Lab2

Phase 1

```
0x400ee0 <phase_1>      sub    $0x8,%rsp
0x400ee4 <phase_1+4>    mov    $0x402400,%esi
0x400ee9 <phase_1+9>    call   0x401338 <strings_not_equal>
0x400eee <phase_1+14>   test   %eax,%eax
0x400ef0 <phase_1+16>   je     0x400ef7 <phase_1+23>
0x400ef2 <phase_1+18>   call   0x40143a <explode_bomb>
0x400ef7 <phase_1+23>   add    $0x8,%rsp
0x400efb <phase_1+27>   ret
```

`explode_bomb` 在 `0x400ef2` 行，需要通过 `0x400ef0` 行的 `je` 控制语句来跳过。

`je` 语句使用上一行的 `test` 语句， `test` 返回操作数本身，故需要让 `%eax` 为 `0` ， `%eax` 是上一个函数 `string_not_equal` 的返回值。猜测该函数是检测两个字符串是否不相等，本题需要让它们相等，其中一个参数通过标准输入，另一个则是由上一行的 `mov $0x402400, %rsi` 传入。

需要输入的字符串与 `0x402400` 处的串相等，使用 `x/s 0x402400` 查看后者字符串，得到结果。

```
(gdb) x/s 0x402400
0x402400:       "Border relations with Canada have never been better."
```

Phase1: Border relations with Canada have never been better.

Phase 2

```
0x400efc <phase_2>      push   %rbp
0x400efd <phase_2+1>    push   %rbx
0x400efe <phase_2+2>    sub    $0x28,%rsp
0x400f02 <phase_2+6>    mov    %rsp,%rsi
0x400f05 <phase_2+9>    call   0x40145c <read_six_numbers>
0x400f0a <phase_2+14>   cmpl   $0x1,(%rsp)
0x400f0e <phase_2+18>   je     0x400f30 <phase_2+52>
0x400f10 <phase_2+20>   call   0x40143a <explode_bomb>
0x400f15 <phase_2+25>   jmp    0x400f30 <phase_2+52>
0x400f17 <phase_2+27>   mov    -0x4(%rbx),%eax
0x400f1a <phase_2+30>   add    %eax,%eax
0x400f1c <phase_2+32>   cmp    %eax,(%rbx)
0x400f1e <phase_2+34>   je     0x400f25 <phase_2+41>
0x400f20 <phase_2+36>   call   0x40143a <explode_bomb>
0x400f25 <phase_2+41>   add    $0x4,%rbx
0x400f29 <phase_2+45>   cmp    %rbp,%rbx
0x400f2c <phase_2+48>   jne    0x400f17 <phase_2+27>
0x400f2e <phase_2+50>   jmp    0x400f3c <phase_2+64>
0x400f30 <phase_2+52>   lea    0x4(%rsp),%rbx
0x400f35 <phase_2+57>   lea    0x18(%rsp),%rbp
0x400f3a <phase_2+62>   jmp    0x400f17 <phase_2+27>
0x400f3c <phase_2+64>   add    $0x28,%rsp
0x400f40 <phase_2+68>   pop    %rbx
0x400f41 <phase_2+69>   pop    %rbp
0x400f42 <phase_2+70>   ret
```

在 `0x400f05` 行读入 6 个数字，记作 `a[0]` 至 `a[5]` 。检查栈顶 `%rsp` 的值也就是 `a[0]` 。 若 `a[0] == 1` ， `je` 至 `0x400f30` 进行初始化 `%rbx = %rsp + 0x4` `%rbp = %rsp + 0x18` ，分别是 `a + 1`

和 `a + 6` 的地址，然后进入 `0x400f17` 与 `0x400f3a` 之间的循环：

1. 将 `*(%rbx - 4)` 赋值给 `%eax` 并翻倍。
2. `%rax` 与 `*(%rbx)` 比较（也就是 `%rbx` 对应数组元素与它的前一项的两倍），若比较结果不相等则引爆炸弹，因此需要比较结果相等。
3. 在每次比较后将 `%rbx += 4`，即循环变量递增。
4. 若 `%rbx` 到达 `%rbp (== %rsp + 0x18)` （即到达数组末尾）时结束循环，否则回到步骤 1。

综上，`phase_2` 需要一个长度为 6 的数组，以 `1` 开头，且每一项是前一项的两倍

Phase2: 1 2 4 8 16 32

Phase 3

```
0x400f5b <phase_3+24>   call   0x400bf0 <__isoc99_sscanf@plt>
0x400f60 <phase_3+29>   cmp    $0x1,%eax
0x400f63 <phase_3+32>   jg     0x400f6a <phase_3+39>
0x400f65 <phase_3+34>   call   0x40143a <explode_bomb>
0x400f6a <phase_3+39>   cmpl   $0x7,0x8(%rsp)
0x400f6f <phase_3+44>   ja     0x400fad <phase_3+106>
0x400f71 <phase_3+46>   mov    0x8(%rsp),%eax
```

