Προγραμματισμός I (ECE115)

#8 συναρτήσεις (functions)

Σπύρος Λάλης
lalis@uth.gr

Συναρτήσεις

- Συχνά, θέλουμε να εκτελούνται (σχεδόν) οι ίδιες εντολές, σε **διαφορετικά** σημεία του προγράμματος
  - δεν μας καλύπτουν οι δομές επανάληψης

- Δεν είναι καλή πρακτική να γράφουμε τις ίδιες εντολές πολλές φορές μέσα στο πρόγραμμα
  - ο κώδικας μεγαλώνει, χειροτερεύει η αναγνωσιμότητα
  - η διόρθωση λαθών γίνεται ακόμα πιο επίπονη

- Χρησιμοποιούμε **συναρτήσεις!**
  - περιέχουν τον κώδικα που επαναλαμβάνεται
  - σε **παραμετροποιημένη** μορφή (αν/όπου χρειάζεται)

Δομημένος προγραμματισμός

- Οι συναρτήσεις είναι το πιο βασικό στοιχείο του λεγόμενου **δομημένου** προγραμματισμού
- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν «απλά» για να υπάρχει καλύτερη δόμηση του κώδικα ενός προγράμματος
  - ακόμα και για κώδικα που δεν επαναλαμβάνεται
- Το σπάσιμο του κώδικα σε μικρότερα κομμάτια **βελτιώνει** από μόνο του την αναγνωσιμότητα καθώς και την διαχείριση του κώδικα
- Ιδανικά, η λειτουργία κάθε συνάρτησης πρέπει να είναι κατανοητή από μόνη της
  - χωρίς γνώση του υπόλοιπου κώδικα του προγράμματος
- Οι βιβλιοθήκες είναι «συλλογές» συναρτήσεων
  - π.χ. `stdio`, `string`, `math`, κλπ

Παραμετροποίηση

- Η κύρια χρησιμότητα των συναρτήσεων βρίσκεται στην **παραμετροποιημένη** εκτέλεση κώδικα
  - όπως ισχύει και για το ίδιο το πρόγραμμα (συνάρτηση `main`)

- Ο κώδικας που γράφουμε παραμένει «σταθερός»
- Το αποτέλεσμα που παράγει **εξαρτάται** από τις παραμέτρους (είσοδο) που δέχεται κάθε φορά

- Εκτελέσεις με **διαφορετικές** παραμέτρους μπορεί να οδηγήσουν σε **διαφορετικά** αποτελέσματα
  - **χωρίς** να πρέπει να γραφτεί νέος κώδικας για αυτό

Αναλογία με τον πραγματικό κόσμο

- Συνάρτηση = ένα κουτί που περιέχει ένα μηχανισμό
- Παράμετροι = είσοδος / παράμετροι λειτουργίας
- Τιμή επιστροφής = έξοδος / αποτέλεσμα

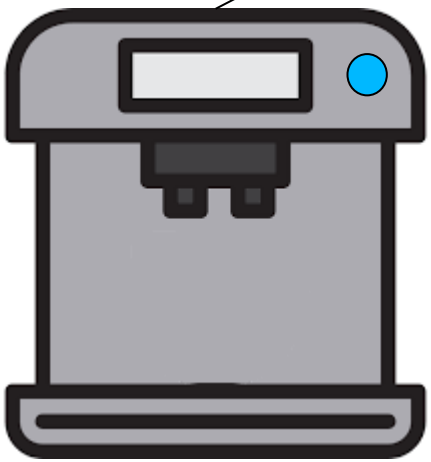
- Απαιτείται **σχεδιασμός της συνάρτησης!**

1. Τι είσοδο θα παίρνει και τι έξοδο θα παράγει;
2. Πως θα λειτουργεί εσωτερικά;

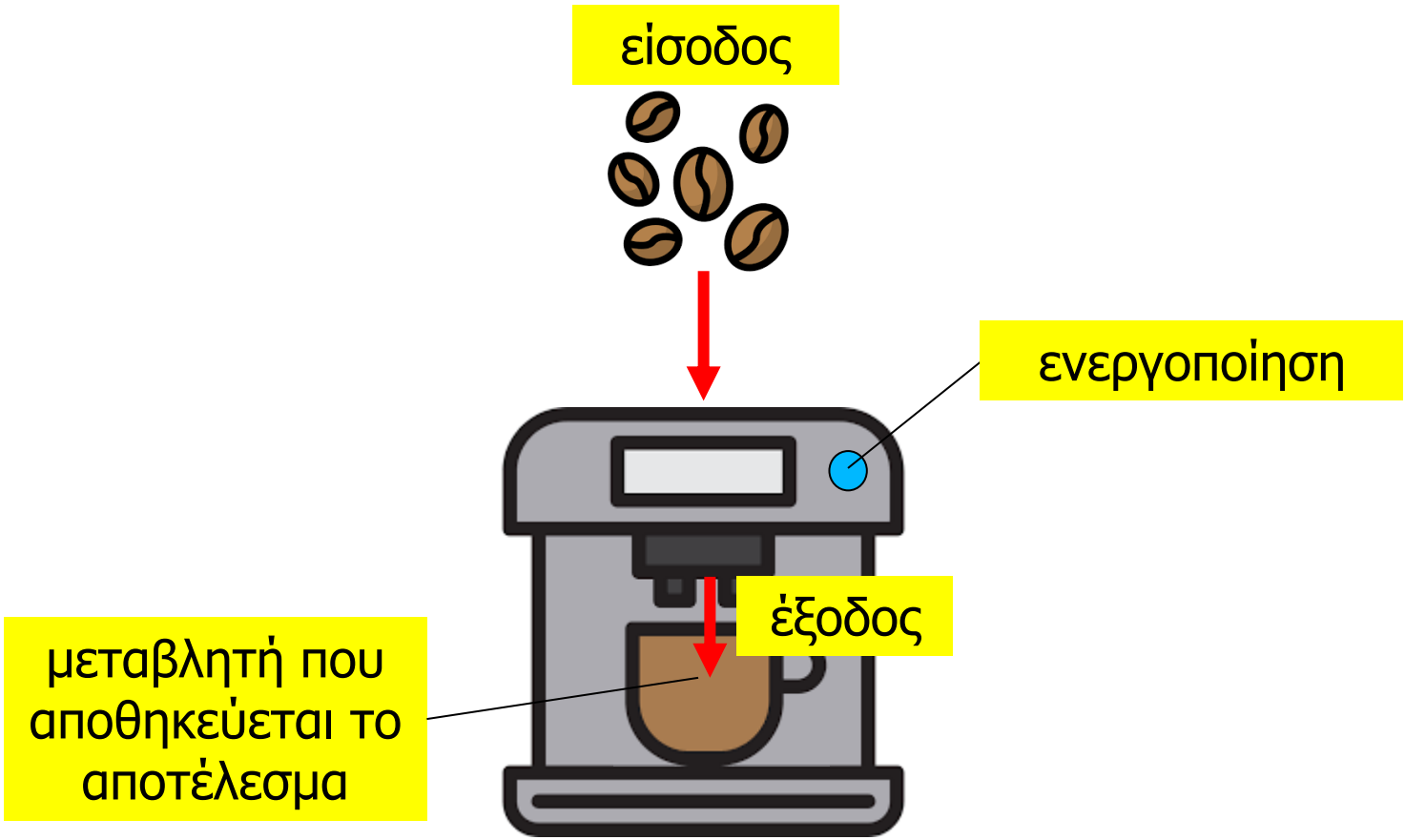
- Για να χρησιμοποιήσει κάποιος ένα τέτοιο κουτί αρκεί να ξέρει το (1)
- Χωρίς απαραίτητα να γνωρίζει ή να κατανοεί σε βάθος το (2) – the black box principle

Το κουτί

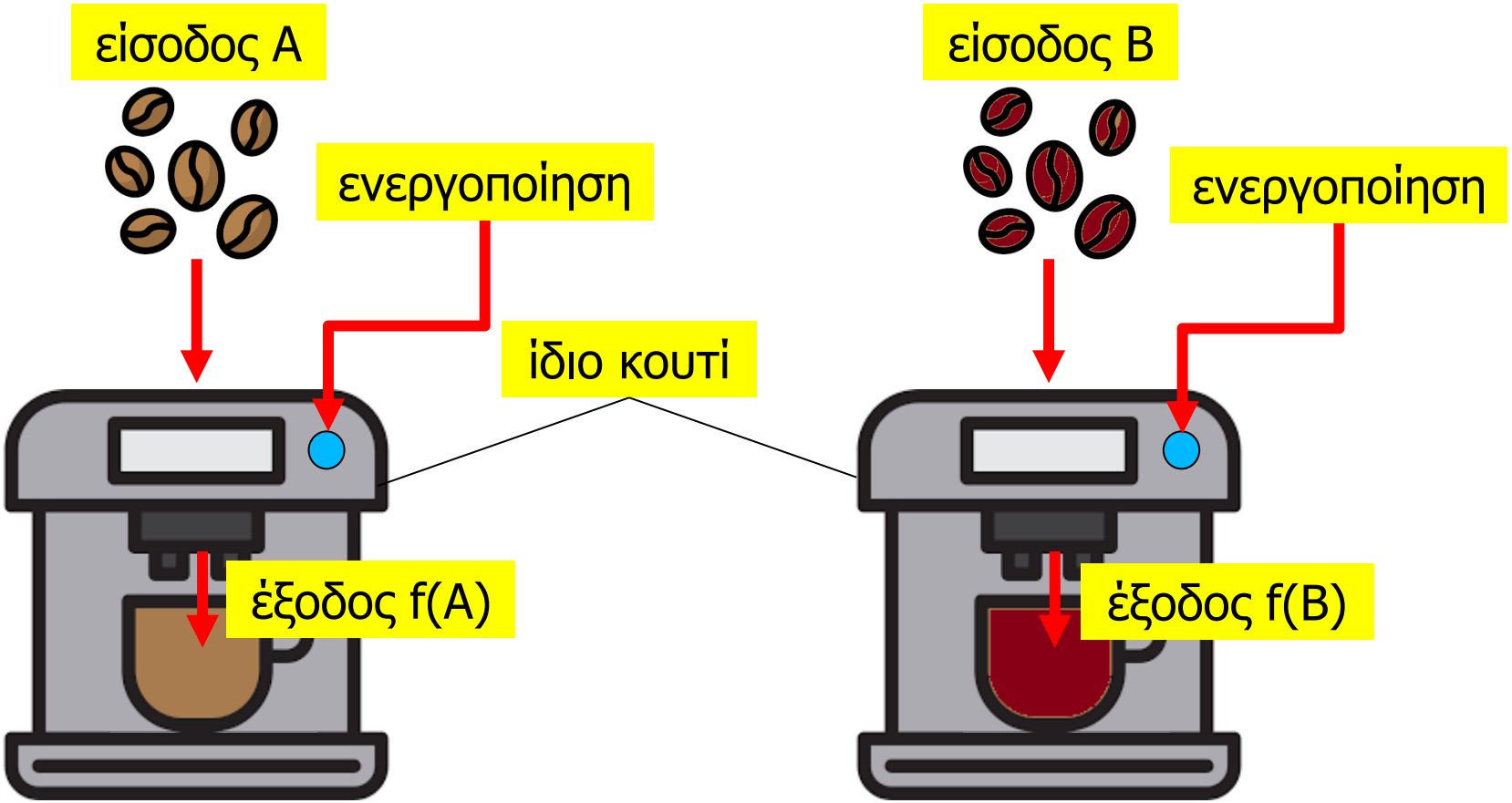
δεν γνωρίζουμε ακριβώς τι έχει μέσα και το πως λειτουργεί



Είσοδος-ενεργοποίηση-έξοδος



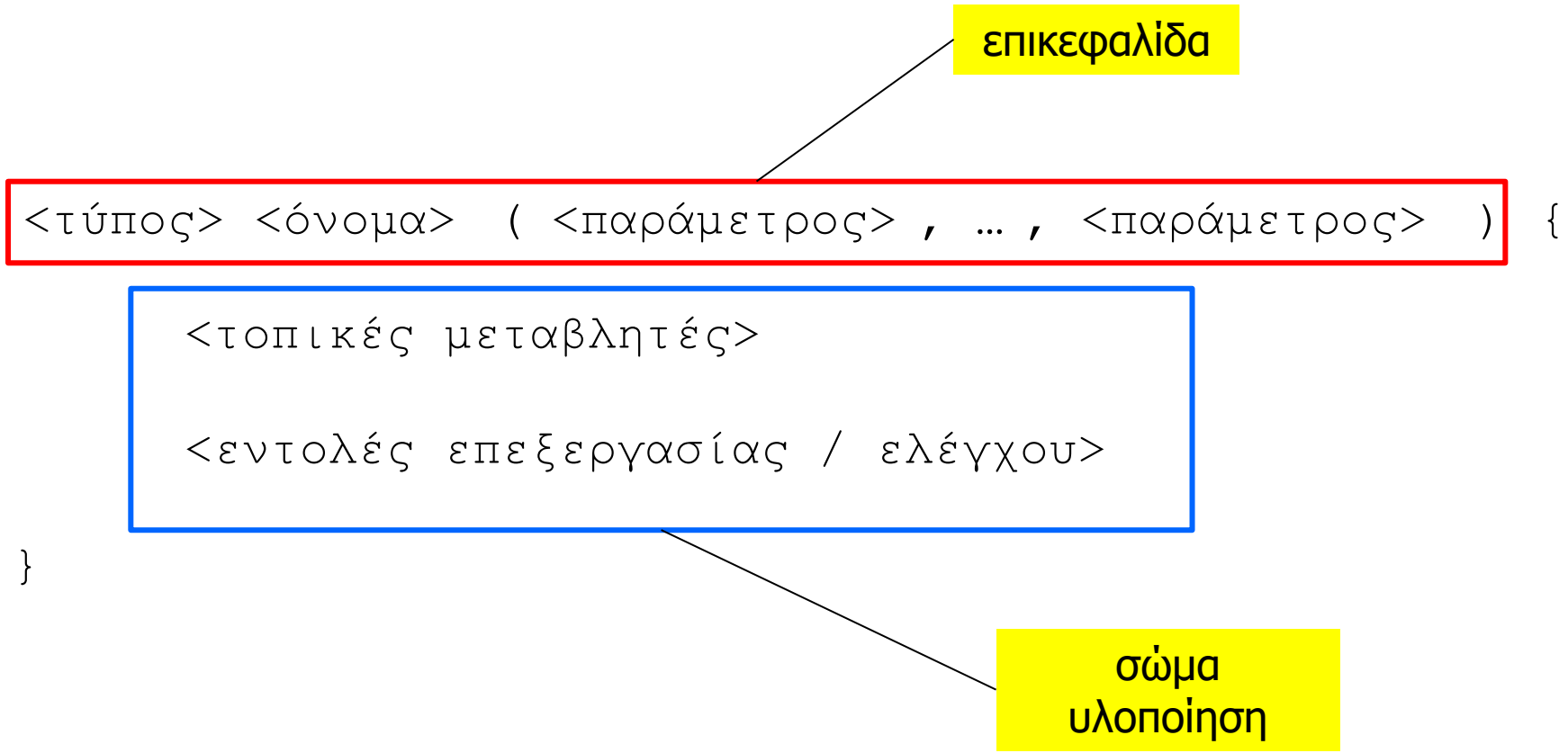
Διαφορετική είσοδος -> διαφορετική έξοδος



Δομή συνάρτησης

- Μια συνάρτηση ορίζεται δίνοντας
  1. το όνομα της
  2. τις «τυπικές» παραμέτρους της
  3. τον τύπο του αποτελέσματος που επιστρέφει
  4. το σώμα της
- Τα (1), (3), (3) αποτελούν την **επικεφαλίδα**
- Το (4) τον **κώδικα / υλοποίηση** της συνάρτησης

- Μια συνάρτηση μπορεί να **δηλωθεί** (ξεχωριστά)
  - μέσω της επικεφαλίδας της (χωρίς το σώμα)
- Η υλοποίηση μπορεί να δίνεται σε **παρακάτω** σημείο του κώδικα (ή ακόμα και σε **διαφορετικό** αρχείο)


