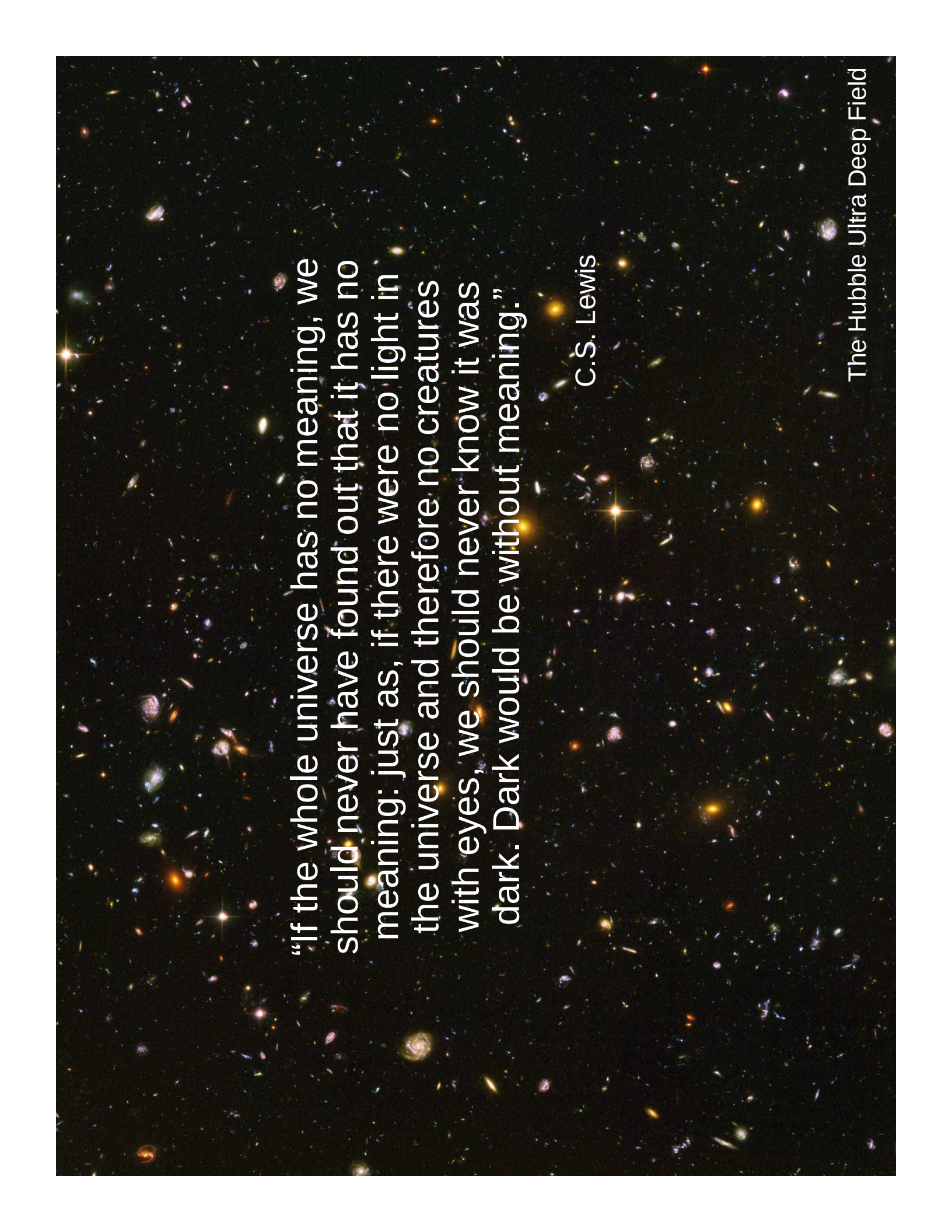




“If the whole universe has no meaning, we should never have found out that it has no meaning: just as, if there were no light in the universe and therefore no creatures with eyes, we should never know it was dark. Dark would be without meaning.”