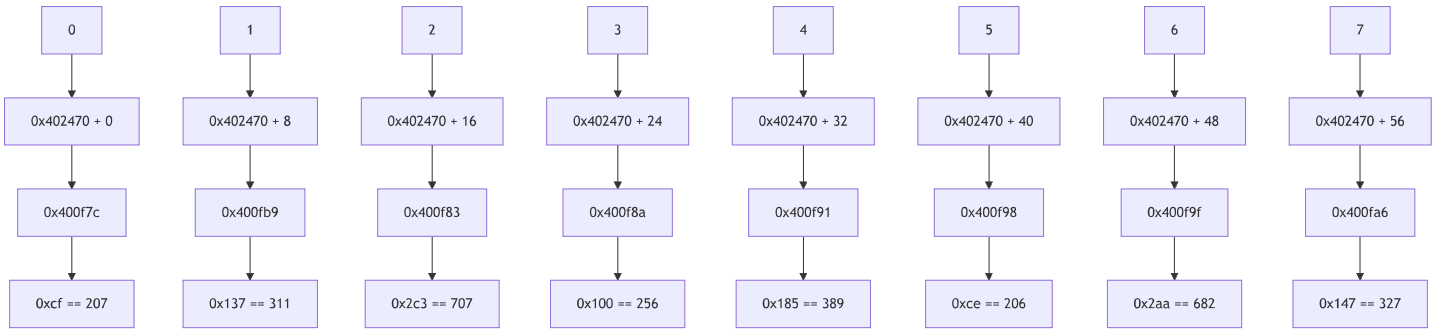
`0x400f5b` 行至 `0x400f71` 行输入至少两个数字，并将第一个数字（经过多次测试得出，这两个数字存放在栈顶下 `8` 字节与 `12` 字节处）存入 `%eax`，同时保它是不大于 `7` 的非负数。

```
0x400f71 <phase_3+46>   mov    0x8(%rsp),%eax
0x400f75 <phase_3+50>   jmp    *0x402470(,%rax,8)
0x400f7c <phase_3+57>   mov    $0xcf,%eax
0x400f81 <phase_3+62>   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
0x400f83 <phase_3+64>   mov    $0x2c3,%eax
0x400f88 <phase_3+69>   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
0x400f8a <phase_3+71>   mov    $0x100,%eax
0x400f8f <phase_3+76>   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
0x400f91 <phase_3+78>   mov    $0x185,%eax
0x400f96 <phase_3+83>   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
0x400f98 <phase_3+85>   mov    $0xce,%eax
0x400f9d <phase_3+90>   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
0x400f9f <phase_3+92>   mov    $0x2aa,%eax
0x400fa4 <phase_3+97>   jmp    0x400fbe <phase_3+123>
0x400fa6 <phase_3+99>   mov    $0x147,%eax
0x400fab <phase_3+104>  jmp    0x400fbe <phase_3+123>
0x400fad <phase_3+106>  call   0x40143a <explode_bomb>
0x400fb2 <phase_3+111>  mov    $0x0,%eax
0x400fb7 <phase_3+116>  jmp    0x400fbe <phase_3+123>
0x400fb9 <phase_3+118>  mov    $0x137,%eax
0x400fbe <phase_3+123>  cmp    0xc(%rsp),%eax
0x400fc2 <phase_3+127>  je     0x400fc9 <phase_3+134>
0x400fc4 <phase_3+129>  call   0x40143a <explode_bomb>
0x400fc9 <phase_3+134>  add    $0x18,%rsp
0x400fcd <phase_3+138>  ret
```

`0x400f75` 根据输入的第一个数字的值，获取对应地址处（具体为 `0x402470 + 8 * %rax`）存放的另一个值，并间接跳转到该值存储的地址处，可以注意到，`jmp` 间接跳转的目标地址都是其下方某个 `mov` 指令的地址，所有 `mov` 会将 `%eax` 赋为某个值，之后都会到达 `0x400fbe` 处的 `cmp` （包括 `jmp` 至的和恰好顺序执行到的）。

可以总结为 `phase_3` 中生成了一个 `switch-case` 语句的跳转表，不同的 `case` 对应不同的另一个数字，如果输入的两个数字在 `switch-case` 中存在匹配的组合则通关

`0x400fbe` 处如果 `%eax` 与 输入的第二个数字相等则跳过炸弹通关。通过数次的尝试得到的对应关系如下，任意输入其中一对即可



Phase3: 0 207 || 1 311 || 2 707 || 3 256 || 4 389 || 5 206 || 6 682 || 7 327

Phase 4

```
0x40100c <phase_4>      sub    $0x18,%rsp
0x401010 <phase_4+4>    lea    0xc(%rsp),%rcx
0x401015 <phase_4+9>    lea    0x8(%rsp),%rdx
0x40101a <phase_4+14>   mov    $0x4025cf,%esi
0x40101f <phase_4+19>   mov    $0x0,%eax
0x401024 <phase_4+24>   call   0x400bf0 <__isoc99_sscanf@plt>
0x401029 <phase_4+29>   cmp    $0x2,%eax
0x40102c <phase_4+32>   jne    0x401035 <phase_4+41>
0x40102e <phase_4+34>   cmpl   $0xe,0x8(%rsp)
0x401033 <phase_4+39>   jbe    0x40103a <phase_4+46>
0x401035 <phase_4+41>   call   0x40143a <explode_bomb>
0x40103a <phase_4+46>   mov    $0xe,%edx
0x40103f <phase_4+51>   mov    $0x0,%esi
0x401044 <phase_4+56>   mov    0x8(%rsp),%edi
0x401048 <phase_4+60>   call   0x400fce <func4>
0x40104d <phase_4+65>   test   %eax,%eax
0x40104f <phase_4+67>   jne    0x401058 <phase_4+76>
0x401051 <phase_4+69>   cmpl   $0x0,0xc(%rsp)
0x401056 <phase_4+74>   je     0x40105d <phase_4+81>
0x401058 <phase_4+76>   call   0x40143a <explode_bomb>
0x40105d <phase_4+81>   add    $0x18,%rsp
0x401061 <phase_4+85>   ret
```