επικεφαλίδα
<τύπος> <όνομα> (<παράμετρος> , … , <παράμετρος>) {
<τοπικές μεταβλητές>
<εντολές επεξεργασίας / ελέγχου>
}
σώμα
υλοποίηση

Επιστροφή αποτελέσματος

- Μια συνάρτηση μπορεί να **επιστρέφει** μια συγκεκριμένη τιμή
- Αυτό γίνεται με την **ειδική εντολή** `return`
  - αν δεν υπάρχει `return` ή χρησιμοποιηθεί χωρίς κάποια τιμή, τότε η συνάρτηση επιστρέφει μια **τυχαία** τιμή
  - ο μεταγλωττιστής εκτυπώνει μήνυμα προειδοποίησης
- Η `return` **τερματίζει** την εκτέλεση της συνάρτησης
  - μπορεί να υπάρχει σε **πολλά σημεία** του σώματος της συνάρτησης – προσοχή έτσι ώστε να επιστέφεται το επιθυμητό αποτέλεσμα σε κάθε περίπτωση
- Μια συνάρτηση μπορεί να μην επιστρέφει κάποιο αποτέλεσμα: επιστρέφει `void`
  - η εντολή `return` δίνεται προαιρετικά και χωρίς κάποια τιμή

```
int add(int a, int b);
```

```
int add(int a, int b) {
   return(a+b);
}
```

```
int add(int a, int b);
```

```
int add(int a, int b) {
   int c;

   c = a + b;

   return(c);
}
```

```
int sum(int n);
```

```
int sum(int n) {
  int i, s;

  s = 0;
  for (i=1; i<=n; i++) {
    s = s + i;
  }

  return(s);
}
```

```
void printRange(int low, int high);
```

```
void printRange(int low, int high) {
  int i;

  for (i=low; i<=high; i++) {
    printf("%d ", i);
  }
  printf("\n");

  return;
}
```

προαιρετικό

Κλήση συνάρτησης

- Για να **καλέσουμε** μια συνάρτηση μέσα στον κώδικα μας, γράφουμε
  - το όνομα της συνάρτησης
  - τιμές για τις παραμέτρους της
    - σε `()` χρησιμοποιώντας το `','` ως διαχωριστικό
- Αν μια συνάρτηση επιστρέφει αποτέλεσμα τύπου `T`, τότε η κλήση της συνάρτησης αποτελεί **έκφραση αποτίμησης** που δίνει τιμή τύπου `T`
- Το αποτέλεσμα της κλήσης μπορεί
  - Να ανατεθεί σε μια μεταβλητή τύπου `T`
  - Να χρησιμοποιηθεί σε μια σύνθετη έκφραση αποτίμησης αντί μιας κυριολεκτικής τιμής ή μεταβλητής τύπου `T`
  - Να χρησιμοποιηθεί ως πραγματική τιμή μιας τυπικής παραμέτρου τύπου `T` μιας συνάρτησης

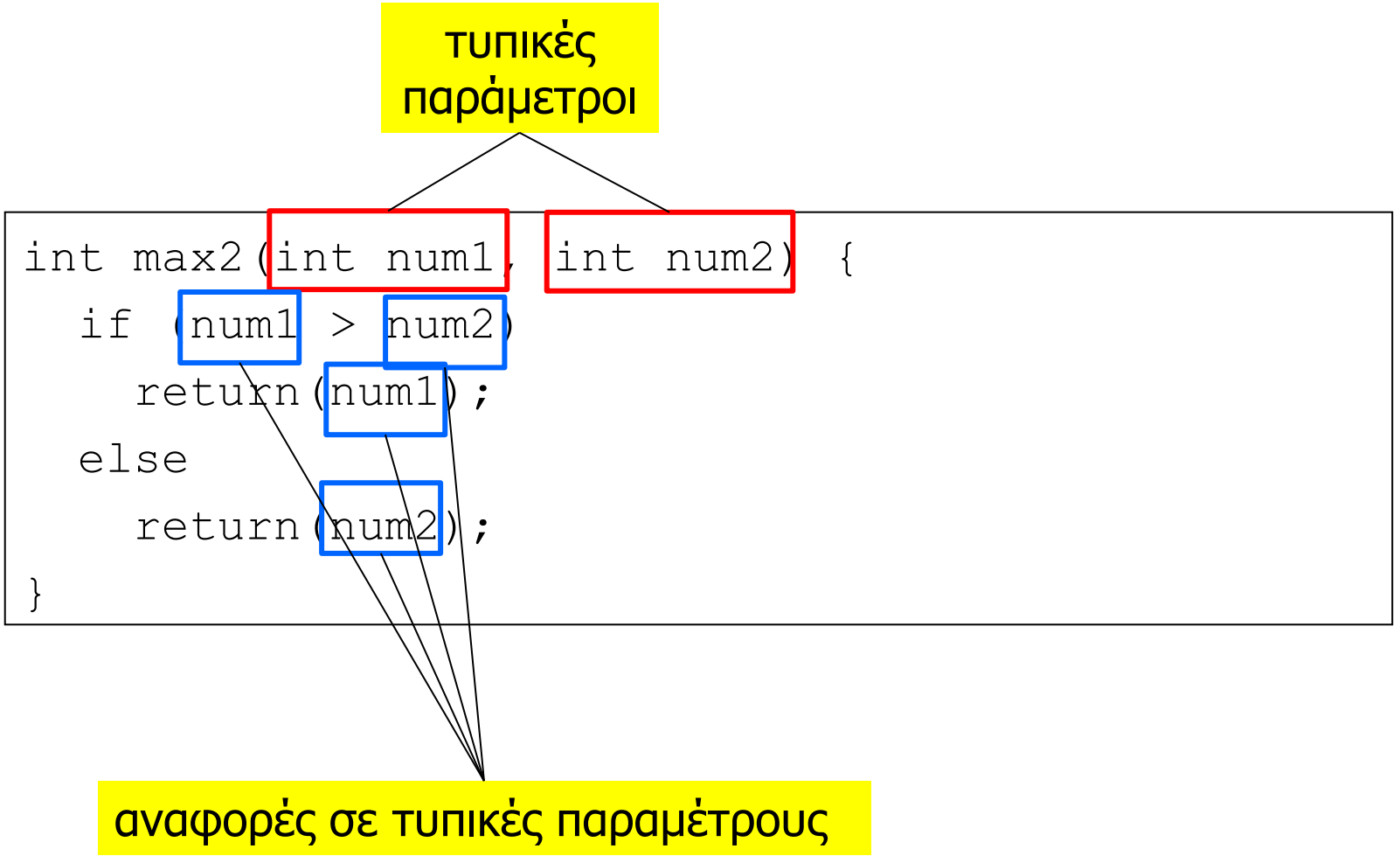
```c
/* υπολογισμός μέγιστης τιμής 2 ακεραίων */

#include <stdio.h>

int max2(int num1, int num2) {
  if (num1 > num2) {
    return(num1);
  }
  else {
    return(num2);
  }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
  int in1, in2, max;

  printf("enter 2 ints: ");
  scanf("%d %d", &in1, &in2);

  max = max2(in1, in2);
  printf("max = %d\n", max);

  return(0);
}
```

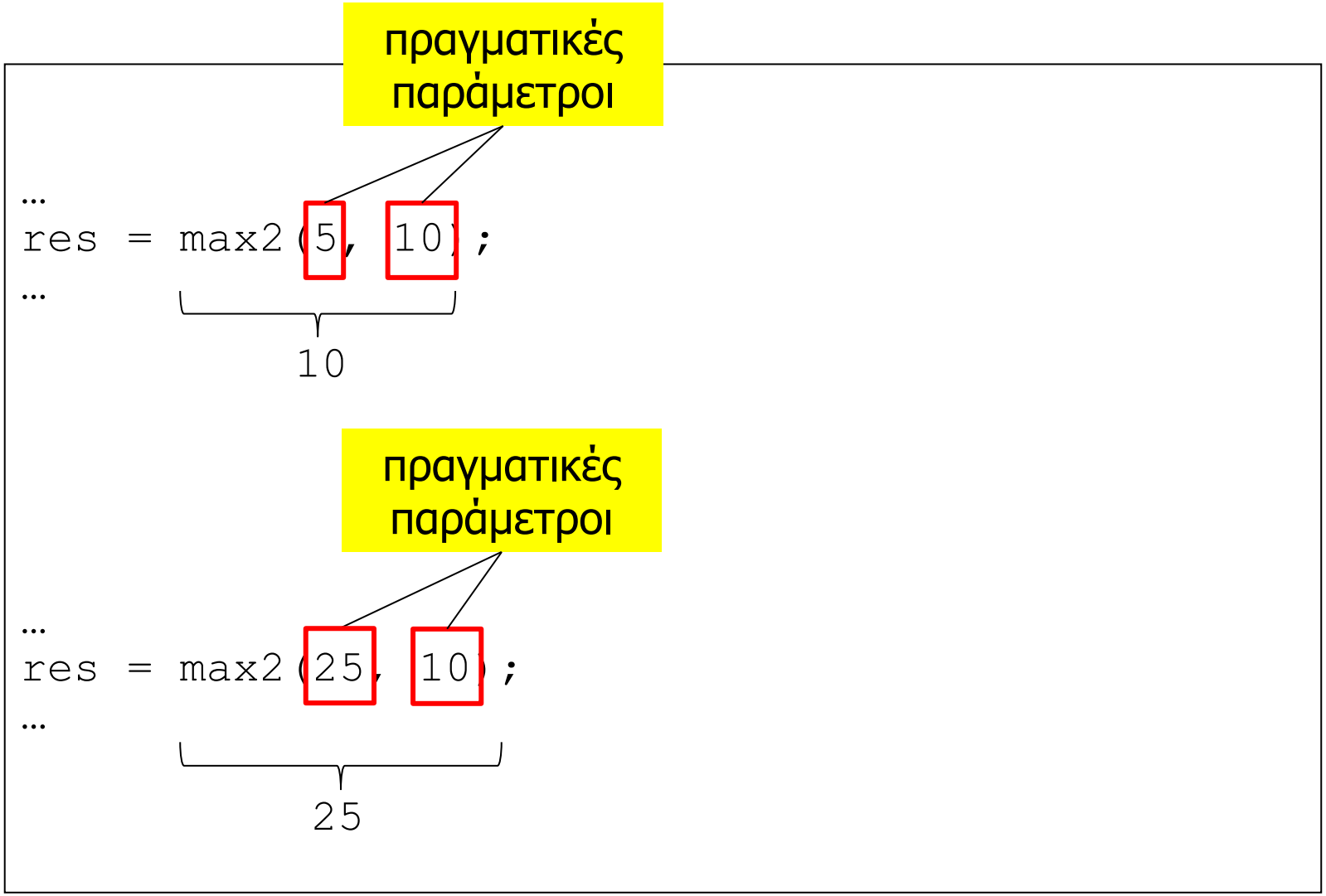
```c
/* υπολογισμός μέγιστης τιμής 2 ακεραίων */

#include <stdio.h>

int max2(int num1, int num2) {
  if (num1 > num2) {
    return(num1);
  }
  else {
    return(num2);
  }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
  int in1, in2

  printf("enter 2 ints: ");
  scanf("%d %d", &in1, &in2);

  printf("max = %d\n", max2(in1, in2));

  return(0);
}
```

Τυπικές και πραγματικές παράμετροι

- Οι παράμετροι που ορίζονται κατά την υλοποίηση μιας συνάρτησης ονομάζονται **τυπικές παράμετροι**
  - τα ονόματα τους είναι **συμβολικά**
  - έτσι ώστε ο κώδικας της συνάρτησης να μπορεί να αναφερθεί στις τιμές που **θα περαστούν** κατά την κλήση
  - ο τύπος τους προσδιορίζει τον τύπο των τιμών που πρέπει να δοθούν σαν παράμετροι κατά την κλήση

- Οι τιμές που δίνονται όταν καλείται μια συνάρτηση, για κάθε μια από τις τυπικές παραμέτρους της ονομάζονται **πραγματικές παράμετροι**
  - για κάθε κλήση, η συνάρτηση μπορεί να δέχεται **διαφορετικές πραγματικές** παραμέτρους για τις **ίδιες τυπικές** παραμέτρους


τυπικές παράμετροι
int max2(int num1, int num2) {
if (num1 > num2)
return(num1);
else
return(num2);
}
αναφορές σε τυπικές παραμέτρους

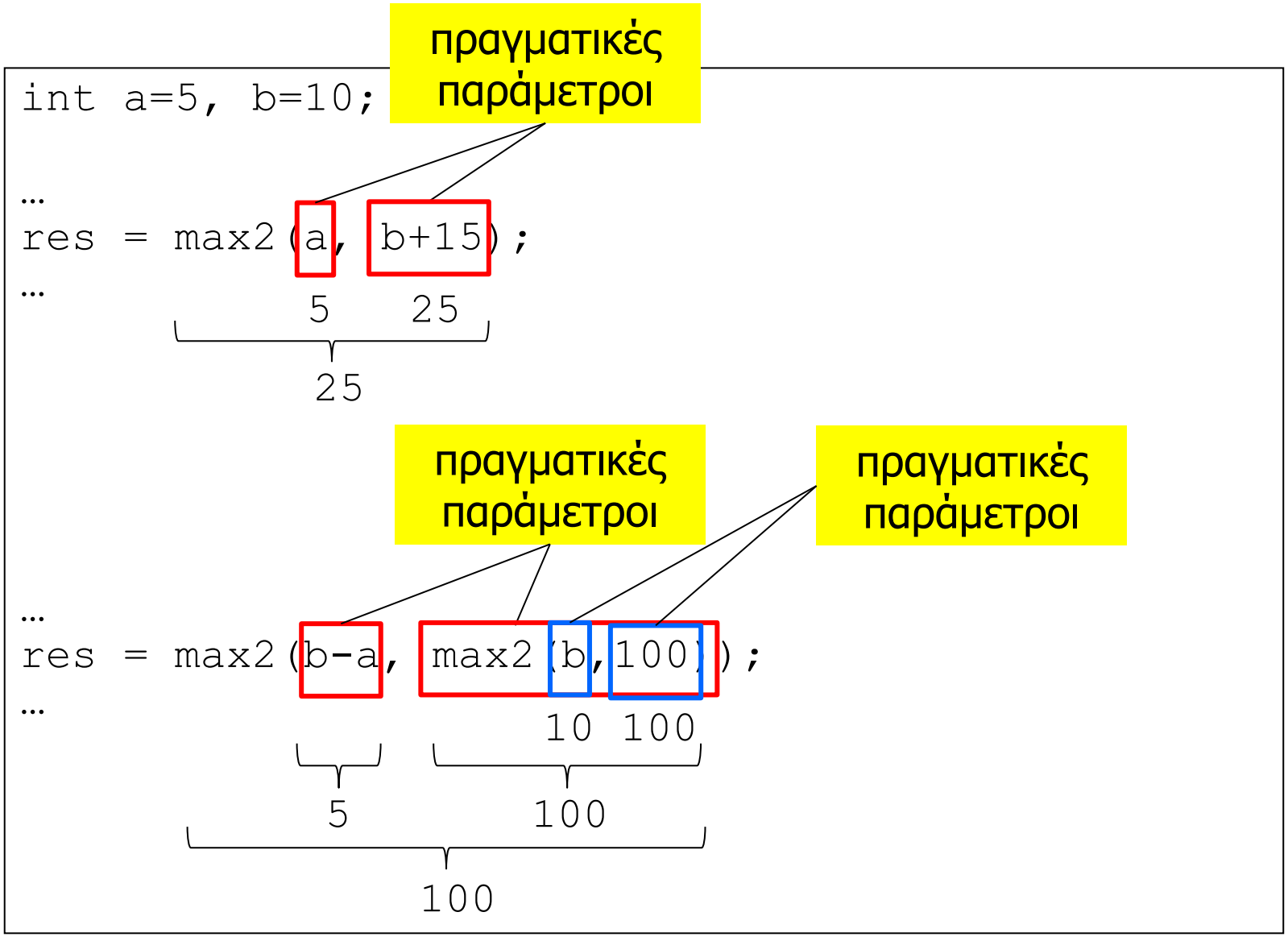

πραγματικές παράμετροι
…
res = max2(5, 10);
…
10
πραγματικές παράμετροι
…
res = max2(25, 10);
…
25

