, z.B. unter

`https://owa.kit.edu/owa/`.

Ihre E-Mail-Adresse ist in aller Regel durch Ihr KIT-Studierendenkürzel gegeben, also `uXYXY@student.kit.edu`. Falls Sie aktuell noch keinen Zugang zum ILIAS-System haben, finden Sie alle notwendigen Information auch unter

`https://etpwww.etp.kit.edu/~mwassmer/Ex1/`.

Bekanntgabe der Einteilung der Übungen/Tutorien im Laufe des 25.10.2021: Die Einteilung der Tutorien wurde auf oben genannter Webseite und auf der ILIAS-Kursseite unter „Aktuelles“ veröffentlicht. Im Ordner „Übungen/Tutorien“ sehen Sie nummerierte Gruppen mit dem Namensschema „Tutorium X“. Treten Sie jenem Tutorium bei, welches die gleiche Nummer hat wie die Übungsgruppe in welche Sie eingeteilt wurden. Der Beitritt funktioniert nicht sofort, sondern muss von Ihrem Gruppenadministrator (ihr/e Tutor/in) bestätigt werden. Nach der Bestätigung sind Sie Teil der zugehörigen Tutoriums-Gruppe. Nach ein paar Tagen werden die anderen sichtbaren Tutoriums-Gruppen für Sie wieder unsichtbar. Zur Abgabe ihrer Lösungen navigieren Sie in Ihre Tutoriums-Gruppe und wählen das passende Übungsblatt aus. Sie können Ihre Lösungen in Gruppen von bis zu drei Personen desselben Tutoriums abgeben. Falls Sie die Blätter alleine abgeben möchten, müssen Sie eine Gruppe bestehend aus einer Person erzeugen. Eine kurze Anleitung zur Abgabe von Übungsblättern in Form von Bildern finden Sie in ILIAS unter „Übungen/Tutorien“ → „Allgemeine Informationen und Hilfestellungen“.

Aufgabe 1: Zufallszahlen und Histogramme 6 Punkt(e)

Wichtig: *Die folgende Aufgabe enthält zwei alternative Aufgabenstellungen. Lesen Sie die Aufgabe sorgfältig durch, bevor Sie mit der Bearbeitung beginnen. Ein Teil der Aufgabenstellungen bringt Sie mit der Programmiersprache Python in Berührung. Falls dies nicht gewünscht ist, ist das kein Problem. Beide Alternativen ergeben die gleiche Anzahl an Punkten!*

Während Ihrer Laufbahn als Wissenschaftler/innen werden Ihnen an verschiedenen Stellen Zufallszahlen begegnen.

Verschiedene kleine Effekte beeinflussen zum Beispiel die Messung von Größen auf zufällige Art und Weise. Dadurch kann eine wiederholte Messung der gleichen Größe zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Diese Abweichungen sind Zufallszahlen und daher ist auch die gemessene Größe selber eine Zufallszahl. Das Ausmaß dieser Abweichungen wird durch die statistische Unsicherheit des Ergebnisses quantifiziert.

Zufallszahlen werden auch zur Berechnung verschiedener Größen benötigt, von der numerischen Berechnung komplizierter Integrale bis zur Vorhersage der Ergebnisse von Experimenten der Teilchenphysik.

Für gewöhnlich folgen Zufallszahlen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung, welche unter anderem durch den Mechanismus ihrer Erzeugung bestimmt ist. Sind alle Zufallszahlen gleich wahrscheinlich, wie etwa bei einem fairen Würfel, folgen diese einer Gleichverteilung. Falls ein Ergebnis von vielen Zufallszahlen abhängt, folgt die Verteilung vieler Ergebnisse häufig einer Normalverteilung (auch Gaußverteilung genannt). (Dies folgt aus dem zentralen Grenzwertsatz, welcher zum Beispiel auf Wikipedia beschrieben ist.)

Verteilungen von Zufallszahlen werden oftmals als Histogramme dargestellt. Hierfür werden die möglichen Zahlen in sogenannte „Bins“ sortiert. Bei einem sechsseitigen Würfel bieten sich sechs Bins für die sechs verschiedenen Augenzahlen an. Auch bei anderen Verteilungen, zum Beispiel solchen mit nicht-diskreten Zufallszahlen, bietet es sich an die möglichen Ergebnisse in Intervalle einzuteilen. Die Bins werden dann auf der x-Achse aufgetragen, während die Häufigkeiten der Ergebnisse in den jeweiligen Bins auf der y-Achse aufgetragen werden. Unzählige Einführungen in das Thema „Histogramme“ finden Sie auch im Internet.