首先读入恰好两个整数存入 `%rsp + 8` 和 `%rsp + 12`，且保证第一个数是不大于 `14` 的非负数（负数不能满足无符号比较）。将 `%edx` `%esi` `%edi` 分别初始化为 `14` `0` `*(%rsp + 8)` 后进入函数 `func4`：

```
0x400fce <func4>        sub    $0x8,%rsp
0x400fd2 <func4+4>      mov    %edx,%eax
0x400fd4 <func4+6>      sub    %esi,%eax
0x400fd6 <func4+8>      mov    %eax,%ecx
0x400fd8 <func4+10>     shr    $0x1f,%ecx
0x400fdb <func4+13>     add    %ecx,%eax
0x400fdd <func4+15>     sar    %eax
0x400fdf <func4+17>     lea    (%rax,%rsi,1),%ecx
0x400fe2 <func4+20>     cmp    %edi,%ecx
0x400fe4 <func4+22>     jle    0x400ff2 <func4+36>
0x400fe6 <func4+24>     lea    -0x1(%rcx),%edx
0x400fe9 <func4+27>     call   0x400fce <func4>
0x400fee <func4+32>     add    %eax,%eax
0x400ff0 <func4+34>     jmp    0x401007 <func4+57>
0x400ff2 <func4+36>     mov    $0x0,%eax
0x400ff7 <func4+41>     cmp    %edi,%ecx
0x400ff9 <func4+43>     jge    0x401007 <func4+57>
0x400ffb <func4+45>     lea    0x1(%rcx),%esi
0x400ffe <func4+48>     call   0x400fce <func4>
0x401003 <func4+53>     lea    0x1(%rax,%rax,1),%eax
0x401007 <func4+57>     add    $0x8,%rsp
0x40100b <func4+61>     ret
```

`0x400fd2` 至 `0x400fdf` 进行了如下操作，（使用 c 形式表示，注释内代入数值）：

```
%eax = %edx - %esi                      //( == 14 - 0 == 14)
%ecx = %eax                             //( == 14)
%eax = %eax + ((unsigned)%ecx >> 31)    //( == 14 + (14 >> 31) == 14)
%eax = %eax >> 1                        //( == 14 >> 1 == 7)
%ecx = %rax + %rsi                      //( == 7 + 0 == 7)
```

之后比较 `%edi` （输入的第一个数字）与 `%ecx (== 7)`，如果 `7 <= %edi` 则跳转至 `0x400ff2`。

在 `0x400ff2` 令 `%eax = 0` 后比较 `%ecx (== 7)` 与 `%edi` 如果 `7 >= %edi` 则跳转至 `0x401007`。

至此函数已经跳过了其中全部的递归调用直接返回，同时 `%eax` 恰为所需要的 `0`，因此只需要使 `%edi >= 7` 且 `%edi <= 7` 即可直接通过 `func4`，而 `%edi` 即是输入的第一个数字，因此输入的第一个数字只需为 `7` 即可。`0x401051` 要求第二个数一定为 `0`。

Phase4: 7 0

Phase 5

```
0x401078 <phase_5+22>   xor    %eax,%eax
0x40107a <phase_5+24>   call   0x40131b <string_length>
0x40107f <phase_5+29>   cmp    $0x6,%eax
0x401082 <phase_5+32>   je     0x4010d2 <phase_5+112>
0x401084 <phase_5+34>   call   0x40143a <explode_bomb>
0x401089 <phase_5+39>   jmp    0x4010d2 <phase_5+112>
0x40108b <phase_5+41>   movzbl (%rbx,%rax,1),%ecx
0x40108f <phase_5+45>   mov    %cl,(%rsp)
0x401092 <phase_5+48>   mov    (%rsp),%rdx
0x401096 <phase_5+52>   and    $0xf,%edx
0x401099 <phase_5+55>   movzbl 0x4024b0(%rdx),%edx
0x4010a0 <phase_5+62>   mov    %dl,0x10(%rsp,%rax,1)
0x4010a4 <phase_5+66>   add    $0x1,%rax
0x4010a8 <phase_5+70>   cmp    $0x6,%rax
0x4010ac <phase_5+74>   jne    0x40108b <phase_5+41>
0x4010ae <phase_5+76>   movb   $0x0,0x16(%rsp)
0x4010b3 <phase_5+81>   mov    $0x40245e,%esi
0x4010b8 <phase_5+86>   lea    0x10(%rsp),%rdi
0x4010bd <phase_5+91>   call   0x401338 <strings_not_equal>
0x4010c2 <phase_5+96>   test   %eax,%eax
0x4010c4 <phase_5+98>   je     0x4010d9 <phase_5+119>
0x4010c6 <phase_5+100>  call   0x40143a <explode_bomb>
0x4010cb <phase_5+105>  nopl   0x0(%rax,%rax,1)
0x4010d0 <phase_5+110>  jmp    0x4010d9 <phase_5+119>
```

查阅了解从 `0x40106a` 至 `0x401073` 部分是保证程序健壮性的安全措施，不影响解题，故忽略。

`0x401078` 检测输入的字符串长度（从 `string_length` 函数的名称可猜测得出），需要为 `6`。

在 `0x401089` 处跳转至 `0x4010d2` 将 `%eax` 置零再回到 `0x40108b` 进入 `0x40108b` 至 `0x4010ac` 之间的循环，其中 `%rax` 作为循环变量从 `0` 至 `5`，当到达 `6` 时结束循环

1. 将 `(%rbx + %rax)` 地址处的变量存入 `%ecx`，将 `%cl` （`%ecx` 的低 `8` 位）存入栈顶和 `%rdx` 中，后者只保留低 `4` 位。
2. 取 `(0x4024b0 + %rdx)` 地址处的值替换掉 `%rdx`，再将它的低 `8` 位存入 `(%rsp + %rax + 16)` （栈顶下 `%rax + 16` 字节处）。

3. 循环变量 `%rax` 递增，若到达 `6` 结束循环。
4. 其中 `%rbx` 是输入的字符串的地址，`%rax` 是循环变量，`%ecx` `%cl` 和 `%rsp` 作为中间变量。

以上循环体实现以下功能，将 `*(%rbx + %rax)` 的数值取低 `4` 位（即对 `16` 取模），记作 `temp`，取 `*(0x4024b0 + temp)` 处的值存入栈顶下 `(16 + %rax)` 字节处。由于 `%rax` 是从 `0` 至 `5` 的自变量，因此相当于对输入串每个字符进行如上替换后，新串放入栈顶下 `16` 字节处。

`0x4010ae` 在保存的新串后添加结束符 `'\0'`。

查看 `0x4024b0` 处的字符串可以推测出转换规则。

`0x4010b3` 和 `0x4010b8` 分别将 `0x40245e` 的某个串与输入串转换后的新串比较，若相同则 `je` 至 `0x4010e9` 结束函数。