C.S. Lewis

The Hubble Ultra Deep Field

# What We Will Learn Today

- What are you seeing right now?
- What are the basic properties of light?
- What is the Electromagnetic Spectrum?
- What are the basic building blocks of matter?
- How does light interact with matter?

# Light

- Everything we see is light!
- We only see a tiny window of all the light there is!
- All of astronomy is the study of light!
- So, let's understand light, matter, and how the two interact!

# What We See Around Us

- Light **emitted** from the Sun or light bulb
- **Transmitted** light
- **Reflected** light
- Colors of objects (partly **absorbed**)

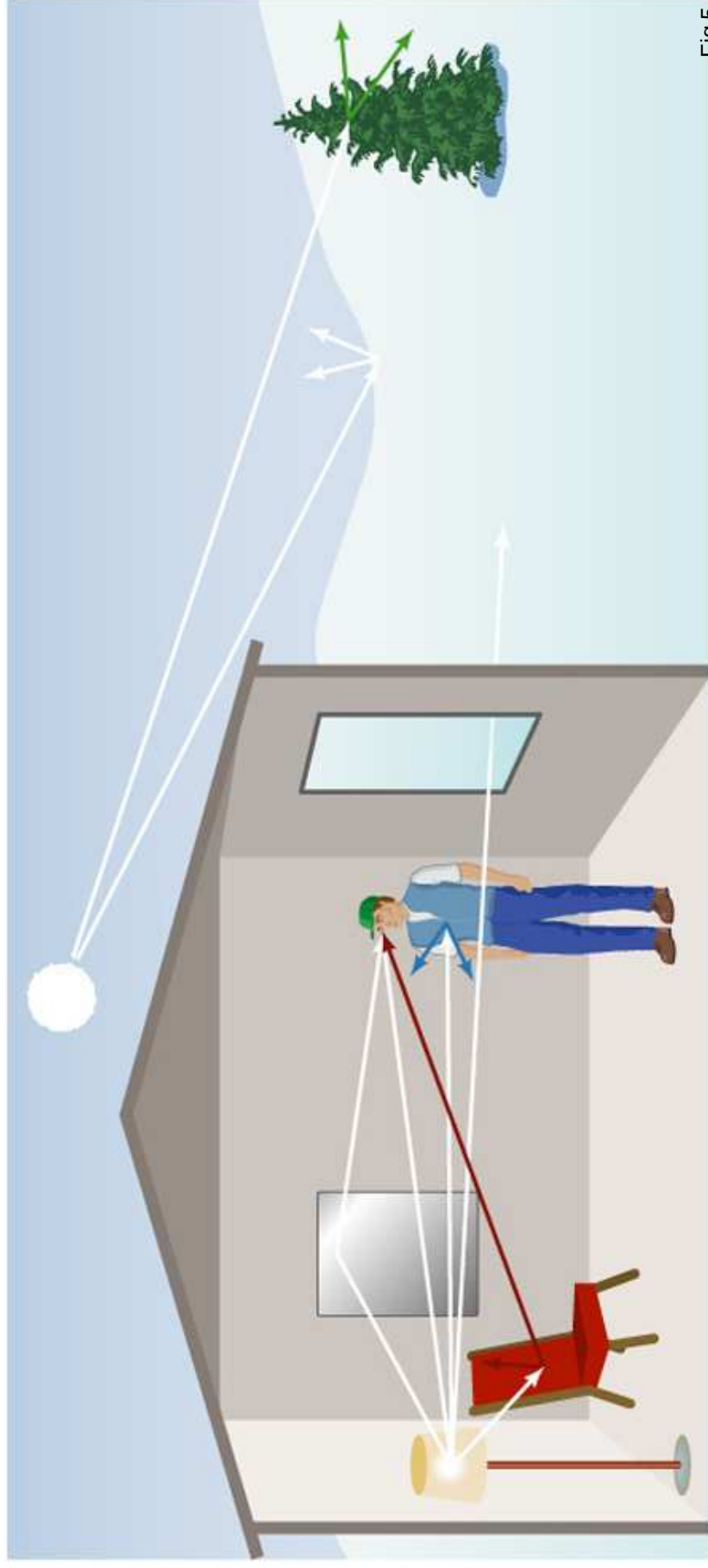


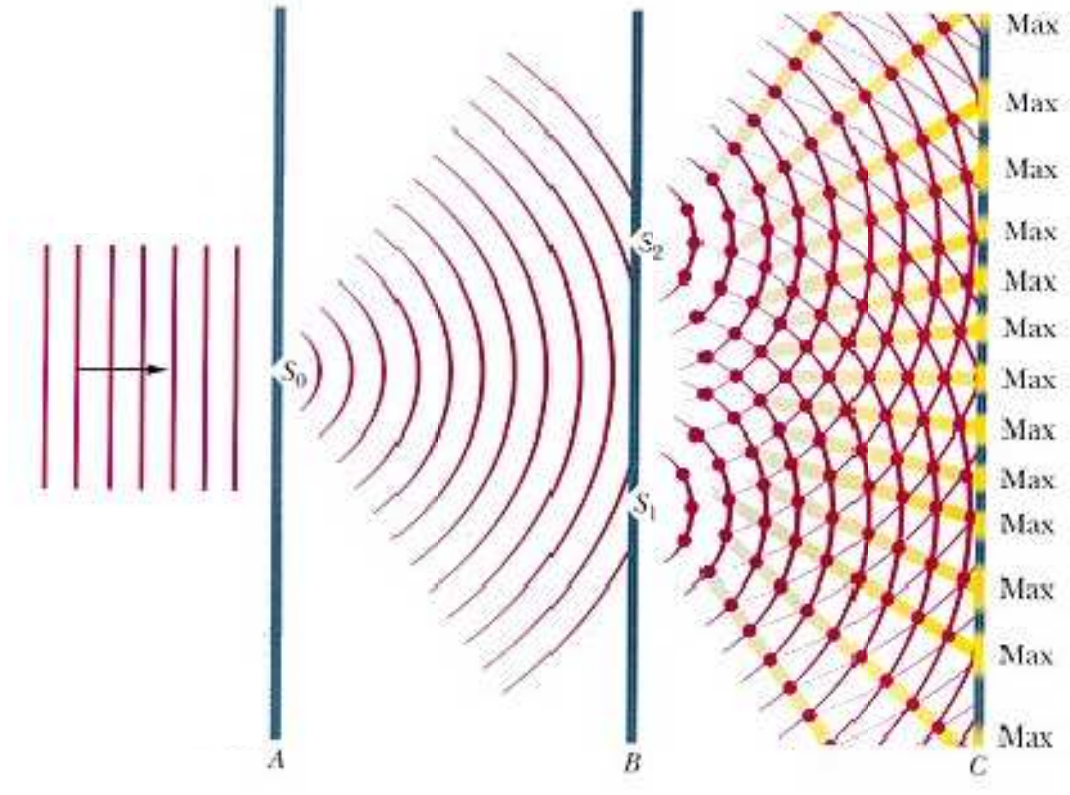
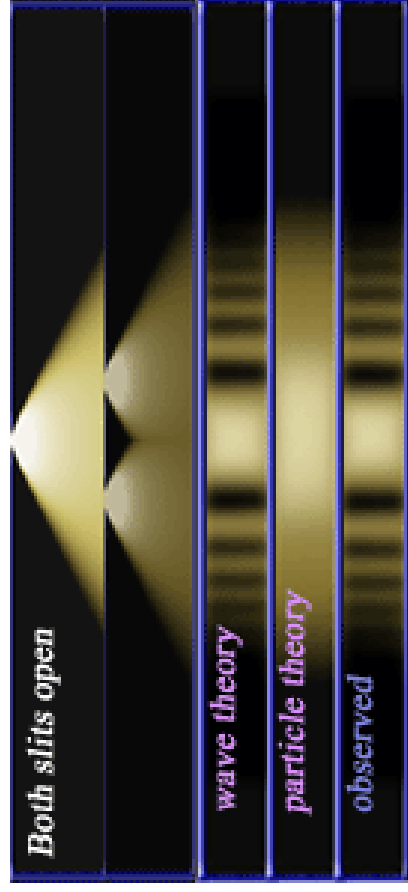
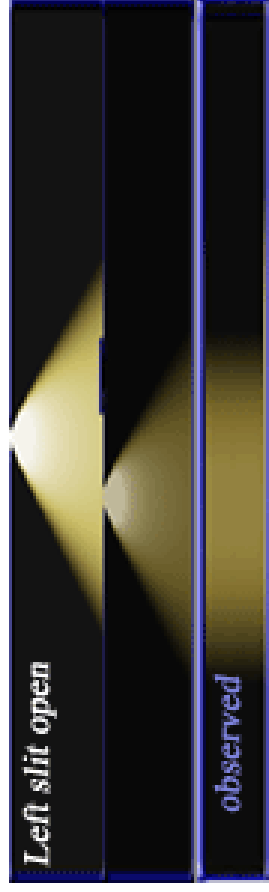
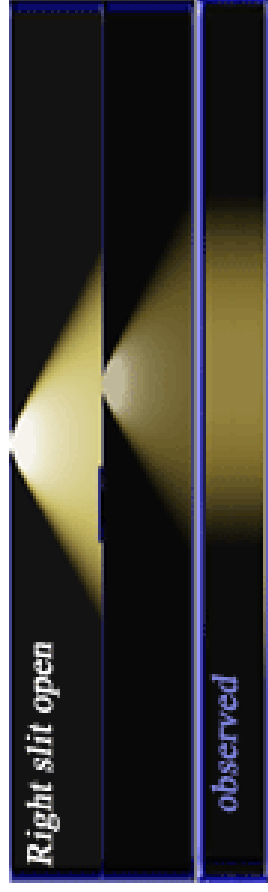
Fig 5.3