Πέρασμα παραμέτρων **καθ' αποτίμηση**

- Για κάθε τυπική παράμετρο τύπου `T` μιας συνάρτησης μπορεί κατά την κλήση να δοθεί σαν πραγματική παράμετρος μια **οποιαδήποτε** τιμή τύπου `T`

- Παράμετρος κλήσης για τυπική παράμετρο `T` μπορεί να είναι οποιαδήποτε έκφραση αποτιμάται σε `T`
  - κυριολεκτικό, μεταβλητή, έκφραση, κλήση συνάρτησης

- Η έκφραση που δίνεται ως παράμετρος κλήσης **αποτιμάται πριν** πραγματοποιηθεί η κλήση
  - σαν πραγματική παράμετρος της κλήσης συνάρτησης θα περαστεί το **αποτέλεσμα** της αποτίμησης


πραγματικές παράμετροι
int a=5, b=10;
…
res = max2(a, b+15);
…
5 25
25
πραγματικές παράμετροι
πραγματικές παράμετροι
…
res = max2(b-a, max2(b,100));
…
10 100
5 100
100

```c
#include <stdio.h>

int max2(int num1, int num2) {
  if (num1 > num2) {
    return(num1);
  }
  else {
    return(num2);
  }
}

int main(int argc, char* argv[]) {
  int in1, in2, in3;

  printf("enter 3 int: ");
  scanf("%d %d %d", &in1, &in2, &in3);

  printf("max is %d\n", max2(in1, max2(in2, in3)));

  return(0);
}
```

```c
#include <stdio.h>

int max2(int num1, int num2) {
  if (num1 > num2) {
    return(num1);
  }
  else {
    return(num2);
  }
}

int max3(int num1, int num2, int num3) {
  return( max2(num1, max2(num2,num3)) );
}

int main(int argc, char* argv[]) {
  int in1, in2, in3;

  printf("enter 3 int: ");
  scanf("%d %d %d", &in1, &in2, &in3);

  printf("max is %d\n", max3(in1, in2, in3));

  return(0);
}
```

Εκτέλεση συνάρτησης

Έστω ότι μέσα από την συνάρτηση `f1` καλείται μια άλλη συνάρτηση `f2`

1. Η εκτέλεση της `f1` **σταματάει** (χωρίς να τερματίζει) στο σημείο όπου γίνεται η κλήση της `f2`
2. Γίνεται **υπολογισμός** των πραγματικών παραμέτρων και **αρχικοποίηση** των τοπικών μεταβλητών της `f2`
3. **Αρχίζει** η εκτέλεση του κώδικα της `f2` (που με την σειρά της μπορεί να καλέσει μια άλλη συνάρτηση)
4. Ολοκληρώνεται η εκτέλεση της `f2`
5. Η εκτέλεση **συνεχίζεται** στην `f1` στο σημείο που έγινε η κλήση, όπου **επιστρέφεται το αποτέλεσμα** της κλήσης της `f2`

Πλαίσιο εκτέλεσης συνάρτησης

- Ο ίδιος κώδικας της συνάρτησης εκτελείται κάθε φορά σε ένα **ξεχωριστό** πλαίσιο εκτέλεσης
  - ένας ξεχωριστός «μικρόκοσμος» εκτέλεσης
  - χρησιμεύει για την αποθήκευση των τοπικών μεταβλητών και των πραγματικών παραμέτρων για την συγκεκριμένη κλήση

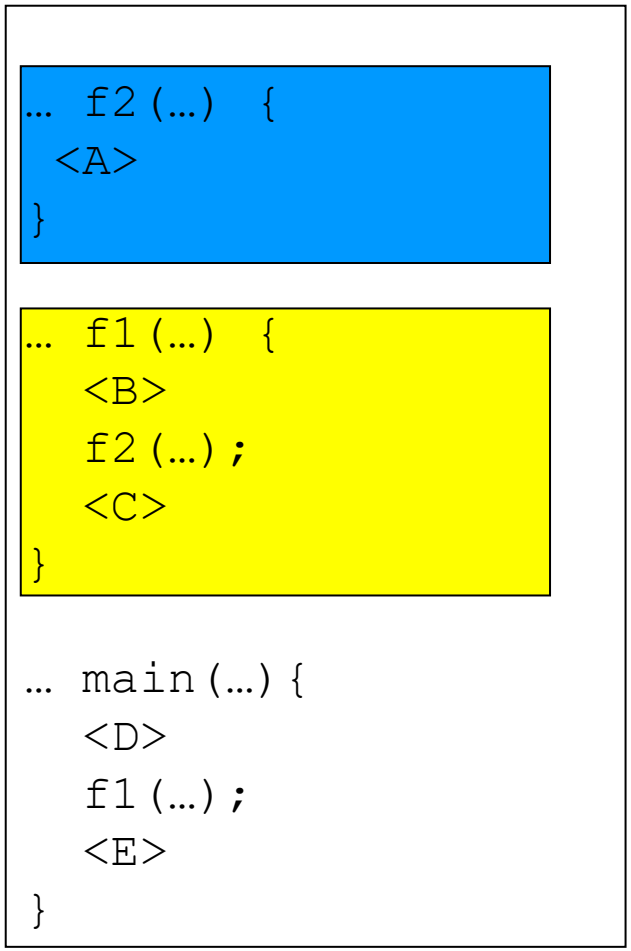
- Το πλαίσιο εκτέλεσης **δημιουργείται** (εκ νέου) πριν αρχίσει η εκτέλεση της συνάρτησης
- **Καταστρέφεται** όταν ολοκληρωθεί η εκτέλεση της

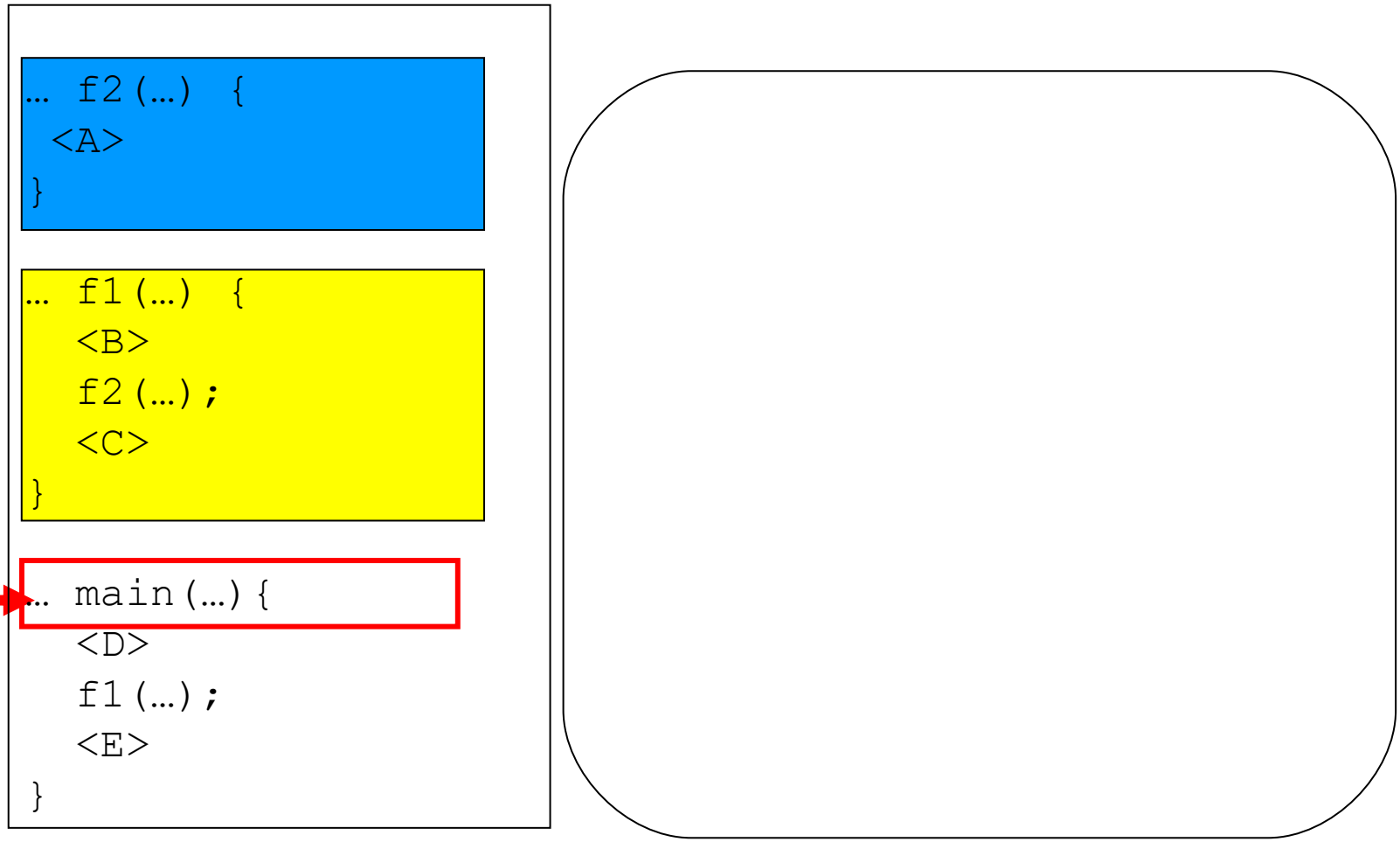
- Για κάθε κλήση, δημιουργείται ένα **καινούργιο** και **ξεχωριστό** πλαίσιο εκτέλεσης
  - δεν έχει σχέση με προηγούμενα πλαίσια εκτέλεσης

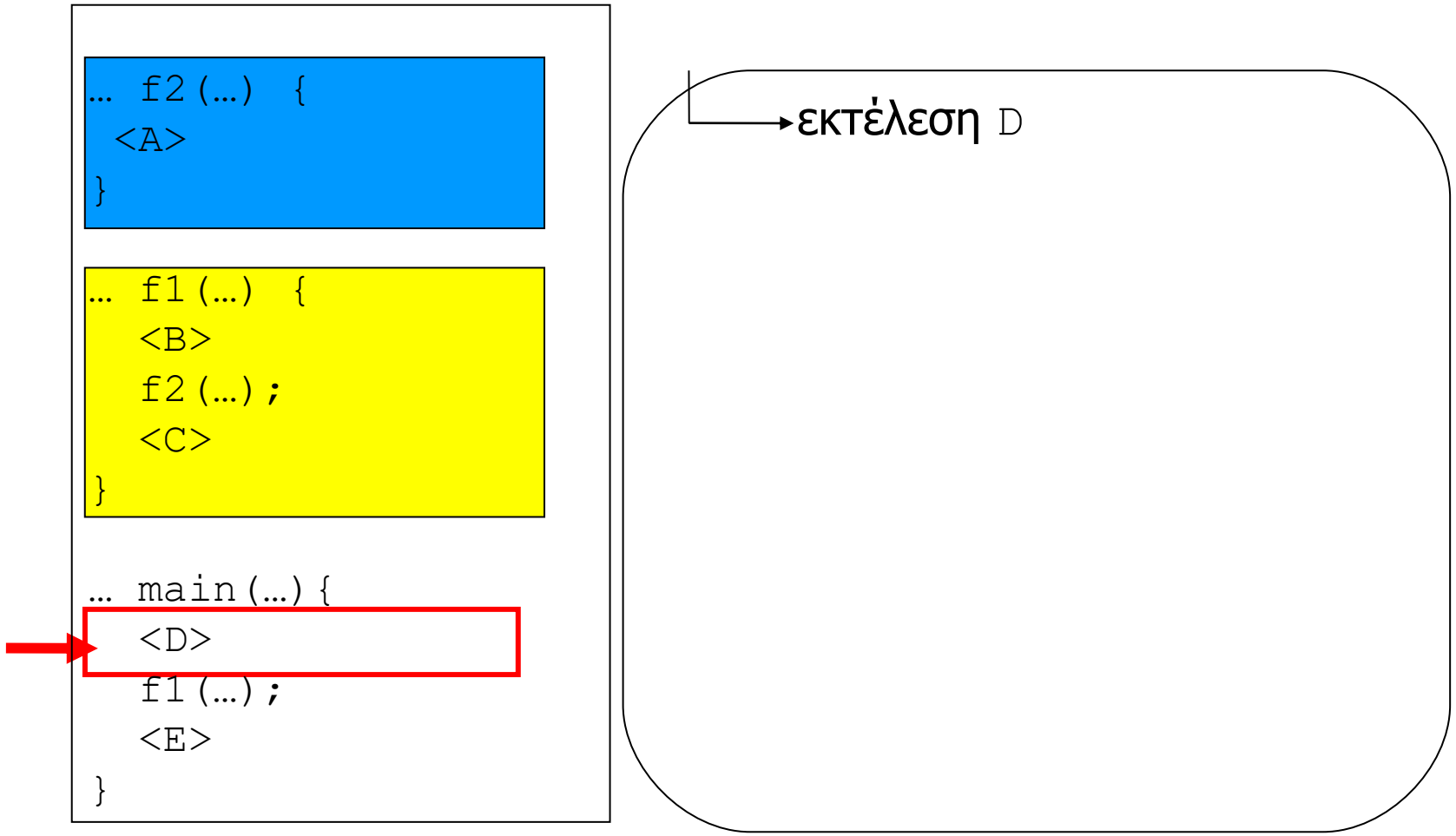
Η συνάρτηση `main`

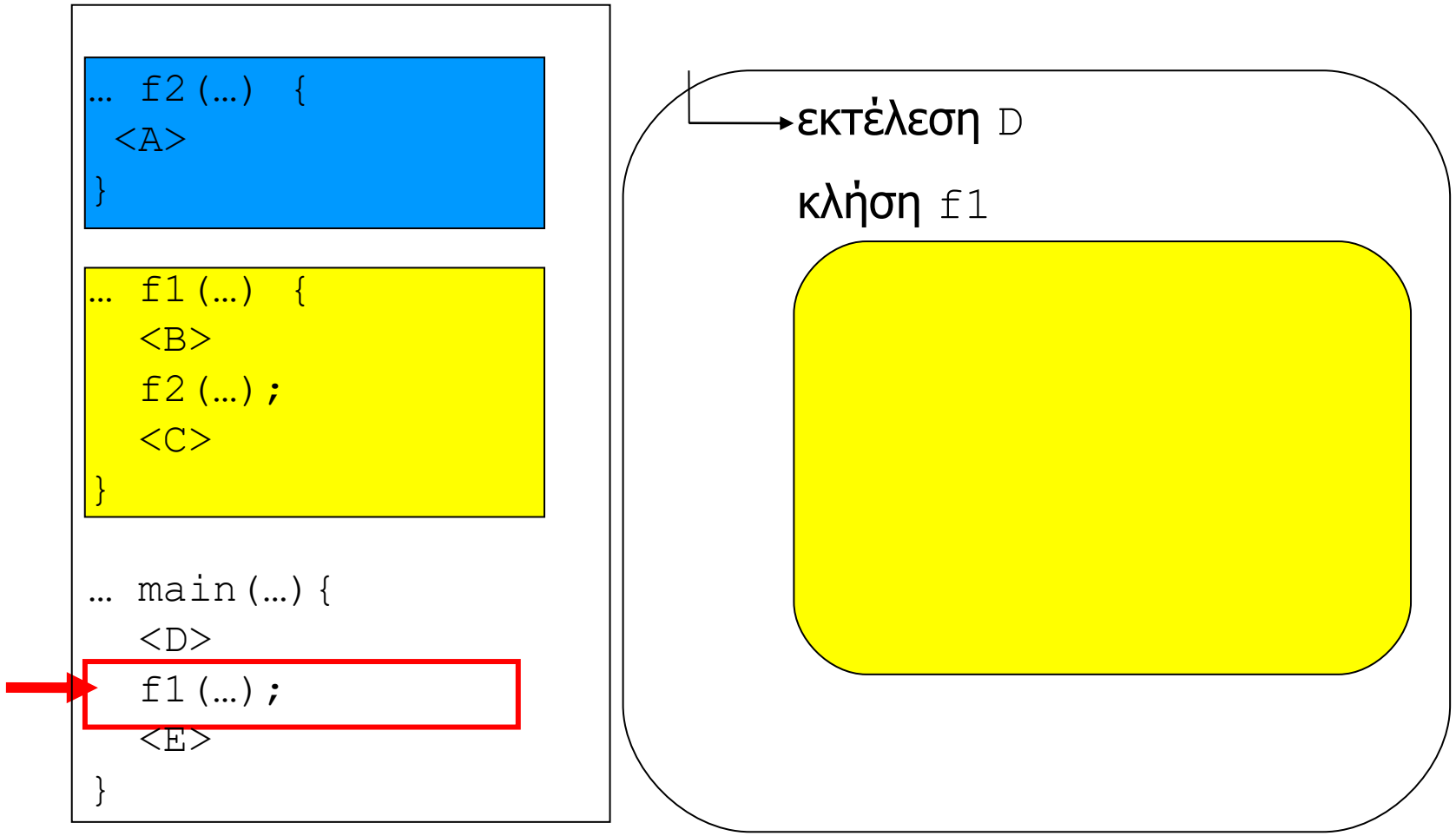
- Η `main` είναι η συνάρτηση με την κλήση της οποίας **αρχίζει** η εκτέλεση του προγράμματος
- Η επιστροφή (`return`) μέσα από την `main` οδηγεί στον **τερματισμό** του προγράμματος