查看 `0x40245e` 处的串。

```
(gdb) x/s 0x40245e
0x40245e:       "flyers"
```

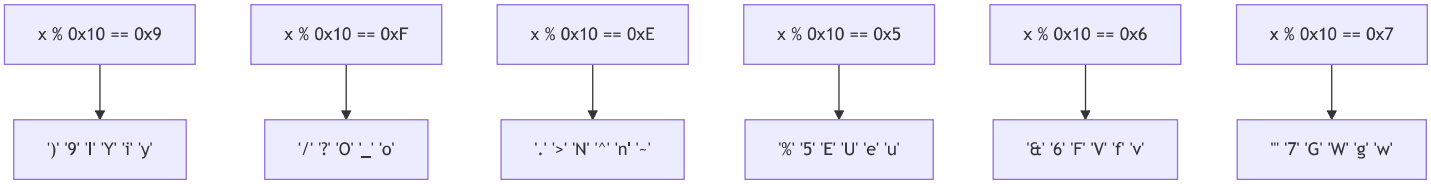
要让输入串转变为 `"flyers"`

查看 `0x4024b0` 处的串。

```
0x4024b0 <array.3449>:  "maduiersnfotvbylSo you think you can s
top the bomb with ctrl-c, do you?"
```

由于转换式有对 `16` 取模操作，转换只需要前 `16` 个字符 `"maduiersnfotvbyl"`。*其余字符串是在程序执行过程中输入 `Ctrl + C` 时的提示语，与本题无关。*

在串中找到 `"flyers"` 分别在 `9` `15` `14` `5` `6` `7` 处。由前面的转换规则：“输入字符对 `16` 取模”，需要输入 `6` 个对 `16` 取模后分别为这些数值的字符，查询 `ASCII` 码表得到



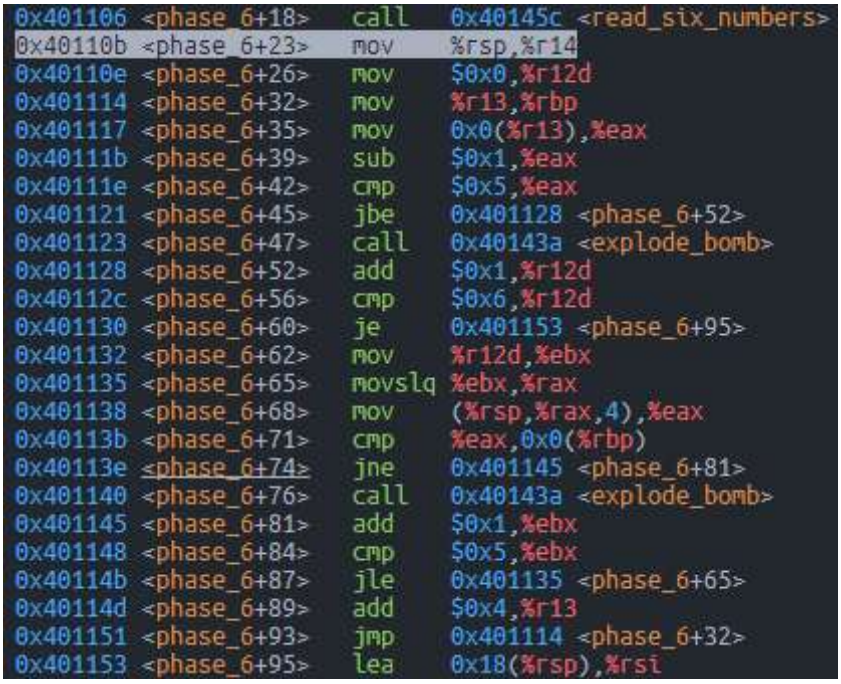
如上对应关系，只需在下方的每个框中各选择一个字符即可，例如：

Phase5: ionefg

Phase 6

Phase 6 较为复杂，分为四个阶段

Phase 6 Part 1



以上部分首先读入 `6` 个数字，下文记作 `a[0] ~ a[5]`，做 `%r14 = %rsp` 和 `%r12d = 0` 的初始化后，进入 `0x401114` 至 `0x401151` 的双层循环，其中外层循环的循环变量为 `%r12d`，记作 `i`，从 `1` 至 `5`，当到达 `6` 时结束循环。

内层循环：

1. 在 `0x401132` 将 `%rbx` 初始化为外层循环变量 `i` 的值，然后作为内层的循环变量 `j`，进入 `0x401135` 至 `0x40114b` 的内层循环，范围为 `i ~ 5`，到达 `6` 结束循环，循环体如下：
   i. `%rax = j`。
   ii. `%eax = *(%rsp + %rax * 4)`，其中 `%rax == j`。即计算栈顶下 `j * 4` 字节处的地址中的值，也就是输入的 `a[j]`，存入 `%eax`
   iii. 比较 `a[j]` 与 `*(%rbp)`，若相同则引爆炸弹，它们不能相同。
   iv. 循环变量自增 `1`，若自增后到达 `6`，结束内层循环，否则回到步骤 1。
2. 将 `%r13 += 4` （即指向下一个输入的 `int` 变量，`%r13` 在程序开始时被初始化为 `%rsp`，截图中没展示）后进入外层的下一次循环。
3. 由于内层循环中 `%rbp` 保持不变，`j` 从 `i` 至 `5`，因此会将第 `i` 至第 `5` 个数字分别与 `*(%rbp)` 比较，保证它们不同。

外层循环，将 `i` 初始化为 `0` 后执行如下操作：

1. 将 `%r13` 存入 `%rbp`，以及它存储的地址处的数字存入 `%eax`。
2. 该数字减 `1` 后与 `5` 无符号比较，若数字大于 `5` 则引爆炸弹，因此需要减 `1` 后的数字无符号比较不大于 `5`，也即不减少的数字（输入的原数字）在 `1` 到 `6` 之间。
   i. 若原数小于等于 `0`，减 `1` 后的数字的无符号解释显然会大于 `5` 不符合要求，所以减 `1` 后的无符号比较可以保证输入为正.
   ii. 在该步骤完成后 `%eax` 不再作为源操作数，因此它不会影响其它操作，所以在这里仅仅用于检查输入的范围。

