Διάλεξη 13 - Μνήμη

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εισαγωγή στον Προγραμματισμό

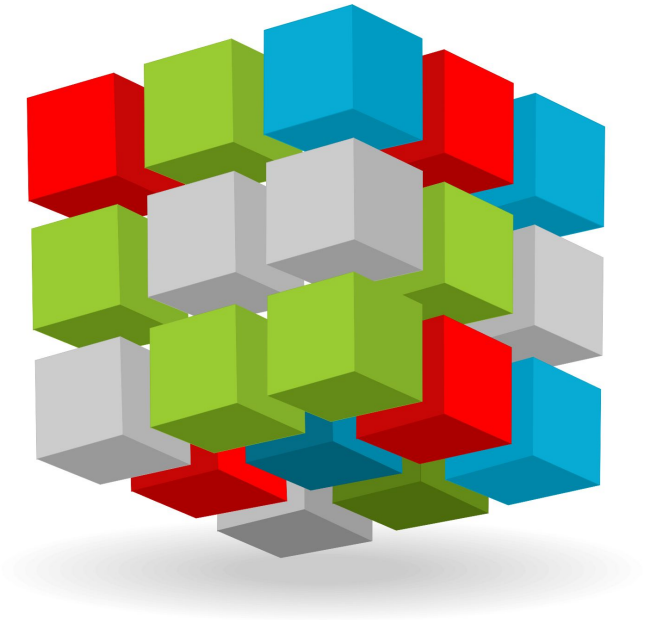
Θανάσης Αυγερινός

Ανακοινώσεις / Διευκρινήσεις

- Βγήκε η Εργασία #1 - τι απαιτείται;
- Δεν θα έχω ώρες γραφείου σήμερα
- Δεν θα γίνει το εργαστήριο 17:00-19:00 (Τμήμα #7)

Την Προηγούμενη Φορά

- Δείκτες και Πίνακες reloaded
  - Δισδιάστατοι πίνακες
  - Παραδείγματα
  - Δείκτες σε δείκτες σε δείκτες …
  - Δυναμική διαχείριση μνήμης



Σήμερα

- Κατηγορίες Μνήμης
- Διαχείριση Μνήμης
- Συναρτήσεις, Μεταβλητές,

  Δείκτες, Πίνακες
- Παραδείγματα

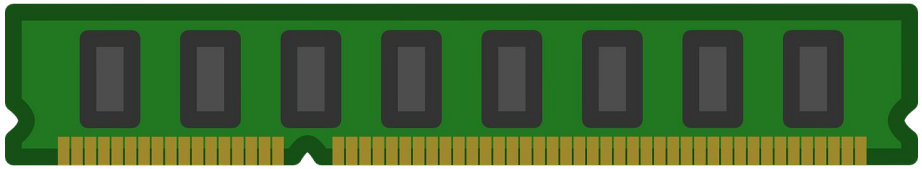
Η Μνήμη Οργανώνεται σε Bytes (Υπενθύμιση)

Το μέγεθος της μνήμης μετράται σε Bytes:

- **1 KB (KiloByte) = 1.000 Bytes**
- **1 MB (MegaByte) = 1.000.000 Bytes**
- **1 GB (GigaByte) = 1.000.000.000 Bytes**

Μνήμη με N Bytes

Byte 0	0	0	1	0	1	0	1	0
Byte 1	0	1	0	0	0	0	1	0
Byte 2	1	1	1	0	0	0	1	1
…				…				
Byte N-1	0	0	0	0	0	0	0	0
Byte N	0	1	1	0	1	0	0	0



Κατηγορίες Μνήμης

Υπάρχουν 3 κατηγορίες μνήμης:

1. Η στοίβα (stack)
2. Ο σωρός (heap)
3. Η παγκόσμια / στατική μνήμη (global / static memory) - όχι σήμερα

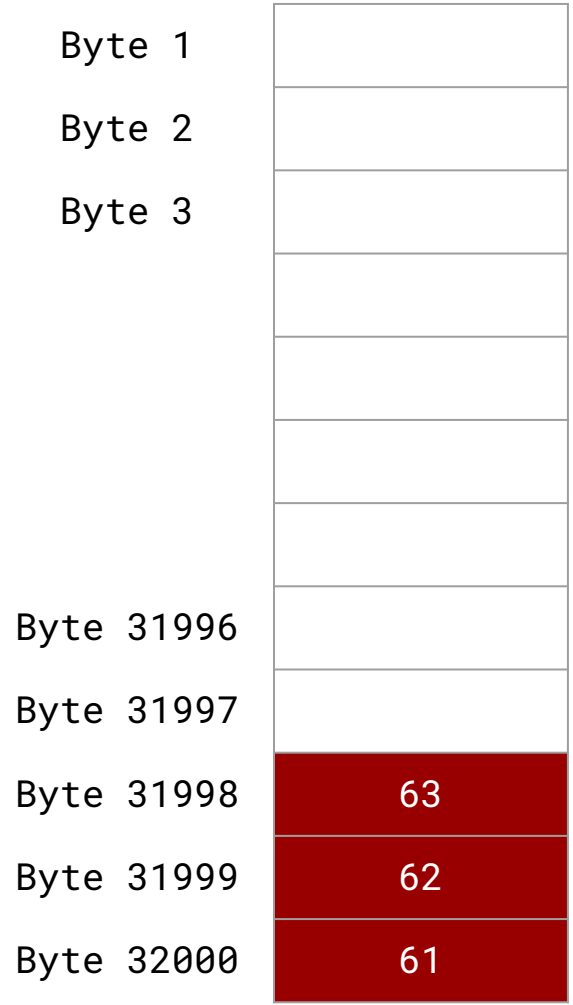
Η στοίβα (Stack)

Η στοίβα (stack) είναι μια συνεχόμενη περιοχή της μνήμης που προστίθενται και αφαιρούνται στοιχεία με σειρά Last-In-First-Out (LIFO), δηλαδή το τελευταίο στοιχείο που προστέθηκε είναι το πρώτο που θα αφαιρεθεί.

Η στοίβα (Stack)

Η στοίβα (stack) είναι μια συνεχόμενη περιοχή της μνήμης που προστίθενται και αφαιρούνται στοιχεία με σειρά Last-In-First-Out (LIFO), δηλαδή το τελευταίο στοιχείο που προστέθηκε είναι το πρώτο που θα αφαιρεθεί.

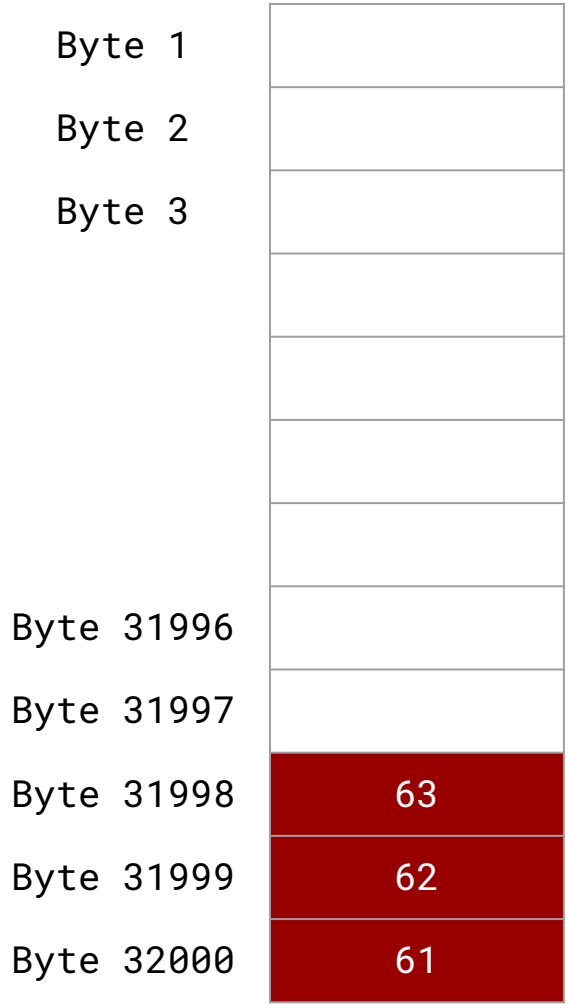
```
char a = 61; char b = 62; char c = 63;
```



Η στοίβα (Stack)

Η στοίβα (stack) είναι μια συνεχόμενη περιοχή της μνήμης που προστίθενται και αφαιρούνται στοιχεία με σειρά Last-In-First-Out (LIFO), δηλαδή το τελευταίο στοιχείο που προστέθηκε είναι το πρώτο που θα αφαιρεθεί.

