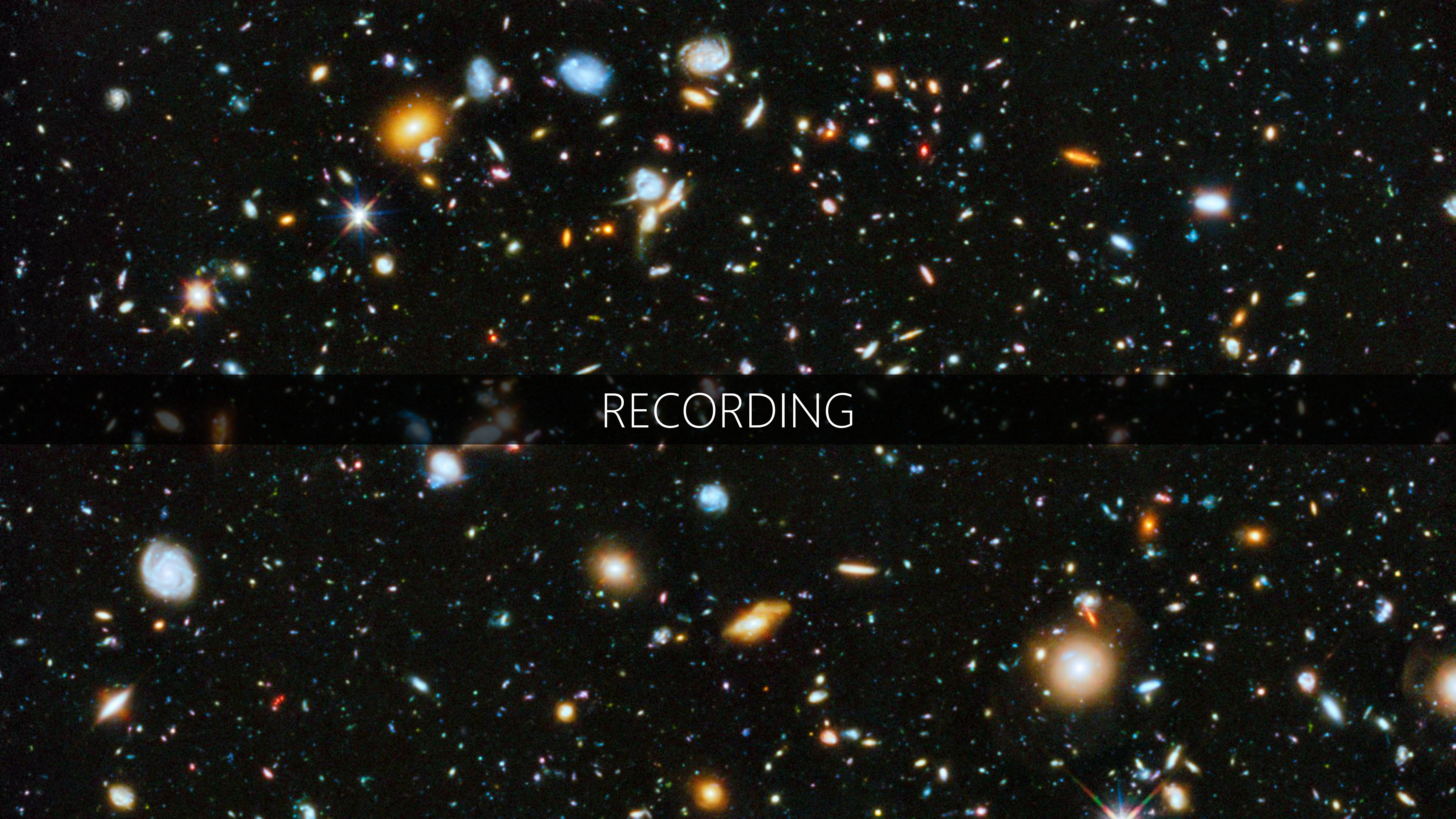
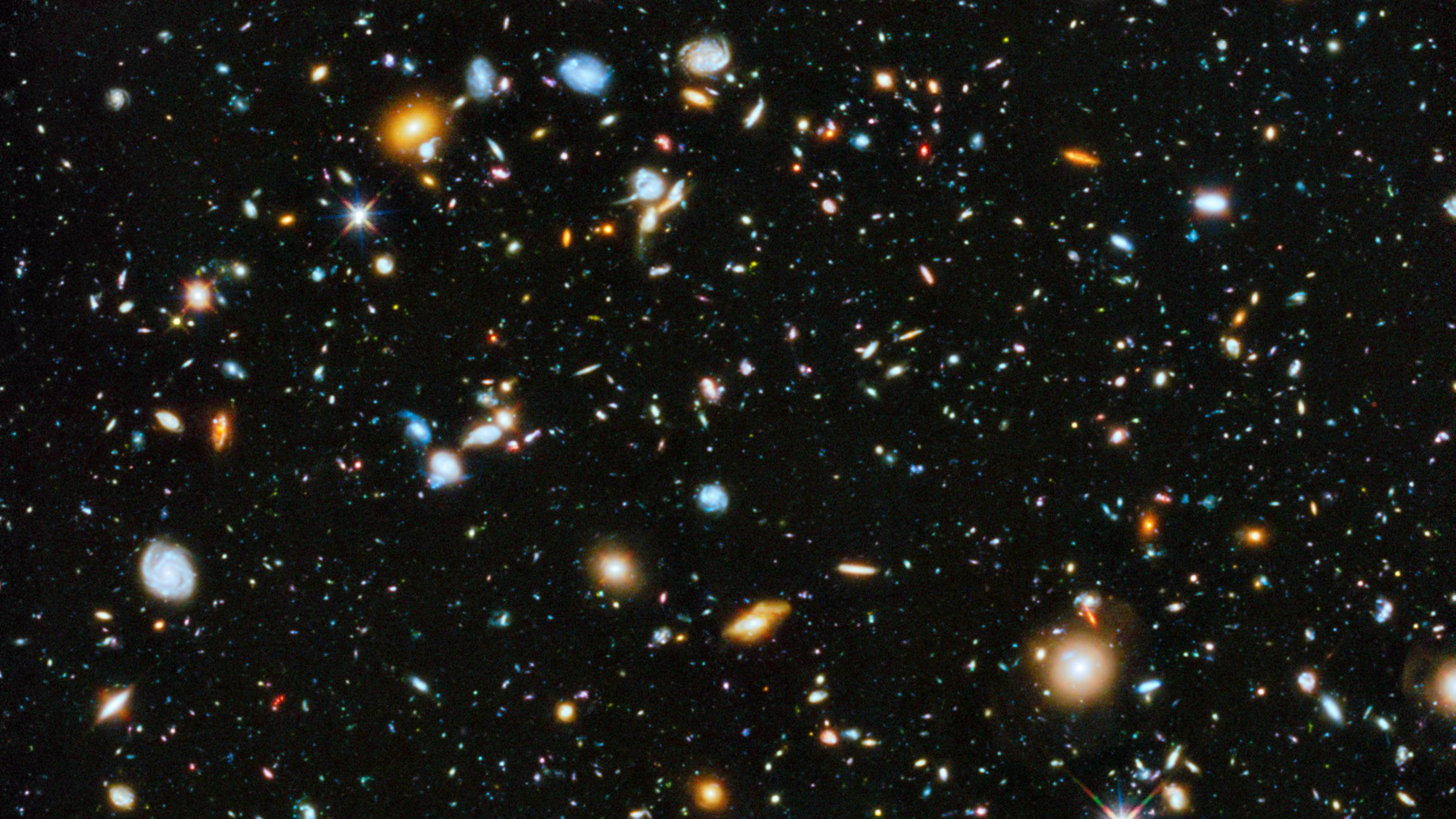


RECORDING

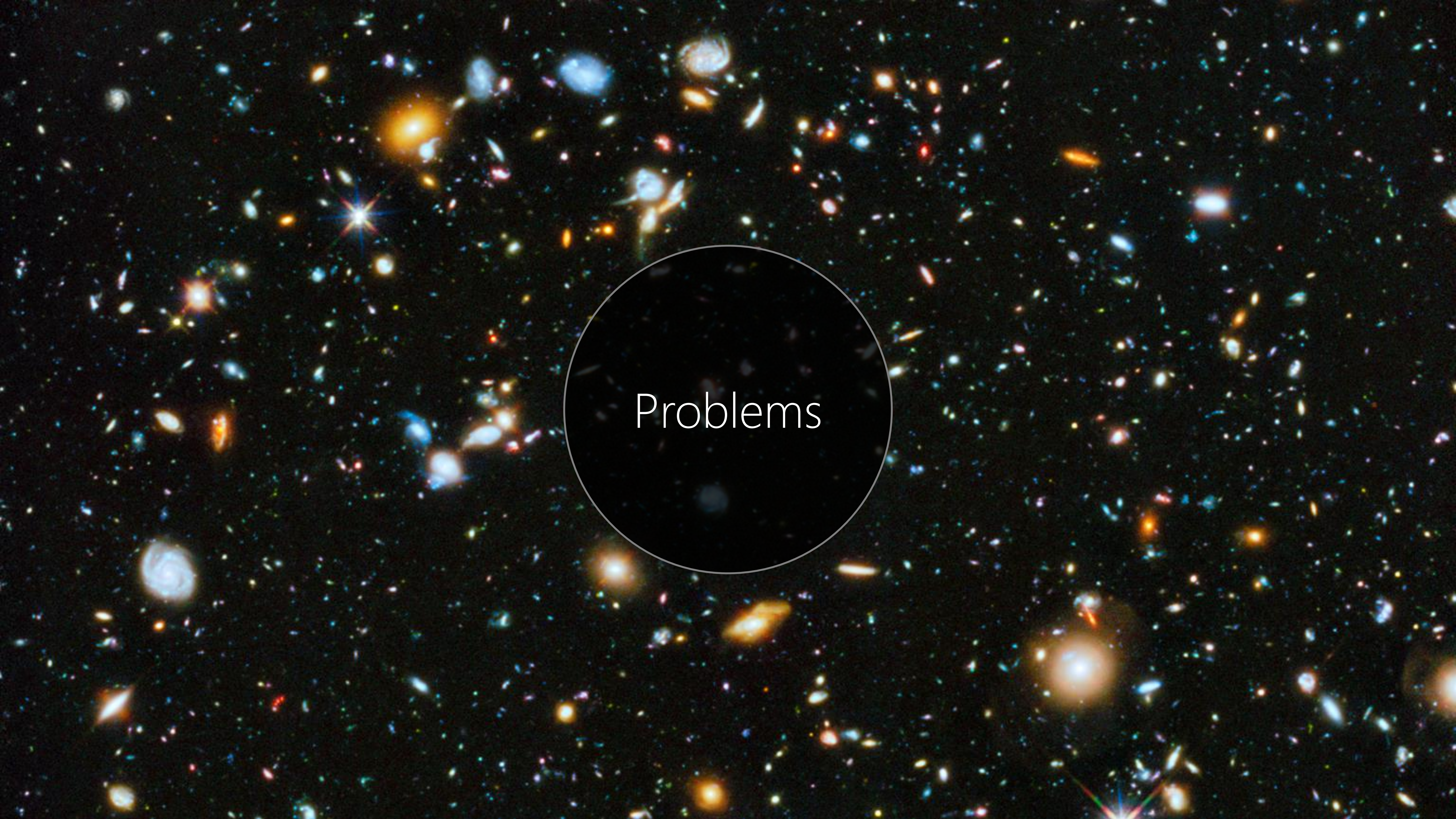
The Bonnie Situation, Pulp Fiction (1994), Quentin Tarantino



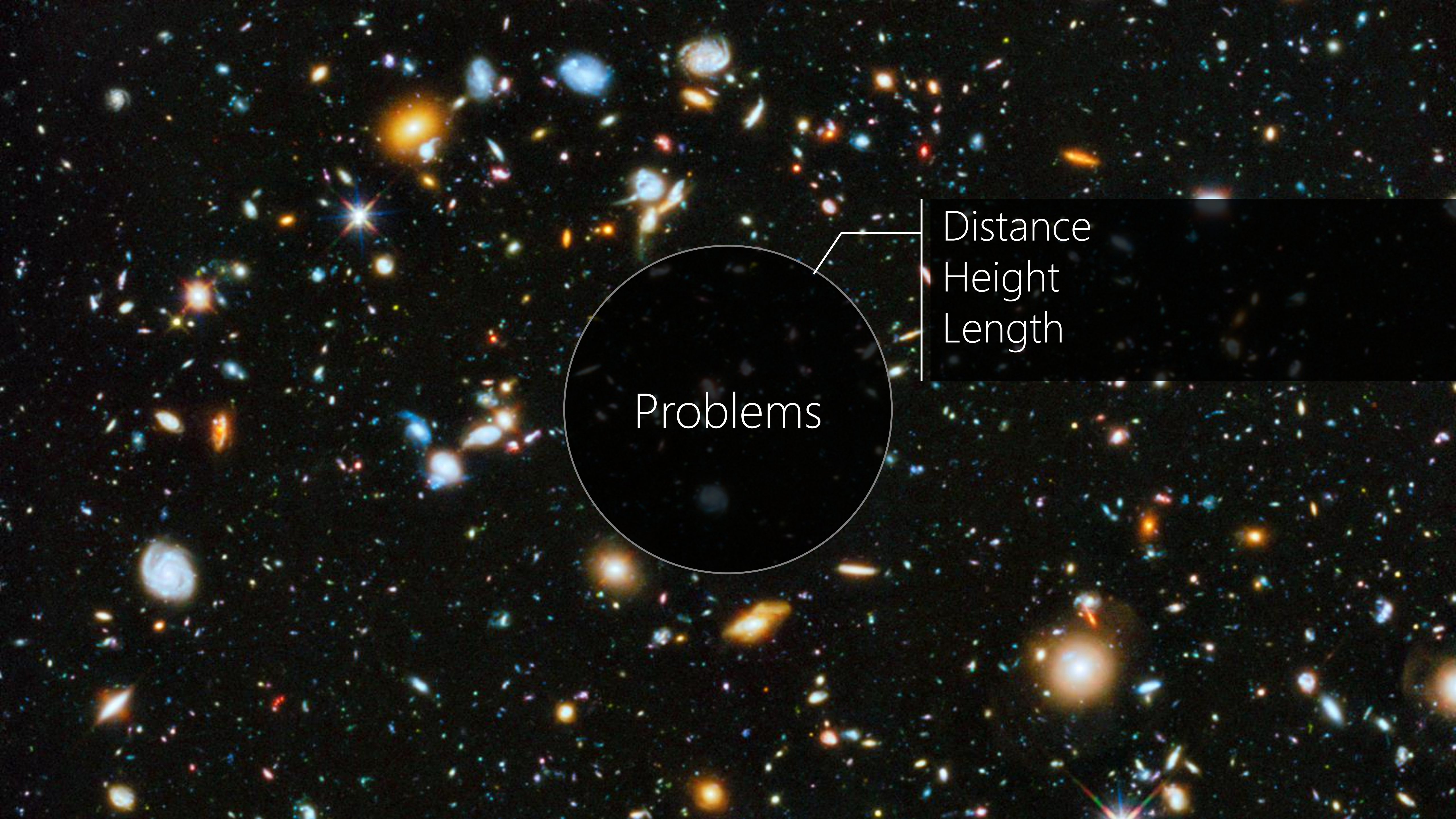
HUBBLE UNVEILS ITS MOST COLORFUL VIEW OF THE UNIVERSE (ZOOM AND PAN)

BROWSE THE LINK BELOW AND PLAY!

