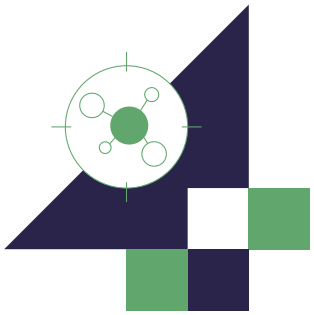
وزارة التعليم
Ministry of Education

موهبة
Mawhiba

نسمو
NSMO

National Science and Mathematics Olympiad

Learning Materials for the Fourth Stage Finals of "NSMO"2026



Science

وزارة التعليم
Ministry of Education

موهبة
Mawhiba

نسمو
NSMO

Biology

وزارة التعليم
Ministry of Education

موهبة
Mawhiba

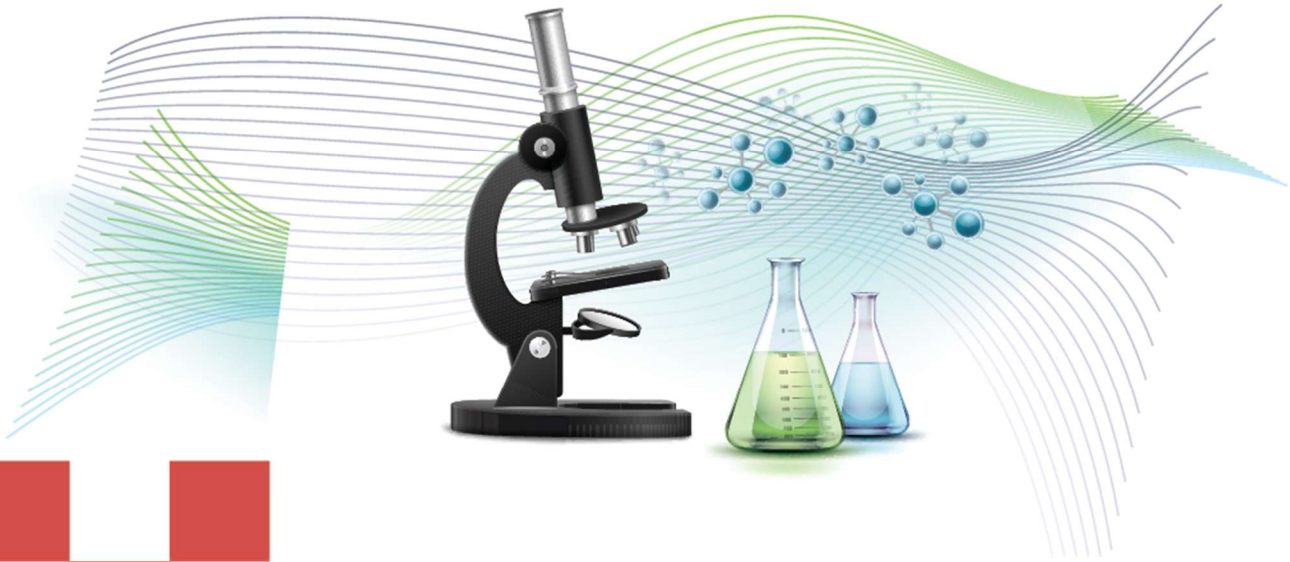
نسمو
NSMO

National Science and
Mathematics Olympiad

The Training Package for the Science Track

Final Phase

Science



Content

- HOW DID THE SCIENCE OF GENETICS BEGIN? 5
- MENDEL'S EXPERIMENT 5
- GENETIC TERMINOLOGY 6
- MENDEL'S FIRST LAW (LAW OF SEGREGATION): 8
- LAW OF INDEPENDENT ASSORTMENT: 10
- PUNNETT SQUARE NOTE: 11
- GENE CROSSING AND CHROMOSOMAL VARIATIONS 11
- PLOIDY LEVELS (CHROMOSOME SET MULTIPLICITY) 12
- PEDIGREE CHART 12
- COMPLEX INHERITANCE PATTERNS (NON-MENDELIAN INHERITANCE) 13
- CHROMOSOMES AND HUMAN INHERITANCE 18
- GENETIC MATERIAL (DNA) 19
- FORMS OF DNA: 21
- CHROMOSOME STRUCTURE 21
- TYPES OF RNA 22
- COMPARISON BETWEEN DNA AND RNA 23
- PROTEIN SYNTHESIS 23

Table of Figures

Figure 1 Mendel's Experiment 6
Figure 2 Genetic Terminology 7
Figure 3 Law of Segregation 8
Figure 4 Monohybrid Cross 9
Figure 5 Dihybrid Cross 10
Figure 6 Punnett square 11
Figure 7 Pedigree Analysis 1 12
Figure 8 Pedigree Analysis 2 13
Figure 9 Incomplete Dominance 13
Figure 10 Co-dominance 14
Figure 11 Human Blood Groups 14
Figure 12 Fur Color in Rabbits 15
Figure 13 Epistasis in dogs coat-color 15
Figure 14 Sex Determination 16
Figure 15 Inheritance of color blindness 16
Figure 16 Inheritance of skin color in humans 17
Figure 17 nondisjunction 18
Figure 18 nitrogenous bases 19
Figure 19 model of the DNA molecule 20
Figure 20 antiparallel orientation 21
Figure 21 Chromosome Structure 22
Figure 22 relationship between a gene and a protein 23

General Objectives:

1. To develop fundamental biological concepts that prepare students for participation in competitions.
2. To establish a strong foundation enabling students to pursue advanced Olympiad-level biology.
3. To enrich the field with scientific material that nurtures the passion of those interested in Olympiad biology.
4. To promote the culture and awareness of the Olympiad.

Specific Objectives

1. To enable students to understand Mendel's laws and their applications.
2. To describe the chemical structure of genetic material and the mechanism of protein synthesis.
3. To understand human genetics and its applications.
4. To describe genetic mutations, their types, causes, and significance.
5. To recognize the diverse applications of genetic engineering in everyday life.

How Did the Science of Genetics Begin?

Gregor Mendel succeeded in uncovering the mystery of heredity through his choice of an ideal experimental organism the pea plant (Pisum sativum).

Mendel used pea plants in his experiments because:

- They are easy to grow, cultivate, and reproduce continuously.
- Each individual plant exhibits only one form of a trait, allowing the study of contrasting characteristics.
- They are capable of self-pollination the fusion of a male gamete with a female gamete from the same flower.
- They also allow cross-pollination, in which a male gamete (pollen grain) from one flower fertilizes a female gamete in another plant.

Mendel formulated a hypothesis regarding the inheritance of traits he hybridized, marking the beginning of genetics as a scientific discipline.

Genetics:

The branch of biology that studies how traits are transmitted from one generation to the next.

Mendel's Experiment

Mendel performed a cross-pollination between two purebred pea plants one with purple flowers and another with white flowers. Through his experiment, Mendel introduced several genetic terms still used today.

- Parental Generation (P): The initial cross between a pure purple-flowered plant and a pure white-flowered plant.
- First Filial Generation (F_1): All offspring produced had purple flowers.
- Second Filial Generation (F_2): The offspring showed both purple and white flowers in a 3:1 ratio.

Application By crossing (mating) two true-breeding varieties of an organism, scientists can study patterns of inheritance. In this example, Mendel crossed pea plants that varied in flower color.

Technique

Results When pollen from a white flower was transferred to a purple flower, the first-generation hybrids all had purple flowers. The result was the same for the reciprocal cross, which involved the transfer of pollen from purple flowers to white flowers.

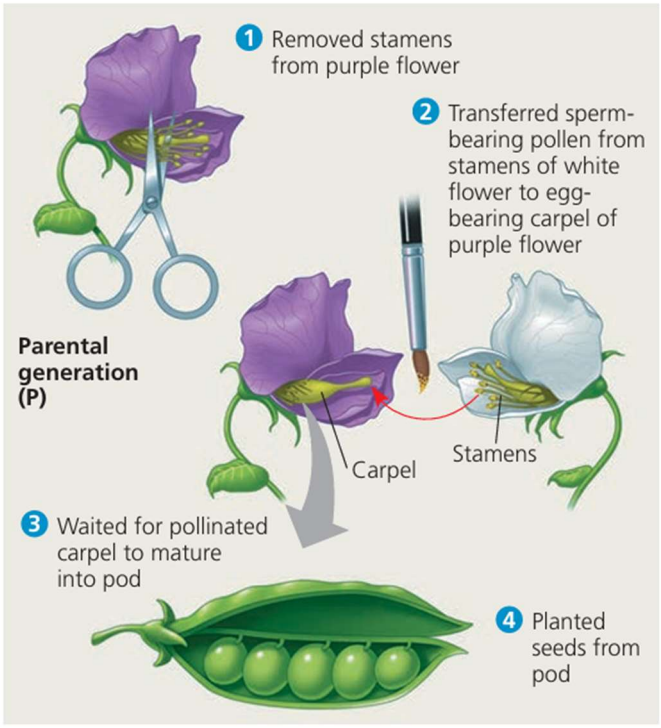


Figure 1 Mendel's Experiment

Genetic Terminology

- Dominant Trait: The trait that appears in the first generation.
  - In Mendel's experiment: purple flowers.
- Dominant Gene: The gene that expresses the dominant trait, represented by a capital letter (Y).
- Recessive Trait: The trait that is masked in the first generation but reappears in the second.
  - In Mendel's experiment: white flowers.

- Recessive Gene: The gene responsible for the recessive trait, represented by a lowercase letter (y).
- Homozygous (Pure): Having two identical alleles for a trait (YY or yy). Each allele occupies the same locus on a homologous chromosome.
- Heterozygous (Hybrid): Having two different alleles for a trait (Yy).
- Alleles (Contrasting Genes): Two genes located on homologous chromosomes that determine the same characteristic, one inherited from each parent.
- Genotype: The genetic composition of an organism the specific pair of alleles determining a trait.
    - Example*:* Dominant traits may have genotypes YY or Yy.
    - Recessive traits are always homozygous (yy).
- Phenotype: The observable expression or outward appearance of a trait e.g., tall, wrinkled, white, etc.

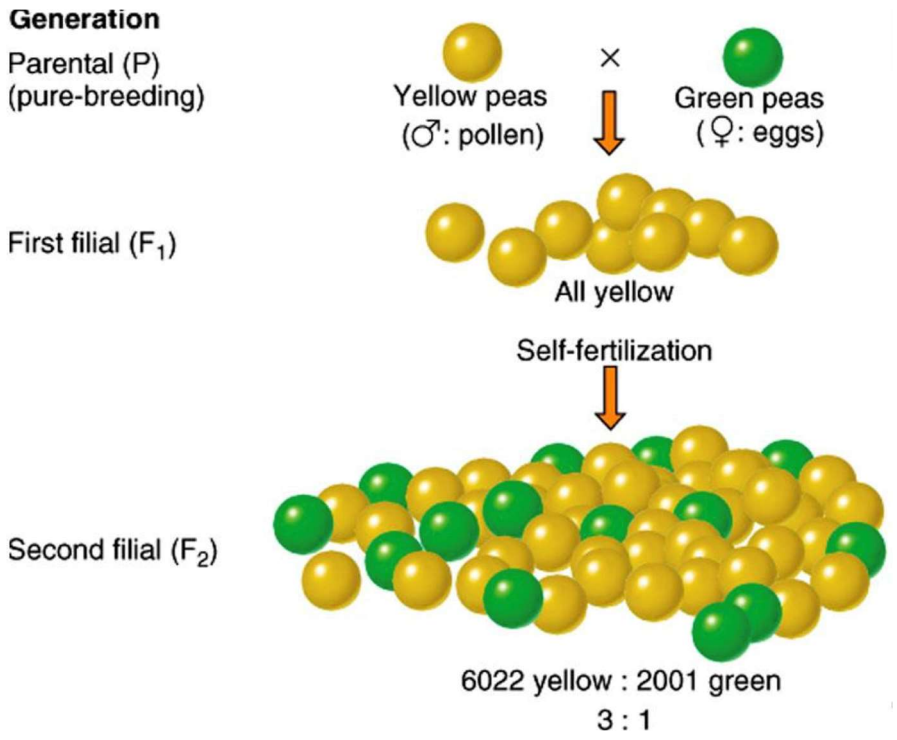


Figure 2 Genetic Terminology

Mendel's First Law (Law of Segregation):

Each trait is determined by a pair of genes (alleles) that separate from one another during the formation of gametes.

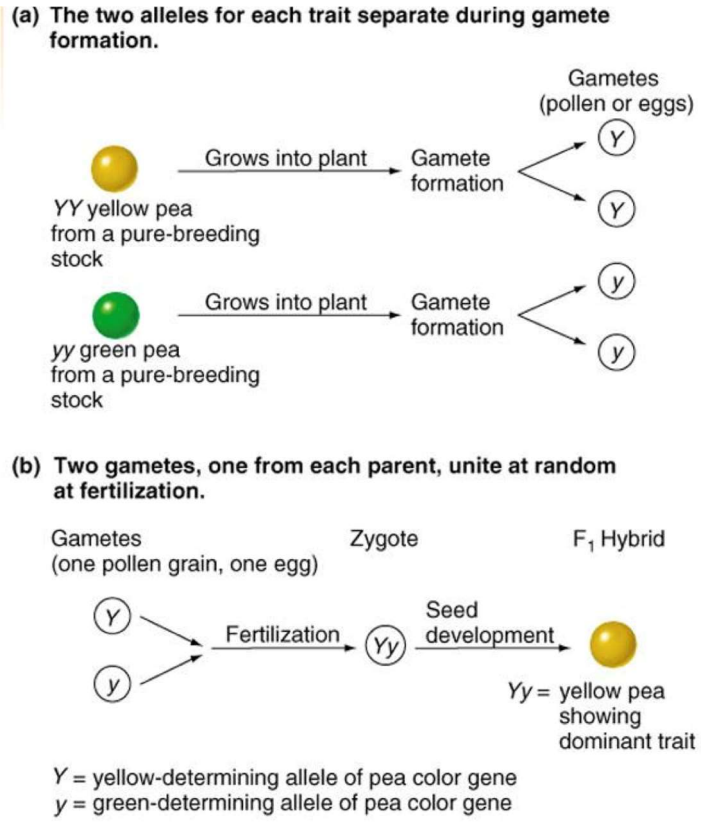


Figure 3 Law of Segregation

Monohybrid Cross

- It refers to the mating between two organisms that differ in only one trait, such as plant height or seed color.
- In Mendel's experiment, when the second-generation hybrids (Yy) were allowed to self-pollinate, they produced two types of gametes: (Y) and (y).
- These gametes combined randomly, resulting in the following genotypes: YY, Yy, Yy, yy
    - Genotypic ratio: 1 : 2 : 1
    - Phenotypic ratio: 3 : 1 — yellow seeds to green seeds.

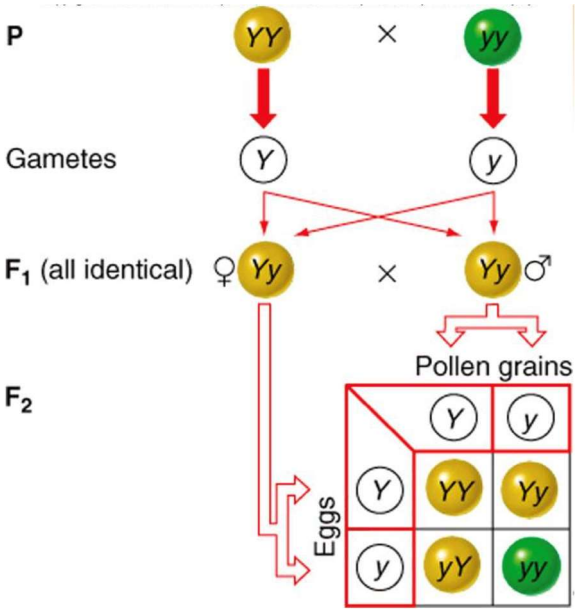
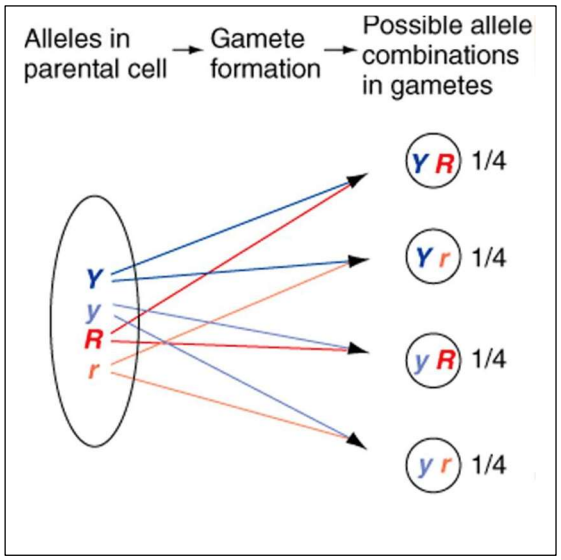


Figure 4 Monohybrid Cross

Dihybrid Cross:

- After Mendel's success in studying the inheritance of a single trait, he proceeded to investigate the inheritance of two or more traits within the same plant.
- In the pea plant, the round seed shape (R) is dominant over the wrinkled seed shape (r), just as the yellow seed color is dominant over the green.
- Note: The number of genes in each gamete always equals the number of traits studied. For example, when studying two traits, each gamete contains two genes; when studying three traits, each gamete contains three genes, and so on.



Law of Independent Assortment:

When two individuals possessing more than one trait are crossed, the genes assort freely and independently during gamete formation in meiosis.

Dihybrid Cross (Yellow–Round × Green–Wrinkled)

- Crossing a plant with yellow, round seeds (YYRR) with one having green, wrinkled seeds (yyrr) yields an F_1 of all yellow, round hybrids (YyRr).
- Selfing the F_1 (YyRr × YyRr) produces four gamete types from each parent: YR, Yr, yR, yr (assorted randomly and independently).

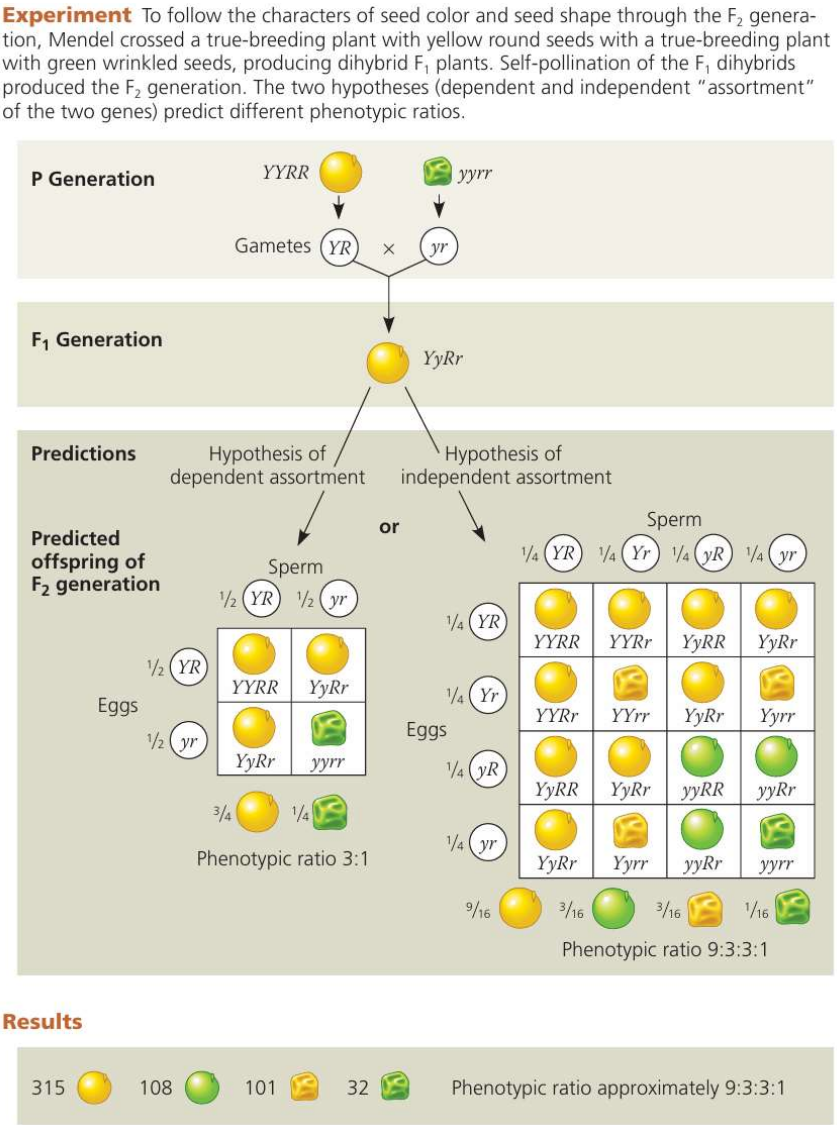


Figure 5 Dihybrid Cross

Resulting F_2 (genotypes & phenotypes):

- The cross yields 16 combinations aggregating into 9 distinct genotypes (e.g., YYRR, YYRr, YyRR, YyRr, YYrr, Yyrr, yyRR, yyRr, yyrr).
- Phenotypic ratio (F_2): 9 : 3 : 3 : 1
    - 9yellow–round : 3 yellow–wrinkled : 3 green–round : 1 green–wrinkled.

(Note: The correct phenotypic ratio is 9:3:3:1, not 1:3:3:9.)

Punnett square note:

A 4×4 Punnett square is used to visualize YR, Yr, yR, yr × YR, Yr, yR, yr and predict the F_2 outcomes.

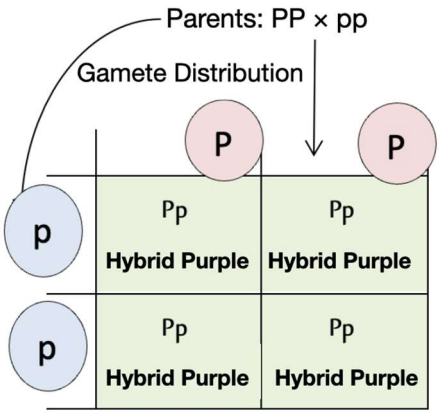


Figure 6 Punnett square

Gene Crossing and Chromosomal Variations

- Crossing-over serves as a major source of genetic variation among organisms.
- New genetic combinations are the result of crossing-over and independent assortment, which create novel arrangements of alleles within gametes.
- The number of possible genetic combinations can be calculated using the formula (2^n), where n represents the number of homologous chromosome pairs.

For example, in pea plants, there are 7 pairs of chromosomes, so:

2^7 ١٢٨ = possible gamete combinations.

Upon fertilization: 128 × 128 = 16,384 possible zygotic combinations.

Ploidy Levels (Chromosome Set Multiplicity)

Diploid (2n):

Possess two sets of chromosomes, one from each parent. Exemple: Humanos (2n).

Poliploide (≥3n):

Have one or more additional sets of chromosomes beyond the diploid number. Exemples: Wheat (6n) , Oats (6n) , Sugarcane (8n)

In plants, polyploidy often enhances resistance, increases vigor, and improves yield and productivity.

Pedigree Chart

A pedigree is a diagram that traces the inheritance of a specific trait through multiple generations.

It uses symbols to represent individuals and their traits: squares indicate males, and circles indicate females.

Scientists study a family's genetic history (family tree) using a pedigree chart

Pedigree Analysis 1:

This pedigree represents a recessive genetic disorder.

In the second generation, an affected child could be born if both recessive alleles meet.

Since parents II-2 and II-3 are healthy but produced an affected child, they must both be carriers of the recessive allele.

Individual IV-3 was born affected by the recessive disorder due to the inheritance of two recessive alleles from carrier parents.

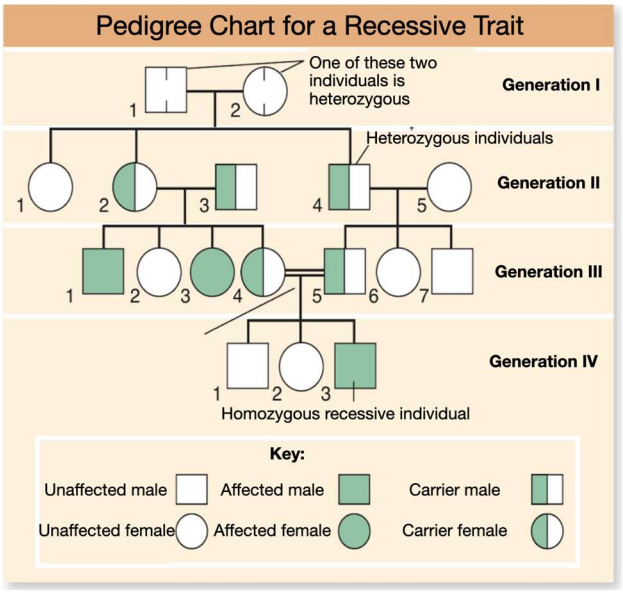


Figure 7 Pedigree Analysis 1

Pedigree Analysis 2:

This pedigree represents a dominant genetic disorder.

In pedigrees for dominant traits, individuals cannot be carriers; symbols are either shaded (affected) or unshaded (unaffected).

Since individual II-1 is unaffected while his father is affected, the father must be heterozygous, and the unaffected child inherited the recessive allele from both parents.

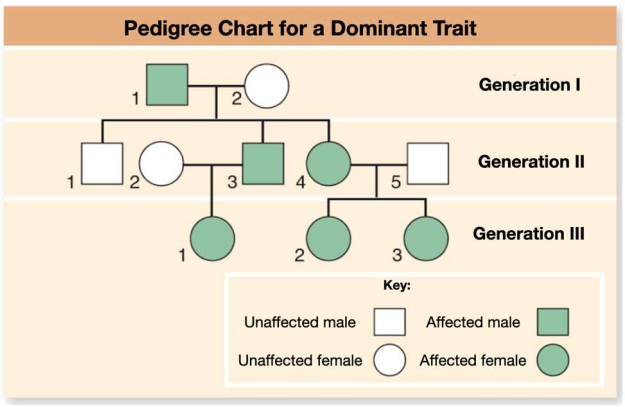


Figure 8 Pedigree Analysis 2

Because all offspring of parents II-2 and II-3 are affected, the mother's genotype must be homozygous dominant.

Future inheritance patterns can be predicted if accurate family records are maintained.

If a pedigree shows that only males are affected, the trait is likely Y-linked.

Complex Inheritance Patterns (Non-Mendelian Inheritance)

The inheritance patterns described by Mendel do not apply to traits that exhibit complex inheritance.

1. Incomplete Dominance

In heterozygous individuals, the phenotype appears as an intermediate form between the two parental phenotypes. Some traits are neither completely dominant nor completely recessive, meaning neither allele masks the other.

Example: The four o'clock plant (*Mirabilis jalapa*) exhibits incomplete dominance in flower color.

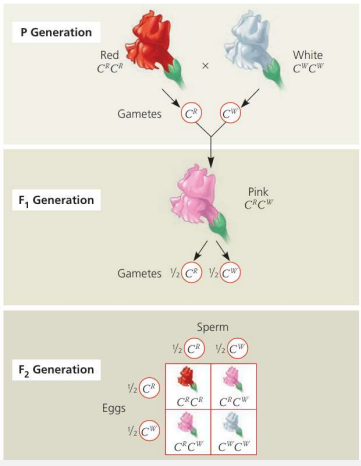


Figure 9 Incomplete Dominance

2. Co-dominance

Occurs when both alleles of a gene are fully expressed in the heterozygous genotype, showing the effect of both genes simultaneously. For example,

Sickle Cell Anemia:

The disorder occurs when an individual inherits two recessive alleles (one from each parent). The red blood cells become sickle-shaped, reducing their ability to transport O_2 and CO_2 effectively.

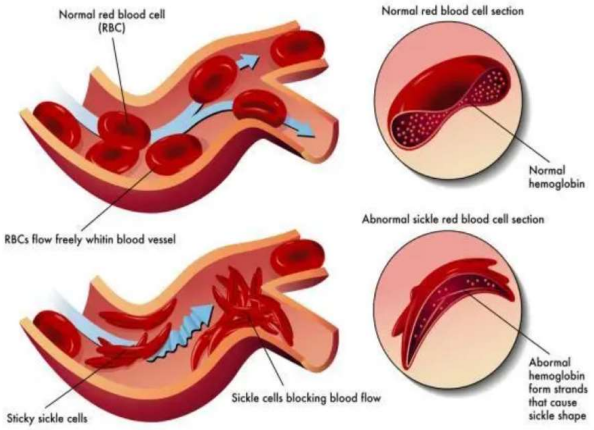


Figure 10 Co-dominance

Sickle Cell Anemia and Malaria:

Individuals carrying the sickle cell allele have increased resistance to malaria, providing a selective advantage in malaria-endemic regions.

3. Multiple Alleles

- Human Blood Groups:

The four human blood types A, B, AB, and O are determined by more than two alleles of a single gene. They represent an example of both multiple alleles and co-dominance

Possible Genotypes	Blood Type
I^AI^A , I^Ai	A
I^BI^B , I^Bi	B
I^AI^B	AB
ii	O

(a) The three alleles for the ABO blood groups and their carbohydrates. Each allele codes for an enzyme that may add a specific carbohydrate (designated by the superscript on the allele and shown as a triangle or circle) to red blood cells.

Allele	I^A	I^B	i
Carbohydrate	A △	B ○	none

(b) Blood group genotypes and phenotypes. There are six possible genotypes, resulting in four different phenotypes.

Genotype	I^AI^A or I^Ai	I^BI^B or I^Bi	I^AI^B	ii
Red blood cell appearance				
Phenotype (blood group)	A	B	AB	O

Figure 11 Human Blood Groups

- Fur Color in Rabbits:

The C gene is dominant and produces a black phenotype.

The c gene is recessive and produces a white phenotype.

The cch gene is dominant over ch.

The ch gene is dominant over c.

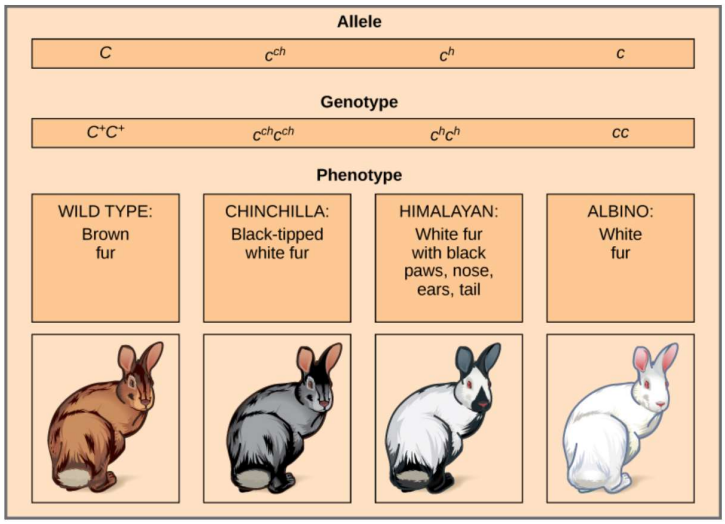


Figure 12 Fur Color in Rabbits

4. Epistasis

Occurs when one gene masks or suppresses the expression of another gene. In certain dogs, two different genes determine coat color: The dominant gene E allows dark pigment expression in the fur. The dominant gene B determines the degree of darkness of that pigment. The recessive gene e masks the effect of the dominant B gene. When the genotype is ee, no pigment is produced

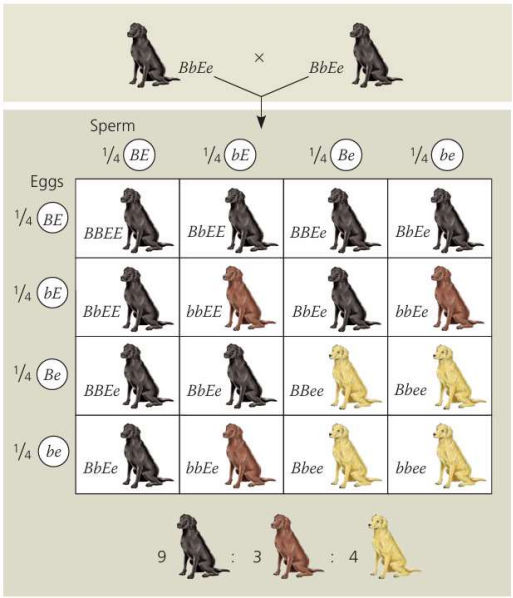


Figure 13 Epistasis in dogs coat-color

5. Sex Determination

A human somatic cell contains 46 chromosomes (23 pairs), of which 22 pairs are autosomes. The 23rd pair is the sex chromosomes, which determine the individual's biological sex.

Gametes contain 23 chromosomes each. The sex chromosomes determine gender as follows:

All female eggs carry an X chromosome.

Male sperm carry either an X or a Y chromosome.

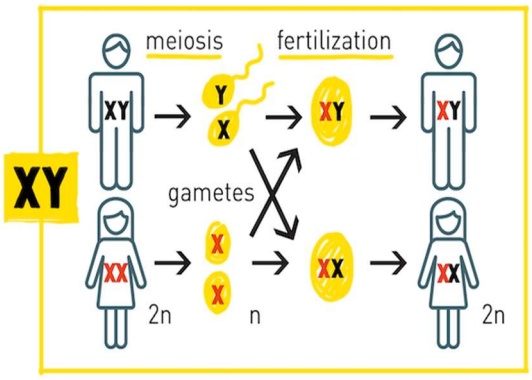


Figure 14 Sex Determination

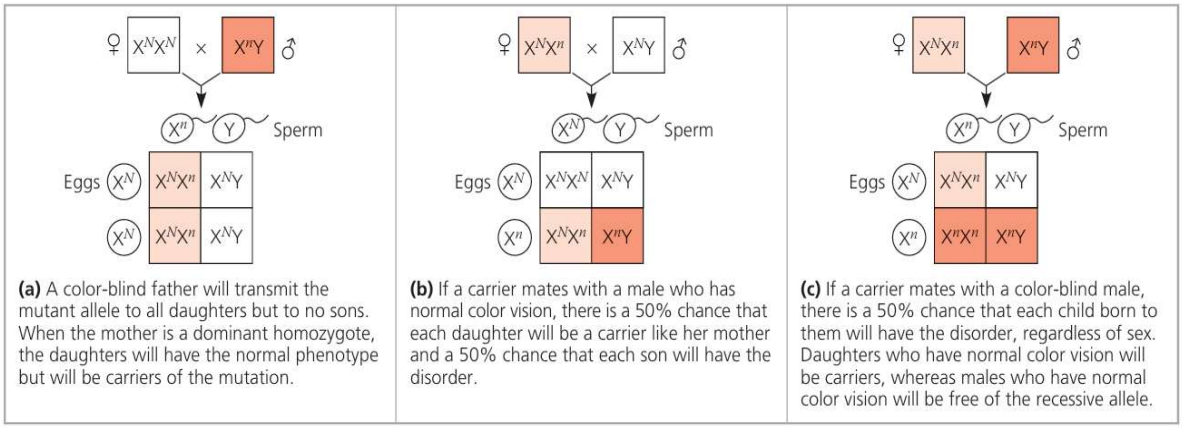
Sex-Linked Traits

These traits are controlled by genes located on the X chromosome.

Since males possess only one X chromosome, they are more likely to express recessive sex-linked traits; a single recessive allele on the X chromosome is enough to cause the disorder.

Hemophilia: A condition characterized by delayed blood clotting, which is more common in males than in females.

Red–Green Color Blindness: A disorder in which males are typically affected, while females are usually carriers.