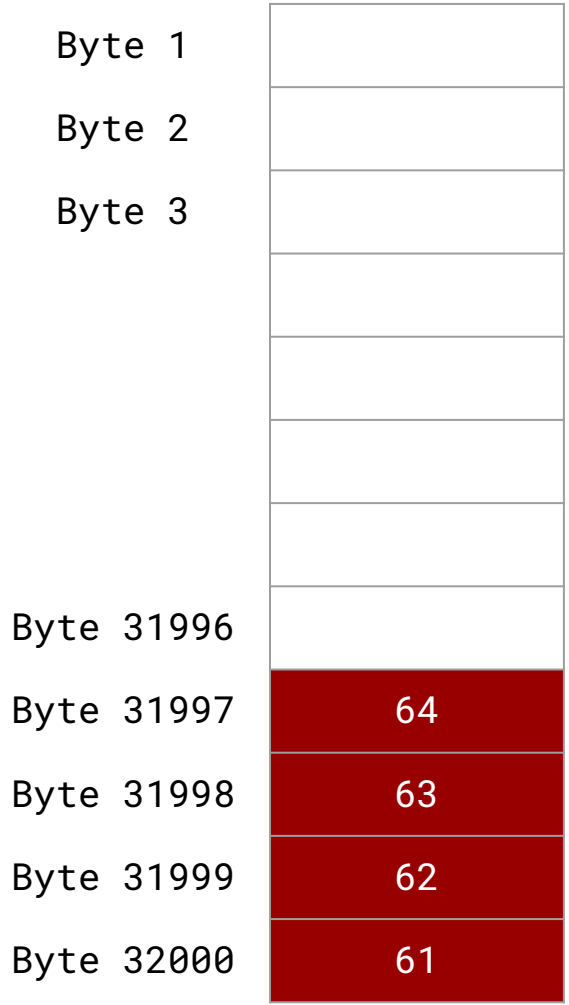
```
char a = 61; char b = 62; char c = 63;

...

char d = 64;
```



Η στοίβα (Stack)

Η στοίβα (stack) είναι μια συνεχόμενη περιοχή της μνήμης που προστίθενται και αφαιρούνται στοιχεία με σειρά Last-In-First-Out (LIFO), δηλαδή το τελευταίο στοιχείο που προστέθηκε είναι το πρώτο που θα αφαιρεθεί.

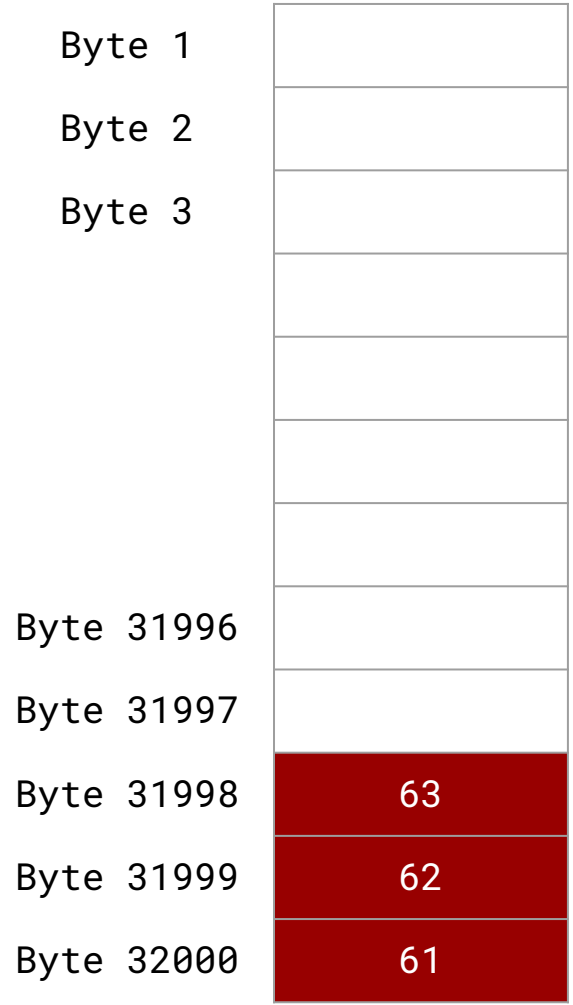
```
char a = 61; char b = 62; char c = 63;

...

char d = 64;
```



Η στοίβα (Stack)

Η στοίβα (stack) είναι μια συνεχόμενη περιοχή της μνήμης που προστίθενται και αφαιρούνται στοιχεία με σειρά Last-In-First-Out (LIFO), δηλαδή το τελευταίο στοιχείο που προστέθηκε είναι το πρώτο που θα αφαιρεθεί.

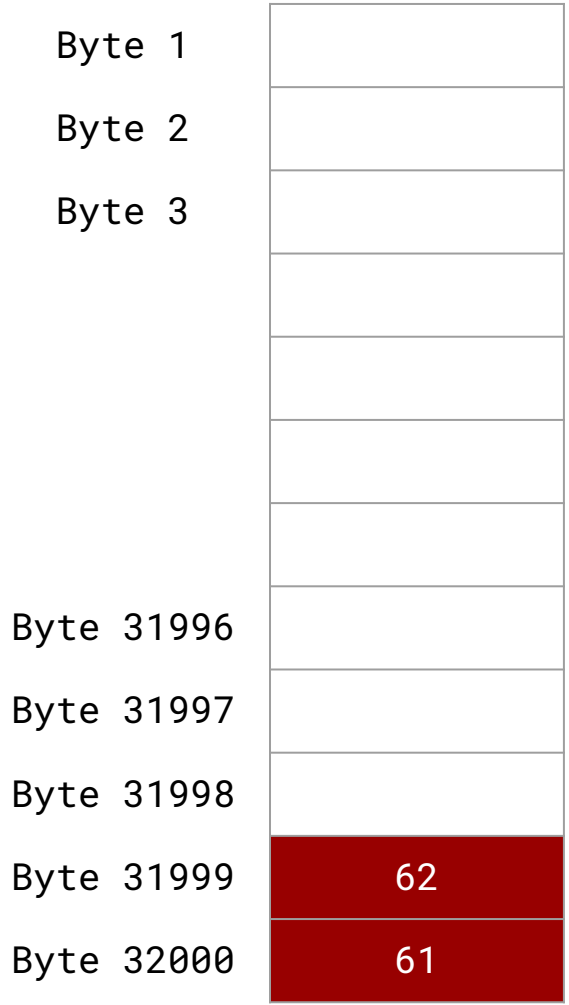
```
char a = 61; char b = 62; char c = 63;
```



Η στοίβα (Stack)

Η στοίβα (stack) είναι μια συνεχόμενη περιοχή της μνήμης που προστίθενται και αφαιρούνται στοιχεία με σειρά Last-In-First-Out (LIFO), δηλαδή το τελευταίο στοιχείο που προστέθηκε είναι το πρώτο που θα αφαιρεθεί.

```
char a = 61; char b = 62;
```



Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

1. Οι τοπικές μεταβλητές που χρησιμοποιεί κάθε κλήση συνάρτησης
2. Τα ορίσματα που περνάμε στην κλήση συνάρτησης
3. Προσωρινά δεδομένα που αποθηκεύει ο μεταγλωττιστής για κάθε κλήση συνάρτησης

Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

2: Ορίσματα που περνάμε στην συνάρτηση

```
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```

1: Τοπικές Μεταβλητές ορισμένες μέσα στην συνάρτηση

3: Προσωρινά δεδομένα (συνήθως μερικά bytes) που αποθηκεύει ο μεταγλωττιστής

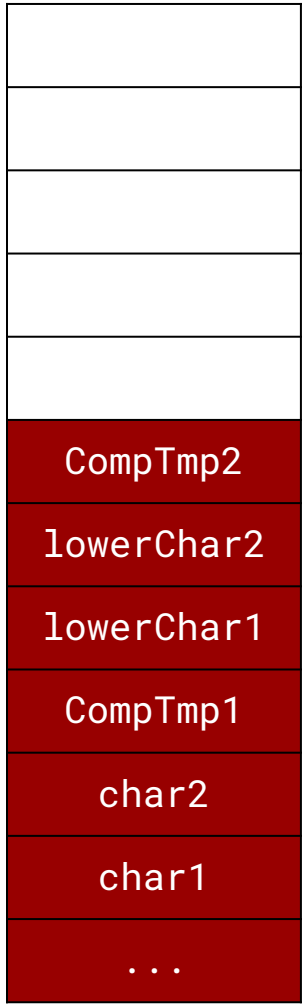
Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

2: Ορίσματα που περνάμε στην συνάρτηση