3. 将 `i` 自增 `1`，若到达 `6` 则结束外层循环，否则将自增后的 `i` 存入 `%rbx`，这是内层循环变量的初始化，进入内层循环（内层循环之前即自增，因此说 `i` 从 `1` 开始）。

注意到以下事实：

1. 第一次进入内层循环时，`%rbp` 从栈顶也即从 `0` 开始，而`%r12d` 从 `1` 开始，内层循环中的比较是栈顶数字与其下方的每个数字（当然，不超过全部的 `6` 个数字）比较，不包括自己。保证它们不相同。
2. 其后每一次进入内层循环前，`%r13` 与 `i` 同步增长，其中前者在前一次内层循环结束后自增，后者在下一次开始前自增。
3. 在每次外层循环时，都有 `%rbp = %r13`，而 `%rbp` 不在其它地方改变，因此等价于 `%rbp` 与 `i` 的同步增长。
4. 实现了这样的操作，`%rbp` 从栈顶开始，`i` 从它下面一个开始，将 `a[0]` 个数字与第 `a[1...5]` 分别比较，保证互不相同；二者同步自增，将 `a[1]` 数字与 `a[2...5]` 分别比较。以此类推

综上 `0x401106` 至 `0x401151` 实现了输入 `6` 个数字，范围在 `1` 至 `6` 之间，互不相同。

Phase 6 Part 2

```
0x401153 <phase_6+95>   lea    0x18(%rsp),%rsi
0x401158 <phase_6+100>  mov    %r14,%rax
0x40115b <phase_6+103>  mov    $0x7,%ecx
0x401160 <phase_6+108>  mov    %ecx,%edx
0x401162 <phase_6+110>  sub    (%rax),%edx
0x401164 <phase_6+112>  mov    %edx,(%rax)
0x401166 <phase_6+114>  add    $0x4,%rax
0x40116a <phase_6+118>  cmp    %rsi,%rax
0x40116d <phase_6+121>  jne    0x401160 <phase_6+108>
```

将栈顶下 `24` 字节的地址存入 `%rsi`，并将 `%rax` 初始化为 `%r14` 也即 `%rsp`（`0x40110b` 处将 `%r14` 初始化为 `%rsp` 且未再改变），也就是输入数组首地址 `a`，以及将 `%ecx` 初始化为 `7`。之后进入 `0x401160` 至 `40116d` 之间的循环，`%rax` 作为循环变量：

执行 `%edx = %ecx (== 7)`，将 `7` 减去 `a[i]` 并存回到 `a[i]`，`%rax += 4` 指向下一个元素，直至 `%rax` 指向数组末尾。

这一部分实现了将输入的 `6` 个数字原地对 `7` 取补的操作，如将 `1` 转换为 `7 - 1 == 6`，`4` 转换为 `7 - 4 == 3`，`6` 转换为 `7 - 6 == 1` 等。

Phase 6 Part 3

进入后首先初始化 `%esi = 0` 后跳转到 `0x401197`。

在此处将栈顶下 `%rsi` 字节处的数字存入 `%rcx`，注意到这一部分 `%rsi` 作为目标操作数只有 `0x40118d` `0x401191` 两行，根据它们的内容可以得出 `%rsi` 表示数组索引，由于变化量是 `4`，下文中以 `i` 代指 `%rsi / 4` 表示数组索引。于是这一行的指令可以表示为 `%ecx = a[i]`

之后检查 `%ecx`，若它小于等于 `1`， `jle` 至 `0x401183` 将 `%edx` 赋值为 `0x6032d0`，并将这个指针存入 `0x20 + %rsp + 2 * i` 的地址处。

注意到有且仅有 `0x401188` 这一行对栈顶下 `0x20` 个字节之后的位置有操作，且形式和上文中的数组类似，不妨认为在这个位置有另一个数组，记为 `b`，它的首地址是 `0x20 + %rsp`，而索引 `%rsi` 以 `4` 为变化量，这里的目标操作数比例因子为 `2`，所以数组 `b` 元素以 `8` 字节为变化量。另外，可以发现它的源操作数 `%rdx` 是地址，所以这是一个指针数组。变址与数组 `a` 相同，所以可以使用相同的索引 `i`。

这时重新从 `0x401197` 分析。将 `a[i]` 存入 `%ecx`：

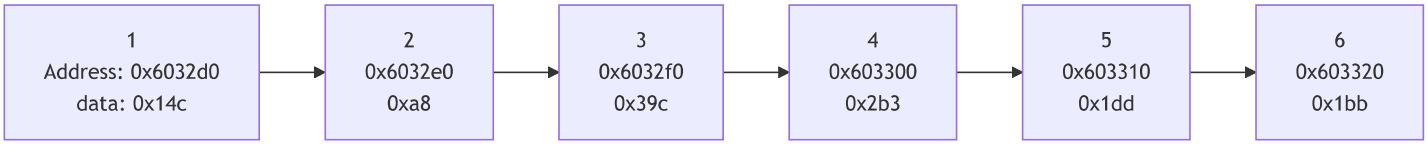
1. 若它小于等于 `1`，将 `0x6032d0` 存入 `b[i]`。
2. 若大于 `1`，令 `%eax` 初始化为 `1`， `%edx` 初始化为 `0x6032d0`，进入 `0x401176` 至 `0x40117f` 的循环，`%eax` 是循环变量
    i. 将 `%rdx` 改为它存储的指针 `+ 8` 后的指针指向的地址存储的指针。
    ii. `%eax ++`，若与 `%ecx` 相等结束循环，否则回到步骤 i。
    iii. 结束循环后，将此时的 `%rdx` 的指针存入 `b[i]`。

