

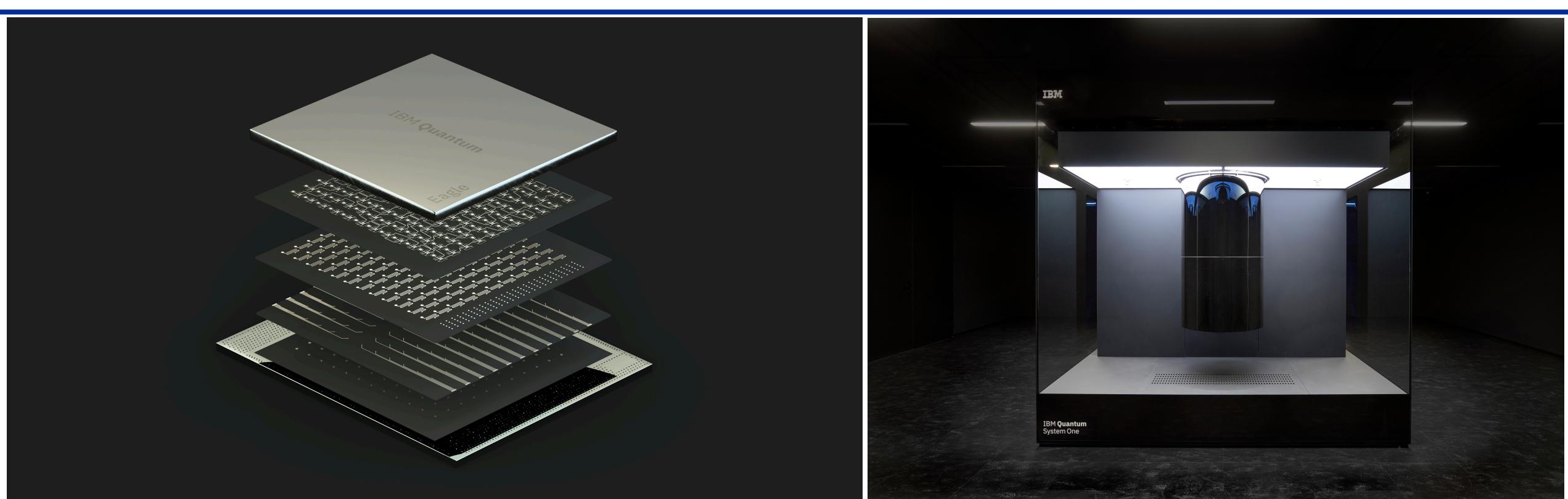
The Science Behind Quantum Blur

James R. Wootton and Marcel Pfaffhauser, IBM Quantum, IBM Research - Zurich

IBM Quantum

Quick Introduction to Quantum Computing

- New paradigm for computation
- Reimplements the bit to allow quantum mechanical principles to be used: the **qubit**
- Allows new algorithms to solve currently intractable problems
- IBM Quantum has taken quantum hardware out of the lab and into the cloud
- World-leading access for clients and public:
 - 127 qubit Eagle processor in Nov 2021
 - 1000+ qubits over the next few years
- Quantum Blur brings quantum software to art