(a) A color-blind father will transmit the mutant allele to all daughters but to no sons. When the mother is a dominant homozygote, the daughters will have the normal phenotype but will be carriers of the mutation.

(b) If a carrier mates with a male who has normal color vision, there is a 50% chance that each daughter will be a carrier like her mother and a 50% chance that each son will have the disorder.

(c) If a carrier mates with a color-blind male, there is a 50% chance that each child born to them will have the disorder, regardless of sex. Daughters who have normal color vision will be carriers, whereas males who have normal color vision will be free of the recessive allele.

Figure 15 Inheritance of color blindness

7. Polygenic Traits

These traits result from the interaction of two or more pairs of genes. In humans, examples of polygenic traits include skin color, height, eye color, and fingerprint patterns

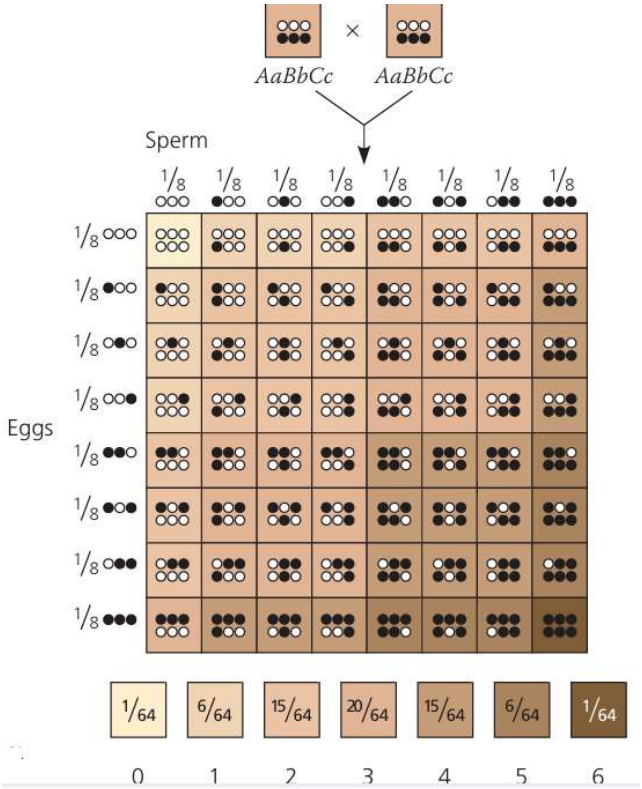


Figure 16 Inheritance of skin color in humans

8. Environmental Influences

The environment affects the expression of many phenotypic traits. Sunlight and water: Sunlight influences flower production, while lack of water can cause leaf loss in plants. Temperature: In Siamese cats, the gene responsible for pigment production is active only at lower temperatures, leading to darker fur on cooler body parts.

9. Twin Studies

Identical twins share identical genes. Differences between them result from environmental influences. They show a high concordance rate, reflecting strong genetic control.

10. Sex-Influenced Traits

These are traits found on autosomal chromosomes, not sex chromosomes, but their expression is influenced by sex hormones. Example: Baldness. The gene for baldness is dominant in males (under the effect of male hormones) but recessive in females, showing how hormonal differences affect gene expression.

Female	Male	Genotype
Bald	Bald	BB
Normal	Bald	Bb
Normal	Normal	bb

Chromosomes and Human Inheritance

A karyotype is an arrangement of homologous chromosomes displayed as paired, microscopic images. To study genetic material (genes and chromosomes), scientists use stained chromosome images taken during metaphase. Chromosomes are arranged in order from largest to smallest .Humans have 23 pairs of chromosomes in both males and females: 22 pairs of autosomes (identical) and one pair of sex chromosomes (non-identical). Telomeres: Protective caps located at the ends of chromosomes, composed of DNA bound to proteins, functioning to preserve chromosome integrity.

1. Nondisjunction:

The failure of sister chromatids to separate properly during cell division .This results in gametes with an abnormal number of chromosomes, leading to individuals with monosomy or trisomy. In humans, nondisjunction disorders cause serious genetic diseases and may sometimes be fatal.

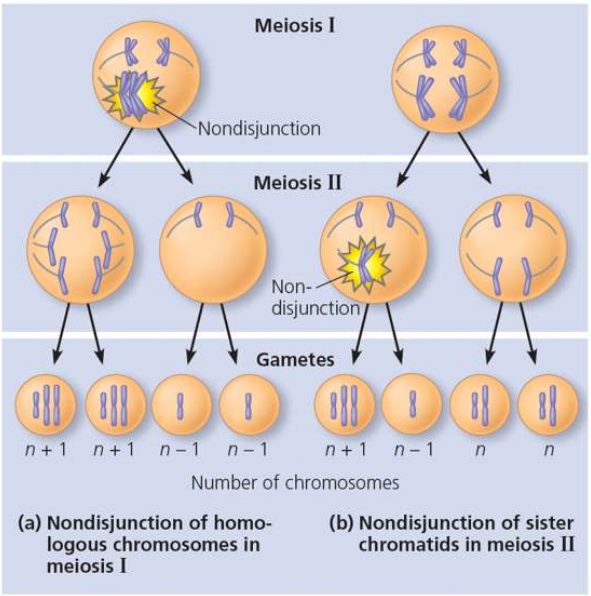


Figure 17 nondisjunction

A) Autosomal Nondisjunction:

Down Syndrome: Caused by an extra copy of chromosome 21, affecting both males and females. Symptoms: Distinct facial features, short stature, heart defects, and intellectual disability.

B) Sex Chromosome Nondisjunction:

Turner Syndrome (X): Affects females who have only one X chromosome. Klinefelter Syndrome (XXY): Affects males who possess two X chromosomes and one Y chromosome.

OY	XYY	XXY	XY	XXX	XO	XX
Lethal (causes death)	Normal or nearly normal male	Male with Klinefelter syndrome	Normal male	Nearly normal female	Female with Turner syndrome	Normal female

Genetic Material (DNA)

Structure of DNA

DNA is composed of structural units called nucleotides .Scientist Levene identified the basic structure of nucleotides as consisting of a pentose sugar, a phosphate group, and a nitrogenous base. Living cells contain two types of nucleic acids: DNA and RNA. The pentose sugar in DNA is deoxyribose. The nitrogenous bases in DNA are adenine (A), guanine (G), cytosine (C), and thymine (T). The pentose sugar in RNA is ribose. The nitrogenous bases in RNA are adenine (A), guanine (G),

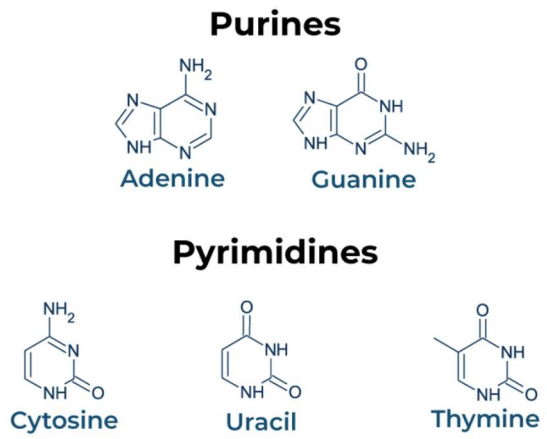


Figure 18 nitrogenous bases

cytosine (C), and uracil (U). Adenine and guanine are purine bases (double-ringed), while cytosine, thymine, and uracil are pyrimidine bases (single-ringed).

Erwin Chargaff

Discovered that the amount of cytosine (C) equals guanine (G), and the amount of adenine (A) equals thymine (T) — a relationship known as Chargaff's Rule.

Rosalind Franklin

Successfully captured an image of the DNA molecule by directing X-rays onto it, revealing that DNA has a twisted ladder-like (helical) structure.

James Watson and Francis Crick

After examining Franklin's X-ray image, Watson and Crick succeeded in building a model of the DNA molecule .DNA consists of two strands twisted around each other in a double helix, composed of alternating units of deoxyribose sugar and phosphate groups. Nitrogenous base pairs form the rungs of the helical ladder. Adenine (A) pairs with thymine (T) through two hydrogen bonds. Cytosine (C) pairs with guanine (G) through three hydrogen bonds.

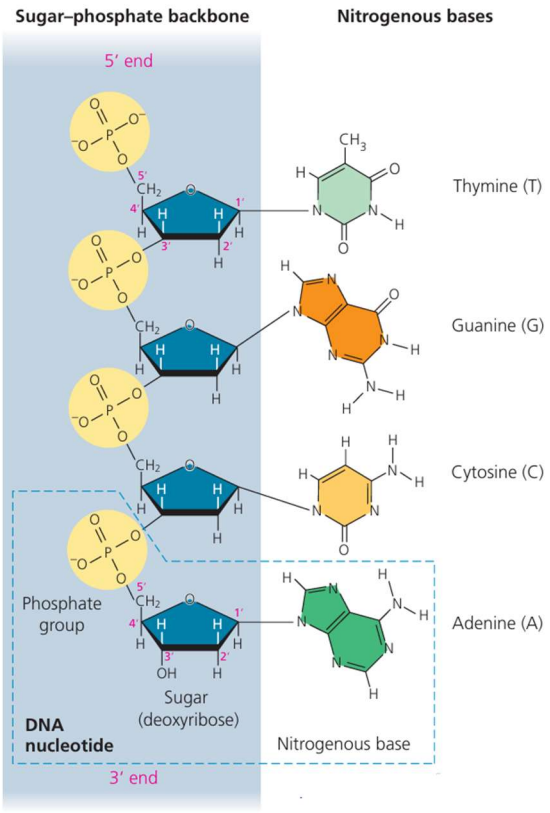


Figure 19 model of the DNA molecule

Forms of DNA:

The DNA molecule takes different forms depending on the type of organism:	
2. Double circular supercoiled strand	**1. Double linear strand**
• Found in most prokaryotic organisms such as bacteria. • Also present in some viruses.	• Found in most eukaryotic organisms. • The DNA is coiled into several helical turns.

Directionality

In nature, double-stranded DNA is always arranged in an antiparallel orientation: one strand runs in the 5' to 3' direction, while the other runs in the 3' to 5' direction. In addition to complementarity, this antiparallel structure is essential for the replication of DNA.

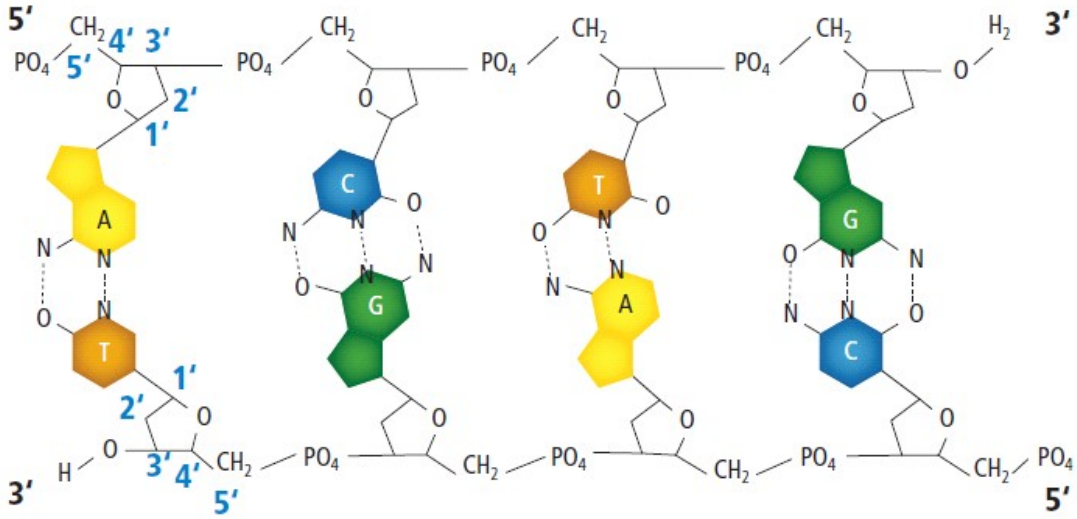
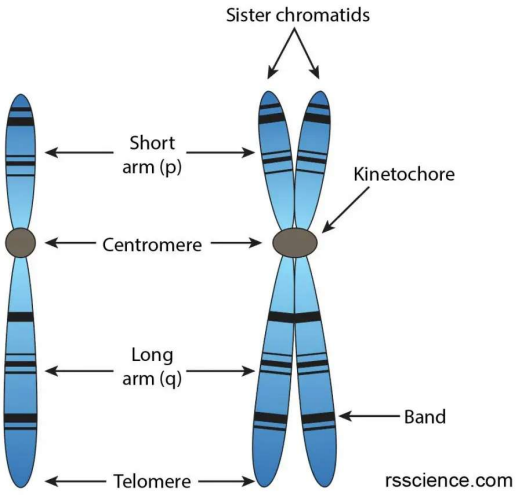


Figure 20 antiparallel orientation

Chromosome Structure

In eukaryotic organisms, the chromosome is composed of:

1. DNA
2. Nucleosome: a structural unit where DNA is wrapped around histone proteins.
3. Chromatin: a collection of nucleosome complexes.
4. Chromatid: a condensed fiber formed from coiled chromatin.



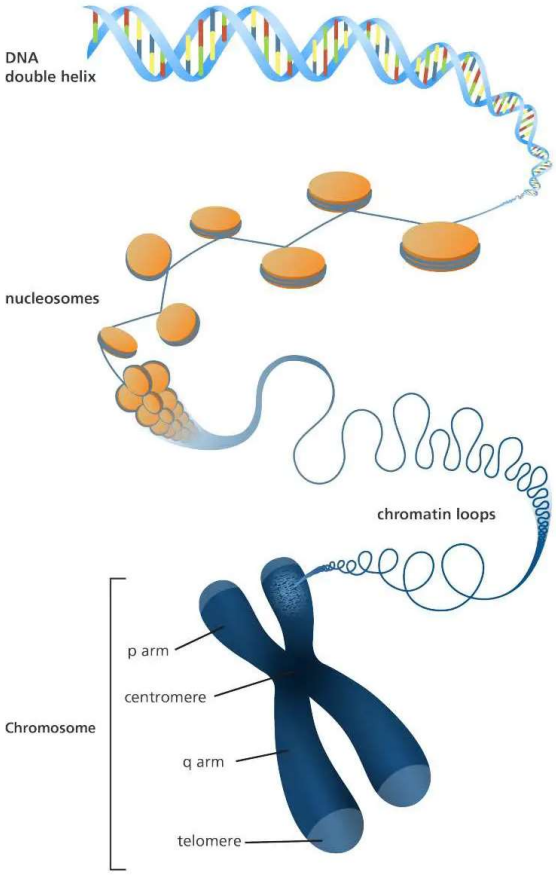


Figure 21 Chromosome Structure

Types of RNA

- rRNA (Ribosomal RNA): Constitutes about 80% of total RNA. It is synthesized in the nucleolus and becomes part of the ribosome, making up about 60% of its mass.
- mRNA (Messenger RNA): Represents about 1% of total RNA. It serves as a template for protein synthesis, being transcribed from DNA in the nucleus and translated into proteins in the cytoplasm (at the ribosomes).
- tRNA (Transfer RNA): Its function is to transport amino acids from the cytoplasm to the ribosomes during protein synthesis.

Comparison Between DNA and RNA

Comparison Aspect	DNA	RNA
Location	Nucleus	Formed in the nucleus and moves to the cytoplasm
Structure	Double-stranded polynucleotide chain	Single-stranded polynucleotide chain
Function	Carries genetic information	Protein synthesis
Stability	Exists in a stable form	Continuously broken down and rebuilt
Types	One type	Three types
Type of Sugar	Deoxyribose (deoxygenated sugar)	Ribose sugar
Nitrogenous Bases	Adenine (A) = Thymine (T), Guanine (G) = Cytosine (C)	Adenine (A) = Uracil (U), Guanine (G) = Cytosine (C)

Protein Synthesis

What is the relationship between a gene and a protein?

Genes determine the sequence and structure of amino acids in polypeptide chains, forming proteins, which are the final product of gene activity.

Thus, the traits and characteristics of an organism are defined by the type of proteins produced by its genes a process known as gene expression

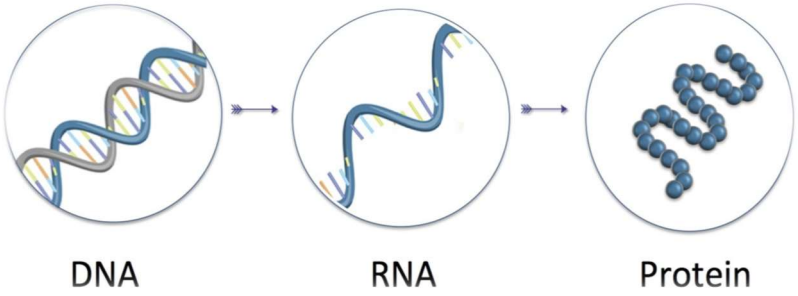


Figure 22 relationship between a gene and a protein

What is the basis on which proteins are built?

It is the genetic code:

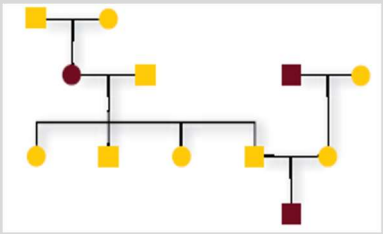
Genetic information is stored in DNA as codes, whose basic letters are the four nitrogenous bases: A, C, G, and T, known as codons. These codons are the basic units of a gene, each consisting of a sequence of three nitrogenous bases. Each genetic code (codon) corresponds to one amino acid, meaning that: 3 nitrogenous bases = 1 codon = 1 amino acid.

Exercises

1-When a black rabbit (Bb) is crossed with a white rabbit (bb), what is the expected phenotypic ratio of the offspring?	
A	0 black : 1 white
B	1 black : 0 white
C	1 black : 1 white
D	3 black : 1 white
2-Which of the following genotypes is heterozygous for both traits?	
A	Rrss
B	RrSs
C	RRSs
D	RRss
3-Which of the following concepts does not follow Mendel's Second Law (Law of Independent Assortment)?	
A	Genetic crossing-over
B	Linked genes
C	Polyploidy
D	Law of Independent Assortment
4-Genes located on the sex chromosomes are called:	
A	Sex-influenced
B	Sex-linked
C	Polygenic
D	Complex genes
5-Which of the following terms describes the inheritance of human blood groups?	
A	Incomplete dominance
B	Sex-linked traits
C	Multiple alleles
D	Co-dominance
6-If a child's blood type is O and the mother's blood type is A, the father's blood type cannot be:	
A	O
B	AB

C	A
D	B

7-What is the number of affected males and affected females in the pedigree chart?



A	1 male – 2 females
B	3 males – 1 female
C	1 male – 1 female
D	2 males – 1 female

8-The chromosomal composition of a girl with Down syndrome is:

A	45 + (XX)
B	45 + (XY)
C	44 + (XX)
D	44 + (XY)

9-Which of the following nitrogenous bases is not found in a DNA strand?

A	A
B	T
C	U
D	G

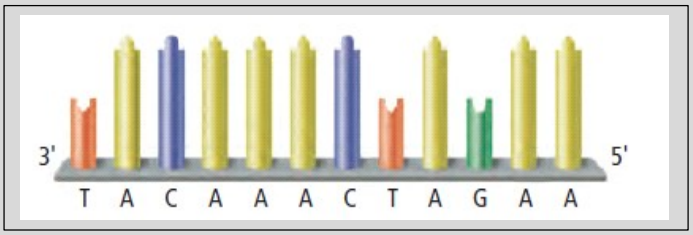
10-DNA and RNA share several characteristics, such as:

A	Found in both the cytoplasm and nucleus
B	Composed of double strands
C	Contain ribose sugar
D	Composed of nucleotides

11-A family has seven daughters. What is the probability that the next child will be a boy?

A	30%
B	50%
C	70%
D	90%

12-What is the sequence of bases in the mRNA strand that corresponds to the DNA strand shown in the figure?



A	5' ATGTTTGATCTT 3'
B	5' AUGUUUGAUCUU 3'
C	5' TACAAACTAGAA 3'
D	5' UACAAACUAGAA 3'

13-If the genotype of a plant is TtRR, what types of gametes will it produce

A	Tr, TR
B	RR, Tt
C	TR, tR
D	TR, Tr

14-When a curled-ear cat was crossed with a non-curled-ear cat, all offspring were non-curled. When these offspring were crossed among themselves, the phenotypic ratio was 3 non-curled : 1 curled.There fore, the curled-ear trait is:

A	Co-dominant
B	Dominant
C	Recessive
D	Incomplete

15-The number of possible genetic combinations resulting from independent assortment can be calculated using the equation:

A	2^n
B	4^n
C	6^n
D	8^n

Mock Exam

1. An anticodon nucleotide sequence of five successive tRNA's involved in protein synthesis was analyzed, yielding the following content:

A	G	C	T	U
40%	27%	13%	0%	20%

What is the correct corresponding sequence of the code on the original DNA template?

	A	G	C	T	U
a	20%	13%	27%	40%	0%
b	40%	27%	13%	20%	0%
c	60%	27%	13%	0%	0%
d	20%	13%	27%	0%	40%

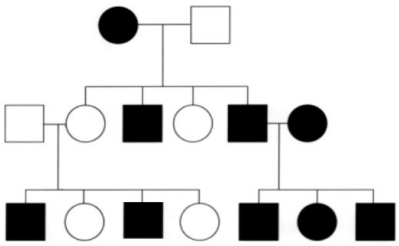
2. In humans, red-green color-blindness is controlled by a gene on the X chromosome. A man and woman with normal color vision marry. Both of their fathers were color-blind. What is the probability that their first child will be color-blind?

A	0
B	1/2
C	1/3
D	1/4

3. In mice, black hair (B) shows complete dominance over white hair (b), and long hair (L) shows complete dominance over short hair (l). Which of the following crosses would produce all possible genotypes and phenotypes?

A	BbLl x BBLL
B	BBll x BbLl
C	BbLl x bbll
D	BBLL x bbLl

4. The breed diagram below shows the occurrence of an extremely rare genetic disease in a family of more than three generations. Based on the phylogeny, what type of characteristic is this disease likely?



A	Autosomal Recessive
B	X-Linked Recessive
C	Y-Linked Recessive
D	Autosomal Dominant

5. Two fruit flies with the genotypes AABbCc and aaBBCc are crossed. Which of the following genotypes is most likely to occur in the offspring?

A	AaBBcc
B	AAbbCc
C	AaBBCC
D	AaBbCc

Answer Key for the Exercises

1	2	3	4	5
C	B	B	B	C

6	7	8	9	10
B	D	A	C	D

11	12	13	14	15
B	B	C	C	A

Answer Key for the Mock Exam

1	A
2	D
3	C
4	B
5	D

References

1-Mendel, G. (1866). Experiments on Plant Hybridization. Proceedings of the Natural History Society of Brünn.

2-Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953). Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. Nature, 171(4356), 737–738.

3-Chargaff, E. (1950). Chemical Specificity of Nucleic Acids and Mechanism of Their Enzymatic Degradation. Journal of Biological Chemistry, 192, 223–230.

4-Franklin, R., & Gosling, R. G. (1953). Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate. Nature, 171(4356), 740–741.

5-Mawhiba – The King Abdulaziz and His Companions Foundation for Giftedness and Creativity (KSA). Biology Training Materials and Curriculum Frameworks for Gifted Students.

6-Saudi Ministry of Education (MOE). General Biology Curriculum Standards – Biology 2-2 and Competition Guidelines.

7-Campbell, N. A., Reece, J. B., et al. (2018). Biology (11th Edition). Pearson Education.

8-Raven, P. H., Johnson, G. B., et al. (2017). Biology (11th Edition). McGraw-Hill Education.

9-IBO (International Biology Olympiad) Committee. Syllabus and Official Training Resources.

10-Gentics Handbook (2024 Edition) developed by Mohammed Almarzoq, incorporating Olympiad-style genetics and molecular biology modules aligned with Saudi gifted education and Biology 2-2 curriculum standards.

وزارة التعليم
Ministry of Education

موهبة
Mawhiba

نسمو
NSMO

Chemistry

أولمبياد العلوم والرياضيات الوطني

فهرس الموضوعات

م	الموضوع	المكونات	الصفحات
1	سرعة التفاعل الكيميائي Reaction Rates	• الكيمياء الحركية وميكانيكية التفاعلات Kinetics and Reaction Mechanisms • نظرية التصادم Collision theory • العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي Factors Affecting the Rate of Chemical Reaction • قوانين سرعة التفاعل الكيميائي Reaction Rate Laws	3-21
2	الاتزان الكيميائي Chemical Equilibrium	• مفهوم الاتزان The Concept of Equilibrium • حاصل التفاعل وثابت الاتزان The Reaction Quotient and the Equilibrium Constant • التعبير عن الاتزان باستخدام الضغط: العلاقة بين Kc و Kp Expressing Equilibrium with Pressure Terms: Relation Between Kc and Kp • مقارنة Q و K للتنبؤ باتجاه التفاعل Comparing Q and K to Predict Reaction Direction • كيفية حل مسائل الاتزان How to Solve Equilibrium Problems • مبدأ لو شاتلييه Le Châtelet's Principle	22-46
3	الحموض والقواعد والأملاح Acids, Bases, and Salts	• مفاهيم الحموض والقواعد Acid and Base Concepts • قوة الحموض والقواعد Acid and Base Strength • الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH للمحاليل The pH and pOH of Solutions • اتزانات حمض– قاعدة Acid–Base Equilibria • تميُّؤ الأملاح Salt Hydrolysis • المحاليل المنظمة Buffers • منحنيات المعايرة الحمضية – القاعدية Acid–Base Titration Curves • ثابت حاصل الذائبية (Ksp) Solubility-product constant (Ksp)	47-70
4	التجارب العملية Practical experiments	• تجربة تحليل الخل التجاري Analysis of Commercial Vinegar experiment • تجربة التعرّف النوعي على محاليل مجهولة Qualitative Identification of Unknown Solutions experiment	71-79

07 Reaction Rates سرعة التفاعل الكيميائي

Kinetics and Reaction Mechanisms الكيمياء الحركية وميكانيكية التفاعلات

• **الكيمياء الحركية :** هي فرع من فروع الكيمياء الفيزيائية وهي العلم الذي يختص بدراسة سرعة التفاعلات الكيميائية والعوامل المؤثرة فيها وآلية حدوث هذه التفاعلات.

• **Kinetic chemistry:** It is a branch of physical chemistry, which is the science that specializes in studying the speed of chemical reactions, the factors affecting them, and the mechanism of these reactions.

• **ما الفرق بين كيمياء الثيرموديناميك والكيمياء الحركية؟**

-كيمياء الثيرموديناميك تهتم بدراسة الطاقة وتحولاتها في أي تفاعل كيميائي، وبدراسة ما إذا كان التفاعل يحدث أم لا كما أنها تهتم بالحالة الابتدائية والنهائية للنظام.

- بينما الكيمياء الحركية تهتم بدراسة سرعة حدوث التفاعلات الكيميائية، ودراسة الآلية التي تتحول فيها المتفاعلات إلى نواتج والزمن اللازم لهذا التحول.

What is the difference between thermodynamic chemistry and kinetic chemistry?

-Thermodynamic chemistry is concerned with the study of energy and its transformations in any chemical reaction, and with the study of whether the reaction occurs or not, and it is concerned with the initial and final state of the system.

- Kinetic chemistry is concerned with the study of the speed of chemical reactions, the mechanism by which reactants are transformed into products and the time required for this transformation.

سرعة التفاعل الكيميائي

من المعلوم أن كل التغيرات من حولنا سواء كانت كيميائية أو فيزيائية تحتاج إلى زمن لحدوثها، قد يحدث هذا التغير خلال فترة زمنية قصيرة جداً وقد يتم خلال فترة زمنية طويلة جداً.

يمكن التحكم في زمن هذه التغيرات عن طريق التحكم في سرعة التفاعل، فعند زيادة سرعة التفاعل فإن الزمن اللازم لحدوث التغير (التفاعل) سوف يقل والعكس صحيح.

Reaction Rates

It is known that all changes around us, whether chemical or physical, require time to occur. A change may take place over a very short period of time, or it may take place over a very long period of time.

The time required for these changes can be controlled by controlling the reaction rate. As the reaction rate increases, the time required for the change to occur decreases, and vice versa.

كمثال تفسد بعض الأطعمة بسرعة بسبب التفاعلات الكيميائية التي تحدثها البكتيريا، وتبريد هذه الأطعمة عند درجات حرارة منخفضة يبطئ من سرعة هذه التفاعلات وبالتالي تبقى صالحة للأكل لفترة زمنية أطول.

For example, some foods spoil quickly due to chemical reactions caused by bacteria, and cooling these foods at low temperatures slows down the speed of these reactions and thus remains edible for a longer period.

استنتج/ في المثال السابق أعلاه هناك عامل مهم من العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل الكيميائي، ما هو هذا العامل؟

Deduce/ In the previous example above, there is an important factor affecting the speed of a chemical reaction, what is this factor?

معدل سرعة التفاعل الكيميائي:

هو معدل التغير في كميات (تركيز) المواد المتفاعلة أو الناتجة بالنسبة للزمن.

أو معدل الزيادة في تركيز الناتج بالنسبة للزمن.

أو معدل النقص في تركيز المواد المتفاعلة بالنسبة للزمن.

Rate of Chemical Reaction Speed:

It is the rate of change in the amounts (concentration) of the reactants or produced in relation to time.

or The rate of increase in the concentration of the output relative to time.

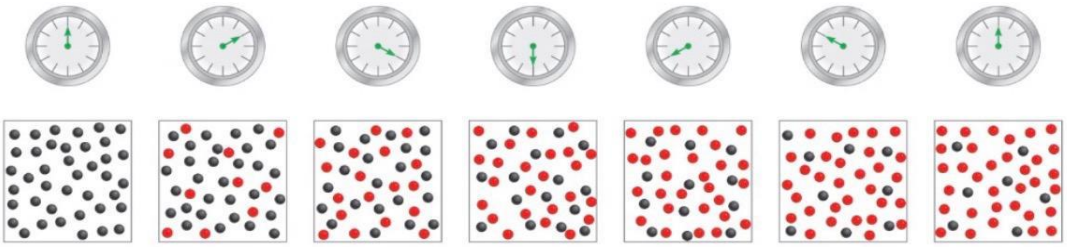
or The rate of decrease of reactants' amount relative to time.

$$\text{المعدل} = \frac{\text{التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة}}{\text{التغير في الزمن}}$$

$$\text{Rate} = -\frac{\Delta[\text{Reactant}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{Product}]}{\Delta t}$$

عملياً يمكن قياس سرعة التفاعل بقياس معدل اختفاء مادة متفاعلة أو معدل تكوين مادة ناتجة وذلك باعتبار قانون حفظ المادة فإن زيادة تركيز النواتج يعني نقص تركيز المتفاعلات.

In practice, the speed of the reaction can be measured by measuring the rate of disappearance of a reactant or the rate of formation of a resulting substance, as the law of conservation of matter means an increase in the concentration of the products means a decrease in the concentration of the reactants.

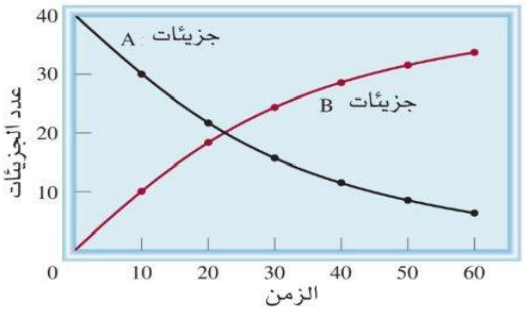


الشكل 1-7: سير التفاعل A→ B تم ملاحظته مدة 60 ثانية، وكانت المتابعة له كل 10 ثوان. في البداية كانت هناك جزيئات A (الكرات الرمادية). ومع مرور الوقت بدات جزيئات B (الكرات الحمراء) تتكون

Figure 7-1: The course of the A→ B reaction was observed for 60 seconds, followed every 10 seconds. At first, there were A molecules (gray balls). Over time, B molecules (red balls) began to form

الشكل 2-7: سرعة التفاعل A→ B ، تم تمثيلها بأنه الانخفاض في عدد جزيئات A بالنسبة إلى الزمن، وزيادة عدد جزيئات B مع الزمن

Figure 7-2 : The rate of the Aà B reaction , represented as the decrease in the number of A molecules over time, and the increase in the number of B molecules over time



من الرسوم السابقة يمكننا التعبير عن سرعة التفاعل إما

From the above figures we can express the speed of the reaction either

$$Rate = \frac{\Delta[B]}{\Delta t} \quad Or \quad Rate = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

الإشارة السالبة في القانون أعلاه تعني أن تركيز المواد المتفاعلة يتناقص مع مرور الزمن

بينما الإشارة الموجبة تعني أن تركيز النواتج يتزايد مع مرور الزمن.

A negative signal in the above law means that the concentration of the reactants decreases over time

A positive signal means that the concentration of output increases over time.

في التفاعل التالي:

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

$$Rate = -\frac{1}{a}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d}\frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

وحدة سرعة التفاعل هي (وحدة تركيز)/(وحدة زمن):

The unit of reaction speed is (unit of concentration) / (unit of time)

mol/ L.s

سرعة تكوين النواتج وسرعة اختفاء المتفاعلات تعتمد على المولات الداخلة بالتفاعل لذا لابد من أخذ عدد المولات بالاعتبار عند حساب سرعة التفاعل كما في القانون أعلاه.

The speed of product formation and the speed of disappearance of reactants depend on the moles involved in the reaction, so the number of moles must be considered when calculating the speed of the reaction as in the above law.

Example 7-1 **مثال 7-1**

اكتب تعبيرات التفاعلات الآتية:

Write down the expressions of the following reactions:

A) $I^-_{(aq)} + OCl^-_{(aq)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + OI^-_{(aq)}$

B) $3O_{2\,(g)} \rightarrow 2O_{3\,(g)}$

الحل:

A) $Rate = -\frac{\Delta[I^-]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[OCl^-]}{\Delta t} = \frac{\Delta[Cl^-]}{\Delta t} = \frac{\Delta[OI^-]}{\Delta t}$

B) $Rate = -\frac{1}{3}\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[O_3]}{\Delta t}$

Example 7-2 **مثال 7 -2**

لديك التفاعل التالي:

Consider the following reaction:

$$S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} + 3I^-_{(aq)} \rightarrow 2SO_4^{2-}{}_{(aq)} + I_3^-{}_{(aq)}$$

تم تحضير محلول مائي يحتوي على 0.050 M من أيونات $S_2O_8^{2-}{}_{(aq)}$ و 0.072 M من أيونات $I^-_{(aq)}$، وتم مراقبة التفاعل عن طريق قياس $[I^-]$. البيانات التي تم الحصول عليها مدَونة في الجدول أدناه.

An aqueous solution containing 0.050 M of $S_2O_8^{2-}{}_{(aq)}$ ion and 0.072 M of $I^-_{(aq)}$ is prepared, and the progress of the reaction followed by measuring $[I^-]$. The data obtained is given in the table below.

Time الزمن (s)	0	400	800	1200	1600
$[I^-]$ (M)	0.072	0.057	0.046	0.037	0.029

احسب تركيز أيونات $S_2O_8^{2-}{}_{(aq)}$ المتبقية عند الزمن 800 s .

Calculate the concentration of $S_2O_8^{2-}{}_{(aq)}$ remaining at 800 s.