```
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```

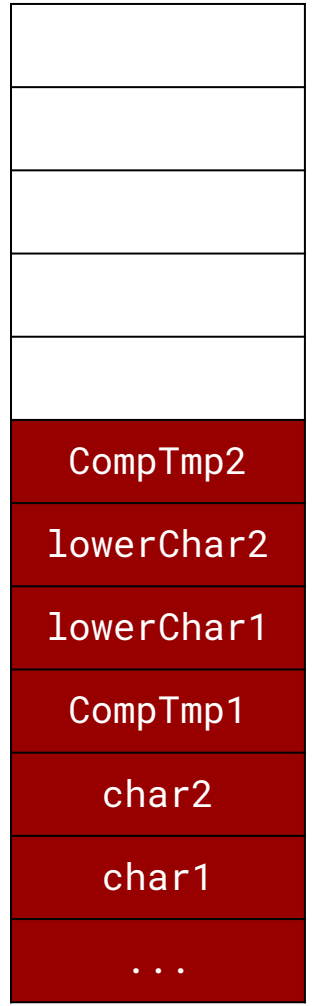
1: Τοπικές Μεταβλητές ορισμένες μέσα στην συνάρτηση

3: Προσωρινά δεδομένα (συνήθως μερικά bytes) που αποθηκεύει ο μεταγλωττιστής



Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

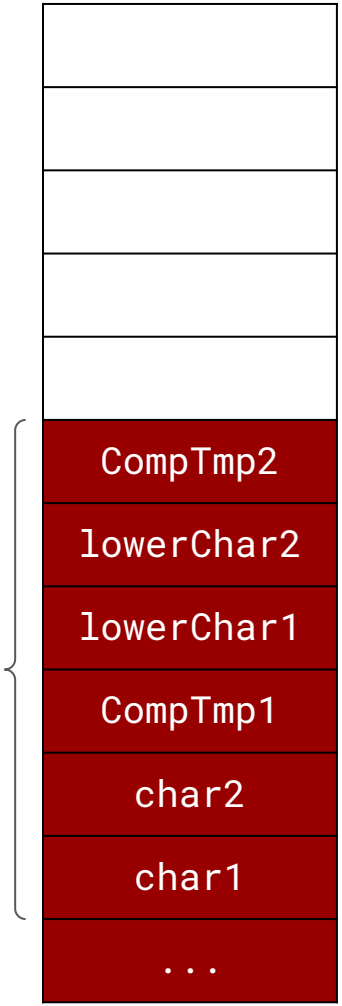
```
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```



Χώρος που δεσμεύεται στην στοίβα σε **κάθε** κλήση της συνάρτησης equalIgnoreCase. Αυτό το κομμάτι μνήμης λέγεται και διάγραμμα ενεργοποίησης (**activation record ή stack frame**) της συνάρτησης

Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

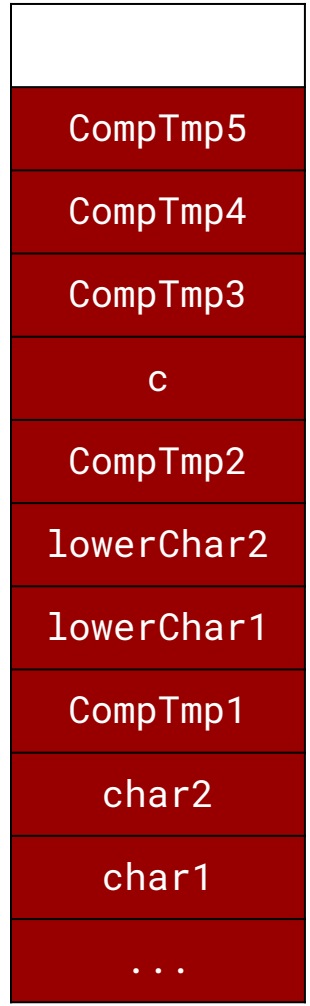
```
char tolower(char c) {
    if (c >= 'A' && c <= 'Z')
        return c + ('a' - 'A');
    return c;
}
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```



Τι θα συμβεί όταν κληθεί η συνάρτηση tolower την πρώτη φορά;

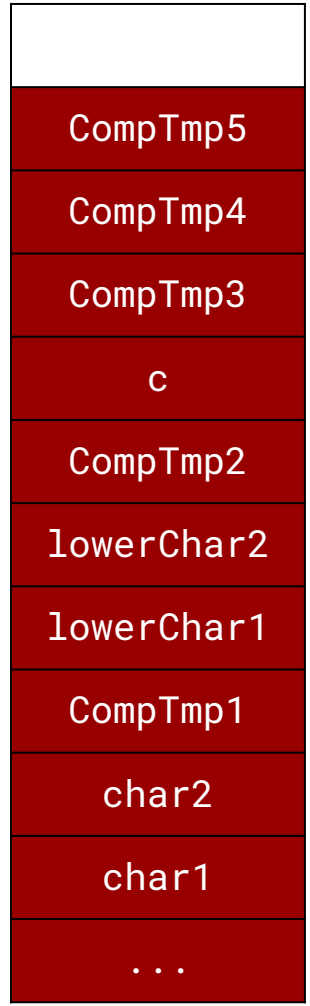
Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

```
char tolower(char c) {
    if (c >= 'A' && c <= 'Z')
        return c + ('a' - 'A');
    return c;
}
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```



Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

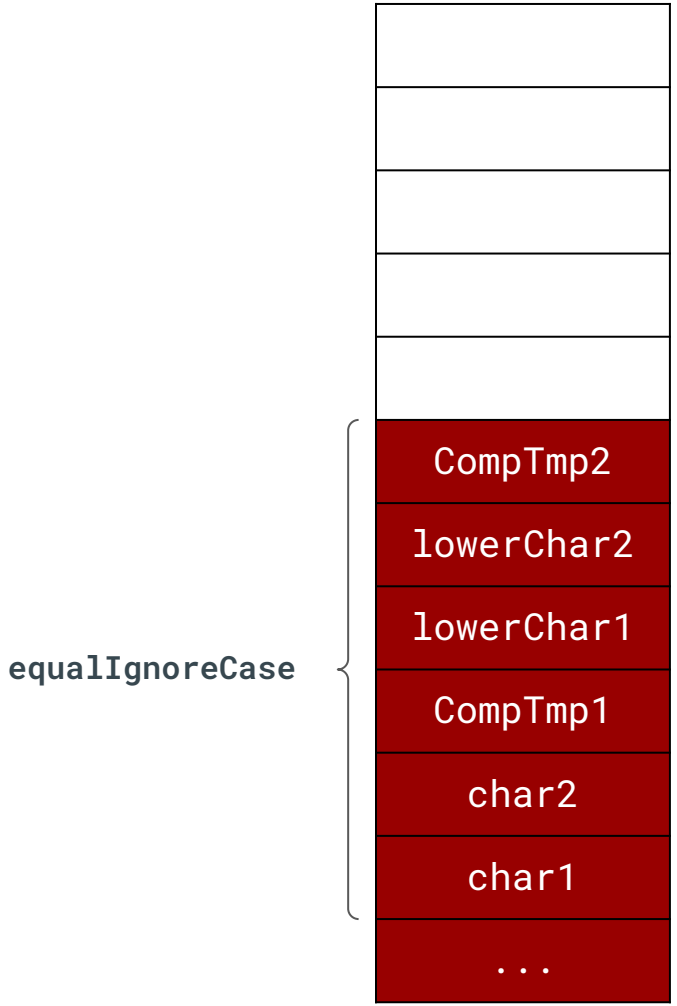
```
char tolower(char c) {
    if (c >= 'A' && c <= 'Z')
        return c + ('a' - 'A');
    return c;
}
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```



Τι θα συμβεί όταν εκτελεστεί η εντολή `return`;

Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

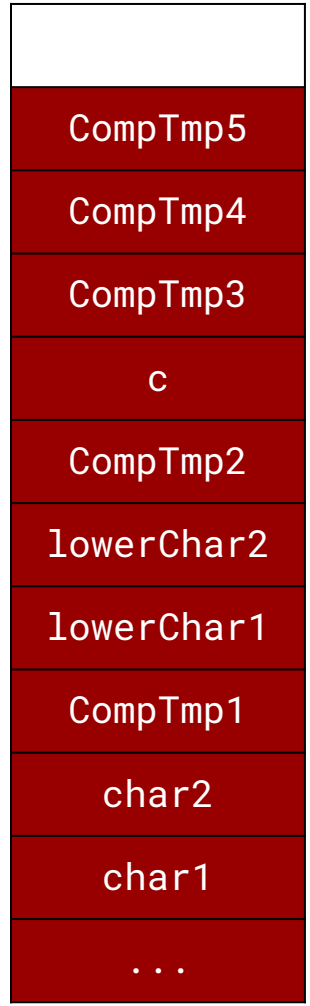
```
char tolower(char c) {
    if (c >= 'A' && c <= 'Z')
        return c + ('a' - 'A');
    return c;
}
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```



Τι θα συμβεί όταν εκτελεστεί η δεύτερη κλήση tolower;

Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

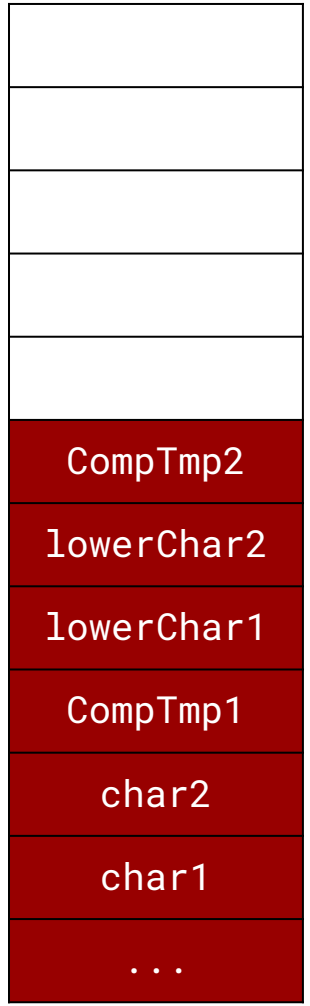
```
char tolower(char c) {
    if (c >= 'A' && c <= 'Z')
        return c + ('a' - 'A');
    return c;
}
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```



Τι θα συμβεί όταν εκτελεστεί η εντολή `return`;

Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

```
char tolower(char c) {
    if (c >= 'A' && c <= 'Z')
        return c + ('a' - 'A');
    return c;
}
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
    char lowerChar1 = tolower(char1);
    char lowerChar2 = tolower(char2);
    return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```

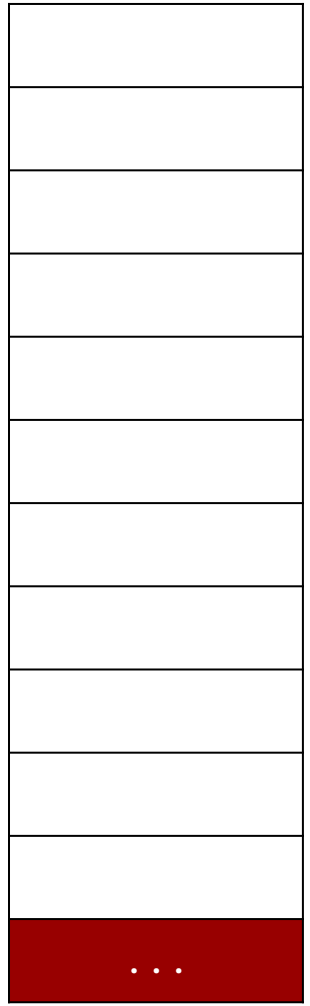


Τι θα συμβεί όταν εκτελεστεί η `return` της equalIgnoreCase;

Τι αποθηκεύεται συνήθως στην στοίβα;

```
char tolower(char c) {
    if (c >= 'A' && c <= 'Z')
        return c + ('a' - 'A');
    return c;
}
int equalIgnoreCase(char char1, char char2) {
     char lowerChar1 = tolower(char1);
     char lowerChar2 = tolower(char2);
     return lowerChar1 == lowerChar2;
}
```

Τι θα συμβεί όταν εκτελεστεί η `return` της equalIgnoreCase;



Είχαμε πει "η αναδρομή πρέπει να τελειώνει". Γιατί;

```c
void recurse() {
  recurse();
}

int main() {
  recurse();
  return 0;
}
```

```
$ gcc -o rec rec.c
$ ./rec
Segmentation fault
```

Πόσο μεγάλη μπορεί να γίνει η στοίβα μου;

Στα περισσότερα συστήματα, το μέγεθος της στοίβας είναι περιορισμένο σε μερικά megabytes (MBs) - καθώς υπάρχει η προσδοκία ότι δεν θα έχουμε εμφωλευμένες κλήσεις εκατομμυρίων συναρτήσεων ή με πολύ μεγάλα τοπικά δεδομένα.

Μπορούμε να βρούμε το μέγεθος της στοίβας μας με την εντολή:

```
$ ulimit -s
8192
```

Μέγιστο μέγεθος στοίβας σε KB, δηλαδή 8MB

Τι θα κάνει το ακόλουθο πρόγραμμα;

```c
#include <stdio.h>


int main() {
  char bomb[9000000];
  printf("Hello World\n");
  return 0;
}
```

Τι θα κάνει το ακόλουθο πρόγραμμα;

```c
#include <stdio.h>


int main() {
  char bomb[9000000];
  printf("Hello World\n");
  return 0;
}
```

```
$ gcc -o hello hello.c
$ ulimit -s
8192
$ ./hello
Segmentation fault
$ ulimit -s unlimited
$ ulimit -s
unlimited
$ ./hello
Hello World
```

Είναι γενικά κακή πρακτική το πρόγραμμά μας να στηρίζεται σε χρήση unlimited stack.

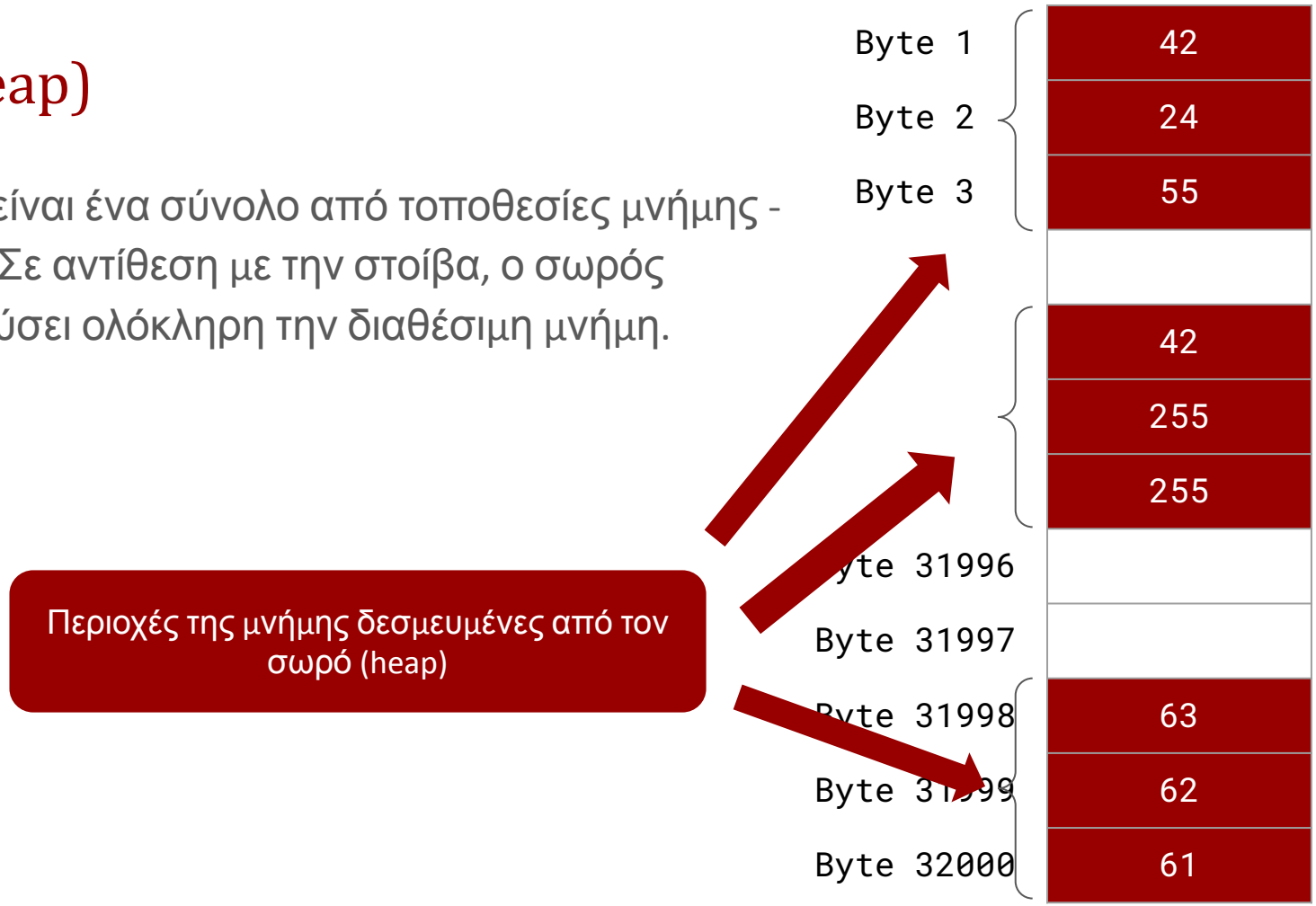
Τι κάνουμε όταν η στοίβα δεν είναι αρκετή και χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε πίνακες μεγάλου μεγέθους;

Ο Σωρός (Heap)

Ο σωρός (heap) είναι ένα σύνολο από τοποθεσίες μνήμης - σε τυχαία σειρά. Σε αντίθεση με την στοίβα, ο σωρός μπορεί να δεσμεύσει ολόκληρη την διαθέσιμη μνήμη.

Ο Σωρός (Heap)

Ο σωρός (heap) είναι ένα σύνολο από τοποθεσίες μνήμης - σε τυχαία σειρά. Σε αντίθεση με την στοίβα, ο σωρός μπορεί να δεσμεύσει ολόκληρη την διαθέσιμη μνήμη.



Δέσμευση Μνήμης Σωρού με την συνάρτηση `malloc`

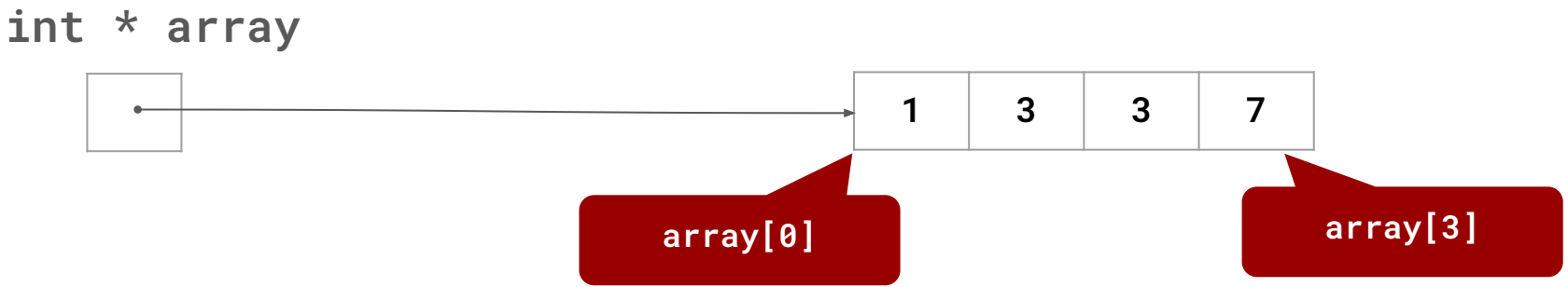
Με την βοήθεια της συνάρτησης `malloc`, μπορούμε να δεσμεύσουμε δυναμικά μνήμη στον σωρό. Παράδειγμα για να δημιουργήσουμε έναν πίνακα ακεραίων:

```
int * array = malloc(4 * sizeof(int));
```

stdlib.h

Η μνήμη μετά την εκτέλεση της malloc θα δείχνει ως εξής:

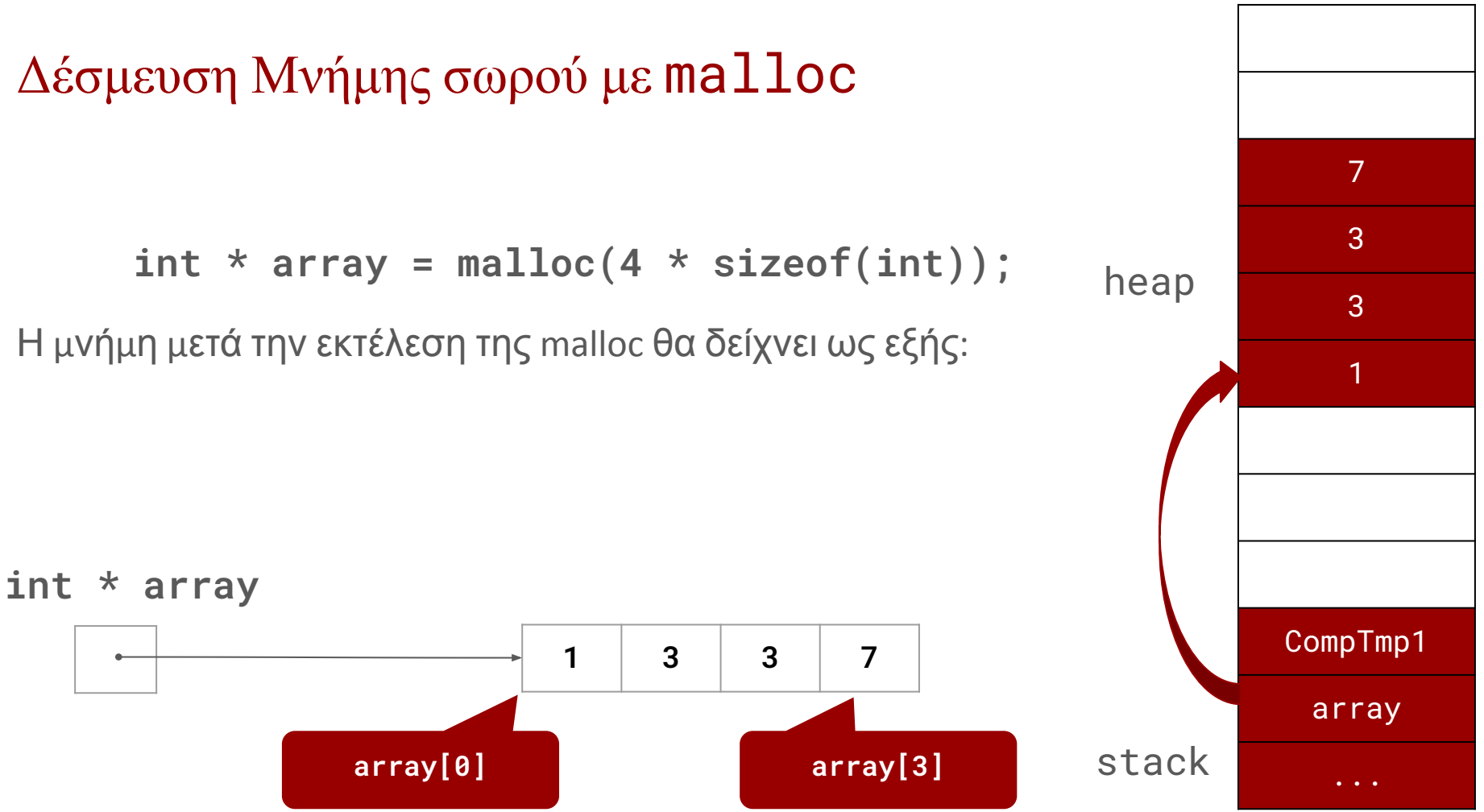
Δημιουργία πίνακα 4 ακεραίων



Δέσμευση Μνήμης σωρού με `malloc`

```
int * array = malloc(4 * sizeof(int));
```

Η μνήμη μετά την εκτέλεση της malloc θα δείχνει ως εξής:



Ο τύπος `void`

Ο τύπος `void` (που σημαίνει "κενό") είναι ο τύπος της C που χρησιμοποιείται για να δηλώσει το κενό σύνολο - έναν τύπο που δεν μπορεί να έχει στοιχεία. Για παράδειγμα, μια συνάρτηση με τύπο επιστροφής void δεν επιστρέφει καμία τιμή.

```
void hi() {
  printf("Hello World\n");
  return;
}
```

Δηλώσεις μεταβλητών με τύπο void - π.χ., `void a;` δεν είναι επιτρεπτές στην C

Ο τύπος `void *`

Ο τύπος `void *` (που σημαίνει δείκτης σε "κενό") είναι ο τύπος της C που χρησιμοποιείται για να δηλώσει έναν δείκτη σε "κάτι" ή αλλιώς μια διεύθυνση. Συνήθως χρησιμοποιείται για να επιστρέψει έναν δείκτη σε μνήμη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πίνακας μετά από type casting.