可以得出结论， `0x6032d0` 开始有一个链表，每个结点的 `+ 0` 的位置是数据域， `+ 8` 的位置是表示后继结点的地址域。链表结点结构如下：

```
typedef struct Node{
    long data;
    Node* next;
};
```

这一部分则是根据 `a` 数组中的值 `a[i]`，取链表中第 `a[i]` 个值，存入 `b[i]` 中。例如，若 `a[i]` 为 `1`，则取链表中第 `1` 个值，若 `a[i]` 为 `4`，则取链表中第 `4` 个值，将其存入 `b[i]` 中。

使用 `gdb` 调试查看链表内容如下



Phase 6 Part 4

```
0x4011ab <phase_6+183>  mov    0x20(%rsp),%rbx
0x4011b0 <phase_6+188>  lea    0x28(%rsp),%rax
0x4011b5 <phase_6+193>  lea    0x50(%rsp),%rsi
0x4011ba <phase_6+198>  mov    %rbx,%rcx
0x4011bd <phase_6+201>  mov    (%rax),%rdx
0x4011c0 <phase_6+204>  mov    %rdx,0x8(%rcx)
0x4011c4 <phase_6+208>  add    $0x8,%rax
0x4011c8 <phase_6+212>  cmp    %rsi,%rax
0x4011cb <phase_6+215>  je     0x4011d2 <phase_6+222>
0x4011cd <phase_6+217>  mov    %rdx,%rcx
0x4011d0 <phase_6+220>  jmp    0x4011bd <phase_6+201>
0x4011d2 <phase_6+222>  movq   $0x0,0x8(%rdx)
0x4011da <phase_6+230>  mov    $0x5,%ebp
0x4011df <phase_6+235>  mov    0x8(%rbx),%rax
0x4011e3 <phase_6+239>  mov    (%rax),%eax
0x4011e5 <phase_6+241>  cmp    %eax,(%rbx)
0x4011e7 <phase_6+243>  jge    0x4011ee <phase_6+250>
0x4011e9 <phase_6+245>  call   0x40143a <explode_bomb>
0x4011ee <phase_6+250>  mov    0x8(%rbx),%rbx
0x4011f2 <phase_6+254>  sub    $0x1,%ebp
0x4011f5 <phase_6+257>  jne    0x4011df <phase_6+235>
```

`0x4011bd` 至 `0x4011d0` 是一个循环，循环变量 `%rax` 初始化为 `b` 数组**第二个元素**的地址即 `b + 1`，终止条件为 `%rax` 指向 `b` 数组末尾。同时初始化 `%rbx` 和 `%rcx` 为 `b[0]`（循环中不使用 `%rbx`）：

1. 赋 `%rdx` 为 `*(%rax)` 即 `b[1]`
2. 将 `%rdx` 复制到 `(0x8 + %rcx)` 位置处，
    i. 此时 `%rcx` 是 `b[0]`，是链表中某个结点的地址。
    ii. `8 + %rcx` 是这个结点的后继指针，即它指向的下一个结点的地址
    iii. 将它替换为 `%rdx` ，即**用 `b[1]` 替换 `b[0]` 结点的后继指针**。
3. `%rax += 8` ， `%rcx = %rdx` ，即让 `%rax` 指向 `b` 数组的下一个元素的所在地址（此时为 `b + 2`）， `%rcx` 则是下一个元素本身（ `b[1]` ），这一步是循环的递增，分别让两个变量在 `b` 数组上递增。
4. 若 `%rax` 指向 `b` 数组末尾，结束循环。

循环结束后， `%rdx` 为 `b[5]` ， `0x4011d2` 行保证链表结尾指空
这个循环将链表重排，使链表按照 `b` 数组的顺序排列。

之后，将 `%ebp` 初始化为 `5`，作为循环变量进入 `0x4011df` 至 `0x4011f5` 之间的循环，此时 `%rbx` 仍为 `b[0]`：

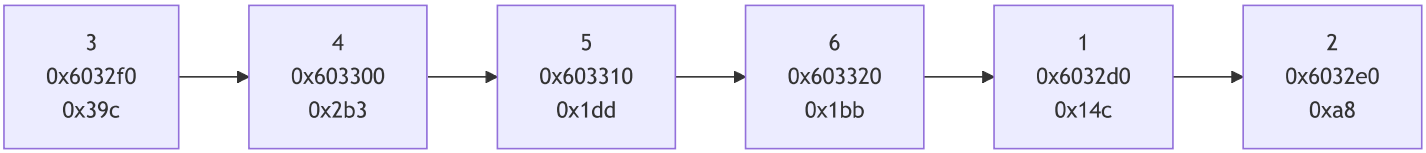
1. `%rbx` 的初始状态 是 `b[0]` ，是链表中某个结点的地址， `%rbx + 8` 则是这个结点的指针域， `mov` 可以将 `%rbx + 8` 解引用，将内容存入 `%rax` ，此时 `%rax` 内就是前一结点的后继结点的地址

2. 再对 `%rax` 自身解引用，因为 `%rax` 内是后继结点的地址，解引用后就是后继结点的 `data`
3. 将其与 `(%rbx)` 比较，`%rbx` 是前一结点的地址，解引用后就是前一结点的 `data`，所以这一步会将相邻两个结点的 `data` 作比较
4. 若 `(%rbx)` 小于 `%eax` 则执行 `explode_bomb`，所以需要前一结点的数据大于或等于后继结点的数据。
5. 将 `*(8 + %rbx)` 存入 `%rbx`，作用类似于步骤 1，将结点更新为后继节点。
6. 重复操作直到 `%ebp` 到达 `0`，此时 `%rbx` 也到达链表结尾，没有后继节点。

综上，这个循环要求链表中的结点的数据按照降序排序

Phase 6 Conlusion

因此只需要获取到链表中的所有结点（并按序编号 `1 ~ 6`）的数据，以降序重排。



使 `a` 数组中为排序后的顺序（的结点编号）即可，即 `3 4 5 6 1 2`。但同时，由于函数会将输入的数组对 `7` 取补，因此需要输入预先对 `7` 取补后的数组。