# The Nature of Light

- Light is made up of tiny particles
  - Photons
- Each photon demonstrates a wave-like behavior
- Thus, light is both a particle and a wave at the same time!

# Young's Double Slit Experiment

- Proof of the wave nature of light



# Wave Properties of Light

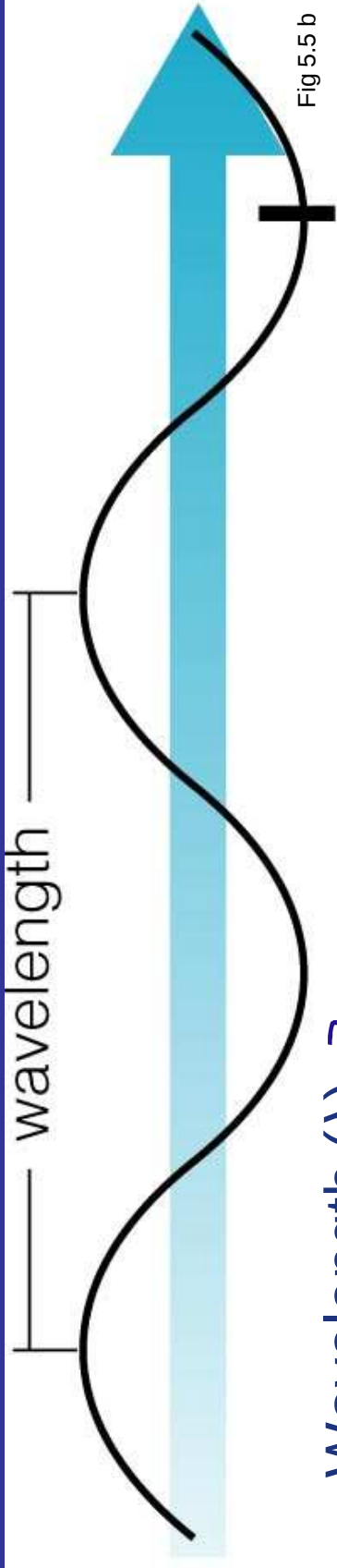


Fig 5.5 b

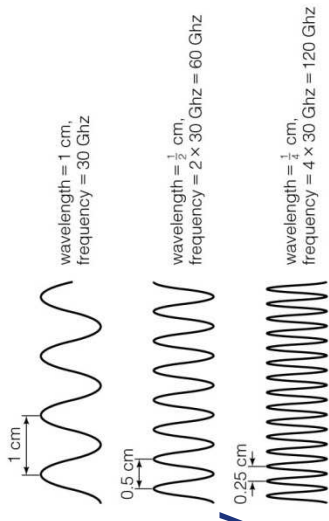
- Wavelength ( $\lambda$ )
- Frequency ( $\nu$ )
