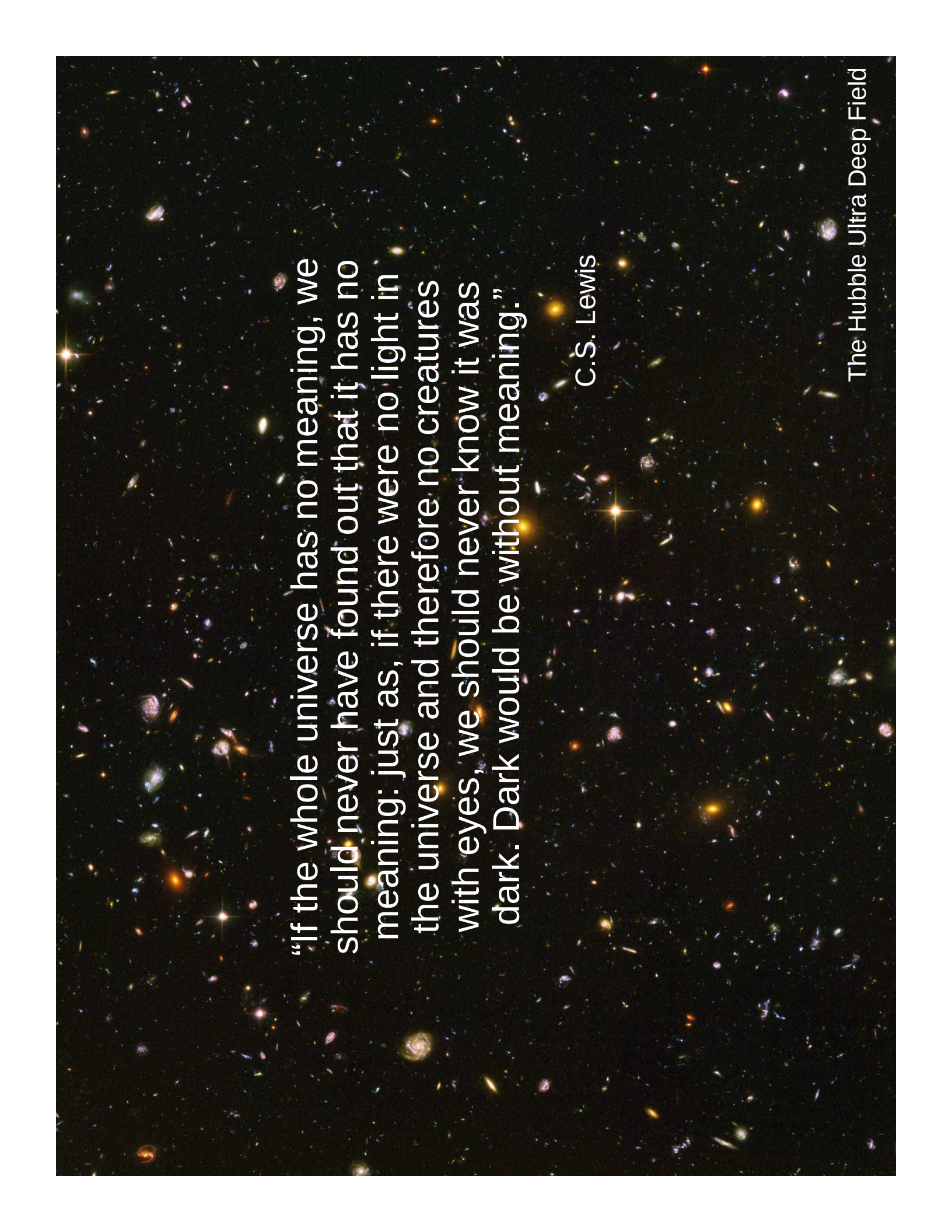




“If the whole universe has no meaning, we should never have found out that it has no meaning: just as, if there were no light in the universe and therefore no creatures with eyes, we should never know it was dark. Dark would be without meaning.”

