

## ΦΥΣ 140 – Εισαγωγή στην Επιστημονική Χρήση Υπολογιστών

### 3<sup>η</sup> Εργασία

Επιστροφή: 13/10/2023

**Υπενθύμιση:** Οι εργασίες πρέπει να επιστρέφονται με e-mail στο [fotis@ucy.ac.cy](mailto:fotis@ucy.ac.cy) που θα στέλνεται από το πανεπιστημιακό σας λογαριασμό το αργότερο μέχρι την ημερομηνία που αναγράφεται.

Ως subject του e-mail θα πρέπει να αναγράφεται την εργασία (username\_phy140\_hmX όπου X ο αριθμός της εργασίας)

Κάθε αρχείο που επισυνάπτετε (attach) στο e-mail σας θα πρέπει να έχει το όνομα στη μορφή username\_hmX.tgz όπου username είναι το username του e-mail σας και X ο αριθμός της εργασίας. Επίσης σαν πρώτο σχόλιο μέσα σε κάθε file που περιέχει το πρόγραμμά σας θα πρέπει να αναφέρεται το ονοματεπώνυμό σας. Οι εργασίες είναι ατομικές και πανομοιότυπες εργασίες δε θα βαθμολογούνται. Για να κάνετε ένα tgz file (ουσιαστικά tar zipped file) θα πρέπει να δώσετε στο terminal την εντολή `tar -czvf username_hmX.tgz *.py` όπου py είναι όλα τα py files των προγραμμάτων σας.

1. Το αποτέλεσμα ενός υπολογισμού είναι ένα σύνολο σημείων που σχηματίζουν μια καμπύλη. Κάθε σημείο αντιπροσωπεύεται από ένα ζεύγος συντεταγμένων  $(x, y)$ . Το σύνολο αυτό των σημείων είναι αποθηκευμένο σε ένα αρχείο με την  $x$  συντεταγμένη του κάθε σημείου ως την 1<sup>η</sup> στήλη και την  $y$  συντεταγμένη ως την 2<sup>η</sup> στήλη. Συγκεκριμένα, το περιεχόμενο του αρχείου μοιάζει με το ακόλουθο:

```
# File with (x,y) data
#
x = 0.102871   y = 8.12134
x = 0.113526   y = 7.98211
x = 0.132912   y = 2.67152
```

Το αρχείο μπορεί να περιέχει στην αρχή κάποιες γραμμές με σχόλια οι οποίες ξεκινούν με το σύμβολο # στην αρχή της γραμμής. Να γράψετε ένα πρόγραμμα το οποίο περιέχει μια συνάρτηση το όνομα της οποίας είναι **readme**, που δέχεται σαν όρισμα το όνομα του αρχείου το οποίο δίνει ο χρήστης στο κύριο πρόγραμμα από το πληκτρολόγιο και επιστρέφει τα δεδομένα για τις συντεταγμένες  $x$  και  $y$  ως στοιχεία για δύο *lists*  $x$  και  $y$ . Το κύριο πρόγραμμά σας θα πρέπει να τυπώνει στην οθόνη τις συντεταγμένες που διαβάσατε σε δύο στήλες με την μορφή  $(x.xxx, y.yyy)$  όπου οι αριθμοί  $x$  και  $y$  έχουν 3 και 4 δεκαδικά ψηφία και μήκος 5 και 6 ψηφίων αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας αυτά που μάθατε στις ασκήσεις της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> κατ' οίκον εργασιών, να κάνετε το γράφημα της καμπύλης με βάση τις συντεταγμένες των σημείων που διαβάσατε.