الحل

$S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} + 3I^-_{(aq)} \rightarrow 2SO_4^{2-}{}_{(aq)} + I_3^-{}_{(aq)}$

t=0 0.050 0.072

t=800 ? M 0.046

$\Delta[I^-] = 0.046 - 0.072 = -0.026$ M reacted

$\Delta[S_2O_8^{2-}] = 1/3\ (-0.026) = -0.00867$ M reacted

$[S_2O_8^{2-}] = 0.050 - 0.00867 = 0.041$ M

Collision theory نظرية التصادم

فروض نظرية التصادم:

- يجب أن تتصادم الذرات والأيونات والجزيئات (المواد المتفاعلة) بعضها ببعض لكي يتم التفاعل
- ليس من الضروري أن يؤدي كل تصادم إلى حدوث تفاعل.

Assumptions of collision theory:

- Atoms, ions, and molecules (reactants) must collide with each other in order for the reaction to take place.
- Not every collision has to trigger a reaction.

لكي يكون التصادم فعال لابد من تحقيق شرطين أساسيين:

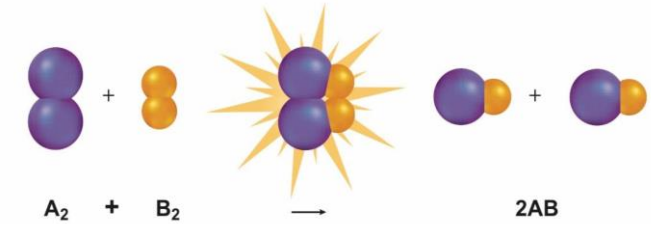
1- أن تتصادم المتفاعلات في الاتجاه الصحيح

2- أن تتصادم المتفاعلات بطاقة كافية لتكوين المعقد المنشط.

For a collision to be effective, two basic conditions must be met:

1- The reactants collide in the right direction

2- The reactants collide with sufficient energy to form the activated complex.

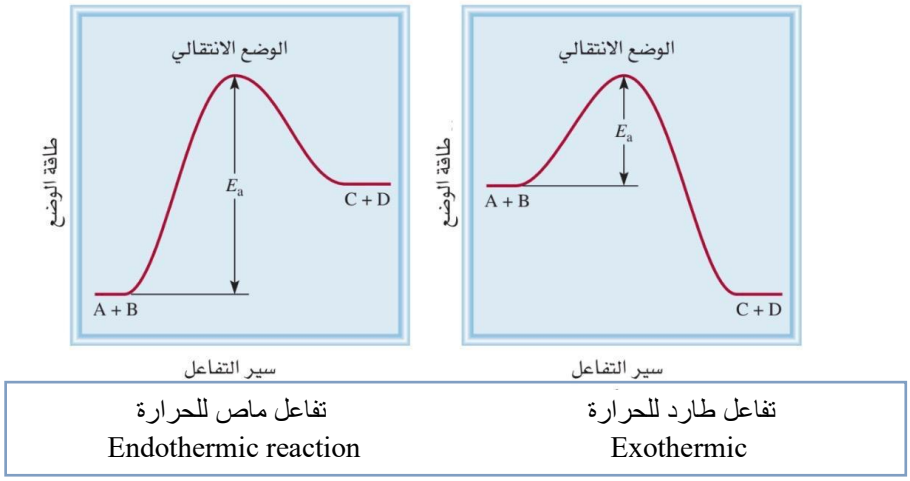


الشكل 7-3: يجب أن تتصادم الجسيمات بالاتجاه الصحيح وبكمية كافية من الطاقة لكي يحث التفاعل

Figure 7-3: The particles must collide in the right direction and with enough energy to induce the reaction

طاقة التنشيط E_a: الحد الأدنى من الطاقة لدى الجزيئات المتفاعلة واللازم لتكوين المعقد المنشط وإحداث التفاعل.

Activation energy E_a: The minimum energy of the reacting molecules needed to form the activated complex and cause the reaction.



الشكل 7-4: طاقة التنشيط ودورها في تحديد سرعة التفاعل

Figure 7-4: Activation energy and its role in determining reaction rate

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

Factors Affecting the Rate of Chemical Reactions

• تختلف التفاعلات من حيث سرعاتها فمنها السريع كتفاعل الصوديوم مع الماء، ومنها الأسرع كالانفجارات، ومنها البطيء كصدأ الحديد ومنها الأبطأ كتكون البترول.

Reactions vary in terms of their speeds, some are fast such as the reaction of sodium with water, some are faster such as explosions, some are slow such as iron rust, and some are slower such as the formation of petroleum.

• فإذا كان لدينا تفاعل بطيء فهل يمكن زيادة سرعته والحصول على النتائج في فترة زمنية قصيرة؟

الجواب هو: نعم، يمكن التحكم في سرعة التفاعل بشرط دراسة العوامل المؤثرة على سرعته.

If we have a slow reaction, can we speed it up and get results in a short period of time?

The answer is: Yes, the speed of a reaction can be controlled provided that the factors affecting its speed are considered.

إن دراسة العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل تساعد في الحصول على النتائج في فترة زمنية قصيرة وبأقل كلفة، كما وتصنف العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل إلى عوامل ذات أثر إيجابي وعوامل ذات أثر سلبي.

Studying the factors affecting the speed of the reaction helps to obtain the results in a short period of time and at the lowest cost, and the factors affecting the speed of the reaction are classified into factors with a positive effect and factors with a negative effect.

العوامل ذات الأثر الإيجابي هي العوامل ذات الأثر المرغوب فيه، فمثلاً الصناعات البتروكيميائية لها أهمية كبيرة في حياتنا، لذا يجب الاهتمام والبحث عن العوامل التي تزيد من سرعة هذه التفاعلات للتقليل من التكاليف ولزيادة الإنتاج.

For example, the petrochemical industry is of great importance in our lives, so we should pay attention to and look for factors that increase the speed of these reactions to reduce costs and increase production.

بينما العوامل ذات الأثر السلبي هي العوامل ذات الأثر غير المرغوب فيه، فمثلاً الأطعمة إذا تركت فإنها تفسد بسبب نمو البكتيريا والفطريات، لذا يجب البحث عن العوامل التي تقلل من سرعة التفاعلات وبالتالي تقاوم فساد الأطعمة، كذلك الحديد إذا ترك في الهواء المحتوي على الأكسجين وبخار الماء فإنه سيتأكسد. يعتبر التآكل (تفاعل الأكسجين مع المعادن) من العوامل ذات الأثر السلبي لأنه يسبب تلفاً للجسور والآلات المصنوعة من المعادن مما يسبب خسارة كبيرة لكثير من المدن الصناعية لهذا يجب البحث عن العوامل التي تقاوم أو توقف التآكل.

For example, if food is left in the air, it spoils due to the growth of bacteria and fungi, so it is necessary to look for factors that reduce the speed of reactions and

thus resist the spoilage of foods, as well as iron if left in the air containing oxygen and water vapor, it will oxidize. Corrosion (the reaction of oxygen with metals) is one of the factors with a negative effect because it causes damage to bridges and machinery made of metals, causing a great loss of many Industrial cities for this should look for factors that resist or stop erosion.

العوامل المؤثرة على سرعة التفاعلات الكيميائية

يمكن تلخيص أهم العوامل المؤثرة على سرعة التفاعلات الكيميائية والمتحكمة فيه على النحو التالي:

1- طبيعة المواد المتفاعلة.

2- تركيز المواد المتفاعلة.

3- درجة الحرارة.

4- وجود العامل المُحفِّز.

Factors Affecting the Rate of Chemical Reactions

• The most important factors affecting and controlling the speed of chemical reactions can be summarized as follows:

1. The nature of the reactants.

2- Concentration of reactants.

3- Temperature.

4- The presence of the motivating factor.

أولاً: طبيعة المواد المتفاعلة

تؤثر طبيعة المواد المتفاعلة تأثيراً واضحاً في سرعة التفاعل وذلك بسبب عدد من العوامل من أهمها:

First: The Nature of the Reactants

The nature of the reactants has a clear effect on the speed of the reaction due to several factors, the most important of which are:

أ) طبيعة المادة نفسها (الطبيعة الكيميائية للمادة)

لكل مادة تركيبها الكيميائي الخاص الذي يكسبها صفات كيميائية خاصة حيث تعتمد قابلية المادة الكيميائية للتفاعل على نشاطها الكيميائي وهذا النشاط محكوم بقابليتها لتكوين روابط كيميائية وهذا هو العامل الكبير الذي يحدد سرعة التفاعل.

• تفاعل الأيونات أسرع من الذرات وتفاعل الذرات أسرع من الجزيئات.

• تفاعل الجزيئات والأيونات قليلة الروابط أسرع من الجزيئات والأيونات كثيرة الروابط.

a) The nature of the substance itself (the chemical nature of the substance)

Each substance has its own chemical composition that gives it special chemical properties, as the susceptibility of the chemical to react depends on its chemical activity, and this activity is controlled by its ability to form chemical bonds, and this is the big factor that determines the speed of the reaction.

• Ions react faster than atoms and atoms react faster than molecules.

• Molecules and ions with fewer bonds react faster than molecules and multi-bonded ions.

Example 7-3 **مثال 7-3**

اختزال أيونات البرمنجنات (MnO_4^-) بواسطة أيونات الحديدوز في الوسط الحامضي.

Reduction of permanganate ions (MnO4) by ferrous ions in the acidic medium.

$$5Fe^{+2} + MnO^-_4 + 8H^+ \rightarrow 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O$$

يتم التفاعل بسرعة ويلاحظ ذلك من اختفاء لون البرمنجنات، اختزال نفس الأيونات بواسطة حمض الأكساليك في الوسط الحامضي.

The reaction takes place quickly and is observed by the disappearance of the color of the permanganates, the reduction of the same ions by oxalic acid in the acidic medium.

$$5H_2C_2O_4 + 2MnO^-_4 + 6H^+ \rightarrow 8H_2O + 10CO_2 + 2Mn^{+2}$$

يتم التفاعل ببطء Reaction is slow

استنتج/ ما اختلاف سرعة التفاعل لنفس المادة رغم أن الوسط حمضي في المعادلتين؟

Deduce/What is the reason for the difference in the reaction rate of the same substance, even though the medium is acidic in the two equations?

ب) وسط التفاعل

حيث إن أغلب التفاعلات الكيميائية تتم بين مادتين أو أكثر، ولكي يحدث تفاعل لابد لجزيئات وأيونات هذه المواد من التصادم مع بعضها البعض، ولا ننسى أن هناك ثلاثة أطوار يمكن أن تكون عليها المادة هي (الصلبة - السائلة - الغازية).

b) Reaction medium

Most chemical reactions take place between two or more substances, and for a reaction to occur, the molecules and ions of these substances must collide with each other, and we do not forget that there are three phases that matter can have (solid, liquid, and gaseous).

• عندما تكون المواد الداخلة في التفاعل موجودة في طور واحد سمي هذا التفاعل بالتفاعل المتجانس.

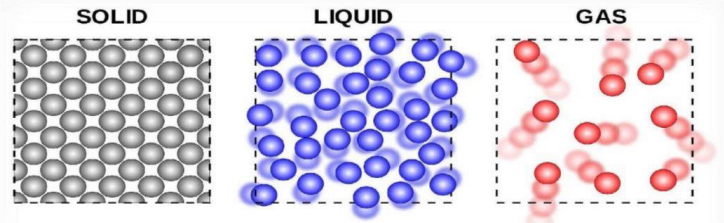
• أما إذا كانت تلك المواد موجودة في أكثر من طور فيسمى التفاعل بالتفاعل غير المتجانس.

• التفاعلات في الطور الغازي غالبا ما تكون أسرع من السائل والسائل أسرع من الصلب.

• When the materials involved in the reaction are present in a single phase, this reaction is called a Homogeneous Reaction

• If these substances are present in more than one phase, the reaction is called a Heterogeneous Reaction

• Reactions in the gaseous phase are often faster than liquid and liquid faster than solid.

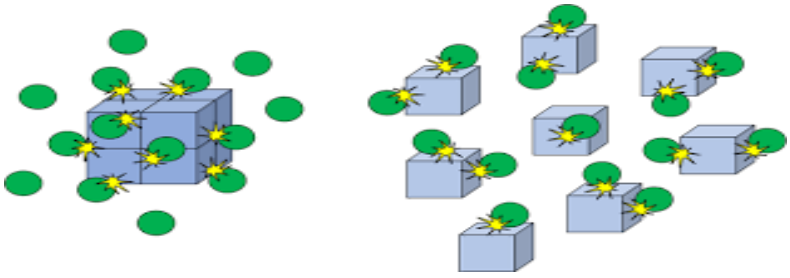


ج) مساحة سطح المادة في حالة كونها صلبة تلعب دوراً مهما في تحديد سرعة التفاعل، حيث أن المواد الصلبة الموجودة على شكل كتل كبيرة تتفاعل بصورة أبطأ مما إذا كانت هذه المواد على شكل بودرة أو مسحوق.

c) Surface area of the material in case of being solid plays an important role in determining the speed of the reaction, as solids in the form of large masses react more slowly than if they were in the form of powder or crushed material.

• من الأمثلة على ذلك: برادة الحديد تصدأ بتفاعلها مع الأكسجين بصورة أسرع من قضيب الحديد إذا تساوت كتلتيهما والسبب في ذلك أن الحديد عند تحويله إلى برادة (مسحوق) فإن مساحة سطحه تزداد وبالتالي يزداد الجزء الذي يشترك في حدوث التفاعل الكيميائي، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي.

• An example of this is that iron filings rust faster than oxygen reaction than iron rods if their two masses are equal, and the reason for this is that when iron is converted into filings (crushed material or powder), its surface area increases, and thus the part that participates in the chemical reaction increases, which leads to an increase in the speed of the chemical reaction.



ثانيًا: تركيز المواد المتفاعلة

• تعتمد سرعة التفاعل بشكل رئيسي على تراكيز المواد المتفاعلة حيث إن العلاقة بينهما علاقة طردية.

• عند بداية التفاعل تكون سرعة التفاعل كبيرة وذلك لأن تركيز المواد المتفاعلة يكون عاليا وبمرور الوقت يقل تركيز المواد المتفاعلة وتنخفض معه سرعة التفاعل.

Second: Concentration of Reactants

• The speed of the reaction depends mainly on the concentrations of the reactants as the relationship between them is direct.

• At the beginning of the reaction, the speed of the reaction is high, because the concentration of the reactants is high, and over time, the concentration of the reactants decreases, and the speed of the reaction decreases.

كلما زاد التركيز ← زاد عدد الجزيئات ← زادت عدد التصادمات ← زادت سرعة التفاعل.

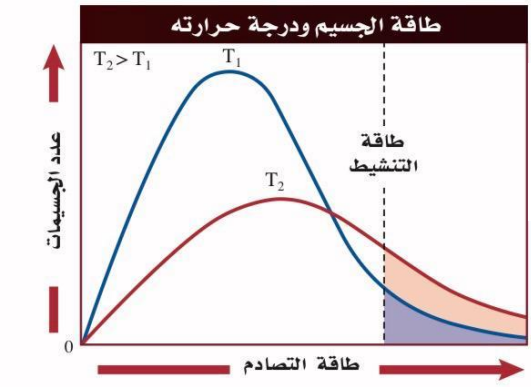
The higher the concentration→ the more molecules→ the higher the number of collisions→ the faster the reaction.

ثالثًا: درجة الحرارة

غالبًا تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة سرعة التفاعل؛ لأن ارتفاع الحرارة يرفع الطاقة الحركية للجسيمات، فيزداد معدل التصادمات، والأهم أنّه يزيد نسبة التصادمات الفعّالة التي تمتلك طاقة كافية لتجاوز طاقة التنشيط (E_a)، فتزداد سرعة التفاعل.

Third: Temperature

Increasing temperature often increases the reaction rate because a higher temperature raises the particles' kinetic energy, which increases the collision frequency and, more importantly, increases the fraction of effective collisions that have enough energy to overcome the activation energy (E_a) thereby speeding up the reaction.



الشكل 5-7: تأثير درجة الحرارة على خفض طاقة التنشيط وتسريع التفاعل

Figure 7-5: Effect of temperature on reducing activation energy and accelerating the reaction

Example 7-4 **مثال 7-4**

تتضاعف سرعة تفاعل معين مع كل ارتفاع في درجة الحرارة بمقدار 10 °C.
(a) ما مدى سرعة التفاعل عند درجة حرارة 45 °C مقارنةً بدرجة حرارة 25 °C ؟
(b) ما مدى سرعة التفاعل عند درجة حرارة 95 °C مقارنةً بدرجة حرارة 25 °C ؟

The rate of a certain reaction doubles for every 10 °C rise in temperature.
(a) How much faster does the reaction proceed at 45 °C than at 25 °C?
(b) How much faster does the reaction proceed at 95 °C than at 25 °C?

الحل

Rate 1 = initial rate × 2 for 10 °C
(a) $\Delta t = 45\text{-}25 = 20$, $n = 20/10 = 2$ $Rate2 = \text{initial rate} \times 2^2 = 4$ initial rate for 20°C
(b) $n = 70/10 = 7$ $Rate3 = \text{initial rate} \times 2^7 = 128$ initial rate for 70 °C
(a) 4-times faster and (b) 128-times faster
(a) أسرع بـ 4 مرات و (b) أسرع بـ 128 مرة

رابعًا: المحفزات والمثبطات

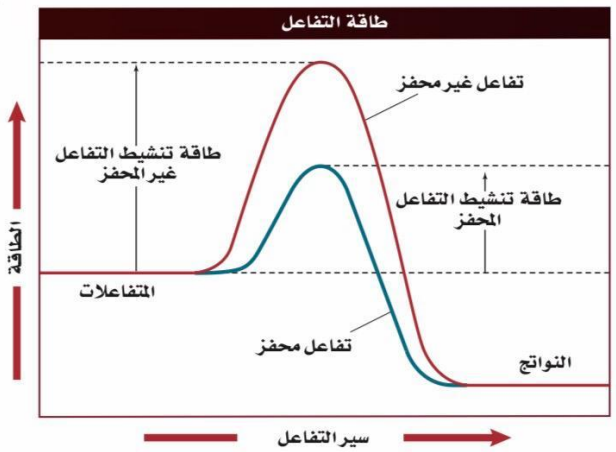
العامل المُحفِّز عبارة عن مادة لها خاصية تنشيط التفاعل الكيميائي وزيادة سرعته دون أن تتغير كيميائيًا، يعمل المُحفِّز على خفض طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل مما يزيد من سرعة التفاعل.

أما العامل المثبط فهو عكسه تمامًا ؛ حيث يبطئ من سرعة التفاعل الكيميائي من خلال رفع طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل.

Fourth: Catalysts and Inhibitors

A catalyst is a substance that has the property of activating a chemical reaction and increasing its speed without changing chemically, the catalyst works to reduce the activation energy needed for the reaction to occur, which increases the speed of the reaction.

The inhibitory agent is the exact opposite, slowing down the speed of the chemical reaction by raising the activation energy needed for the reaction to occur.



الشكل 7-6: تأثير المحفز على خفض طاقة التنشيط وتسريع التفاعل

Figure 7-6: Catalyst effect on reducing activation energy and accelerating the reaction

Reaction Rate Laws قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

لتحديد العلاقة بين التركيز وسرعة التفاعل الكيميائي بصورة دقيقة لا بد من إيجاد العلاقة الرياضية التي تربط بينهما وهو ما يسمى بقانون سرعة التفاعل.

To accurately determine the relationship between concentration and chemical reaction velocity, it is necessary to find the mathematical relationship that connects them, which is called the Reaction Rate law.

aA→Products نواتج

RαA $R = k[A]^n$

n: Reaction order رتبة التفاعل

k: Rate constant ثابت سرعة التفاعل

رتبة التفاعل n = عدد صحيح أو كسري

Reaction order n = integer or fractional number

رتبة التفاعل ليس لها علاقة بالمعامل في المعادلة الكيميائية (ليس هناك علاقة بين a و n)

The reaction order has nothing to do with the coefficient in the chemical equation (n and a have no relationship between)

$R = k[A]^0$ n= 0 $R=k$ Zero order reaction تفاعل من الرتبة الصفرية

$R = k[A]^1$ n= 1 $R=k[A]$ First order reaction تفاعل من الرتبة الأولى

$R = k[A]^2$ n= 2 $R=k[A]^2$ Second order reaction تفاعل من الرتبة الثانية

If there is more than one reactant: **إذا كان هناك أكثر من مادة متفاعلة:**

aA + bB+……→Products نواتج

$R = k[A]^n [B]^m$

Overall reaction Order رتبة التفاعل الكلية = n+m

لثابت سرعة التفاعل k قيمة عددية ثابتة ومحددة لكل تفاعل؛ لا يتغير مع التركيز، ولكن يتغير بتغير درجة الحرارة، والقيمة الكبيرة له تعني أن Aيتفاعل بسرعة لتكوين النواتج، كما أن له وحدات قياس مختلفة مثل:

The constant of the speed of the reaction *k* has a fixed and specific numerical value for each reaction, it does not change with the concentration but changes with the change in temperature, and its large value means that A reacts quickly to form the products, and it also has different units of measurement such as:

s^{-1} , L/mol.s , $L^2/mol^2.s$

ويجب تحديد قانون سرعة التفاعل تجريبيًا.

The law of reaction velocity must be determined experimentally.

العلاقة بين تركيز المواد المتفاعلة وسرعة التفاعل ليست بالعلاقة السهلة حيث تؤدي الزيادة في تركيز إحدى المواد المتفاعلة إلى زيادة سرعة التفاعل وقد تؤدي إلى نقصانها كما في التفاعلات العكسية وقد لا يحدث أي تغيير في السرعة وأحياناً قد تؤدي إلى تسمم التفاعل ولاسيما في التفاعلات غير المتجانسة.

The relationship between the concentration of reactants and the speed of the reaction is not an easy one, as an increase in the concentration of a reactant leads to an increase in the speed of the reaction and may lead to a decrease in it, as in reverse reactions, and there may be no change in the speed and sometimes it may lead to poisoning of the reaction, especially in heterogeneous reactions.

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

$$R = k[A]^n [B]^m$$

تعتمد سرعة التفاعل على التركيز لكل مادة من المواد المشتركة في التفاعل بحيث يكون كل تركيز مرفوعاً إلى قوة يمكن تعيينها بالتجربة.

The speed of the reaction depends on the concentration of each of the materials involved in the reaction so that each concentration is raised to a power that can be set by experiment.

n,m عبارة عن أعداد مجردة ممكن أن تأخذ قيماً موجبة أو سالبة أو كسرية أو صفرية وتعرف بالرتب الجزئية.

n,m are abstract numbers that can take positive, negative, fractional, or zero values and are known as partial orders.

Example 7-5 **مثال 7-5**

$$N_2O_{5(g)} \rightarrow 2\ NO_{2\ (g)} + \tfrac{1}{2}\ O_{2\ (g)}$$

$R = k \cdot [N_2O_5]^n$

$R = k \cdot [N_2O_5]$

First order reaction تفاعل من الرتبة الأولى

Example 7-6 **مثال 7-6**

$$C_2H_{6\ (g)} \rightarrow 2\ CH_{3(g)}$$

$R = k \cdot [C_2H_6]^n$

$R = k \cdot [C_2H_6]^2$

Second order reaction تفاعل من الرتبة الثانية

لا يمكن التنبؤ بقانون سرعة التفاعل بمجرد النظر للمعادلة الكيميائية الموزونة، بل يجب معرفة ذلك بالتجربة.

The law of reaction speed cannot be predicted by simply looking at the balanced chemical equation but must be known by experiment.

تحديد رتبة التفاعل تحدد من خلال مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل بتغير تركيز المواد المتفاعلة.

Determine the reaction Order

It is determined by comparing the initial velocities of the reaction to the change in the concentration of the reactants

Example 7-7 مثال 7-7

تمَ الحصول على البيانات التالية في الجدول للتفاعل التالي:

The following data were obtained for the reaction:

$$A + 2\,B \rightarrow 3\,C + D$$

Runالتجربة	[A]	[B]	rate السرعة $M \cdot s^{-1}$
1	0.16	0.36	2.67
2	0.16	0.09	0.67
3	0.32	0.24	7.11
4	0.08	0.09	0.168
5	0.24	0.12	2.0
6	0.02	1.35	?

(a) اكتب تعبير قانون السرعة للتفاعل.
(b) أحسب قيمة k، ثابت السرعة (مع الوحدات).
(c) احسب سرعة التفاعل عندما يكون [A]= 0.02 M و [B] = 1.35 M.
(d) افترض أن التفاعل يصل إلى الاكتمال. في الظروف المحددة في التجربة الثانية، كم سيكون [C] النهائي؟

(a) Write the rate law expression for this reaction.
(b) Calculate the value of k, the rate constant (with units).
(c) Calculate the rate of the reaction when [A]= 0.02 M and [B] = 1.35 M.
(d) Assume that the reaction goes to completion. Under the conditions specified in the second run, what would the final [C] be?

الحل

(a) $R = k[A]^y[B]^x$

Compare exp. 1 and 2 $[0.36/0.09]^x = 2.67/0.67$ x=1 for B

And exp. 3 and 2 $(0.32/0.16)^y\,(0.24/0.36) = 7.11/2.67$ $(2)^y = 4$ y=2 for A

$R = k\,[A]^2[B]$

(b) $k = R / [A]^2[B] = 2.67 / 0.36 \times 0.16^2 = 290\ M^{-2}\ sec^{-1}$

(c) $R = k\,[A]^2[B] = 290 \times (0.02)^2\,(1.35) = 0.16\ M/sec$

(d) 0.16 /1 =0.16 , 0.09 /2= 0.045 , then B is a Limiting reactant المتفاعل المحدد

A	+	2 B	→	3 C	+	D
0.045		0.09		3 ×0.09/2		0.09/2
Excess 0.16- 0.045 =0.115		0		0.135		0.045

[C] = 0.135 M

Example 7-8

مثال 7-8

لديك الجدول للسرعات الابتدائية للتفاعل:

Consider the table of initial rates for the reaction:

$2ClO_2 + 2OH^- \rightarrow ClO_3^- + ClO_2^- + H_2O$.

Experiment	$[ClO_2]_o$, mol/L	$[OH^{1-}]_o$, mol/L	Initial Rate, mol/(L · s)
1	0.050	0.100	5.75×10^{-2}
2	0.100	0.100	2.30×10^{-1}
3	0.100	0. 050	1.15×10^{-1}

What is the order this reaction with respect to ClO_2?

……..

b. What is the order this reaction with respect to OH^- ؟OH^- ما رتبة التفاعل بالنسبة لـ

……..

c. What is the Rate law for this reaction? ؟ ما قانون السرعة لهذا التفاعل

……..

d. What is the Value and units for the Rate constant? ؟ما قيمة وما وحدات ثابت السرعة

……

Example 7-9

مثال 7-9

لديك جدول السرعة الأولية للتفاعل بين الهيموجلوبين (Hb) وأول أكسيد الكربون.

Consider the table of initial rate for the reaction between hemoglobin (Hb) and carbon monoxide.

Experiment	$[HB]_o$, µmol/L	$[CO]_o$, µmol/L	Initial Rate, µmol/(L · s)
1	2.21	1.00	0.619
2	4.42	1.00	1.24
3	3.36	2.40	2.26

a . What is the order this reaction with respect to HB? ؟HB ما رتبة التفاعل بالنسبة لـ

……

b. What is the order this reaction with respect to CO ? ؟ CO ما رتبة التفاعل بالنسبة لـ

……

c. c. What is the Rate law for this reaction? ؟ ما قانون السرعة لهذا التفاعل

……

d. What is the Value and units for the Rate constant? ؟ما قيمة وما وحدات ثابت السرعة

……

الكيمياء الحركية للتفاعلات البسيطة :

عرفنا أنه يمكن تحديد قانون سرعة التفاعل من خلال التجارب العملية. وفي الجزئية السابقة استخدمنا طريقة السرعة الابتدائية من خلال النظر في طريقة تأثر سرعة التفاعل (السرعة الابتدائية) بالتغير في التركيز. ولكن هناك طريقة أخرى يمكن من خلالها تحديد سرعة التفاعل من خلال النظر في تغير التركيز مع الزمن، وتتطلب هذه الطريقة استنتاج معادلات رياضية تصف التغير الحاصل، ومن خلالها نستطيع أن نحدد رتبة التفاعل وبالتالي قانون سرعة التفاعل، (لن ندخل في التفاصيل الرياضية الخاصة باستنتاج المعادلات).

Kinetic chemistry of simple reactions:

We knew that the reaction velocity law could be determined by practical experiment, and in the previous part we used the initial velocity method by looking at how the reaction velocity (initial velocity) is affected by the change in concentration. But there is another way in which the speed of the reaction can be determined by looking at the change in concentration over time, and this method requires deducing mathematical equations that describe the change that occurs, and through which we can determine the rank of the reaction and therefore the law of reaction velocity, (we will not go into the mathematical details of deducing the equations).

تفاعلات الرتبة الصفرية:

هي تفاعلات نادرة الحدوث، ولكنها تحدث غالبًا في وجود العامل المحفّز، وهي التفاعلات التي سرعتها لا تتأثر بتغير تراكيز المواد المتفاعلة.

Zero-Order reactions:

These are rare reactions but often occur in the presence of the catalyst, and the speed of these reactions is not affected by the change in the concentrations of the reactants.

$$[A] = - kt + [A]_0$$

فترة عمر النصف:

هي الزمن اللازم لتفكك نصف تركيز المادة المتفاعلة وتأخذ الرمز t1/2 ، وتعتمد على رتبة التفاعل.

Half-life:

It is the time required for half of the concentration of the reactant to disintegrate and takes the symbol t1/2 , and it depends on the order of the reaction.

$$[A]_0 \rightarrow [A]_0 / 2$$

فترة عمر النصف لتفاعلات من الرتبة الصفرية:

Half-life of zero-order reactions:

$$t_{1/2} = [A]_0 / 2k$$

تفاعلات الرتبة الأولى:

تعتبر من التفاعلات الشائعة، وغالبًا ما تحدث عندما يكون المذيب المستخدم أحد المتفاعلات.

First-order reactions:

They are considered a common reaction, and they often occur when the solvent used is one of the reactants.

$$\ln [A] = - kt + \ln [A]_0$$

فترة عمر النصف لتفاعلات من الرتبة الأولى لا تعتمد على التركيز:

$$t_{1/2} = \ln 2 / k = 0.693/k$$

تفاعلات الرتبة الثانية:

تعتبر هذه التفاعلات من الأكثر شيوعًا حيث تكثر في تفاعلات الحالة الغازية والمحاليل السائلة وخصوصًا في التفاعلات العضوية، وقد تحتمل حالتين: تراكيز متساوية من المتفاعلات أو تراكيز غير متساوية.

Second-order reactions:

These reactions are one of the most common, as they are abundant in gaseous-liquid state reactions, especially in organic reactions, and may tolerate two conditions: equal concentrations of reactants or unequal concentrations.

$$A + B \rightarrow \text{Products}$$

الحالة الأولى : تراكيز متساوية Case One: Equal Concentrations

$$[A]=[B]$$

$$1/[A] = kt + 1/[A]_0$$

الحالة الثانية: تراكيز غير متساوية Case Two: Unequal Concentrations

$$[A] \neq [B]$$

$$\text{In}\frac{[B]_0[A]}{[A]_0[B]} = k([A]_0 - [B]_0)t$$

فترة عمر النصف لتفاعلات من الرتبة الثانية: Half-life of second-order reactions:

$$t_{1/2}=1/ k [A]_0$$

حالة عامة:

لإيجاد رتبة التفاعل في الحالة العامة، عندما تكون رتبة التفاعل (n) ،مع الأخذ بالاعتبار أن المواد المتفاعلة متساوية في تركيزها يمكن استخدام المعادلة التالية:

General Status:

To find the reaction order in the general case, when the reaction order is n , considering that the reactants are equal in concentration, the following equation can be used:

$$n \neq 1$$

$$\frac{1}{(n-1)[A]^{(n-1)}} = kt + \frac{1}{(n-1)\,[A]_0^{(n-1)}}$$

مثال: تفاعلات الرتبة الثالثة Example: third order reaction

n=3

$$\frac{1}{2[A]^{2}} = kt + \frac{1}{2\,[A]_0^2}$$

تفاعلات الرتبة الأولى الكاذبة:

هي تفاعلات تضم أكثر من مادة متفاعلة، لكنها تتبع قانون سرعة من الرتبة الأولى، لأن تركيز مادة أو أكثر يكون بكمية فائضة تجعل تركيزها ثابتًا تقريبًا أثناء التفاعل، فيبدو أن سرعة التفاعل لا تتأثر بتركيز تلك المواد.

Pseudo–first-order reactions:

These are reactions involving more than one reactant but following a first-order rate law because the concentration of one or more reactants is present in large excess, remaining nearly constant during the reaction. As a result, the rate appears to be unaffected by those concentrations.

Example 7-10 **مثال 7-10**

$$CH_3COOH_3 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3COOH + CH_3OH$$

الحل:

تفاعل من الرتبة الثانية Second-order reactions

$$R = k[CH_3COOH_3][H_2O]$$

تركيز الماء عالي جدًا مقارنة بالإستر أي أن مقدار التغير في تركيز الماء قليل جدًا لدرجة أنه يمكن إهماله واعتباره ثابت، بالتالي يمكن إعادة كتابة المعادلة بالشكل التالي:

The concentration of water is very high compared to the ester, i.e. the amount of change in the concentration of water is so small that it can be neglected and considered constant, so the equation can be rewritten as follows:

$$R = k'[CH_3COOH_3]$$

$$k' = k\,[H_2O]$$

Example الأمثلة

7-8

a . Order with respect to ClO_2: ClO_2 رتبة التفاعل بالنسبة لـ
ClO_2: 2
b. Order with respect to OH^{1-}: OH^{1-} رتبة التفاعل بالنسبة لـ
OH^{1-}: 1
c. Rate law for this reaction: قانون السرعة لهذا التفاعل
rate = $k[ClO_2]^2[OH^{1-}]^1$
d. Value and units for the rate constant: قيمة ووحدات ثابت السرعة
$k = 230\ L^2 . mol^{-2} . s^{-1}$

7-9

a . Order with respect to HB: HB رتبة التفاعل بالنسبة لـ
1
b. Order with respect to CO: CO رتبة التفاعل بالنسبة لـ
1
c. Rate law for this reaction: قانون السرعة لهذا التفاعل
Rate=k[HB][CO]
d. Value and units for the rate constant:قيمة ووحدات ثابت السرعة
$k=0.28\ Lmol^{-1}s^{-1}$

The Concept of Equilibrium مفهوم الاتزان

معظم التفاعلات الكيميائية لا تَصِل إلى الاكتمال. فعندما تتفاعل المواد المتفاعلة لتكوين النواتج، تتغير تراكيزها إلى أن تبقى ثابتة لكلا الطرفين. تُسمّى هذه الحالة **الاتزان الكيميائي**. على سبيل المثال، في التفاعل $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$، يتفكك N_2O_4 عديم اللون إلى NO_2 بني اللون. تزداد شدة اللون في البداية ثم تتوقف عن التغير عندما يصبح معدل التفاعل الأمامي مساويا لمعدل التفاعل العكسي.

يمكن الوصول إلى حالة الاتزان بدءًا من المتفاعلات أو من النواتج أو خليط من كليهما كما هو موضح في الشكل 8.1.