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?
- What is temperature?
- 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**)

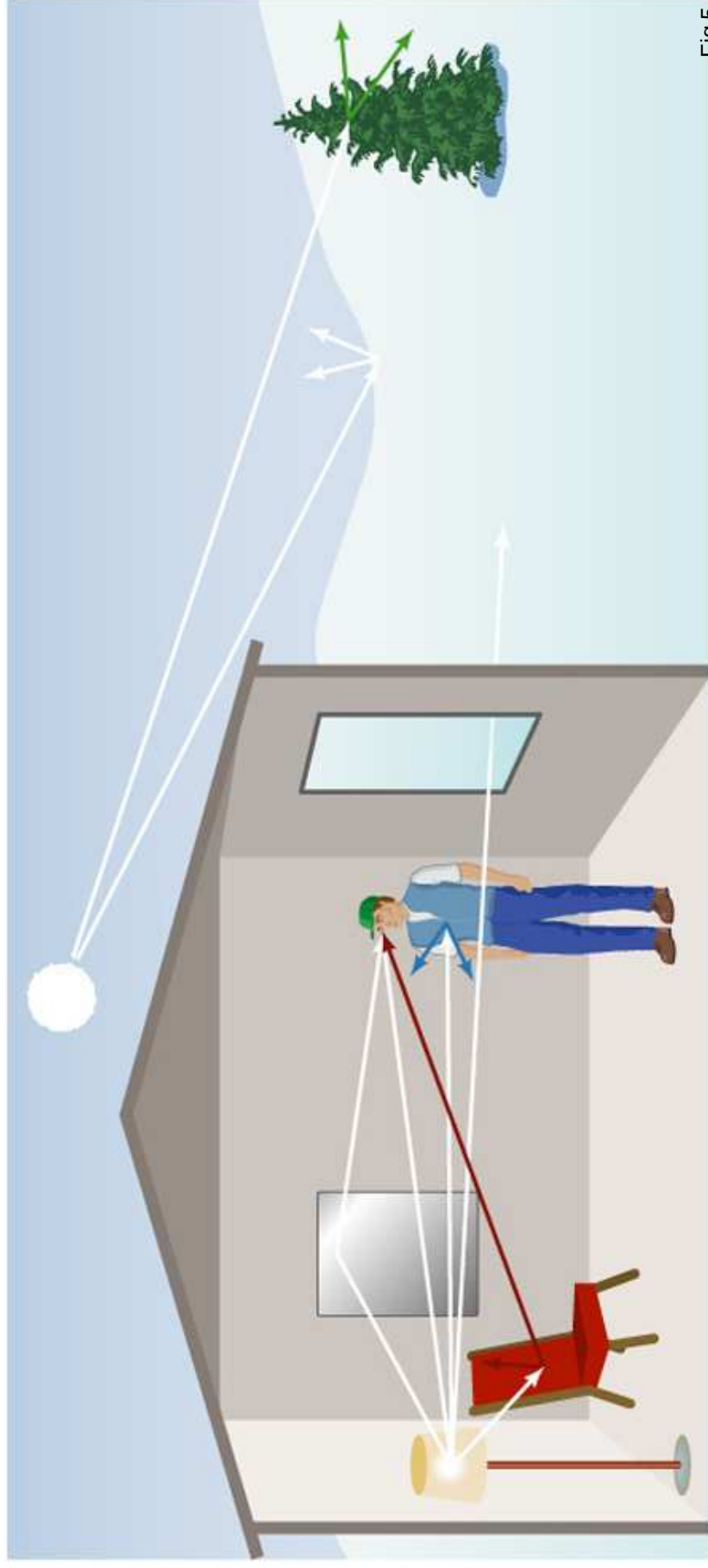