https://hubblesite.org/contents/media/videos/2014/27/766-Video.html



Problems

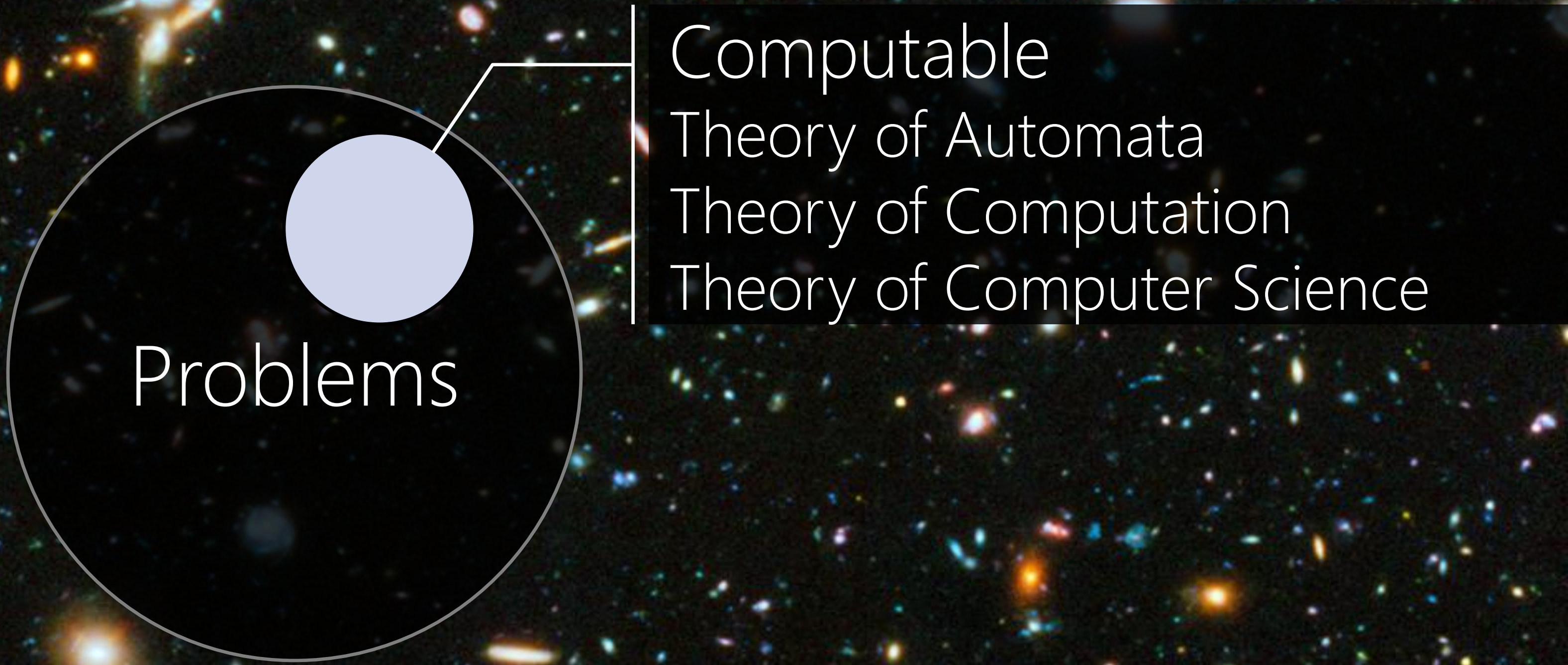


Problems

Distance

Height

Length



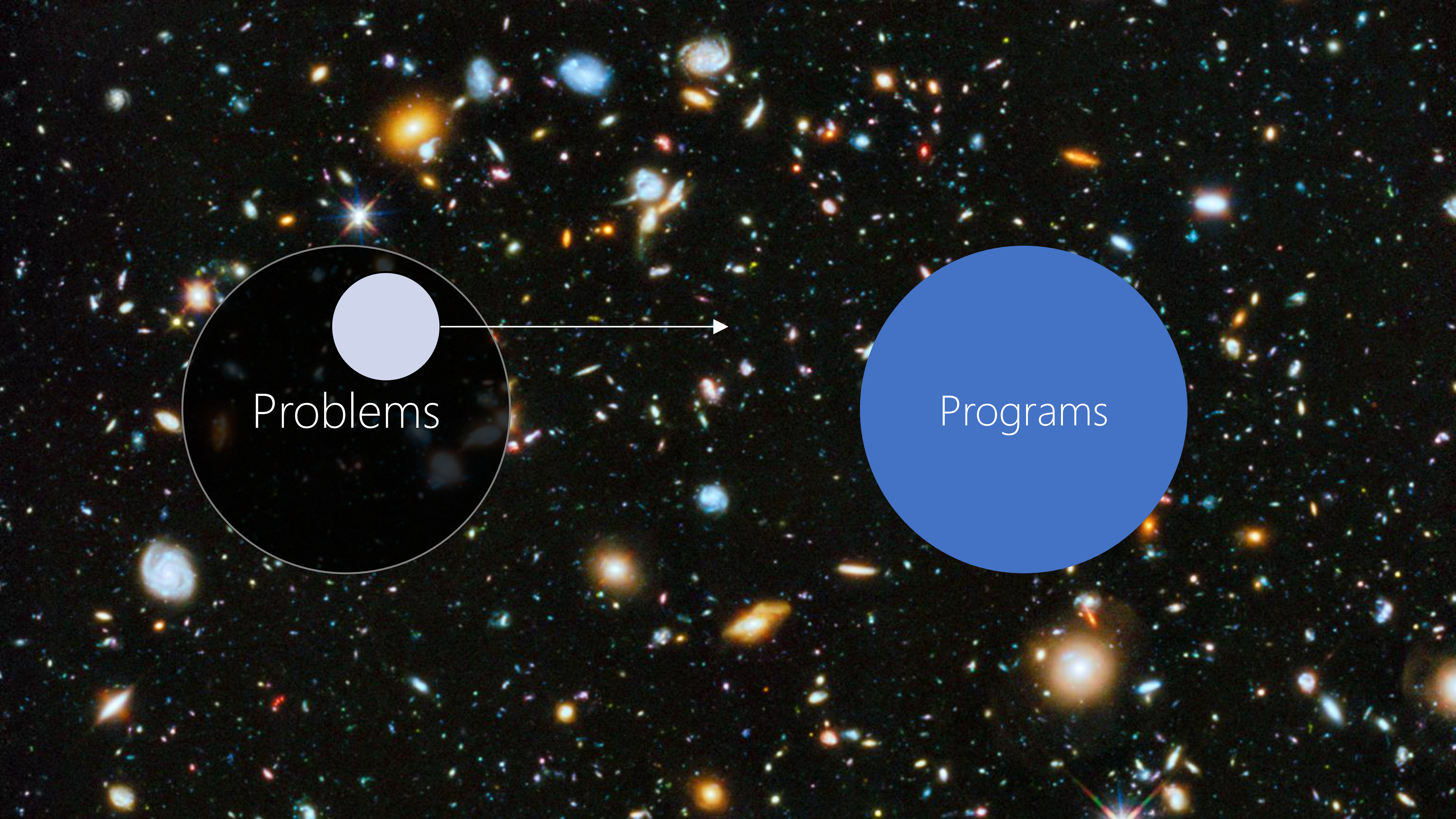
Problems

Computable

Theory of Automata

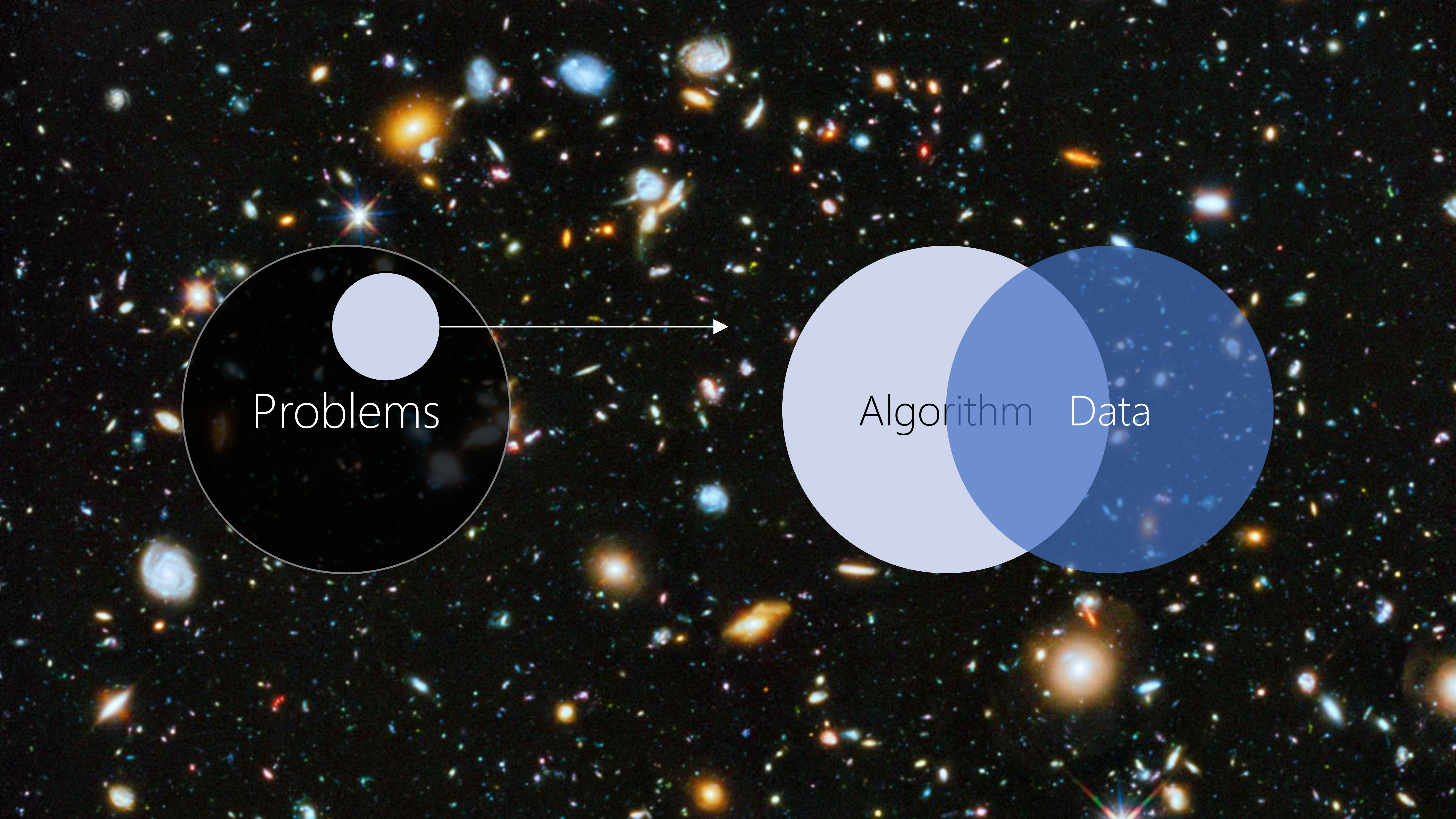
Theory of Computation

Theory of Computer Science



Problems

Programs



Problems

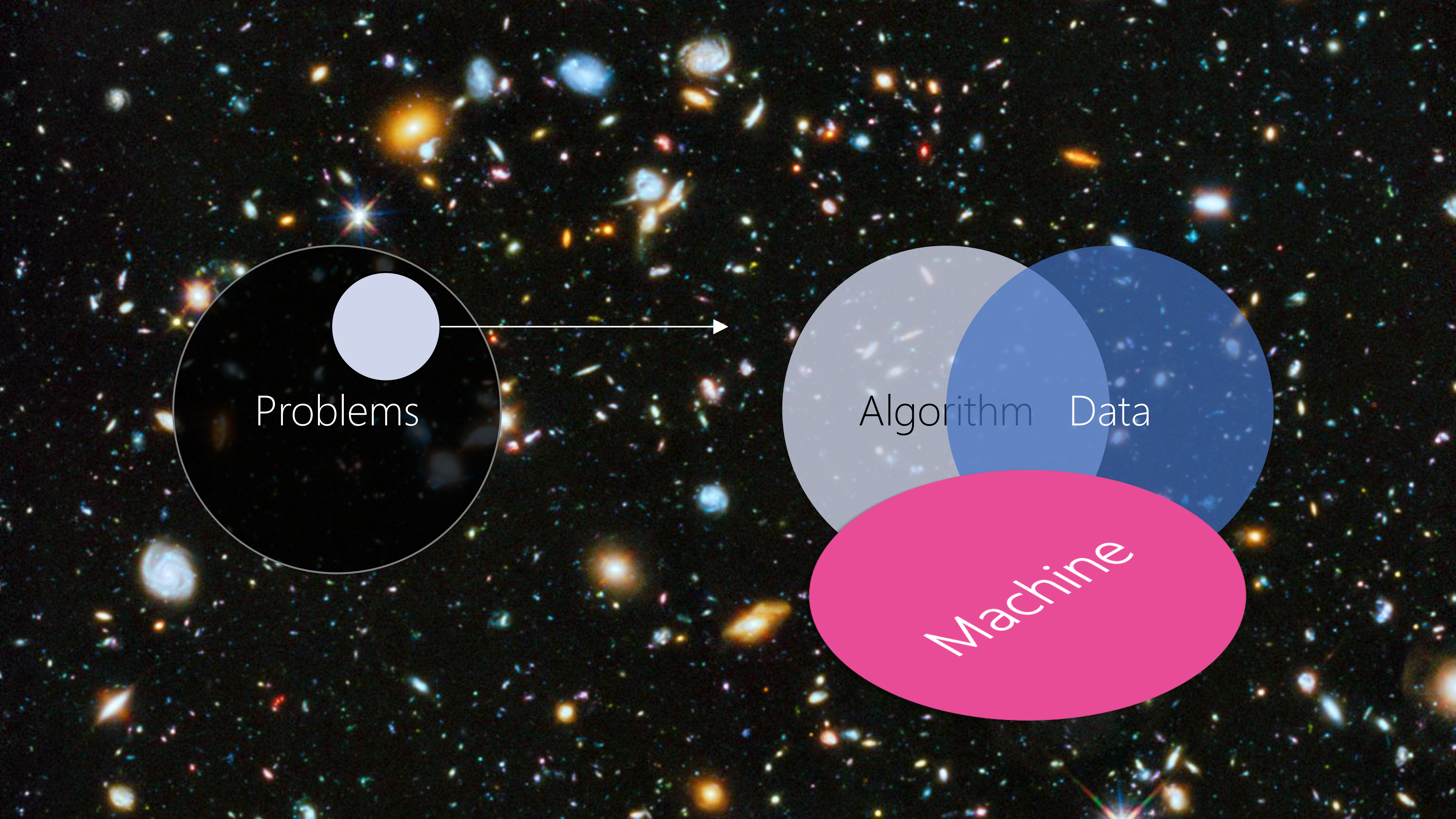
Algorithm

Data

Euclid – 300 BCE
Greatest Common Divisor

Archimedes – 212 BCE
Approximate π

Khwārizmī – 850 AD
Linear and Quadratic Equations



Problems

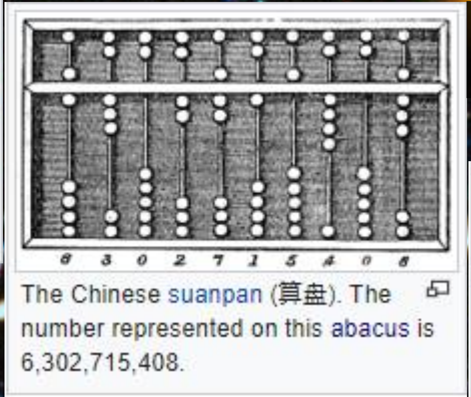
Algorithm

Data

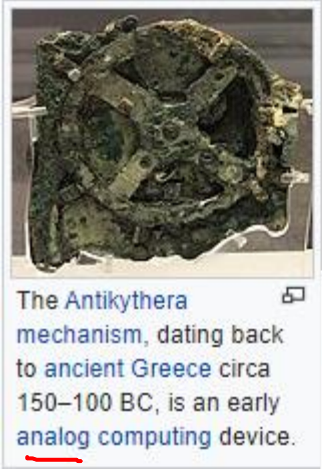
Machine

https://en.wikipedia.org/wiki/Computer#History

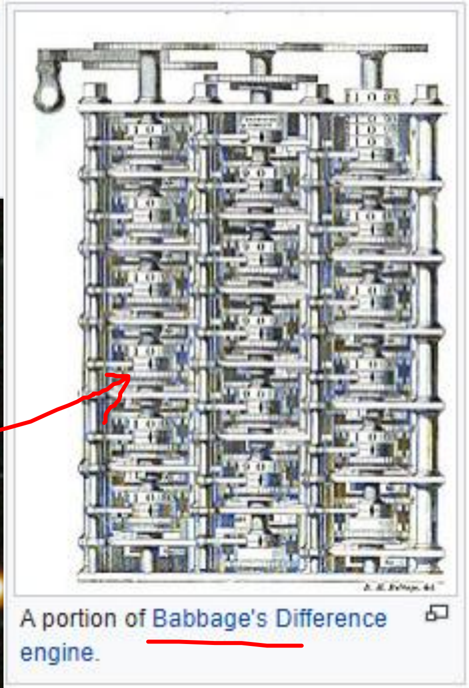
The Ishango bone, a bone tool dating back to prehistoric Africa.


The Chinese suanpan (算盘). The number represented on this abacus is 6,302,715,408.

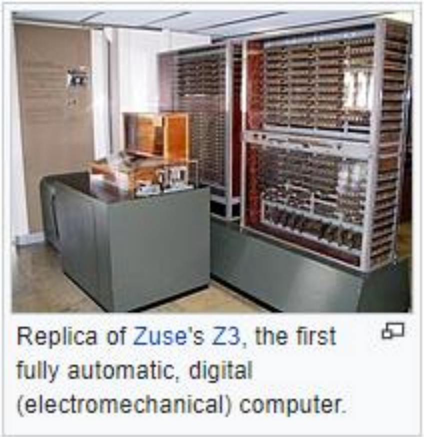
2700 – 2300 BC


The Antikythera mechanism, dating back to ancient Greece circa 150–100 BC, is an early analog computing device.

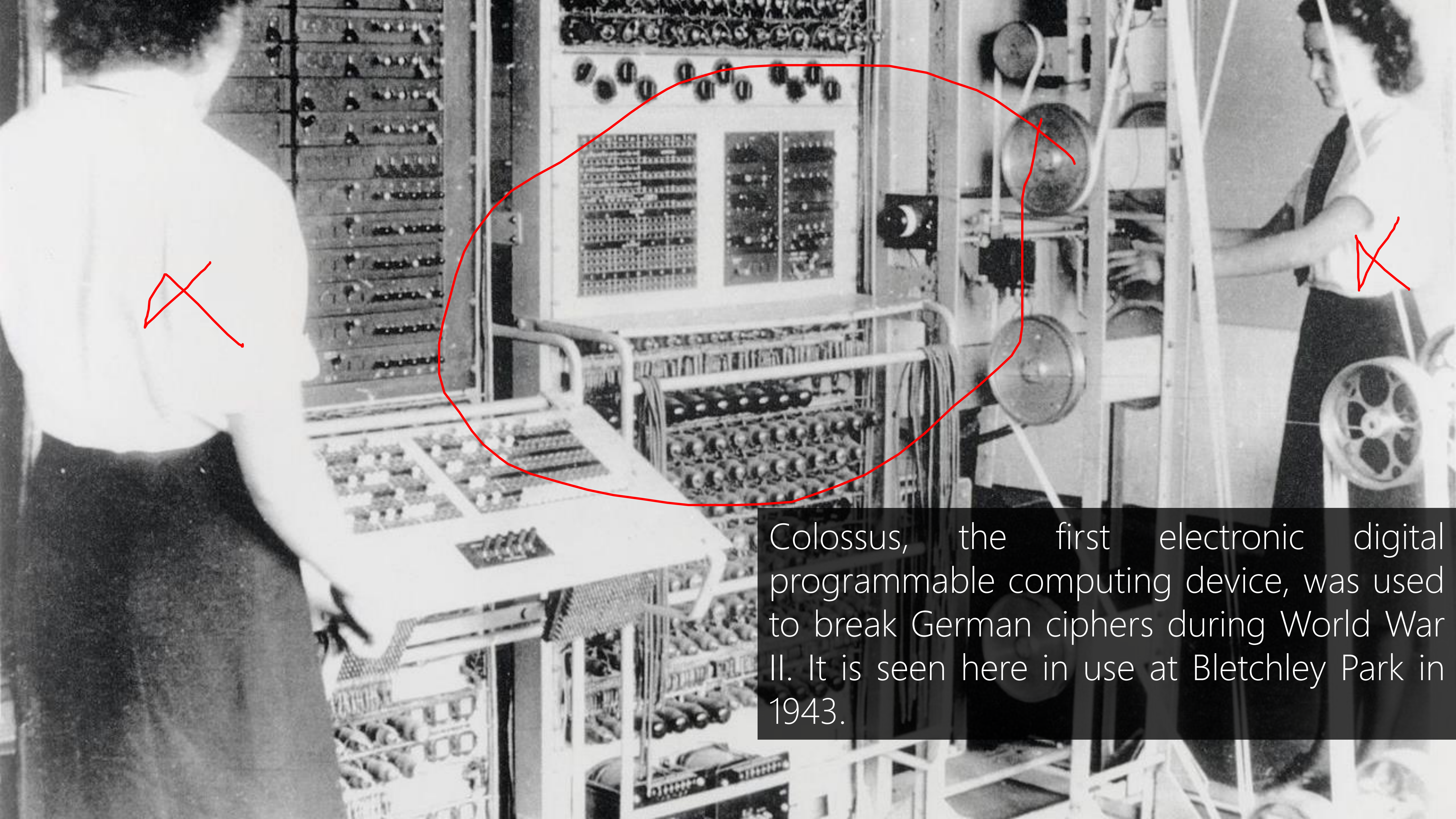
100 BC: to calculate astronomical positions


A portion of Babbage's Difference engine.

1833: Father of Computer

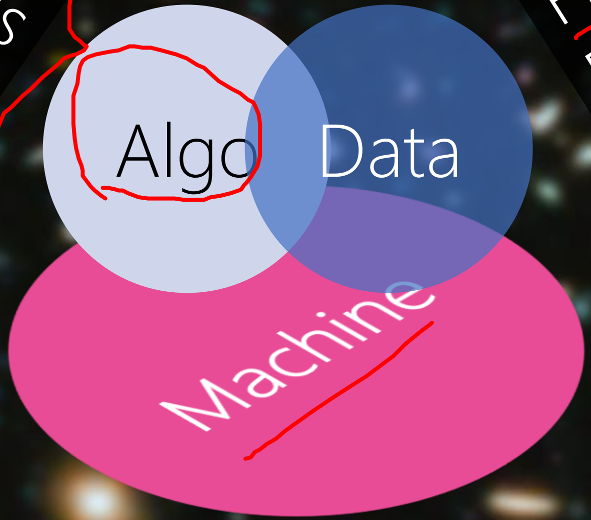

Replica of Zuse's Z3, the first fully automatic, digital (electromechanical) computer.

1941



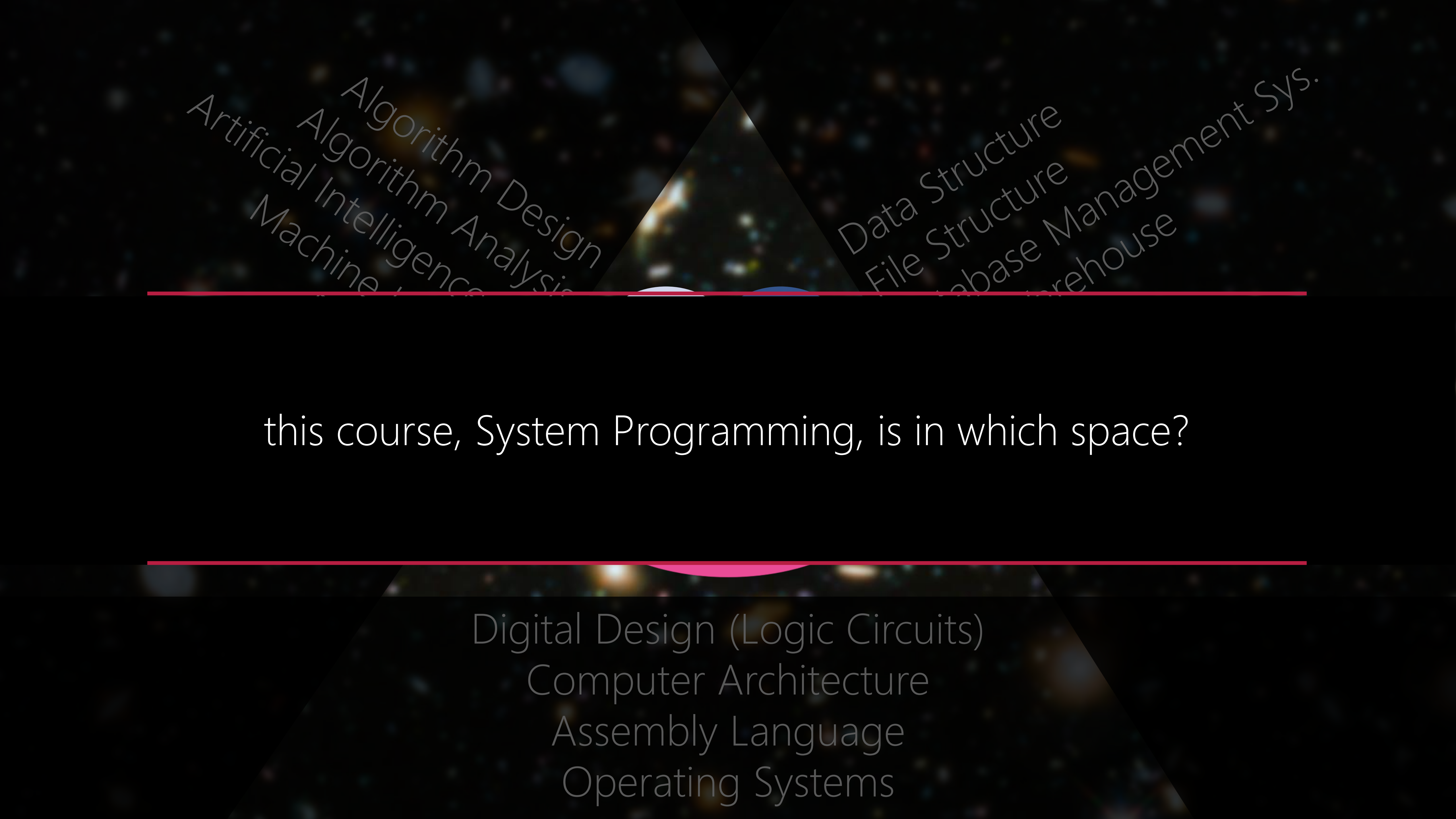
Colossus, the first electronic digital programmable computing device, was used to break German ciphers during World War II. It is seen here in use at Bletchley Park in 1943.

Algorithm Design
Algorithm Analysis
Artificial Intelligence (AI)
Machine Learning
Data Mining



Data Structure
File Structure
Database Management Sys.
Data Warehouse
Big Data
Cloud

Digital Design (Logic Circuits)
Computer Architecture
Assembly Language
Operating Systems



Algorithm Design

Algorithm Analysi

Artificial Intelligenc

Machine L

Data Structure

File Structure

abase Management Sys.

rehouse

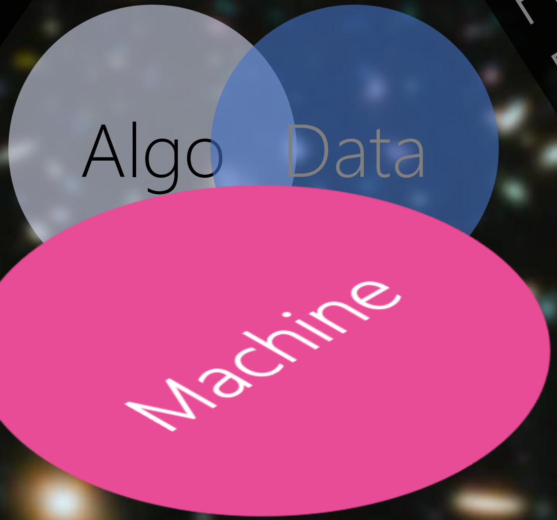
this course, System Programming, is in which space?

Digital Design (Logic Circuits)

Computer Architecture

Assembly Language

Operating Systems

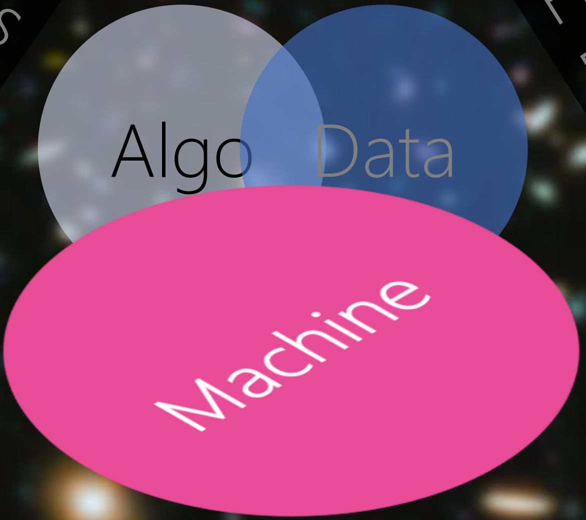


Algorithm Design
Algorithm Analysis
Artificial Intelligence (AI)
Machine Learning
Data Mining

Data Structure
File Structure
Database Management Sys.
Data Warehouse
Big Data
Cloud

Digital Design (Logic Circuits)
Computer Architecture
Assembly Language
Operating Systems

Algorithm Design
Algorithm Analysis
Artificial Intelligence (AI)
Machine Learning
Data Mining



Data Structure
File Structure
Database Management Sys.
Data Warehouse
Big Data
Cloud

Digital Design (Logic Circuits)
Computer Architecture
Assembly Language
Operating Systems

John von Neumann

(/vɒn ˈnɔɪmən/)

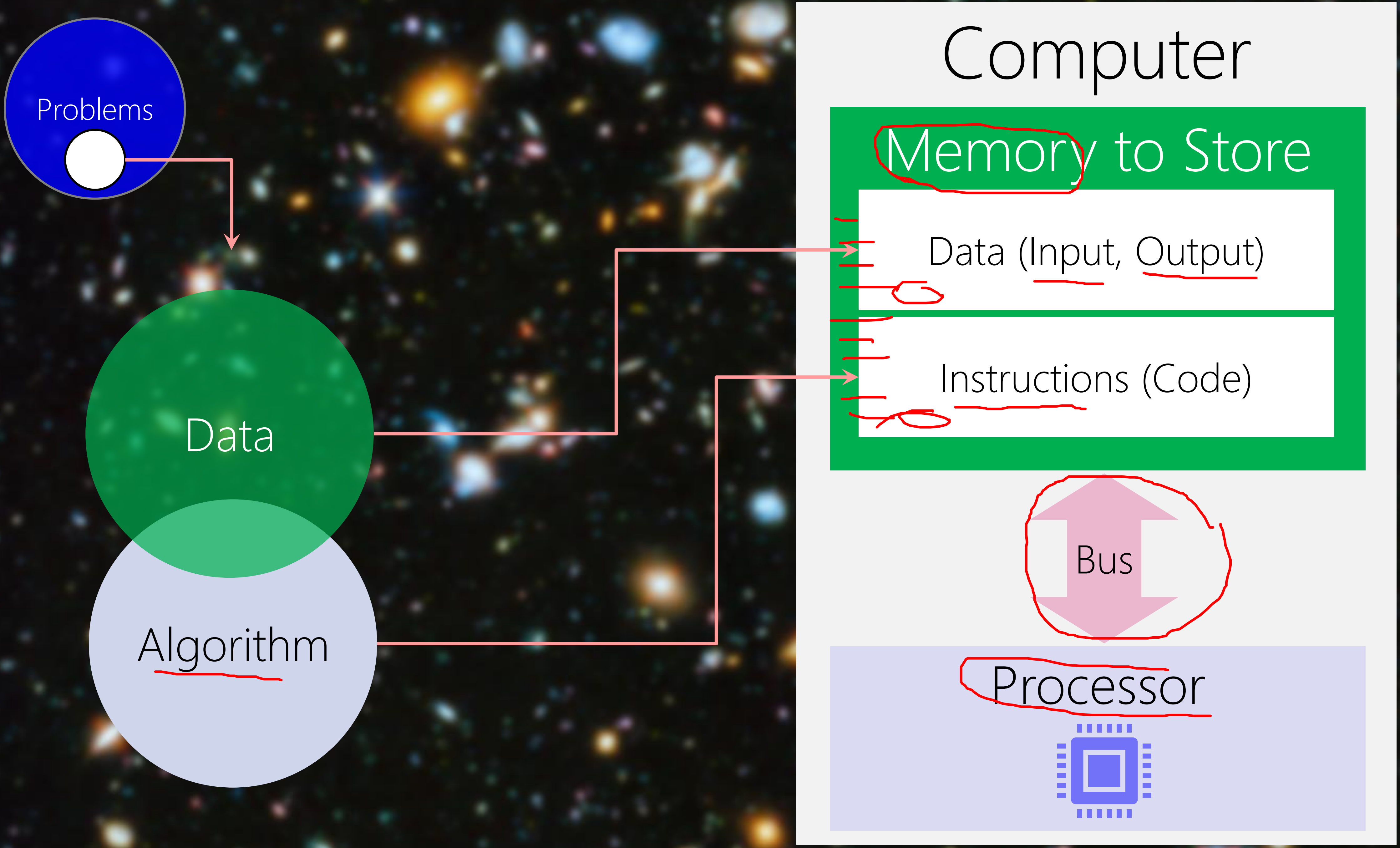
1903 –1957

Mathematician, Physicist, Computer Scientist, Engineer

Polymath

He integrated pure and applied sciences. He made major contributions to many fields, including:

- Mathematics
- Physics
- Economics (game theory)
- Computing
- Statistics



Problems

Data

Algorithm

Computer

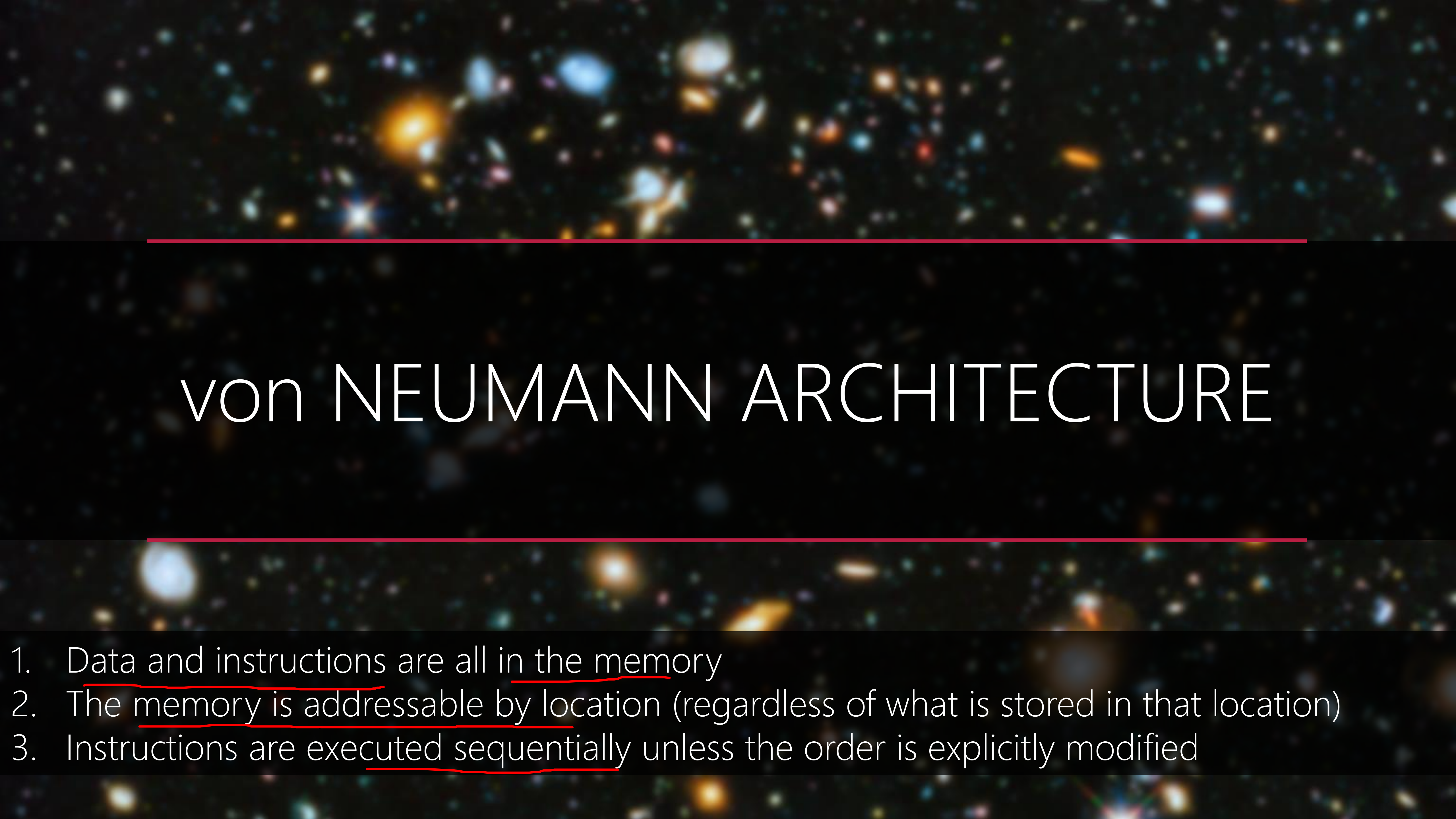
Memory to Store

Data (Input, Output)

Instructions (Code)

Bus

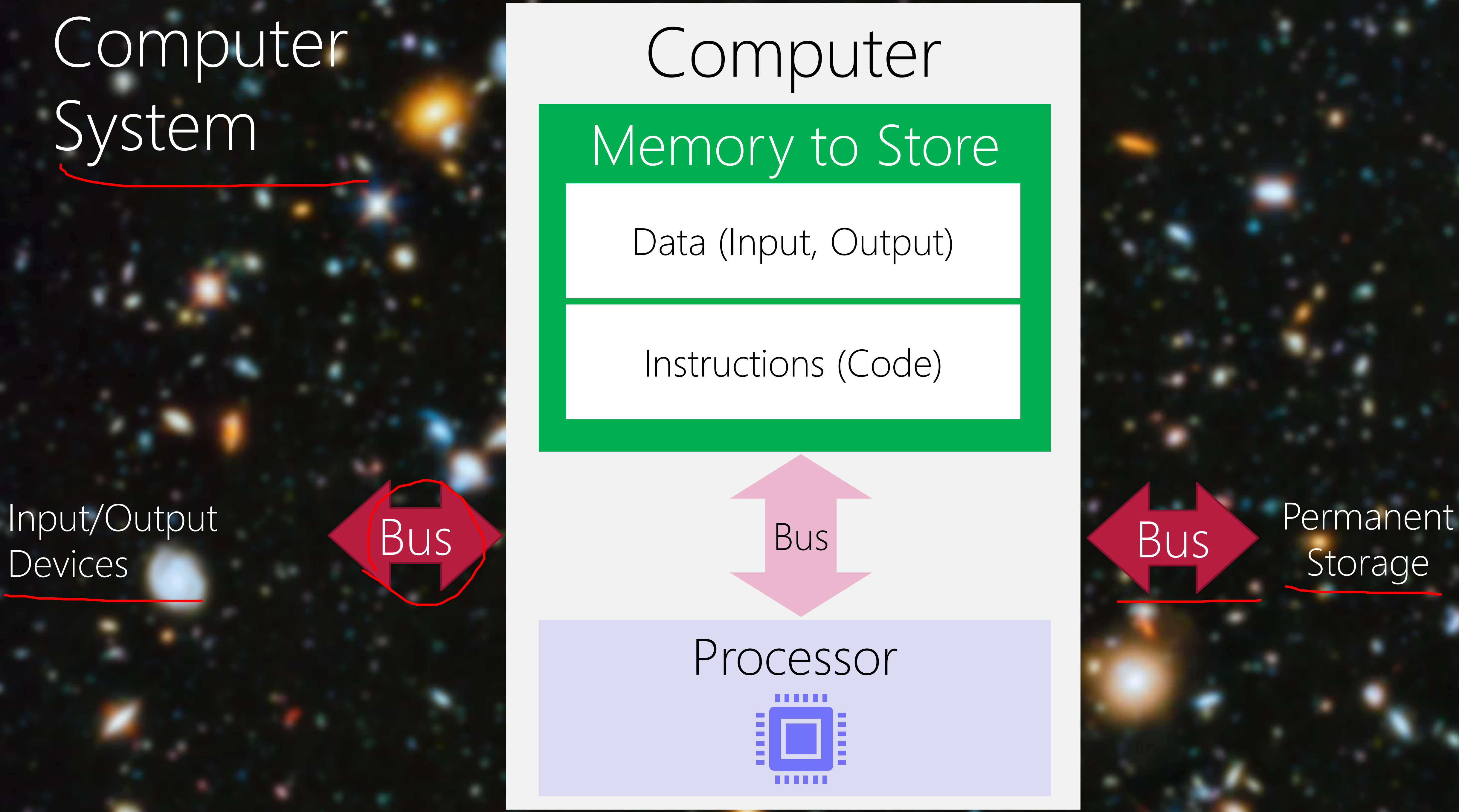
Processor



von NEUMANN ARCHITECTURE

1. Data and instructions are all in the memory
2. The memory is addressable by location (regardless of what is stored in that location)
3. Instructions are executed sequentially unless the order is explicitly modified

Computer System



Input/Output Devices

Bus

Computer

Memory to Store

Data (Input, Output)

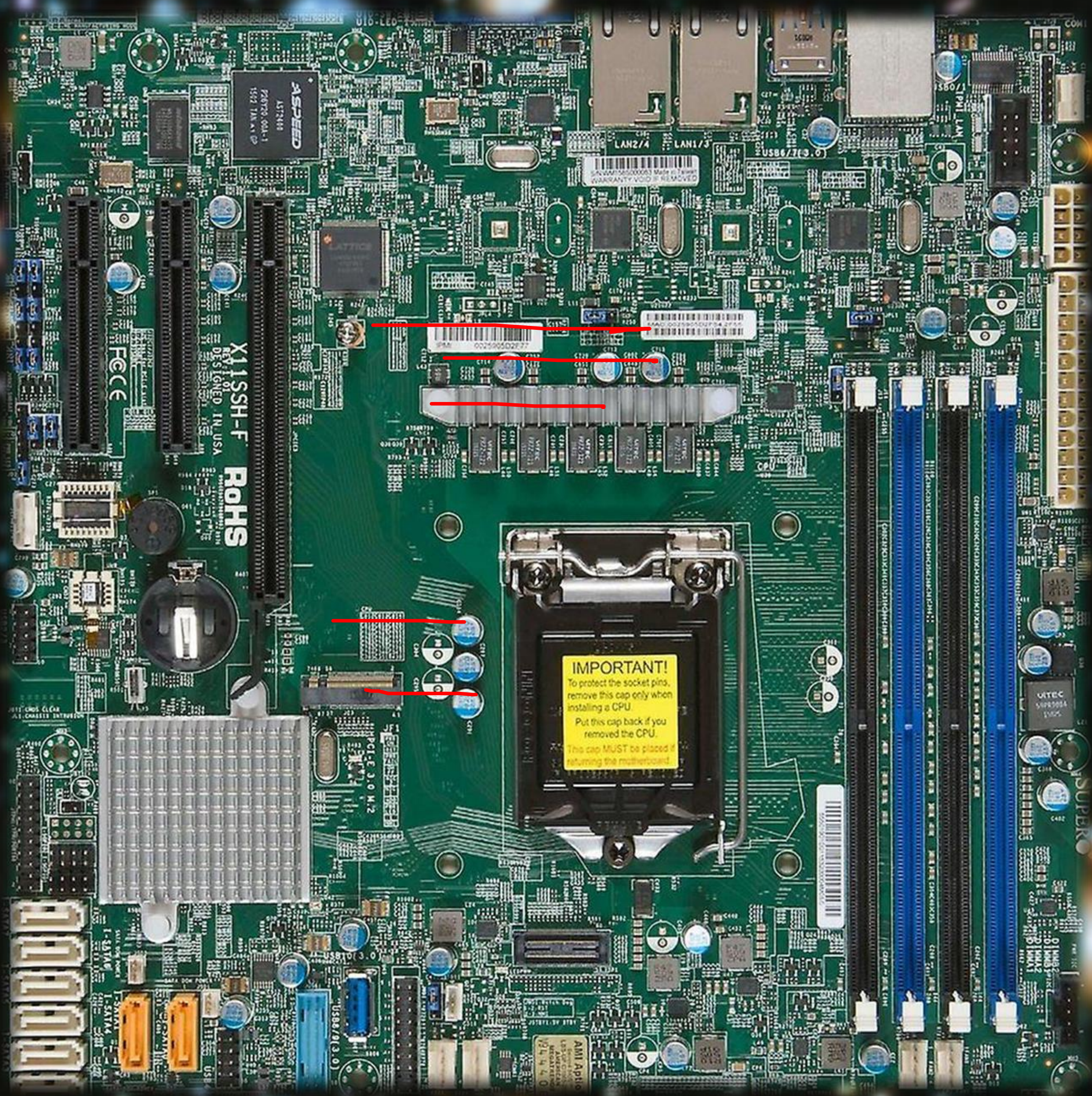
Instructions (Code)

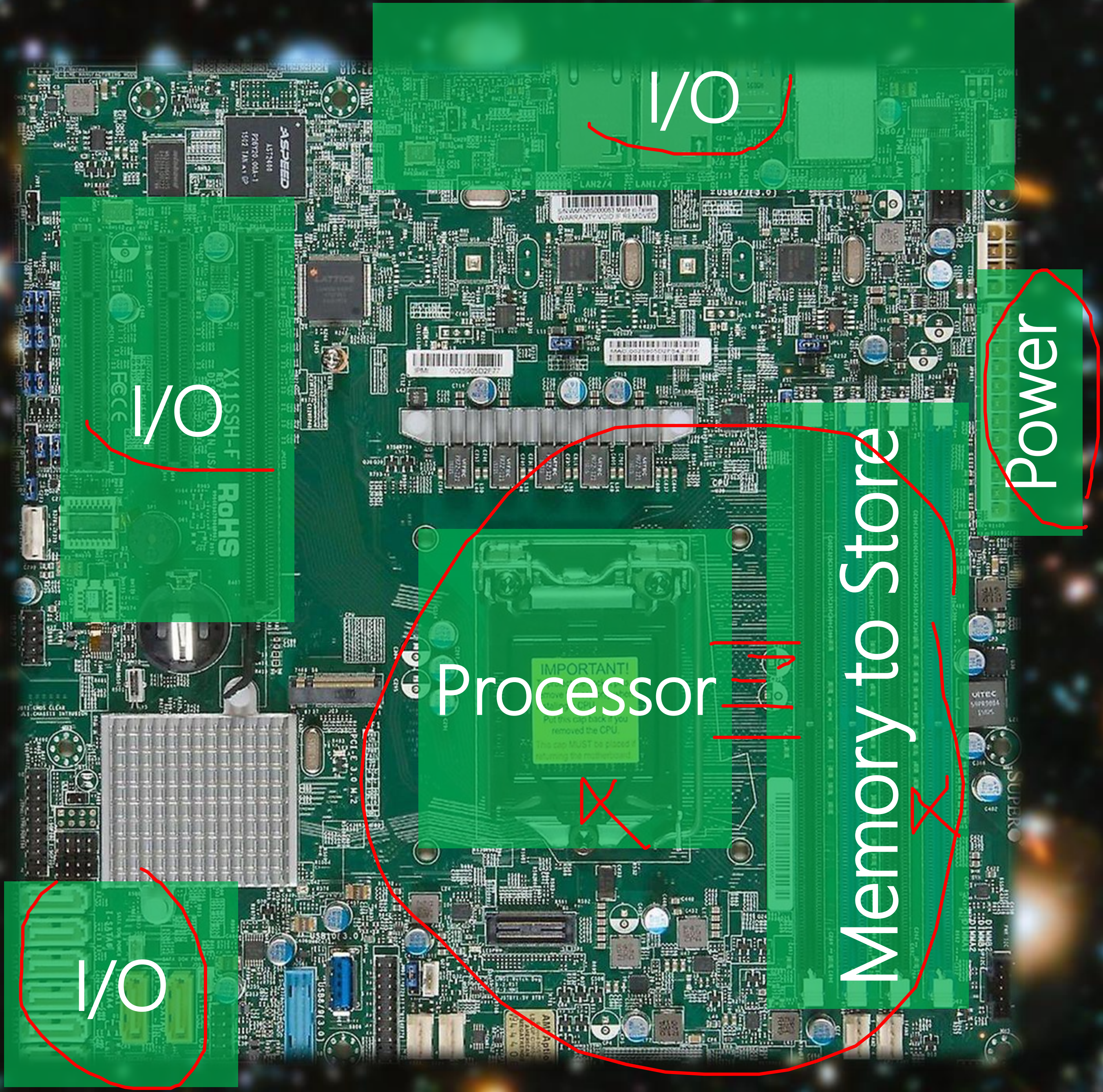
Bus

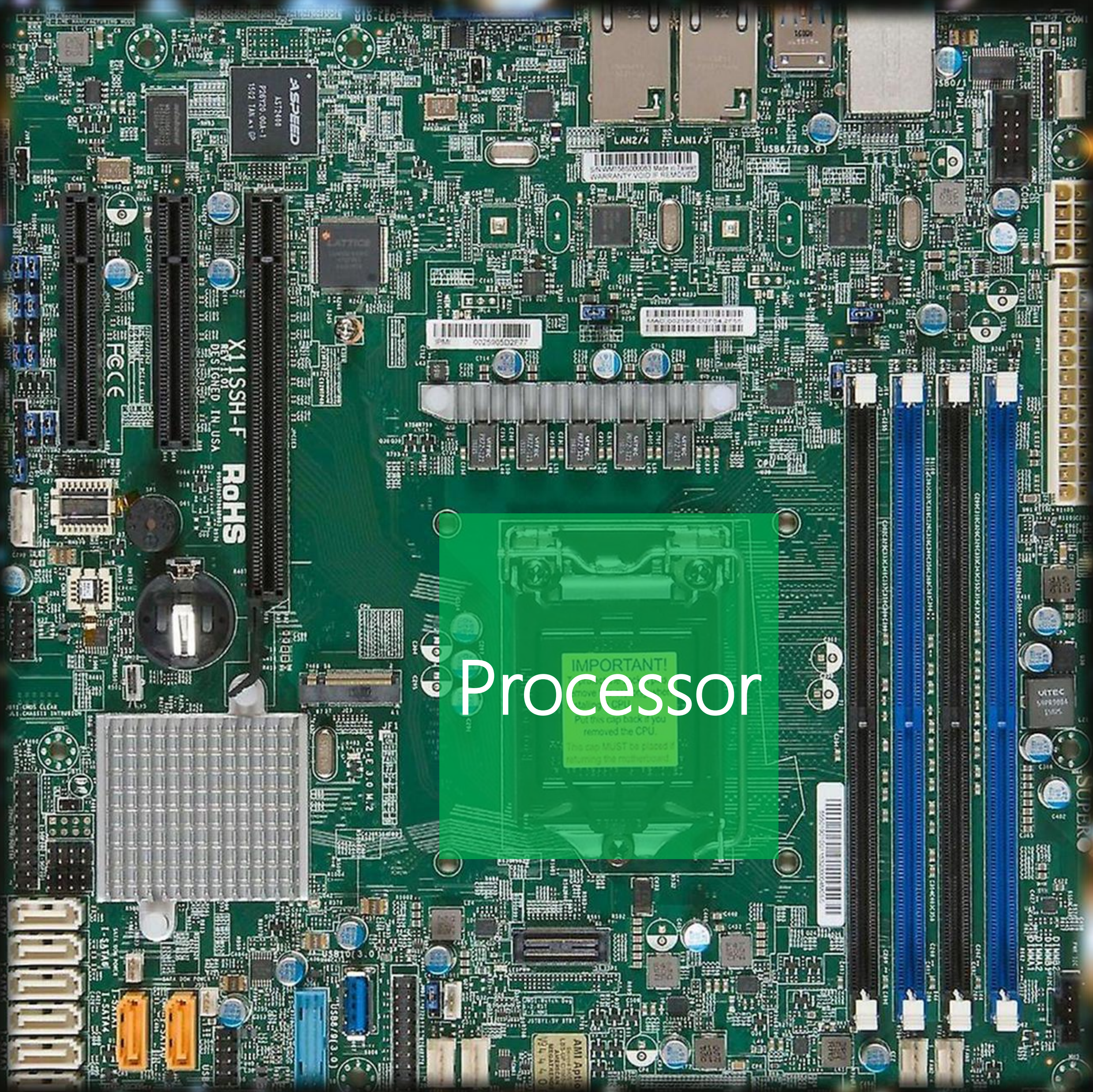
Processor

Bus

Permanent Storage


X11SSH-F
RoHS
LAN2/4
LAN1/3
IMPORTANT!
To protect the socket pins, remove this cap only when installing a CPU.
Put this cap back if you removed the CPU.
This cap MUST be placed if returning the motherboard.


I/O
I/O
Power
Processor
Memory to Store
I/O



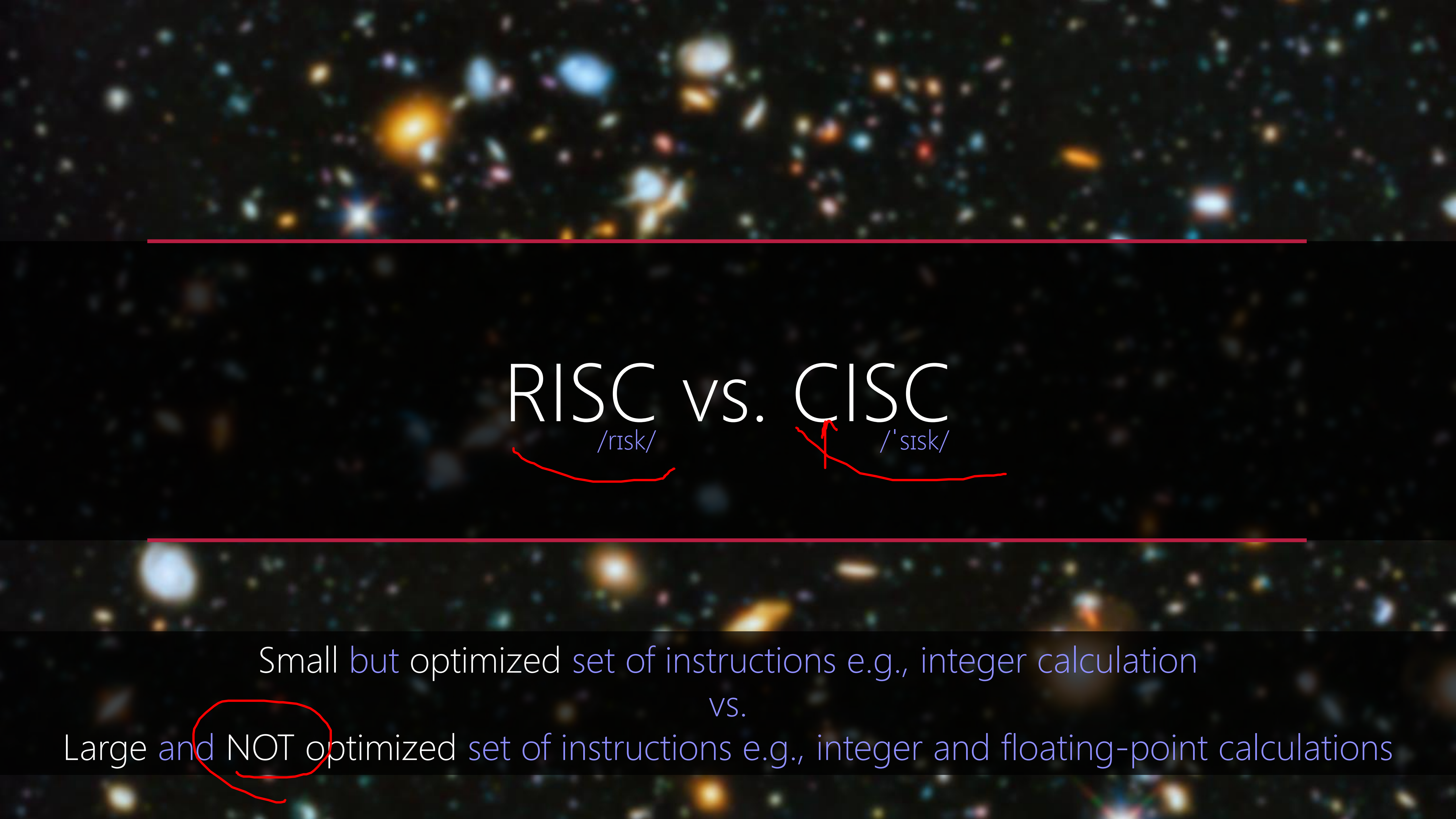
Processor

PROCESSOR

1. Cannot instruct a processor to do whatever we want!
2. Processors have limitations.

   Some can only do addition,

   Some can do both addition and subtraction, but no division



RISC vs. CISC

/rɪsk/ /ˈsɪsk/

Small but optimized set of instructions e.g., integer calculation

vs.