Oftmals ist es unpraktisch oder unmöglich die Zufallszahlen von Hand mit einem „Würfel“ zu erzeugen. Mögliche Gründe hierfür sind zum Beispiel die Folgenden:

- Sie haben keinen **fairen** Würfel.
- Sie haben keinen „Würfel“ der benötigten Wahrscheinlichkeitsverteilung.
- Die benötigte Zahl an Zufallszahlen ist sehr groß.

In diesen Fällen werden die Zufallszahlen mittels eines Zufallszahlengenerators und dem Computer erzeugt.

In dieser Aufgabe werden Sie einen sechsseitigen Würfel nehmen und 15 Sets („Messreihen“) mit jeweils sechs Zufallszahlen erzeugen. Anschließend werden Sie die Verteilungen sowohl aller Zufallszahlen als auch der Mittelwerte jedes Sets als Histogramme darstellen. Gehen Sie hierfür wie folgt vor:

1) Überlegen Sie sich zunächst, was Sie für diese beiden Verteilungen erwarten. Benennen Sie die erwarteten Verteilungen und geben Sie ihre Erwartung für deren Mittelwerte an (keine Rechnung notwendig).
2) Ab hier haben Sie zwei Möglichkeiten a) **oder** b) (Sie müssen nur **eine** bearbeiten):
   a) Bearbeiten Sie die Aufgabe „von Hand“:
      i) Erwürfeln Sie 15 Sets mit jeweils 6 Zufallszahlen mit einem gewöhnlichen sechseitigen Würfel und notieren Sie sich die Ergebnisse. (Sollten Sie keinen Würfel besitzen, kann man im Internet virtuelle Würfel finden oder Sie verwenden eine App auf ihrem Smartphone.)
      ii) Histogrammieren Sie alle Würfe in einem Histogramm und die Mittelwerte der einzelnen Sets in einem Histogramm.
      iii) Vergleichen Sie die Ergebnisse mit Ihrer Erwartung. Folgen die Ergebnisse den erwarteten Verteilungen? Begründen Sie ihre Antwort.
   b) Ein Python-Notebook zum Werfen der Würfel und zum Erzeugen der Histogramme ist verfügbar und kann unter

      `https://mybinder.org/v2/git/https%3A%2F%2Fgit.scc.kit.edu%2Foa1379%2Fklaexpi-ws2122-notebooks/main?labpath=uebung01%2FUebung01_A1.ipynb`

      ausgeführt werden. Es kann etwas dauern bis die Python-Umgebung aufgesetzt wurde. Nach dem Ladevorgang sollten Sie direkt zum Python-Notebook geleitet werden und dies ausführen können. Mit dem „Play“-Button können nun die einzelnen Zellen des Notebooks laufen lassen. Weitere Hilfen zum Umgang mit Python-(Jupyter)-Notebooks finden Sie an unzähligen Stellen im Internet.
      i) Erzeugen Sie die Würfe und die Histogramme durch Ausführen des Programmes.
      ii) Vergleichen Sie die Ergebnisse mit Ihrer Erwartung. Folgen die Ergebnisse den erwarteten Verteilungen? Begründen Sie ihre Antwort.
      iii) Variieren Sie unabhängig voneinander die Anzahl der Sets, die Anzahl der Würfe und die Anzahl der Seiten des „Würfels“. Wie verändern sich die Ergebnisse wenn Sie:
         A. 80 mal pro Set würfeln?
         B. 100 Sets mit je 6 Würfen erzeugen?
         C. einen 10-seitigen Würfel verwenden?

Aufgabe 2: Erdbeschleunigung 1 4 Punkt(e)

Stellen Sie sich folgendes Experiment vor:

Zwei Wissenschaftlerinnen wollen die Erdbeschleunigung g mit Hilfe einer fallenden Stahlkugel in einer evakuierten Röhre, die in einer Halle steht, messen. Mit Hilfe eines Meterstabes wird die Höhe der Röhre einmalig vermessen. Eine Wissenschaftlerin steht auf einer Plattform oben an der Röhre und hält die Kugel, die andere steht unten. Die Untenstehende ruft: „Los!“ und startet eine Zeiger-Stoppuhr. Die Obenstehende lässt die Kugel fallen. Beim Aufprall wird die Stoppuhr elektronisch mittels einer Lichtschranke (Kabellänge 10 m) gestoppt.