Phase 6: 4 3 2 1 6 5

Secret Phase

Entrance

在汇编文件中，`phase_6` 函数后有 `func7` 和 `secret_phase`，说明存在隐藏关，首先寻找进入的方法。

直接用编辑器打开汇编文件，使用 `Crtl + F` 查找 `secret_phase`，发现在每次拆弹后的 `phase_defused` 函数中有调用该函数。

```
0x4015c4 <phase_defused>        sub    $0x78,%rsp
0x4015c8 <phase_defused+4>      mov    %fs:0x28,%rax
0x4015d1 <phase_defused+13>     mov    %rax,0x68(%rsp)
0x4015d6 <phase_defused+18>     xor    %eax,%eax
0x4015d8 <phase_defused+20>     cmpl   $0x6,0x202181(%rip)        # 0x603760 <num_input_strings>
0x4015df <phase_defused+27>     jne    0x40163f <phase_defused+123>
0x4015e1 <phase_defused+29>     lea    0x10(%rsp),%r8
0x4015e6 <phase_defused+34>     lea    0xc(%rsp),%rcx
0x4015eb <phase_defused+39>     lea    0x8(%rsp),%rdx
0x4015f0 <phase_defused+44>     mov    $0x402619,%esi
0x4015f5 <phase_defused+49>     mov    $0x603870,%edi
0x4015fa <phase_defused+54>     call   0x400bf0 <__isoc99_sscanf@plt>
0x4015ff <phase_defused+59>     cmp    $0x3,%eax
0x401602 <phase_defused+62>     jne    0x401635 <phase_defused+113>
0x401604 <phase_defused+64>     mov    $0x402622,%esi
0x401609 <phase_defused+69>     lea    0x10(%rsp),%rdi
0x40160e <phase_defused+74>     call   0x401338 <strings_not_equal>
0x401613 <phase_defused+79>     test   %eax,%eax
0x401615 <phase_defused+81>     jne    0x401635 <phase_defused+113>
0x401617 <phase_defused+83>     mov    $0x4024f8,%edi
0x40161c <phase_defused+88>     call   0x400b10 <puts@plt>
0x401621 <phase_defused+93>     mov    $0x402520,%edi
0x401626 <phase_defused+98>     call   0x400b10 <puts@plt>
0x40162b <phase_defused+103>    mov    $0x0,%eax
0x401630 <phase_defused+108>    call   0x401242 <secret_phase>
0x401635 <phase_defused+113>    mov    $0x402558,%edi
0x40163a <phase_defused+118>    call   0x400b10 <puts@plt>
0x40163f <phase_defused+123>    mov    0x68(%rsp),%rax
0x401644 <phase_defused+128>    xor    %fs:0x28,%rax
0x40164d <phase_defused+137>    je     0x401654 <phase_defused+144>
0x40164f <phase_defused+139>    call   0x400b30 <__stack_chk_fail@plt>
0x401654 <phase_defused+144>    add    $0x78,%rsp
0x401658 <phase_defused+148>    ret
```

`0x4015d8` 行将某寄存器与 `6` 比较，且有注释标识 `num_input_strings`，猜测是指输入过的字符串的总个数，如果不等于 `6` 则直接 `jne` 到 `0x40163f` 结束函数，所以必须要总共输入 `6` 个串之后才可能进入隐藏关。由于每一关对应一个字符串，所以至少要完成前面全部六关。

`0x4015f0` 行开始，以 `0x402619` 和 `0x603870` 作为参数调用标准输入函数 `isoc99_sscanf`，查看这两个参数。

```
(gdb) x/s 0x402619
0x402619:       "%d %d %s"
(gdb) x/s 0x603870
0x603870 <input_strings+240>:    "7 0"
```

前者为 `isoc99_sscanf` 函数的格式化参数，表示输入两个整数和一个字符串，后者恰好为 `Phase4` 的输入，这里会重新读入 `Phase4` 的输入。

`0x4015ff` 比较返回值是否为 `3`，如果不为 `3` 则 `jne` 至 `0x401635`，输出提示语，结束函数。

`isoc99_sscanf` 的返回值是成功读入的数据个数，因此需要让这个函数读入三个串。前两个分别是 `Phase4` 本身的解 `7 0`，第三个输入会作为参数，与 `0x402622` 处的串进入 `strings_not_equal` 函数，如果两个串相同，会输出两个提示词，进入 `secret_phase`。

查看该串

```
(gdb) x/s 0x402622
0x402622:       "DrEvil"
```

所以要在 `Phase4` 的输入后添加 `DrEvil`，即

Phase 4: 7 0 DrEvil

Solution

```
0x401242 <secret_phase>          push   %rbx
0x401243 <secret_phase+1>        call   0x40149e <read_line>
0x401248 <secret_phase+6>        mov    $0xa,%edx
0x40124d <secret_phase+11>       mov    $0x0,%esi
0x401252 <secret_phase+16>       mov    %rax,%rdi
0x401255 <secret_phase+19>       call   0x400bd0 <strtol@plt>
0x40125a <secret_phase+24>       mov    %rax,%rbx
0x40125d <secret_phase+27>       lea    -0x1(%rax),%eax
0x401260 <secret_phase+30>       cmp    $0x3e8,%eax
0x401265 <secret_phase+35>       jbe    0x40126c <secret_phase+42>
0x401267 <secret_phase+37>       call   0x40143a <explode_bomb>
0x40126c <secret_phase+42>       mov    %ebx,%esi
0x40126e <secret_phase+44>       mov    $0x6030f0,%edi
0x401273 <secret_phase+49>       call   0x401204 <fun7>
0x401278 <secret_phase+54>       cmp    $0x2,%eax
0x40127b <secret_phase+57>       je     0x401282 <secret_phase+64>
0x40127d <secret_phase+59>       call   0x40143a <explode_bomb>
0x401282 <secret_phase+64>       mov    $0x402438,%edi
0x401287 <secret_phase+69>       call   0x400b10 <puts@plt>
0x40128c <secret_phase+74>       call   0x4015c4 <phase_defused>
0x401291 <secret_phase+79>       pop    %rbx
0x401292 <secret_phase+80>       ret
```