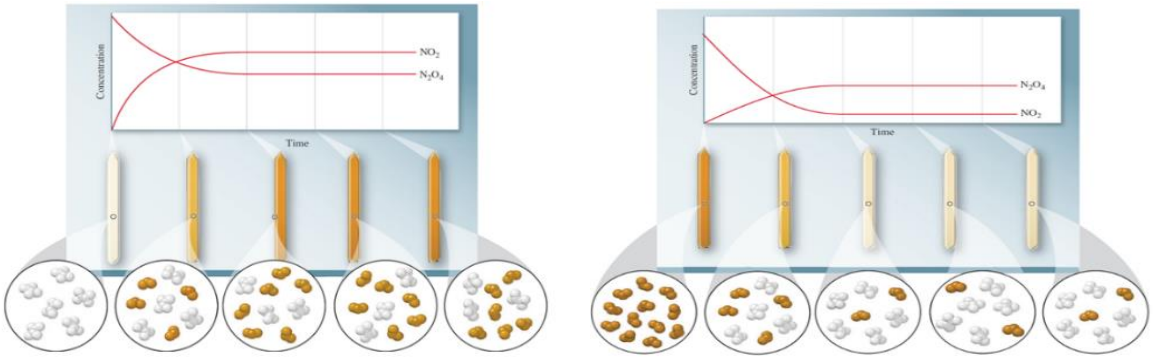
1. عند البدء بـ N_2O_4 النقي، يكون تركيزه مرتفعًا وتركيز NO_2 يساوي صفرًا. ومع تقدم التفاعل، ينخفض تركيز N_2O_4 ويزداد تركيز NO_2.
2. عند البدء بـ NO_2 النقي، يكون تركيزه مرتفعًا و تركيز N_2O_4 يساوي صفرًا. ومع تقدم التفاعل، ينخفض تركيز NO_2 ويزداد تركيز N_2O_4.

في كلتا الحالتين، يستمر التفاعلان الأمامي والعكسي حتى تثبت التراكيز عند حالة الاتزان. عندها، يصل النظام إلى حالة **اتزانٍ ديناميكي**، حيث يستمر التفاعلان في الحدوث، لكن تأثيرهما يتلاشى.

Most chemical reactions do not go to completion. As reactants form products, their concentrations change until both remain constant. This state is called **chemical equilibrium**. For example, in $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$, colorless N_2O_4 decomposes into brown NO_2. The color deepens at first but then stops changing when the forward and reverse reactions occur at the same rate. Equilibrium can be reached starting from reactants, products, or a mixture as shown in Figure 8.1.

1. Starting with pure N_2O_4, its concentration is high and NO_2 is zero. As the reaction proceeds, N_2O_4 decreases and NO_2 increases.
2. Starting with pure NO_2, its concentration is high and N_2O_4 is zero. As the reaction proceeds, NO_2 decreases and N_2O_4 increases.

In both cases, forward and reverse reactions occur until concentration becomes constant at equilibrium. The system is then at **dynamic equilibrium**, where both reactions continue but their effects cancel out.



الشكل 8.1 : تغيُّر المعدلات مع تقدم التفاعل

Figure 8.1: Change of rates as reaction proceeds

The Equilibrium State and the Equilibrium Constant حالة الاتزان وثابت الاتزان

عند درجة حرارة معينة، عندما يصل النظام إلى حالة الاتزان (eq)، يكون:

At a given temperature, when the system reaches equilibrium(eq), then:

معدل سرعة التفاعل(الامامي) = معدل سرعة التفاعل(العكسي)

$$rate_{fwd} = rate_{rev}$$

$$k_f [N_2O_4]_{eq} = k_r [NO_2]^2_{eq}$$

يمثل k_f و k_r ثابتي سرعتي التفاعل الأمامي والعكسي على التوالي، وبما أن المعدلين متساويان عند حالة الاتزان (eq) فإنَ:

k_f and k_r are the rate constants for the forward and reverse reactions respectively, since the rates are equal at equilibrium; then,

$$\frac{k_f}{k_r} = \frac{[NO_2]^2_{eq}}{[N_2O_4]_{eq}}$$

تُعرَف نسبة هذين الثابتين بثابتٍ جديد يُسمّى **ثابت الاتزان (K)**.

This ratio of constants defines a new constant, called the **equilibrium constant (K)**

$$K = \frac{k_f}{k_r} = \frac{[NO_2]^2_{eq}}{[N_2O_4]_{eq}}$$

K as a Measure of Reaction Extent **K كمقياس لمدى تقدم التفاعل**

إذا كان التفاعل يُنتج كمية ضئيلة جدًا من النواتج قبل الوصول إلى حالة الاتزان، فإن قيمة K تكون صغيرة. وعندما تكون قيمة K صغيرة جدًا، يُقال إن التفاعل «لا يحدث فعليًا». مثال:

If a reaction produces very little product before reaching equilibrium, K is small. When K is extremely small, the reaction is said to show "no reaction". Example:

$$N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} \qquad K = 1 \times 10^{-30} \text{ at } 1000 \text{ K}$$

إذا وصل النظام إلى الاتزان مع بقاء كمية ضئيلة جدًا من المتفاعلات، تكون K كبيرة. وعندما تكون K كبيرة جدًا، يُقال إن التفاعل "يصل إلى الاكتمال". مثال:

If equilibrium is reached with very little reactants remaining K is large. When K is extremely large, the reaction is said to "go to completion". Example:

$$2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2CO_{2(g)} \qquad K = 2.2 \times 10^{22} \text{ at } 1000 \text{ K}$$

عندما توجد كميات ملحوظة من كلٍّ من المواد المتفاعلة والنواتج عند حالة الاتزان، فإن ثابت الاتزان K يأخذ قيمة متوسطة. مثال:

When noticeable amounts of both reactants and products are present at equilibrium, the equilibrium constant K has an intermediate value. Example:

$$2BrCl_{(g)} \rightleftharpoons Br_{2(g)} + Cl_{2(g)} \qquad K = 5 \text{ at } 1000 \text{ K}$$

Generally, بشكل عام،

$K_c > 1 \times 10^2 \rightarrow$ reaction favors products يميل التفاعل لتكوين النواتج

$K_c < 1 \times 10^{-2} \rightarrow$ reaction favors reactants يميل التفاعل لتكوين المواد المتفاعلة

$1 \times 10^{-2} < K_c < 1 \times 10^2 \rightarrow$ both reactants and products are present in significant amount. توجد كميات ملحوظة من كلٍّ من المواد المتفاعلة والنواتج.

The Reaction Quotient and the Equilibrium Constant حاصل التفاعل وثابت الاتزان

إن نسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات لكل تفاعل (كلٌّ منها مرفوعٌ إلى معاملها في المعادلة الموزونة) تُسمّى **حاصل التفاعل، Q**. على سبيل المثال:

For any reaction, the ratio of product to reactant concentrations (each raised to its stoichiometric power) is called the **reaction quotient**, **Q**. For example:

$$N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$$

$$Q = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

مع تقدم التفاعل نحو حالة الاتزان، تستمر تراكيز المواد المتفاعلة والنواتج في التغيُر، مما يؤدي إلى تغيُر قيمة Q كذلك. في البداية، يمتلك النظام تراكيز ابتدائية معينة تحدد قيمة Q الابتدائية. وبمرور الزمن ومع تغيُر هذه التراكيز، تتغيَر قيمة Q عدة مرات حتى تصبح ثابتة وتساوي ثابت الاتزان K عند وصول النظام إلى حالة الاتزان.

As the reaction moves toward equilibrium, the concentrations of reactants and products keep changing, causing the value of Q to change as well. Initially, the system has certain starting concentrations that determine an initial Q value. Over time, as these concentrations adjust, Q also changes repeatedly until it becomes constant, where it becomes equal to the equilibrium constant K when the system attains equilibrium.

Steps to Write a Reaction Quotient — خطوات كتابة حاصل التفاعل

أبسط صورة لحاصل التفاعل تُعبّر عن المواد المتفاعلة والمواد الناتجة على شكل **تراكيز مولارية**، وتُكتب بين قوسين مربعين [ ]. عندما يعتمد حاصل التفاعل على التراكيز، يُكتب على شكل Q_c، ويكون ثابت الاتزان المقابل فيُرمز له بـ K_c. للتفاعل الكيميائي العام:

The most ordinary form of the reaction quotient expresses reactant and product terms as **molar concentrations**, shown in square brackets [ ]. When the reaction quotient is based on concentrations, it is written as Q_c, and the corresponding equilibrium constant is K_c. For a general chemical equation:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

يمكن التعبير عن حاصل التفاعل باستخدام معاملات المعادلة الموزونة a و b و c و d تبقى كما هي:

The reaction quotient can be expressed in terms of the stoichiometric coefficients a, b, c, and d, which remain as they are:

$$Q_c = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

إذن، يُعبّر Q عن نسبة تراكيز نواتج التفاعل (مضروبة معًا) إلى تراكيز المواد المتفاعلة (مضروبة معًا أيضًا)، بحيث يُرفع كلٌّ منها إلى أُسٍّ يساوي معاملها في المعادلة الموزونة.

Thus, Q is the ratio of the product concentration terms (multiplied together) to the reactant concentration terms (also multiplied together), with each term raised to the power of its balancing coefficient.

على سبيل المثال، في تفاعل تكوين الأمونيا من النيتروجين والهيدروجين:

For example, for the formation of ammonia from nitrogen and hydrogen:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

رتّب التراكيز والأسس: تُوضَع تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المواد المتفاعلة في المقام. تُضرب التراكيز معًا و يُرفع كلٌّ منها إلى أُسٍّ يساوي معاملها في المعادلة الموزونة.

Arrange concentrations and exponents: Place product concentration in the numerator and reactant concentration in the denominator. Multiply the concentration and raise each to the power of its stoichiometric coefficient.

$$Q_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

هل K و Q تكتب بدون وحدات ؟

ثابت الاتزان K وحاصل التفاعل Q يُعدَّان قيمًا بلا وحدات، لذلك تُكتب قيمتهما بدون وحدات دائمًا. وأي وحدات قد تظهر عند استخدام K_c أو K_p بالتراكيز أو الضغوط مباشرةً هي وحدات شكلية ناتجة عن عدم إظهار الحالة القياسية في الصيغة.

Do K and Q get written without units?

The equilibrium constant K and the reaction quotient Q are unitless quantities; therefore, their values are always written without units. Any units that may appear when using K_c or K_p directly with concentrations or pressures are formal units resulting from not explicitly showing the standard state in the expression.

مثال 1: اكتب حاصل التفاعل لكلٍّ من التفاعلات الآتية:

Example 1: Write the reaction quotient for each of the following reactions:

a) $2N_2O_{(g)} \rightleftharpoons 2N_{2(g)} + O_{2(g)}$

b) $2NOBr_{(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} + Br_{2(g)}$

c) $HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$

d) $CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)}$

e) $CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$

f) $H_2C_2O_{4(aq)} \rightleftharpoons 2H^+_{(aq)} + C_2O_4^{2-}{}_{(aq)}$

a) $Q_c = \frac{[N_2]^2[O_2]}{[N_2O]^2}$ b) $Q_c = \frac{[NO]^2[Br_2]}{[NOBr]^2}$ c) $Q_c = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$

d) $Q_c = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]}$ e) $Q_c = \frac{[CS_2][H_2]^4}{[CH_4][H_2S]^2}$ f) $Q_c = \frac{[H^+]^2[C_2O_4^{2-}]}{[H_2C_2O_4]}$

Writing Q for an Overall Reaction **كتابة Q لتفاعل كلي**

إذا كان التفاعل الكلي هو مجموع تفاعلين أو أكثر، فإن حاصل التفاعل وثابت الاتزان للتفاعل الكلي يساويان حاصلَ ضرب حاصل التفاعل أو ثابت الاتزان للخطوات الفردية.

If the overall reaction is the sum of two or more reactions, then the reaction quotient and the equilibrium constant for the overall reaction are equal to the product of the reaction quotients or equilibrium constants of the individual steps.

$$Q_c = Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \times \ldots\ldots \quad , \quad K_c = K_1 \times K_2 \times K_3 \times \ldots\ldots$$

مثال 2: يُعَدّ ثاني أكسيد النيتروجين ملوّثًا سامًّا يساهم في تكوّن الضباب الدخاني الضوئي الكيميائي. ويتكوّن جزئيًا من خلال التسلسل الآتي من التفاعلات:

Example 2: Nitrogen dioxide is a toxic pollutant that contributes to photochemical smog. One way it forms is through the following sequence:

(1) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ $K_{c1} = 4.3 \times 10^{-25}$

(2) $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$ $K_{c2} = 6.4 \times 10^{9}$

a) بيّن أن حاصل التفاعل الكلي Q_c لهذا التسلسل يساوي حاصل ضرب قيم Q_c للتفاعلات الفردية.

a) Show that the overall Q_c for this reaction sequence is the same as the product of the Q_c's for the individual reactions.

b) إذا حدث التفاعلان عند نفس درجة الحرارة، فاحسب قيمة K_c للتفاعل الكلي.

b) Given that both reactions occur at the same temperature, find K_c for the overall reaction.

(1) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ $K_{c1} = 4.3 \times 10^{-25}$

(2) $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$ $K_{c2} = 6.4 \times 10^{9}$

Overall reaction (sum): التفاعل الكلي (المجموع):

a) $N_{2(g)} + 2O_{2(g)} \rightleftharpoons 2\ NO_{2(g)}$

$$Q = \frac{[NO_2]^2}{[N_2][O_2]^2}$$

$$Q_1 = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]} \qquad Q_2 = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]}$$

Product: الناتج:

$$Q_1 . Q_2 = \left(\frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}\right)\left(\frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]}\right) = \frac{[NO_2]^2}{[N_2][O_2]^2} = Q$$

$$Q = Q_1 \times Q_2$$

b) K_c

بما أنَ جميع الخطوات عند نفس درجة الحرارة.

Because the steps occur at the same temperature. $K_c = K_{c1} \times K_{c2}$

$$K_c = (4.3 \times 10^{-25}) \times (6.4 \times 10^{9}) = 2.752 \times 10^{-15} \approx 2.75 \times 10^{-15}$$

كتابة Q للتفاعل الأمامي والعكسي

Writing Q for a Forward vs. Reverse Reaction

مثال على التفاعل (أكسدة ثاني أكسيد الكبريت):

Example reaction (oxidation of sulfur dioxide):

$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$$

حاصل التفاعل في الاتجاه الأمامي:

Reaction quotient for the forward direction:

$$Q_f = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}$$

أما إذا كتبنا التفاعل العكسي (التفكك):

If we write the reverse (decomposition) reaction: $2SO_{3(g)} \rightleftharpoons 2SO_{2(g)} + O_{2(g)}$

فإن حاصل التفاعل في الاتجاه العكسي يكون مقلوب حاصل التفاعل الأمامي.

Thus, the reaction quotient in the reverse direction is the reciprocal of the reaction quotient in the forward direction.

$$Q_r = \frac{[SO_2]^2[O_2]}{[SO_3]^2} = \frac{1}{Q_f}$$

قاعدة عامة (تنطبق كذلك على K_c):

General rule (holds for K_c as well):

$$Q_f = \frac{1}{Q_r} \qquad K_f = \frac{1}{K_r}$$

مثال عددي، عند 1000 K :

Numerical example, at 1000 K:

$$K_f = 261 \Rightarrow K_r = \frac{1}{261} = 3.83 \times 10^{-3}$$

وتُعَدّ هذه القيم منطقية: فالقيمة الكبيرة لـ K_c في التفاعل الأمامي (حيث تكون النواتج مفضلة) تقابلها قيمة صغيرة لـ K_c في التفاعل العكسي (حيث تكون المواد المتفاعلة مفَضلة).

These values make sense: a large K_c for the forward reaction (products favored) corresponds to a small K_c for the reverse reaction (reactants favored).

كتابة Q لتفاعل ضُربت معاملاته في عامل مشترك

Writing Q for a Reaction with Coefficients Multiplied by a Common Factor

إنَ ضرب جميع المعاملات في المعادلة الموزونة بعامل مشترك يؤثر كذلك في قيمة Q.

Multiplying all the coefficients in a balanced equation by a common factor also affects the value of Q.

إذا ضربنا جميع المعاملات في تفاعل تكوين ثالث أكسيد الكبريت في ½

If we multiply all the coefficients in the formation of sulfur trioxide by ½

$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)} \qquad K_c = 261$$

we obtain. نحصل على:

$$SO_{2(g)} + \tfrac{1}{2}O_{2(g)} \rightleftharpoons SO_{3(g)}$$

$$Q_f = \frac{[SO_3]}{[SO_2][O_2]^{1/2}}$$

لاحظ أن قيمة Q_c لهذه المعادلة المُنصَّفة يساوي Q_c الأصلي مرفوعاً للأس ½ :

Notice that Q_c for this halved equation equals the original Q_c raised to the power of ½:

$$Q'_f = (Q_f)^{1/2} = \left(\frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}\right)^{1/2} = \frac{[SO_3]}{[SO_2][O_2]^{1/2}}$$

تنطبق العلاقة نفسها على ثابت الاتزان:

The same relationship holds for the equilibrium constant:

$$K'_f = (K_f)^{1/2}$$

$$K'_f = (261)^{1/2} = 16.2$$

العلاقة العامة **General Relationship**

إذا تمَ ضرب جميع المعاملات في معادلة موزونة بمعامل n:

If all coefficients in a balanced equation are multiplied by a factor n,

$$n(aA + bB \rightleftharpoons cC + dD)$$

فإنَ حاصل التفاعل وثابت الاتزان يرتبطان بالعلاقة (يرفعان إلى الأس n) كما يلي:

then the reaction quotient and equilibrium constant are related (raised to the power n) as:

$$Q' = (Q)^n = \left(\frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}\right)^n$$

$$K' = (K)^n$$

كتابة Q لتفاعل يحتوي على سوائل نقية أو مواد صلبة نقية

Writing Q for a Reaction Involving Pure Liquids or Solids

حتى الآن، ناقشنا أنظمة غازية (اتزانات متجانسة). عندما تكون المواد في حالات أطوار مختلفة، فإنَّ ذلك يُعَدّ اتزانًا غير متجانس.

So far, we have discussed gaseous systems (homogeneous equilibria). When substances are in different phases, it's a heterogeneous equilibrium.

Example: مثال:

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

وفقًا للقواعد العامة لكتابة حاصل التفاعل.

According to the general rules for writing reaction quotients.

$$Q_c = \frac{[CaO][CO_2]}{[CaCO_3]}$$

تُدرج جميع المواد في العلاقة. ولكن بما أن المواد الصلبة والسوائل النقية تمتلك تراكيز ثابتة، فإنها تُهمل عند كتابة حاصل التفاعل.

All substances are included in the expression . However, since pure solids and pure liquids have constant concentrations, they are neglected when writing the reaction quotient.

Thus, وبالتالي:

$$Q'_c = Q_c \times \frac{[CaCO_3]}{[CaO]} = [CO_2]$$

التعبير عن الاتزان باستخدام الضغط: العلاقة بين K_c و K_p

Expressing Equilibrium with Pressure Terms: Relationship Between K_c and K_p

في التفاعلات الغازية، غالبًا ما يكون قياس الضغط أسهل من قياس التركيز. عندما تسلك الغازات سلوكاً قريبًا من الغازات المثالية، يسمح قانون الغاز المثالي بربط الضغط P بالتركيز n/V:

For gaseous reactions, it is often easier to measure pressure than concentration. When gases behave ideally, the ideal gas law allows us to relate pressure P and concentration n/V:

$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{n}{V}RT \quad \text{or} \quad \frac{P}{RT} = \frac{n}{V}$$

وبالتالي، عند ثبوت درجة الحرارة T، يكون الضغط متناسب طرديًا مع التركيز المولاري .

Thus, at constant T, pressure is directly proportional to molar concentration.

Example: Oxidation of Nitric Oxide مثال: أكسدة أول أكسيد النيتروجين

$$2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$$

يُكتب حاصل التفاعل اعتمادًا على الضغوط الجزئية كما يلي:

The reaction quotient based on partial pressures is:

$$Q_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{(P_{NO})^2(P_{O_2})}$$

عند الاتزان، عندما يكون كل غاز عند ضغطه الجزئي الاتزاني، فإنَّ ثابت الاتزان المقابل يُرمز له بـ K_p. تبقى جميع العلاقات الخاصة بين Q و K قابلة للتطبيق عند استبدال التراكيز بالضغوط الجزئية.

يرتبط كلٌّ من K_p و K_c بالعلاقة التالية:

At equilibrium, when each gas is at its equilibrium partial pressure, the corresponding equilibrium constant is K_p. All relationships involving Q and K remain applicable when concentrations are substituted with partial pressures.

The K_p and K_c are related by relationship:

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

where: حيث:

R = gas constant (0.0821 $L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$) ثابت الغازات

T = temperature in Kelvin درجة الحرارة بالكالفن

$\Delta n_{(gas)}$ = (moles of gaseous products) − (moles of gaseous reactants)

$\Delta n_{(gas)}$ = (عدد مولات النواتج الغازية) − (عدد مولات المتفاعلات الغازية)

If: إذا:

$\Delta n < 0 \rightarrow K_p < K_c$

وبذلك، فإنَ K_p و K_c يصفان الحالة نفسها من الاتزان، لكنهما يختلفان في طريقة التعبير عنها: الضغط مقابل التركيز.

Thus, K_p and K_c describe the same equilibrium but differ in how they express pressure versus concentration.

مثال 3: يقوم مهندس كيميائي بحقن الحجر الجيري $CaCO_3$ في غاز المداخن الساخن المنبعث من محطة طاقة تعمل بالفحم لتكوين الجير CaO، الذي يزيل غاز SO_2 من الغاز مكوّنًا الجبس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. احسب قيمة K_c للتفاعل الآتي:

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \qquad K_p = 2.1\times10^{-4} \quad (\text{at } 1000\ K)$$

Example 3: A chemical engineer injects limestone $CaCO_3$ into the hot flue gas of a coal burning power plant to form lime CaO, which scrubs SO_2 from the gas and forms gypsum $CaSO_4.2H_2O$. Find K_c for the following reaction:

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \qquad K_p = 2.1\times10^{-4} \quad (\text{at } 1000\ K)$$

$\Delta n_{(gas)}$ = (1 mol gas products نواتج غازية) − (0 mol gas reactants متفاعلات غازية) = +1

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n} \quad \Rightarrow \quad K_c = \frac{K_p}{RT}$$

Given R = 0.0821 L·atm mol^{-1} K^{-1} and T = 1000 K

$$RT = 82.1\ \text{L·atm mol}^{-1}$$

$$K_c = \frac{2.13 \times 10^{-4}}{82.1} = 2.56 \times 10^{-6}$$

مقارنة Q و K للتنبؤ باتجاه التفاعل
Comparing Q and K to Predict Reaction Direction

لنفترض أن لديك مزيجًا يحتوي على كلٍّ من المتفاعلات والنواتج، وأن ثابت الاتزان K معروف عند درجة الحرارة المحددة. من خلال مقارنة قيمة حاصل التفاعل Q مع K، يمكنك تحديد ما إذا كان النظام قد وصل بالفعل إلى حالة الاتزان، أو—إذا لم يكن كذلك— فإلى أي اتجاه سيتجه التفاعل للوصول إلى الاتزان. نظرًا لأن تراكيز النواتج تظهر في بسط Q وتراكيز المتفاعلات في مقامه:

- زيادة كمية النواتج تجعل Q أكبر.
- زيادة كمية المتفاعلات تجعل Q أصغر.

هناك ثلاث حالات (انظر الشكل 8.2). عندما تكون قيمة Q_c أصغر أو أكبر من K_c يستمر التفاعل حتى تصبح $Q_c = K_c$. لاحظ أن K_c تبقى ثابتة طوال الوقت.

Suppose you have a mixture containing both reactants and products, and the equilibrium constant K is known at the given temperature. By comparing the value of Q (the reaction quotient) with K, you can determine whether the system is already at equilibrium—or, if not, which direction the reaction will shift to reach it. Since product concentrations appear in the numerator of Q and reactant concentrations in the denominator:

- Increasing the amount of products makes Q larger.
- Increasing the amount of reactants makes Q smaller.

There are three cases (see Figure 8.2). When Q_c is smaller or larger than K_c, the reaction continues until $Q_c = K_c$. Note that K_c remains the same throughout.

1. إذا كانت قيمة Q أصغر من K، فإن المقام (المتفاعلات) يكون كبيرًا نسبيًا مقارنة بالبسط (النواتج). للوصول إلى الاتزان، يجب أن تقل كمية المتفاعلات وتزداد كمية النواتج. لذلك يتجه التفاعل نحو اليمين، أي باتجاه تكوين النواتج.

1. If Q is smaller than K, the denominator (reactants) is relatively large compared to the numerator (products). To reach equilibrium, reactants must decrease, and products must increase. The reaction therefore proceeds to the right, toward products.

$Q < K_c$, reactants متفاعلات $\longrightarrow$ products نواتج

2. إذا كانت قيمة Q أكبر من K، فإن البسط (النواتج) يكون كبيرًا نسبيًا مقارنةً بالمقام (المتفاعلات) . للوصول إلى حالة الاتزان، يجب أن تقل كمية النواتج وتزداد كمية المتفاعلات. لذلك يتجه التفاعل نحو اليسار، أي باتجاه المتفاعلات.

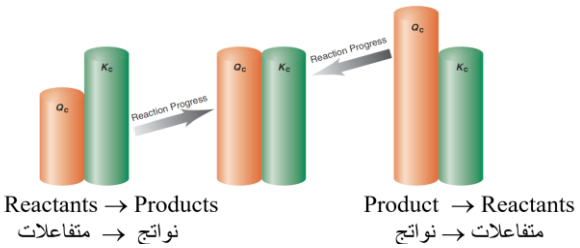
2. If Q is greater than K, the numerator (products) is too large relative to the denominator (reactants). To reach equilibrium, products must decrease, and reactants must increase. The reaction proceeds to the left, toward reactants:

$Q > K_c$, reactants متفاعلات $\longleftarrow$ products نواتج

3. عندما تكون قيمة Q مساوية لـ K، فإنَّ تراكيز كلٍّ من المتفاعلات والنواتج تكون بالفعل عند قيم الاتزان. ولا يحدث أي تغيُّر صافٍ إضافي؛ يكون النظام في حالة اتزان:

3. When Q equals K, both the reactant and product concentrations are already at their equilibrium values. No further net change occurs; the system is at equilibrium:

$Q = K_c$, reactants متفاعلات $\rightleftharpoons$ products نواتج



الشكل 8.2: اتجاه التفاعل والعلاقة بين قيمتي Q وK

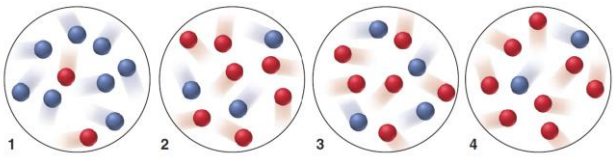
Figure 8.2: Reaction direction and the relative sizes of Q and K

Summary: **المُلخَّص:**

$Q < K_c$	يتجه التفاعل نحو اليمين، تتشكل نواتج أكثر.
	Reaction shifts right, forming more products.
$Q > K_c$	يتجه التفاعل نحو اليسار، تتشكل متفاعلات أكثر.
	Reaction shifts left, forming more reactant.
$Q = K_c$	لا يحدث أي تغيُّر صافٍ، النظام في حالة اتزان.
	The system has reached a state of equilibrium.

مثال 4: للتفاعل $A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)}$، تكون تراكيز مزيج الاتزان عند 175°C كما يلي: $[A] = 2.8 \times 10^{-4}$ M و $[B] = 1.2 \times 10^{-4}$ M . تُمثّل الأشكال الجزيئية أدناه المخاليط عند أزمنة مختلفة أثناء إجراء التجربة من 1 إلى 4 لهذا التفاعل (A باللون الأحمر؛ B باللون الأزرق). حدّد ما إذا كان التفاعل في كل خليط سيتجه نحو اليمين، أو نحو اليسار، أو لن يحدث أي انزياح للوصول إلى حالة الاتزان.

Example 4: For the reaction $A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)}$, the equilibrium mixture at 175°C is $[A] = 2.8 \times 10^{-4}$ M and $[B] = 1.2 \times 10^{-4}$ M. The molecular scenes below represent mixtures at various times during runs 1–4 of this reaction (A is red; B is blue). Will the reaction proceed to the right or left or not at all for each mixture to reach equilibrium?



$$K_c = \frac{[B]}{[A]} = \frac{1.2 \times 10^{-4}}{2.8 \times 10^{-4}} = 0.43$$

التجربة experiment	N_A(red) الأحمر	N_B(blue) الأزرق	$Q_c=N_B/N_A$	مقارنة مع $K_c = 0.43$ Compare to $K_c = 0.43$	الاتجاه Direction
1	2	8	4.0	$Q > K_c$	Left (toward A) اليسار (باتجاه A)
2	7	3	0.43	$Q = K_c$	At equilibrium في حالة اتزان
3	6	4	0.67	$Q > K_c$	Left (toward A) اليسار (باتجاه A)
4	8	2	0.25	$Q < K_c$	Right (toward B) اليمين (باتجاه B)

Final Results: **النتائج النهائية:**

- التجارب 1 و 3: يتجه التفاعل نحو اليسار(تتكوّن كمية أكبر من A).
- التجربة 2: التفاعل في حالة اتزان (لا يحدث تغيُّر).
- التجربة 4: يتجه التفاعل نحو اليمين (تتكوّن كمية أكبر من B).

- Experiments 1, 3: Reaction proceeds left (forms more A).
- Experiment 2: Reaction at equilibrium (no change).
- Experiment 4: Reaction proceeds right (forms more B).

مثال 5: للتفاعل $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$، تكون قيمة $K_c = 0.21$ عند 100°C. في لحظةٍ ما أثناء التفاعل، كانت تراكيز كل من $[N_2O_4] = 0.12$ M و $[NO_2] = 0.55$ M. هل التفاعل عند حالة الاتزان؟ وإذا لم يكن كذلك، فإلى أيّ اتجاه سيتّجه؟

Example 5: For the reaction $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$, $K_c = 0.21$ at 100°C. At a point during the reaction, $[N_2O_4] = 0.12$ M and $[NO_2] = 0.55$ M. Is the reaction at equilibrium? If not, in which direction will it proceed?

$$Q_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{(0.55)^2}{0.12} = \frac{0.3025}{0.12} \approx 2.52$$

$$Q > K_c$$

التفاعل ليس عند حالة الاتزان، وسيتجه نحو اليسار (نحو المتفاعلات) لتكوين المزيد من N_2O_4 و مستهلكًا NO_2 حتى يصل إلى حالة الاتزان حيث $Q_c = K_c$.

The reaction is not at equilibrium and will proceed to the left (toward reactants) to form more N_2O_4 and consuming NO_2 until equilibrium is reached, $Q_c = K_c$.

How to Solve Equilibrium Problems — كيفية حل مسائل الاتزان

تنشأ العديد من مسائل الاتزان في العالم الحقيقي، لكن يمكن تصنيف معظمها ضمن نوعين:

1. حساب قيمة K بمعلومية الكميات عند الاتزان.

2. حساب كميات الاتزان بمعلومية قيمة K والكميات الابتدائية.

Many kinds of equilibrium problems arise in the real world, but we can group most of them into two types:

1. Calculating the value of K given the equilibrium quantities.
2. Calculating the equilibrium quantities given the value of K and the initial quantities.

Using Quantities to Find the Equilibrium Constant — استخدام الكميات لإيجاد ثابت الاتزان

هناك نوعان شائعان من هذه المسائل: أحدهما يتضمَّن التعويض بالكميات لحساب K، والآخر يتطلّب إيجاد بعض الكميات أولًا.

There are two common variations in this type of problem: one involves substituting quantities to calculate K, and the other requires first finding some of the quantities.

التعويض بكميات الاتزان في Q لإيجاد K

في هذا النوع من المسائل، نستخدم كميات الاتزان المعطاة لحساب K. لنفترض، على سبيل المثال، أنه تم حقن كميات متساوية من غازي الهيدروجين واليود في دورق حجمه 1.50 L عند درجة حرارة ثابتة. مع مرور الوقت، يتم الوصول إلى الاتزان التالي:

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

عند الاتزان، يحتوي الدورق على 1.80 mol من H_2 و 1.80 mol من I_2 و 0.520 mol من HI. لحساب K:

Substituting Equilibrium Quantities into Q to Find K

In this type of problem, we use given equilibrium quantities to calculate K. Suppose, for example, that equal amounts of gaseous hydrogen and iodine are injected into a 1.50 L flask at a fixed temperature. In time, the following equilibrium is attained:

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

At equilibrium, the flask contains 1.80 mol of H_2, 1.80 mol of I_2, and 0.520 mol of HI. To calculate K:

$$[H_2] = [I_2] = \frac{1.80}{1.50} = 1.20\ \text{M}, [HI] = \frac{0.520}{1.50} = 0.347\ \text{M}$$

$$Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} \Rightarrow K_c = \frac{(0.347)^2}{(1.20)(1.20)} = 8.36 \times 10^{-2}$$

استخدام جدول التفاعل (ICE) لإيجاد كميات الاتزان و K

Using a Reaction Table (Initial, Change, Equilibrium (ICE) to Find Equilibrium Quantities and K

عندما لا تُعطى بعض الكميات، نستخدم حسابات تعتمد على المعاملات في المعادلات الكيميائية للتفاعل (من خلال جدول التفاعل) لإيجادها، ثم نحسب قيمة K.

مثلاً في دراسة لأكسدة الكربون، سُخِّن وعاء مُفرَّغ يحتوي على كمية صغيرة من مسحوق الجرافيت إلى درجة حرارة 1080 K. أُضيف غاز $CO_{2(g)}$ حتى وصل الضغط إلى 0.458 atm، وتكوَّن CO عند الاتزان، وكان الضغط الكلي 0.757 atm. احسب K_p.

When some quantities aren't given, reaction stoichiometry (via a reaction table) is used to find them, then compute K.

For example, in a study of carbon oxidation, an evacuated vessel containing a small amount of powdered graphite was heated to 1080 K. Gaseous CO_2 is added to a pressure of 0.458 atm, and CO formed at equilibrium, the total pressure was 0.757 atm. Calculate K_p.

نظراً لأنَّ البيانات معطاة بوحدة الضغط الجوي (atm) ويجب إيجاد K_p، لذا نكتب علاقة Q_p؛ لاحِظ أنها لا تتضمَّن حدًا للمادة الصلبة C(graphite):

The data are given in atmospheres, and we must find K_p, so we write the relationship for Q_p; note that it does not include a term for the solid, C(graphite):

$$C_{(s)} + CO_{2(g)} \rightleftharpoons 2CO_{(g)}$$ (heterogeneous equilibrium اتزان غير متجانس)

ICE table in partial pressures (atm) جدول ICE بالضغوط الجزئية (atm)

State	$CO_{2(g)}$	$CO_{(g)}$	$C_{(s)}$
Initial	0.458	0	excess (فائض)
Change	−x	+2x	–
Equilibrium	0.458 – x	2x	–

Total equilibrium pressure: الضغط الكلي عند الاتزان:

$$P_t = (0.458 - x) + 2x = 0.458 + x = 0.757 \Rightarrow x = 0.299$$

$$P_{CO_2,eq} = 0.458 - 0.299 = 0.159 \text{ atm}$$

$$P_{CO,eq} = 2x = 0.598 \text{ atm}$$

For this reaction, solids are neglected: لهذا التفاعل، تُهمل المواد الصلبة:

$$K_p = \frac{(P_{CO})^2}{P_{CO_2}} = \frac{(0.598)^2}{0.159} \approx 2.25$$

مثال 6: لدراسة تفكك هاليد الهيدروجين، قام باحث بملء دورق مفرَّغ حجمه 2.00 L بـ 0.200 mol من غاز يوديد الهيدروجين HI، وتُرك التفاعل ليكتمل عند درجة حرارة 453°C:

$$2HI_{(g)} \rightleftharpoons H_{2(g)} + I_{2(g)}$$

عند الاتزان، كان [HI] = 0.078 M، احسب قيمة K_c.