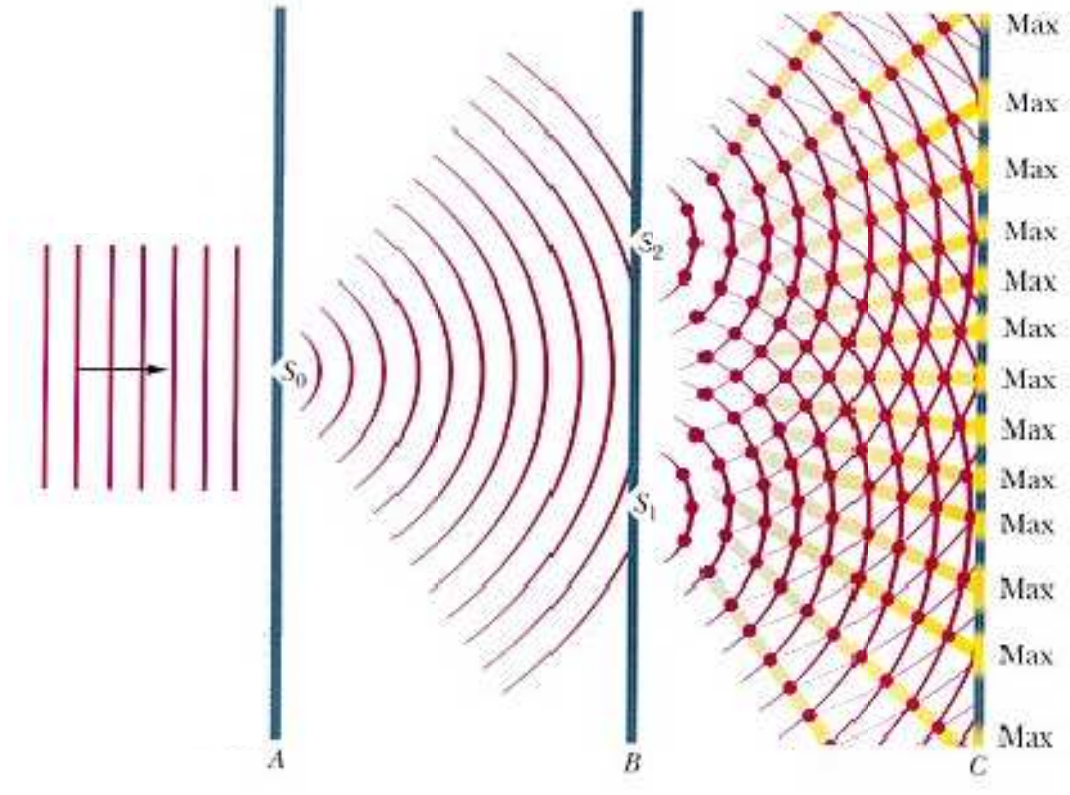
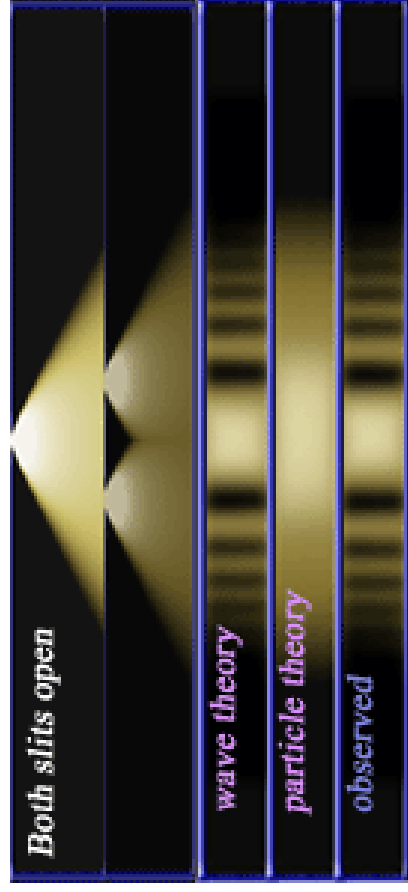
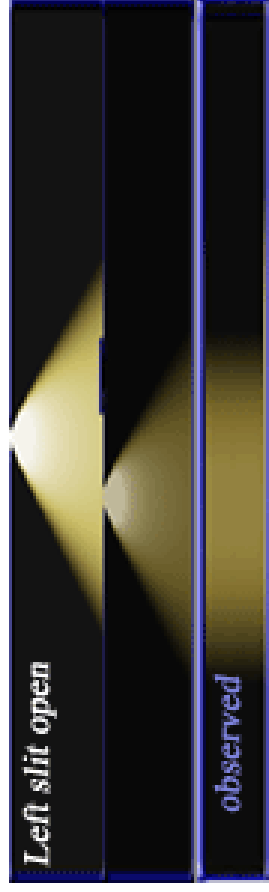
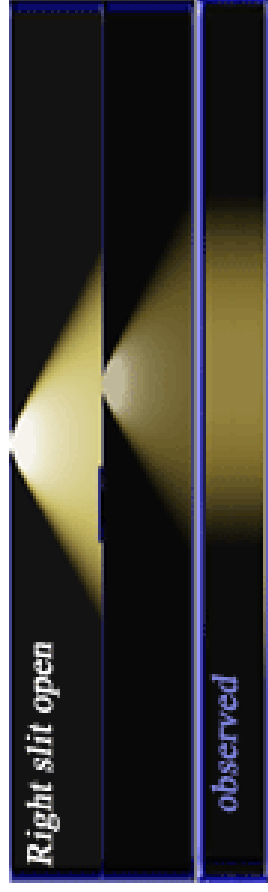
Fig 5.3