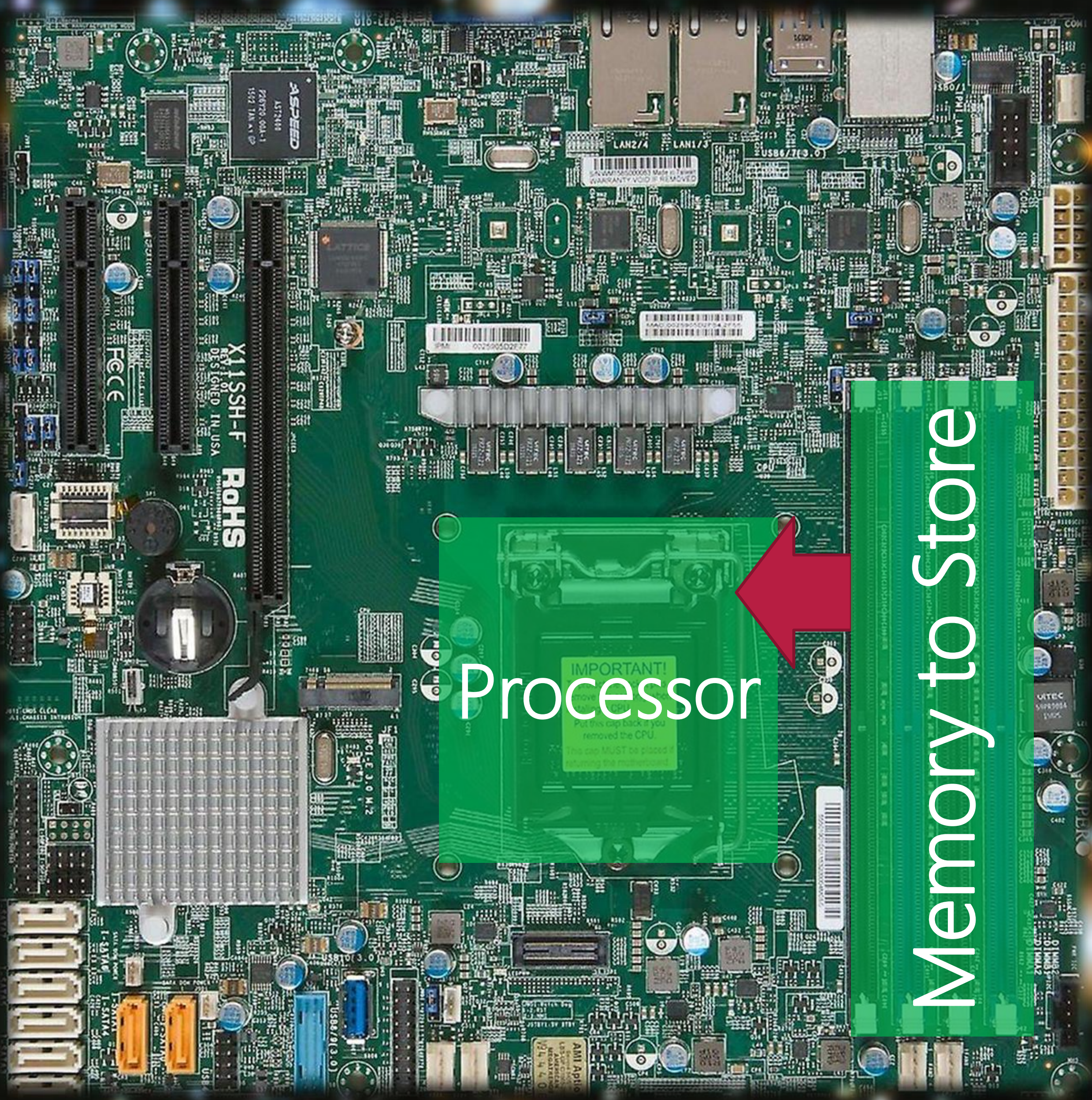
Large and NOT optimized set of instructions e.g., integer and floating-point calculations

x86, x64

By Intel and AMD

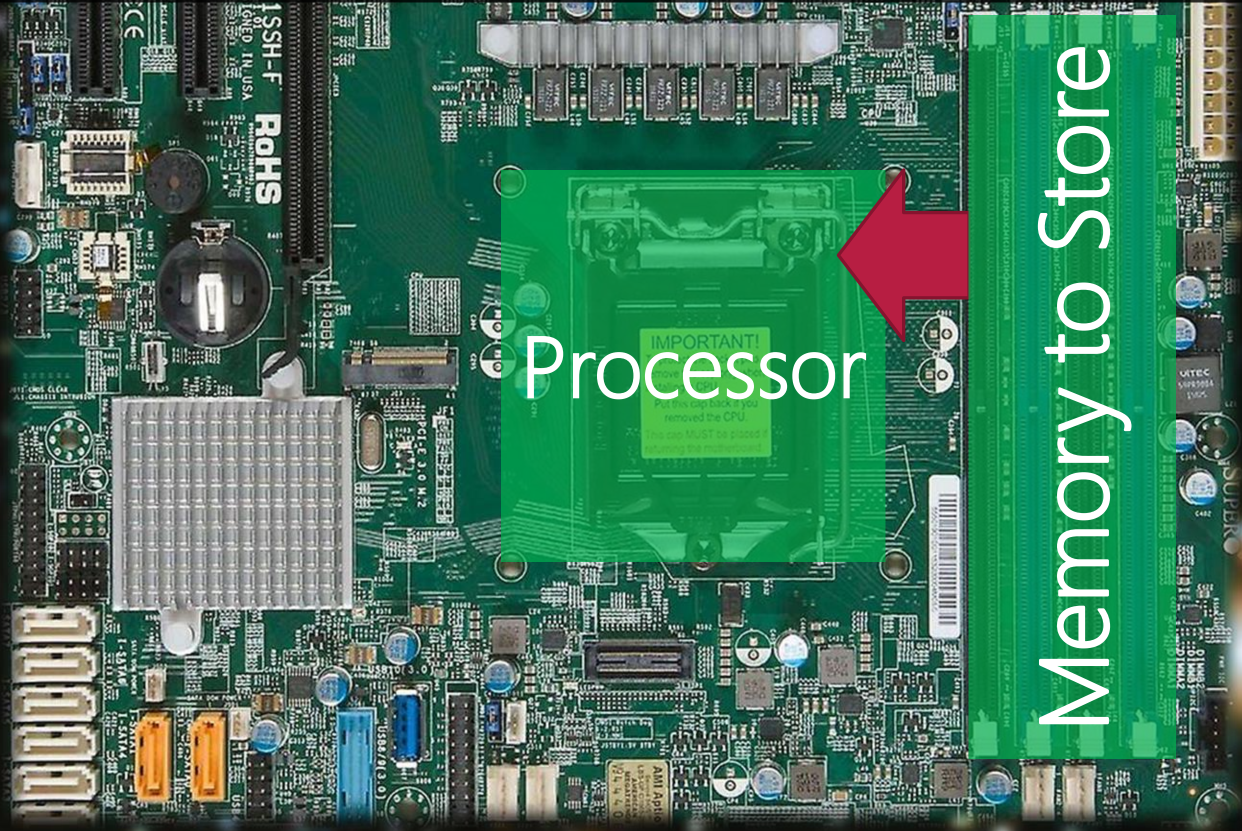
instruction set size: ~981

How Many x86-64 Instructions Are There Anyway?


Processor
Memory to Store

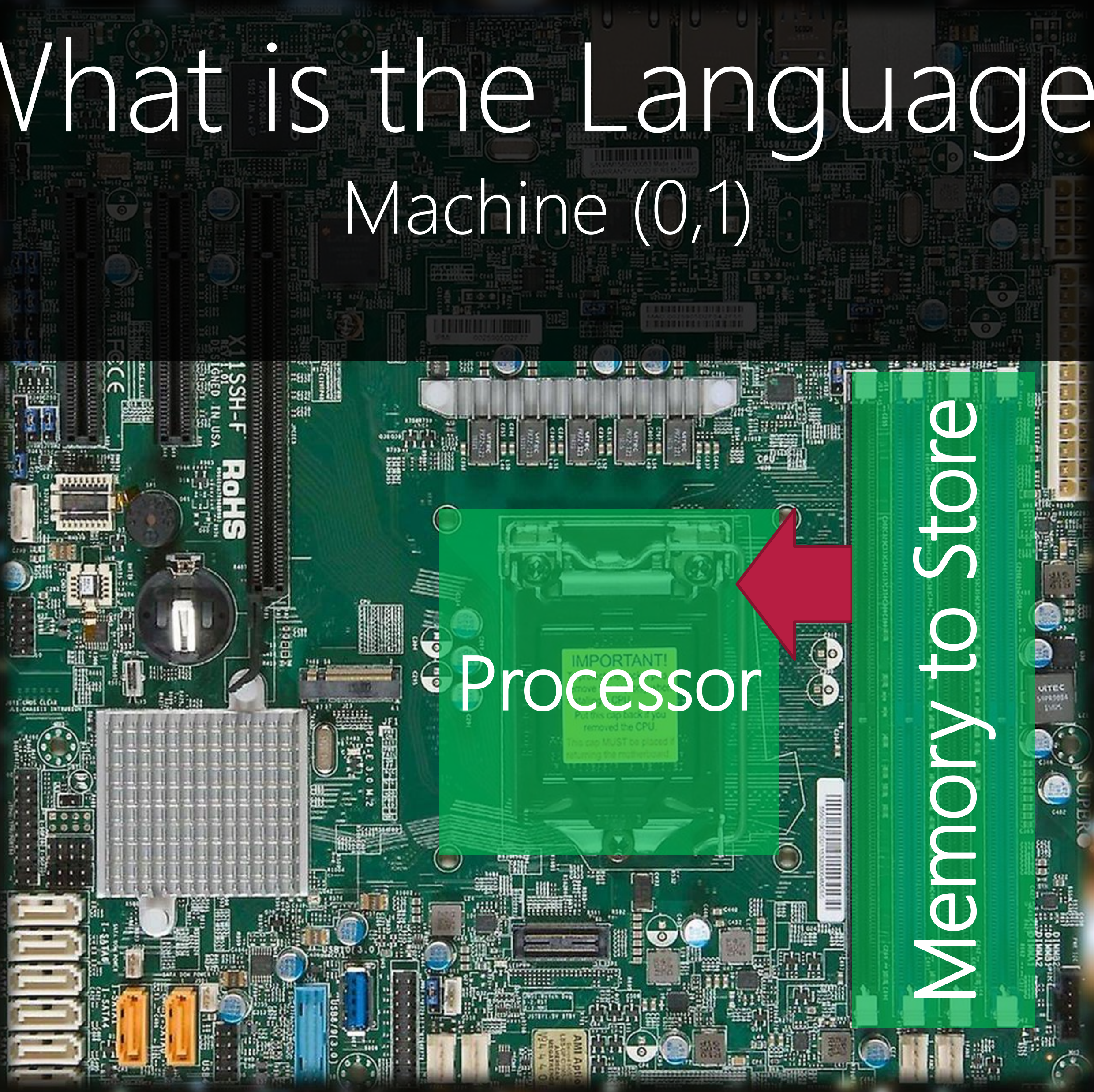
What is the Language?

English (a,b,c,...), Hindi (अ, ब, च, ...), Arabic (... ت ب آ)



What is the Language?

Machine (0,1)



Instruction Decoder

Operation Code (OP Code)	add 01001000 XXXX YYYY ZZZZ
What to do?	1) Fetch the first operand from memory at XXXX address 2) Store the first operand inside somewhere (AX) 3) Fetch the second operand from memory at YYYY address 4) Store the first operand inside somewhere else (BX) 5) Use the n-bit Adder to add AX and BX 6) Store the result inside somewhere else (CX) 7) Push CX to memory at ZZZZ address

