



### Aufgabe 1

Simulieren Sie das gesamte Planetensystem bestehend aus der Sonne und allen 9 Planeten über mindestens einen Pluto-Umlauf ! Betrachten Sie das Problem als eben (nur zwei Dimensionen), aber wählen Sie die Anfangsbedingung so, dass Sie für jeden Planeten einzeln und bei Vernachlässigung der Sonnen-Mitbewegung eine elliptische Bahn um die Sonne mit der bekannten großen Bahnhalfachse  $a$  und Exzentrizität  $\epsilon$  erhalten würden (Parameter sind umseitig tabelliert) !

Verwenden Sie hierbei das Runge-Kutta-Verfahren vierter Ordnung und wählen Sie  $\Delta t$  geeignet, so dass die Merkur-Bahn über den betrachteten Zeitraum stabil bleibt. Damit Ihnen das Sonnensystem während der Simulation nicht wegläuft, sollten Sie die Anfangsgeschwindigkeit der Sonne so wählen, dass der Gesamtimpuls des Sonnensystems verschwindet.

Die Bahnkurven sollten Sie sich auch grafisch ansehen. Dazu können Sie z.B. die Koordinaten in eine Datei schreiben und anschließend plotten. Alternativ können Sie auch eine Animation erzeugen. In letzterem Fall sollten Sie zwei Grafiken anfertigen, von denen eine alle Planeten zeigt und die zweite nur die inneren 4 (bis einschließlich Mars) !

#### Bemerkungen:

- i. Die IAU hat zwar entschieden, Pluto nicht mehr zu den Planeten zu zählen, sondern nur noch als Zwergplanet. Wir nehmen ihn trotzdem zu der Simulation hinzu. Erstens ist es nicht besonders aufwändig, ein Objekt mehr zu berücksichtigen. Zweitens hat Pluto eine schön exzentrische und geneigte Bahn.
- ii. Implementierungen des Runge-Kutta-Verfahrens vierter Ordnung in Java und C(++) werden Ihnen zusammen mit diesem Übungszettel zur Verfügung gestellt. Sie können es natürlich auch gerne selbst implementieren.

### Aufgabe 2

**(optional)** Führen Sie eine volle dreidimensionale Simulation des Sonnensystems durch unter Berücksichtigung der bekannten Neigung der Bahn-Ebenen (umseitig tabelliert) ! Fertigen Sie mehrere Grafiken an, die die Projektionen der Bahnkurven auf die  $x$ - $y$ - und  $x$ - $z$ -Ebenen zeigen !

### Aufgabe 3

Berechnen Sie während der Simulation nach Aufgabe 1 (oder Aufgabe 2) den Bahnradius der Sonne  $r_S(t) = |\vec{r}_S(t)|$  und schreiben Sie die Zeit  $t$  und  $r_S(t)$  in eine Datei ! Plotten Sie  $r_S(t)$  und interpretieren Sie das Ergebnis !

<b>Planet</b>	<b>Masse</b>	<b>Große Halbachse <math>a</math></b>	<b>Exzentrizität <math>\epsilon</math></b>	<b>Bahnneigung</b>	<b>Umlaufdauer</b>
Merkur	$0,055 m_E$	$0,39 AU$	$0,206$	$7,0^\circ$	$0,24 yr$
Venus	$0,815 m_E$	$0,72 AU$	$0,007$	$3,4^\circ$	$0,65 yr$
Erde	$m_E^*$	$1 AU$	$0,017$	$0^\circ$	$1 yr$
Mars	$0,107 m_E$	$1,52 AU$	$0,093$	$1,85^\circ$	$1,88 yr$
Jupiter	$318,0 m_E$	$5,20 AU$	$0,048$	$1,30^\circ$	$11,86 yr$
Saturn	$95,2 m_E$	$9,54 AU$	$0,056$	$2,49^\circ$	$29,46 yr$
Uranus	$14,5 m_E$	$19,18 AU$	$0,047$	$0,77^\circ$	$84,01 yr$
Neptun	$17,2 m_E$	$30,06 AU$	$0,009$	$1,77^\circ$	$164,79 yr$
Pluto	$0,0022 m_E$	$39,44 AU$	$0,250$	$17,2^\circ$	$247,7 yr$

$$* G m_E = 1,19 \cdot 10^{-4} \frac{AU^3}{yr^2}$$

Um Ihnen Tipparbeit zu ersparen, können Sie den wesentlichen Inhalt dieser Tabelle als Datei planeten zusammen mit diesem Übungsblatt herunterladen.