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

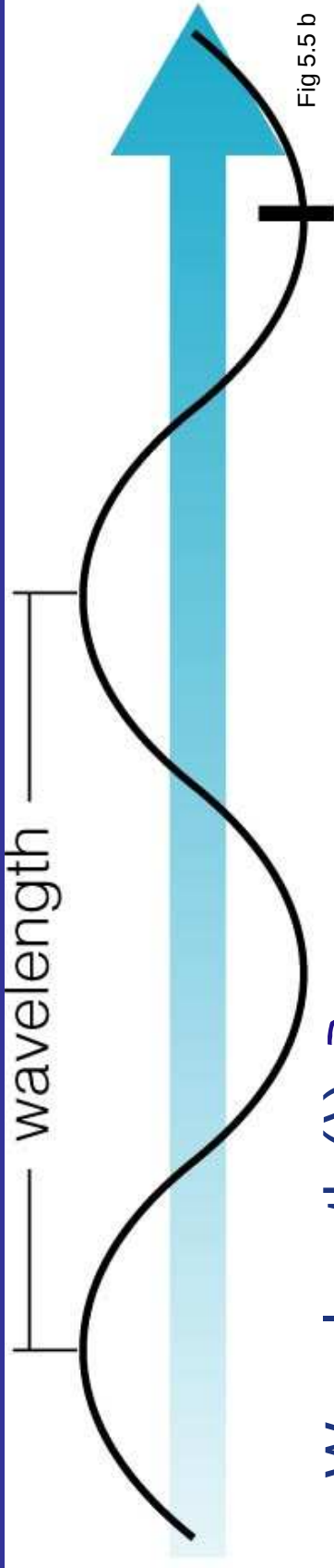


Fig 5.5 b

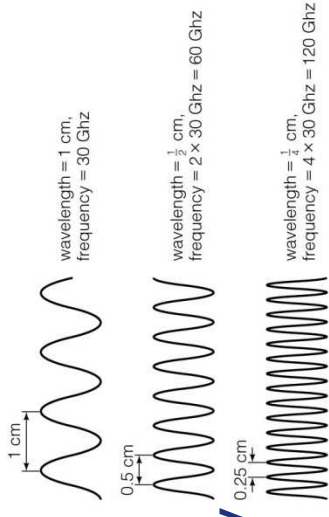
- Wavelength (λ)
- Frequency (ν)
- Speed (c) – constant for all flavors of light
- Higher wavelength implies lower frequency
 - And vice-versa