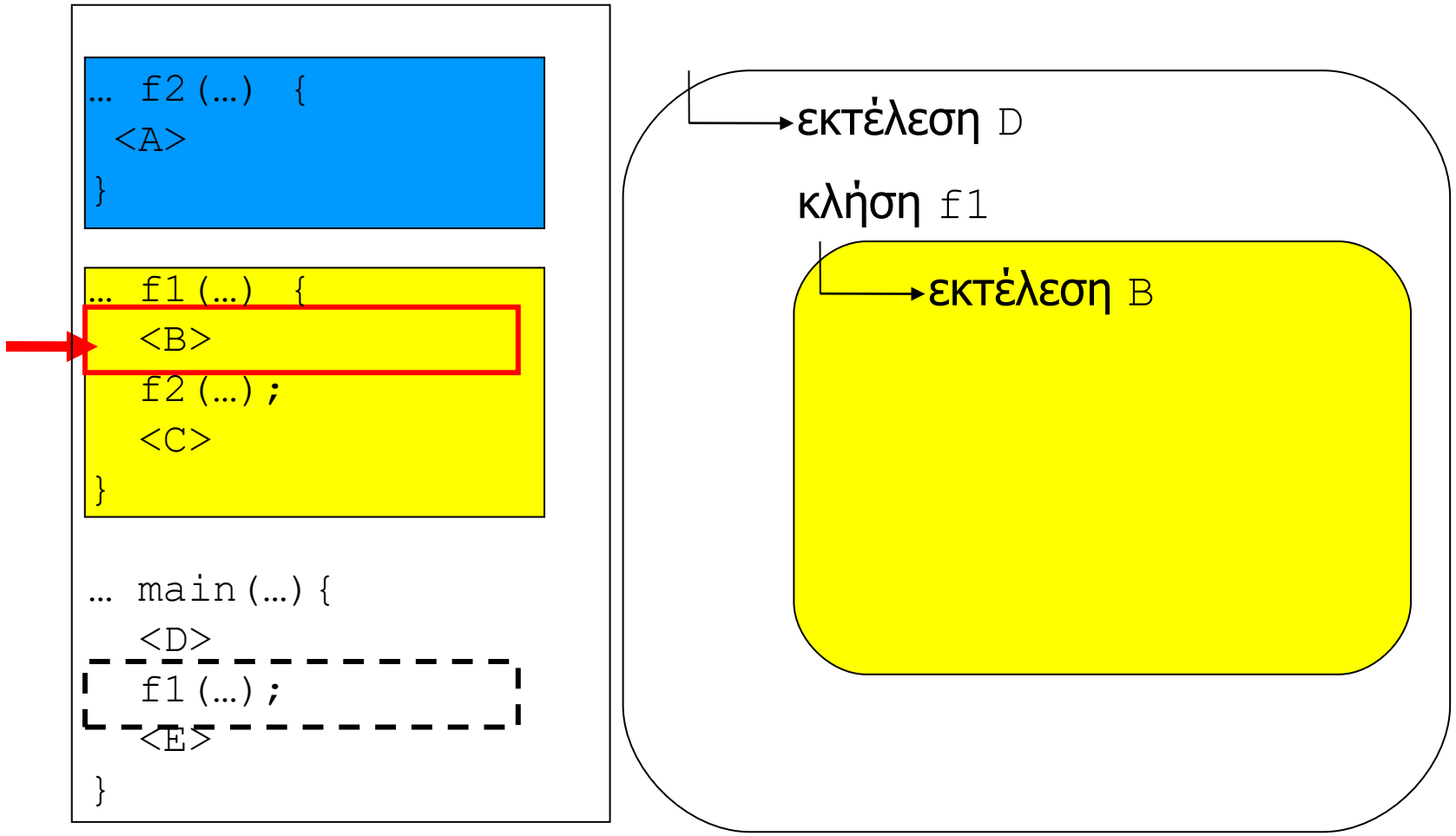
- Ποιος καλεί την `main` και ποιος χρησιμοποιεί την τιμή που επιστρέφεται μέσα από την `main`;
  - το «περιβάλλον εκτέλεσης» – βλέπε επόμενο εξάμηνο
- Τι είναι / συμβολίζουν οι παράμετροι της `main`;
  - βλέπε αργότερα – λίγη υπομονή ακόμα …
- Υπάρχει κώδικας που δεν έχει `main`;
  - ναι, για παράδειγμα οι βιβλιοθήκες – βλέπε επόμενο εξάμηνο