2. Υποθέστε ότι τα δεδομένα στην προηγούμενη άσκηση αντιπροσωπεύουν κάποια ποσότητα  $y$  που ταλαντώνεται συναρτήσει του  $x$ . Ενδιαφερόμαστε να προσδιορίσουμε όλα τα τοπικά μέγιστα της καμπύλης και τις αποστάσεις μεταξύ των  $x$ -θέσεων των μεγίστων που βρίσκουμε. Οι αποστάσεις αυτές αντιπροσωπεύουν την περίοδο των ταλαντώσεων, ενώ τα μέγιστα αντιστοιχούν στο πλάτος των ταλαντώσεων. Γράψτε ένα πρόγραμμα στην Python το οποίο χρησιμοποιεί μια συνάρτηση **findmax** που δέχεται τις  $x$  και  $y$  συντεταγμένες ως ορίσματα τύπου

array, και επιστρέφει τα σημεία που αντιστοιχούν στα μέγιστα καθώς και τις αποστάσεις μεταξύ τους. Σημειώστε ότι ένα τοπικό μέγιστο συμβαίνει σε μια θέση  $x[k]$  όταν  $y[k-1] < y[k] > y[k+1]$ .

Για σκοπούς ελέγχου του προγράμματός σας, θεωρήστε ότι οι συντεταγμένες των σημείων προέρχονται από την καμπύλη της συνάρτησης  $f(x) = e^{-0.1x} \cos(2\pi x)$ , όπου το  $x$  παίρνει τιμές στο διάστημα  $[0,10]$  δευτερόλεπτα με βήμα 0.1. Βρείτε όλα τα τοπικά μέγιστα και τις αντίστοιχες αποστάσεις τους. Θα πρέπει να βρείτε επίσης την μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή ανάμεσα σε αυτά τα τοπικά μέγιστα και να τις τυπώσετε στην οθόνη με ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων. Χρησιμοποιώντας αυτά που χρησιμοποιήσατε στην 1<sup>η</sup> άσκηση της 1<sup>ης</sup> κατ' οίκον εργασίας, να κάνετε το γράφημα της καμπύλης με βάση τις συντεταγμένες των σημείων που έχετε δημιουργήσει καθώς και την καμπύλη των μεγίστων συναρτήσει της θέσης  $x$  που βρέθηκε.

3. Πολλές φορές χρειάζεται να ψάξουμε για έναν συγκεκριμένο συνδυασμό αριθμό ή χαρακτήρων σε μια πολύ μακριά γραμματοσειρά (string). Για παράδειγμα μπορεί να έχετε ένα string της μορφής *gen* = 'AGTCAATGGAATAGGCCAAGCGAATATTTGGGCTACCA'.

(α) Γράψτε μια συνάρτηση *freq(letter, text)* η οποία θα επιστρέφει τη συχνότητα του χαρακτήρα *letter*, στο string *text*, δηλαδή τον αριθμό των εμφανίσεων του χαρακτήρα διαιρεμένο με το μήκος του *string*. Καλέστε την συνάρτηση *freq* για να βρείτε τη συχνότητα εμφάνισης του χαρακτήρα *C* και *G* στο string *gen* που δόθηκε παραπάνω. [2μ]

(β) Γράψτε μια συνάρτηση *pairs(letter, text)* η οποία μετρά πόσες φορές ένα ζεύγος χαρακτήρων του χαρακτήρα *letter* (π.χ. CC, ή GG) εμφανίζεται στο string *text*. Χρησιμοποιήστε την συνάρτηση που γράψατε για να βρείτε πόσες φορές εμφανίζεται το ζεύγος *AA* στην παραπάνω string *gen*. [2μ]

(γ) Γράψτε μια συνάρτηση *mystruct(text)* η οποία μετρά το πλήθος συγκεκριμένων δομών χαρακτήρων μέσα στο string *text*. Η δομή αποτελείται από το χαρακτήρα *G* ακολουθούμενο από τον χαρακτήρα *A* ή *T* έως ότου υπάρξει ένα διπλό *GG*. Για παράδειγμα μπορείτε να δείτε ως *text* = GAATAGG ή *text* = GAATATTTGG. [6μ]