$$c = \lambda \nu$$

- 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

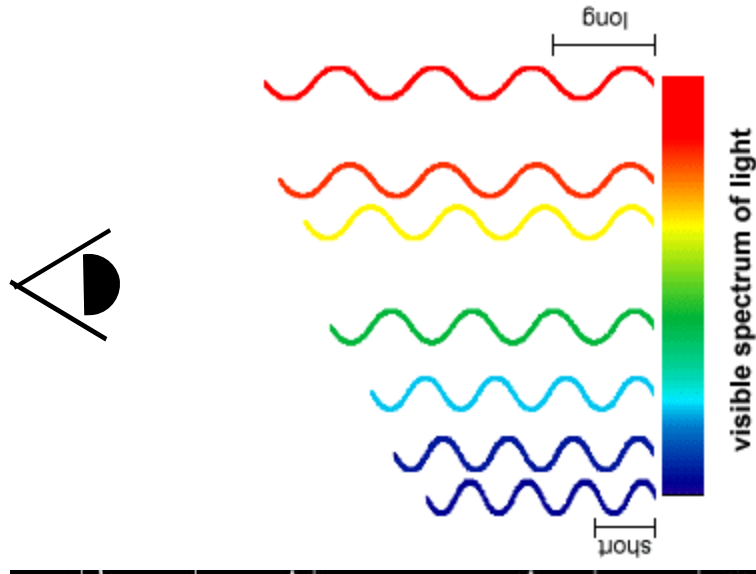
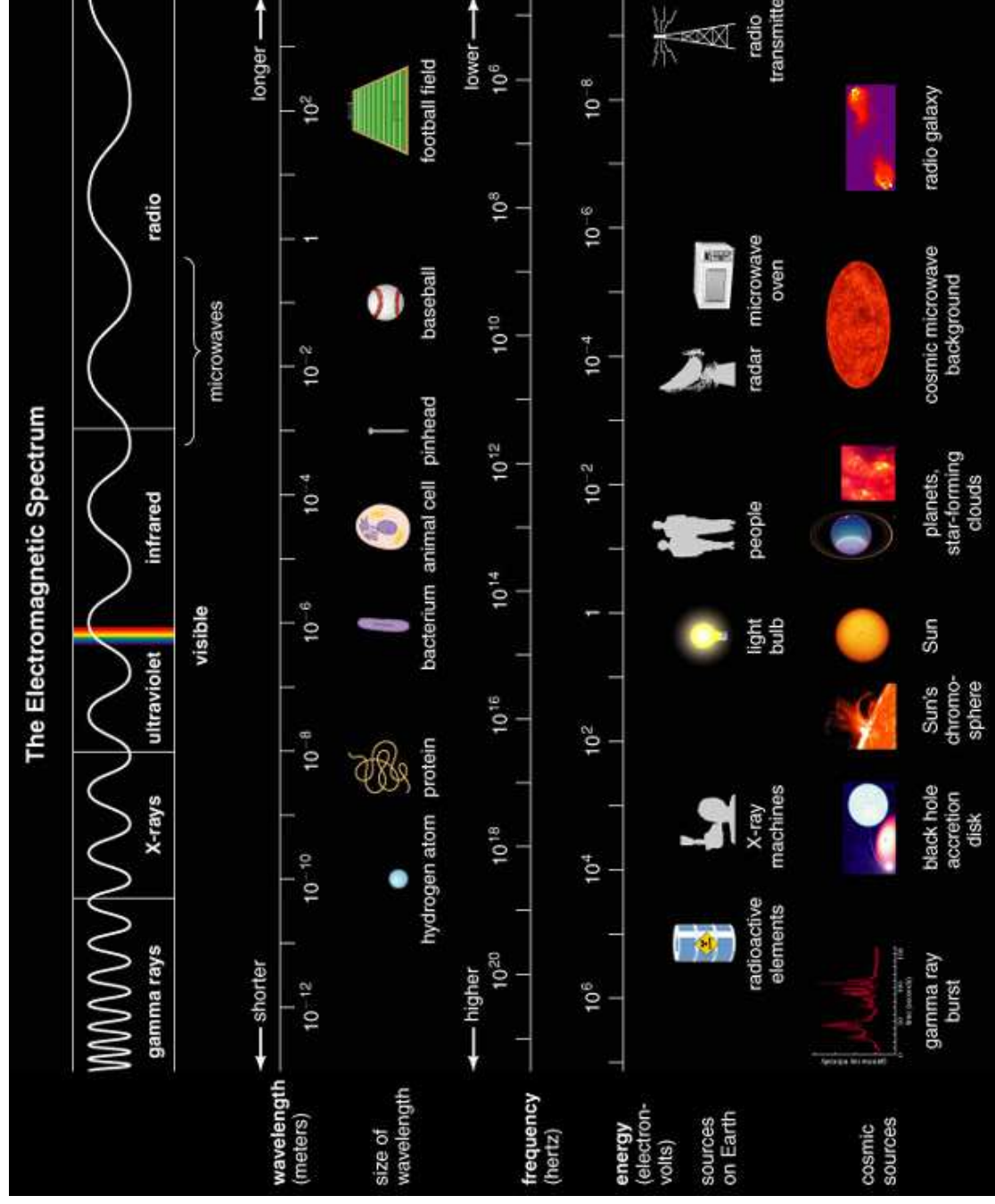