extremely simplified version!

```
Hello world!
```

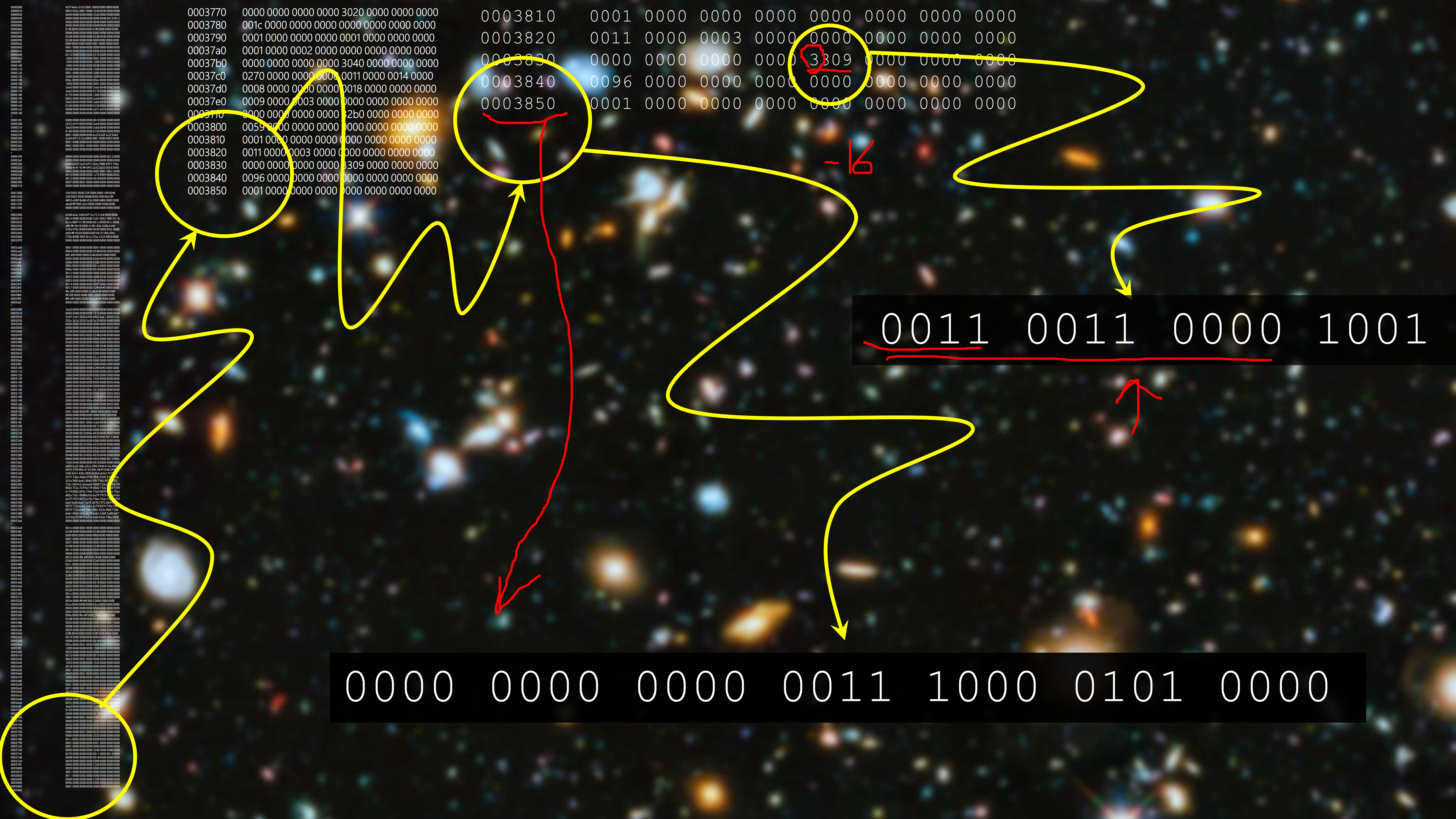
```
0000000        457f 464c 0102 0001 0000 0000 0000 0000
0000010        0002 003e 0001 0000 1020 0040 0000 0000
0000020        0040 0000 0000 0000 33a0 0000 0000 0000
0000030        0000 0000 0040 0038 0009 0040 0013 0012
0000040        0006 0000 0004 0000 0040 0000 0000 0000
0000050        0040 0040 0000 0000 0040 0040 0000 0000
0000060        01f8 0000 0000 0000 01f8 0000 0000 0000
0000070        0008 0000 0000 0000 0003 0000 0004 0000
0000080        0238 0000 0000 0000 0238 0040 0000 0000
0000090        0238 0040 0000 0000 000f 0000 0000 0000
00000a0        000f 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
00000b0        0001 0000 0004 0000 0000 0000 0000 0000
00000c0        0000 0040 0000 0000 0000 0040 0000 0000
00000d0        0310 0000 0000 0000 0310 0000 0000 0000
00000e0        1000 0000 0000 0000 0001 0000 0005 0000
00000f0        1000 0000 0000 0000 1000 0040 0000 0000
0000100        1000 0040 0000 0000 0038 0000 0000 0000
0000110        0038 0000 0000 0000 1000 0000 0000 0000
0000120        0001 0000 0004 0000 2000 0000 0000 0000
0000130        2000 0040 0000 0000 2000 0040 0000 0000
0000140        006c 0000 0000 0000 006c 0000 0000 0000
0000150        1000 0000 0000 0000 0001 0000 0006 0000
0000160        2eb0 0000 0000 0000 3eb0 0040 0000 0000
0000170        3eb0 0040 0000 0000 0170 0000 0000 0000
0000180        0170 0000 0000 0000 1000 0000 0000 0000
0000190        0002 0000 0006 0000 2eb0 0000 0000 0000
00001a0        3eb0 0040 0000 0000 3eb0 0040 0000 0000
00001b0        0150 0000 0000 0000 0150 0000 0000 0000
00001c0        0008 0000 0000 0000 e551 6474 0006 0000
00001d0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
00001f0        0000 0000 0000 0000 0010 0000 0000 0000
0000200        e552 6474 0004 0000 2eb0 0000 0000 0000
0000210        3eb0 0040 0000 0000 3eb0 0040 0000 0000
0000220        0150 0000 0000 0000 0150 0000 0000 0000
0000230        0001 0000 0000 0000 6c2f 6269 6c2f 3664
0000240        2e34 6f73 312e 0000 0001 0000 0002 0000
0000250        0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000260        0001 0000 0001 0000 0001 0000 0000 0000
0000270        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0000290        0000 0000 0000 0000 000b 0000 0012 0000
00002a0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00002b0        6c00 6269 2e63 6f73 362e 7000 6972 746e
00002c0        0066 4c47 4249 5f43 2e32 2e32 0035 0000
00002d0        0002 0000 0000 0000 0001 0001 0001 0000
00002e0        0010 0000 0000 0000 1a75 0969 0000 0002
00002f0        0012 0000 0000 0000 4018 0040 0000 0000
0000300        0007 0000 0001 0000 0000 0000 0000 0000
0000310        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0001000        35ff 3002 0000 25ff 3004 0000 1f0f 0040
0001010        25ff 3002 0000 0068 0000 e900 ffe0 ffff
0001020        4855 e589 8d48 d53d 000f b800 0000 0000
0001030        dbe8 ffff 90ff c35d 0000 0000 0000 0000
0001040        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0002000        6568 6c6c 206f 6f77 6c72 2164 0000 0000
0002010        0014 0000 0000 0000 7a01 0052 7801 0110
0002020        0c1b 0807 0190 0000 001c 0000 001c 0000
0002030        eff0 ffff 0018 0000 4100 100e 0286 0d43
0002040        5306 070c 0008 0000 0020 0000 003c 0000
0002050        efb0 ffff 0020 0000 0e00 4610 180e 0f4a
0002060        770b 8008 3f00 3b1a 332a 2224 0000 0000
0002070        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0002eb0        0001 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
0002ec0        0004 0000 0000 0000 0248 0040 0000 0000
0002ed0        fef5 6fff 0000 0000 0260 0040 0000 0000
0002ee0        0005 0000 0000 0000 02b0 0040 0000 0000
0002ef0        0006 0000 0000 0000 0280 0040 0000 0000
0002f00        000a 0000 0000 0000 001e 0000 0000 0000
0002f10        000b 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
0002f20        0015 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0002f30        0003 0000 0000 0000 4000 0040 0000 0000
0002f40        0002 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
0002f50        0014 0000 0000 0000 0007 0000 0000 0000
0002f60        0017 0000 0000 0000 02f8 0040 0000 0000
0002f70        fffe 6fff 0000 0000 02d8 0040 0000 0000
0002f80        ffff 6fff 0000 0000 0001 0000 0000 0000
0002f90        fff0 6fff 0000 0000 02ce 0040 0000 0000
0002fa0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0003000        3eb0 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003010        0000 0000 0000 0000 1016 0040 0000 0000
0003020        4347 3a43 2820 6544 6962 6e61 3820 332e
0003030        302e 362d 2029 2e38 2e33 0030 0000 0000
0003040        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003050        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0001
0003060        0238 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003070        0000 0000 0003 0002 0248 0040 0000 0000
0003080        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0003
0003090        0260 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00030a0        0000 0000 0003 0004 0280 0040 0000 0000
00030b0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0005
00030c0        02b0 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00030d0        0000 0000 0003 0006 02ce 0040 0000 0000
00030e0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0007
00030f0        02d8 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003100        0000 0000 0003 0008 02f8 0040 0000 0000
0003110        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0009
0003120        1000 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003130        0000 0000 0003 000a 1020 0040 0000 0000
0003140        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 000b
0003150        2000 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003160        0000 0000 0003 000c 2010 0040 0000 0000
0003170        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 000d
0003180        3eb0 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003190        0000 0000 0003 000e 4000 0040 0000 0000
00031a0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 000f
00031b0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00031c0        0001 0000 0004 fff1 0000 0000 0000 0000
00031d0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0004 fff1
00031e0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00031f0        0009 0000 0001 000d 3eb0 0040 0000 0000
0003200        0000 0000 0000 0000 0012 0000 0001 000e
0003210        4000 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003220        0028 0000 0010 000e 4020 0040 0000 0000
0003230        0000 0000 0000 0000 002f 0000 0012 0000
0003240        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003250        0043 0000 0010 000e 4020 0040 0000 0000
0003260        0000 0000 0000 0000 004d 0000 0010 0000
0003270        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003280        0048 0000 0010 000e 4020 0040 0000 0000
0003290        0000 0000 0000 0000 0054 0000 0012 000a
00032a0        1020 0040 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00032b0        6800 6c65 6f6c 632e 5f00 5944 414e 494d
00032c0        0043 475f 4f4c 4142 5f4c 464f 5346 5445
00032d0        545f 4241 454c 005f 655f 6164 6174 7000
00032e0        6972 746e 4066 4740 494c 4342 325f 322e
00032f0        352e 5f00 6e65 0064 5f5f 7362 5f73 7473
0003300        7261 0074 616d 6e69 0000 732e 6d79 6174
0003310        0062 732e 7274 6174 0062 732e 7368 7274
0003320        6174 0062 692e 746e 7265 0070 672e 756e
0003330        682e 7361 0068 642e 6e79 7973 006d 642e
0003340        6e79 7473 0072 672e 756e 762e 7265 6973
0003350        6e6f 2e00 6e67 2e75 6576 7372 6f69 5f6e
0003360        0072 722e 6c65 2e61 6c70 0074 742e 7865
0003370        0074 722e 646f 7461 0061 652e 5f68 7266
0003380        6d61 0065 642e 6e79 6d61 6369 2e00 6f67
0003390        2e74 6c70 0074 632e 6d6f 656d 746e 0000
00033a0        0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
00033e0        001b 0000 0001 0000 0002 0000 0000 0000
00033f0        0238 0040 0000 0000 0238 0000 0000 0000
0003400        000f 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003410        0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003420        0027 0000 0005 0000 0002 0000 0000 0000
0003430        0248 0040 0000 0000 0248 0000 0000 0000
0003440        0014 0000 0000 0000 0004 0000 0000 0000
0003450        0008 0000 0000 0000 0004 0000 0000 0000
0003460        0023 0000 fff6 6fff 0002 0000 0000 0000
0003470        0260 0040 0000 0000 0260 0000 0000 0000
0003480        001c 0000 0000 0000 0004 0000 0000 0000
0003490        0008 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00034a0        002d 0000 000b 0000 0002 0000 0000 0000
00034b0        0280 0040 0000 0000 0280 0000 0000 0000
00034c0        0030 0000 0000 0000 0005 0000 0001 0000
00034d0        0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00034e0        0035 0000 0003 0000 0002 0000 0000 0000
00034f0        02b0 0040 0000 0000 02b0 0000 0000 0000
0003500        001e 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003510        0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003520        003d 0000 ffff 6fff 0002 0000 0000 0000
0003530        02ce 0040 0000 0000 02ce 0000 0000 0000
0003540        0004 0000 0000 0000 0004 0000 0000 0000
0003550        0002 0000 0000 0000 0002 0000 0000 0000
0003560        004a 0000 fffe 6fff 0002 0000 0000 0000
0003570        02d8 0040 0000 0000 02d8 0000 0000 0000
0003580        0020 0000 0000 0000 0005 0000 0001 0000
0003590        0008 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00035a0        0059 0000 0004 0000 0042 0000 0000 0000
00035b0        02f8 0040 0000 0000 02f8 0000 0000 0000
00035c0        0018 0000 0000 0000 0004 0000 000e 0000
00035d0        0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00035e0        005e 0000 0001 0000 0006 0000 0000 0000
00035f0        1000 0040 0000 0000 1000 0000 0000 0000
0003600        0020 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003610        0010 0000 0000 0000 0010 0000 0000 0000
0003620        0063 0000 0001 0000 0006 0000 0000 0000
0003630        1020 0040 0000 0000 1020 0000 0000 0000
0003640        0018 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003650        0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003660        0069 0000 0001 0000 0002 0000 0000 0000
0003670        2000 0040 0000 0000 2000 0000 0000 0000
0003680        000d 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003690        0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00036a0        0071 0000 0001 0000 0002 0000 0000 0000
00036b0        2010 0040 0000 0000 2010 0000 0000 0000
00036c0        005c 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00036d0        0008 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00036e0        007b 0000 0006 0000 0003 0000 0000 0000
00036f0        3eb0 0040 0000 0000 2eb0 0000 0000 0000
0003700        0150 0000 0000 0000 0005 0000 0000 0000
0003710        0008 0000 0000 0000 0010 0000 0000 0000
0003720        0084 0000 0001 0000 0003 0000 0000 0000
0003730        4000 0040 0000 0000 3000 0000 0000 0000
0003740        0020 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003750        0008 0000 0000 0000 0008 0000 0000 0000
0003760        008d 0000 0001 0000 0030 0000 0000 0000
0003770        0000 0000 0000 0000 3020 0000 0000 0000
0003780        001c 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003790        0001 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
00037a0        0001 0000 0002 0000 0000 0000 0000 0000
00037b0        0000 0000 0000 0000 3040 0000 0000 0000
00037c0        0270 0000 0000 0000 0011 0000 0014 0000
00037d0        0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00037e0        0009 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
00037f0        0000 0000 0000 0000 32b0 0000 0000 0000
0003800        0059 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003810        0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003820        0011 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
0003830        0000 0000 0000 0000 3309 0000 0000 0000
0003840        0096 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003850        0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003860
```

```
0003770    0000 0000 0000 0000 3020 0000 0000 0000
0003780    001c 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003790    0001 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
00037a0    0001 0000 0002 0000 0000 0000 0000 0000
00037b0    0000 0000 0000 0000 3040 0000 0000 0000
00037c0    0270 0000 0000 0000 0011 0000 0014 0000
00037d0    0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00037e0    0009 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
00037f0    0000 0000 0000 0000 32b0 0000 0000 0000
0003800    0059 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003810    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003820    0011 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
0003830    0000 0000 0000 0000 3309 0000 0000 0000
0003840    0096 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003850    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
```

```
0000000    457f 464c 0102 0001 0000 0000 0000 0000
0000010    0002 003e 0001 0000 1020 0040 0000 0000
0000020    0040 0000 0000 0000 33a0 0000 0000 0000
0000030    0000 0000 0040 0038 0009 0040 0013 0012
0000040    0006 0000 0004 0000 0040 0000 0000 0000
0000050    0040 0040 0000 0000 0040 0040 0000 0000
0000060    01f8 0000 0000 0000 01f8 0000 0000 0000
0000070    0008 0000 0000 0000 0003 0000 0004 0000
0000080    0238 0000 0000 0000 0238 0040 0000 0000
0000090    0238 0040 0000 0000 000f 0000 0000 0000
00000a0    000f 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
00000b0    0001 0000 0004 0000 0000 0000 0000 0000
00000c0    0000 0040 0000 0000 0000 0040 0000 0000
00000d0    0310 0000 0000 0000 0310 0000 0000 0000
00000e0    1000 0000 0000 0000 0001 0000 0005 0000
00000f0    1000 0000 0000 0000 1000 0040 0000 0000
0000100    1000 0040 0000 0000 0038 0000 0000 0000
0000110    0038 0000 0000 0000 1000 0000 0000 0000
0000120    0001 0000 0004 0000 2000 0000 0000 0000
0000130    2000 0040 0000 0000 2000 0040 0000 0000
0000140    006c 0000 0000 0000 006c 0000 0000 0000
0000150    1000 0000 0000 0000 0001 0000 0006 0000
0000160    2eb0 0000 0000 0000 3eb0 0040 0000 0000
0000170    3eb0 0040 0000 0000 0170 0000 0000 0000
0000180    0170 0000 0000 0000 1000 0000 0000 0000
0000190    0002 0000 0006 0000 2eb0 0000 0000 0000
00001a0    3eb0 0040 0000 0000 3eb0 0040 0000 0000
00001b0    0150 0000 0000 0000 0150 0000 0000 0000
00001c0    0008 0000 0000 0000 e551 6474 0006 0000
00001d0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
00001f0    0000 0000 0000 0000 0010 0000 0000 0000
0000200    e552 6474 0004 0000 2eb0 0000 0000 0000
0000210    3eb0 0040 0000 0000 3eb0 0040 0000 0000
0000220    0150 0000 0000 0000 0150 0000 0000 0000
0000230    0001 0000 0000 0000 6c2f 6269 6c2f 3664
0000240    2e34 6f73 312e 0000 0001 0000 0002 0000
0000250    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000260    0001 0000 0001 0000 0001 0000 0000 0000
0000270    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0000290    0000 0000 0000 0000 000b 0000 0012 0000
00002a0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00002b0    6c00 6269 2e63 6f73 362e 7000 6972 746e
00002c0    0066 4c47 4249 5f43 2e32 2e32 0035 0000
00002d0    0002 0000 0000 0000 0001 0001 0001 0000
00002e0    0010 0000 0000 0000 1a75 0969 0000 0002
00002f0    0012 0000 0000 0000 4018 0040 0000 0000
0000300    0007 0000 0001 0000 0000 0000 0000 0000
0000310    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0001000    35ff 3002 0000 25ff 3004 0000 1f0f 0040
0001010    25ff 3002 0000 0068 0000 e900 ffe0 ffff
0001020    4855 e589 8d48 d53d 000f b800 0000 0000
0001030    dbe8 ffff 90ff c35d 0000 0000 0000 0000
0001040    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0002000    6568 6c6c 206f 6f77 6c72 2164 0000 0000
0002010    0014 0000 0000 0000 7a01 0052 7801 0110
0002020    0c1b 0807 0190 0000 001c 0000 001c 0000
0002030    eff0 ffff 0018 0000 4100 100e 0286 0d43
0002040    5306 070c 0008 0000 0020 0000 003c 0000
0002050    efb0 ffff 0020 0000 0e00 4610 180e 0f4a
0002060    770b 8008 3f00 3b1a 332a 2224 0000 0000
0002070    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0002eb0    0001 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
0002ec0    0004 0000 0000 0000 0248 0040 0000 0000
0002ed0    fef5 6fff 0000 0000 0260 0040 0000 0000
0002ee0    0005 0000 0000 0000 02b0 0040 0000 0000
0002ef0    0006 0000 0000 0000 0280 0040 0000 0000
0002f00    000a 0000 0000 0000 001e 0000 0000 0000
0002f10    000b 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
0002f20    0015 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0002f30    0003 0000 0000 0000 4000 0040 0000 0000
0002f40    0002 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
0002f50    0014 0000 0000 0000 0007 0000 0000 0000
0002f60    0017 0000 0000 0000 02f8 0040 0000 0000
0002f70    fffe 6fff 0000 0000 02d8 0040 0000 0000
0002f80    ffff 6fff 0000 0000 0001 0000 0000 0000
0002f90    fff0 6fff 0000 0000 02ce 0040 0000 0000
0002fa0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0003000    3eb0 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003010    0000 0000 0000 0000 1016 0040 0000 0000
0003020    4347 3a43 2820 6544 6962 6e61 3820 332e
0003030    302e 362d 2029 2e38 2e33 0030 0000 0000
0003040    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003050    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0001
0003060    0238 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003070    0000 0000 0003 0002 0248 0040 0000 0000
0003080    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0003
0003090    0260 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00030a0    0000 0000 0003 0004 0280 0040 0000 0000
00030b0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0005
00030c0    02b0 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00030d0    0000 0000 0003 0006 02ce 0040 0000 0000
00030e0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0007
00030f0    02d8 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003100    0000 0000 0003 0008 02f8 0040 0000 0000
0003110    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 0009
0003120    1000 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003130    0000 0000 0003 000a 1020 0040 0000 0000
0003140    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 000b
0003150    2000 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003160    0000 0000 0003 000c 2010 0040 0000 0000
0003170    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 000d
0003180    3eb0 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003190    0000 0000 0003 000e 4000 0040 0000 0000
00031a0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0003 000f
00031b0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00031c0    0001 0000 0004 fff1 0000 0000 0000 0000
00031d0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0004 fff1
00031e0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00031f0    0009 0000 0001 000d 3eb0 0040 0000 0000
0003200    0000 0000 0000 0000 0012 0000 0001 000e
0003210    4000 0040 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003220    0028 0000 0010 000e 4020 0040 0000 0000
0003230    0000 0000 0000 0000 002f 0000 0012 0000
0003240    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003250    0043 0000 0010 000e 4020 0040 0000 0000
0003260    0000 0000 0000 0000 004d 0000 0010 0000
0003270    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003280    0048 0000 0010 000e 4020 0040 0000 0000
0003290    0000 0000 0000 0000 0054 0000 0012 000a
00032a0    1020 0040 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00032b0    6800 6c65 6f6c 632e 5f00 5944 414e 494d
00032c0    0043 475f 4f4c 4142 5f4c 464f 5346 [illegible]
00032d0    545f 4241 454c 005f 655f 6164 6174 [illegible]
00032e0    6972 746e 4066 4740 494c 4342 [illegible] [illegible]
00032f0    352e 5f00 6e65 0064 5f5f 7362 [illegible] [illegible]
0003300    7261 0074 616d 6e69 0000 732e [illegible] 6174
0003310    0062 732e 7274 6174 0062 732e [illegible] 7274
0003320    6174 0062 692e 746e 7265 0070 [illegible] 756e
0003330    682e 7361 0068 642e 6e79 7973 [illegible] 642e
0003340    6e79 7473 0072 672e 756e 762e [illegible] [illegible]
0003350    6e6f 2e00 6e67 2e75 6576 7372 6f69 [illegible]
0003360    0072 722e 6c65 2e61 6c70 0074 742e [illegible]
0003370    0074 722e 646f 7461 0061 652e 5f68 7266
0003380    6d61 0065 642e 6e79 6d61 6369 2e00 6f67
0003390    2e74 6c70 0074 632e 6d6f 656d 746e 0000
00033a0    0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
00033e0    001b 0000 0001 0000 0002 0000 0000 0000
00033f0    0238 0040 0000 0000 0238 0000 0000 0000
0003400    000f 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003410    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003420    0027 0000 0005 0000 0002 0000 0000 0000
0003430    0248 0040 0000 0000 0248 0000 0000 0000
0003440    0014 0000 0000 0000 0004 0000 0000 0000
0003450    0008 0000 0000 0000 0004 0000 0000 0000
0003460    0023 0000 fff6 6fff 0002 0000 0000 0000
0003470    0260 0040 0000 0000 0260 0000 0000 0000
0003480    001c 0000 0000 0000 0004 0000 0000 0000
0003490    0008 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00034a0    002d 0000 000b 0000 0002 0000 0000 0000
00034b0    0280 0040 0000 0000 0280 0000 0000 0000
00034c0    0030 0000 0000 0000 0005 0000 0001 0000
00034d0    0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00034e0    0035 0000 0003 0000 0002 0000 0000 0000
00034f0    02b0 0040 0000 0000 02b0 0000 0000 0000
0003500    001e 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003510    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003520    003d 0000 ffff 6fff 0002 0000 0000 0000
0003530    02ce 0040 0000 0000 02ce 0000 0000 0000
0003540    0004 0000 0000 0000 0004 0000 0000 0000
0003550    0002 0000 0000 0000 0002 0000 0000 0000
0003560    004a 0000 fffe 6fff 0002 0000 0000 0000
0003570    02d8 0040 0000 0000 02d8 0000 0000 0000
0003580    0020 0000 0000 0000 0005 0000 0001 0000
0003590    0008 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00035a0    0059 0000 0004 0000 0042 0000 0000 0000
00035b0    02f8 0040 0000 0000 02f8 0000 0000 0000
00035c0    0018 0000 0000 0000 0004 0000 000e 0000
00035d0    0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00035e0    005e 0000 0001 0000 0006 0000 0000 0000
00035f0    1000 0040 0000 0000 1000 0000 0000 0000
0003600    0020 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003610    0010 0000 0000 0000 0010 0000 0000 0000
0003620    0063 0000 0001 0000 0006 0000 0000 0000
0003630    1020 0040 0000 0000 1020 0000 0000 0000
0003640    0018 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003650    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003660    0069 0000 0001 0000 0002 0000 0000 0000
0003670    2000 0040 0000 0000 2000 0000 0000 0000
0003680    000d 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003690    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
00036a0    0071 0000 0001 0000 0002 0000 0000 0000
00036b0    2010 0040 0000 0000 2010 0000 0000 0000
00036c0    [illegible] [illegible] 0000 0000 0000 0000 [illegible] 0000
00036d0    0008 0000 0000 [illegible] [illegible] 0000 0000 0000
00036e0    007b 0000 0006 0000 [illegible] 0000 0000 0000
00036f0    3eb0 0040 0000 0000 2eb0 [illegible] 0000 0000
0003700    0150 0000 0000 0000 0005 0000 [illegible] 0000
[illegible]    0008 0000 0000 0000 0010 0000 0000 0000
0003720    0084 0000 0001 0000 0003 0000 0000 0000
0003730    4000 0040 0000 0000 3000 0000 0000 0000
0003740    0020 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003750    0008 0000 0000 0000 0008 0000 0000 0000
0003760    008d 0000 0001 0000 0030 0000 0000 0000
0003770    0000 0000 0000 0000 3020 0000 0000 0000
0003780    001c 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003790    0001 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
00037a0    0001 0000 0002 0000 0000 0000 0000 0000
00037b0    0000 0000 0000 0000 3040 0000 0000 0000
00037c0    0270 0000 0000 0000 0011 0000 0014 0000
00037d0    0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00037e0    0009 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
00037f0    0000 0000 0000 0000 32b0 0000 0000 0000
0003800    0059 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003810    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003820    0011 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
0003830    0000 0000 0000 0000 3309 0000 0000 0000
0003840    0096 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003850    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003860
```

```
0003770    0000 0000 0000 0000 3020 0000 0000 0000
0003780    001c 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003790    0001 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
00037a0    0001 0000 0002 0000 0000 0000 0000 0000
00037b0    0000 0000 0000 0000 3040 0000 0000 0000
00037c0    0270 0000 0000 0000 0011 0000 0014 0000
00037d0    0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00037e0    0009 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
00037f0    0000 0000 0000 0000 32b0 0000 0000 0000
0003800    0059 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003810    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003820    0011 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
0003830    0000 0000 0000 0000 3309 0000 0000 0000
0003840    0096 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003850    0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
```

```
0003810    0001  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
0003820    0011  0000  0003  0000  0000  0000  0000  0000
0003830    0000  0000  0000  0000  3309  0000  0000  0000
0003840    0096  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
0003850    0001  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
```

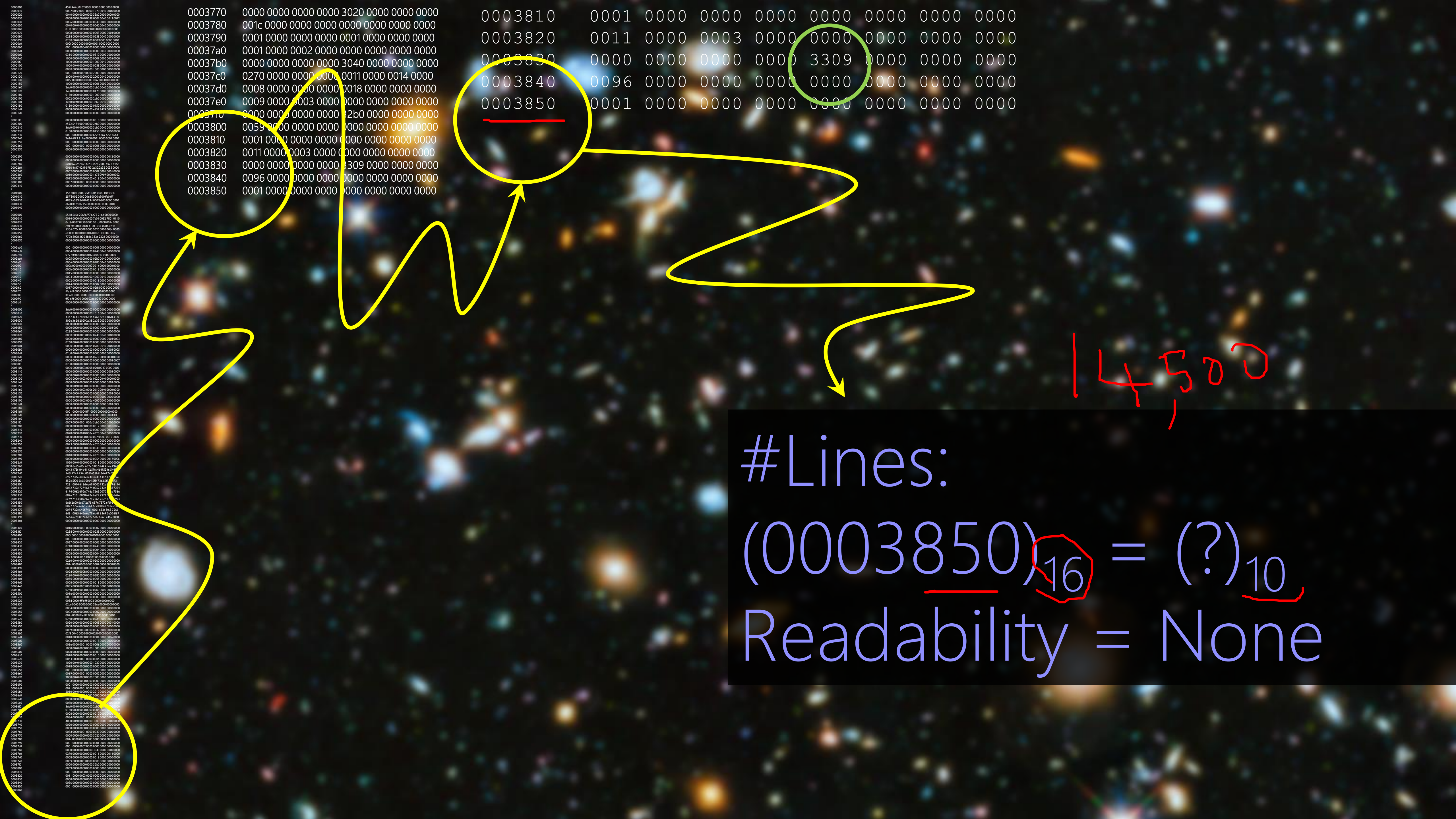


```
0003770   0000 0000 0000 0000 3020 0000 0000 0000
0003780   001c 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003790   0001 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
00037a0   0001 0000 0002 0000 0000 0000 0000 0000
00037b0   0000 0000 0000 0000 3040 0000 0000 0000
00037c0   0270 0000 0000 0000 0011 0000 0014 0000
00037d0   0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00037e0   0009 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
00037f0   0000 0000 0000 0000 32b0 0000 0000 0000
0003800   0059 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003810   0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003820   0011 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
0003830   0000 0000 0000 0000 3309 0000 0000 0000
0003840   0096 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003850   0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
```

```
0003810   0001  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
0003820   0011  0000  0003  0000  0000  0000  0000  0000
0003830   0000  0000  0000  0000  3309  0000  0000  0000
0003840   0096  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
0003850   0001  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
```

```
0011  0011  0000  1001
```

```
0000  0000  0000  0011  1000  0101  0000
```



```
0003770     0000 0000 0000 0000 3020 0000 0000 0000
0003780     001c 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003790     0001 0000 0000 0000 0001 0000 0000 0000
00037a0     0001 0000 0002 0000 0000 0000 0000 0000
00037b0     0000 0000 0000 0000 3040 0000 0000 0000
00037c0     0270 0000 0000 0000 0011 0000 0014 0000
00037d0     0008 0000 0000 0000 0018 0000 0000 0000
00037e0     0009 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
00037f0     0000 0000 0000 0000 32b0 0000 0000 0000
0003800     0059 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003810     0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003820     0011 0000 0003 0000 0000 0000 0000 0000
0003830     0000 0000 0000 0000 3309 0000 0000 0000
0003840     0096 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0003850     0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
```

```
0003810    0001  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
0003820    0011  0000  0003  0000  0000  0000  0000  0000
0003830    0000  0000  0000  0000  3309  0000  0000  0000
0003840    0096  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
0003850    0001  0000  0000  0000  0000  0000  0000  0000
```

14,500

#Lines:

$(0003850)_{16} = (?)_{10}$

Readability = None

ASSEMBLY

Instruction Decoder

Assembler

Assembly	ADD [XXXX], [YYYY], [ZZZZ]
Operation Code (OP Code)	01001000 XXXX YYYY ZZZZ
What to do?	1) Fetch the first operand from memory at XXXX address 2) Store the first operand inside somewhere (AX) 3) Fetch the second operand from memory at YYYY address 4) Store the first operand inside somewhere else (BX) 5) Use the n-bit Adder to add AX and BX 6) Store the result inside somewhere else (CX) 7) Push CX to memory at ZZZZ address

extremely simplified version!