4. Σε μια πειραματική άσκηση στην οποία θέλετε να προσδιορίσετε την ταχύτητα του ήχου στον αέρα χρησιμοποιείτε ένα χρονόμετρο χειρός και μετράτε τον χρόνο που περνά από την στιγμή που ακούτε τον πυροβολισμό ενός πιστολιού μέχρι να ακούσετε τον αντίλαλο από την ανάκλαση του ήχου σε ένα υψηλό εμπόδιο σε κάποια απόσταση  $d$  από το σημείο του πυροβολισμού. Τα αποτελέσματά σας έχουν καταγραφεί σε ένα αρχείο το οποίο βρίσκεται στο link: <https://ptohos.github.io/phy140/sound.dat>

(α) Χρησιμοποιώντας το αρχείο αυτό να γράψετε ένα πρόγραμμα το οποίο διαβάξει τις τιμές του αρχείου και τις αποθηκεύει σε κάποια λίστα. Θεωρήστε ότι το εύρος των μετρήσεών σας είναι από 0.200 έως 0.850 sec.

(β) Γράψτε μια συνάρτηση η οποία υπολογίζει την συχνότητα εμφάνισης των χρόνων των διαφόρων μετρήσεων ομαδοποιημένους σε διαστήματα εύρους  $dt = 0.05\text{sec}$ . Δηλαδή θα πρέπει να υπολογίσετε το πλήθος των μετρήσεων χρόνου,  $i$ , που βρίσκονται σε κάποιο διάστημα  $t_i \leq t < t_i + dt$ . Η συνάρτησή σας θα πρέπει να επιστρέφει τον χρόνο που αντιστοιχεί στο μέσο του εκάστοτε χρονικού διαστήματος και την αντίστοιχη συχνότητα εμφάνισής του σε δυο διαφορετικούς πίνακες *TIME* και *FREQ*.

(γ) Θα πρέπει να γράψετε τους δυο αυτούς πίνακες σε ένα αρχείο *sound\_out1.dat*, σε δύο μορφή δύο στηλών. Θα πρέπει ο χρόνος να εμφανίζεται με 3 δεκαδικά ψηφία και το αντίστοιχο πλήθος των μετρήσεων που είναι στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, να απεικονίζεται με 4 ψηφία.

(δ) Κάντε το ίδιο για χρονικά διαστήματα εύρους  $dt = 0.1\text{sec}$  και αποθηκεύστε τα αποτελέσματά σας σε ένα νέο αρχείο *sound\_out2.dat*.

(ε) Με βάση τα αποτελέσματά σας σχετικά με τη συχνότητα εμφάνισης των μετρήσεων για τις δύο περιπτώσεις του χρονικού διαστήματος  $dt$ , υπολογίστε τη μέση τιμή του χρόνου και την τυπική απόκλιση για τις δύο περιπτώσεις.

Υπενθυμίζεται ότι η τυπική απόκλιση για μικρό αριθμό μετρήσεων  $N$ , ορίζεται ως

$\sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum (x_i - \bar{x})^2}$  όπου  $\bar{x}$  η μέση τιμή. Στη περίπτωση που οι μετρήσεις είναι ομαδοποιημένες σε υπο-διαστήματα,  $N = \sum \text{FREQ}_i$ ,  $x_i = \text{FREQ}_i \times \text{Time}_i$  και  $\bar{x} = \sum \frac{x_i}{N}$ , όπου  $i$  είναι το  $i$ -χρονικό υπο-διάστημα και τα αθροίσματα στις σχέσεις της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης είναι ως προς όλα τα υπο-διαστήματα.

Το πρόγραμμά σας θα πρέπει να τυπώνει τις δύο τιμές στο τέλος του αρχείου που αντιστοιχεί στην κάθε περίπτωση, με την μορφή:

*Mean time:* xxxx.xxx (s) +/- yyy.yyy δηλαδή με 3 ψηφία μετά την υποδιαστολή.