Example 6: To study hydrogen halide decomposition, a researcher filled in an evacuated 2.00 L flask with 0.200 mol of HI gas and allowed the reaction to complete at 453°C:

$$2HI_{(g)} \rightleftharpoons H_{2(g)} + I_{2(g)}$$

At equilibrium, [HI] = 0.078 M. Calculate K_c.

Let the reaction progress by x (in M). بفرض أن التفاعل يحصل بمقدار x (بوحدة المولار)

State	HI	H_2	I_2
I	0.100	0	0
C	-2x	+x	+x
E	0.100 − 2x	x	x

$[HI]_{eq}$: $0.100 - 2x = 0.078 \Rightarrow 2x = 0.022 \Rightarrow x = 0.011$ M

$$[H_2]_{(eq)} = [I_2]_{(eq)} = 0.011 \text{ M}$$

$$K_c = \frac{[H_2]_{eq}[I_2]_{eq}}{[HI]^2_{eq}} = \frac{(0.011)(0.011)}{(0.078)^2} = 1.99 \times 10^{-2}$$

Using the Equilibrium Constant to Find Quantities

يتضَمن هذا النوع من المسائل إيجاد كميات الاتزان وله أيضًا عدة أشكال مختلفة.

This type of problem involves finding equilibrium quantities also has several variations.

مثال 7: في دراسة لتحويل الميثان إلى أنواع وقود أخرى، يخلط مهندس كيميائي غازي CH_4 وH_2O في دورق سعة 0.32 L عند درجة حرارة 1200 K. عند الاتزان، يحتوي الدورق على 0.26 mol من CO و0.091 mol من H_2، و 0.041 mol من CH_4، وقليل من H_2O. احسب قيمة $[H_2O]$ عند الاتزان؟ (لهذه العملية عند درجة حرارة 1200 K تكون قيمة $K_c = 0.26$.)

Example 7: In a study of the conversion of methane to other fuels, a chemical engineer mixes gaseous CH_4 and H_2O in a 0.32 L flask at 1200 K. At equilibrium, the flask contains 0.26 mol of CO, 0.091 mol of H_2, 0.041 mol of CH_4, and some H_2O. What is $[H_2O]$ at equilibrium? ($K_c = 0.26$ for this process at 1200 K).

$$CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + 3H_{2(g)}$$

$$K_c = \frac{[CO]\,[H_2]^3}{[CH_4]\,[H_2O]}$$

Equilibrium concentrations: تراكيز الاتزان:

$$[CH_4] = \frac{0.041}{0.32} = 0.13\ M, [CO] = \frac{0.26}{0.32} = 0.81\ M, [H_2] = \frac{0.091}{0.32} = 0.28\ M$$

$$[H_2O] = \frac{[CO]\,[H_2]^3}{[CH_4]\,K_c} = \frac{(0.813)(0.284)^3}{(0.128)(0.26)} \approx 0.56\ M$$

مثال 8: يستخدم مهندسو الوقود مقدار التحوّل من CO وH_2O إلى CO_2 و H_2 لتنظيم نسب خلطات الوقود التركيبي. إذا وُضِع 0.250 mol من غاز CO و 0.250 mol من بخار الماء في دورق حجمه 125 mL عند 900 K، فما تركيب مزيج الاتزان عند نفس درجة الحرارة، إذا علمت أنَ قيمة K_c تساوي 1.56.

Example 8: Fuel engineers use the conversion magnitude from CO and H_2O to CO_2 and H_2 to regulate the proportions of synthetic fuel mixtures. If 0.250 mol of CO gas and 0.250 mol of H_2O vapor are placed in a 125 mL flask at 900 K, what is the composition of the equilibrium mixture at this temperature, given that the value of Kc is 1.56?

$$CO_{(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)} + H_{2(g)} \qquad K_c = 1.56$$

Initial concentrations (0.125 L): التراكيز الابتدائية (0.125 L):

$$[CO]_0 = [H_2O]_0 = \frac{0.250}{0.125} = 2.00\ M; [CO_2]_0 = [H_2]_0 = 0$$

Concentration (M)	CO(g)	$H_2O(g)$	$CO_2(g)$	$H_2(g)$
Initial (I)	2.00	2.00	0	0
Change (C)	−x	−x	+x	+x
Equilibrium (E)	2.00 − x	2.00 − x	x	x

$$K_c = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]} = \frac{x^2}{(2.00-x)^2} = 1.56 \Rightarrow \frac{x}{2.00-x} = \sqrt{1.56} = 1.249$$

x=1.11

تراكيز الاتزان: Equilibrium concentrations:

$[CO] = [H_2O] = 2.00 - 1.11 = 0.889\ M$

$[CO_2] = [H_2] = 1.11\ M$

وبالتالي عدد مولات الاتزان (في 0.125 L) Equilibrium moles (in 0.125 L)

$n_{CO} = n_{H_2O} = 0.889 \times 0.125 = 0.111\ mol;$

$n_{CO_2} = n_{H_2} = 1.11 \times 0.125 = 0.139\ mol.$

استخدام معادلات من الدرجة الثانية لإيجاد تركيز المجهول

في بعض مسائل الاتزان الكيميائي، لا يمكن استخدام طريقة الاختصار المبسطة التي تفترض أن تراكيز المواد المتفاعلة متساوية في البداية، لأن المواد المتفاعلة قد تبدأ بتراكيز مختلفة.

على سبيل المثال، إذا بدأ التفاعل بتركيز 2.00 M CO و 1.00 M H_2O فإن التغيرات في التراكيز لن تتناقص بشكل متماثل. في هذه الحالة، يجب إعداد جدول ICE (الابتدائي – التغير – الاتزان) بالطريقة المعتادة، وسينتج عن ذلك معادلة من الدرجة الثانية عند كتابة تعبير ثابت الاتزان.

Using the Quadratic Formula to Find the Unknown

In some equilibrium problems, the simplified "equal concentrations" shortcut can't be used because the reactants start with different initial concentrations.

For example, if a reaction starts with 2.00 M CO and 1.00 M H_2O, the changes in concentration no longer cancel symmetrically. In this case, the ICE (Initial–Change–Equilibrium) table must be set up normally, and the resulting equilibrium expression will form a quadratic equation.

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$$

Concentration (M)	CO(g)	$H_2O(g)$	$CO_2(g)$	$H_2(g)$
Initial (I)	2.00	1.00	0	0
Change (C)	−x	−x	+x	+x
Equilibrium (E)	2.00 − x	1.00 − x	x	x

$$K_c = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]} = \frac{(x)(x)}{(2.00-x)(1.00-x)} = 1.56$$

$x = 0.732\ M$

$[CO] = 2.00 - 0.732 = 1.27\ M$

$[H_2O] = 1.00 - 0.732 = 0.268\ M$

$[CO_2] = [H_2] = 0.732\ M$

المسائل التي تتضمن خليطاً من المواد المتفاعلة والنواتج

Problems Involving Mixtures of Reactants and Products

في مسائل الاتزان السابقة، كانت التفاعلات تبدأ بوجود المتفاعلات فقط، لذلك كان اتجاه التفاعل نحو تكوين النواتج واضحاً، وكانت التغيرات في التراكيز تُعطى بإشارة سالبة للمتفاعلات وإشارة موجبة للنواتج.

أما عندما يبدأ النظام بوجود مزيج من المتفاعلات والنواتج، فإن اتجاه التفاعل غير معروف مسبقاً.

.In previous equilibrium problems, reactions began with only reactants, so the reaction direction (toward products) was clear, and the changes in concentrations were assigned negative signs for reactants and positive signs for products.

However, when a system starts with both reactants and products, the direction of the shift is not obvious.

في هذه الحالات، يجب أولاً مقارنة قيمة حاصل التفاعل (Q) مع ثابت الاتزان (K) لتحديد الاتجاه الذي سيتحرك فيه النظام للوصول إلى الاتزان:

إذا كان $Q < K$، فإن التفاعل يتجه نحو تكوين النواتج.
إذا كان $Q > K$، فإن التفاعل يتجه نحو تكوين المتفاعلات.
تساعد هذه المقارنة على تحديد اتجاه التغير قبل إعداد جدول ICE الخاص بالاتزان

In such cases, you must first compare the reaction quotient (Q) with the equilibrium constant (K) to determine which way the reaction will proceed to reach equilibrium:

If $Q < K$, the reaction shifts toward products.
If $Q > K$, the reaction shifts toward reactants.
This comparison identifies the direction of change before setting up the ICE table.

مثال 9: تدرس وحدة البحث والتطوير في إحدى الشركات الكيميائية تفاعل الميثان (CH_4) مع كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وهما من مكوّنات الغاز الطبيعي، وفق التفاعل التالي:

$$CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$$

في إحدى التجارب، تم خلط 1.00 mol من CH_4 و 1.00 mol من CS_2 و 2.00 mol من H_2S و 2.00 mol من H_2 في وعاء حجمه 250 mL عند درجة حرارة 960 °C. عند هذه الدرجة من الحرارة، كانت قيمة ثابت الاتزان $K_c = 0.036$.
a) في أي اتجاه سيتقدّم التفاعل للوصول إلى حالة الاتزان؟
b) إذا كان $[CH_4] = 5.56$ M عند الاتزان، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟

Example 9: The research and development unit of a chemical company is studying the reaction of CH_4 and H_2S, two components of natural gas:

$$CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$$

In one experiment, 1.00 mol of CH_4, 1.00 mol of CS_2, 2.00 mol of H_2S, and 2.00 mol of H_2 are mixed in a 250 mL vessel at 960 °C. At this temperature, $K_c = 0.036$.
a) In which direction will the reaction proceed to reach equilibrium?
b) If $[CH_4] = 5.56$ M at equilibrium, what are the equilibrium concentrations of the other substances?

Calculate the concentration using (n/V): احسب التراكيز من عدد المولات والحجم (n/V):
$[CH_4] = 4.00$ M, $[H_2S] = 8.00$ M, $[CS_2] = 4.00$ M, $[H_2] = 8.00$ M

a) Direction of reaction a) اتجاه التفاعل

$$Q_c = \frac{[CS_2][H_2]^4}{[CH_4][H_2S]^2} = \frac{(4.00)(8.00)^4}{(4.00)(8.00)^2} = \frac{(4)(4096)}{(4)(64)} = \frac{4096}{64} = 64$$

$$Q_c(64) > K_c(0.036)$$

التفاعل ينزاح الى اليسار (باتجاه المتفاعلات) للوصول الى الاتزان.
Reaction shifts left (toward reactants) to reach equilibrium.

b) Find equilibrium concentrations b) ايجاد تراكيز الاتزان

State	$CH_{4(g)}$	$+ 2H_2S_{(g)}$	$\rightleftharpoons CS_{2(g)}$	$+ 4H_{2(g)}$
I	4.00	8.00	4.00	8.00

State	$CH_{4(g)}$	$+ 2H_2S_{(g)}$	$\rightleftharpoons CS_{2(g)}$	$+ 4H_{2(g)}$
C	+x	+2x	−x	−4x
E	4.00 + x	8.00 + 2x	4.00 − x	8.00 − 4x

At equilibrium عند الاتزان $[CH_4] = 5.56$ M
$4.00 + x = 5.56 \Rightarrow x = 1.56$
$[H_2S] = 8.00 + 2(1.56) = 11.12$ M
$[CS_2] = 4.00 - 1.56 = 2.44$ M
$[H_2] = 8.00 - 4(1.56) = 1.76$ M

$$K_c = \frac{(2.44)(1.76)^4}{(5.56)(11.12)^2} = 0.034 \approx 0.036$$

شروط التفاعل والاتزان: مبدأ لو شاتلييه
Reaction Conditions and Equilibrium: Le Châtelet's Principle

Le Châtelet's Principle مبدأ لو شاتلييه

- المبدأ: عندما يتعرض نظام في حالة اتزان لاضطراب، فإنّه يستعيد حالة الاتزان من خلال تفاعلٍ صافٍ يقلّل من تأثير هذا الاضطراب.
- الاضطراب: يحدث عندما يُؤدّي التغيير إلى جعل $Q \neq K$. ومن أكثر التغيُرات شيوعًا: التركيز، أو الضغط (عن طريق الحجم)، أو درجة الحرارة.
- التفاعل الصافي / اتجاه موضع الاتزان: يتجه موضع الاتزان نحو اليمين (من المتفاعلات إلى النواتج) أو نحو اليسار (من النواتج إلى المتفاعلات) حتى يتم الوصول إلى حالة اتزان جديدة، مع تغيّر التراكيز / الضغوط لمعادلة تأثير الاضطراب.
- محور هذا الجزء: دراسة الاستجابة للتغيرات في التركيز، والضغط (أو الحجم)، ودرجة الحرارة، وإضافة عامل محفِّز، باستخدام النظام $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$ بوصفه مثالًا توضيحيًا.

- Principle: When a system at equilibrium is disturbed, it reattains equilibrium by a net reaction that reduces the effect of the disturbance.
- Disturbance: Occurs when a change forces $Q \neq K$. Common changes: concentration, pressure (via volume), or temperature.
- Net reaction/shift: The equilibrium position shifts right (from reactants to products) or left (from products to reactants) until a new equilibrium is reached, changing concentrations/pressures to counter the disturbance.
- The focus of this section: studying the response to changes in concentration, pressure (or volume), temperature, and the addition of a catalyst, using the system $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$ as an illustrative example.

The Effect of a Change in Concentration تأثير التغيُّر في التركيز

عندما يتعرَض نظام في حالة اتزان لتغيّرٍ في تركيز أحد مكوناته، فإنه يستجيب بالانتقال في الاتجاه الذي يقلّل من هذا التغيُّر:
إذا ازداد تركيز أحد المتفاعلات فإن الاتزان الكيميائي سينتقل في الاتجاه الذي يقلل من هذه الزيادة في التركيز. وبالتالي، ستزداد سرعة التفاعل، وستتغيّر تراكيز النواتج بما يتناسب مع تأثير زيادة التركيز.
وبالمثل، إذا أُزيلت كمية من أحد المتفاعلات، فإن التفاعل سيتجه في الاتجاه الذي يعوّض هذا النقص؛ أي أنّه سيتحرك في الاتجاه الذي يعاكس انخفاض تركيز تلك المادة. فقط المواد التي تظهر في علاقة الاتزان (Q) تُؤثِر على موضع الاتزان؛ لذلك فإن التغيُّر في كميات السوائل أو المواد الصلبة النقية لا يؤثّر.

When a system at equilibrium experiences a change in the concentration of one of its components, it responds by shifting in the direction that minimizes that change:

If the concentration of one of the reactants increases, the chemical equilibrium will shift in the direction that reduces this increase in concentration. Accordingly, the reaction rate will increase, and the reaction products will change in proportion to the effect of the increased concentration.

Likewise, if some amount of one of the reactants is removed, the reaction will proceed in the direction that compensates for this decrease; that is, it will move in the direction that counteracts the reduction in the concentration of that substance. Only substances that appear in the equilibrium expression (Q) influence the equilibrium position; therefore, changes in the quantities of pure liquids or solids have no effect.

A Qualitative View of a Concentration Change نظرة نوعية على تغير التركيز

عند درجة حرارة 523 K، يصل النظام $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$ إلى حالة الاتزان عندما:

system reaches equilibrium when At 523 K, $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$ then:

$$Q_c = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]} = 24.0 = K_c$$

بدءًا من $Q_c = K_c$، دعنا نحلل كيف تُؤثر التغيُرات في التركيز على موضع الاتزان.

Starting with $Q_c = K_c$, let's analyze how changes in concentration affect the equilibrium position.

1. زيادة كمية متفاعل $PCl_3 + Cl_{2\ (added)} \rightarrow PCl_5$

إذا أُضيف كمية من غاز Cl_2 إلى التفاعل عند الاتزان، فإن النظام يتفاعل لتقليل هذا الاضطراب عن طريق استهلاك جزء من Cl_2 المضاف، مما يدفع الاتزان نحو جهة النواتج. إنّ زيادة تركيز $[Cl_2]$ في البداية تُخَفِض قيمة Q_c، بحيث يصبح $Q_c < K_c$، لذلك سيتجه التفاعل نحو اليمين، مكونًا المزيد من PCl_5 ومستهلكاً كلاً من PCl_3 و Cl_2، حتى يتم الوصول إلى حالة الاتزان حيث تصبح $Q_c = K_c$.

1. Adding a Reactant $PCl_3 + Cl_{2\ (added)} \rightarrow PCl_5$

If additional Cl_2 gas is introduced, the system reacts to reduce this disturbance by consuming part of the added Cl_2, shifting the equilibrium toward the product side. Increasing $[Cl_2]$ initially decreases Q_c, so $Q_c < K_c$. The reaction proceeds to the right, forming more PCl_5 and consuming PCl_3 and Cl_2, until $Q_c = K_c$ is reestablished.

2. إنقاص كمية متفاعل $PCl_5 \leftarrow PCl_{3(removed)} + Cl_2$

إذا تم إنقاص تركيز PCl_3، سيتجه النظام نحو الجهة اليسرى (جهة المتفاعلات) لاستعادة الاتزان. إنَ خَفض تركيز $[PCl_3]$ يؤَدي في البداية إلى زيادة Q_c، بحيث يصبح $Q_c > K_c$. يتفكك جزءً من PCl_5 إلى PCl_3 و Cl_2 حتى يعود الاتزان، حيث تصبح $Q_c = K_c$.

2. Removing a Reactant $PCl_{3(removed)} + Cl_2 \leftarrow PCl_5$

If PCl_3 is removed, the system shifts toward the reactant side to restore balance. Decreasing $[PCl_3]$ initially increases Q_c, so Thus, $Q_c > K_c$ some PCl_5 decomposes into PCl_3 and Cl_2, until equilibrium is reestablished $Q_c = K_c$

3. زيادة أو إنقاص كمية ناتج

تنطبق المبادئ نفسها على النواتج:
زيادة تركيز PCl_5 تُزيح الاتزان نحو اليسار (باتجاه المتفاعلات).
إنقاص تركيز PCl_5 تُزيح الاتزان نحو اليمين (باتجاه النواتج).

3. Adding or Removing a Product

The same principles apply to a products:
Adding PCl_5 shifts equilibrium to the left (toward reactants).
Removing PCl_5 shifts equilibrium to the right (toward products).

القاعدة المُلخَّصة:

إضافة كمية متفاعل أو إنقاص كمية ناتج وبالتالي يتجه الاتزان نحو اليمين.
إنقاص كمية متفاعل أو زيادة كمية ناتج وبالتالي يتجه الاتزان نحو اليسار.

Summary Rule:

Add a reactant or remove a product; consequently, the equilibrium shifts right.
Remove a reactant or add a product; consequently, the equilibrium shifts left.

مثال 10: من أجل تحسين جودة الهواء والحصول على منتجٍ مفيد، يقوم الكيميائيون غالبًا بإنقاص الكبريت من الفحم والغاز الطبيعي عن طريق معالجة غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S المُلوث بالأكسجين O_2:

Example 10: To improve air quality and obtain a useful product, chemists often remove sulfur from coal and natural gas by treating the contaminant hydrogen sulfide with O_2:

$$2H_2S_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2S_{(s)} + 2H_2O_{(g)}$$

ما الذي يحدث لـ؟
a) $[H_2O]$ إذا أُضيف O_2؟
b) $[H_2S]$ إذا أُضيف O_2؟
c) $[O_2]$ إذا أُنقص H_2S؟
d) $[H_2S]$ إذا أُضيف الكبريت؟

What happens to?
a) $[H_2O]$ if O_2 is added?
b) $[H_2S]$ if O_2 is added?
c) $[O_2]$ if H_2S is removed?
d) $[H_2S]$ if sulfur is added?

$$Q = \frac{[H_2O]^2}{[H_2S]^2[O_2]}$$

(ملاحظة: لا تظهر المادة الصلبة $S_{(s)}$ في كلٍ من Q أو K)
(Note: the solid S(s) does not appear in Q or K)

a) زيادة O_2: سيتجه الاتزان نحو اليمين لاستهلاك المتفاعل المضاف وبالتالي يزداد $[H_2O]$.
b) زيادة O_2: نفس الانزياح نحو اليمين يؤدي إلى استهلاك H_2S وبالتالي ينخفض $[H_2S]$.
c) إنقاص H_2S: يتّجه النظام نحو اليسار لتعويض المتفاعل الذي تم إزالته وبالتالي يزداد $[O_2]$ (لأنها تتكوّن من H_2O في التفاعل العكسي).
d) زيادة الكبريت $S_{(s)}$: لا يحدث أي تأثير (مادة صلبة نقية لا تدخل في Q) وبالتالي يبقى $[H_2S]$ دون تغيُر.

a) Add O_2: shifts right to consume added reactant; consequently, H_2O increases.
b) Add O_2: same rightward shift consumes H_2S; consequently, $[H_2S]$ decreases.
c) Remove H_2S: system shifts left to replace removed reactant; consequently, $[O_2]$ increases (formed from H_2O in the reverse reaction).
d) Add sulfur $S_{(s)}$ no effect (pure solid; not in Q); consequently, $[H_2S]$ unchanged.

The Effect of a Change in Pressure (Volume) تأثير التغيُّر في الضغط (أو الحجم)

يمكن أن تؤثر التغيُّرات في الضغط تأثيرًا كبيرًا على أنظمة الاتزان التي تتضمن غازات. (إذ يكون للضغط تأثيرٌ ضئيل أو معدوم على السوائل والمواد الصلبة لأنها غير قابلة للانضغاط). يمكن أن تحدث التغيّرات في الضغط بعدة طرق:

Changes in pressure can significantly influence equilibrium systems that involve gases. (Pressure has little to no effect on liquids and solids because they are almost incompressible). Pressure variations can occur in several ways:

- **تغيير تركيز أحد المكونات الغازية**

ينطبق المنطق نفسه المستخدم في تغيّرات التركيز هنا، إذ إنّ تغيير كمية الغاز يؤثر على موضع الاتزان.

- **Changing the concentration of a gaseous component**

The same logic used for concentration changes applies here, changing the amount of a gas affects the equilibrium position.

- **إضافة غاز خامل (لا يشارك في التفاعل)**

يبقى حجم النظام ثابتًا، فإن إدخال غاز خامل لا يُؤثر في موضع الاتزان، لأنَ تراكيز وضغوط الغازات المتفاعلة الجزئية تبقى دون تغيير. بالإضافة إلى ذلك، لا يَظهر الغاز الخامل في علاقة الاتزان (Q) ، وبالتالي لا يمكنه التأثير على الاتزان.

- **Adding an inert gas (one that does not participate in the reaction)**

When the system's volume remains constant, introducing an inert gas does not affect the equilibrium position, since the concentrations and partial pressures of the reacting gases remain unchanged. In addition, the inert gas does not appear in the equilibrium expression (Q), so it cannot influence the equilibrium.

- **تغيير حجم وعاء التفاعل**

يمكن أن يؤثر تغيير حجم وعاء التفاعل بشكلٍ كبيرٍ على موضع الاتزان، ولكن فقط في التفاعلات التي يتغيَر فيها العدد الكلي لمولات الغاز. لننظر في حالتين محتملتين للطريقة الثالثة: تغيَير حجم وعاء التفاعل

- **Changing the volume of the reaction vessel**

Changing the size of the reaction vessel can greatly affect the position of equilibrium, but only in reactions where the total number of moles of gas changes. Let's consider the two possible situations for the third way: changing the volume of the reaction vessel.

تأثير تغيُّر الحجم (أو الضغط) على الاتزان الغازي

Effect of Volume (or Pressure) Changes on Gaseous Equilibrium

1. عندما يتغيّر عدد مولات الغاز ($n_{(gas)}$).

مثال: $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$

2 mol غاز $\rightleftharpoons$ 1 mol غاز

إذا خُفِّض حجم الوعاء إلى النصف، يتضاعف الضغط. ولمعادلة هذا الاضطراب، يتجه النظام نحو الجهة التي تحتوي على عدد أقل من جزيئات الغاز، وهنا نحو النواتج، مُكوّنًا المزيد من PCl_5.

1. When the number of gas moles ($n_{(gas)}$) changes.

Example: $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)}$

2 mol gas $\rightleftharpoons$ 1 mol gas

If the volume of the container is reduced to half, the pressure doubles. To counter this disturbance, the system shifts toward the side with fewer gas molecules. here, toward products, forming more PCl_5.

Mathematically: رياضياً:

$$Q_c = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]}$$

عند خفض حجم النظام إلى النصف، فتتضاعف ضغوط الغازات وتراكيزها، مما يجعل $Q_c < K_c$ في العلاقة. لذلك يمضي التفاعل في الاتجاه الأمامي حتى تُستعاد حالة الاتزان.

The volume is reduced to half, gas pressure and concentrations double, In the Q expression, making $Q_c < K_c$. The reaction therefore proceeds forward until equilibrium is restored.

2. عندما لا يتغيّر عدد مولات الغاز $(n_{(gas)})$.

مثال: $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$

في هذه الحالة، يحتوي الطرفان على نفس العدد من مولات الغاز، لذا تؤثّر تغيّرات الحجم على البسط والمقام بنفس الدرجة ، فلا يحدث أي انزياح في موضع الاتزان.

2. When the number of gas moles $(n_{(gas)})$ does not change.

Example: $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$

Here, both sides have the same total moles of gas, so volume changes affect numerator and denominator equally → No shift in equilibrium position.

يُعَد تغير الحجم فعليًا تغيرًا في التركيز، لذا لا تتغيّر قيمة K_c مع تغيّر الضغط/الحجم.

Volume change is effectively a concentration change, so K_c does not change with pressure/volume changes.

مثال 11: كيف يمكن تغيير حجم كل من التفاعلات التالية لزيادة كمية المادة (أو المواد) الناتجة؟

Example 11: How would you change the volume of each of the following reactions to increase the yield of the product(s)?

a) $CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$

b) $S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightleftharpoons SF_{6(g)}$

c) $Cl_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2ICl_{(g)}$

a) $CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$

$0 \text{ mol gas} \rightleftharpoons 1 \text{ mol gas}$

زيادة الحجم (أو إنقاص CO_2) تؤدّي إلى تفضيل الاتزان للجانب الذي يحتوي على عدد أكبر من مولات الغاز فينزاح التفاعل نحو اليمين ويتكوّن المزيد من النواتج.

Increase volume (or remove CO_2) to favor the side with more gas moles, then shift right and more product.

b) $S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightleftharpoons SF_{6(g)}$

$3 \text{ mol gas} \rightleftharpoons 1 \text{ mol gas}$

تقليل الحجم يؤدي إلى تفضيل الاتزان للجانب الذي يحتوي على عدد أقل من مولات الغاز فينزاح التفاعل نحو اليمين ويزداد تكوّن النواتج.

Decrease volume to favor the side with fewer gas moles and shift right with more product.

c) $Cl_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2ICl_{(g)}$

$2 \text{ mol gas} \rightleftharpoons 2 \text{ mol gas}$ (no change لا يوجد تغير)

تغيُر الحجم أو الضغط لا يؤثر على موضع الاتزان وبالتالي يبقى ناتج التفاعل دون تَغيُر.

Changing volume/pressure has no effect on equilibrium position, thus product yield unchanged.

The Effect of a Change in Temperature — تأثير التغير في درجة الحرارة

تأثير درجة الحرارة على الاتزان و K_c

من بين الاضطرابات الثلاثة الممكنة، التغيُرات في التركيز أو الضغط أو درجة الحرارة، فإن درجة الحرارة فقط هي التي تُغيّر قيمة ثابت الاتزان (K).

لننظر إلى التفاعل: $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)} \quad \Delta H_{rxn} = -111\ kJ$

يكون التفاعل الأمامي طارداً للحرارة (يُطلِق حرارة)، بينما التفاعل العكسي ماصاً للحرارة (يمتص حرارة).

إذا عوملت الحرارة (Q) كمكون في النظام : $A \rightleftharpoons B + Q$

رفع درجة الحرارة يُضيف حرارة، مما يُفضّل الاتجاه الماص للحرارة (الاتجاه العكسي).

وعند خفض درجة الحرارة تُزال حرارة، مما يُفضّل الاتجاه الطارد للحرارة (الاتجاه الأمامي).

عند الاتزان يكون $Q_c = K_c$.

في التفاعلات الطاردة للحرارة (مثل تكوين PCl_5)، فإن زيادة درجة الحرارة تعادل إضافة حرارة للنظام، لذلك يتجه التفاعل نحو الاتجاه الماص للحرارة (الاتجاه العكسي) لامتصاص الحرارة الزائدة، مما يُقلِل تركيز النواتج ويُخفِض قيمة K_c. وعلى العكس فإنَ خَفِض درجة الحرارة، فيتجه التفاعل إلى الاتجاه الأمامي (الطارد للحرارة) مُنتجاً المزيد من PCl_5 ويُزيد من قيمة K_c.

Effect of Temperature on Equilibrium and K_c

Among the three possible disturbances—changes in concentration, pressure, or temperature—only temperature changes alter the equilibrium constant (K).

Consider the reaction: $PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons PCl_{5(g)} \quad \Delta H_{rxn} = -111\ kJ$

The forward reaction is exothermic (releases heat), while the reverse reaction is endothermic (absorbs heat).

If heat is treated as a component of the system: $A \rightleftharpoons B + Q$

Raising the temperature adds heat, favoring the endothermic (reverse) direction.

Lowering the temperature removes heat, favoring the exothermic (forward) direction.

At equilibrium, $Q_c = K_c$.

In exothermic reactions (like the formation of PCl_5), increasing temperature is equivalent to adding heat, so the equilibrium shifts toward the endothermic (reverse) direction to absorb the excess heat, decreasing product concentration and lowering K_c. Conversely, decreasing temperature favors the forward (exothermic) direction, producing more PCl_5 and increasing K_c.

باختصار:

للتفاعلات الماصة للحرارة: $(\Delta H_{rxn} > 0)$ زيادة درجة الحرارة تُزيد من قيمة K_c.

للتفاعلات الطاردة للحرارة: $(\Delta H_{rxn} < 0)$ زيادة درجة الحرارة تُنقِص من قيمة K_c.

In summary:

For endothermic reactions ($\Delta H_{rxn} > 0$): increasing temperature rises K_c.

For exothermic reactions ($\Delta H_{rxn} < 0$): increasing temperature lowers K_c.

مثال 12: كيف يؤثر ارتفاع درجة الحرارة على تركيز التي تحتها خط وعلى قيمة K في كلٍ من التفاعلات التالية؟

Example 12: How does an increase in temperature affect the equilibrium concentration of the underlined substance and K for each of the following reactions?

a) $CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons \underline{Ca(OH)_{2(aq)}} \quad \Delta H^o = -82\ kJ$

b) $CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + \underline{CO_{2(g)}}$ $\Delta H^o = 178$ kJ

c) $\underline{SO_{2(g)}} \rightleftharpoons S_{(s)} + O_{2(g)}$ $\Delta H^o = 297$ kJ

a) $CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons \underline{Ca(OH)_{2(aq)}} + heat$

إضافة الحرارة تجعل النظام يتجه نحو اليسار، عندها ينخفض تركيز $[Ca(OH)_2]$ وتقل قيمة K.

Adding heat shifts the system to the left: $[Ca(OH)_2]$ and K will decrease.

b) $CaCO_{3(s)} + heat$ حرارة $\rightleftharpoons CaO_{(s)} + \underline{CO_{2(g)}}$

إضافة الحرارة تجعل النظام يتجه نحو اليمين، عندها يزداد تركيز $[CO_2]$ وتزداد قيمة K.

Adding heat shifts the system to the right: $[CO_2]$ and K will increase.

c) $\underline{SO_{2(g)}} + heat \rightleftharpoons S_{(s)} + O_{2(g)}$

إضافة الحرارة تجعل النظام يتجه نحو اليمين، عندها ينخفض تركيز $[SO_2]$ وتزداد قيمة K.

Adding heat shifts the system to the right: $[SO_2]$ will decrease, and K will increase.

The Lack of Effect of a Catalyst عدم تأثير العامل المُحفِّز

العامل المُحفِّز هو مادة تُسَرع التفاعل الكيميائي عن طريق خفض طاقة التنشيط، مما يعني أنه يجعل بدء التفاعل أسهل. وهو يُسَرِّع التفاعل الأمامي والعكسي بنفس القدر، لذا يصل النظام إلى الاتزان بشكل أسرع. ومع ذلك، يبقى موضع الاتزان دون تغيير لأن نسبة المتفاعلات إلى النواتج عند الاتزان تبقى كما هي..

A catalyst is a substance that speeds up a chemical reaction by lowering the activation energy, meaning it makes the reaction easier to start. It accelerates both the forward and reverse reactions equally, so the system reaches equilibrium faster. However, the equilibrium position remains unchanged because the ratio of reactants to products at equilibrium stays the same.

اختيار الظروف المثلى للتفاعل- عملية هابر

Choosing the Optimum Conditions for a Reaction- Haber Process

Industrial Production of Ammonia الإنتاج الصناعي للأمونيا

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 \qquad \Delta H = -91.8 \text{ kJ}$$

تفضل عملية هابر درجات الحرارة المنخفضة والضغوط العالية لتكوين الأمونيا، ولكن درجات الحرارة المنخفضة تبطئ سرعة التفاعل. لذلك، يتم اختيار درجة حرارة مثلى تبلغ حوالي 450°C وضغط مرتفع يقارب 200 atm لتحقيق توازن جيد بين المردود وسرعة التفاعل.

The Haber process favors low temperatures and high pressures for ammonia formation, but low temperatures slow the reaction. Therefore, an optimum temperature of about 450°C and a high pressure of about 200 atm are used to achieve a good balance between yield and reaction rate.

Problems مسائل

(8-1)

اختر الإجابة الصحيحة Choose the correct answer

1. كيف تتغير سرعات التفاعل لتفاعل الاتزان الطارد للحرارة $A + B \rightleftharpoons C + D$ إذا حصل اضطراب للتفاعل بالتسخين.

1. How the reaction rates change if the equilibrium of $A + B \rightleftharpoons C + D$ exothermic reaction are disturbed by heating?

a) تزداد سرعة التفاعل للتفاعل $A + B \rightarrow C + D$ وتقل سرعة التفاعل للتفاعل $C + D \rightarrow A + B$

a) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases and the rate of $C + D \rightarrow A + B$ reaction decreases.

b) تزداد سرعة كلا التفاعلين $A + B \rightarrow C + D$ و $C + D \rightarrow A + B$ بشكل متساو.

b) The reaction rates for both $A + B \rightarrow C + D$ reaction and $C + D \rightarrow A + B$ reaction increases equally.

c) تزداد سرعة التفاعل $A + B \rightarrow C + D$ بشكل أكبر من التفاعل $C + D \rightarrow A + B$

c) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases more than $C + D \rightarrow A + B$ reaction.

d) تزداد سرعة التفاعل $A + B \rightarrow C + D$ بشكل أقل من التفاعل $C + D \rightarrow A + B$

d) The reaction rate of $A + B \rightarrow C + D$ reaction increases less than $C + D \rightarrow A + B$ reaction.