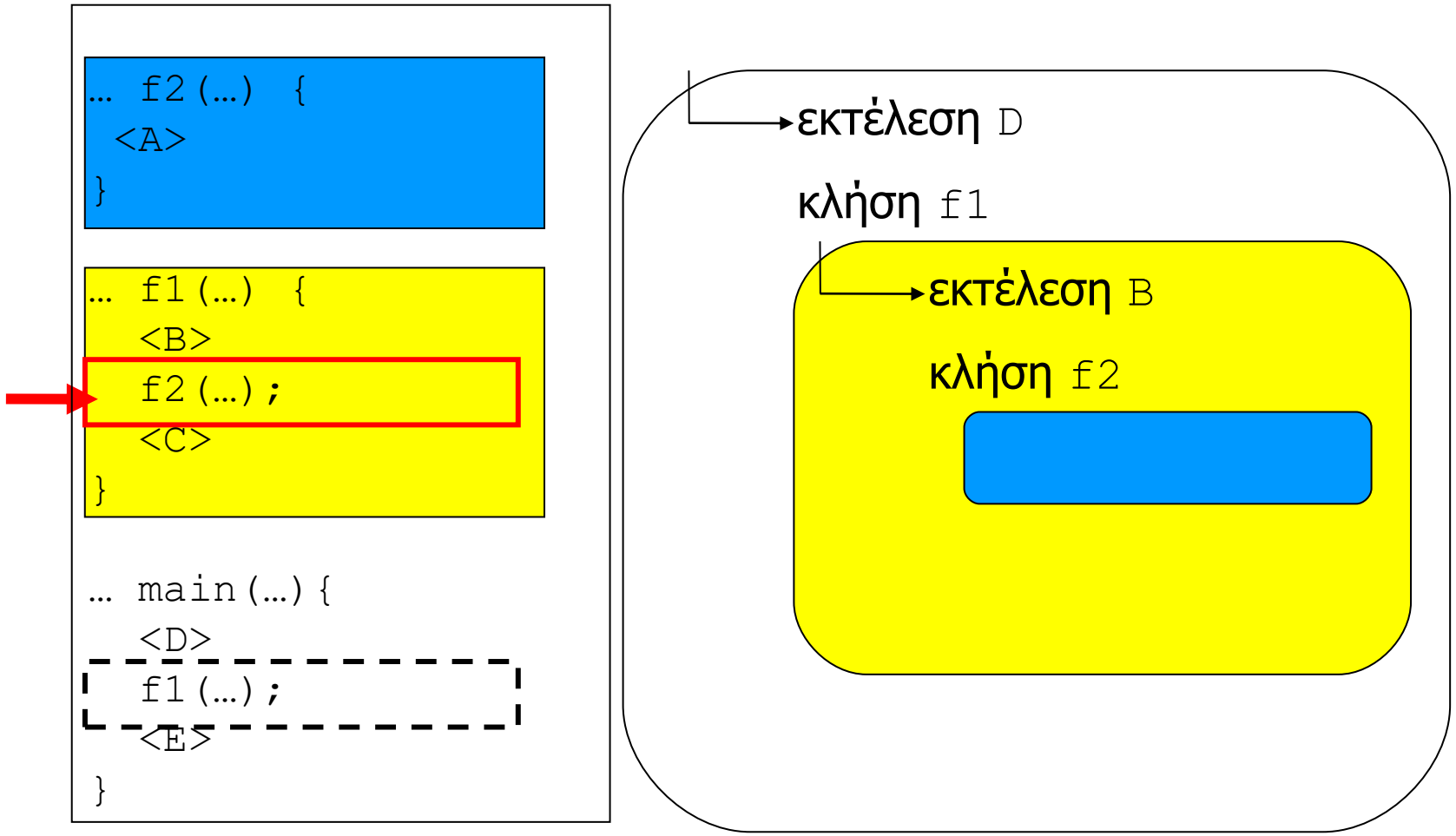

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}

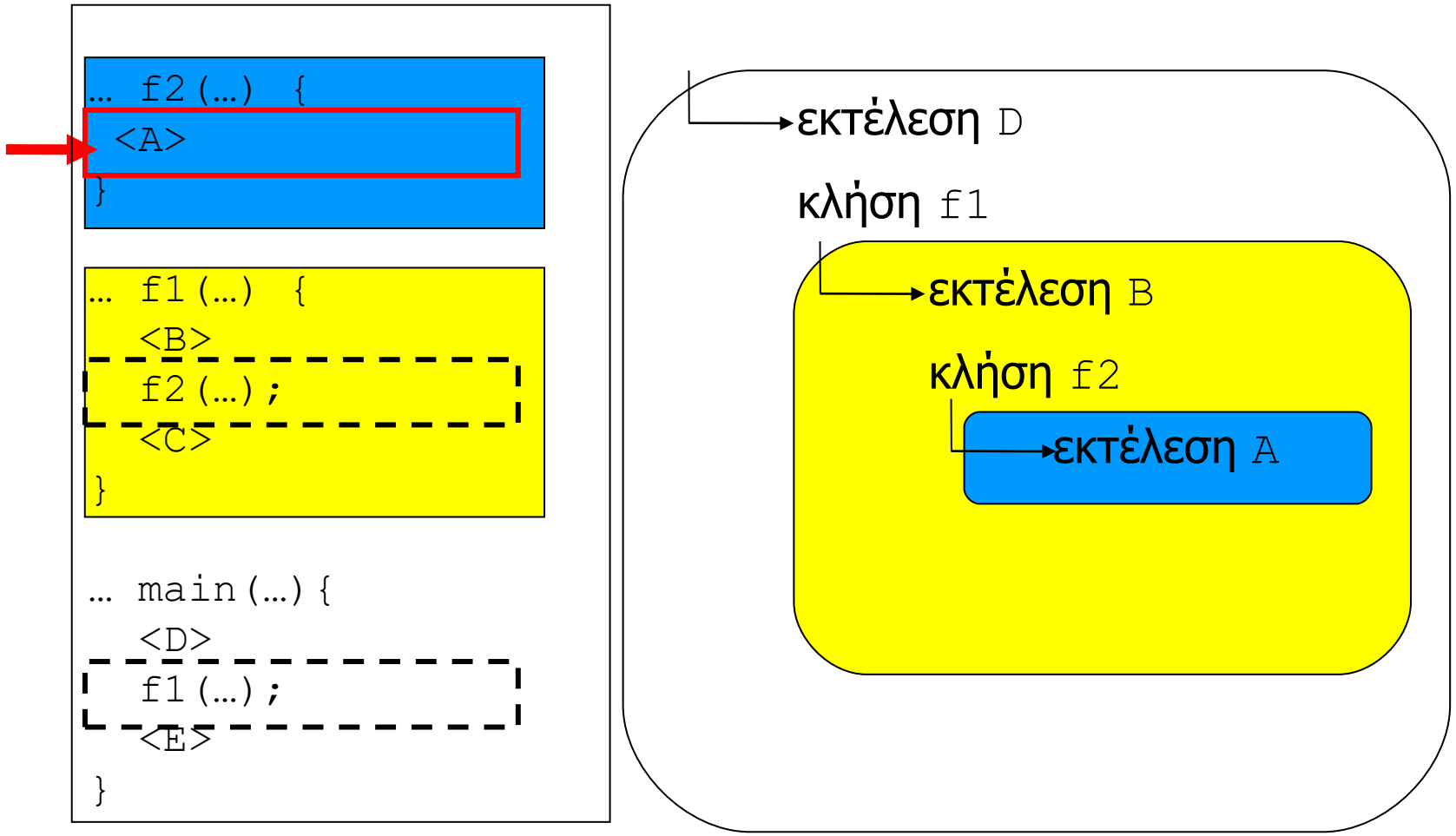

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}

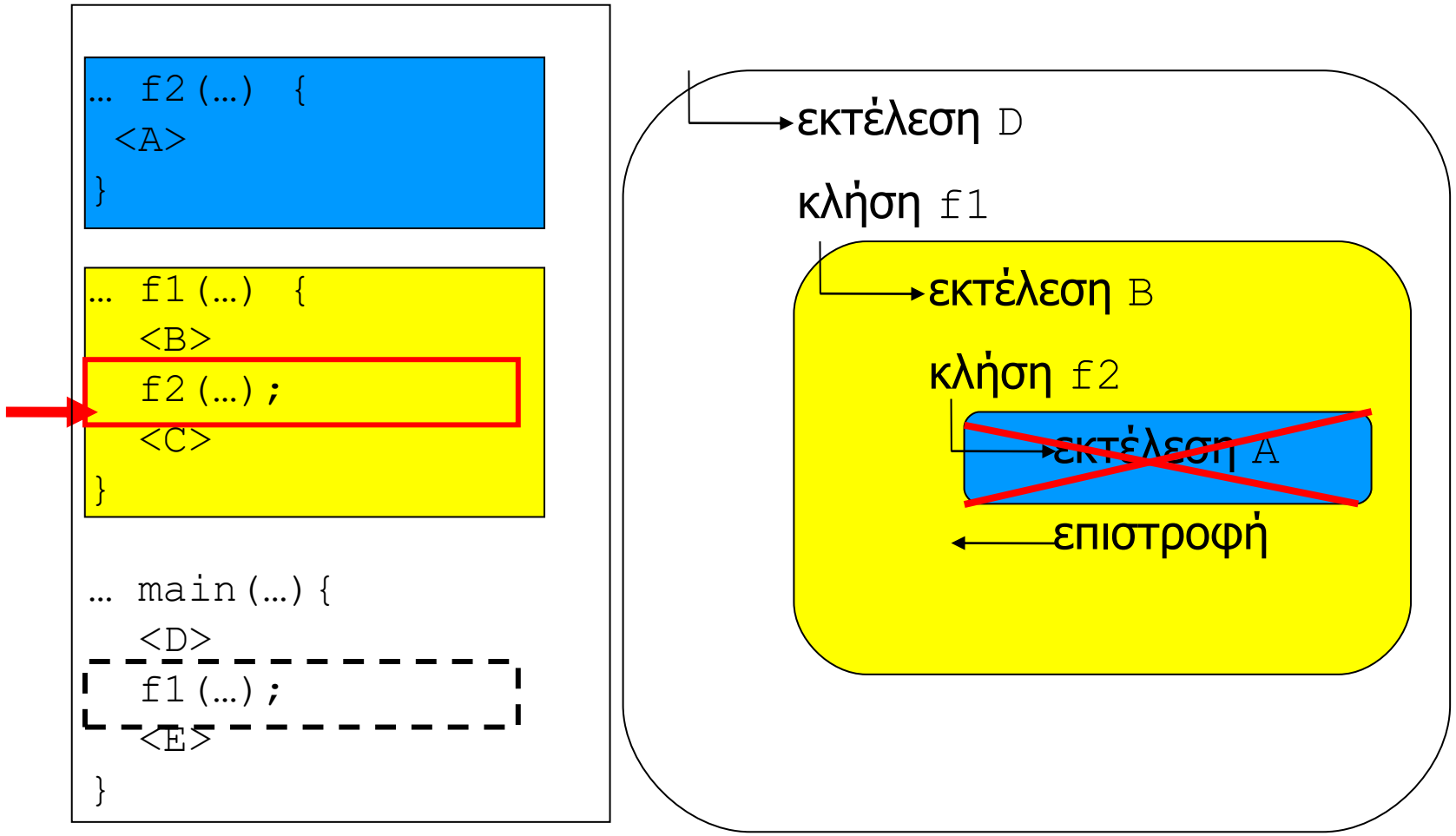

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D

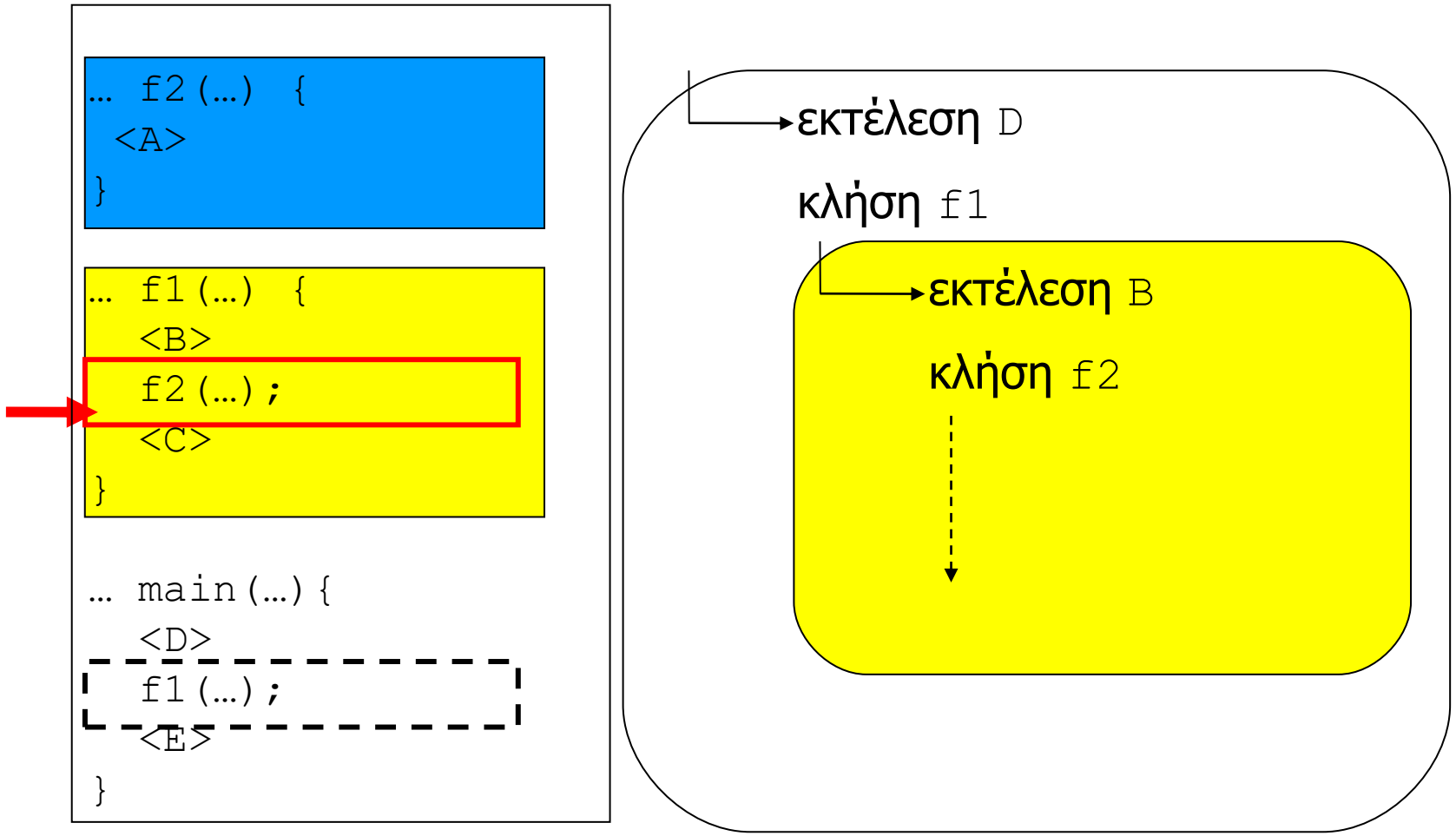

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1

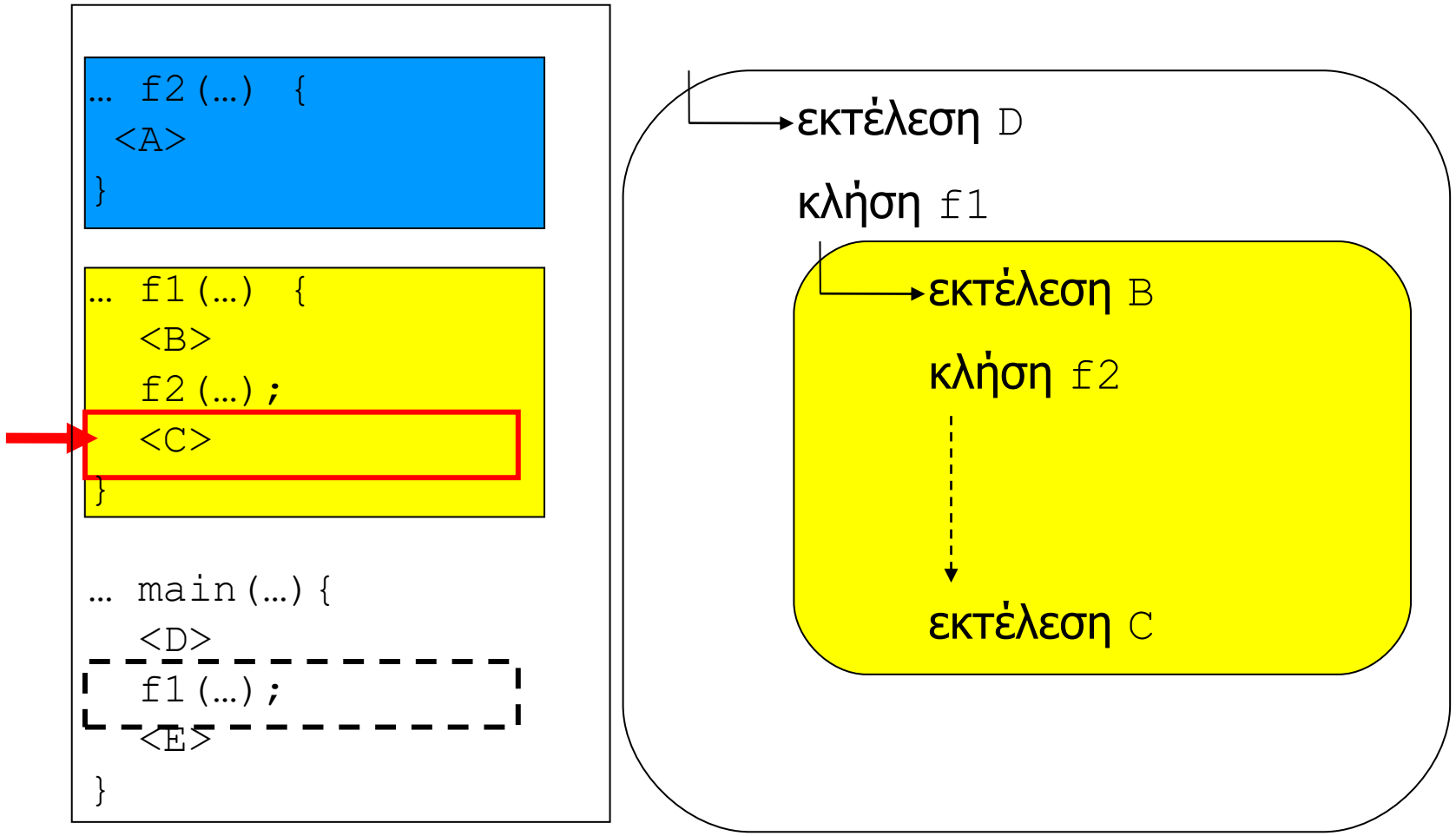

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1
εκτέλεση B

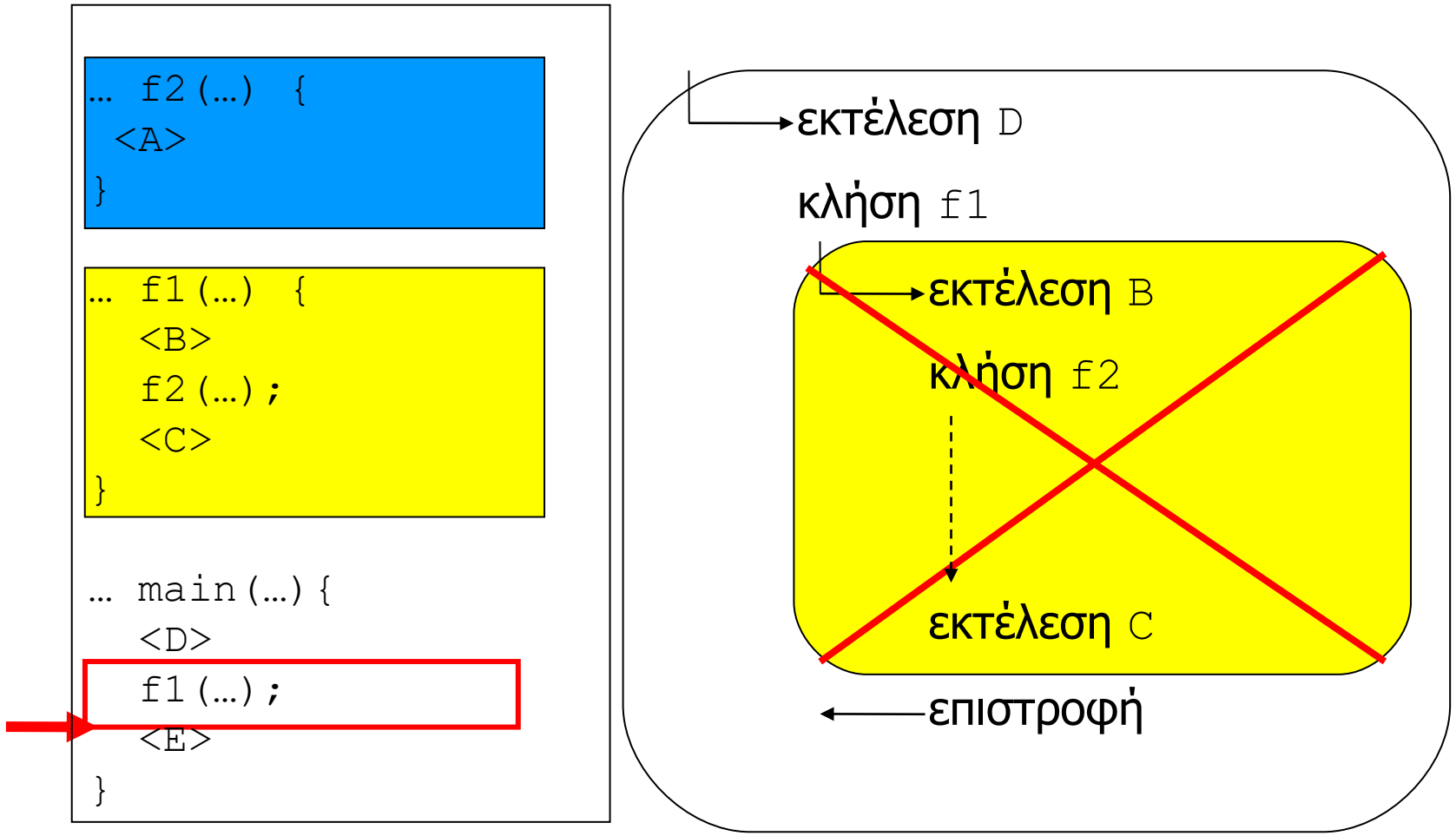

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1
εκτέλεση B
κλήση f2

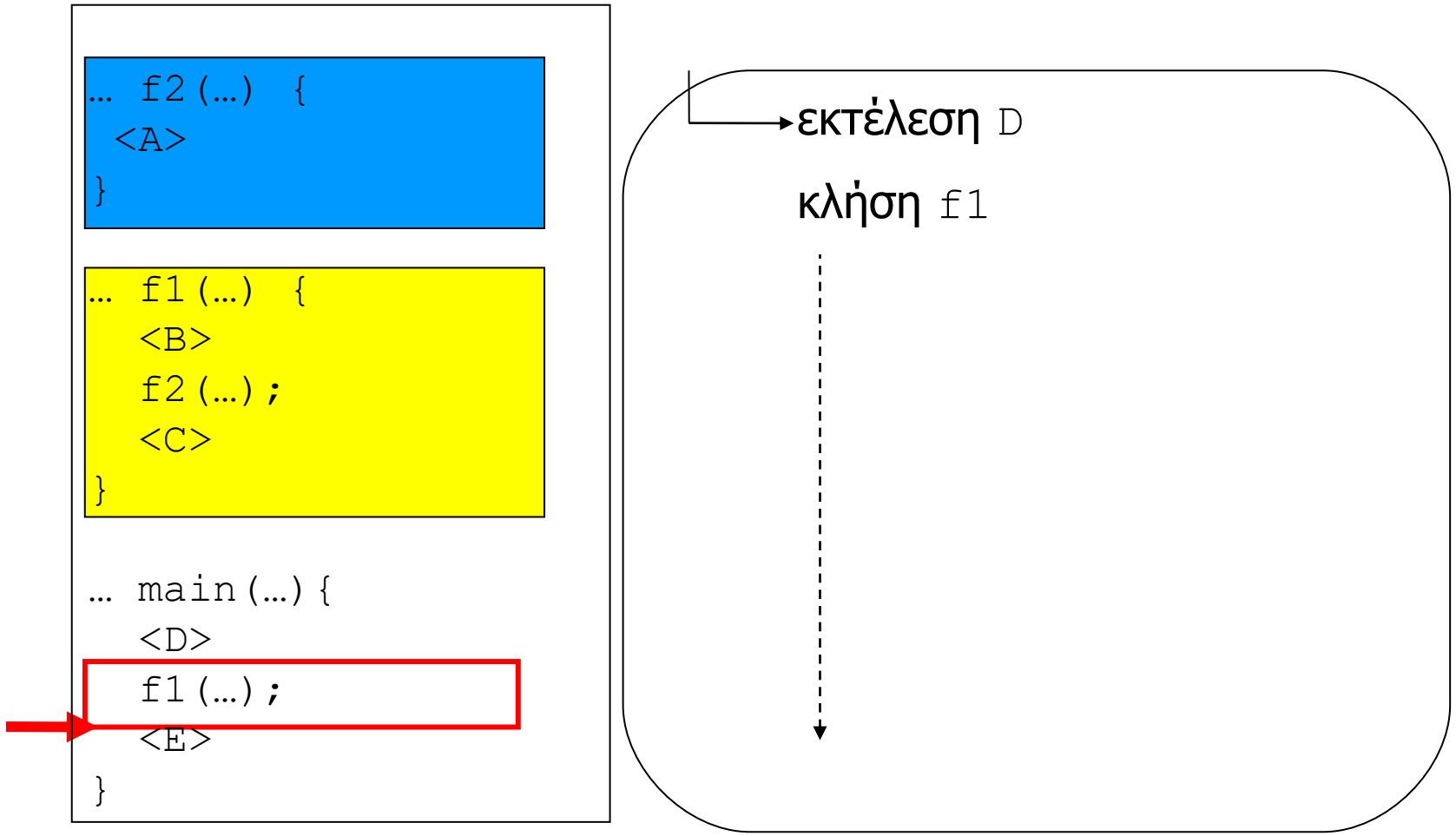

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1
εκτέλεση B
κλήση f2
εκτέλεση A