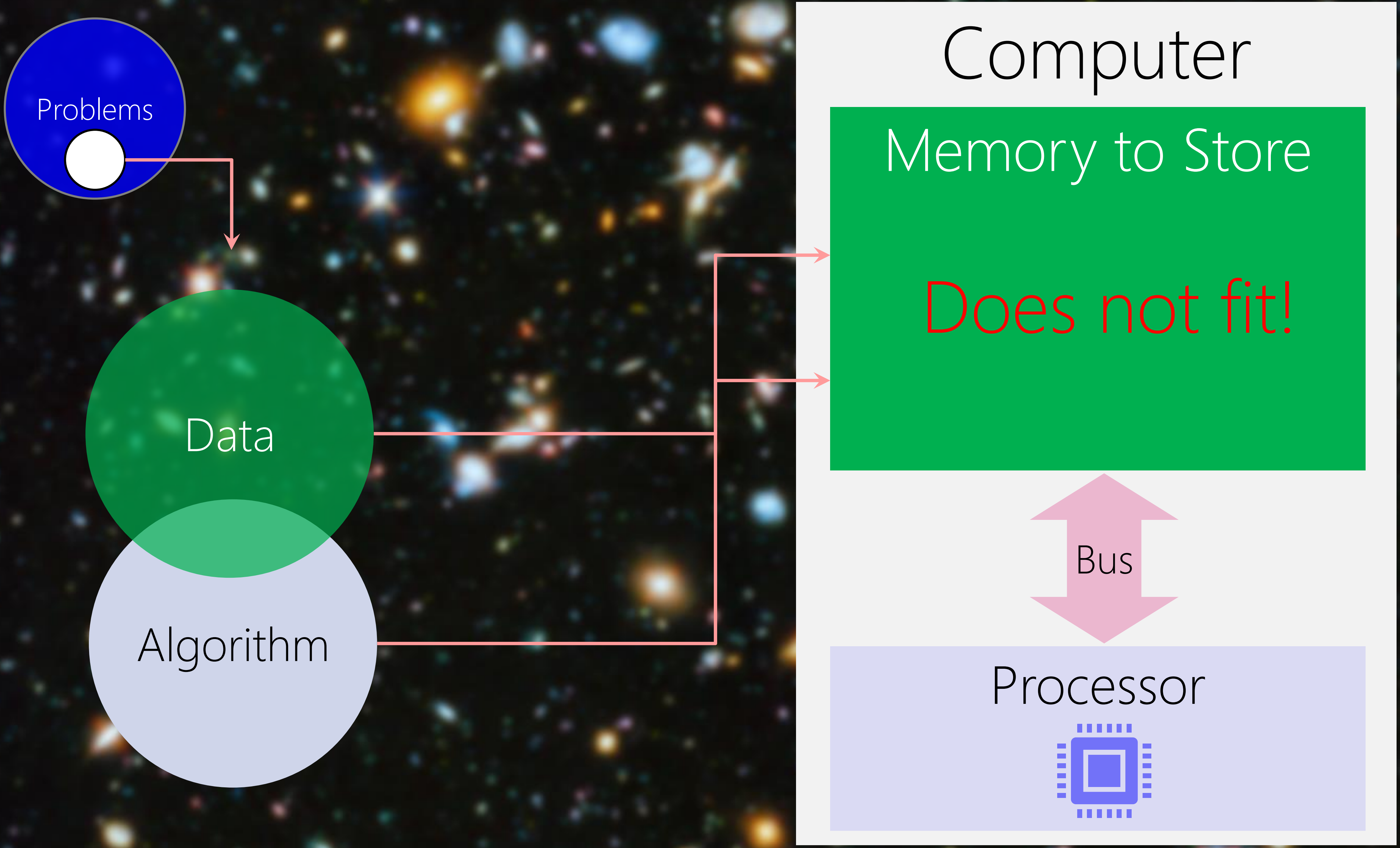
```
Hello world!
```

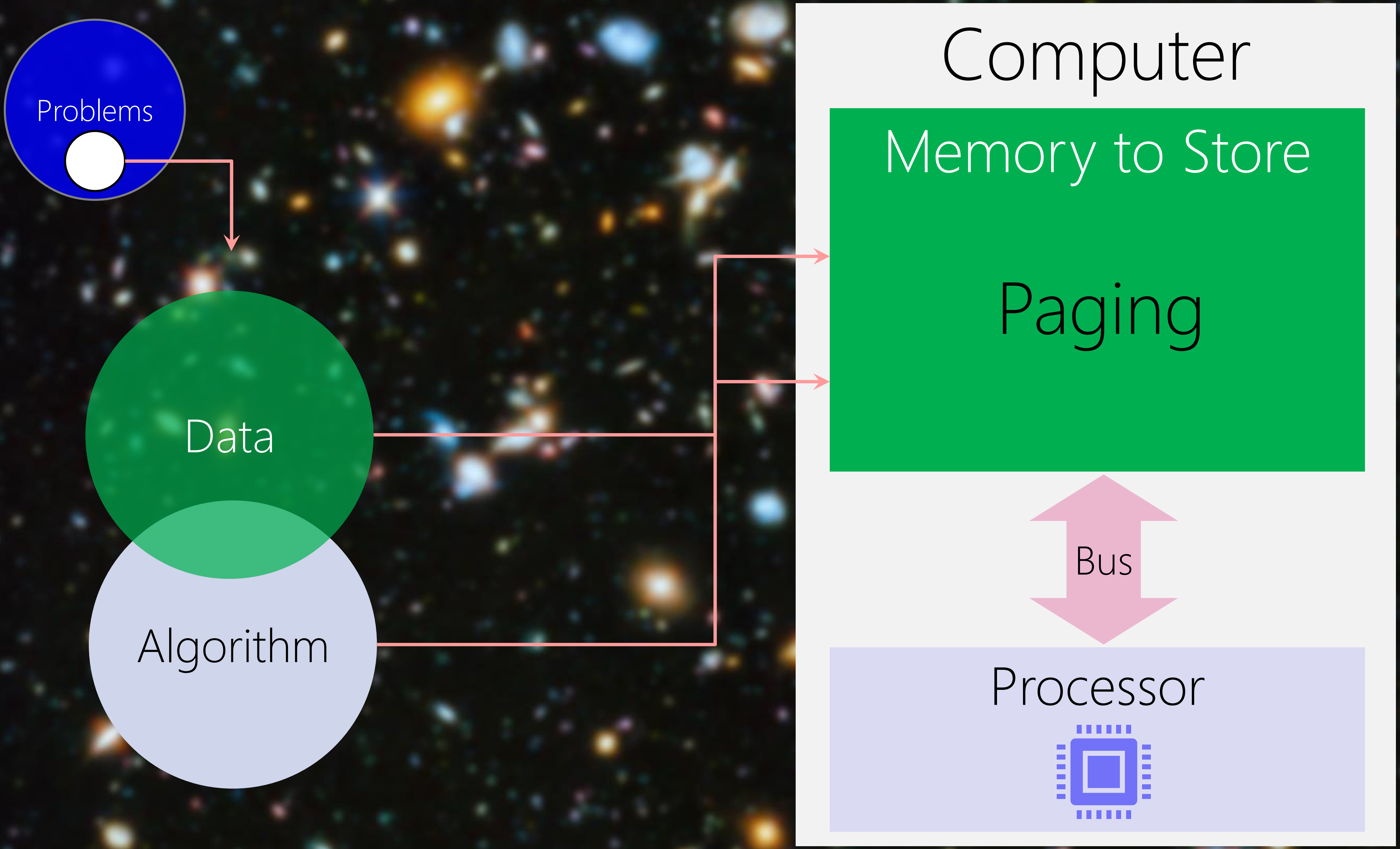
```
<.plt>:
pushq   0x3002(%rip)
jmpq    *0x3004(%rip)
nopl    0x0(%rax)
<printf@plt>:
jmpq    *0x3002(%rip)
pushq   $0x0
jmpq    401000 <.plt>
<main>:
push    %rbp
mov     %rsp,%rbp
lea     0xfd5(%rip),%rdi
mov     $0x0,%eax
callq   401010 <printf@plt>
nop
pop     %rbp
retq
```

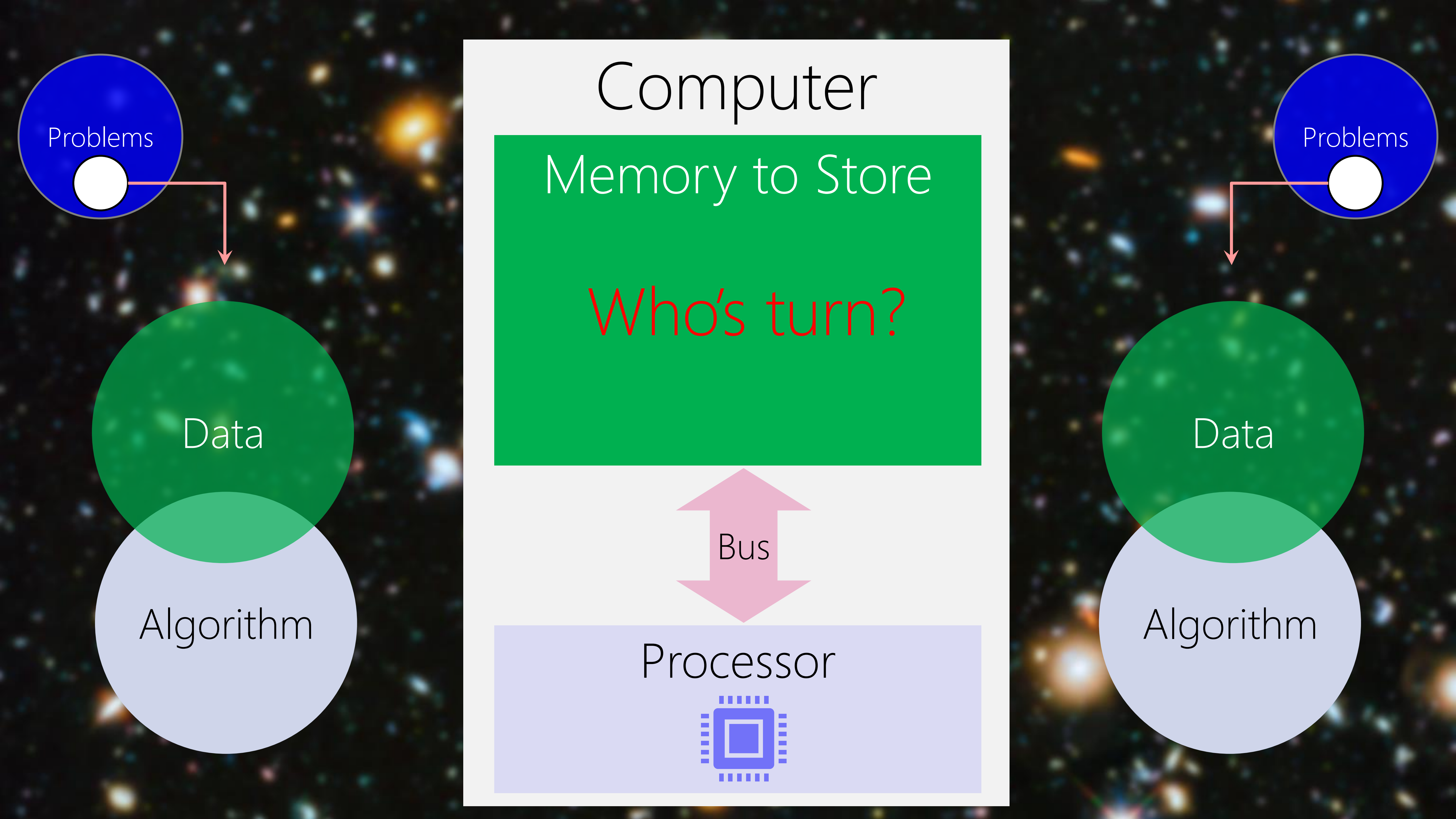
#Lines: 14-17 vs. 14416 opcodes

Readability: Fair

Dennis MacAlistair Ritchie
Kenneth Lane Thompson
AT&T Bell Lab, 1972, GE 645


Problems
Data
Algorithm
Computer
Memory to Store
Does not fit!
Bus
Processor


Problems
Data
Algorithm
Computer
Memory to Store
Paging
Bus
Processor



Problems

Data

Algorithm

Computer

Memory to Store

Who’s turn?

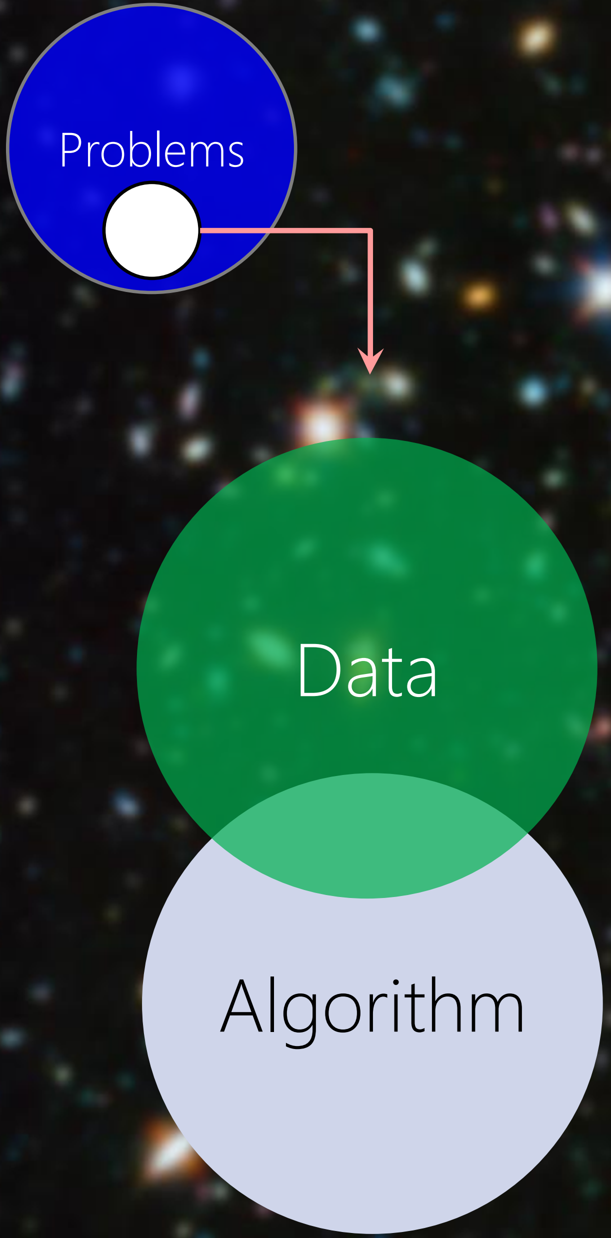
Bus

Processor

Problems

Data

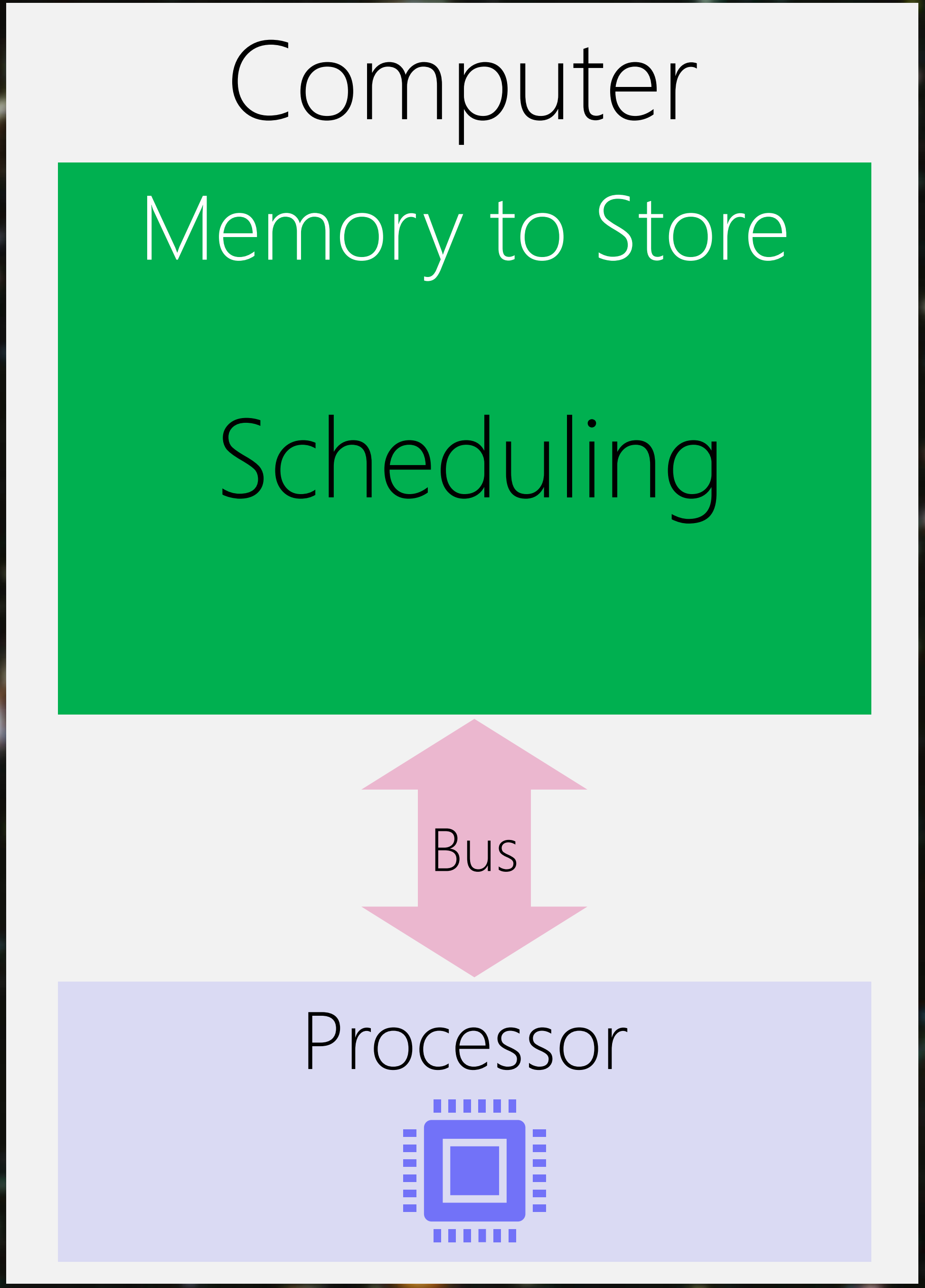
Algorithm



Problems

Data

Algorithm



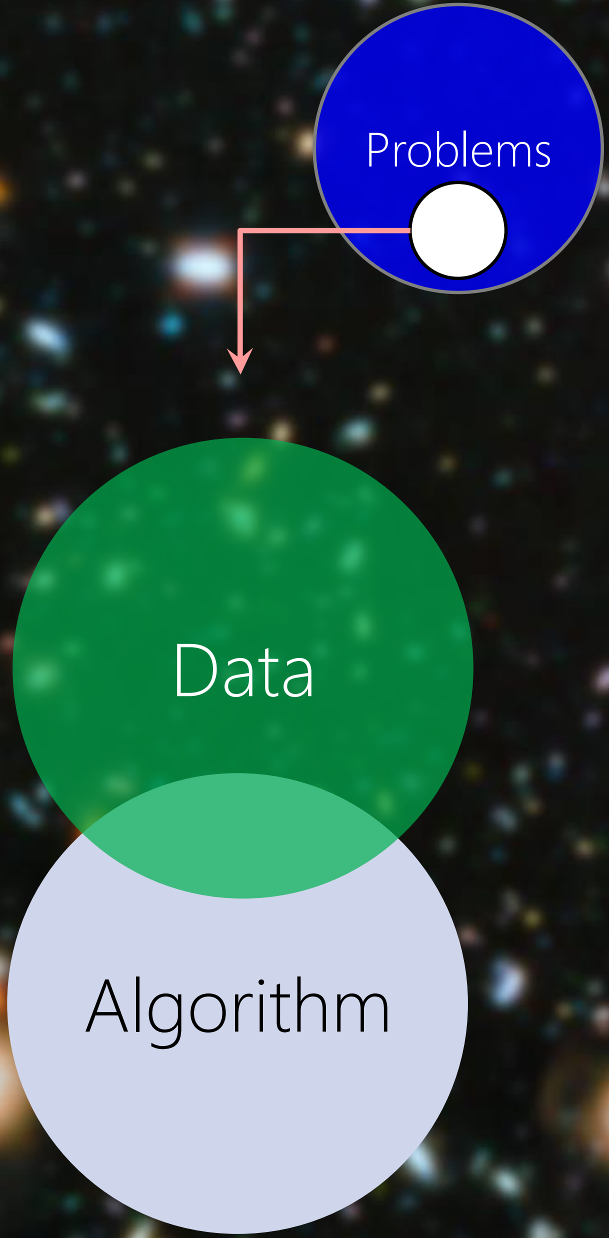
Computer

Memory to Store

Scheduling

Bus

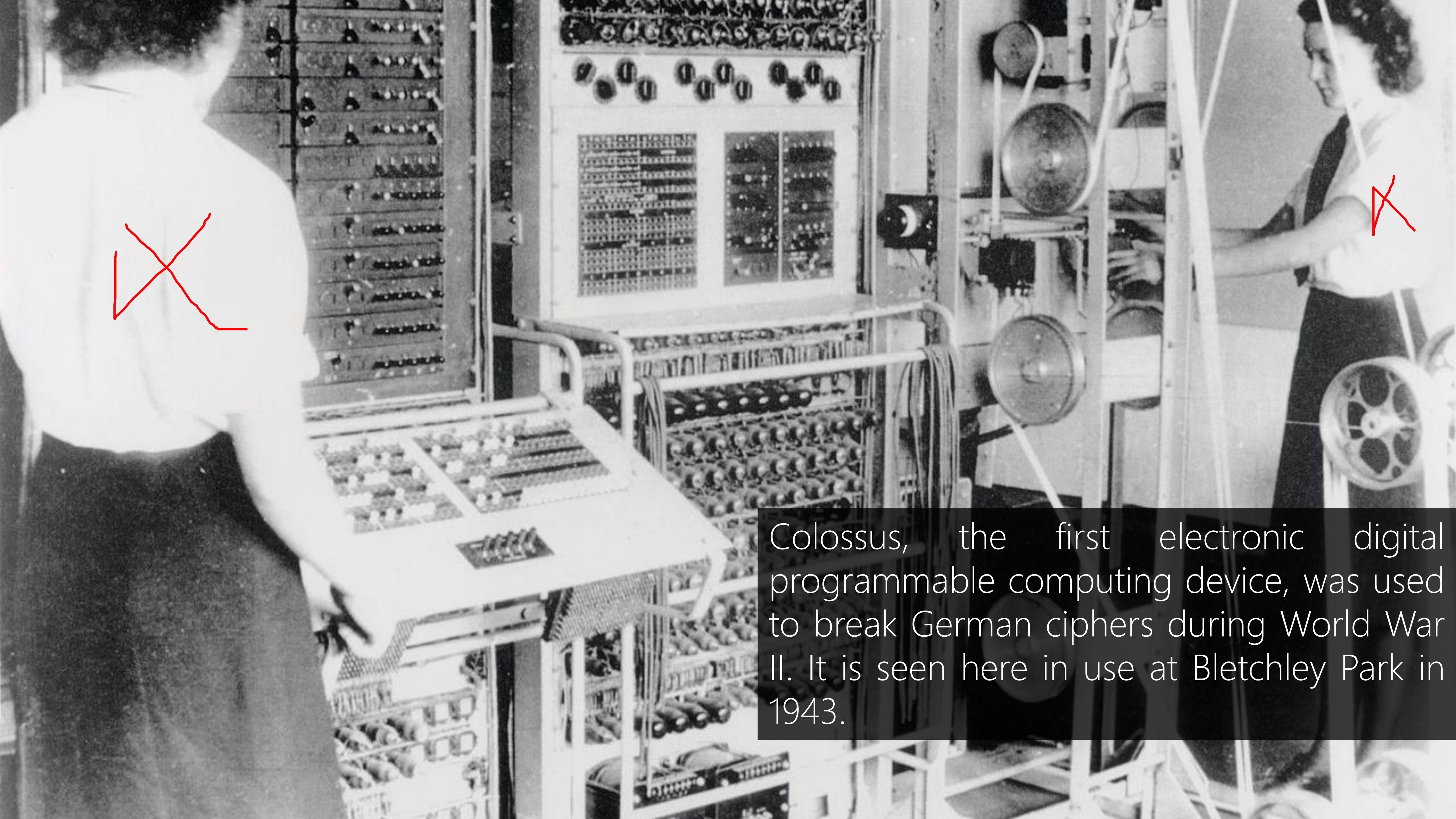
Processor



Problems

Data

Algorithm

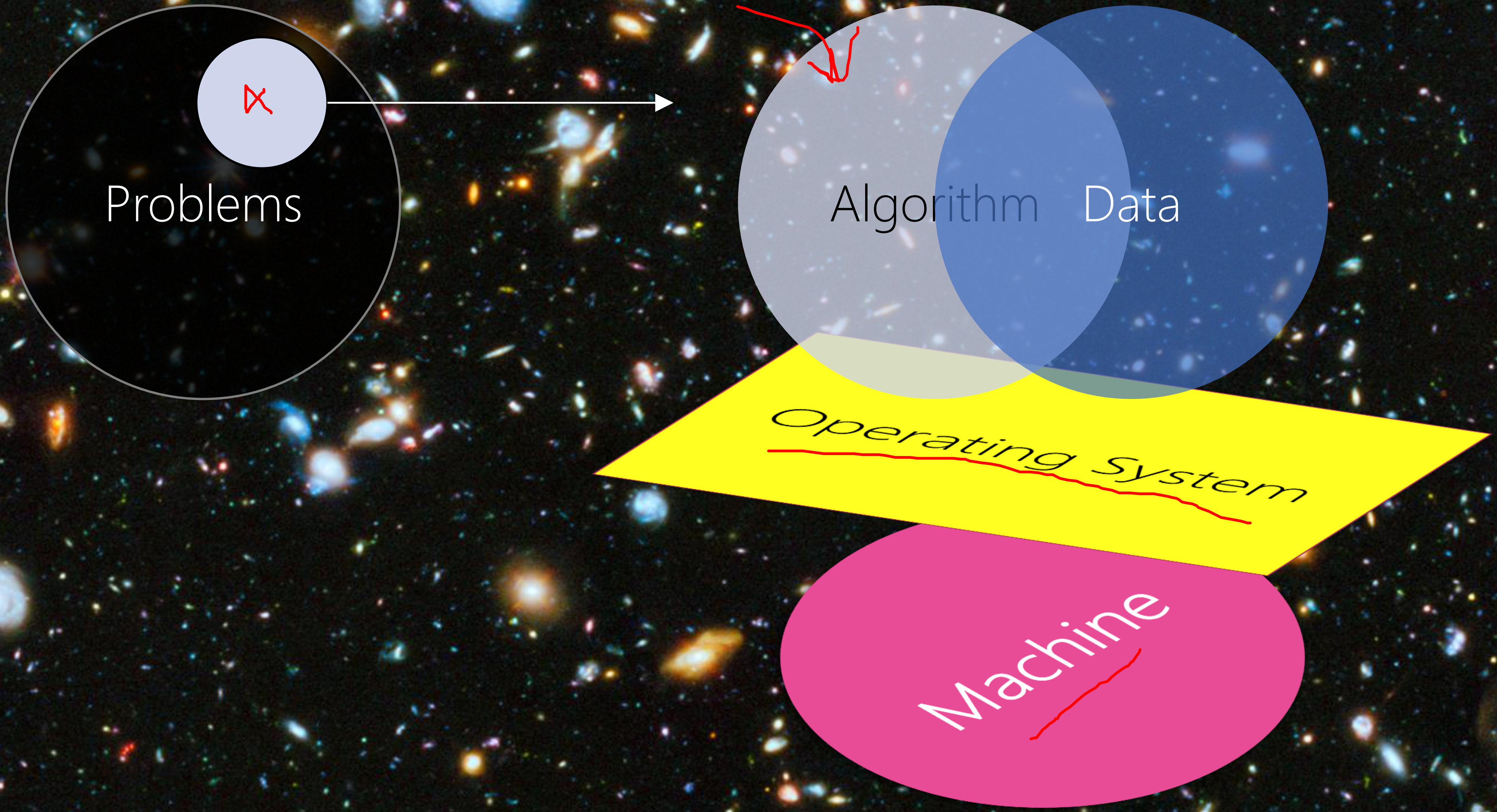


Colossus, the first electronic digital programmable computing device, was used to break German ciphers during World War II. It is seen here in use at Bletchley Park in 1943.