```
void *malloc(size_t size);

void *calloc(size_t nmemb, size_t size);
```

Όμοια με την malloc, απλά μηδενίζει όλα τα στοιχεία της μνήμης πριν επιστρέψει τον δείκτη

Οι συναρτήσεις malloc/calloc επιστρέφουν void * καθώς το αποτέλεσμά τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης σε int, double, char - ανάλογα με την χρήση. Όλα είναι δείκτες ίδιου μεγέθους.

Τι θα κάνει το ακόλουθο πρόγραμμα;

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main() {
  char *bomb = malloc(sizeof(char) * 9000000);
  printf("Hello World\n");
  return 0;
}
```

```
$ ./heap
Hello World
```

Τι θα κάνει το ακόλουθο πρόγραμμα;

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main() {
  char *bomb = malloc(sizeof(char) * 900000000000L);
  printf("Hello World\n");
  return 0;
}
```

```
$ ./heap
Hello World
```

Τι θα κάνει το ακόλουθο πρόγραμμα;

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main() {
  char *bomb = malloc(sizeof(char) * 900000000000L);
  bomb[0] = 'A';
  printf("Hello World\n");
  return 0;
}
```

```
$ ./heap
Segmentation fault
```

Προσοχή: Ελέγχουμε **ΠΑΝΤΑ** το αποτέλεσμα της malloc

```c
#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

int main() {

  char *bomb = malloc(sizeof(char) * 900000000000L);

  if (!bomb) {

       perror("bomb is not valid");

       exit(1);

  }

  bomb[0] = 'a';

  printf("Hello World\n");

  return 0;

}
```

Αν δεν υπάρχει αρκετή μνήμη, η malloc μας επιτρέπει έναν NULL δείκτη. Ελέγχουμε πάντα την τιμή επιστροφής ώστε να χειριστούμε τέτοια σφάλματα

Μάθαμε να δεσμεύουμε μνήμη με την `malloc` - μας λείπει κάτι;

Απελευθέρωση μνήμης σωρού με την `free`

Η μνήμη που δεσμεύτηκε με την χρήση malloc/calloc μπορεί να απελευθερωθεί με την χρήση της συνάρτησης `free` (πάλι από την stdlib.h).

```
void free(void *ptr);
```

Ως μόνο όρισμα απαιτεί τον δείκτη στην μνήμη που δεσμεύτηκε αρχικά

Εάν δεν απελευθερώσουμε την μνήμη που δεσμεύσαμε τότε έχουμε **διαρροή μνήμης / memory leak**

Αποδέσμευση Μνήμης με `free`

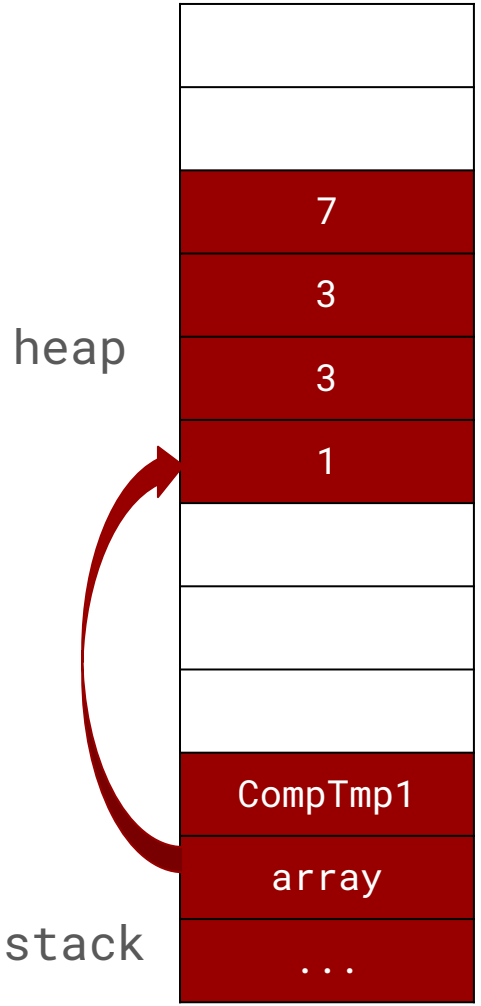
```
int * array = malloc(4 * sizeof(int));
if (!array) {
  // fail gracefully
}
free(array);
```

Ή ισοδύναμα

`array == NULL`

Φροντίζουμε κάθε κλήση malloc να συνοδεύεται από μια free

Τι θα συμβεί στην μνήμη μετά την free;

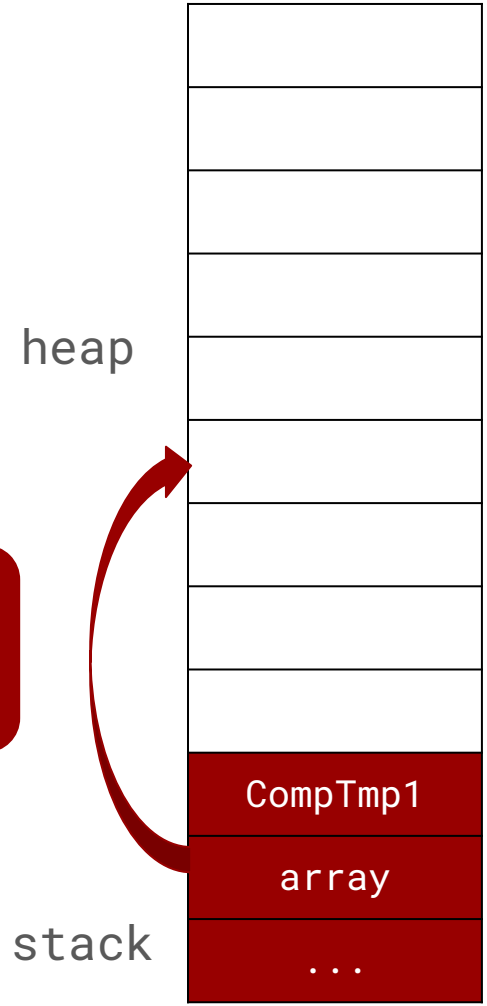


Αποδέσμευση Μνήμης με `free`

```
int * array = malloc(4 * sizeof(int));
if (!array) {
  // fail gracefully
}
free(array);
array[0] = 4;
```

Απαγορεύεται!! Στην καλύτερη περίπτωση το πρόγραμμα θα κρασάρει, στην χειρότερη μπορεί να έχουμε security vulnerability

Τι θα συμβεί αν προσπαθήσω να προσπελάσω μνήμη που έχω αποδεσμεύσει;

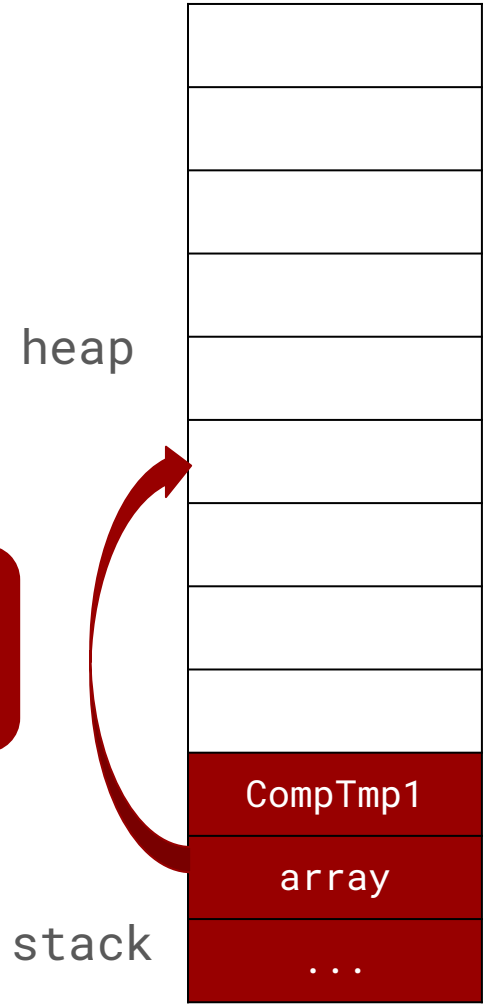


Αποδέσμευση Μνήμης με `free`

```
int * array = malloc(4 * sizeof(int));
if (!array) {
  // fail gracefully
}
free(array);
free(array);
```

Απαγορεύεται!! Στην καλύτερη περίπτωση το πρόγραμμα θα κρασάρει, στην χειρότερη μπορεί να έχουμε security vulnerability

Τι θα συμβεί αν προσπαθήσω να αποδεσμεύσω μνήμη που έχω αποδεσμεύσει;



Αλλαγή μεγέθους με την συνάρτηση realloc

Καθώς τρέχει το πρόγραμμά μας μπορεί να χρειαστούμε περισσότερη (ή λιγότερη!) μνήμη. Με την βοήθεια της realloc, μπορούμε να προσπαθήσουμε να αλλάξουμε το μέγεθος ενός πίνακα. Για παράδειγμα:

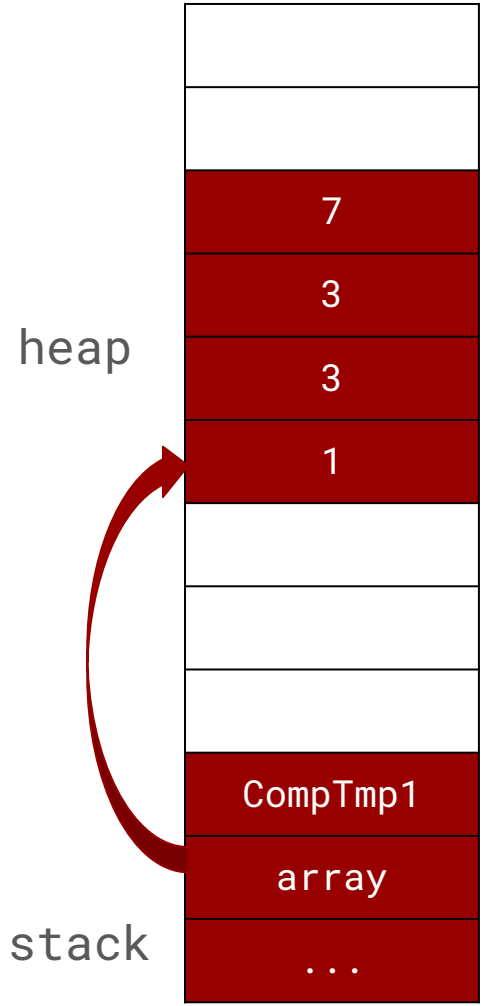
```
int * array = malloc(4 * sizeof(int));
if (!array) {...}
array = realloc(array, 8192 * sizeof(int));
if (!array) {...}
array[8000] = 42;
free(array);
```

Μεγεθύνουμε τον πίνακα από 4 -> 8192 ακεραίους

Προσοχή: ο ίδιος έλεγχος ισχύει, ΠΑΝΤΑ ελέγχουμε για NULL αποτέλεσμα

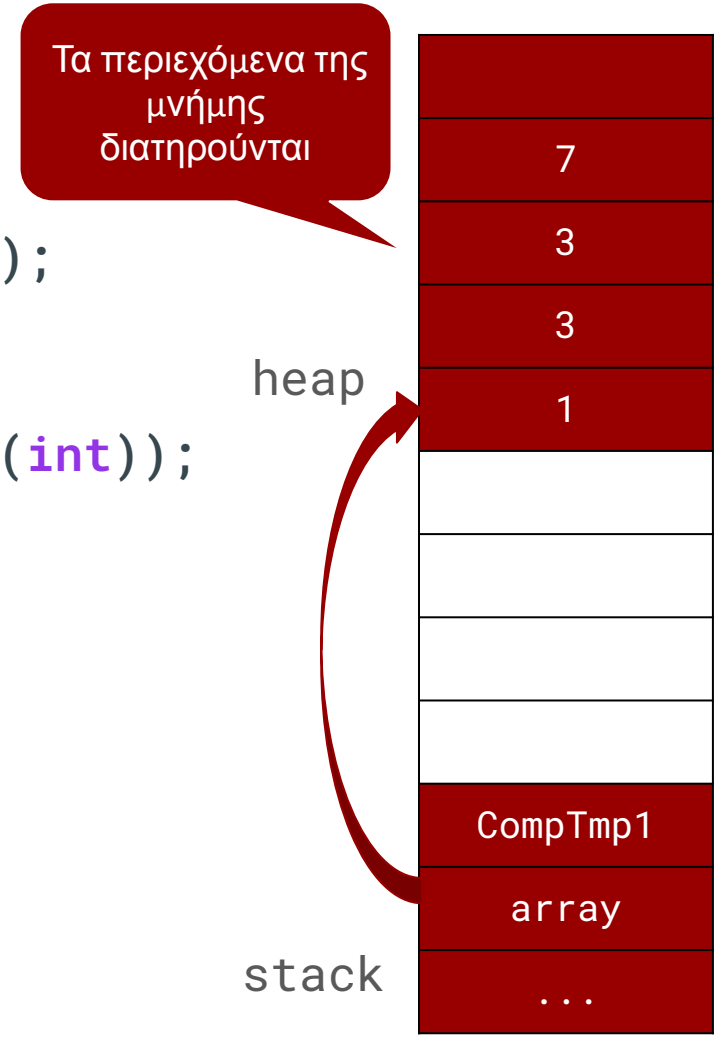
Αλλαγή μεγέθους με την realloc

```
int * array = malloc(4 * sizeof(int));
if (!array) {...}
array = realloc(array, 8192 * sizeof(int));
if (!array) {...}
array[8000] = 42;
free(array);
```

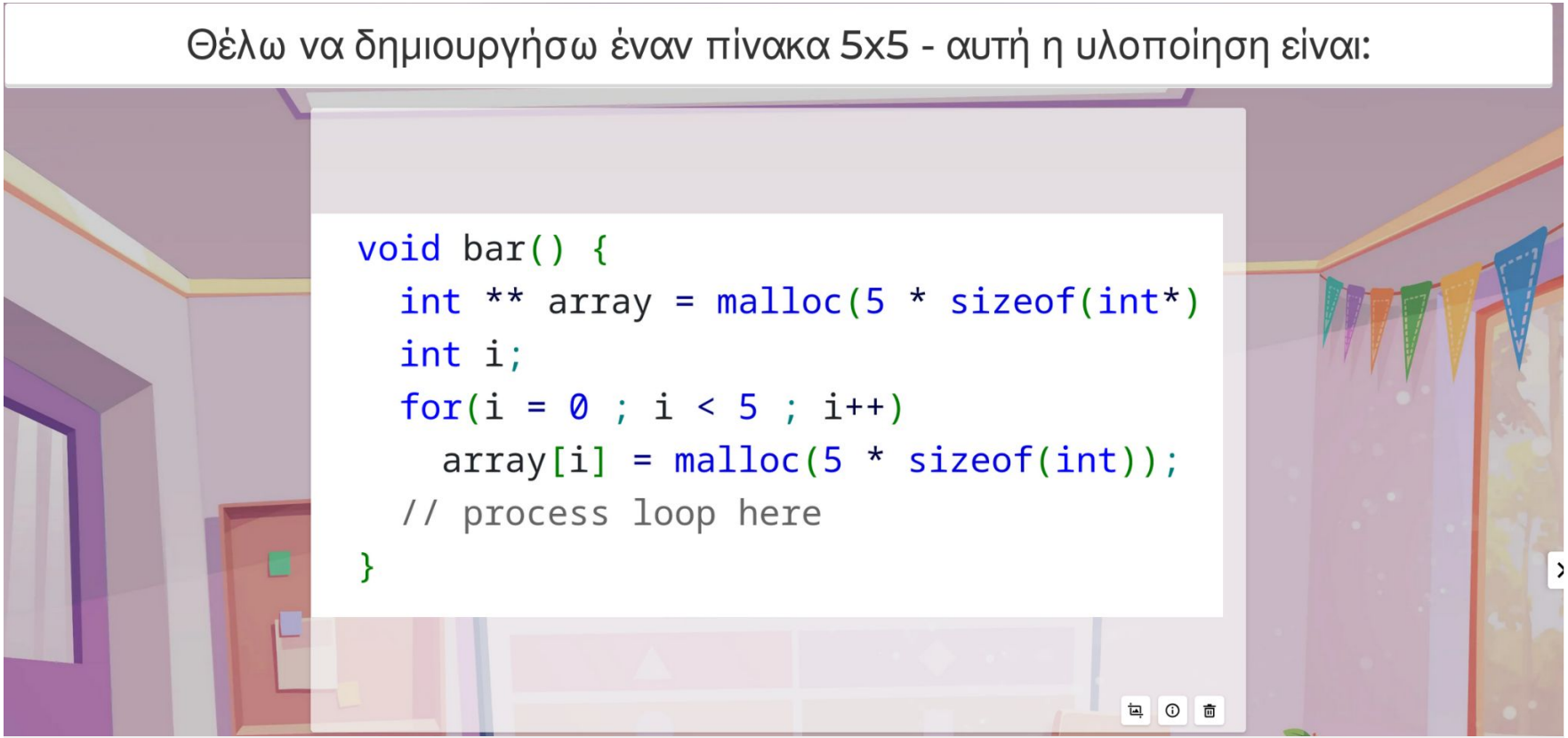


Αλλαγή μεγέθους με την realloc

```
int * array = malloc(4 * sizeof(int));
if (!array) {...}
array = realloc(array, 8192 * sizeof(int));
if (!array) {...}
array[8000] = 42;
free(array);
```