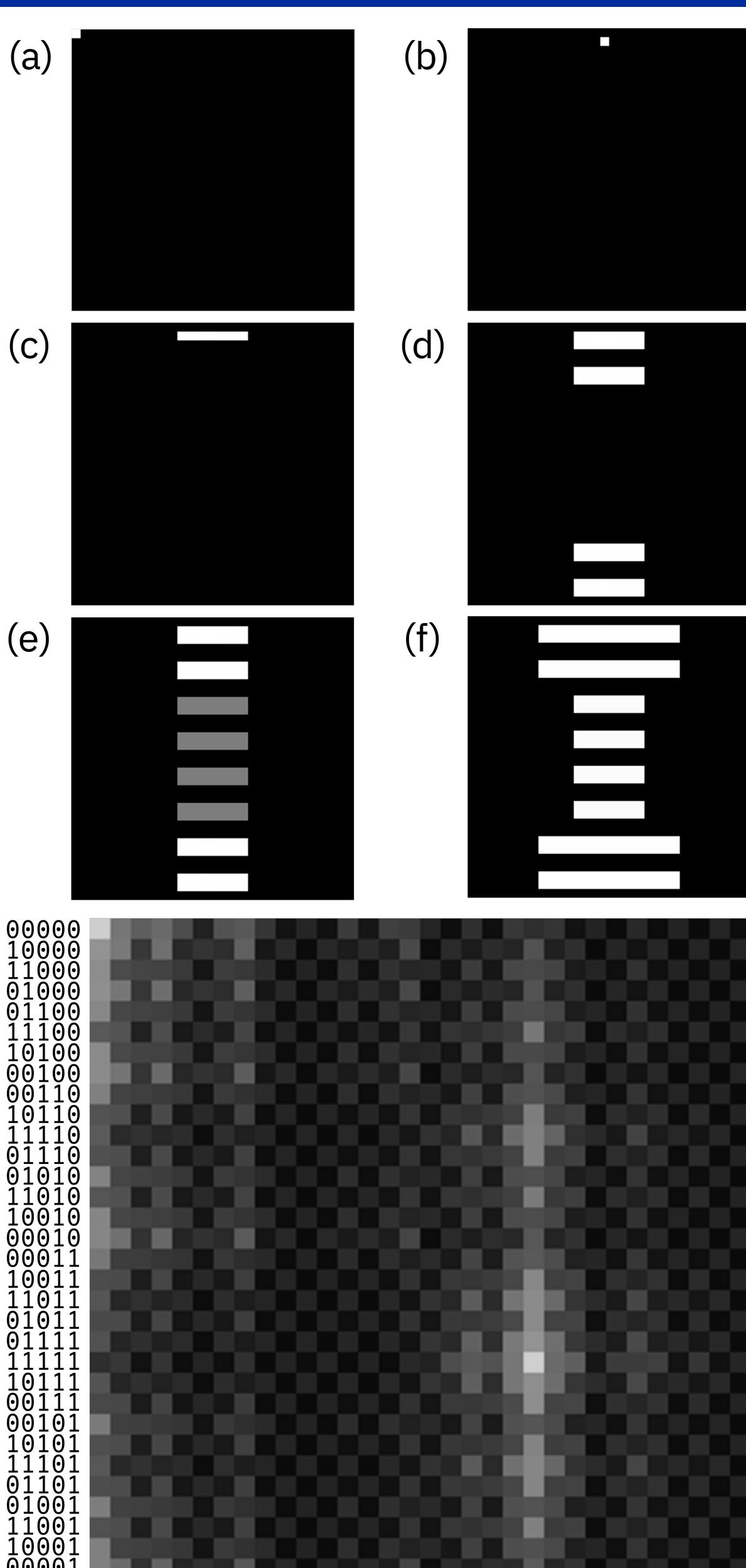


Putting your Images in a Quantum Computer

Converting images to quantum states

- Designed for monochrome images or height maps [1]
- For each point (x,y) we have a brightness/height $h(x,y)$
- States of quantum computers are superpositions of bit strings
- We'll use an amplitude encoding: associate coordinates with bit strings

$$|h\rangle = \frac{\sum_{(x,y)} \sqrt{h(x,y)} |s(x,y)\rangle}{\sqrt{\sum_{(x,y)} h(x,y)}}$$



- Done such that nearby coordinates get similar bit strings
- Images built up with quantum circuits (the basic unit of quantum software)

00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
01100
11100
00000
10000
01000
11000
00100
10100
01100
11100
00010
10010
00110
10110
01110
11110
00101
10101
01101
11101
00011
10011
00111
10111
01111
11111
00001
10001
00010
10010
00100
10100
0110