将 `%edx` 初始化为 `10`，`%esi` 为 `0`，并使输入转换成整数，存入 `%rbx`，减 `1` 后存入 `%eax`。将它无符号比较，若不大于 `0x3e8` 则跳过 `explode_bomb`，这里与 `Phase6` 的 `0x40111b` 至 `0x401121` 部分类似，保证输入为正。所以这里保证输入是不大于 `0x3e8` 的正数。

将 `%ebx`（输入的数字）和 `0x6030f0` 作为参数进入 `fun7`，在 `fun7` 中运算后如果返回值 `%eax` 为 `2`，则跳过 `explode_bomb`，完成隐藏关。查看 `0x6030f0` 处的值

```
(gdb) print *(int *)0x6030f0
$2 = 36
```

以下为 `func7`：

```
0x401204 <fun7>                  sub    $0x8,%rsp
0x401208 <fun7+4>                test   %rdi,%rdi
0x40120b <fun7+7>                je     0x401238 <fun7+52>
0x40120d <fun7+9>                mov    (%rdi),%edx
0x40120f <fun7+11>               cmp    %esi,%edx
0x401211 <fun7+13>               jle    0x401220 <fun7+28>
0x401213 <fun7+15>               mov    0x8(%rdi),%rdi
0x401217 <fun7+19>               call   0x401204 <fun7>
0x40121c <fun7+24>               add    %eax,%eax
0x40121e <fun7+26>               jmp    0x40123d <fun7+57>
0x401220 <fun7+28>               mov    $0x0,%eax
0x401225 <fun7+33>               cmp    %esi,%edx
0x401227 <fun7+35>               je     0x40123d <fun7+57>
0x401229 <fun7+37>               mov    0x10(%rdi),%rdi
0x40122d <fun7+41>               call   0x401204 <fun7>
0x401232 <fun7+46>               lea    0x1(%rax,%rax,1),%eax
0x401236 <fun7+50>               jmp    0x40123d <fun7+57>
0x401238 <fun7+52>               mov    $0xffffffff,%eax
0x40123d <fun7+57>               add    $0x8,%rsp
0x401241 <fun7+61>               ret
```

如果参数 `%rdi` 为 `NULL` 则 `je` 至 `0x401238` 结束 `fun7`，此时显然不为 `0`。

注意到：

1. 在 `0x40121c` 行会使 `%eax` 加 `%eax`，即 `%eax = %eax * 2`。
2. 在 `0x401220` 行会使 `%eax` 置零，即 `%eax = 0`。

3. 在 `0x401232` 行会计算 `0x1 + %rax + %rax * 1` 存入 `%eax`，即将 `%eax = %eax * 2 + 1`
4. 除置零操作外，其余两个操作都会直接 `jmp` 到函数末尾返回。而置零操作后在 `%edx == %esi` 条件下也会返回。

如果希望以 `2` 作为返回值。可以以 `%eax = 0  -->  %eax = %eax * 2 + 1  -->  %eax = %eax * 2` 的顺序执行。

由于函数递归调用类似栈操作，所以要先在 `%eax` 翻倍前第一次递归调用，再在翻倍加一前第二次调用，使 `%eax` 置零，再分别返回两次递归，这样即可实现 1. `%eax` 置零 2. 第一次返回后加一 3. 第二次返回后翻倍 4. 完全返回。使 `%eax` 最终为 `2`。

希望到达 `0x401217`，不能满足 `%edx <= %esi`，其中 `%edx` 在 `0x40120d` 行赋值为 `*(%rdi) (== 36)`，所以输入要小于 `36`，之后 `%rdi` 更新为它存储的地址 `+ 8` 的位置的值（这里与 `Phase6` 类似，同样为一个链表）

```
(gdb) print /x *(int *)0x6030f8
$4 = 0x603110
```

这个地址中的值是 `0x8`。

第一次递归调用 `func7`，这次需要到达 `0x401220`。`%edx` 赋值为 `8`,要求 `%esi >= 8`，输入应不小于 `8`。但是如果相等会在 `0x401227` 处跳转到函数末尾，没能使 `%eax` 加一，所以不能相等。

`%rdi` 直接更新为 `+ 16` 的位置存储的地址（`0x603150`，内容为 `0x16`），第二次递归。这次希望直接返回。同样使 `%edx = *(%rdi) // (== 0x16)` 后：

1. 注意到如果 `%edx <= %esi`，可以 `jle` 到 `0x401220` 将 `%eax` 置零。
2. 如果还有 `%edx == %esi` 可以 `je` 到 `0x40123d`，直接返回。
3. 此时的 `%edx` 是 `22`.
4. 同时，如果输入为 `22`，可以同时满足上述 `%rsi <= 36` `%rsi > 8` `%rsi == 22` 的要求。

这时函数就会以预想的位置和顺序递归调用，也会以预想的顺序返回，令 `%eax = 2` 并跳出递归。

SecretPhase: 22

最后的运行结果为：

```
niazye@niazyelaptop:~/csapp/lab/lab2/bomb$ cat Solution.in
Border relations with Canada have never been better.
1 2 4 8 16 32
3 256
7 0 DrEvil
ionefg
4 3 2 1 6 5
22
niazye@niazyelaptop:~/csapp/lab/lab2/bomb$ ./bomb Solution.in
Welcome to my fiendish little bomb. You have 6 phases with
which to blow yourself up. Have a nice day!
Phase 1 defused. How about the next one?
That's number 2.  Keep going!
Halfway there!
So you got that one.  Try this one.
Good work!  On to the next...
Curses, you've found the secret phase!
But finding it and solving it are quite different...
Wow! You've defused the secret stage!
Congratulations! You've defused the bomb!
```