2. من المعروف أن أول أكسيد الكربون يتفاعل بشكل طارد للحرارة مع غاز الهيدروجين لتكوين الميثانول عند 400°C، في وجود محفز.

2. It is known that carbon monoxide reacts exothermically with hydrogen gas to form methanol at 400°C, in the presence of a catalyst.

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)} + \text{heat}$$

يتم وضع خليط من أول أكسيد الكربون وغاز الهيدروجين والميثانول في وعاء مغلق في الظروف الموصوفة أعلاه للوصول إلى الاتزان. إذا تمّ تغيير درجة حرارة التفاعل إلى 450°C، فأيٍ من العبارات التالية صحيحة؟

A mixture of carbon monoxide, hydrogen gas and methanol placed under conditions described above achieves equilibrium in a closed container. If the reaction temperature is changed to 450°C, which of the following statements is correct?

a) ينقص العدد الإجمالي للجزيئات في الوعاء.

a) The total number of molecules in the container decreases.

b) تبقى سرعات التفاعل لكلا التفاعلات الأمامية والعكسية ثابتة.

b) The reaction rates of both the forward and reverse reactions remain constant.

c) يقل متوسط الكتلة الجزيئية للمزيج الغازي

c) The average molecular mass of the gaseous mixture decreases.

d) تقل سرعة تكوين الهيدروجين بينما تزداد سرعة تحلل الميثانول.

d) Rate of formation of hydrogen decreases while the rate of decomposition of methanol increases.

(8-2)

a) عند درجة حرارة معينة، تكون قيمة K_c، 4.13×10^{-2}، للاتزان:

a) At a certain temperature. K_c, is 4.13×10^{-2} for the K_c, for the equilibrium:

$$2IBr_{(g)} \rightleftharpoons I_{2(g)} + Br_{2(g)}$$

افترض أنه قد تم الوصول الى الاتزان عند درجة الحرارة أعلاه عن طريق إضافة $IBr_{(g)}$ فقط إلى دورق التفاعل. ما تراكيز $I_{2(g)}$ و $Br_{2(g)}$ عند الاتزان أذا كان تركيز $IBr_{(g)}$ 0.0124 moles/liter ؟

Assume that equilibrium is reached at the above temperature by adding only $IBr_{(g)}$ to the reaction flask. What are the concentrations of $I_{2(g)}$ and $Br_{2(g)}$ in equilibrium with 0.0124 moles/liter of $IBr_{(g)}$?

b) ما التركيز الابتدائي لـ $IBr_{(g)}$ قبل الوصول للاتزان؟

b) What was the initial concentration of IBr before the equilibrium was reached?

(8-3)

يتم وضع 0.924 mole من $A_{(g)}$ في وعاء حجمه 1.00 L عند 700 °C، حيث يتفكك 38.8% حتى الوصول للاتزان.

0.924 mole of $A_{(g)}$ is placed in 1.00 L container at 700 °C, where it is 38.8% dissociated when equilibrium was reached.

$$3A_{(g)} \rightleftharpoons 5B_{(g)} + 2C_{(g)}$$

ما قيمة ثابت الاتزان K_c عند نفس درجة الحرارة؟

What is the value of the equilibrium constant, K_c, at the same temperature?

(8-4)

تفاعل أيون الكبريتيد S^{2-} في محلول قلوي مع الكبريت الصلب لتكوين أيونات متعددة الكبريتيد ذات الصيغ S_2^{2-}, S_3^{2-}, S_4^{2-} وهكذا. ثابت الاتزان لتكوّن S_2^{2-} هو 12، وثابت الاتزان لتكوّن S_3^{2-} هو 130، وكلاهما يتكون من S^{2-} و S. ما قيمة ثابت الاتزان لتكوّن S_3^{2-} من S_2^{2-} و S؟

Sulfide ion S^{2-} in alkaline solution reacts with solid sulfur to form polysulfide ions having the formulas S_2^{2-}, S_3^{2-}, S_4^{2-}, and so on. The equilibrium constant for the formation of S_2^{2-} is 12, for S_3^{2-} is 130, and both are formed from S and S^{2-}. What is the equilibrium constant for the formation of S_3^{2-} from S_2^{2-} and S?

PROBLEMS ANSWER إجابات المسائل

(8-1)

1	2
d	c

(8-2)

	$2IBr_{(g)}$	⇌	$I_{2(g)}$	+	$Br_{2(g)}$
I	Y		0		0
C	-2x		+x		+x
E	0.0124		x		x

a) $Y - 2x = 0.0124\ M$

$K = [Br_2][I_2] / [IBr]^2 = x^2/(0.0124)^2 = 4.13 \times 10^{-2}$

$x = 2.52 \times 10^{-3}\ M$

$[Br_2] = [I_2] = 2.52 \times 10^{-3}\ M$

b) $Y - 2x = 0.0124$

$Y = 0.0124 + 2\ (2.52 \times 10^{-3}) = 0.0174\ M$

(8-3)

	$3A_{(g)}$	⇌	$5B_{(g)}$	+	$2C_{(g)}$
I	0.924		0		0
C	-3x		+5x		+2x
	-0.329		5x 0.1195		2x 0.1195
E	0.924-3x = 0.5655		5x = 0.5975		2x = 0.239

$3x = 0.924 \times 38.8\% = 0.3585 \rightarrow x = 0.1195$

$$K_c = \frac{[B]^5[C]^2}{[A]^3}, K_c = \frac{(0.5975)^5(0.239)^2}{(0.5655)^3} = 0.0241$$

(8-4)

(1) $S^{2-} + S_{(s)} \rightleftharpoons S_2^{2-}$ $K_1 = 12$

(2) $S^{2-} + 2S_{(s)} \rightleftharpoons S_3^{2-}$ $K_2 = 130$

(3) $S_2^{2-} + S_{(s)} \rightleftharpoons S_3^{2-}$ $(K_{(3)} = ?)$

$$K_{(3)} = \frac{K_2}{K_1} = \frac{130}{12} = 10.83$$

Acid and Base Concepts — مفاهيم الحموض والقواعد

تم التعرّف على الحموض والقواعد أولاً من خلال خصائص بسيطة مثل الطعم وتغيير اللون. تتميّز الحموض بطعمها اللاذع وتحوّل ورق تباع الشمس الأزرق إلى الأحمر، بينما تتميز القواعد بطعمها المر وتحوّل ورق تباع الشمس الأحمر إلى الأزرق. كما تؤثّر أيضًا على الكواشف مثل الفينولفثالين، حيث تحوّل الحموض لونه إلى عديم اللون، بينما تحوّله القواعد الى اللون الوردي. تتعادل الحموض والقواعد مع بعضها لتكوين الأملاح، وتتفاعل الحموض مع الفلزات النشطة مثل المغنيسيوم والزنك مُطلقة غاز الهيدروجين.

Acids and bases were first identified by simple properties such as taste and color change. Acids taste sour and turn blue litmus red, while bases taste bitter and turn red litmus blue. They also affect indicators like phenolphthalein, with acids turning it colorless and bases turning it pink. Acids and bases neutralize each other to form salts, and acids react with active metals such as magnesium and zinc to release hydrogen gas.

Arrhenius Concept of Acids and Bases — مفهوم أرهينيوس للحموض والقواعد

في المحلول المائي، يمنح الحمض أيون الهيدروجين H^+ الذي يوجد على شكل أيون الهيدرونيوم $H_3O^+_{(aq)}$، بينما يؤدي وجود القاعدة إلى زيادة تركيز أيون الهيدروكسيد $OH^-_{(aq)}$. كما يقوم الماء نفسه بتكوين هذه الأيونات.

In aqueous solution, an acid donates H^+, which exists as $H_3O^+_{(aq)}$, while a base increases $OH^-_{(aq)}$. Also, Water forms these ions.

$$H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

تتأين الحموض القوية مثل $HClO_4$ والقواعد القوية مثل NaOH تأينًا كلياً في الماء، مُنتجة H_3O^+ و OH^- كما هو موضّح في التفاعلات:

Strong acids like $HClO_4$ and strong bases like NaOH completely ionize in water, producing H_3O^+ and OH^-, as shown in reactions such as:

$$HClO_{4(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_3O^+_{(aq)} + ClO_4^-{}_{(aq)}$$
$$NaOH_{(aq)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

أما الحموض الضعيفة مثل حمض الخليك $HC_2H_3O_2$، فإنها تتأين جزئيًا فقط في تفاعل عكسي:

Weak acids, such as $HC_2H_3O_2$, ionize only partially in a reversible reaction:

$$HC_2H_3O_2 + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$$

تتبع جميع تفاعلات التعادل بين حمض قوي وقاعدة قوية المعادلة الأيونية النهائية:

All strong acid–strong base neutralizations follow the net ionic equation.

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

وتطلَق حرارة مقدارها -55.90 kJ لكل مول من أيونات H^+.

releasing heat -55.90 kJ per mole of H^+.

ولكنَ مفهوم أرهينيوس محدود لأنه ينطبق فقط على المحاليل المائية ويعتبر أيون الهيدروكسيد OH^- هو النوع الوحيد الذي يُظهر الخواص القاعدية.

However, the Arrhenius concept is limited because it applies only to aqueous solutions and treats OH^- as the only base species.

مفهوم برونستد–لاوري للحموض والقواعد

Brønsted–Lowry Concept of Acids and Bases

يُعرّف مفهوم برونستد ولاوري الذي اقترحه عام 1923، الحمض بأنه مانح للبروتون (H^+)، والقاعدة بأنها مستقبلة للبروتون. على سبيل المثال، في التفاعل:

The Brønsted–Lowry concept, proposed in 1923 by Brønsted and Lowry, defines an acid as a proton (H^+) donor and a base as a proton acceptor. For example, in the reaction:

$$H_3O^+_{(aq)} + NH_{3(aq)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)} + NH_4^+{}_{(aq)}$$

ينتقل بروتون من أيون H_3O^+ إلى NH_3، مما يجعل H_3O^+ هو الحمض و NH_3 هو القاعدة. ينطبق هذا المفهوم أيضًا في الأوساط غير المائية، مثل التفاعل في البنزين:

a proton is transferred from H_3O^+ to NH_3, making H_3O^+ the acid and NH_3 the base. This concept also applies in non-aqueous media, such as the reaction in benzene:

$$HCl(benzene) + NH_3(benzene) \rightleftharpoons NH_4Cl_{(s)}$$

حيث يمنح HCl بروتونًا لـ NH_3.

where HCl donates a proton to NH_3.

في التفاعلات العكسية، يحدث انتقال البروتون في كلا الاتجاهين، كما يظهر في التفاعل:

In reversible reactions, proton transfer occurs in both directions, as seen in,

$$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

حيث يكون NH_3 قاعدة والماء حمضا في الاتجاه الأمامي، بينما يكون NH_4^+ هو الحمض و OH^- هو القاعدة في الاتجاه العكسي.

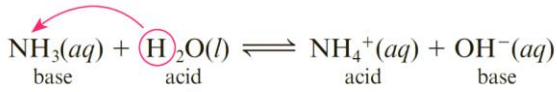
where NH_3 is a base and H_2O is an acid in the forward direction, while NH_4^+ is the acid and OH^- is the base in the reverse direction.

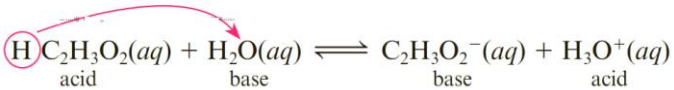
يشكّل كل من NH_4^+ و NH_3 زوج حمض-قاعدة مقترن لأنهما يختلفان ببروتون واحد، حيث أنّ NH_4^+ هو الحمض المقترن لـ NH_3 و NH_3 هي القاعدة المقترنة لـ NH_4^+.

NH_4^+ and NH_3 form a conjugate acid–base pair because they differ by a proton, with NH_4^+ as the conjugate acid of NH_3 and NH_3 as the conjugate base of NH_4^+.

بعض المواد يمكنها القيام بالدورين، وتسمى متذبذبة البروتون (amphiprotic) لأنها يمكن أن تفقد أو تكتسب بروتونًا حسب التفاعل. على سبيل المثال، يعمل HCO_3^- كحمض مع OH^- لكنه يعمل كقاعدة في وجود HF. كما يُعَد الماء مادة متذبذبة البروتون أيضاً، حيث تعمل كحمض مع NH_3 في التفاعل، وتعمل كقاعدة مع $HC_2H_3O_2$.

Some substances can do both, and these are called amphiprotic because they can lose or gain a proton depending on the reaction. For example, HCO_3^- acts as an acid with OH^- but as a base with HF. Water is also amphiprotic, acting as an acid with NH_3 in the reaction, and as a base with $HC_2H_3O_2$.





يُعَد مفهوم برونستد–لاوري أوسع من مفهوم أرهينيوس لأنّ القواعد لا تقتصر على أيون الهيدروكسيد OH^- فقط، ويمكن أن تكون الحموض والقواعد أيونات أو جزيئات، والتفاعلات الحمضية–القاعدية ليست مقيدة بالمحاليل المائية، وبعض الأنواع يمكن أن تعمل كحمض أو كقاعدة. أما مصطلح متذبذب

(amphoteric) فهو أعمّ ويشير إلى أي نوع يمكنه أن يعمل كحمض أو كقاعدة، مثل أكسيد الألومنيوم، الذي لا يُعَدّ متذبذب البروتون لأنَه لا يحتوي على بروتونات.

The Brønsted–Lowry concept is broader than the Arrhenius concept because bases are not limited to OH^-, acids and bases can be ions or molecules, reactions are not restricted to aqueous solutions, and some species can act as either acids or bases. The term amphoteric is more general and refers to any species that can act as an acid or base, such as aluminum oxide, which is not amphiprotic because it has no protons.

يبين الجدول 9.1 الحموض والقواعد المقترنة لعدة أنواع شائعة.

Table 9.1 lists the conjugate acids and bases of several common species.

النوع Species	القاعدة المقترنة Conjugate base	النوع Species	الحمض المقترن Conjugate acid
CH_3COOH	CH_3COO^-	NH_3	NH_4^+
H_2O	OH^-	H_2O	H_3O^+
NH_3	NH_2^-	OH^-	H_2O
H_2SO_4	HSO_4^-	H_2NCONH_2	$H_2NCONH_3^+$

الجدول 9.1: الحموض والقواعد المقترنة لعدة أنواع شائعة

Table 9.1: Conjugate Acids and Base of Some Common Species

Example 1: **مثال 1:**

1. اكتب صيغ القواعد المقترنة للحموض التالية:

1. Write the formulas for the conjugate bases of the following acids:

a) HCN, b) HCO_3^-, c) $N_2H_5^+$, d) C_2H_5OH, e) HNO_3

2. اكتب صيغ الحموض المقترنة للقواعد التالية:

2. Write the formulas for the conjugate acids of the following bases:

a) $C_2H_3O_2^-$, b) HCO_3^-, c) C_5H_5N, d) $N_2H_5^+$, e) OH^-

3. في المعادلات التالية، عيّن أيَّ نوعٍ يُمثِّل حمضًا و أيَّ نوعٍ يُمثِّل قاعدة. ثم أظهِر أزواج الحمض–القاعدة المقترنة.

3. In the following equations, label each species as an acid or a base. Show the conjugate acid–base pairs.

a) $HCO_3^-(aq) + HF(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) + F^-(aq)$

b) $HCO_3^-(aq) + OH^-(aq) \rightleftharpoons CO_3^{2-}(aq) + H_2O(l)$

Answers **الإجابات**

1. a) $HCN \rightarrow CN^-$, b) $HCO_3^- \rightarrow CO_3^{2-}$, c) $N_2H_5^+ \rightarrow N_2H_4$, d) $C_2H_5OH \rightarrow C_2H_5O^-$, e) $HNO_3 \rightarrow NO_3^-$

2. a) $C_2H_3O_2^- \rightarrow HC_2H_3O_2$, b) $HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3$, c) $C_5H_5N \rightarrow C_5H_5NH^+$, d) $N_2H_5^+ \rightarrow N_2H_6^{2+}$, e) $OH^- \rightarrow H_2O$

3.

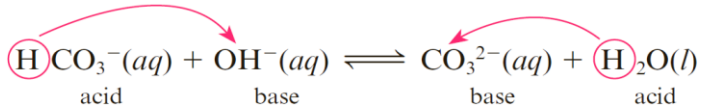
a) $HCO_3^-(aq) + HF(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) + F^-(aq)$

base acid acid base

HCO_3^- هو القاعدة، وHF هو الحمض ← H_2CO_3 (الحمض المقترن لـ HCO_3^-) و F^- (القاعدة المقترنة لـ HF). الأزواج المقترنة: HCO_3^-/H_2CO_3 و HF/F^-.

HCO_3^- is the base, HF is the acid → H_2CO_3 (conjugate acid of HCO_3^-) and F^- (conjugate base of HF). Pairs: HCO_3^-/H_2CO_3 and HF/F^-.

b)



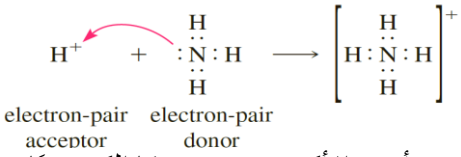
HCO_3^- هو الحمض، وOH^- هو القاعدة ← CO_3^{2-} (القاعدة المقترنة لـ HCO_3^-) و H_2O (الحمض المقترن لـ OH^-). الأزواج المقترنة: HCO_3^-/CO_3^{2-} و H_2O/OH^-.

HCO_3^- is the acid, OH^- is the base → CO_3^{2-} (conjugate base of HCO_3^-) and H_2O (conjugate acid of OH^-). Pairs: HCO_3^-/CO_3^{2-} and H_2O/OH^-.

Lewis Concept of Acids and Bases مفهوم لويس للحموض والقواعد

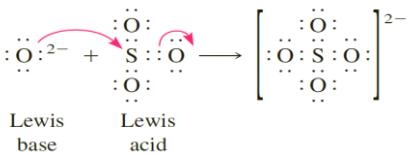
وفقًا للويس G. N. Lewis، يُعرَّف الحمض بأنه النوع الذي يستقبل زوجًا من الإلكترونات لتكوين رابطة تساهمية، بينما تُعرَّف القاعدة حسب لويس بأنها النوع الذي يمنح زوجًا من الإلكترونات لتكوين هذه الرابطة. يُعطي هذا المنظور تفسيرًا آخر للتفاعلات التي يشرحها أيضًا مفهوم برونستد–لاوري، مثل تفاعل NH_3 مع HCl في المحلول المائي، حيث يستقبل البروتون من أيون الهيدرونيوم H_3O^+ زوجًا من الإلكترونات من NH_3 لتكوين رابطة H–N، مما يجعل البروتون حمض لويس و NH_3 قاعدة لويس.

According to G. N. Lewis, a Lewis acid is a species that accepts an electron pair to form a covalent bond, while a Lewis base donates an electron pair to form such a bond. This provides another perspective on reactions also explained by Brønsted–Lowry theory, such as the reaction of NH_3 with HCl in aqueous solution, where a proton from H_3O^+ accepts an electron pair from NH_3 to form an H–N bond, making the proton a Lewis acid and NH_3 a Lewis base.



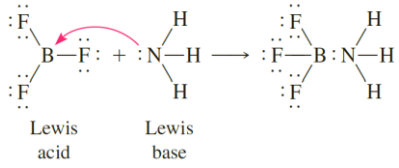
في التفاعل بين Na_2O و SO_3، يمنح أيون الأكسيد O^{2-} زوجًا إلكترونيًا ويعمل كقاعدة لويس، بينما يستقبل SO_3 زوج الالكترونات ويعمل كحمض لويس.

In the reaction between Na_2O and SO_3, the oxide ion O^{2-} donates an electron pair, acting as a Lewis base, while SO_3 accepts the electron pair and acts as a Lewis acid.



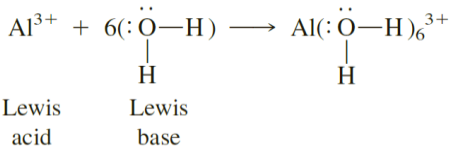
ويُعَد تفاعل ثلاثي فلوريد البورون (BF_3) مع الأمونيا مثالً آخراً، حيث يمنح NH_3 زوج الإلكترونات الحرة إلى ذرة البورون في BF_3، فيكون NH_3 قاعدة لويس و BF_3 حمض لويس، ويشارك زوج الإلكترونات ليكوِن رابطة B–N.

The reaction of boron trifluoride (BF_3) with ammonia is another example in which NH_3 donates its lone electron pair to the boron atom of BF_3, making NH_3 a Lewis base and BF_3 a Lewis acid, with the electron pair now shared to form a B–N bond.



كما أن تكوين الأيونات المعقَّدة مثل $Al(H_2O)_6^{3+}$ ينطوي أيضًا على سلوك حمض–قاعدة وفقًا لمفهوم لويس، حيث يعمل أيون الفلز كحمض لويس باستقباله أزواج الإلكترونات من جزيئات H_2O التي تعمل كقواعد لويس.

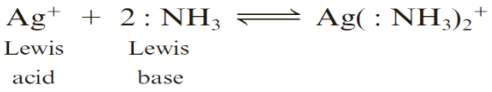
The formation of complex ions such as $Al(H_2O)_6^{3+}$ also involves Lewis acid–base behavior, as the metal ion acts as a Lewis acid by accepting electron pairs from molecules like H_2O, which act as Lewis bases.



مثال 2: في التفاعلات التالية، حدِّد الحمض والقاعدة وفقًا لمفهوم لويس.

Example 2: In the following reactions, identify the Lewis acid and the Lewis base. a) $Ag^+ + 2NH_3 \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]^+$, b) $B(OH)_3 + H_2O \rightleftharpoons B(OH)_4^- + H^+$

a)

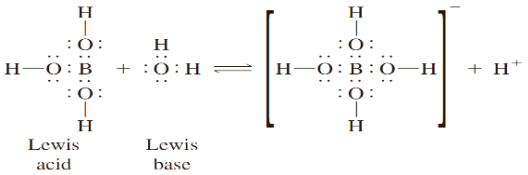


Lewis acid حمض لويس: Ag^+ accepts lone pairs يكتسب زوجا غير رابط

Lewis base قاعدة لويس : NH_3 (donates its N lone pair to Ag^+)

(يمنح الزوج غير الرابط عند N إلى Ag^+)

b) $B(OH)_3 + H_2O \rightleftharpoons B(OH)_4^- + H^+$



Lewis acid حمض لويس: $B(OH)_3$ (boron is electron-deficient; accepts a lone pair).

(البورون فقير بالإلكترونات؛ يستقبل زوجًا غير رابط)

Lewis base قاعدة لويس: H_2O (donates a lone pair to boron to form $B(OH)_4^-$).

(يمنح الماء زوجا غير رابط للبورون لتكوين $B(OH)_4^-$).

Acid and Base Strength قوة الحموض والقواعد

ينظر مفهوم برونستد–لاوري إلى تفاعلات الحموض والقواعد على أنها عمليات انتقال بروتون، ويسمح بمقارنة قوة الحموض بناءً على مدى سهولة منحها للبروتونات، بينما تعتمد قوة القاعدة على مدى قدرتها على الاحتفاظ بالبروتون. من خلال دراسة تفاعلات مثل تأيّن HCl في الماء، حيث يستقبل الماء بروتونًا ويتجه التفاعل تقريبًا بالكامل نحو اليمين، يُعرَف HCl على أنه حمض قوي وهو أقوى من H_3O^+، مما يجعل H_3O^+ الحمض الأضعف.

The Brønsted–Lowry concept views acid–base reactions as proton-transfer processes and allows comparison of acid strengths based on how readily they donate protons, while base strength depends on how strongly they hold protons. By examining reactions such as the ionization of HCl in water, where water accepts a proton and the reaction proceeds almost completely to the right, HCl is identified as a strong acid and stronger than H_3O^+, making H_3O^+ the weaker acid.

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

يُظهِر التفاعل العكسي أنّ أيون Cl^- يعمل كقاعدة تستقبل بروتونًا من H_3O^+، ولكن بما أن HCl يفقد بروتونه بسهولة أكبر من H_3O^+، فإن HCl يُعَدّ حمضًا أقوى.

The reverse reaction shows Cl^- acting as a base accepting a proton from H_3O^+, but since HCl loses its proton more readily than H_3O^+, HCl is considered as stronger acid.

$$\underset{\text{stronger acid}}{HCl_{(aq)}} + H_2O_{(l)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + \underset{\text{weaker acid}}{H_3O^+_{(aq)}}$$

في محلول تركيزه 0.1 M من حمض الخليك ($HC_2H_3O_2$)، يتأين حوالي 1% فقط، مما يشير إلى أنه أضعف من H_3O^+.

In a 0.1 M solution of acetic acid ($HC_2H_3O_2$), only about 1% ionizes, indicating it is weaker than H_3O^+.

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_3O_2^-{}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

أما HF في محلول تركيزه 0.1 M فيتأين حوالي 3%، مما يجعل HF أضعف من H_3O^+ ولكنه أقوى من $HC_2H_3O_2$. وبالتالي، فإن ترتيب قوة الحموض بين هذه الأمثلة هو:

$$HCl > H_3O^+ > HF > HC_2H_3O_2$$

Whereas HF in a 0.1 M solution ionizes about 3%, making HF weaker than H_3O^+ but stronger than $HC_2H_3O_2$. Thus, the order of acid strength among these examples is:

$$HCl > H_3O^+ > HF > HC_2H_3O_2$$

لا يمكن مقارنة الحموض القوية مثل HCl و HI في الماء لأن كليهما يتأين بالكامل، ولكن في مذيب أقل قاعدية مثل حمض الخليك النقي، يتأين HI بدرجة أكبر من تأين HCl، مما يدل على أن HI أقوى. يُوضح الجدول 9.2 تأثير التسوية للماء على الحموض القوية مرتبة في الجدول من الأقوى (الأعلى) إلى الأضعف.

تتجه التفاعلات نحو الحمض الأضعف كما هو موضح في تفاعل HCl مع H_3O^+ حيث يتجه نحو تكوين H_3O^+. وبالنسبة للقواعد مثل H_2O و Cl^-، فإن القاعدة الأقوى تستقبل البروتون بسهولة أكبر، ولذلك بما أن H_2O أقوى من Cl^-، يتجه التفاعل نحو تكوين H_3O^+ و Cl^- باتجاه القاعدة الأضعف.

Strong acids like HCl and HI cannot be compared in water because both ionize completely, but in a less basic solvent such as pure acetic acid, HI ionizes more than HCl, showing that HI is stronger and demonstrating the leveling effect of water on strong acids. Table 9.2 orders acids from strongest at the top to weakest at the bottom, and reactions proceed toward the weaker acid, as seen when HCl reacts with H_3O^+ and shifts toward H_3O^+. For bases like H_2O and Cl^-, the stronger base accepts protons more readily, so since H_2O is stronger than Cl^-, the reaction moves toward products forming H_3O^+ and Cl^-, following the direction of the weaker base.

توجد علاقة بين قوة الحمض وقوة قاعدته المقترنة، حيث إنَ الحموض القوية تمتلك قواعد مقترنة ضعيفة، و القواعد القوية تمتلك حموضاً مقترنة ضعيفة، لذا، تزداد قوة القواعد المقترنة للحموض في الجدول 9.2 من الأعلى إلى الأسفل. لذلك، اتجاه تفاعل الحمض–القاعدة يميل دائمًا إلى تكوين الحمض الأضعف والقاعدة الأضعف، كما في التفاعل المذكور، حيث يتجه التفاعل من الحمض والقاعدة الأقوى إلى نظيريهما الأضعف.

A relationship exists between acid and base strength, where strong acids have weak conjugate bases and strong bases have weak conjugate acids, so the conjugate bases of the acids in Table 9.2 increase in strength from top to bottom. Therefore, the direction of an acid–base reaction favors the formation of the weaker acid and weaker base, as in the reaction discussed, which proceeds from stronger acid and base to weaker counterparts.

$$\underset{\substack{\text{stronger acid}\\ \text{حمض أقوى}}}{HCl_{(aq)}} + \underset{\substack{\text{stronger base}\\ \text{قاعدة أقوى}}}{H_2O_{(l)}} \rightarrow \underset{\substack{\text{weaker base}\\ \text{قاعدة أضعف}}}{Cl^-_{(aq)}} + \underset{\substack{\text{weaker acid}\\ \text{حمض أضعف}}}{H_3O^+_{(aq)}}$$

	الحمض Acid	القاعدة Base	
Strongest acids الحموض الأقوى	$HClO_4$	ClO_4^-	**Weakest bases** القواعد الأضعف
	H_2SO_4	HSO_4^-	
	HI	I^-	
	HBr	Br^-	
	HCl	Cl^-	
	HNO_3	NO_3^-	
	H_3O^+	H_2O	
	HSO_4^-	SO_4^{2-}	
	H_2SO_3	HSO_3^-	
	H_3PO_4	$H_2PO_4^-$	
	HNO_2	NO_2^-	
	HF	F^-	
	$HC_2H_3O_2$	$C_2H_3O_2^-$	
	$Al(H_2O)_6^{3+}$	$Al(H_2O)_5OH^{2+}$	
	H_2CO_3	HCO_3^-	
	H_2S	HS^-	
	HClO	ClO^-	
	HBrO	BrO^-	
	NH_4^+	NH_3	
	HCN	CN^-	
	HCO_3^-	CO_3^{2-}	
الحموض الأضعف **Weakest acids**	H_2O_2	HO_2^-	القواعد الأقوى **Strongest bases**
	HS^-	S^{2-}	
	H_2O	OH^-	

الجدول 9.2: القوى النسبية للحموض والقواعد

Table 9.2: Relative Strengths of Acids and Bases

تدريب 9-1: حدّد اتجاه التفاعل التالي اعتمادًا على القوى النسبية للحموض والقواعد.

Exercise 9-1: Determine the direction of the following reaction from the relative strengths of acids and bases. $H_2S_{(aq)} + C_2H_3O_2^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons HC_2H_3O_{2(aq)} + HS^-{}_{(aq)}$

.....

.....

.....

.....

التأيُّن الذاتي للماء Autoionization of Water

يمكن للماء أن يعمل كحمض وكقاعدة، وتتفكك نسبة صغيرة من جزيئاته طبيعيًا في عملية تسمى التأين الذاتي (التأين الذاتي للماء).

Water can act as both an acid and a base, and a small fraction of its molecules ionize naturally in a process called autoionization (self-ionization).

$$H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

في هذا التفاعل، يمنح جزيء ماء بروتون (يعمل كحمض)، بينما يستقبل جزيء ماء آخر البروتون (يعمل كقاعدة). وبذلك ينتج أيوني الهيدرونيوم (H_3O^+) والهيدروكسيد (OH^-) الأساسان الضروريان لجميع التفاعلات الكيميائية المائية.

In this reaction, one water molecule donates a proton (acting as an acid), while another accepts it (acting as a base). This produces two ions essential to all aqueous chemistry: the hydronium ion (H_3O^+) and the hydroxide ion (OH^-).

ثابت الاتزان لهذا التفاعل يُعرف باسم **ثابت حاصل تأين** الماء ويمثَّل بالعلاقة:

The equilibrium constant for this reaction is known as the **ion-product constant** for water, represented as:

$$K_w = [H_3O^+][OH^-]$$

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ at } 25\ ^\circ C$$

وبما أن الماء النقي يُنتِج أعدادًا متساوية من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد،

Because pure water produces equal numbers of hydronium and hydroxide ions,

$$[H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ at } 25\ ^\circ C$$

فإن هذا يفسر لماذا يظهر الماء النقي متعادلا. إذا أُضيف حمض، يزداد تركيز $[H_3O^+]$ وينخفض تركيز $[OH^-]$، وإذا أُضيفت قاعدة، يزداد تركيز $[OH^-]$ وينخفض تركيز $[H_3O^+]$. لكن يبقى حاصل ضرب $[H_3O^+][OH^-]$ مساوياً لـ K_w عند درجة حرارة معينة.

This explains why pure water is neutral. If an acid is added, $[H_3O^+]$ increases and $[OH^-]$ decreases; if a base is added, $[OH^-]$ increases and $[H_3O^+]$ decreases. However, the product $[H_3O^+][OH^-]$ remains equal to K_w at a given temperature.

مثل جميع ثوابت الاتزان، يتغيَر K_w مع درجة الحرارة؛ فعلى سبيل المثال، يزداد إلى $K_w = 2.5 \times 10^{-14}$ عند 37 °C مما يشير إلى أن الماء يتأين بدرجة أكبر قليلاً عند درجات الحرارة الأعلى.

Like all equilibrium constants, K_w changes with temperature, for example, it increases to $K_w = 2.5 \times 10^{-14}$ at 37 °C showing that water ionizes slightly more at higher temperatures.

مثال 3: تُعدّ الأمونيا السائلة NH_3، مثل الماء، مذيبًا متذبذب البروتون. اكتب معادلة تأيّنها الذاتي.

Example 3: Liquid NH_3, like water, is an amphiprotic solvent. Write the equation for its autoionization.

$$2NH_3 \rightleftharpoons NH_4^+ + NH_2^-$$

محاليل الحمض القوي أو القاعدة القوية Solutions of a Strong Acid or Strong Base

عند إذابة المواد في الماء، يمكن تغيير تركيز أيونات H_3O^+ وOH^-. في محلول متعادل، تبقى تراكيز H_3O^+ وOH^- متساوية وهو الحال نفسه في الماء النقي. في محلول حمضي، يكون تركيز H_3O^+ أكبر من تركيز OH^-. أما في محلول قاعدي، فيكون تركيز OH^- أكبر من تركيز H_3O^+.

By dissolving substances in water, you can alter the concentrations of H_3O^+ and OH^- ions. In a neutral solution, the concentrations of H_3O^+ and OH^- remain equal, as they are in pure water. In an acidic solution, the concentration of H_3O^+ is greater than that of OH^-. In a basic solution, the concentration of OH^- is greater than that of H_3O^+.

عند 25°C، تُلاحظ الظروف التالية:

At 25°C, you observe the following conditions:

In an acidic solution, في محلول حامضي $[H_3O^+] > 1.0 \times 10^{-7}$ M, $[OH] < 1.0 \times 10^{-7}$ M

In a neutral solution, في محلول متعادل $[H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$ M

In a basic solution, في محلول قاعدي $[H_3O^+] < 1.0 \times 10^{-7}$ M, $[OH^-] > 1.0 \times 10^{-7}$ M

تدريب 2-9: محلول تركيز أيون الهيدروكسيد فيه يكون 1.0×10^{-5} M عند درجة حرارة 25°C. هل المحلول حمضي أم متعادل أم قاعدي؟

Exercise 9-2: A solution has a hydroxide-ion concentration of 1.0×10^{-5} M at 25°C. Is the solution acidic, neutral, or basic?

.....

.....

.....

الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH للمحاليل
The pH and pOH of Solutions

يمكن وصف درجة الحموضة كميًا من خلال تحديد تركيز أيون الهيدرونيوم H_3O^+، لكن لأنَّ هذه القيم قد تكون صغيرة جدًا، فغالبًا ما يكون من الأسهل التعبير عنها باستخدام مقياس الرقم الهيدروجيني (pH). تُعبّر قيمة pH عن حمضية أو قاعدية المحلول بناءً على تركيز أيون الهيدرونيوم:

You can quantitatively describe the acidity by giving hydronium-ion concentration. But because these concentration values may be very small, it is often more convenient to give the acidity in terms of pH. The pH of a solution expresses its acidity or basicity based on the hydronium-ion concentration:

$$pH = -\log [H^+], \quad pOH = -\log [OH^-]$$

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}, \text{ at } 25^oC$$

$$-\log K_w = (-\log [H_3O^+]) + (-\log [OH^-]) = -\log 1.0 \times 10^{-14}$$

$$pK_w = pH + pOH = 14.00, \text{ at } 25°C$$

At 25°C, you observe the following conditions:

تُلاحظ الظروف التالية عند درجة الحرارة 25°C:

- Neutral solution محلول متعادل: $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-7}$ M $\rightarrow$ pH = 7.00
- Acidic solution محلول حامضي: $[H_3O^+] > 1.0 \times 10^{-7}$ M $\rightarrow$ pH < 7.00
- Basic solution محلول قاعدي: $[H_3O^+] < 1.0 \times 10^{-7}$ M $\rightarrow$ pH > 7.00

عدد المنازل العشرية في قيمة pH يساوي عدد الأرقام المعنوية في تركيز $[H_3O^+]$.

The number of decimal places in the pH equals the number of significant figures in the $[H_3O^+]$ concentration.

تدريب 9-3: محلول مشبَّع من هيدروكسيد الكالسيوم يحتوي على تركيز لأيون الهيدروكسيد (OH^-) مقداره 0.025 M. ما قيمة الـ pH لهذا المحلول؟

Exercise 9-3: A saturated solution of calcium hydroxide has a hydroxide concentration (OH^-) of 0.025 M. What is the pH of the solution?

.....

.....

.....

.....

.....

اتزانات حمض– قاعدة
Acid–Base Equilibria

العديد من المواد الشائعة، مثل الأسبرين والفينوباربيتال والساكرين والنياسين، هي حموض ضعيفة. تصل تفاعلاتها مع الماء إلى حالة اتزان بدلاً من أن تكتمل تمامًا. لإيجاد تركيز أيون الهيدرونيوم في محلول حمض ضعيف مثل النياسين، يجب أخذ ثابت الاتزان في الاعتبار، لأنَ الحمض يتأيَّن جزئيًا فقط. إذا كان حمضًا قويًا، فإن محلولًا تركيزه 0.10 M سيعطي 0.10 M من H_3O^+، ولكن بالنسبة للحمض الضعيف، يكون التركيز الفعلي أصغر ويُحدَّد من خلال قيمة ثابت التأيُّن K_a الخاصة به.

Many common substances, such as aspirin, phenobarbital, saccharin, and niacin, are weak acids. Their reactions with water reach equilibrium rather than going to completion. To find the hydronium-ion concentration in a solution of a weak acid like niacin, the equilibrium constant must be considered, since the acid only partially ionizes. If it were a strong acid, a 0.10 M solution would yield 0.10 M H_3O^+, but for a weak acid, the actual concentration is smaller and determined by its K_a value.

Acid-Ionization Equilibrium Constant K_a ثابت اتزان تأيُّن الحمض K_a

يتفاعل الحمض مع الماء لتكوين أيونات الهيدرونيوم (H_3O^+) وقاعدته المقترنة، وهي عملية تُعرف باسم **تأيُّن الحمض**. على سبيل المثال، يتأين حمض الخليك ($HC_2H_3O_2$) في الماء كما يلي:

An acid reacts with water to form hydronium ions (H_3O^+) and its conjugate base a process called **acid ionization**. For example, acetic acid ($HC_2H_3O_2$), ionizes in water as:

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$$

إنَّ ذرة الهيدروجين المرتبطة بذرة الأكسجين في مجموعة –COOH هي فقط الهيدروجين الحمضي. وبما أن حمض الخليك **إلكتروليت ضعيف**، فإنه يتأين بشكل طفيف فقط (حوالي 5% أو أقل). يمكن كتابة علاقة الاتزان لحمض ضعيف كما يلي:

Only the hydrogen attached to the oxygen in the –COOH group is acidic. Because acetic acid is a **weak electrolyte**, it ionizes only slightly (about 5% or less). The equilibrium expression for a weak acid can be written as:

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

where: حيث:

K_a = acid dissociation constant ثابت تفكك الحمض

$[H_3O^+]$ = concentration of hydronium ions تركيز أيونات الهيدرونيوم

$[A^-]$ = concentration of the conjugate base تركيز القاعدة المقترنة

$[HA]$ = concentration of the unionized acid تركيز الحمض غير المتأين

هنا، يعبّر ثابت تأيّن الحمض K_a عن حالة الاتزان للتأيّن المحدود للحمض الضعيف في الماء. يُدرج الجدول 9.3 ثوابت تأيّن الحموض لعدة حموض ضعيفة. الحموض الأضعف هي التي تمتلك أصغر قيم لـ K_a.

Here, K_a expresses the equilibrium for the limited ionization of a weak acid in water. Table 9.3 lists acid-ionization constants for various weak acids. The weakest acids have the smallest values of K_a.

Acetic acid	$HC_2H_3O_2$	1.7×10^{-5}
Benzoic acid	$HC_7H_5O_2$	6.3×10^{-5}
Boric acid	H_3BO_3	5.9×10^{-10}
Carbonic acid	H_2CO_3	4.3×10^{-7}
	HCO_3^-	4.8×10^{-11}
Cyanic acid	HOCN	3.5×10^{-4}
Formic acid	$HCHO_2$	1.7×10^{-4}
Hydrocyanic acid	HCN	4.9×10^{-10}
Hydrofluoric acid	HF	6.8×10^{-4}
Hydrogen sulfate ion	HSO_4^-	1.1×10^{-2}
Hydrogen sulfide	H_2S	8.9×10^{-8}
	HS^-	$1.2 \times 10^{-13\dagger}$
Hypochlorous acid	HClO	3.5×10^{-8}
Nitrous acid	HNO_2	4.5×10^{-4}
Oxalic acid	$H_2C_2O_4$	5.6×10^{-2}
	$HC_2O_4^-$	5.1×10^{-5}
Phosphoric acid	H_3PO_4	6.9×10^{-3}
	$H_2PO_4^-$	6.2×10^{-8}
	HPO_4^{2-}	4.8×10^{-13}
Phosphorous acid	H_2PHO_3	1.6×10^{-2}
	$HPHO_3^-$	7×10^{-7}
Propionic acid	$HC_3H_5O_2$	1.3×10^{-5}
Pyruvic acid	$HC_3H_3O_3$	1.4×10^{-4}
Sulfurous acid	H_2SO_3	1.3×10^{-2}

Substance	Formula	K_b
Ammonia	NH_3	1.8×10^{-5}
Aniline	$C_6H_5NH_2$	4.2×10^{-10}
Dimethylamine	$(CH_3)_2NH$	5.1×10^{-4}
Ethylamine	$C_2H_5NH_2$	4.7×10^{-4}
Hydrazine	N_2H_4	1.7×10^{-6}
Hydroxylamine	NH_2OH	1.1×10^{-8}
Methylamine	CH_3NH_2	4.4×10^{-4}
Pyridine	C_5H_5N	1.4×10^{-9}
Urea	NH_2CONH_2	1.5×10^{-14}

الجدول 9.3: يُدرِج ثوابت التأيّن لمجموعة من الحموض والقواعد الضعيفة عند درجة حرارة 25°C
Table 9.3: lists acid-ionization constants for various weak acids

تُمثّل **درجة (نسبة) التأيّن (α)** الجزء من جزيئات الحمض التي تتأين في المحلول:
The **degree of ionization (α)** represents the fraction of acid molecules that ionize in solution:

$$\alpha = \frac{[H^+]}{C_0}$$

تعتمد درجة تأيّن الحمض الضعيف على كلٍّ من ثابت التأين K_a وتركيز محلول الحمض. عند تركيز معيّن، كلما كانت قيمة K_a أكبر، كانت درجة التأيّن أكبر. ومع ذلك، عند قيمة معيّنة لـ K_a، كلما كان المحلول أكثر تخفيفًا، كانت درجة التأيّن أكبر.
The degree of ionization of a weak acid depends on both K_a and the concentration of the acid solution. For a given concentration, the larger the K_a, the greater is the degree of ionization. For a given value of K_a, however, the more dilute the solution, the greater is the degree of ionization.

مثال 4: a) حمض النياسين هو حمض أحادي البروتون صيغته الكيميائية $HC_6H_4NO_2$. محلول بتركيز 0.012 M من حمض النياسين له قيمة pH تساوي 3.39 عند 25°C. ما قيمة ثابت تأيُّن K_a لهذا الحمض عند 25°C؟ وما درجة التأيّن لحمض النياسين في هذا المحلول؟
b) احسب المولارية التي يكون عندها محلول حمض النياسين متأينًا بنسبة 2.0%.

Example 4: a) Niacin acid is a monoprotic acid with the formula $HC_6H_4NO_2$. A solution that is 0.012 M in niacin acid has a pH of 3.39 at 25°C. What is the acid-ionization constant, K_a, for this acid at 25°C? What is the degree of ionization of niacin acid in this solution?
b) Calculate the molarity at which a niacin acid solution is 2.0% ionized.

a) $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-3.39} = 4.07 \times 10^{-4}$ M

$$HA_{(aq)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + A^-_{(aq)},$$

$C_0 = 0.012$ M

$[A^-] \approx [H_3O^+] = 4.07 \times 10^{-4}$ M

$[HA] \approx 0.012 - 4.07 \times 10^{-4} = 1.159 \times 10^{-2}$ M

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{(4.07 \times 10^{-4})^2}{1.159 \times 10^{-2}} = 1.43 \times 10^{-5}$$

$$\alpha = \frac{[\text{ionized acid}]}{[\text{initial acid}]} = \frac{[H^+]}{C} = \frac{4.07 \times 10^{-4}}{0.012} = 0.0339$$

Degree of ionization = 3.39%

b) $\alpha = 2.0\% = 0.020$ $\quad K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$ $\quad C = \frac{K_a(1-\alpha)}{\alpha^2}$

$$C = \frac{1.43 \times 10^{-5} \times 0.98}{0.0004} = 0.035\ \text{M}$$

Calculations with ionization constant (K_a) الحسابات باستخدام ثابت التأيُّن (K_a)

تُتيح معرفة قيمة ثابت التأيُّن الحمضي K_a لحمض ما (HA) (كما في جدول 9.3) إمكانية حساب التراكيز عند الاتزان لكل من HA وA^- وH_3O^+ لمحاليل بتراكيز مولارية مختلفة. غالبًا ما يُستخدم التقريب التبسيطي في حالة الحموض الضعيفة لجعل هذه الحسابات أسهل، كما هو موضح في المثال التالي.

Knowing the K_a of an acid (HA) (Table 9.3) allows you to calculate the equilibrium concentrations of HA, A^-, and H_3O^+ for solutions of various molarities. Simplifying approximation is often used for weak acids to make these calculations easier, as shown in the following example.

مثال 5: ما تراكيز حمض النياسين، وأيون الهيدروجين، وأيون النياسينات في محلول تركيزه 0.10 M من حمض النياسين $HC_6H_4NO_2$ عند 25°C؟ ما قيمة pH للمحلول؟ وما درجة تأيُّن حمض النياسين؟

Example 5: What are the concentrations of niacin acid, hydrogen ion, and niacinate ion in a solution of 0.10 M niacin acid, $HC_6H_4NO_2$, at 25°C? What is the pH of the solution? What is the degree of ionization of niacin acid?

Given: $C_0 = 0.10$ M, $K_a = 1.4 \times 10^{-5}$ for $HC_6H_4NO_2$

Use the weak-acid approximation ($x << C_0$): باستخدام التقريب لحمض ضعيف

$$K_a \approx \frac{x^2}{C_0} \Rightarrow x \approx \sqrt{K_a C_0} = \sqrt{(1.4 \times 10^{-5})(0.10)} = \sqrt{1.4 \times 10^{-6}} \approx 1.18 \times 10^{-3}\text{M}$$

$[H^+] \approx 1.18 \times 10^{-3}$ M

$[A^-] \approx 1.18 \times 10^{-3}$ M

$[HA] \approx 0.10 - 1.18 \times 10^{-3} = 9.88 \times 10^{-2}$ M

$pH = -\log(1.18 \times 10^{-3}) \approx 2.93$

$$\alpha \approx \frac{x}{C_0} = \frac{1.18 \times 10^{-3}}{0.10} = 0.0118 \approx 1.18\%$$

Base-Ionization Equilibrium (K_b) اتزان تأيّن القاعدة (K_b)

General weak base B قاعدة ضعيفة عامة B

$$B_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HB^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

$$K_b = \frac{[HB^+][OH^-]}{[B]} \qquad [OH^-] \approx \sqrt{K_b C_0} \qquad \alpha \approx \sqrt{\frac{K_b}{C_0}} \times 100\%$$

العلاقة بين K_a و K_b في زوج حمض-قاعدة مقترن

The Relationship Between K_a and K_b of a Conjugate Acid-Base Pair

يمكن اشتقاق علاقة بسيطة بين ثابت تأيّن الحمض الضعيف K_a وثابت تأيّن قاعدته المقترنة K_b كما يلي، باستخدام حمض الخليك كمثال.

A simple relationship between the ionization constant of a weak acid K_a and the ionization constant of its conjugate base K_b can be derived as follows, using acetic acid as an example.

$$CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$$

$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

تتفاعل القاعدة المقترنة CH_3COO^- مع الماء وفقًا للمعادلة.

The conjugate base, CH_3COO^-, reacts with water according to the equation.

$$CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وتُكتب علاقة اتزان تأيّن القاعدة كما يلي:

and the base ionization equilibrium relationship is written as

$$K_b = \frac{[CH_3COOH][OH^-]}{[CH_3COO^-]}$$

كما هو الحال في أي معادلات كيميائية، يمكننا جمع هذين الاتزانين وحذف الحدود المتطابقة.

As for any chemical equations, we can add these two equilibria and cancel identical terms.

$$\begin{array}{lll} CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)} & & K_a \\ + \quad CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)} & & K_b \\ \hline H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} & & K_w \end{array}$$

المحصلة هي تفاعل تأيّن الماء الذاتي. في الواقع، ينطبق هذا على أي حمض ضعيف وقاعدته المقترنة. وبالتالي، بالنسبة لأي زوج حمض–قاعدة مقترنة يكون،

The sum is the autoionization of water. In fact, this is the case for any weak acid and its conjugate base. Thus, for any conjugated acid-base pair,

$$K_a \times K_b = K_w \quad \Longrightarrow \quad K_a \times K_b = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$pK_a + pK_b = 14.00$$

مثال 5: المورفين $C_{17}H_{19}NO_3$ يُعطى طبيًا لتخفيف الألم. وهو قاعدة طبيعية. ما قيمة pH لمحلول تركيزه 0.0075 M من المورفين عند درجة حرارة 25°C؟

Example 5: Morphine, $C_{17}H_{19}NO_3$, is administered medically to relieve pain. It is a natural base. What is the pH of a 0.0075 M solution of morphine at 25°C? $K_b = 1.6 \times 10^{-6}$ at 25°C.

$$[OH^-] \approx \sqrt{K_b C_0} = \sqrt{(1.6 \times 10^{-6})(0.0075)} = \sqrt{1.2 \times 10^{-8}} \approx 1.10 \times 10^{-4}\ M$$

$$pOH \approx -\log(1.10 \times 10^{-4}) \approx 3.96 \Rightarrow pH \approx 14.00 - 3.96 = 10.04$$

Salt Hydrolysis تميُّؤ الأملاح

الملح هو مركب أيوني يتكوّن من تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة. عند إذابة الملح في الماء، يمكن أن يكون المحلول الناتج متعادلًا أو حمضيًا أو قاعديًا، وذلك حسب سلوك الأيونات المكوِّنة له. ووفقًا لنظرية برونستد–لوري (Brønsted–Lowry) ، يمكن لبعض الأيونات الناتجة عن الأملاح أن تعمل كحموض أو كقواعد في المحلول المائي، وهو ما يحدد الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول.

Salt is an ionic compound produced from the neutralization reaction between an acid and a base. When salt dissolves in water, the resulting solution may be neutral, acidic, or basic, depending on the behavior of its ions. According to the Brønsted–Lowry theory, certain ions from salts can act as acids or bases in aqueous solution, and this determines the overall pH of the solution.

مثال: سيانيد الصوديوم (NaCN)

محلول 0.1 M NaCN له قيمة pH = 11.1، مما يعني أنه محلول قاعدي.

Example: Sodium cyanide (NaCN)

A 0.1 M NaCN solution has a pH of 11.1, indicating that it is basic.

$$NaCN(aq) \rightarrow Na^+(aq) + CN^-(aq)$$

لايتفاعل أيون Na^+ مع الماء، لذلك يُعد أيونًا متعادلًا، بينما CN^- يخضع لعملية تميؤ:

The ion Na^+ does not react with water and is considered neutral, whereas CN^- undergoes hydrolysis:

$$CN^-(aq) + H_2O(aq) \rightleftharpoons HCN(aq) + OH^-(aq)$$

في هذا التفاعل، يعمل أيون السيانيد (CN^-) كقاعدة، إذ يقبل بروتونًا من الماء، وينتج عن ذلك أيون الهيدروكسيد (OH^-)، مما يجعل المحلول قاعديًا. تُعرف هذه الظاهرة باسم التميؤ(أو التحلل المائي)، وهي العملية التي يتفاعل فيها الأيون مع الماء لتكوين حمضه أو قاعدته المقترنة وإنتاج OH^- أو H_3O^+.

In this reaction, CN^- acts as a base, accepting a proton from water and producing OH^-, which makes the solution basic. This phenomenon is known as hydrolysis, in which an ion reacts with water to form its conjugate acid or base and either OH^- or H_3O^+.

مثال: أيون الأمونيوم (NH_4^+)

Example: Ammonium ion (NH_4^+)

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

يعمل أيون الأمونيوم (NH_4^+) كحمض، إذ يمنح بروتون إلى الماء. وينتج عن ذلك أيون الهيدرونيوم (H_3O^+)، مما يجعل المحلول حمضيًا.

The NH_4^+ ion acts as an acid, donating a proton to water. As H_3O^+ is formed, the solution becomes acidic.

تحديد طبيعة محلول الملح (حمضي أو قاعدي أو متعادل)

Determining the Nature of a Salt Solution (Acidic, Basic, or Neutral)

1. الأيونات السالبة المشتقة من الحموض الضعيفة تتصرف كقواعد. مثال: خلات البوتاسيوم ($KC_2H_3O_2$) تحتوي على أيون K^+ الناتج من القاعدة القوية KOH وهو متعادل، وعلى أيون $C_2H_3O_2^-$، وهي القاعدة المقترنة للحمض الضعيف حمض الخليك، لذلك فهي قاعدية:

1. Anions derived from weak acids act as bases.

Example: Potassium acetate ($KC_2H_3O_2$) contains K^+, from the strong base KOH, which is neutral, and $C_2H_3O_2^-$, the conjugate base of the weak acid acetic acid, which is basic.

$$C_2H_3O_2^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HC_2H_3O_2(aq) + OH^-(aq)$$

2. الأيونات السالبة الناتجة من الحموض القوية تكون متعادلة لا تخضع للتميؤ. مثال :الأيون Cl^- الناتج من HCl لا يتفاعل مع الماء لأن الحمض المقترن له قوي جدًا ويسهل عليه فقد البروتون.

2. Anions of strong acids do not undergo hydrolysis. Example: Cl^- from HCl does not react with water because its conjugate acid is very strong and readily donates protons.

$$Cl^-(aq) + H_2O(l) \rightarrow \text{No reaction}$$ لا يحدث تفاعل

3. الأيونات الموجبة المشتقة من القواعد الضعيفة تتصرف كحموض. مثال: الأيون NH_4^+ الناتج من NH_3 يتصرف كحمض لأنه يمكن أن يمنح بروتون إلى الماء.

3. Cations derived from weak bases act as acids. Example: NH_4^+ from NH_3 behaves as an acid because it can donate a proton to water.

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

4. الأيونات الموجبة المشتقة من القواعد القوية متعادلة. مثال: أيون Na^+ الناتج من NaOH أو أيون Ca^{2+} الناتج من $Ca(OH)_2$ لا يخضعان للتميؤ ويبقيان متعادلين.

Cations derived from strong bases are neutral. Example: Na^+ from NaOH or Ca^{2+} from $Ca(OH)_2$ does not hydrolyze and remains neutral.

$$Na^+(aq) + H_2O(l) \rightarrow \text{no reaction}$$ لا يحدث تفاعل

استثناء:

بعض الأيونات المعدنية الموجبة تكون حمضية. فالكثير من الأيونات المعدنية (باستثناء عناصر المجموعتين 1A و2A عدا البيريليوم) تُكوّن أيونات مميهة (hydrated ions) تتصرف كحموض.

على سبيل المثال، يُكوّن أيون الألومنيوم (Al^{3+}) معقدًا مائيًا $Al(H_2O)_6^{3+}$، حيث يسحب Al^{3+} الكثافة الإلكترونية من جزيئات الماء المحيطة به، مما يجعلها أكثر حمضية .ونتيجة لذلك، يمكن للمعقد أن يمنح بروتون:

Exception: Some metal cations are acidic. Many metal ions (except those of Groups 1A and 2A, other than Be) form hydrated complexes that act as acids. For instance, Al^{3+} forms $Al(H_2O)_6^{3+}$, where the aluminum ion withdraws electron density from the coordinated water molecules, increasing their acidity. As a result, the complex can donate a proton:

$$Al(H_2O)_6^{3+}(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons Al(H_2O)_5(OH)^{2+}(aq) + H_3O^+(aq)$$

مثال 6: حدِّد ما إذا كانت المحاليل المائية للأملاح التالية حمضيةً أو قاعديةً أو متعادلةً:

Example 6: Decide whether aqueous solutions of the following salts are acidic, basic, or neutral:

a) KCl; b) NaF; c) $Zn(NO_3)_2$; d) NH_4CN

a) KCl → Neutral متعادل

b) NaF → Basic قاعدي

c) $Zn(NO_3)_2$ → Acidic حمضي

d) NH_4CN → Basic قاعدي

يُعد أيون الأمونيوم (NH_4^+) حمضًا ضعيفًا ($K_a \approx 5.6 \times 10^{-10}$) ، بينما يُعد أيون السيانيد (CN^-) قاعدة أقوى بكثير ($K_b \approx 1.62 \times 10^{-5}$) من قيمة K_a الصغيرة جدًا لحمض HCN، وبالتالي يكون المحلول قاعديًا بشكل عام.

NH_4^+ is a weak acid ($K_a \approx 5.6 \times 10^{-10}$), CN^- is a much stronger base ($K_b \approx 1.62 \times 10^{-5}$ from HCN's tiny K_a), basic overall.

The pH of a Salt Solution — الرقم الهيدروجيني pH لمحلول ملح

لزوج الحمض-القاعدة المقترنة (HCN/CN^-) في الماء عند 25°C:

For a conjugate acid–base pair (HCN/CN^-) in water at 25°C:

$$K_a(HCN) \times K_b(CN^-) = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$K_b(CN^-) = \frac{K_w}{K_a(HCN)}$$

باستخدام القيم من الجداول القياسية Using the commonly tabulated

$$K_b(CN^-) = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4.9 \times 10^{-10}} \approx 2.04 \times 10^{-5}$$

pH من أجل محلول 0.10 M NaCN (باستخدام طريقة التقريب للقاعدة الضعيفة)

pH of 0.10 M NaCN (weak-base approximation)

Hydrolysis التميؤ : $CN^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCN_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

Let $x = [OH^-]$. With $C_0 = 0.10$ M and $K_b \ll C_0$:

$$K_b \approx \frac{x^2}{C_0} \Rightarrow x \approx \sqrt{K_b C_0} = \sqrt{(2.04 \times 10^{-5})(0.10)} = \sqrt{2.04 \times 10^{-6}}$$

$\approx 1.43 \times 10^{-3}$ M

$pOH = -\log(1.43 \times 10^{-3}) \approx 2.85 \Rightarrow pH \approx 14.00 - 2.85 = 11.15$

تدريب 4-9: 1. حمض البنزويك ($HC_7H_5O_2$) وأملاحه تُستخدم كمُضافات حافظة في الأغذية. ما تركيز حمض البنزويك في محلول مائي يحتوي على 0.015 M من بنزوات الصوديوم؟ وما قيمة الـ pH لهذا المحلول؟ علماً بأن ثابت التأين الحمضي (K_a) لحمض البنزويك يساوي 6.3×10^{-5}.

2. احسب درجة تميؤ محلول تركيزه 0.0100 M من NH_4Cl.

Exercise 9-4: 1. Benzoic acid, $HC_7H_5O_2$, and its salts are used as food preservatives. What is the concentration of benzoic acid in an aqueous solution of 0.015 M sodium benzoate? What is the pH of the solution? K_a for benzoic acid is 6.3×10^{-5}.

2. Calculate the extent of hydrolysis in a 0.0100 M solution of NH_4Cl.

$K_{bNH3} = 1.75 \times 10^{-5}$

.....

.....

.....

.....

.....

Buffers — المحاليل المنظمة

المحلول المنظِّم هو محلول يقاوم التغيّرات الكبيرة في قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) وذلك عند إضافة كميات صغيرة من حمضٍ أو قاعدةٍ. تتكوّن المحاليل المنَظِّمة دائمًا من مكوّنين: حمض ضعيف (HA) وقاعدته المقترنة (A^-)، أو قاعدة ضعيفة (B) وحمضها المقترن (BH^+).

A buffer is a solution that resists significant changes in pH when small amounts of acid or base are added, It always consists of two components, a weak acid (HA) and its conjugate base (A^-), or a weak base (B) and its conjugate acid (BH^+).

مثال: حمض الخليك (CH_3COOH) وأيون الخلات (CH_3COO^-)، أو الأمونيا (NH_3) وأيون الأمونيوم (NH_4^+).

إذا أضيف حمض (H^+ أو H_3O^+)، فإن القاعدة المقترنة في المحلول المنظِّم تقوم بمعادلته.

إذا أضيفت قاعدة (OH^-)، فإن الحمض الضعيف في المحلول المنظِّم يقوم بمعادلتها.
هذه القدرة على "امتصاص" الحمض أو القاعدة المضافة هي ما يسبب ثبات قيمة pH واستقراره نسبيًا.

Example: acetic acid (CH_3COOH) and acetate (CH_3COO^-), or ammonia (NH_3) and ammonium (NH_4^+).
If acid (H^+ or H_3O^+) is added, then the conjugate base in the buffer neutralizes it.
If base (OH^-) is added, the weak acid in the buffer neutralizes it.
This ability to "absorb" added acid or base is what keeps the pH relatively stable.

pH of a Buffer — الرقم الهيدروجيني pH لمحلول مُنظِّم

لتحضير محلول مُنظِّم بقيمة pH معينة، يجب اختيار زوج حمض–قاعدة مقترن بحيث يكون ثابت التأين الحمضي للحمض (K_a) قريبًا من تركيز أيون الهيدرونيوم المطلوب. من أجل محلول مُنظِّم يحتوي على حمض ضعيف (HA) وقاعدته المقترنة (A^-).

To prepare a buffer of a desired pH, a conjugate acid–base pair is needed where the acid's K_a is close to the required hydronium-ion concentration. For a buffer containing a weak acid (HA) and its conjugate base (A^-).

$$HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$$

The relationship is: تكون العلاقة:

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

Rearranging gives: وبإعادة الترتيب تعطي:

$$[H_3O^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$$

وبأخذ اللوغاريتمات، نحصل على **معادلة هندرسون–هاسلبالخ**.

Taking logarithms gives the **Henderson–Hasselbalch equation**.

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

In general: بشكل عام

$$pH = pK_a + \log \frac{[base]}{[acid]}$$

مثال 7: تم تحضير محلول تركيزه 0.10 M من حمض الخليك ($HC_2H_3O_2$) و 0.20 M من خلات الصوديوم ($NaC_2H_3O_2$). ما قيمة pH لهذا المحلول عند 25°C؟

Example 7: A solution is prepared that is 0.10 M in acetic acid ($HC_2H_3O_2$) and 0.20 M in sodium acetate ($NaC_2H_3O_2$). What is the pH of this solution at 25°C?

$K_a(HC_2H_3O_2) = 1.7 \times 10^{-5}$

Use the Henderson–Hasselbalch equation: باستخدام معادلة هندرسون–هاسلبالخ:

$$pK_a = -\log(1.7 \times 10^{-5}) = 4.77$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]} = 4.77 + \log \frac{0.20}{0.10} = 4.77 + 0.301 \approx \boxed{5.07}$$

Adding an Acid or Base to a Buffer — إضافة حمض أو قاعدة إلى محلول مُنظِّم

يقاوم المحلول المُنظِّم التغيرات في قيمة pH عند إضافة حمض أو قاعدة.
في محلول مُنظِّم من حمض الخليك/الخلات، يتفاعل H_3O^+ المُضاف مع الخلات لتكوين حمض الخليك مما يُقلِّل من تغير قيمة pH. كما أن أيونات OH^- المُضافة تتفاعل مع حمض الخليك لتكوين الخلات، ما يُقلِّل من تغيّر قيمة pH.

A buffer resists changes in pH when acid or base is added.
In an acetic acid/acetate buffer, added H_3O^+ reacts with acetate to form acetic acid, minimizing pH change. Added OH^- reacts with acetic acid to form acetate, also reducing the pH shift.

مثال 8: احسب قيمة pH لـ 75 mL من المحلول المُنظِّم الموصوف في المثال السابق (0.10 M $HC_2H_3O_2$ و 0.20 M $NaC_2H_3O_2$) بعد إضافة 9.5 mL من محلول 0.10 M HCl عند 25 °C.
ثم قارِن مقدار التغير لما سيحدث في قيمة pH لو تمت إضافة نفس كمية الحمض إلى ماء نقي.

Example 8: Calculate the pH of 75 mL of the buffer solution described in Example 12 (0.10 M $HC_2H_3O_2$ and 0.20 M $NaC_2H_3O_2$) after adding 9.5 mL of 0.10 M HCl at 25 °C. Then compare the pH change to what would occur if the same amount of acid were added to pure water.

nHA (acetic acid حمض الخليك) = $0.0750 \times 0.10 = 0.00750$ mol
nA^- (acetate الخلات) = $0.0750 \times 0.20 = 0.0150$ mol
Moles of H^+ added عدد مولات المضافة من الحمض = $0.0095 \times 0.10 = 0.00095$ mol
Neutralization reaction: تفاعل التعادل $H^+_{(aq)} + A^-_{(aq)} \rightarrow HA_{(aq)}$
n_{A^-} (after reaction بعد التفاعل) = $0.0150 - 0.00095 = 0.01405$ mol
n_{HA} (after reaction بعد التفاعل) = $0.00750 + 0.00095 = 0.00845$ mol

$$pH = pK_a + \log\left(\frac{n_{A^-}}{n_{HA}}\right) = 4.7696 + \log\left(\frac{0.01405}{0.00845}\right) = \boxed{4.99}$$

مقارنة عند اضافة نفس الحمض إلى ماء نقي، الحجم الكلي بعد الخلط

Compare adding the same acid to pure water, the total volume after mixing:

$$75.0 + 9.5 = 84.5 \text{ mL} = 0.0845 \text{ L}$$

$$[H^+] = \frac{0.00095}{0.0845} \approx 0.01124 \text{ M} \Rightarrow pH = -\log(0.01124) \approx \boxed{1.95}$$

pH change comparison: **مقارنة التغير في pH:**
For buffer: للمحلول المُنظِم:
$\Delta pH \approx 4.99 - 5.07 = \mathbf{-0.08}$
For water: للماء النقي:
$\Delta pH \approx 1.95 - 7.00 = \mathbf{-5.05}$

الاستنتاج : يقاوم المحلول المُنظِّم تغيّر قيمة pH بدرجة كبير مقارنةً بالماء النقي.

Conclusion: The buffer drastically resists pH change compared to pure water.

Acid–Base Titration Curves — منحنيات المعايرة الحمضية – القاعدية

تُستخدم المعايرة الحمضية – القاعدية لتحديد كمية الحمض أو القاعدة في محلولٍ ما من خلال قياس حجم القاعدة (أو الحمض) ذو التركيز المعلوم اللازم لإتمام التعادل التام.

يُظهر **منحنى المعايرة** كيف يتغيّر الرقم الهيدروجيني (pH) للمحلول عند إضافة القاعدة (أو الحمض). ومن هذا المنحنى يمكننا تحديد **نقطة التكافؤ** — وهي المرحلة التي تتفاعل فيها كميات مكافئة تمامًا من الحمض والقاعدة — واختيار دليل مناسب يتغير لونه بالقرب من تلك النقطة.

An acid–base titration is used to determine the amount of acid or base in a solution by measuring the volume of a base (or acid) of known concentration needed for complete neutralization.

A **titration curve** shows how the pH of a solution changes as base (or acid) is added. From this curve, we can identify the **equivalence point**—the stage where stoichiometric amounts of acid and base have reacted—and choose a suitable indicator that changes color near that point.

Titration of a strong acid with a strong base — معايرة حمض قوي بقاعدة قوية

مثال، معايرة 25.0 mL من محلول 0.100 M HCl بقاعدة 0.100 M NaOH، يزداد الرقم الهيدروجيني ببطء في البداية، ثم يرتفع بسرعة كبيرة بالقرب من **نقطة التكافؤ** (pH = 7) . يحتوي المحلول عند التكافؤ على ملح NaCl، وهو **ملح متعادل**، لذا يكون الـ pH = 7.0 عند التكافؤ .يمكن استخدام أدلة يتغير لونها بالقرب من هذه الزيادة الحادة، كما هو موضح في الشكل 9.1 .

الفينولفثالين: (عديم اللون يتحول الى اللون الوردي)، في مدى pH 8.2–10.0 (يعمل جيدًا).

Example, the titration of 25.0 mL of 0.100 M HCl with 0.100 M NaOH, the pH rises slowly at first and then sharply near the **equivalence point** (pH = 7). The solution contains NaCl, a **neutral salt**, so the pH is 7.0 at equivalence. Indicators that change color near this sharp rise can be used, as shown in Figure 9.1. **Phenolphthalein** (colorless turn to pink, pH 8.2–10.0) works well.

مثال 9: احسب قيمة pH لمحلول أُضيف إليه 10.0 mL من 0.100 M NaOH إلى 25.0 mL من 0.100 M HCl.