Operating System

A program for programs!

System-level Program



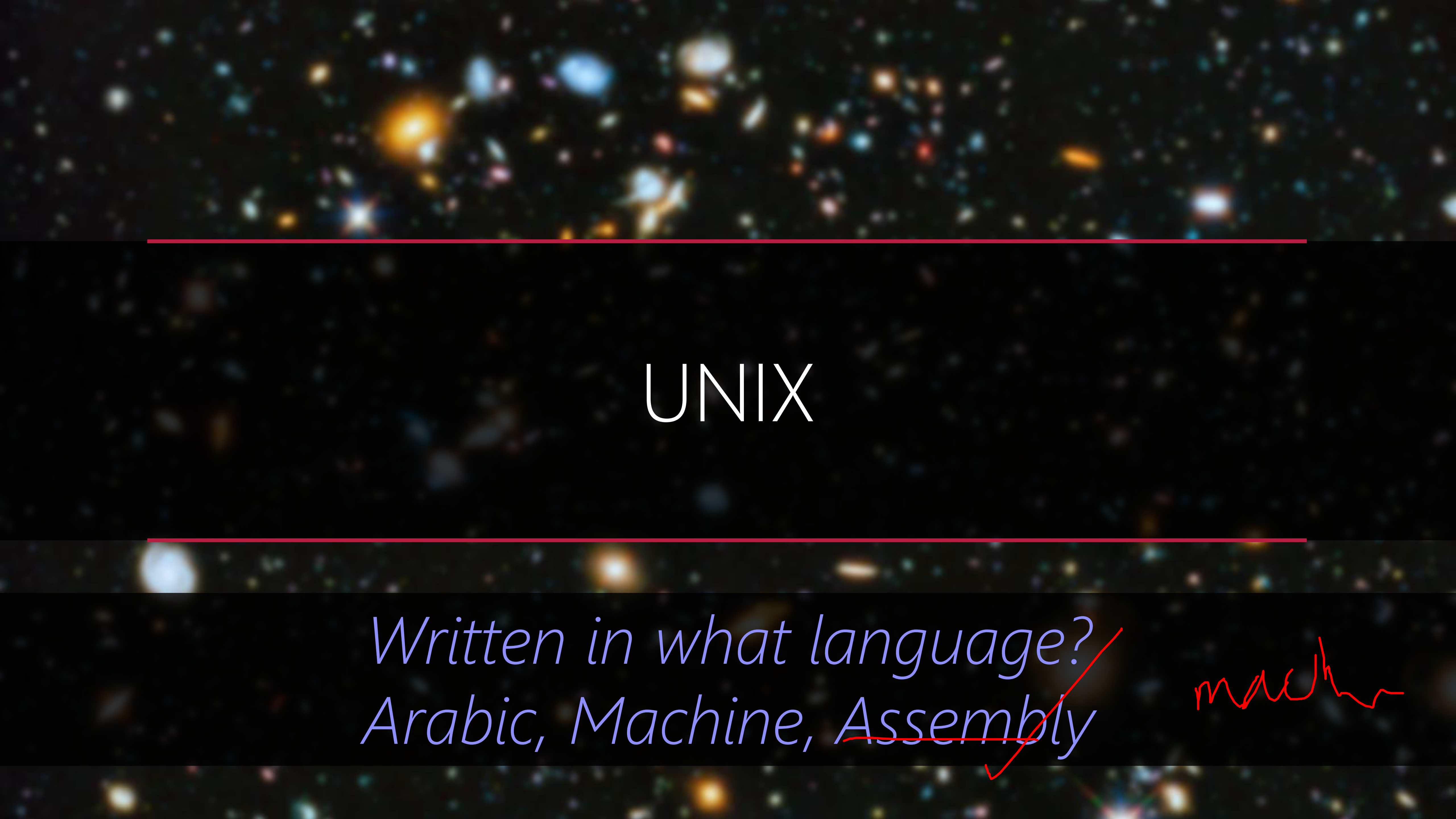
Problems

Algorithm

Data

Operating System

Machine



UNIX

Written in what language?

Arabic, Machine, ~~Assembly~~

machine

UNIX

1969 in Assembly

New Language

C for UNIX

System-level Programing

The UNIX operating system's development started in 1969, and its code was ***rewritten*** in C in 1972. The C language was actually created to move the UNIX kernel code from assembly to a higher level language, which would do the same tasks with fewer lines of code.

Instruction Decoder

Compiler

Assembler

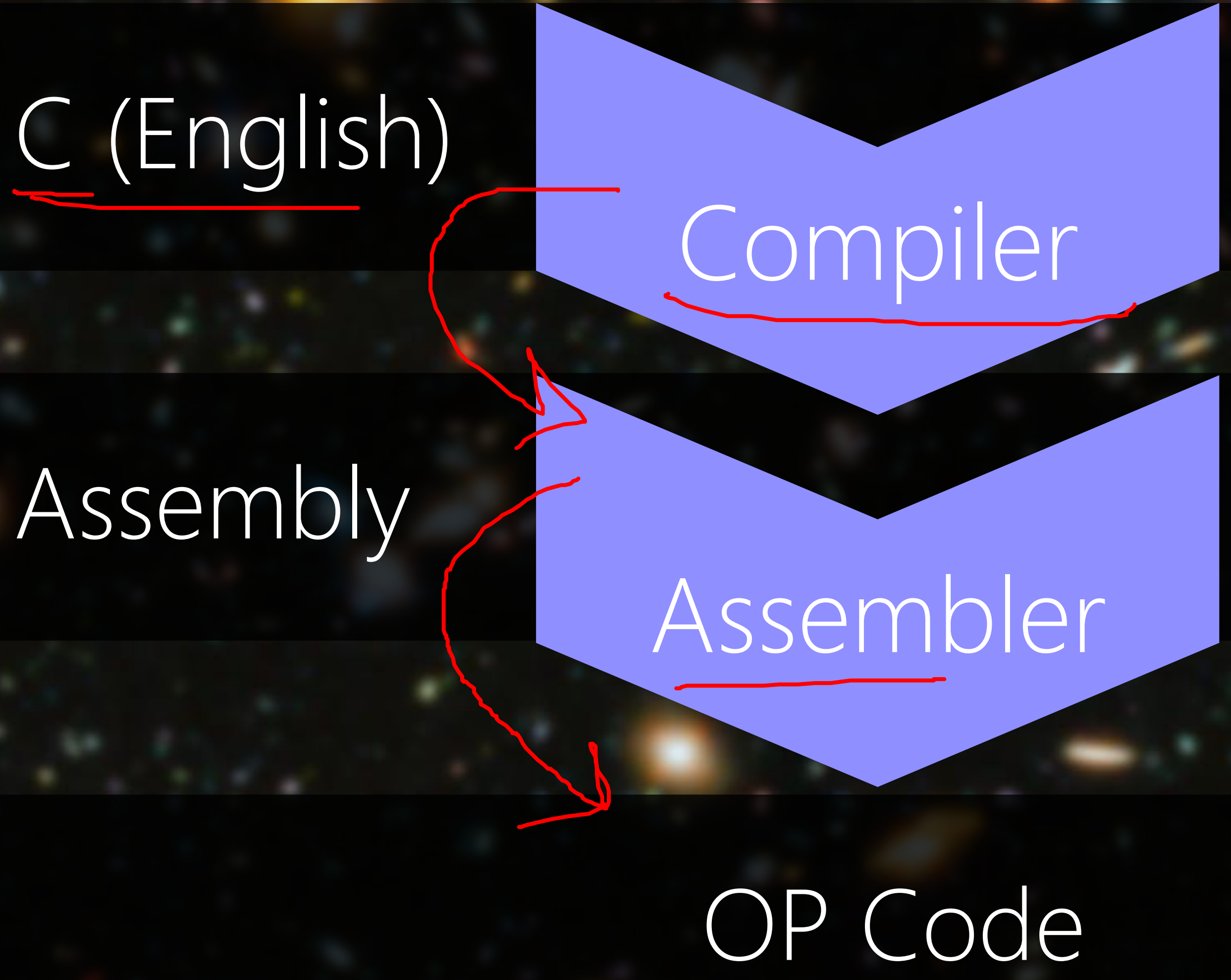
C	C = a + b
Assembly	ADD [XXXX], [YYYY], [ZZZZ]
Operation Code (OP Code)	01001000 XXXX YYYY ZZZZ
What to do?	1) Fetch the first operand from memory at XXXX address 2) Store the first operand inside somewhere (AX) 3) Fetch the second operand from memory at YYYY address 4) Store the first operand inside somewhere else (BX) 5) Use the n-bit Adder to add AX and BX 6) Store the result inside somewhere else (CX) 7) Push CX to memory at ZZZZ address

extremely simplified version!

```
#include <stdio.h>
void main(){
     printf("Hello world!");
}
```

#Lines: 4 vs. 14 Assembly

Readability: Good!



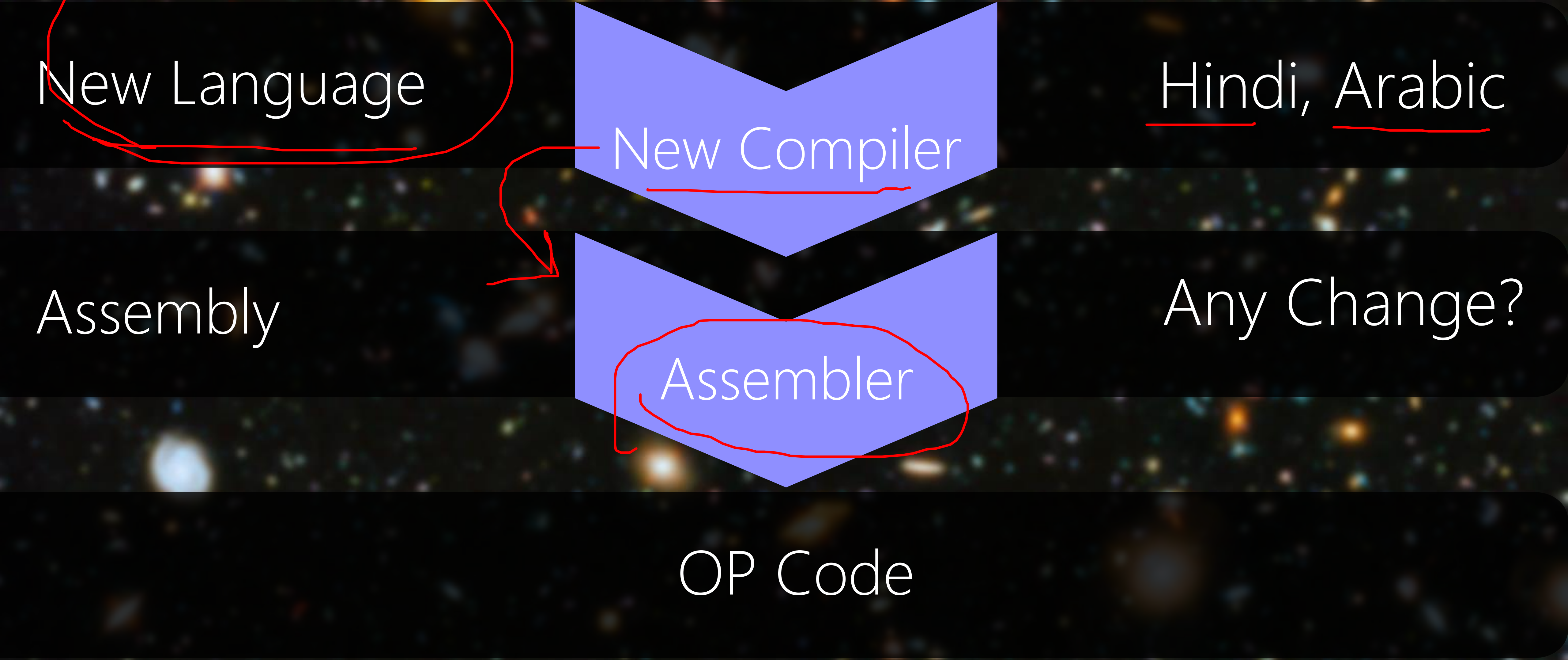
C (English)

Compiler

Assembly

Assembler

OP Code



New Language

New Compiler

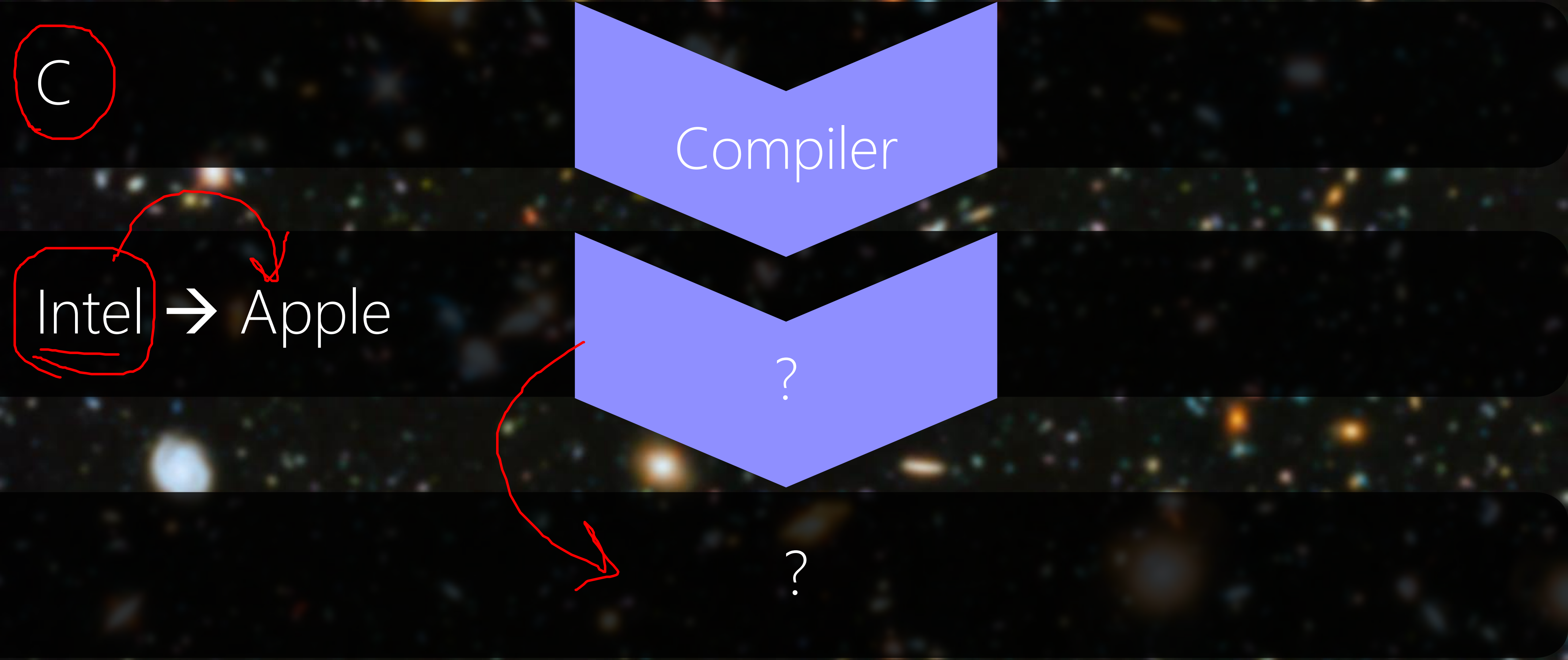
Hindi, Arabic

Assembly

Assembler

Any Change?

OP Code



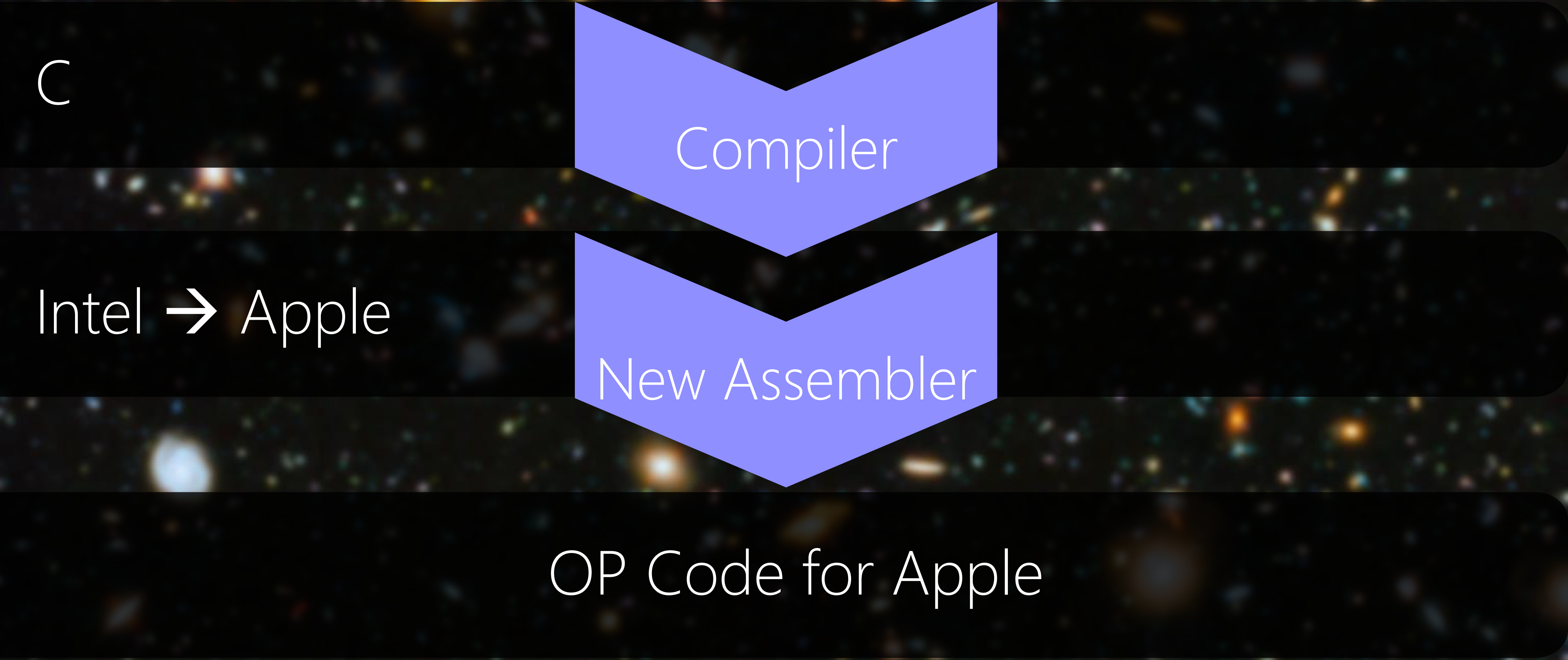
C

Compiler

Intel → Apple

?

?