5. Στο πρόβλημα αυτό θα πρέπει να κάνετε τη κατανομή της μάζας του σωματιδίου  $Z^0$  που είναι ένα από τους φορείς των ασθενών αλληλεπιδράσεων και μπορεί να παραχθεί σε υψηλής ενέργειας συγκρούσεις δεσμών πρωτονίου – αντιπρωτονίου ή πρωτονίου-πρωτονίου στους επιταχυντές Tevatron και LHC αντίστοιχα. Το σωματίδιο αυτό διασπάται σε χρόνο  $10^{-23}\text{s}$  και επομένως δεν μπορούμε να το ανιχνεύσουμε απ' ευθείας. Μπορούμε όμως να το δούμε ανιχνεύοντας τα τελικά προϊόντα της διάσπασής του τα οποία είναι είτε σταθερά είτε ζουν μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα. Ένας από τους τρόπους διάσπασής του είναι σε ζεύγος ηλεκτρονίου ( $e^-$ ) - ποζιτρονίου ( $e^+$ ) (το ποζιτρόνιο είναι το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου), δηλαδή  $Z^0 \rightarrow e^- e^+$ . Με κατάλληλους ανιχνευτές μετρούμε την ορμή και ενέργεια των  $e^-$  και  $e^+$  και τις αποθηκεύουμε σε κάποιο αρχείο. Κάθε γραμμή των δεδομένων του αρχείου περιέχει τις τιμές της ενέργειας,  $E$ , και των τριών συνιστωσών της ορμής,  $p_x, p_y, p_z$ , του ηλεκτρονίου και ποζιτρονίου αντίστοιχα. Συνολικά σε κάθε γραμμή του file υπάρχουν 8 δεδομένα και αντιστοιχούν στη παραγωγή και διάσπαση ενός σωματιδίου  $Z^0$ , ένα γεγονός σύγκρουσης δηλαδή στο οποίο παράχθηκε το συγκεκριμένο σωματίδιο. Από τα δεδομένα της κάθε γραμμής μπορούμε να υπολογίσουμε τη μάζα του σωματιδίου  $Z^0$  με βάση τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας ως εξής:

$$M_{Z^0} = M_{e^- e^+} = \sqrt{E_{Z^0}^2 - |\vec{p}|_{Z^0}^2} = \sqrt{(E_{e^+} + E_{e^-})^2 - (|\vec{p}_{e^+} + \vec{p}_{e^-}|)^2} \Rightarrow$$

$$M_{Z^0} = \sqrt{(E_{e^+} + E_{e^-})^2 - (p_x^{e^+} + p_x^{e^-})^2 - (p_y^{e^+} + p_y^{e^-})^2 - (p_z^{e^+} + p_z^{e^-})^2} \quad (\text{εξ. 1})$$

όπου θεωρούμε μονάδες τέτοιες ώστε η ταχύτητα του φωτός,  $c$ , να είναι  $c = 1$  και έχουμε εφαρμόσει διατήρηση ενέργειας,  $E_{Z^0} = (E_{e^+} + E_{e^-})$ , και ορμής,  $\vec{p}_{Z^0} = \vec{p}_{e^+} + \vec{p}_{e^-}$ .

Το πρόγραμμά σας:

(α) Τα δεδομένα υπάρχουν στο αρχείο <https://ptohos.github.io/phy140/Zres.dat> το οποίο θα πρέπει να αντιγράψετε στον υπολογιστή σας. Το αρχείο αυτό περιέχει τα δεδομένα της

ενέργειας και ορμής των ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων στη μορφή που περιεγράφηκε παραπάνω. Το αρχείο δεν έχει περισσότερο από 10,000 γεγονότα (γραμμές).

(β) Θα πρέπει το πρόγραμμά σας να ανοίγει το αρχείο αυτό και να διαβάζει τα δεδομένα της ενέργειας και ορμής για το ηλεκτρόνιο και ποζιτρόνιο και να τα αποθηκεύει σε κατάλληλους πίνακες. Θα χρειαστείτε συνολικά 8 λίστες για το σκοπό αυτό. 4 λίστες ( $E$ , και τις 3 συνιστώσες της ορμής) για το ηλεκτρόνιο και τις αντίστοιχες για το ποζιτρόνιο. Το πρόγραμμά σας θα πρέπει να διαβάζει τα στοιχεία από το file και να σταματά αν το file έχει εξαντληθεί.