- Speed ( $c$ ) – constant for all flavors of light
- Higher wavelength implies lower frequency
  - And vice-versa

$$c = \lambda \nu$$

- Energy carried by light (radiative energy,  $E$ )

$$E = h\nu \quad h = \text{Planck's constant}$$

- Higher frequency implies higher energy
  - Also implies smaller wavelength



# The Electromagnetic Spectrum

G X U V I R

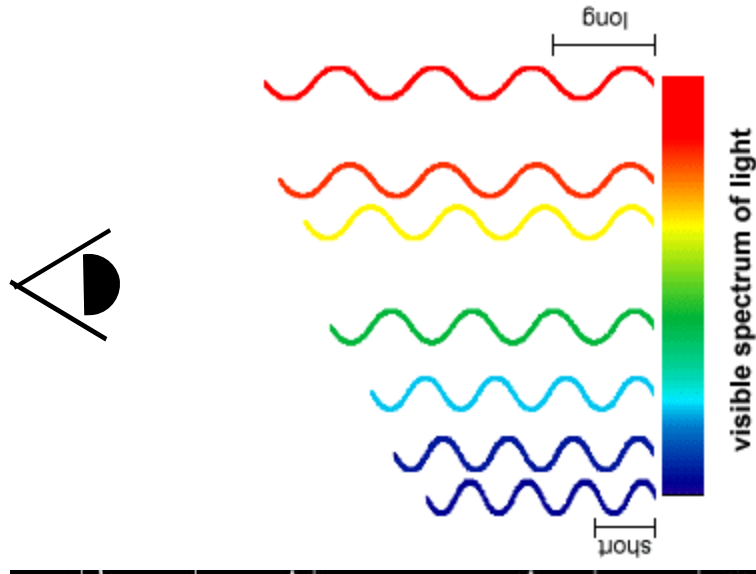
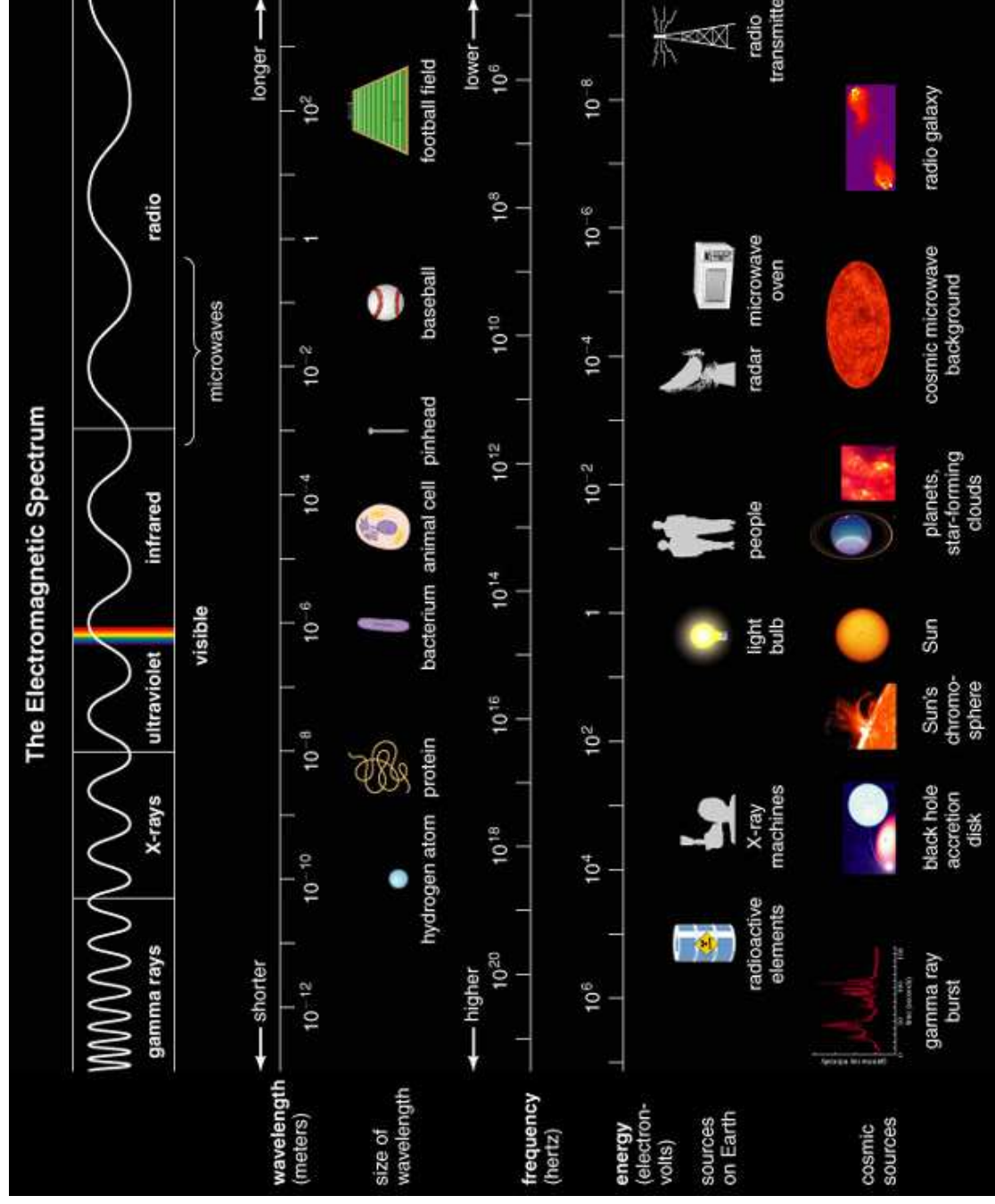