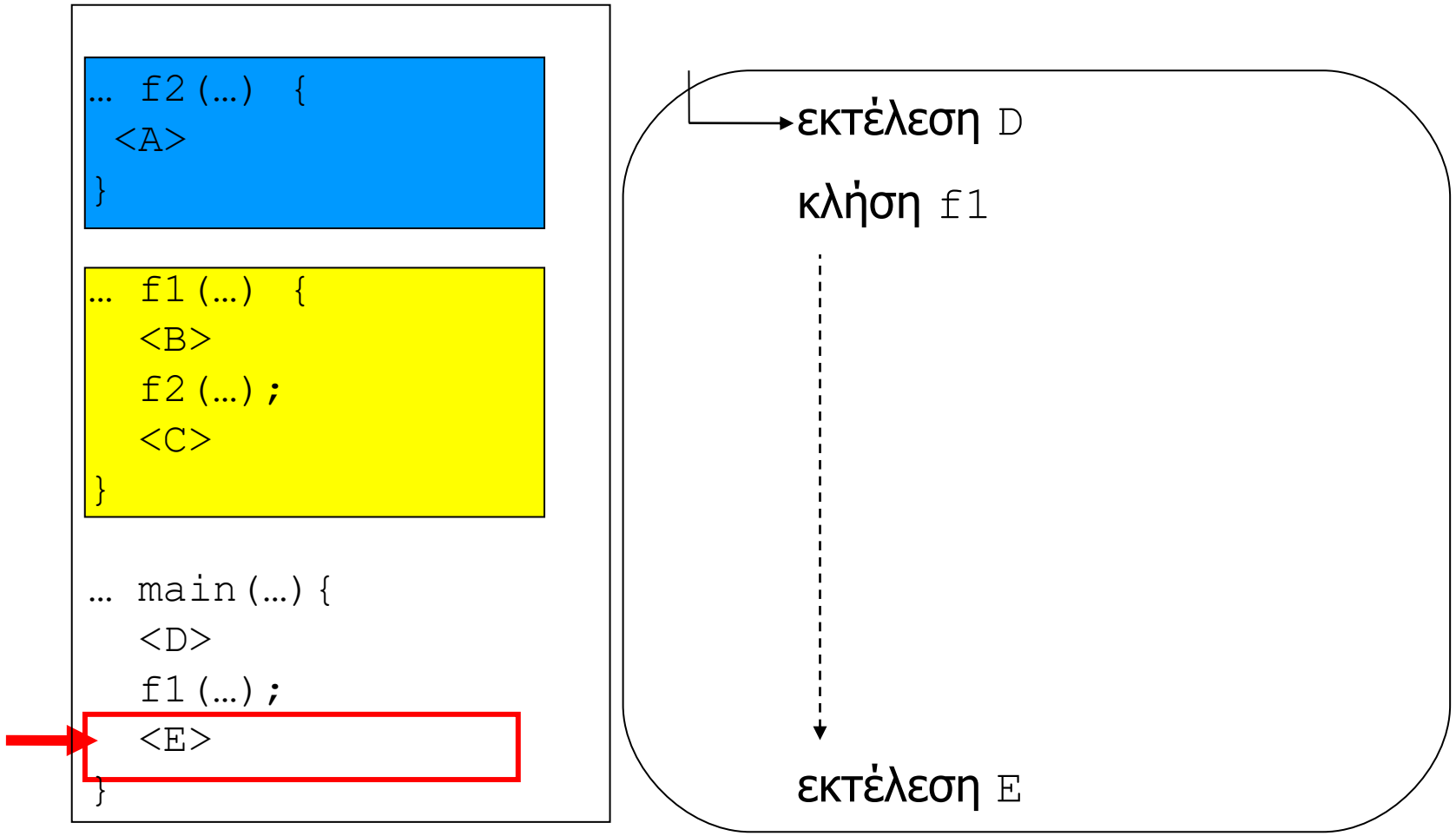

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1
εκτέλεση B
κλήση f2
εκτέλεση A
επιστροφή


… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1
εκτέλεση B
κλήση f2

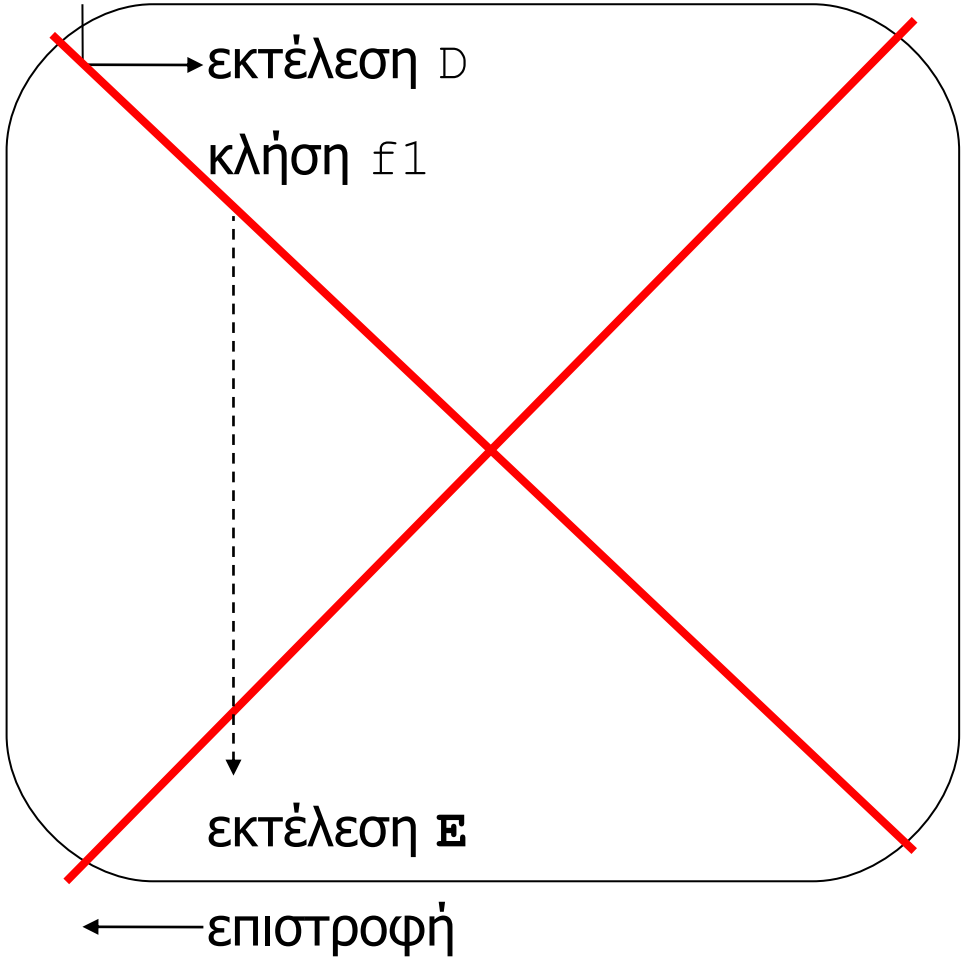

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1
εκτέλεση B
κλήση f2
εκτέλεση C

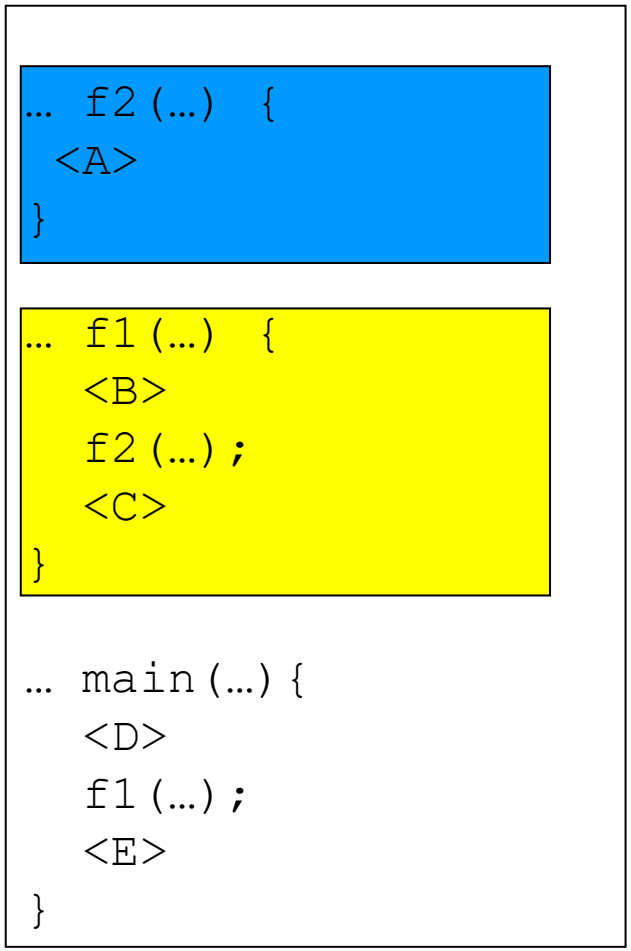

… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1
εκτέλεση B
κλήση f2
εκτέλεση C
επιστροφή


… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1


… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}
εκτέλεση D
κλήση f1
εκτέλεση E

```
… f2(…) {
  <A>
}

… f1(…) {
   <B>
   f2(…);
   <C>
}

… main(…){
   <D>
   f1(…);
   <E>
}
```




… f2(…) {
<A>
}
… f1(…) {
<B>
f2(…);
<C>
}
… main(…){
<D>
f1(…);
<E>
}

Τοπικές και καθολικές μεταβλητές

Τοπικές μεταβλητές

- Κάθε συνάρτηση μπορεί να δηλώνει **νέες** «δικές της» (**τοπικές**) μεταβλητές
  - που χρησιμοποιεί για τους δικούς της σκοπούς / επεξεργασία
- Οι τυπικές παράμετροι μπορεί να θεωρηθούν ως **ειδικές** τοπικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση (και πρόσβαση) των πραγματικών παραμέτρων της συνάρτησης
  - στις αρχικές εκδόσεις της γλώσσας C, η δήλωση των τυπικών παραμέτρων μιας συνάρτησης γινόταν (σχεδόν) όπως για τις τοπικές μεταβλητές
- Οι τυπικές παράμετροι **δεν** μπορεί να έχουν το ίδιο όνομα με τοπικές μεταβλητές ούτε το αντίστροφο
  - για να μπορεί να γίνει διαχωρισμός ανάμεσα τους

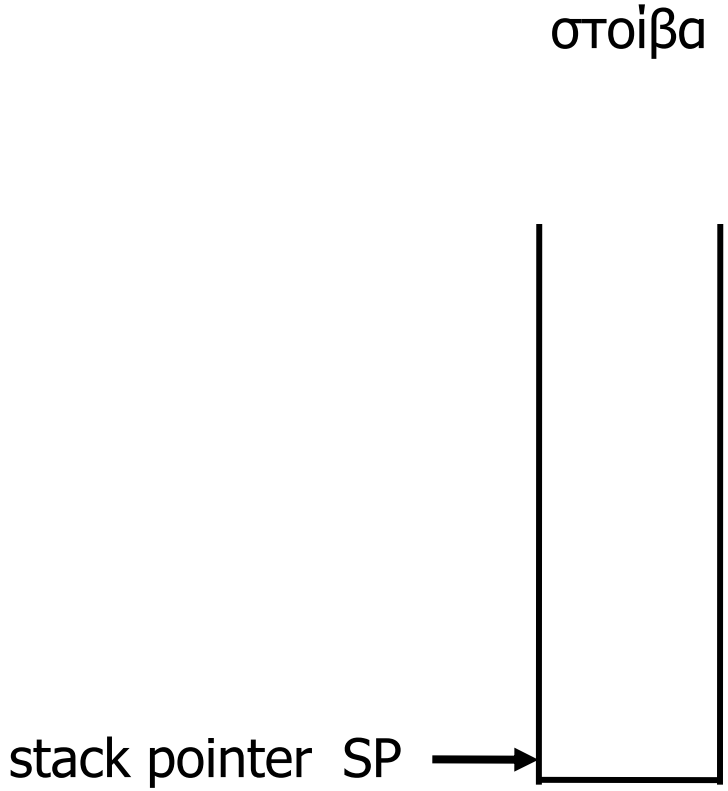
Δέσμευση μνήμης τοπικών μεταβλητών

- Η μνήμη των προσωρινών (τοπικών) μεταβλητών μιας συνάρτησης είναι **δυναμική**
  - δεσμεύεται/αποδεσμεύεται με το αντίστοιχο πλαίσιο εκτέλεσης
  - αντίθετα με τις καθολικές μεταβλητές που είναι στατικές
- Το ίδιο ισχύει για την μνήμη που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των πραγματικών παραμέτρων της συνάρτησης
- Η διαχείριση της τοπικής μνήμης των συναρτήσεων γίνεται μέσω ενός ειδικού μηχανισμού: της **στοίβας**
  - εναλλάξ ή/και αλυσιδωτή εκτέλεση συναρτήσεων
  - με τους λιγότερους δυνατούς πόρους
  - και την μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα εκτέλεσης

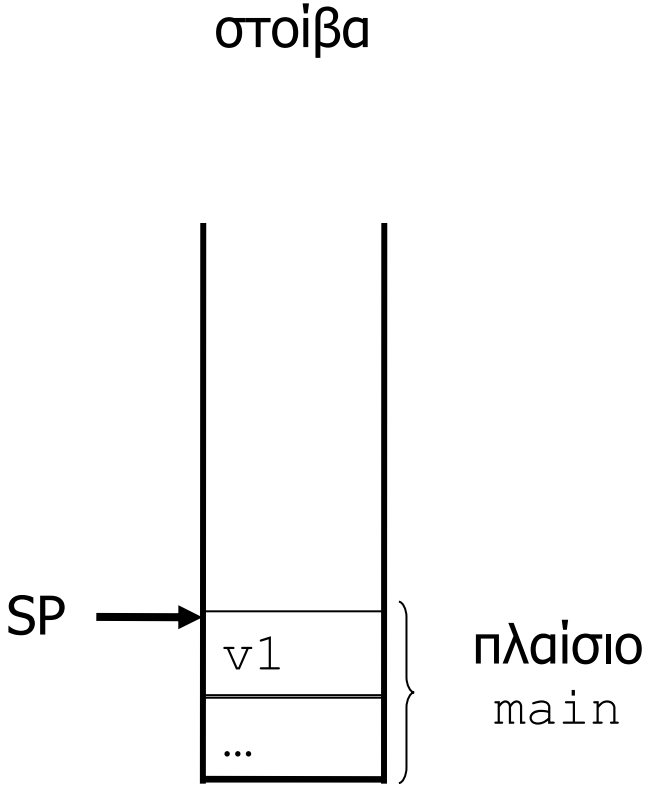
Στοίβα

- Δεσμεύεται ένα (μεγάλο) **συνεχόμενο** τμήμα μνήμης
- Χρησιμοποιείται ως ουρά Last In First Out (LIFO queue) για την αποθήκευση των τιμών των παραμέτρων και των τοπικών μεταβλητών για κάθε κλήση συνάρτησης
  - και των καταχωρητών της CPU μεταξύ κλήσεων διαφορετικών συναρτήσεων (σώσιμο κατάστασης)
- Το όριο της μνήμης της στοίβας που χρησιμοποιείται ανά πάσα στιγμή υποδεικνύεται από τον **stack pointer**
- Η διαχείριση του γίνεται από το περιβάλλον εκτέλεσης
  - με **διαφανή** τρόπο, χωρίς εμπλοκή του προγραμματιστή
  - κάθε φορά που γίνεται μια νέα κλήση και κάθε φορά που τερματίζεται μια κλήση, η τιμή του stack pointer αλλάζει ώστε να δείχνει στο τρέχον πλαίσιο εκτέλεσης

```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

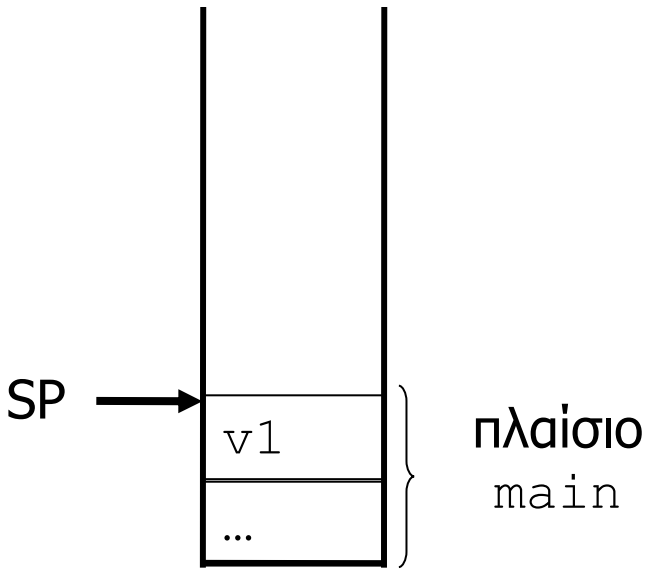