(γ) Θα πρέπει για κάθε γεγονός, δηλαδή ζεύγος του ηλεκτρονίου ποζιτρονίου της ίδιας γραμμής, να ελέγχει αν το μέτρο του διανύσματος της εγκάρσια ορμής,  $\vec{p}_T = \vec{p}_x + \vec{p}_y$ , επομένως,  $|\vec{p}_T| = |\vec{p}_x + \vec{p}_y| = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$ , του κάθε σωματιδίου ξεχωριστά να είναι μεγαλύτερο από  $20 \text{ GeV}/c$ . Αν το κριτήριο αυτό ικανοποιείται τότε να συνεχίζει με τον υπολογισμό της μάζας του ζεύγους των σωματιδίων.

(δ) Θα πρέπει να γράψετε μια συνάρτηση *Get Mass*, η οποία να καλείται για κάθε ζεύγος  $e^+e^-$  που περνά το κριτήριο της ελάχιστης εγκάρσιας ορμής που αναφέρθηκε στο (γ) ερώτημα και δέχεται ως ορίσματα δύο *tuples* με το 4-διάνυσμα του κάθε λεπτονίου ( $e^+$  ή  $e^-$ ) και επιστρέφει τη μάζα του ζεύγους σύμφωνα με την εξ. 1. Ως 4-διάνυσμα ορίζουμε αυτό που έχει συνιστώσες την ενέργεια  $E$  και τις τρεις συνιστώσες της ορμής ( $E, p_x, p_y, p_z$ ).

(ε) Χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση *FREQ* που γράψατε στο ερώτημα (β) του προηγούμενου προγράμματος, μπορείτε να έχετε δύο λίστες, μία για τιμές μαζών σε υποδιαστήματα, και μία για την συχνότητα των γεγονότων που εμφανίζονται σε κάθε υποδιάστημα μάζας. Χρησιμοποιώντας αυτά που μάθατε από το 1<sup>ο</sup> homework, θα πρέπει να κάνετε το γράφημα της μάζας του ζεύγους των λεπτονίων για όλα τα γεγονότα που ικανοποιούν το κριτήριο του (γ) ερωτήματος. Η λίστα με τα υποδιαστήματα των μαζών θα πρέπει να έχει 40 τιμές και το εύρος του κάθε υποδιαστήματος να αντιστοιχεί σε  $2.0 \text{ GeV}/c^2$  ξεκινώντας από 50 έως 130. Δηλαδή οι τιμές που θα έχει αυτή η λίστα θα είναι 51, 53, 55, ..., 127, 129 και η λίστα *FREQ* θα περιέχει το πλήθος των ζευγαριών  $e^-e^+$  που έχουν τιμή στο διάστημα [50,52), [52, 54), ..., [128,130).

(στ) Θα πρέπει να κάνετε επίσης το αντίστοιχο γράφημα της εγκάρσιας ορμής των λεπτονίων. Δεν πρέπει να διαχωρίσετε σε  $e^+$  ή  $e^-$  αλλά να κάνετε την κατανομή της εγκάρσιας ορμής για όλα τα λεπτόνια στο ίδιο ιστόγραμμα. Το γράφημα αυτό θα έχει τις ορμές των λεπτονίων χωρισμένες σε υποδιαστήματα των  $2 \text{ GeV}/c$  στο διάστημα από 0 έως  $100 \text{ GeV}/c$ . Δηλαδή [0,2), [2,4), ..., [98,100) και όπως και στο προηγούμενο ερώτημα θα πρέπει να βρείτε το πλήθος των λεπτονίων που έχουν εγκάρσια ορμή σε κάθε ένα από τα υποδιαστήματα αυτά.