C

Compiler

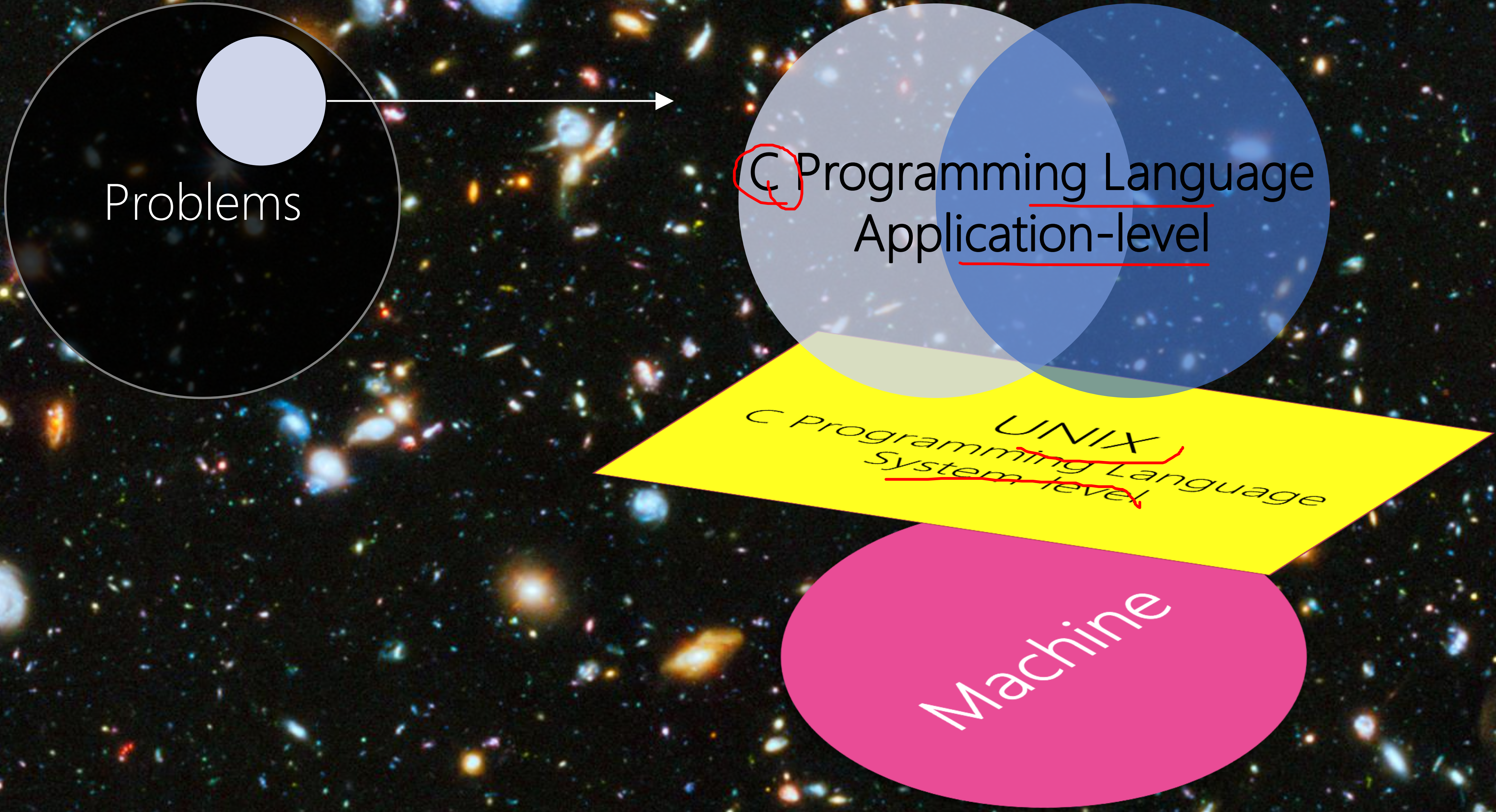
Intel → Apple

New Assembler

OP Code for Apple

C for ALL

Application-level Programing



Problems

C Programming Language
Application-level

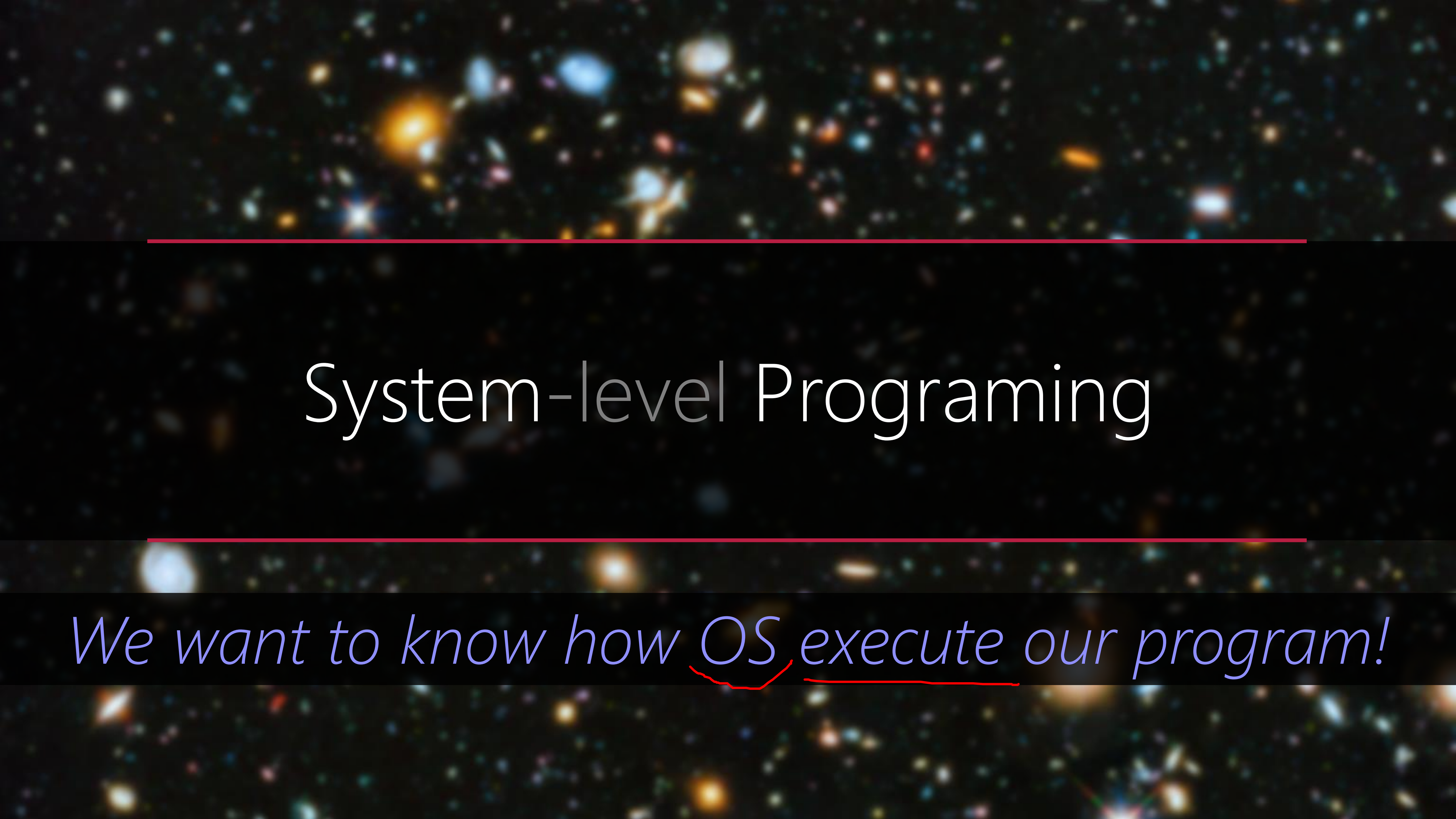
UNIX
C Programming Language
System-level

Machine

System-level Programing

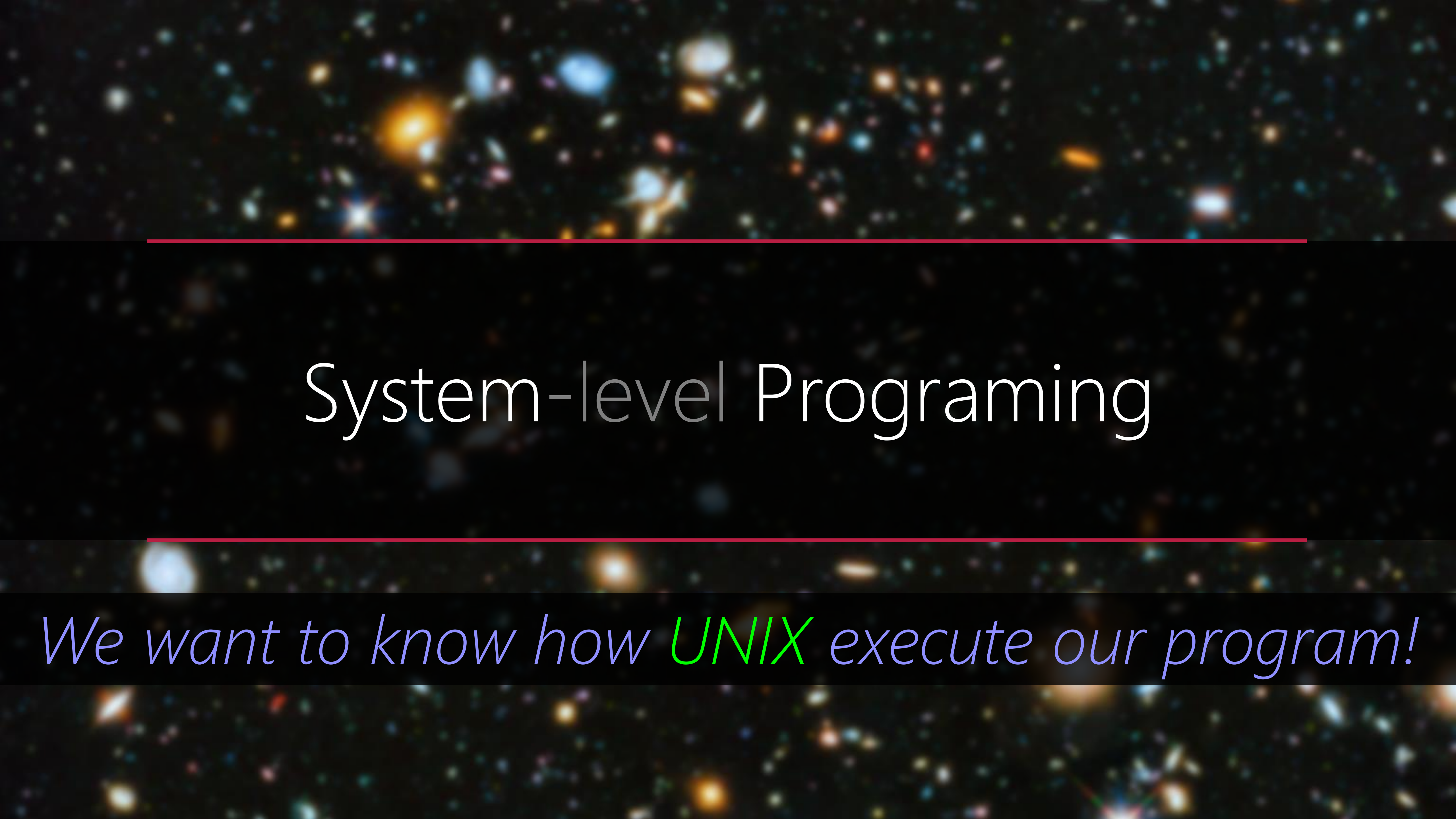
We are not system-level programmer using C

We are still application-level programmer using C



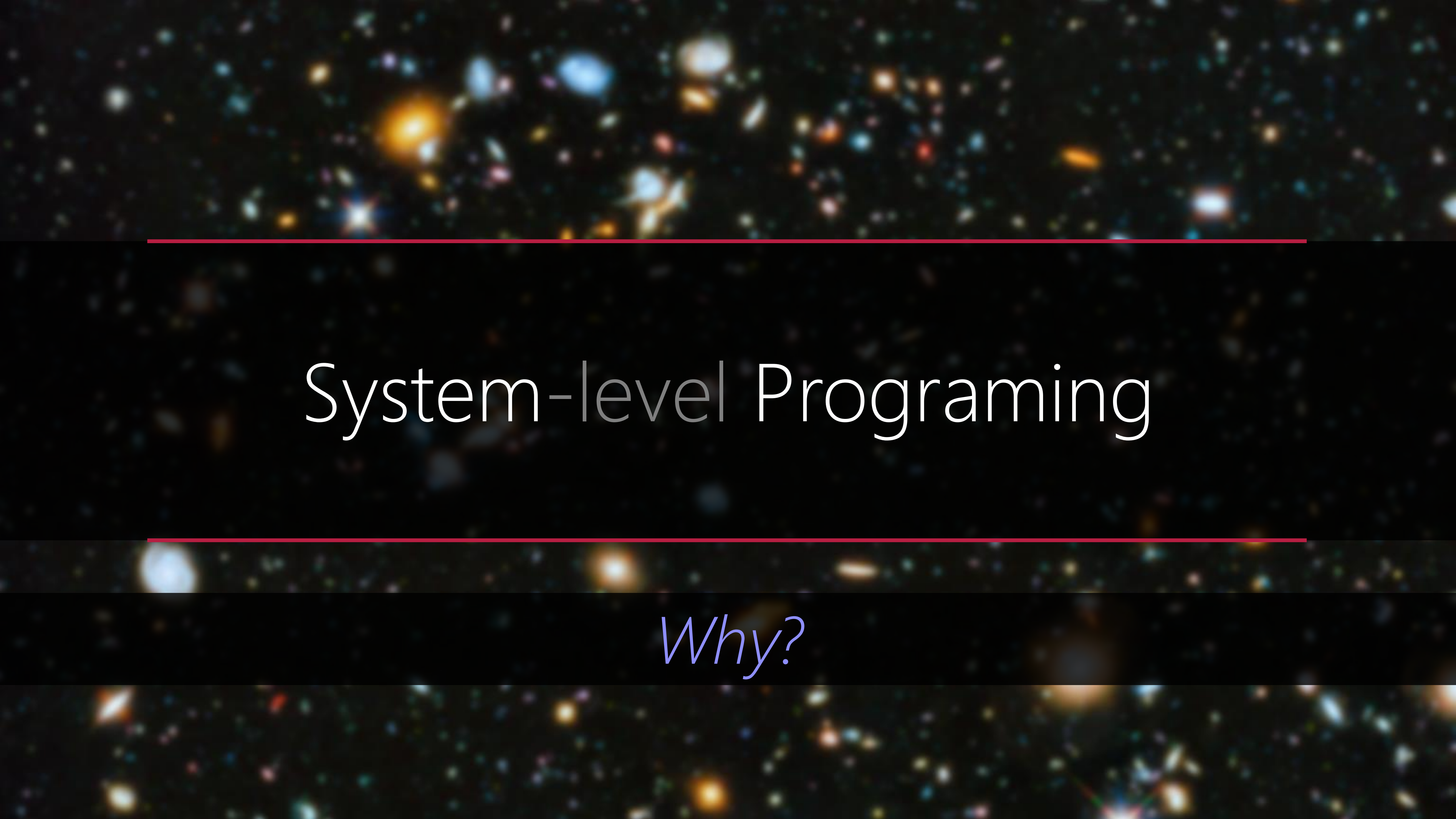
System-level Programing

We want to know how OS execute our program!



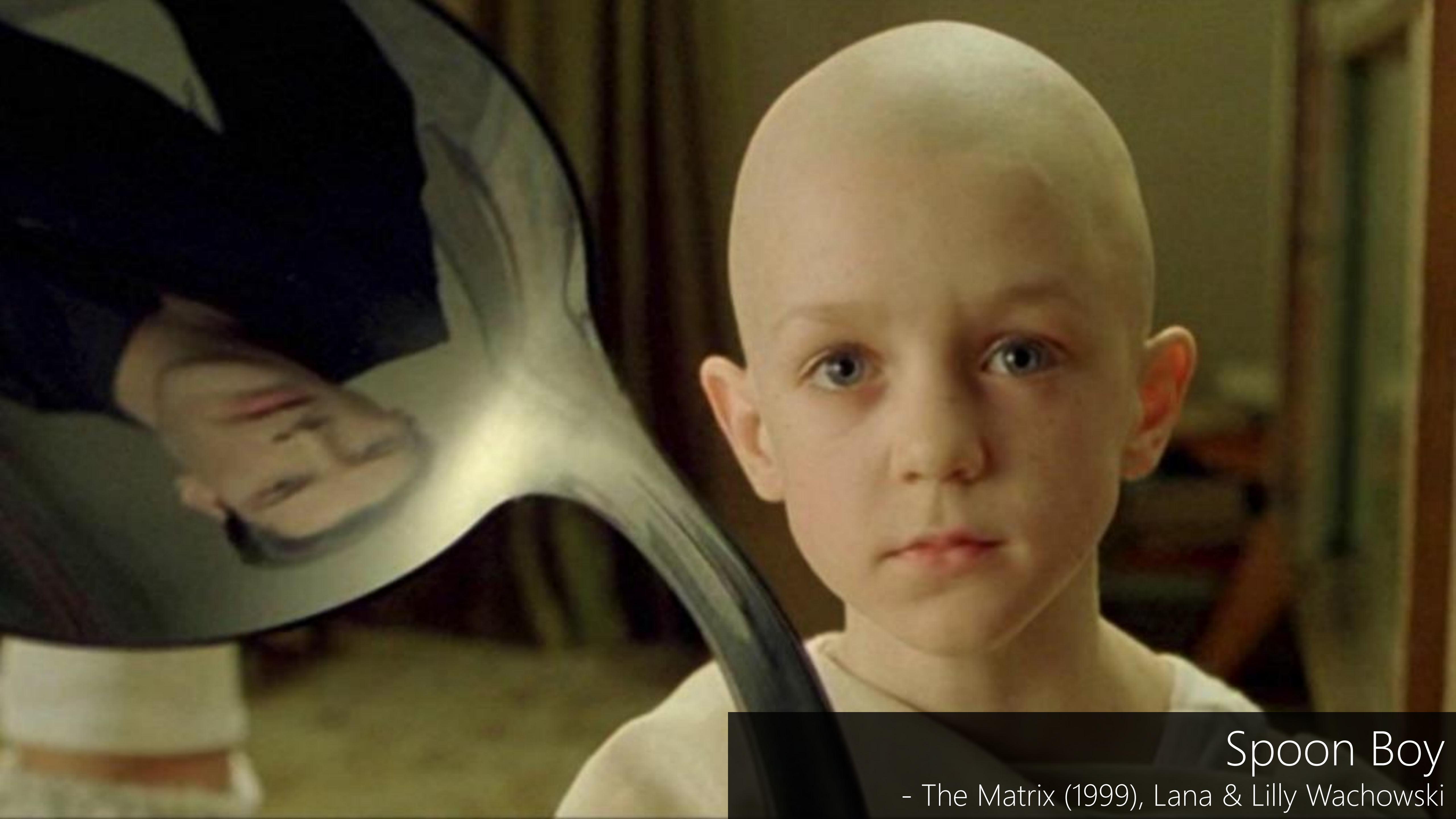
System-level Programing

We want to know how UNIX execute our program!



System-level Programing

Why?



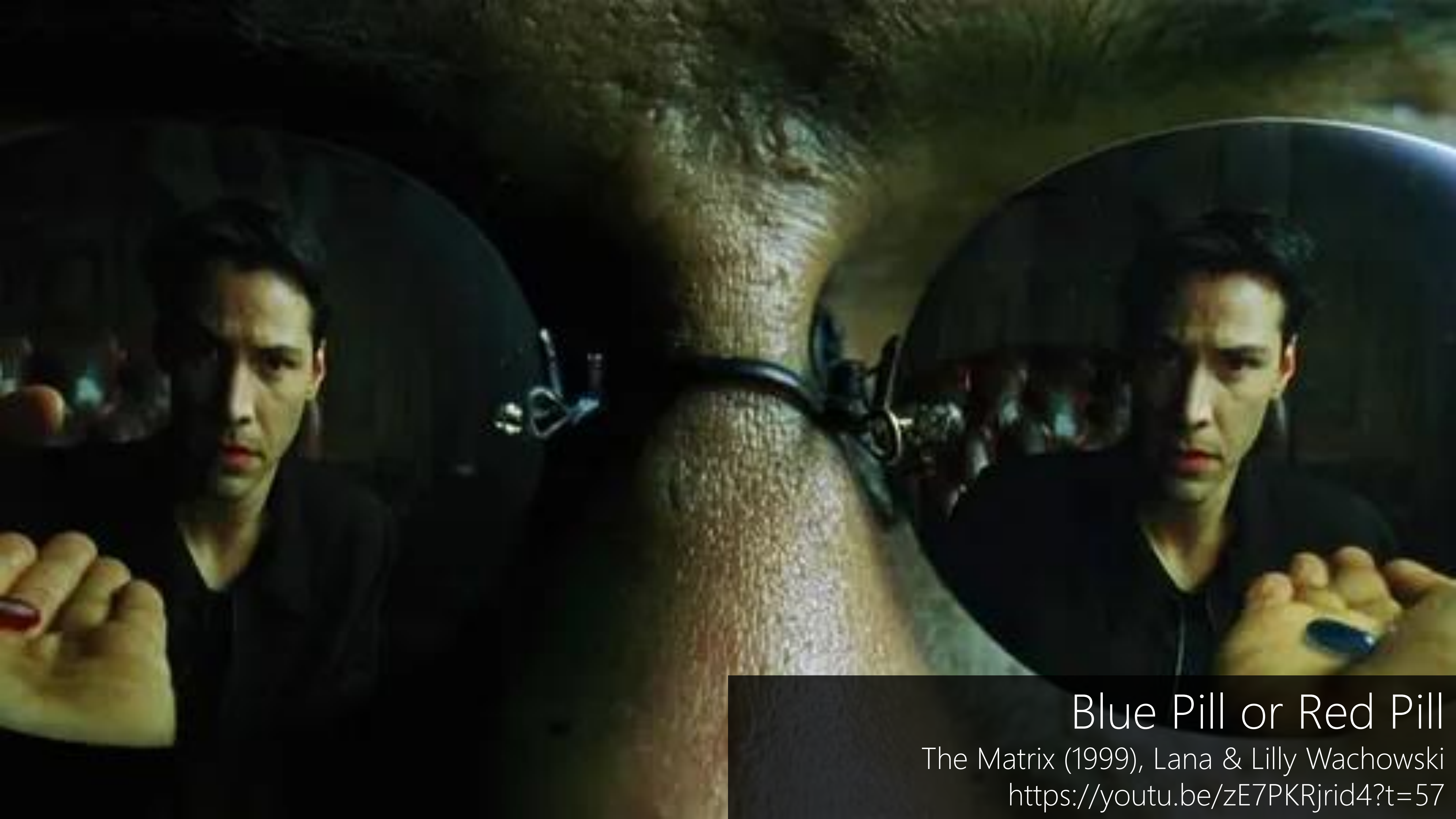
Spoon Boy

- The Matrix (1999), Lana & Lilly Wachowski

What is Matrix?

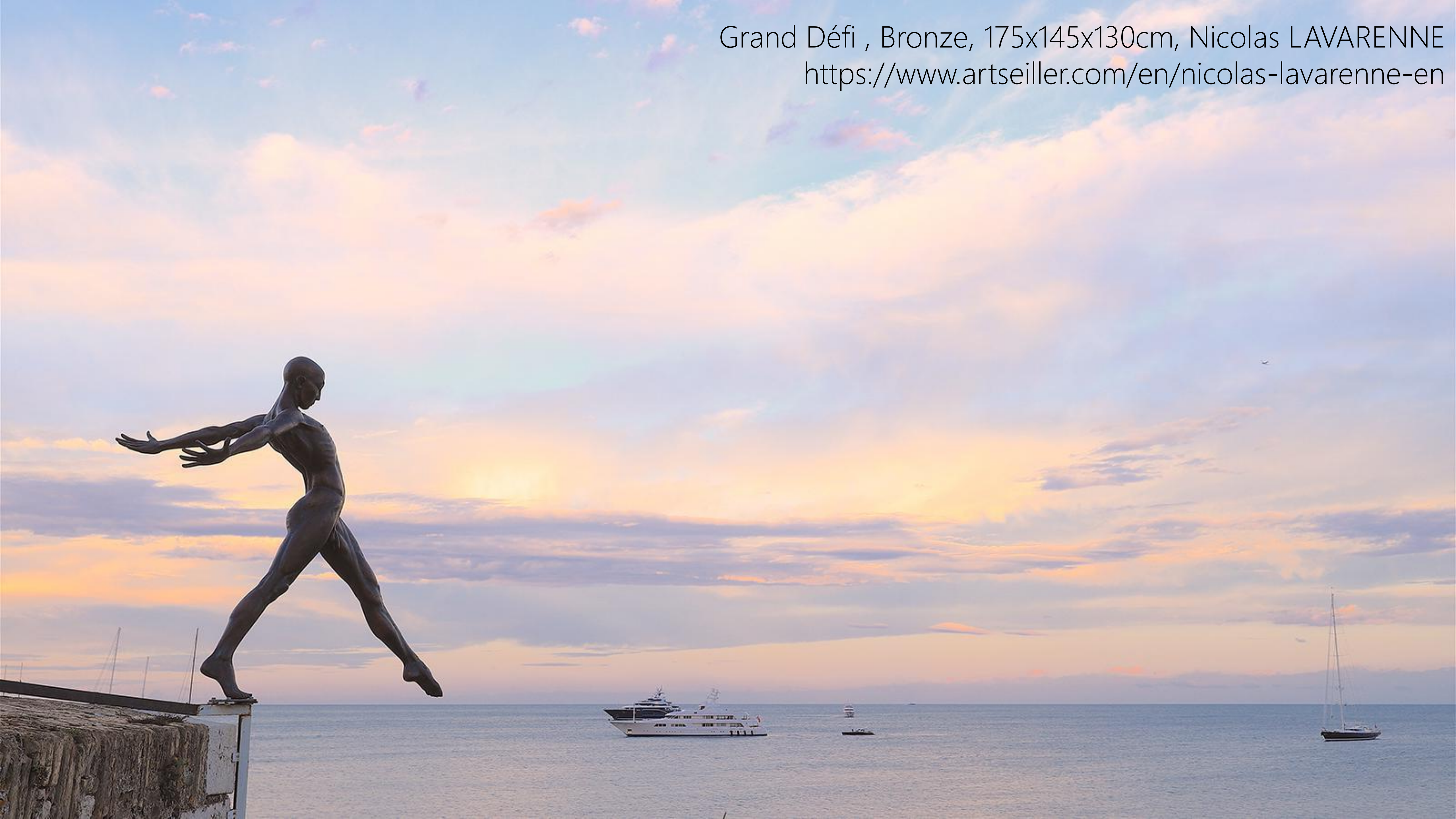
The Matrix (1999), Lana & Lilly Wachowski
https://www.youtube.com/watch?v=zE7PKRjrid4

What is UNIX?



Blue Pill or Red Pill

The Matrix (1999), Lana & Lilly Wachowski
https://youtu.be/zE7PKRjrid4?t=57



Grand Défi , Bronze, 175x145x130cm, Nicolas LAVARENNE
https://www.artseiller.com/en/nicolas-lavarenne-en