```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```



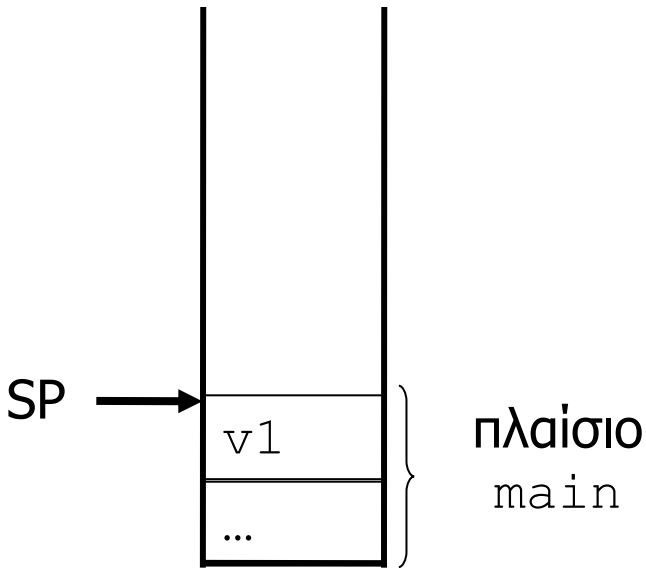
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



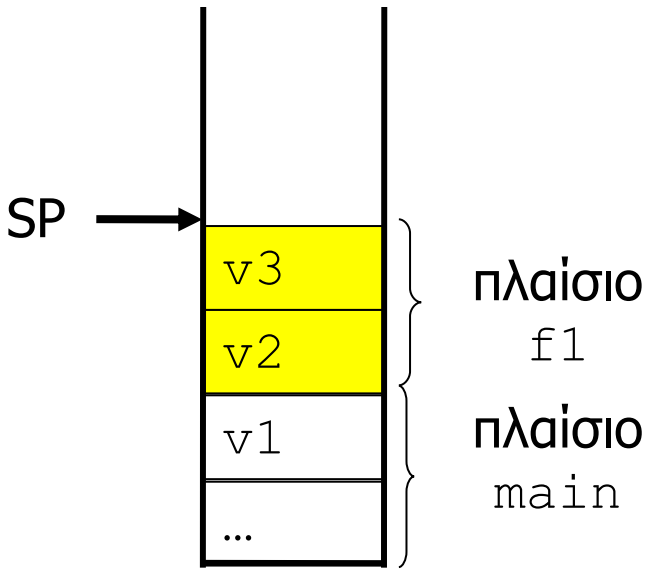
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



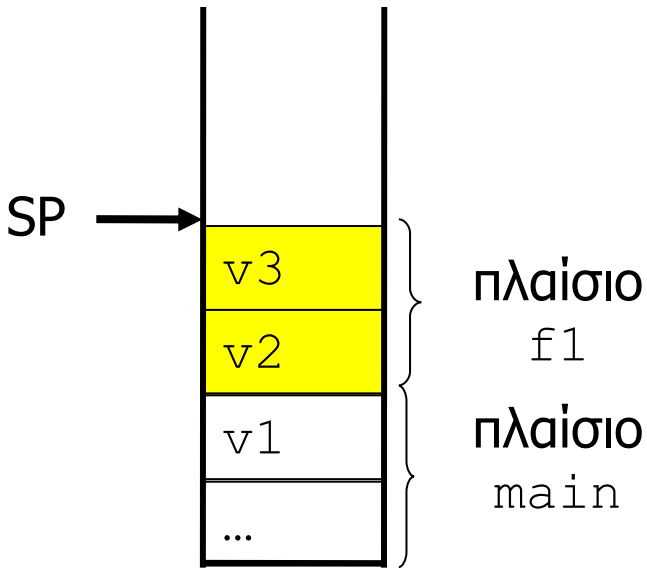
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



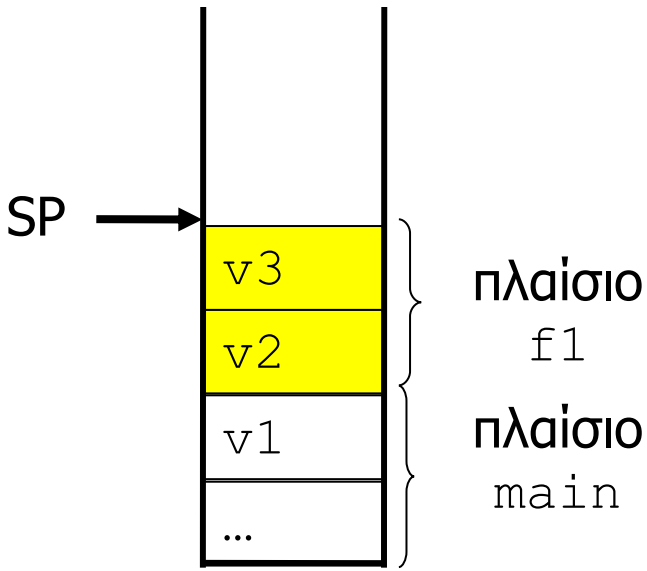
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



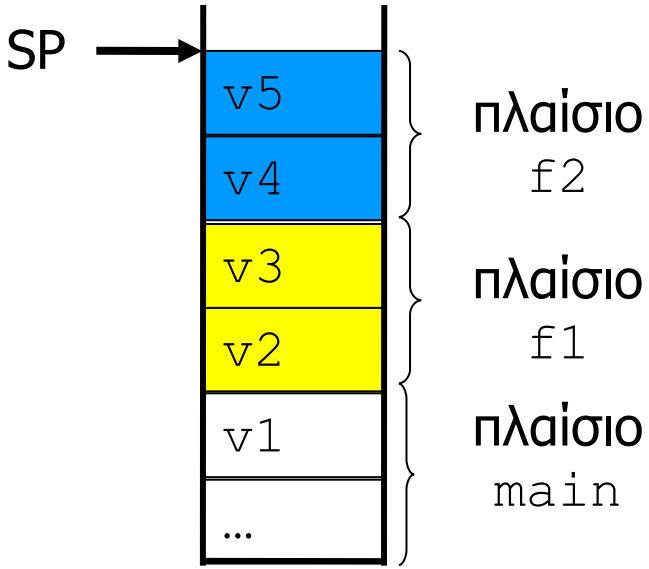
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



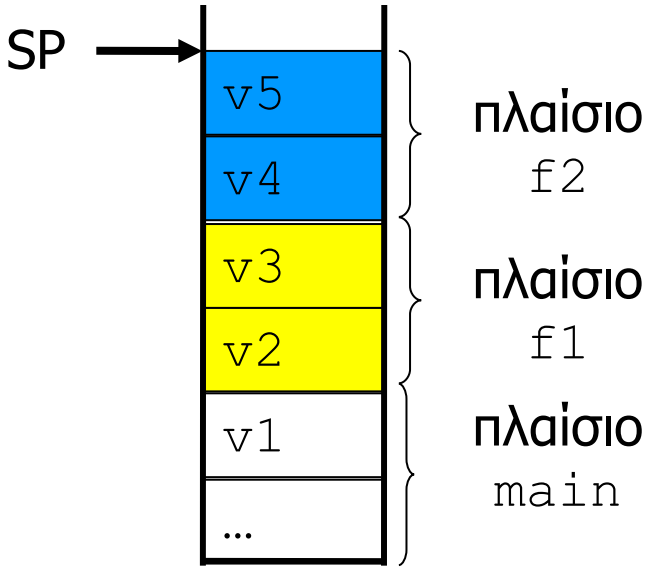
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



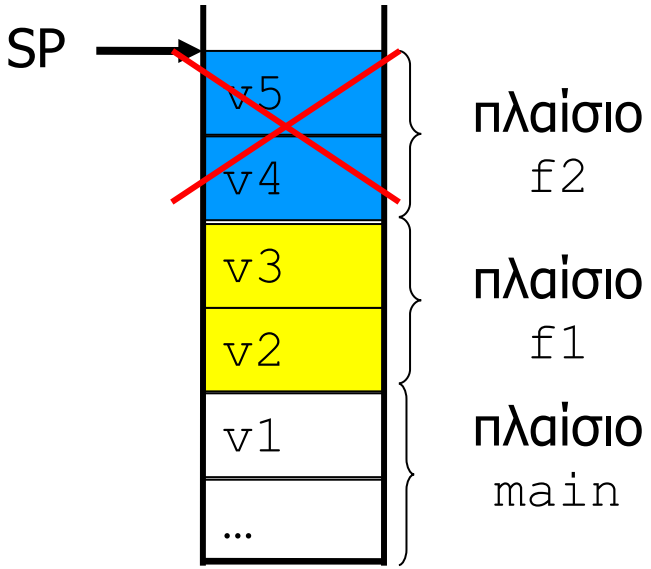
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



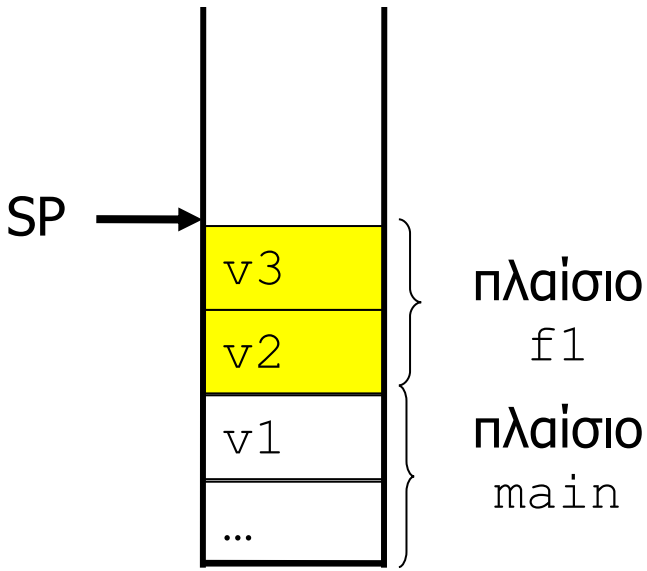
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



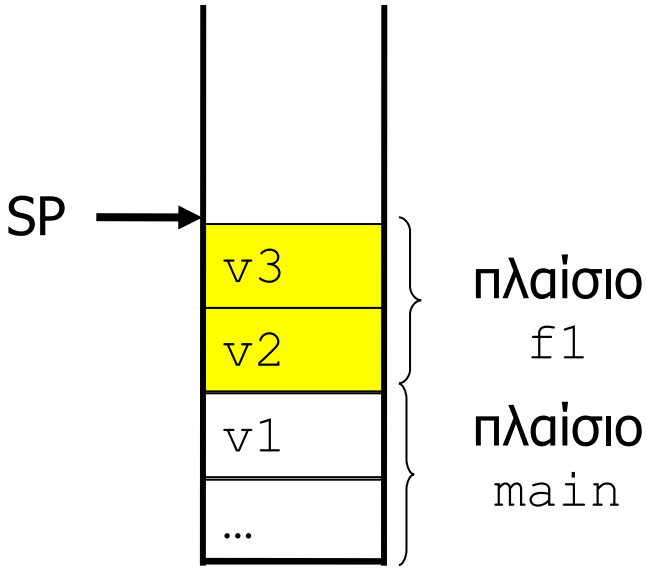
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



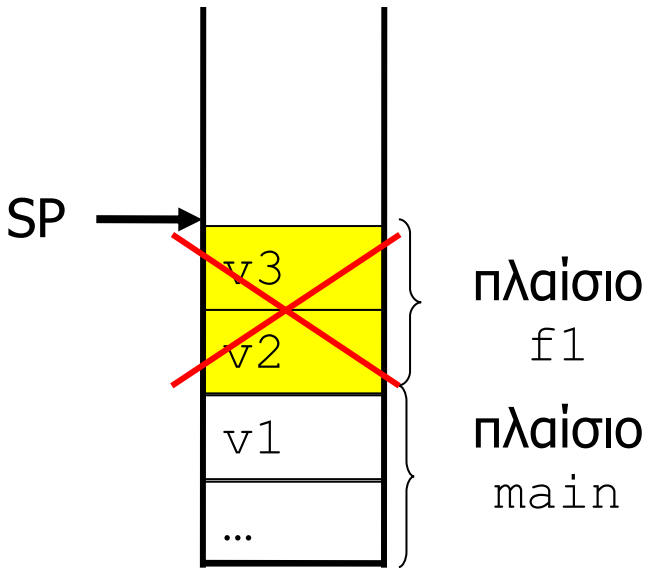
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



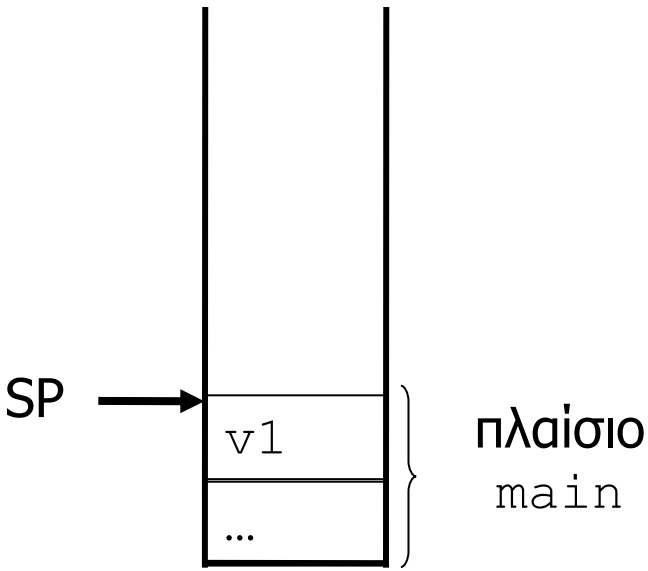
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