Fig 5.7

The Building Blocks of Matter

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

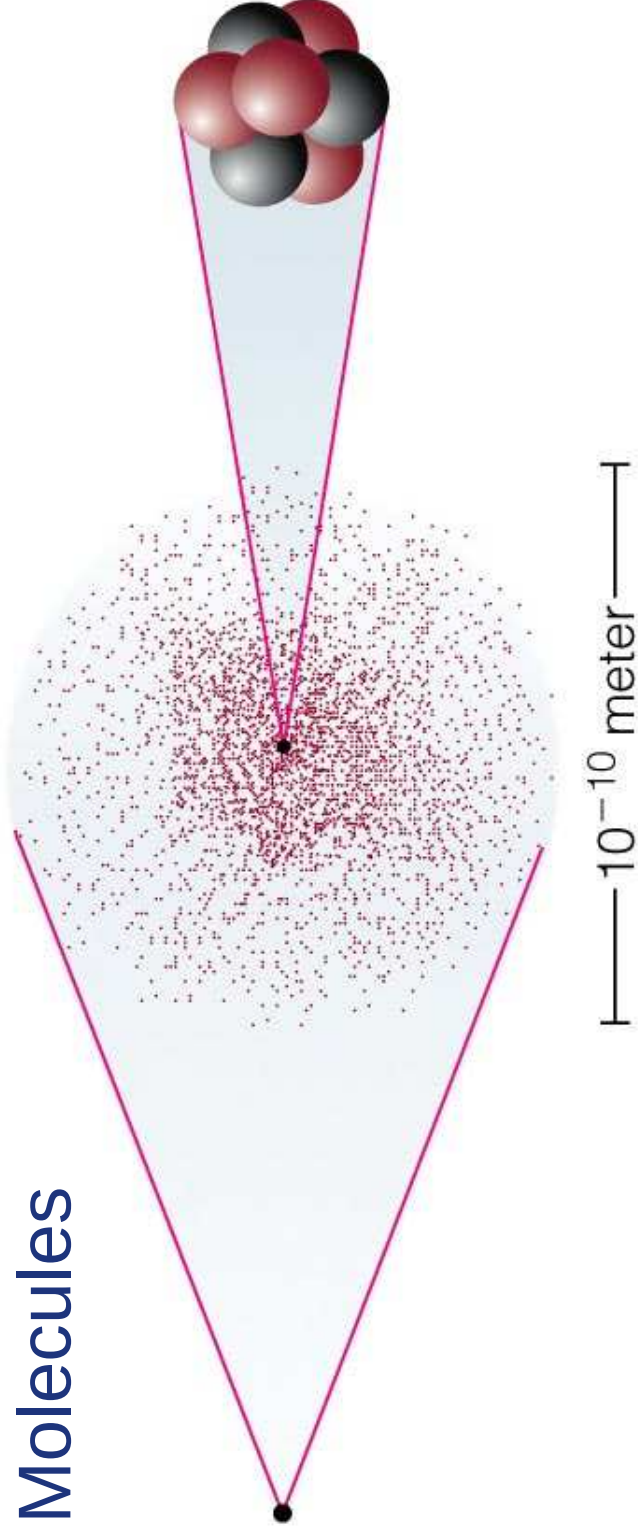


Fig 5.8

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

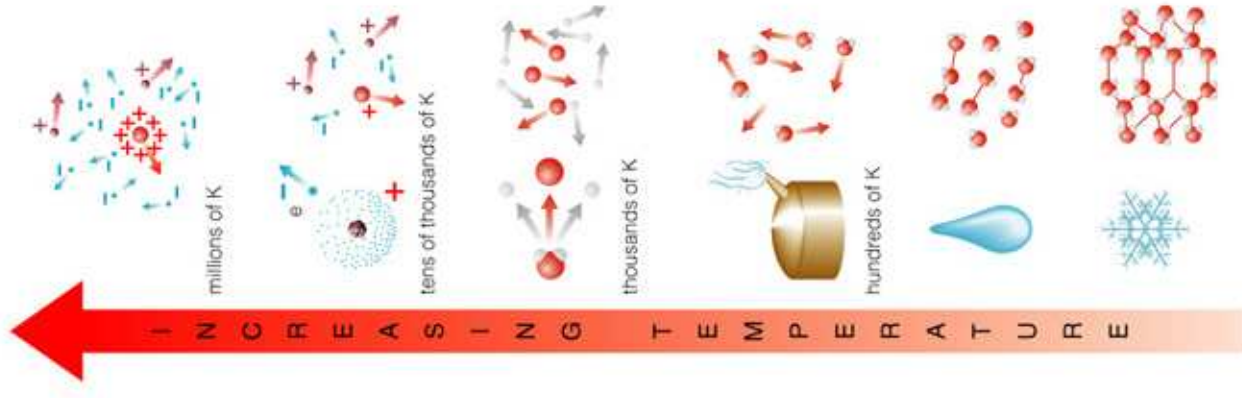


Fig 5.10

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