Fig 5.7

# The Building Blocks of Matter

- Smallest to largest
  - Quarks & Leptons
  - Nucleus (Protons, Neutrons) & Shells (Electrons)
  - Atoms
  - Molecules

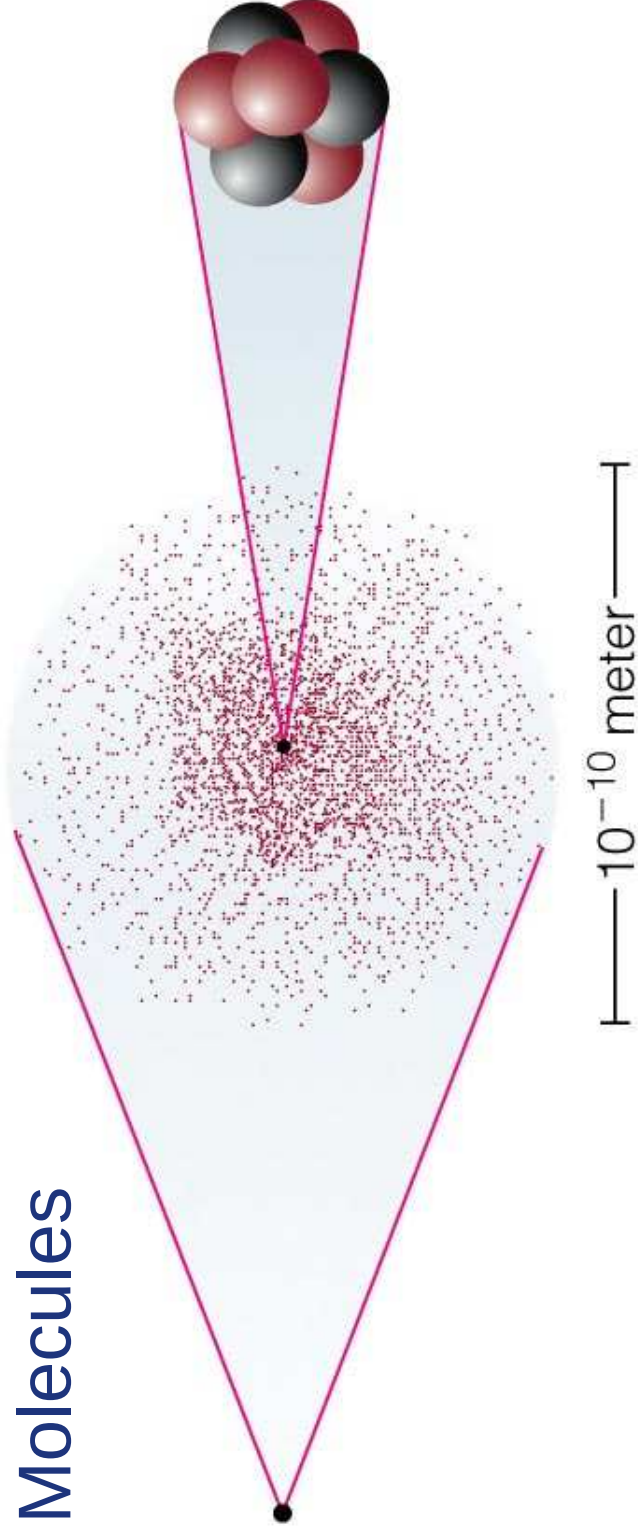


Fig 5.8

# Atoms

- Incredibly small
  - Millions can fit in one period at the end of a sentence in a typical book
  - Number of atoms in a drop of water exceeds the number of stars in the Universe!
- Atoms are mostly empty
  - If nucleus is the size of your fist, electron clouds are many miles away!
- Nucleus contains most of the mass
- Electrons inhabit specific shells based on energy levels

# Phases of Matter

- Loosely bound to tightly bound
  - Hottest to coolest
  - Fully ionized plasma (stellar cores)
  - Plasma (stellar interiors)
  - Molecular disassociation (Earth core)
  - Molecular phases (Earth surface)
    - Gas phase
    - Liquid phase
    - Solid phase