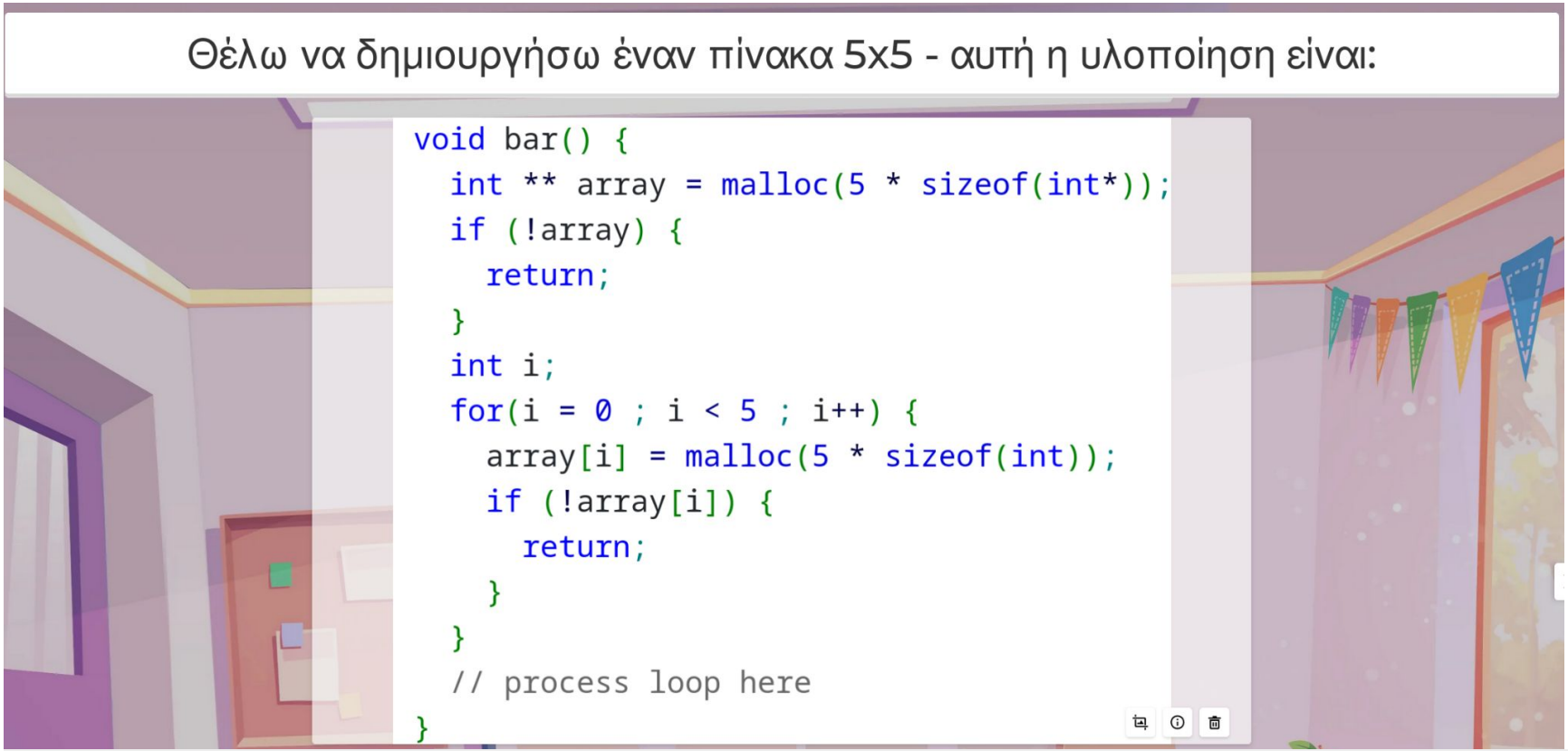


Θέλω να δημιουργήσω έναν πίνακα 5x5 - αυτή η υλοποίηση είναι:



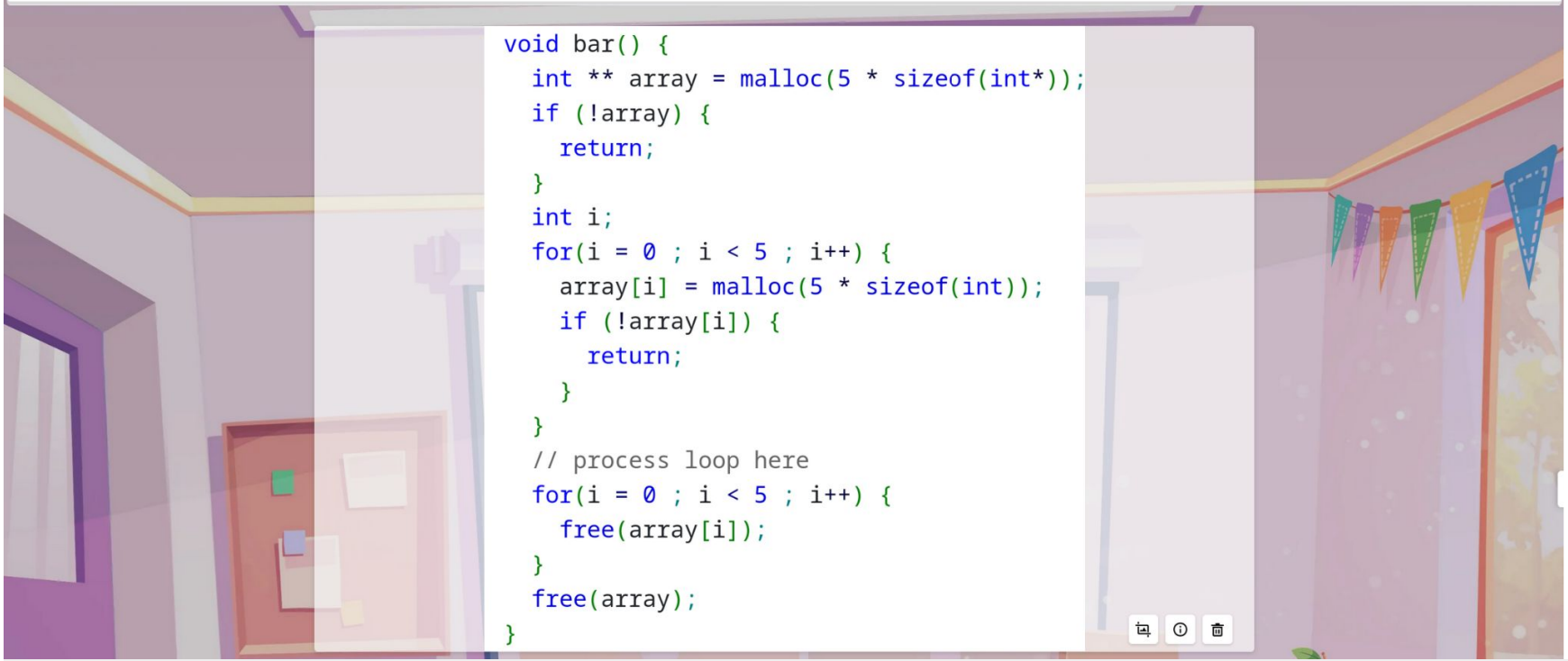
```
void bar() {
  int ** array = malloc(5 * sizeof(int*)
  int i;
  for(i = 0 ; i < 5 ; i++)
    array[i] = malloc(5 * sizeof(int));
  // process loop here
}
```

Θέλω να δημιουργήσω έναν πίνακα 5x5 - αυτή η υλοποίηση είναι:



```
void bar() {
  int ** array = malloc(5 * sizeof(int*));
  if (!array) {
    return;
  }
  int i;
  for(i = 0 ; i < 5 ; i++) {
    array[i] = malloc(5 * sizeof(int));
    if (!array[i]) {
      return;
    }
  }
  // process loop here
}
```

Θέλω να δημιουργήσω έναν πίνακα 5x5 - αυτή η υλοποίηση είναι:



```c
void bar() {
  int ** array = malloc(5 * sizeof(int*));
  if (!array) {
    return;
  }
  int i;
  for(i = 0 ; i < 5 ; i++) {
    array[i] = malloc(5 * sizeof(int));
    if (!array[i]) {
      return;
    }
  }
  // process loop here
  for(i = 0 ; i < 5 ; i++) {
    free(array[i]);
  }
  free(array);
}
```

Για την επόμενη φορά

Αν θέλετε να μάθετε περισσότερα για διαχείριση μνήμης:

- Memory management and heap
- Stack memory
- Activation records
- Dynamic memory allocation in C
- Memory leaks
- Data segment and bss section (another time)

Ευχαριστώ και καλή μέρα εύχομαι!
Keep Coding ;)