Nennen Sie mindestens drei Unsicherheiten, die das Messergebnis beeinflussen könnten. Beschreiben Sie kurz statistische und systematische Unsicherheiten und deren Unterschied. Klassifizieren Sie die von Ihnen gefundenen Unsicherheiten als systematisch oder statistisch.

Hilft es, die Höhe der Röhre mehrfach zu vermessen und den Mittelwert der Messungen zu benutzen?

(*Ohne Bewertung*) Wie könnte man die Messgenauigkeit erhöhen?

Aufgabe 3: Erdbeschleunigung 2 6 Punkt(e)

Zwei Gruppen von Studierenden wollen die Erdbeschleunigung g mit Hilfe eines schwingenden Fadenpendels bestimmen. Dabei ist g gegeben durch $g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$. Ein Maßstab mit Millimetereinteilung und eine elektronische[1] Stoppuhr mit einer Genauigkeit von 0,001 s stehen zur Verfügung. Die Länge l des Pendels wird durch das Ablesen auf der Skala des Maßstabs, die Periodendauer T durch Messung der Zeit zwischen zwei Durchgängen des Pendels durch die Ruhelage (aus gleicher Richtung) bestimmt.

Gruppe 1 ermittelt diese Werte durch Messreihen von je 20 Werten für T und l und bestimmt g aus den Mittelwerten $\langle T \rangle$ und $\langle l \rangle$ (siehe untenstehende Tabelle).

[1] Messung mittels Lichtschranke

Messung	l (cm)	T (s)
1	79,90	1,795
2	80,00	1,792
3	79,95	1,794
4	79,95	1,794
5	80,10	1,795
6	80,00	1,793
7	79,95	1,795
8	80,00	1,794
9	80,00	1,793
10	80,05	1,795
11	80,00	1,795
12	80,00	1,792
13	79,95	1,794
14	79,95	1,793
15	80,10	1,796
16	80,00	1,793
17	79,95	1,795
18	79,95	1,793
19	80,05	1,796
20	80,00	1,795

Gruppe 2 erachtet diesen Aufwand als völligen Blödsinn und ermittelt T und l aus jeweils einer einzigen Messung. Sie erhält dabei gerade genau die Werte, die Gruppe 1 als Mittelwerte bestimmt hat. Dies legt doch nahe, dass beide Messungen gleich genau sind, oder?

Berechnen Sie für die Messergebnisse von Gruppe 1 die Mittelwerte $\langle T \rangle$ und $\langle l \rangle$ und die Unsicherheiten der Mittelwerte. Die Messwerte von Gruppe 1 sind auch als Tabelle im Dateiformat CSV (comma separated values) im ILIAS (`Uebung01_A3_Messwerte.csv`) oder auf der Webseite

`https://etpwww.etp.kit.edu/~mwassmer/Ex1/uebungen/uebung01/Uebung01_A3_Messwerte.csv`

zu finden und können zum Beispiel mittels Python oder Excel verarbeitet werden. Vergleichen Sie die erhaltenen Unsicherheiten mit den in der Aufgabenstellung angegebenen Genauigkeit des Maßstabes und der Stoppuhr. Welche Werte erhalten die beiden Gruppen für g?

Überlegen Sie sich, welche Unsicherheiten das Ergebnis für die Erdbeschleunigung beeinflussen könnten. Geben Sie mindestens zwei Unsicherheiten an und klassifizieren Sie die Unsicherheiten als systematisch oder statistisch. Diskutieren Sie kurz die **Richtigkeit** und die **Präzision** der Ergebnisse beider Gruppen.

Aufgabe 4: Der sportliche Professor 4 Punkt(e)

Der Professor läuft eine Treppe mit vier Stufen hinauf, vom Boden des Gerthsen-Hörsaals A zur Bühne B.[2] Die horizontale Bewegung jedes Schrittes (für jede Stufe) sei gegeben durch den Vektor $\vec{a}$ und die vertikale Bewegung durch den Vektor $\vec{b}$ mit

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 25\,\text{cm} \\ 0 \end{pmatrix}, \qquad \vec{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 15\,\text{cm} \end{pmatrix}.$$

a) Zeichnen Sie das zugehörige Ortsdiagramm.

b) Geben Sie die Nettobewegung (Vektor), ihren Betrag und den Steigungswinkel an.

[2]Dies hätten Sie unter normalen Umständen live erleben können. Leider ist in diesem Semester der Gerthsen-Hörsaal wegen Renovierungsarbeiten gesperrt.