 - H_2O = 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
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	----	-----

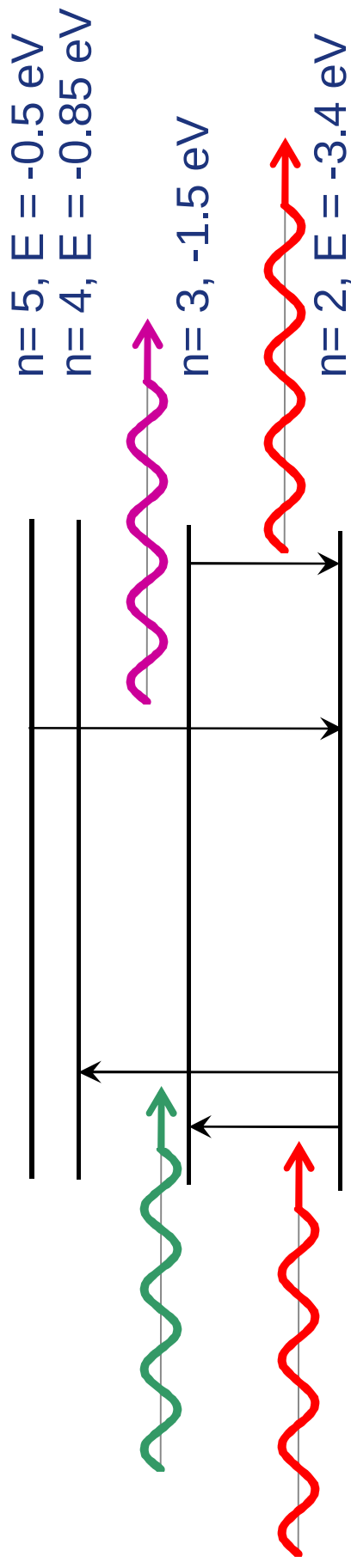
Important Elements in Astronomy

- 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 eV