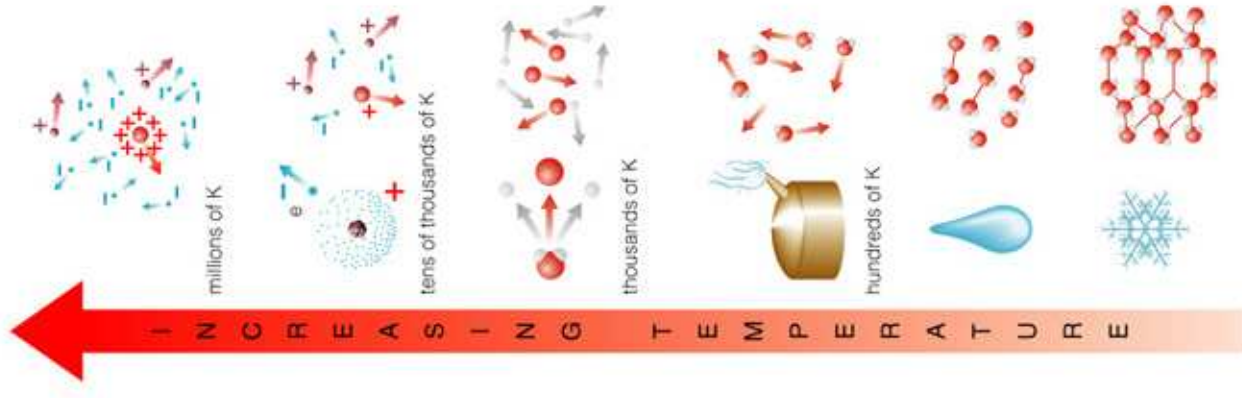


Fig 5.10

# Chemical Elements

- Defined based on number of protons in the nucleus (atomic number)
- In general, number of electrons and neutrons equal the number of protons (exceptions exist)
  - Different number of electrons: ions
  - Different number of neutrons: isotopes
- Molecules are combinations of elements
  - $\text{H}_2\text{O}$  = one molecule of water
    - 2 atoms of H, plus
    - 1 atom of O

# Periodic Table of the Elements

|    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |    |     |     |
|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|
| IA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IIIB |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IVB | VB | VIB | VII |
|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|----|-----|-----|

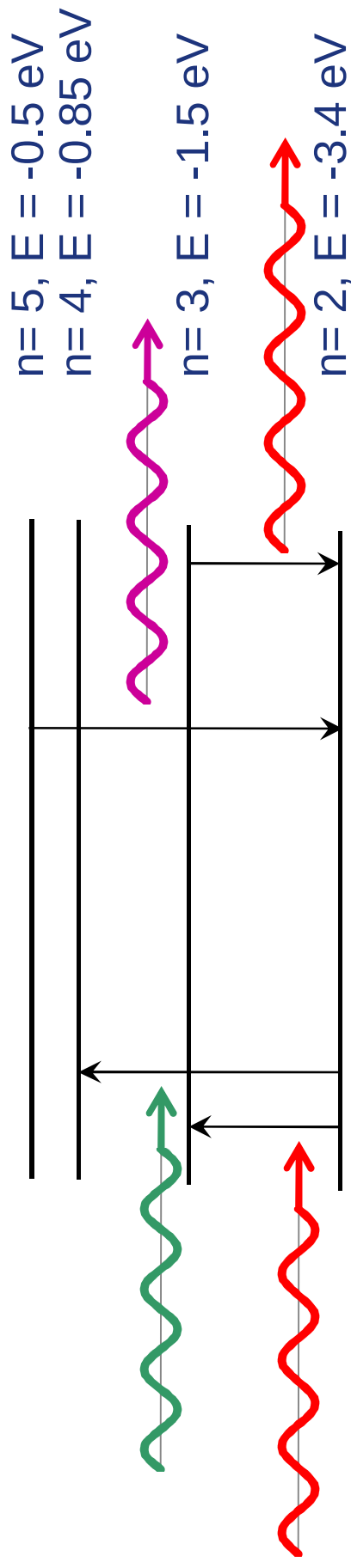
# Important Elements in Astronomy

- Hydrogen (H,  $n = 1$ )
  - Simplest element: 1 proton + 1 electron
  - Most abundant element in the universe (74%)
  - Over 90% of the Sun's mass
- Helium (He,  $n = 2$ )
  - 2 protons, 2 neutrons, 2 electrons
  - 24% of the universe, 9% of the Sun
- Carbon (C,  $n = 6$ )
  - 0.05% of the universe, 0.03% of the Sun
  - Basis of all life forms on Earth
- Nitrogen (N,  $n = 7$ )
  - Principal component of Earth's atmosphere
- Oxygen (O,  $n = 8$ )
  - 0.1% of the universe, 0.08% of the Sun
- Iron (Fe,  $n = 26$ )
  - Densest nucleus, reason for Supernovae

## Key Molecules



# Interaction of Light with Matter



- Absorption line
    - Photon absorbed by electron to jump to higher energy level
  - Emission line
    - Photon emitted by electron to jump back to lower energy level
  - Only specific energy levels of photons absorbed or emitted
    - i.e. only specific wavelengths or colors
- \_\_\_\_\_  $n=1$  (Ground state)  
 $E = -13.6 \text{ eV}$