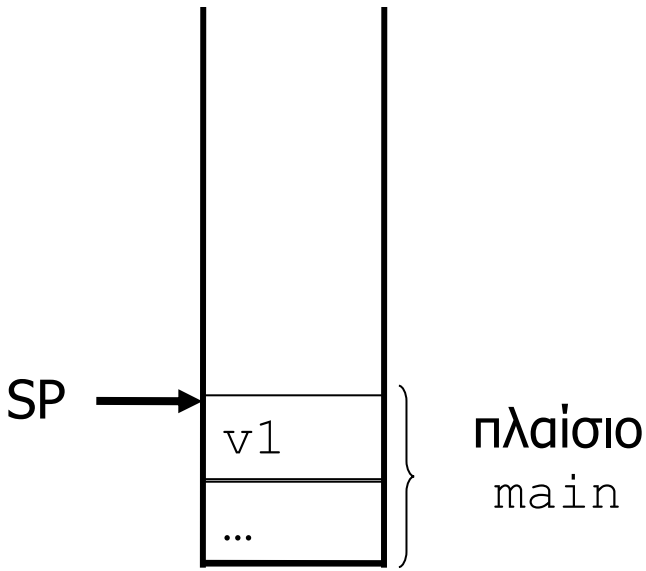
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



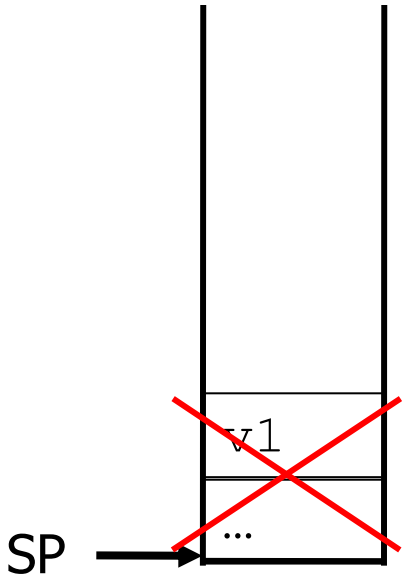
```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα

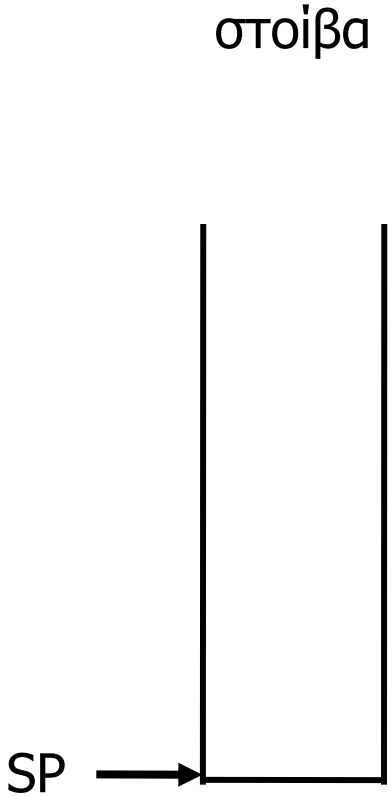


```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```

στοίβα



```
… f2(…) {
   int v5;
   <A>
}

… f1(…) {
   int v3;
   <B>
   f2(v4);
   <C>
}

… main(…){
   int v1;
   <D>
   f1(v2);
   <E>
}
```



```c
#include <stdio.h>

void foo1 (int in1) {
  int var1;
  printf("Addr of in1 is %p and of var1 is %p\n", &in1, &var1);
}

void foo2 (int in2) {
  int var2;
  printf("Addr of in2 is %p and of var2 is \n", &in2, &var2);
  foo1(in2);
}

void foo3 (int in3) {
  int var3;
  printf("Addr of in3 is %p and of var3 is %p\n", &in3, &var3);
  foo2(in3);
}

int main (int argc, char *argv[]) {
  int var0;
  printf("Addr of var0 is %p\n", &var0);
  foo3(var0);
  return 0;
}
```

Υπερχείλιση στοίβας

- Το μέγεθος της στοίβας είναι συνήθως **περιορισμένο**
- Το πρόγραμμα μπορεί να εξαντλήσει την μνήμη της στοίβας, και αυτή να υπερχειλίσει (**stack overflow**)
  - γίνονται πολλές αλυσιδωτές κλήσεις συνάρτησης
  - το συνολικό μέγεθος των τοπικών μεταβλητών είναι υπερβολικά μεγάλο για να χωρέσει στην στοίβα
- Τότε η εκτέλεση του προγράμματος **τερματίζεται**
  - με μήνυμα λάθους (αναλόγως με το λειτουργικό σύστημα)

Καθολικές (global) μεταβλητές

- Ορίζονται στην αρχή του κειμένου του προγράμματος
- **Έξω** από όλες τις συναρτήσεις (και την `main`)
- Αντίθετα από τις τοπικές μεταβλητές που ορίζονται **μέσα** στο πλαίσιο μιας συνάρτησης

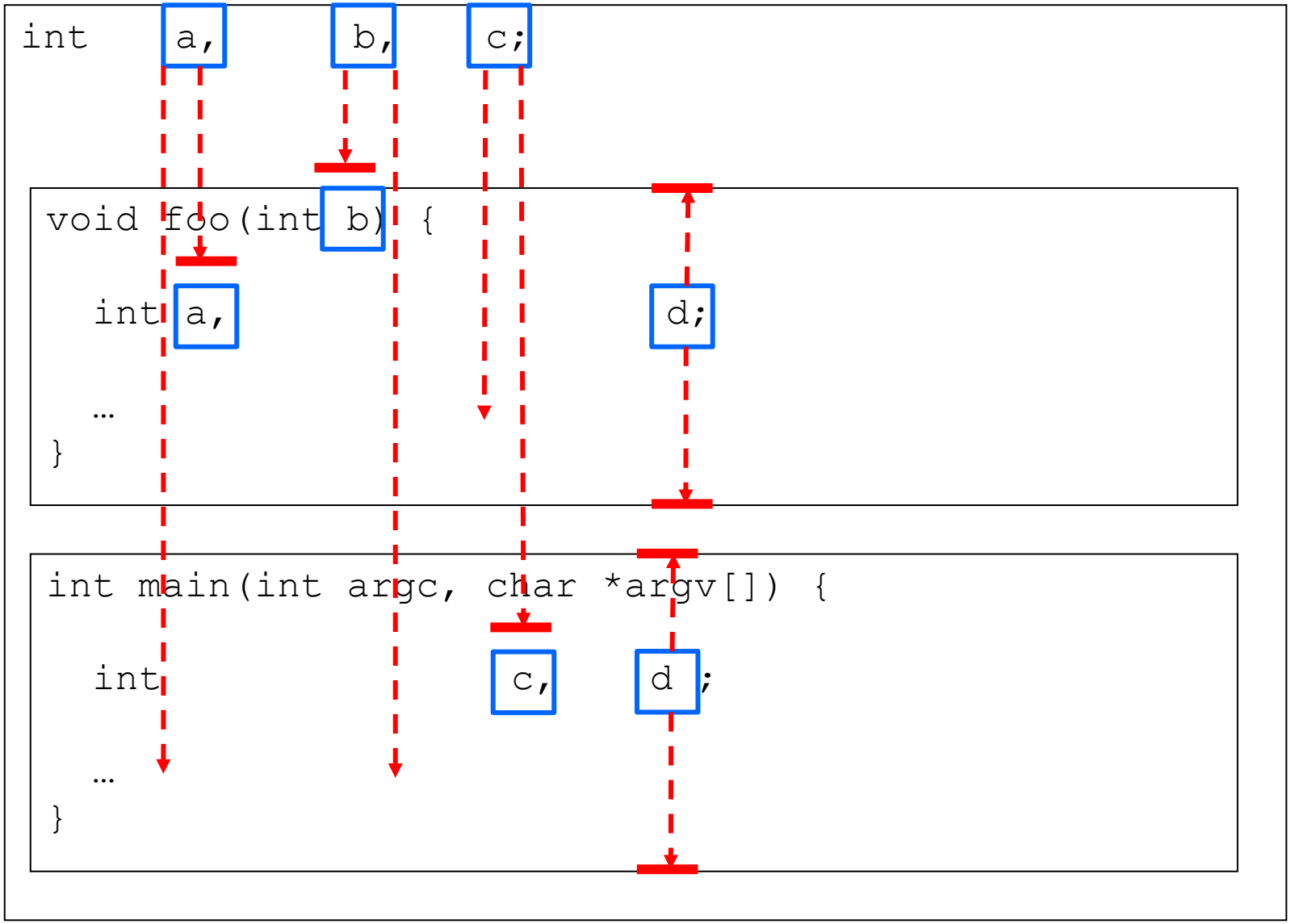
Διάρκεια ζωής μεταβλητών

- Οι καθολικές μεταβλητές είναι **μόνιμες**
  - υφίστανται **καθ' όλη την διάρκεια** της εκτέλεσης
  - η μνήμη τους δεσμεύεται **στατικά** προτού αρχίσει η εκτέλεση της `main` (ανεξάρτητα από την στοίβα)
- Οι τοπικές μεταβλητές (και οι πραγματικές παράμετροι μιας συνάρτησης) είναι **προσωρινές**
  - υφίστανται **μόνο** όσο κρατά η εκτέλεση της συνάρτησης
  - η μνήμη τους δεσμεύεται **δυναμικά** (στην στοίβα) και **εκ νέου** κάθε φορά που καλείται η συνάρτηση
- **Εξαίρεση**: `static` τοπικές μεταβλητές
  - είναι **μόνιμες**: υφίστανται και κρατούν την τιμή τους **ανάμεσα** στις διάφορες εκτελέσεις της συνάρτησης
  - αρχικοποιούνται κατά τη δήλωση – η εντολή αρχικοποίησης εκτελείται **μια φορά**, στην πρώτη κλήση της συνάρτησης

```c
#include <stdio.h>

int foo(int val) {
  static int hiddenval = 0;

  hiddenval++;
  return(val+hiddenval);
}

int main(int argc, char *argv[]) {
  int res;

  res = foo(0);
  printf("res = %d\n", res);

  res = foo(0);
  printf("res = %d\n", res);

  res = foo(0);
  printf("res = %d\n", res);

  return(0);
}
```

Εμβέλεια/ορατότητα μεταβλητών

- **Καθολικές μεταβλητές:** προσπελάσιμες (ορατές) από παντού / μέσα από **κάθε** συνάρτηση
- **Τοπικές μεταβλητές και τυπικές παράμετροι:** προσπελάσιμες (ορατές) **μόνο** από τον κώδικα της αντίστοιχης συνάρτησης
- Αν μια τοπική μεταβλητή (ή τυπική παράμετρος) μιας συνάρτησης έχει το ίδιο όνομα με μια καθολική μεταβλητή, **αποκρύπτει** την καθολική μεταβλητή
  - την καθιστά μη προσπελάσιμη μέσα από την συνάρτηση
- Ανά επίπεδο εμβέλειας, τα ονόματα μεταβλητών (και παραμέτρων) πρέπει να είναι μοναδικά
  - διαφορετικά υπάρχει πρόβλημα κατά την μετάφραση

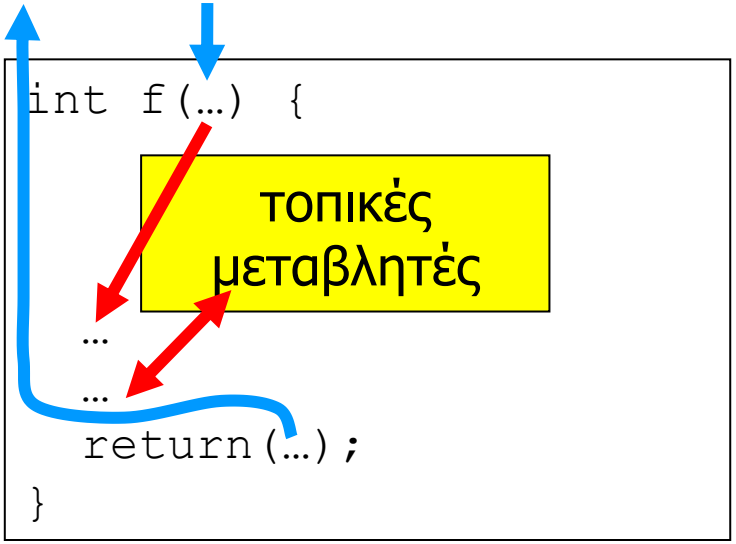

int a, b, c;
void foo(int b) {
int a,
d;
…
}
int main(int argc, char *argv[]) {
int
c,
d ;
…
}

```c
#include <stdio.h>

int a = 0, b = 0, c = 0;

void foo(int b) {
  int a, d;
  a = b--;
  c = a*b;
  d = c-1;
  printf("foo: a=%d, b=%d, c=%d, d=%d\n", a, b, c, d);
}

int main(int argc, char *argv[]) {
  int c = 1, d = 1;
  c = a + b;
  b = b + 1;
  printf("main: a=%d, b=%d, c=%d, d=%d\n", a, b, c, d);
  foo(c);
  printf("main: a=%d, b=%d, c=%d, d=%d\n", a, b, c, d);
  c = a + b;
  b = b + 1;
  printf("main: a=%d, b=%d, c=%d, d=%d\n", a, b, c, d);
  foo(a);
  printf("main: a=%d, b=%d, c=%d, d=%d\n", a, b, c, d);

  return(0);
}
```

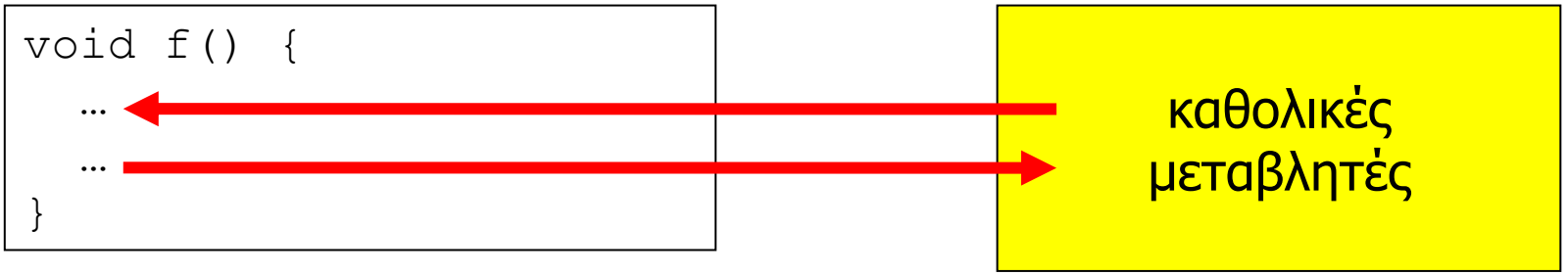
Αλλαγή καθολικών μεταβλητών

- Η αλλαγή μιας καθολικής μεταβλητής μέσα από μια συνάρτηση συνιστά μια λεγόμενη **παρενέργεια**
  - η αλλαγή δεν μπορεί να εντοπιστεί εύκολα, χωρίς να διαβάσουμε τον κώδικα της συγκεκριμένης συνάρτησης
  - οι παρενέργειες θεωρούνται κακό στυλ προγραμματισμού
- Βεβαίως, οι καθολικές μεταβλητές υπάρχουν ακριβώς για να επιτρέπουν το «πέρασμα» τιμών/δεδομένων (επικοινωνία) ανάμεσα σε διαφορετικές συναρτήσεις
- Αυτή η λύση πρέπει να επιλέγεται με **σύνεση**
  - όταν το επιθυμητό αποτέλεσμα **δεν** μπορεί να επιτευχθεί (με πιο απλό/καθαρό τρόπο) με πέρασμα κατάλληλων παραμέτρων και επιστροφή αποτελεσμάτων
  - και να τεκμηριώνεται κατάλληλα (π.χ. σύντομο σχόλιο)

προγραμματισμός χωρίς παρενέργειες



προγραμματισμός με παρενέργειες



```c
int sum(int n) {
  int i, s;

  s = 0;
  for (i=1; i<=n; i++) {
    s = s + i;
  }

  return(s);
}

int main(int argc,
         char *argv[]) {
  int n, res;

  scanf("%d", &n);
  res = sum(n);
  printf("%d\n", res);
}
```

```c
int res;

void sum(int n) {
  int i;

  res = 0;
  for (i=1; i<=n; i++) {
    res = res + i;
  }
}

int main(int argc,
         char *argv[]) {
  int n;

  scanf("%d", &n);
  sum(n);
  printf("%d\n", res);
}
```