Example 9: Calculate the pH of a solution in which 10.0 mL of 0.100 M NaOH is added to 25.0 mL of 0.100 M HCl.

$$H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \Leftrightarrow H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)}$$

Step 1: Calculate moles of acid and base — احسب عدد مولات الحمض والقاعدة

$$n_{(HCl)} = (0.0250)(0.100) = 0.00250 \text{ mol}$$
$$n_{(NaOH)} = (0.0100)(0.100) = 0.00100 \text{ mol}$$

Step 2: Determine which is in excess — حدِّد أيهما فائض

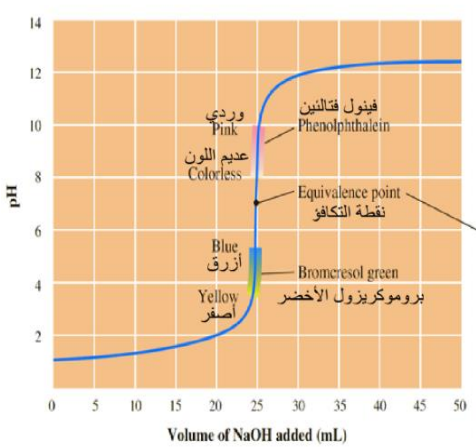
HCl: 0.00250 mol, NaOH: 0.00100 mol, → Acid is in excess. الفائض هو الحمض

Excess HCl = 0.00250 − 0.00100 = 0.00150 mol

$V_{(total)} = 10.0 + 25.0 = 35.0 \text{ mL} = 0.0350 \text{ L}$

$$[H^+] = \frac{0.00150}{0.0350} = 0.0429 \text{ M}$$

pH = −log(0.0429) = 1.37



Volume NaOH added (mL)	pH
0	1.00
5	1.18
10	1.37
15	1.60
20	1.95
21	2.06
22	2.20
23	2.38
24	2.69
25	7.00
26	11.29
27	11.59
28	11.75
29	11.87
30	11.96
35	12.22
40	12.36
45	12.46
50	12.52

الشكل 9.1: منحنى معايرة حمض قوي بقاعدة قوية

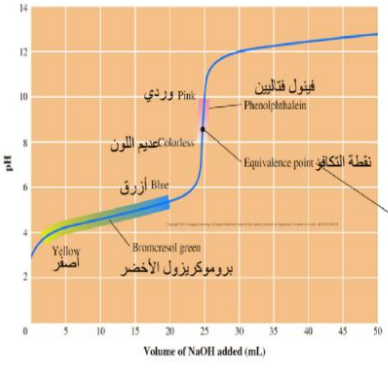
Figure 9.1 Curve for the titration of a strong acid by a strong base

معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

عند معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية، يختلف منحنى المعايرة عن منحنى معايرة حمض قوي. يبدأ المنحنى عند قيمة pH ابتدائية أعلى لأن الحمض ضعيف. يزداد الرقم الهيدروجيني (pH) تدريجيًا في البداية، ثم يرتفع بسرعة كبيرة بالقرب من نقطة التكافؤ(بين pH 7 و11). وبما أن هذه القفزة في قيمة pH أصغر من تلك في معايرة حمض قوي بقاعدة قوية، وبالتالي اختيار الدليل يصبح أكثر أهمية. فمثلا دليل **الفينولفثالين** الذي يتغير لونه في مدى pH من 8.2 إلى 10.0 (يعمل جيدًا).عند نقطة التكافؤ يكون المحلول **قاعديًا** وليس متعادلًا، وذلك لأن المحلول يحتوي على ملح الحمض الضعيف الذي يخضع للتميؤ منتجًا محلولًا قاعديًا، كما هو موضح في الشكل 9.2.

Titration of a Weak Acid by a Strong Base

When a weak acid is titrated with a strong base, the titration curve differs from that of a strong acid. The curve starts at a higher initial pH, since the acid is weak. The pH increases gradually at first, then rises sharply near the equivalence point (between pH 7 and 11). Because this pH jump is smaller than in a strong acid–strong base titration, the choice of indicator is more critical. **Phenolphthalein** (pH 8.2–10.0) works well. At the equivalence point, the pH is **basic**, not neutral. This is because the solution contains the salt of weak acid, which undergoes hydrolysis to produce a basic solution, as shown in Figure 9.2.



Volume NaOH added (mL)	pH
0	2.92
1	3.47
2	3.79
3	3.98
4	4.13
5	4.25
10	4.67
15	5.03
20	5.45
21	5.57
22	5.72
23	5.91
24	6.23
25	8.78
26	11.29
27	11.59
28	11.75
29	11.87
30	11.96
35	12.22
40	12.36
45	12.46
50	12.52

الشكل 9.2: منحنى معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

Figure 9.2: Curve for the titration of a weak acid by a strong base

تدريب 5-9: ما قيمة pH عند نقطة التكافؤ عندما تتم معايرة 25 mL من 0.10 M HF بمحلول من 0.15M NaOH؟

Exercise 9-5: What is the pH at the equivalence point when 25 mL of 0.10 M HF is titrated by 0.15 M NaOH? K_a (HF) = 6.6×10^{-4}

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

مراحل معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية

Stages Titration of a Weak Acid with a Strong Base

Stage المرحلة	Main Species Present الأنواع الرئيسة الموجودة	Type of Solution نوع المحلول	Major Reaction / Concept التفاعل أو المفهوم الرئيس	pH Behavior سلوك الرقم الهيدروجيني
1. Before base addition قبل إضافة القاعدة	Weak acid only حمض ضعيف فقط (HA)	Weakly acidic حمضي ضعيف	Partial ionization: تأين جزئي $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$ $[H^+] = \sqrt{K_a[HA]}$	pH < 7
2. After some base added (before equivalence) بعد بدء إضافة قليل من القاعدة (قبل نقطة التكافؤ)	$HA + A^-$ (both present) كلاهما متواجدان	Buffer solution محلول منظم	Neutralization: التعادل $HA + OH^- \rightarrow A^- + H_2O$ use Henderson–Hasselbalch: استخدم معادلة هندرسون-هاسلبالخ $pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$	Gradual increase ازدياد تدريجي
3. Half-equivalence point عند 50% من نقطة التكافؤ	$[HA] = [A^-]$	Buffer محلول منظم	$pH = pK_a$	Moderate (buffered) pH محلول منظم معتدل
4. Equivalence point عند نقطة التكافؤ	A^- only (conjugate base) قاعدة مترافقة فقط	Basic (from hydrolysis) قاعدي (ناتج عن التميؤ)	$A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$ $K_b = \frac{K_w}{K_a}$ $[OH^-] = \sqrt{K_b[A^-]}$	pH > 7
5. After equivalence point بعد نقطة التكافؤ	Excess OH^- (from NaOH) فائض OH من (NaOH)	Strongly basic قاعدي قوي	pH determined by excess base: يُحدد الرقم الهيدروجيني من تركيز القاعدة الزائدة $[OH^-] = \frac{n_{excess}}{V_{total}}$	pH >>> 7

Solubility-product constant K_{sp} ثابت حاصل الذائبية K_{sp}

تُناقش هذه الفقرة أنظمة الاتزان المتعلقة بذوبانية المركّبات الأيونية قليلة الذوبان. وحتى المواد التي تُعدّ ذائبة تمتلك ذوبانية محدودة، حيث يوجد في المحلول المشبع اتزان بين الأيونات المذابة والمادة الصلبة غير المذابة. ففي حالة مركّب قليل الذوبان مثل فلوريد الرصاص الثنائي (PbF_2)، فإن الكمية القليلة التي تذوب منه تتفكك كليًا إلى أيوناته، مكوّنة اتزانًا على النحو الآتي:

This section discusses equilibrium systems involving the solubility of slightly soluble ionic compounds. Even "soluble" substances have limited solubility, and in a saturated solution, equilibrium exists between dissolved ions and undissolved solid. For a slightly soluble compound like PbF_2, the small amount that dissolves fully dissociate into ions, establishing an equilibrium such as:

$$PbF_{2(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + 2F^{-}_{(aq)}$$

ومن هذا التفاعل، تُكتب علاقة حاصل الأيونات (Q_{sp}) كما يلي:

From this, the ion-product expression (Q_{sp}) is written as:

$$Q_{sp} = [Pb^{2+}][F^{-}]^2$$

عندما يصبح المحلول مشبعًا، تصل علاقة حاصل الأيونات (Q_{sp}) إلى قيمة ثابتة تُعرَف باسم **ثابت حاصل الذائبية K_{sp}**. وترتبط هذه القيمة بـ **الذوائبية المولارية (s)** ، وهي عدد مولات المادة التي تذوب في لتر واحد من المحلول عند درجة حرارة معينة. ومن الجدير بالذكر أن قيمة K_{sp} تعتمد فقط على درجة الحرارة.

When a solution becomes saturated, the ion-product expression (Q_{sp}) reaches a constant value known as the **solubility-product constant K_{sp}**. The **molar solubility (s)**, which is the number of moles of a substance that dissolve per liter of solution, is related to this constant. Notably, K_{sp} depends only on temperature.

وبشكل عام، لمركّب من الصيغة M_pX_q، تكون العلاقة:

In general, for a compound M_pX_q, the expression is:

$$K_{sp} = [M^{n+}]^p\,[X^{z-}]^q = K_{sp} = (p\cdot s)^p\,(q\cdot s)^q = p^p q^q\, s^{(p+q)}$$

توجد حالة خاصة في بعض كبريتيدات الفلزات، وذلك لأن أيون الكبريتيد (S^{2-}) يُعَدّ قاعدة قوية ويتفاعل مع الماء ليُكوّن أيون البيكبريتيد (HS^-) وأيون الهيدروكسيد (OH^-). لذلك، بالنسبة لمركّب مثل كبريتيد المنغنيز(MnS) ، يصبح اتزان الذائبية الكلي كما يلي:

A special case occurs with some metal sulfides because the sulfide ion (S^{2-}) is strongly basic and reacts with water to form HS^- and OH^-. Therefore, for a compound like MnS, the overall dissolution equilibrium becomes:

$$MnS_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + HS^{-}_{(aq)} + OH^{-}_{(aq)}$$

and the K_{sp} expression is: وتكون علاقة ثابت حاصل الذائبية K_{sp}

$$K_{sp} = [Mn^{2+}][HS^-][OH^-]$$

تدريب 9-6: احسب الذائبية المولارية لـ $Mn(OH)_2$ و pH لمحلول مشبع من $Mn(OH)_2$ عند 25°C.

Exercise 9-6: Calculate the molar solubility of $Mn(OH)_2$ and the pH of a saturated solution of $Mn(OH)_2$ at 25°C. K_{sp} for $Mn(OH)_2 = 1.9\times10^{-13}$

.....

.....

.....

.....

.....

EXCERCIS ANSWER **إجابات التدريبات**

تدريب (9-1)

يتجه التفاعل نحو الحمض/القاعدة الأضعف. وبما أن H_2S هو الحمض الأضعف، و$C_2H_3O_2^-$ هي القاعدة الأضعف (كونها القاعدة المقترنة لحمض أقوى)، فإن الاتزان يميل باتجاه تكوّن $H_2S_{(aq)}$ و $C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$. أي أن الجانب المُفضَّل هو الجانب الأيسر (المتفاعلات).

The reaction goes toward the weaker acid/base. Since H_2S is the weaker acid and $C_2H_3O_2^-$ is the weaker base (conjugate of the stronger acid), equilibrium favors $H_2S_{(aq)}$ and $C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$. Favored side left (reactants).

تدريب (9-2)

$[OH^-] = 1.0 \times 10^{-5}$ M , Using, $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

$$[H_3O^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9}\ \text{M}$$

$[H_3O^+] < 1.0 \times 10^{-7}$ M, so the solution is basic المحلول قاعدي

تدريب (9-3)

$[OH^-] = 0.025$ M

$K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

$$[H_3O^+] = \frac{1.0\times10^{-14}}{0.025} = 4.0 \times 10^{-13}\ \text{M}$$

pH = - log $[H_3O^+]$ = - log (4.0×10^{-13}) = 12.40

pH = 12.40, the solution is strongly basic. المحلول ذو طبيعة قاعدية قوية

تدريب (9-4)

1. Hydrolysis التميؤ: $C_6H_5COO^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HC_6H_5COO_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.3 \times 10^{-5}} = 1.59 \times 10^{-10}$$

Let $x = [OH^-] = [HC_6H_5COO^-]$

With $C_o = 0.015$ M and $x \ll C_o$

$x \approx (K_b \times C_o)^{1/2} = ((1.59 \times 10^{-10})(0.015))^{1/2} = 1.54 \times 10^{-6}$ M

pOH = $-\log(1.54 \times 10^{-6}) = 5.81$

$\Rightarrow$ (pH = 14.00 − 5.81 = 8.19)

$[HC_6H_5COOH] \approx (1.54 \times 10^{-6}\ \text{M})$

pH ≈ 8.19

2. For NH_4^+ (the conjugate acid of NH_3): الحمض المقترن بالأمونيا:

$$K_a(NH_4^+) = \frac{K_w}{K_b(NH_3)} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.75 \times 10^{-5}} = 5.71 \times 10^{-10}.$$

Hydrolysis التميؤ: $NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3 + H_3O^+$

Let $x = [NH_3] = [H_3O^+]_{formed.}$

$$K_a = \frac{x^2}{C-x} \approx \frac{x^2}{C} \Rightarrow x \approx (K_a.C)^{1/2} = ((5.71 \times 10^{-10}) \times (0.0100))^{1/2} = 2.39 \times 10^{-6}\ \text{M}$$

Extent (degree) of hydrolysis نسبة التميؤ

$$\alpha = \frac{x}{C} = \frac{2.39 \times 10^{-6}}{0.0100} = 2.39 \times 10^{-4} = 0.0239\%.$$

تدريب (9-5)

$V_{(HF)} = 25.0\ mL = 0.0250\ L$

$[HF] = 0.10\ M$

$[NaOH] = 0.15\ M$

$n_{(HF)} = 0.0250 \times 0.10 = 0.00250\ mol$

At the equivalence point, all HF is neutralized تمت معادلة كل HF عند نقطة التكافؤ

$$n_{(NaOH)} = n_{(HF)}$$

$$V_{NaOH} = \frac{0.00250}{0.15} = 0.0167\ L = 16.7\ mL$$

تحول الحمض HF بالكامل الى قاعدته المقترنة F^- (من NaF)

All HF has been converted into its conjugate base: F^- (from NaF)

وبالتالي يحتوي المحلول على أيون الفلوريد فقط الذي يتميأ في الماء

So the solution contains only F^-, which hydrolyzes in water:

$$F^- + H_2O \rightleftharpoons HF + OH^-$$

We use K_b for this reaction: نستخدم K_b لهذا التفاعل

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.6 \times 10^{-4}} = 1.52 \times 10^{-11}$$

$$[F^-] = \frac{\text{mol } F^-}{\text{total volume}}$$

Total volume الحجم الكلي= 25.0 + 16.7 = 41.7 mL = 0.0417 L

$$[F^-] = \frac{0.00250}{0.0417} = 0.0600\ M$$

$$K_b = \frac{[HF][OH^-]}{[F^-]}$$

Assume بفرض $x = [OH^-]$

$$1.52 \times 10^{-11} = \frac{x^2}{0.0600}$$

$x = 9.54 \times 10^{-7}$

$pOH = -\log(9.54 \times 10^{-7}) = 6.02$

$pH = 14 - 6.02 = 7.98$

إذن، عند نقطة التكافؤ يكون المحلول قاعديًا قليلًا لأن الملح NaF يُنتج الأيون القاعدي الضعيف F^-.

So, at the equivalence point, the solution is slightly basic because the salt (NaF) produces the weakly basic ion F^-.

تدريب (9-6)

$$Mn(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

$K_{sp} = [Mn^{2+}]\,[OH^-]^2 = 1.9 \times 10^{-13}$

$K_{sp} = [x][2x]^2 = 1.9 \times 10^{-13}$

$4x^3 = 1.9 \times 10^{-13}$

$x = 3.6 \times 10^{-5}\ mol/L$

$[OH^-] = 2 \times 3.6 \times 10^{-5} = 7.2 \times 10^{-5}$

$pOH = -\log(7.2 \times 10^{-5}) = 4.14$

$pH = 14.00 - 4.14 = 9.86$

10 Practical experiments 10- التجارب العملية

Analysis of Commercial Vinegar experiment 1- تجربة تحليل الخل التجاري

الهدف

تعيين مولارية حمض الخليك في الخل التجاري ثم حساب نسبته الكتلية باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم القياسي ودليل الفينولفثالين.

Purpose

Determine the molarity of acetic acid in a commercial vinegar sample and report its mass percent, using a provided standardized sodium hydroxide solution and phenolphthalein as the endpoint indicator.

الكواشف والأدوات

- محلول هيدروكسيد الصوديوم القياسي ~ 0.10 M .
- خل تجاري.
- دليل الفينولفثالين (1%).
- ماء مقطر.
- سحّاحة 25mL (+ حامل ومِشبك)، أسطوانة مدرّجة 10 mL (للشطف عند الحاجة).
- ماصّة حجمية 2.00 mL مع مالئة الماصة.
- دوارق مخروطية (125–250 mL) عددها على الأقل 3 .
- زجاجة غسل بماء مقطر.
- كأس أو وعاء نفايات، مناديل مختبرية .

Provided Reagents and Materials

- Standardized sodium hydroxide solution, ~0.10 M (exact molarity provided separately).
- Commercial vinegar.
- Phenolphthalein indicator (1%) .
- Distilled water.
- 25 mL burette (+ stand and clamp), 10 mL graduated cylinder (for rinsing if needed).
- Volumetric pipette, 2.00 mL, with pipette filler.
- Conical flasks (125–250 mL), at least 3 .
- Wash bottle with distilled water.
- Beaker or waste container, laboratory tissue.

تعليمات السلامة

- ارتدِ نظارات واقية ومعطف وقفازات.
- هيدروكسيد الصوديوم مادة كاوية؛ اغسل فورًا أي تلامس جلدي بالماء.

- املأ السحّاحة وهي غير مُثبتة وتحت مستوى الكتف.
- ثبّت الزجاجيات وامسح طرف السحّاحة.
- تقليل امتصاص CO_2: أبقِ زجاجة NaOH مغلقة ولا تتركه طويلًا في السحّاحة.

Safety

- Wear goggles, lab coat, and gloves throughout.
- NaOH is corrosive; rinse skin exposure immediately with water.
- Fill the burette off the clamp and below shoulder level.
- Keep glassware stable; wipe the burette tip before each titration.
- Minimize CO_2 uptake: keep the NaOH bottle closed; don't leave NaOH in the burette longer than necessary.

فحوصات ما قبل المعايرة

- اشطف/هيّئ السحّاحة بمحلول NaOH القياسي ثم املأها.
- علّم ثلاثة دوارق مخروطية للخطوات المكررة (1–3).

Pre-Titration Checks

- Rinse/condition the burette with standardized NaOH, then fill it.
- Label three clean conical flasks (Trial 1–3).

تحضير العيّنات (للمحاولات الثلاثة)

- نصيحة جودة: اشطف الماصّة الحجمية بالخل (2–3 مرات بكميات قليلة) قبل السحب.
- باستخدام ماصّة 2.00 mL انقل 2.00 mL من الخل إلى كل دورق مُعلَّم.
- أضِف ~25–50 mL ماء مقطر لكل دورق لضمان مزجٍ كافٍ.
- أضِف 3 قطرات من الفينولفثالين.

Sample Preparation (Three Replicates)

- Good practice: Pre-rinse the volumetric pipette with vinegar (2–3 small rinses).
- Using the 2.00 mL volumetric pipette, transfer 2.00 mL of vinegar into each labeled conical flask.
- Add ~25–50 mL distilled water to each flask for adequate mixing.
- Add 3 drops of phenolphthalein indicator.

المعايرة (لكل محاولة)

- ضع الدورق تحت السحّاحة وخفّض الطرف داخله. سجِّل القراءة الابتدائية لأقرب 0.02 mL .
- عاير بـــ NaOH مع تحريكٍ مستمر. ابدأ أسرع ثم خفِّف المعدّل عند بدء ثبات اللون الوردي الباهت.
- أضِف القاعدة قطرةً قطرة حتى يظهر لون ورديّ باهت متجانس يدوم قرابة 30 ثانية.
- سجِّل القراءة النهائية واحسب حجم NaOH .
- كرّر للمرّتين المتبقيتين. يُفضَّل أن تتفق الأحجام ضمن ~0.05–0.10 mL .

Titration (Repeat for Each Trial)

- Place the flask under the burette; lower the tip into the flask. Record the initial burette reading (to 0.02 mL).
- Titrate with standardized NaOH with continuous swirling. Begin faster, then reduce the rate as a faint pink starts to persist.
- Add NaOH dropwise until a uniform, faint pink persists for ~30 s.
- Record the final burette reading (to 0.02 mL). Compute V_{NaOH} by subtraction.
- Repeat for Trials 2 and 3. Replicates should agree within ~0.05–0.10 mL.

الحسابات

- حجم الخل = 2.00 mL = 0.00200 L .
- معادلة التفاعل: (نسبة 1 : 1) $CH_3COOH+NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

لكل محاولة:

- عدد مولات القاعدة n (NaOH) = M (NaOH) × V_L (NaOH)
- عدد مولات القاعدة = عدد مولات الحمض n (NaOH) = n (acid)
- التركيز المولاري للحمض M (acid) = n (acid) / 0.00200

النسبة الكتلية (m/m%) بافتراض الكثافة = 1.00 g·mL^{-1} والكتلة المولية = 60.05 g.mol^{-1} :

- كتلة العيّنة ≈ 2.00 g
- كتلة الحمض m (acid) = n (acid) × 60.05
- النسبة الكتلية للحمض في محلول الخل التجاري m/m % = (m (acid) ÷ 2.00) × 100

Calculations

- V (vinegar) = 2.00 mL = 0.00200 L
- Reaction (1:1): $CH_3COOH+NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

For each trial:

- n (NaOH) = M (NaOH) × V_L (NaOH)
- n (NaOH) = n (acid)
- M (acid) = n (acid) / 0.00200

Mass percent acetic acid (m/m%) (assume density = 1.00 g·mL^{-1}), M_r = 60.05 g.mol^{-1} :

- Sample mass ≈ 2.00 g
- m (acid) = n (acid) × 60.05
- m/m % = (m (acid) ÷ 2.00) × 100

التنظيف

- صرّف النفايات في الوعاء المخصّص.
- اشطف السحّاحة بماء مقطر وخزّنها مقلوبةً والصنبور مفتوح.
- نظّف السطح واغسل يديك.

Clean-Up

- Collect waste in the designated container.
- Rinse the burette with distilled water, store inverted with stopcock open.
- Wipe the bench and wash hands.

البيانات التي يتم تسجيلها

- القراءات الابتدائية والنهائية للسحّاحة لكل محاولة.
- حجم القاعدة V (NaOH) (مللتر) لكل محاولة.
- تركيز الحمض M (acid) لكل محاولة والمتوسط الحسابي.
- نسبة حمض الخليك m/m% لكل محاولة والمتوسط الحسابي.

ملاحظة عملية: بتركيز NaOH ≈ 0.10 M وخلّ نموذجي ≈ 5%، سيكون حجم المعايِر المطلوب لكل عينة حجمها 2.00 mL قرابة 16–17 mL؛ وهذا مريح داخل سحّاحة حجمها 25 mL دون الحاجة لإعادة تعبئتها.

Data that is recorded

- Initial and final burette readings for each trial.
- V (NaOH) (mL) for each trial.
- M (acid) for each trial and the average M (acid).
- Mass percent acetic acid (%m/m) for each trial and the average %m/m.

Practical note: With NaOH at ≈0.10 M and typical vinegar at ≈5%, the titrant volume required for each 2.00 mL sample is about 16–17 mL. This fits comfortably within a 25 mL burette without needing to refill.

2- تجربة التعرّف النوعي على محاليل مجهولة

Qualitative Identification of Unknown Solutions experiment

الهدف

تمييز هوية ستة محاليل مائية شفافة مجهولة بالاستدلال من مشاهدات بسيطة عند مزج أزواج المحاليل: تكوّن الراسب، تصاعد الغاز، وتغيّر لون الدليل؛ ثم توثيق النتائج بكتابة المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات الداعمة للاستنتاج.

Purpose

Identify the contents of six colorless unknown aqueous solutions by observing simple qualitative cues during pairwise mixing—precipitate formation, gas evolution, and indicator color change—and justify the identifications by writing net ionic equations for the key reactions.

الكواشف والأدوات

- ستة محاليل مجهولة شفافة يختارها مساعد المختبر من المجموعة:
  $AgNO_{3(aq)}$, $BaCl_{2(aq)}$, $NaCl_{(aq)}$, $Na_2SO_{4(aq)}$, $Na_2CO_{3(aq)}$, $HCl_{(aq)}$
- ماء مقطّر، ورقة بيضاء كخلفية للملاحظة.
- أنابيب اختبار مُرقّمة (6) + أنابيب إضافية للمزج الثنائي.
- ماصّات تقطير/قطّارات مخصّصة قدر الإمكان، حامل أنابيب، فرشاة تنظيف.
- كأس/وعاء نفايات.
- فينولفثالين 1% (اختياري) أو ورق تباع الشمس كدليل حمض/قاعدة.

Indicators and Materials

- Six unknown colorless solutions selected (unrevealed to students) from: $AgNO_{3(aq)}$, $BaCl_{2(aq)}$, $NaCl_{(aq)}$, $Na_2SO_{4(aq)}$, $Na_2CO_{3(aq)}$, $HCl_{(aq)}$
- Distilled water; white paper as viewing background.
- Numbered test tubes (6) + extra tubes for pairwise tests.
- Dedicated droppers/Pasteur pipettes when possible; test-tube rack; brush.
- Beaker/waste container.
- Phenolphthalein 1% (optional) or litmus paper as an acid–base indicator.

تعليمات السلامة

- ارتدِ نظارات واقية ومعطف وقفازات طوال الوقت.
- HCl مادة مسببة للتآكل؛ و$AgNO_3$ يلوّن الجلد والملابس ومُهيّج للعينين - تجنّب الملامسة المباشرة.
- محلول الفينولفثالين غالبًا كحولي وقابل للاشتعال: استخدمه بعيدًا عن اللهب ومصادر الشرر.
- اعمل في مكان جيّد التهوية، وجمّع فضلات الفضة بشكل منفصل إن أمكن.

Safety

• Wear goggles, lab coat, and gloves throughout.
• HCl is corrosive; $AgNO_3$ stains skin/fabrics and irritates eyes - avoid direct contact.
• Phenolphthalein solutions are typically alcohol-based and flammable: keep away from ignition sources.
• Work in a well-ventilated area; collect silver-containing waste separately if possible.

فحوصات ما قبل البدء

- تأكد من نظافة الأنابيب وخلوها من بقايا الكربونات/الهيدروكسيد.
- رقِّم 6 أنابيب (1–6) وضع في كلٍّ منها ≈ 15–20 mL من محلول مجهول.
- جهّز 6–8 أنابيب إضافية للمزج الثنائي، واستخدم قطارات منفصلة قدر الإمكان.
- جهّز ورقة تسجيل للمشاهدات وجدول المزج.

Pre-Test Checks

- Ensure tubes are clean and free of residual carbonate/hydroxide.
- Label tubes 1–6 and place ≈ 15–20 mL of an unknown in each.
- Prepare 6–8 spare tubes for pairwise mixing; dedicate droppers when possible.
- Prepare an observation sheet and the mixing matrix.

تحضير العيّنات

- استخدم أحجامًا صغيرة ومتساوية عند المزج (مثل 1–2 mL من كل محلول).
- يمكن استخدام قطرة فينولفثالين أو ورق تباع الشمس لإظهار سلوك حمضي/قاعدي.
- دوِّن فورًا: وجود لون أو راسب، تصاعد الغاز، تغيّر لون الكاشف.

Sample Preparation

- Use small equal volumes (1–2 mL of each solution per mix).
- Optionally use one drop phenolphthalein or litmus for acid–base behavior.
- Record Immediately: precipitate presence/color, gas effervescence, indicator change.

التجربة (مزج أزواج المحاليل)

باستخدام تفاعلات أزواج المحاليل، حدِّد هوية كل أنبوب. املأ الجدول بالمشاهدات. يكفي ملء نصف الجدول؛ أكمل النصف الآخر فقط إذا كرّرت المزج بالعكس للتحقق.

Pairwise Tests

Mix pairs systematically and complete the table. Filling one triangular half is sufficient; fill the other half only if repeating in reverse as a check.

	1	2	3	4	5	6
1	-----					
2		-----				
3			-----			
4				-----		
5					-----	
6						-----

إشارات رئيسية متوقَّعة (للمعلّم كمرشد لا يُسلَّم للطلاب)

- $HCl + Na_2CO_3 \rightarrow CO_{2(g)}$ (فقاعات واضحة) + محلول عديم اللون
  $CO_3^{2-}{}_{(aq)} + 2H^+{}_{(aq)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$
- $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl_{(s)}$ راسب أبيض (مصدر Cl^- من NaCl أو HCl)
  $Ag^+{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)}$
- $Ag^+ + CO_3^{2-} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$ راسب فاتح قد يذوب مع الحمض مع تصاعد CO_2
  $Ag^+{}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$
- $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_{4(s)}$ راسب أبيض غير ذائب
  $Ba^{2+}{}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaSO_{4(s)}$
- $Ba^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_{3(s)}$ راسب أبيض
  $Ba^{2+}{}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)}$

Key Cues (for teacher, not handed to students)

- $HCl + Na_2CO_3 \rightarrow CO_{2(g)}$ (clear fizzing) + colorless solution.
  $CO_3^{2-}{}_{(aq)} + 2H^+{}_{(aq)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$
- $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl_{(s)}$ white precipitate (from NaCl or HCl).
  $Ag^+{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)}$
- $Ag^+ + CO_3^{2-} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$ (off-white; dissolves with acid, releasing CO_2)
  $Ag^+{}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow Ag_2CO_{3(s)}$
- $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_{4(s)}$ (white precipitate, insoluble white).
  $Ba^{2+}{}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaSO_{4(s)}$
- $Ba^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_{3(s)}$ (white precipitate).
  $Ba^{2+}{}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)}$

التحليل والاستدلال

- ابدأ بالعلامات القاطعة: CO_2 يكشف زوج (H^+/CO_3^{-2})، و$BaSO_{4(s)}$ يربط Ba^{2+} مع SO_4^{2-}، و$AgCl_{(s)}$ يثبت وجود Ag^+ مع مصدر Cl^- .

- كوّن بصمة تفاعلية لكل أنبوب بمقارنة استجاباته مع بقية الأنابيب، ثم حدد الهوية.
- دوّن الصيغ النهائية للأنابيب الستة، واكتب المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات التي استندت إليها.

Analysis and Inferencing

- Start from decisive cues: CO_2 (H^+/CO_3^{2-} pair), $BaSO_4(s)$ (Ba^{2+} with SO_4^{2-}), $AgCl_{(s)}$ (Ag^+ with Cl^-).
- Build a reaction fingerprint for each tube by comparing its responses to all others, then assign identities.
- Record the final identities and write the net ionic equations used.

التنظيف

- اجمع فضلات الفضة ($Ag^+/AgCl$) في وعاء منفصل إن أمكن؛ صرّف البقية حسب سياسة المختبر.
- اشطف الأنابيب بالماء المقطر ونظّفها بفرشاة عند الحاجة.
- نظّف سطح الطاولة واغسل يديك.

Clean-Up

- Collect Ag-containing wastes ($Ag^+/AgCl$) separately if possible; dispose the rest per lab policy.
- Rinse test tubes with distilled water; brush clean as needed.
- Wipe the bench and wash hands.

البيانات التي يتم تسجيلها

- جدول المشاهدات لكل مزج ثنائي (راسب/لونه/ثباته، غاز، تغيّر لون الكاشف).
- الصيغ/الأسماء النهائية للمحاليل الستة المرتبطة بأرقام الأنابيب.
- المعادلات الأيونية الصافية للتفاعلات الداعمة للاستنتاج.

Data to be recorded

- Observation matrix for each pairwise mix (precipitate/color/stability, gas, indicator change).
- Final identities (formulas/names) for the six tube numbers.
- Net ionic equations support the deductions.

لمساعد المختبر فقط ـ تحضير المحاليل (تركيزات مقترحة)

0.10 M: $AgNO_3$, $BaCl_2$, Na_2SO_4, Na_2CO_3, NaCl
0.50 M: HCl (مخفف)

ملاحظات: اغسل الزجاجيات جيدًا لتجنّب أثر الكربونات/الهيدروكسيد. استخدم قطّارات مخصّصة لمنع التلوّث المتبادل الذي قد يولّد رواسب كاذبة.

For Lab Assistants Only - Solution Preparation (Suggested concentrations)

0.10 M: $AgNO_3$, $BaCl_2$, Na_2SO_4, Na_2CO_3, NaCl
0.50 M: HCl (dilute)
Notes: Thoroughly wash all glassware to avoid residual carbonate/hydroxide. Use dedicated droppers/pipettes whenever possible to prevent cross-contamination that could produce false precipitates.

Practical note | ملاحظة عملية

استخدم أحجامًا صغيرة متساوية (1–2 mL) وخلفية بيضاء لرؤية الرواسب الباهتة. أعِد أي مزج غير حاسم للتحقّق من النمط. عند الاشتباه بين NaCl وHCl، اختبر كليهما مع Na_2CO_3: ظهور CO_2 يثبت وجود الحمض (HCl).

Use small, equal volumes (1–2 mL) and observe over a white background to visualize faint precipitates. Repeat any ambiguous pairwise mixes to confirm patterns. When uncertain between NaCl and HCl, test both against Na_2CO_3: the appearance of CO_2 bubbles confirms the acid (HCl).

PERIODIC TABLE

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
	I.A																	VIII. A
1.	2.1 **1** **H** 1.0	II. A											III. A	IV. A	V. A	VI. A	VII. A	**2** **He** 4.0
2.	1.0 **3** **Li** 6.9	1.5 **4** **Be** 9.0								EN* **atomic number** **Chem. symbol** relative atomic mass			2.0 **5** **B** 10.8	2.5 **6** **C** 12.0	3.0 **7** **N** 14.0	3.5 **8** **O** 16.0	4.0 **9** **F** 19.0	**10** **Ne** 20.2
3.	0.9 **11** **Na** 23.0	1.2 **12** **Mg** 24.3	III. B	IV. B	V. B	VI. B	VII. B	VIII. B			I. B	II. B	1.5 **13** **Al** 27.0	1.8 **14** **Si** 28.1	2.1 **15** **P** 31.0	2.5 **16** **S** 32.0	3.0 **17** **Cl** 35.5	**18** **Ar** 40.0
4.	0.8 **19** **K** 39.1	1.0 **20** **Ca** 40.1	1.3 **21** **Sc** 45.0	1.5 **22** **Ti** 47.9	1.6 **23** **V** 50.9	1.6 **24** **Cr** 52.0	1.5 **25** **Mn** 54.9	1.8 **26** **Fe** 55.8	1.8 **27** **Co** 58.9	1.8 **28** **Ni** 58.7	1.9 **29** **Cu** 63.5	1.6 **30** **Zn** 65.4	1.6 **31** **Ga** 69.7	1.8 **32** **Ge** 72.6	2.0 **33** **As** 74.9	2.4 **34** **Se** 79.0	2.8 **35** **Br** 79.9	**36** **Kr** 83.8
5.	0.8 **37** **Rb** 85.5	1.0 **38** **Sr** 87.6	1.3 **39** **Y** 88.9	1.4 **40** **Zr** 91.2	1.6 **41** **Nb** 92.9	1.8 **42** **Mo** 95.9	1.9 **43** **Tc** [98]	2.2 **44** **Ru** 101.1	2.2 **45** **Rh** 102.9	2.2 **46** **Pd** 106.4	1.9 **47** **Ag** 107.9	1.7 **48** **Cd** 112.4	1.7 **49** **In** 114.8	1.8 **50** **Sn** 118.7	1.9 **51** **Sb** 121.8	2.1 **52** **Te** 127.6	2.5 **53** **I** 126.9	**54** **Xe** 131.3
6.	0.7 **55** **Cs** 132.9	0.9 **56** **Ba** 137.3	1.1 **57** **La** 138.9	1.3 **72** **Hf** 178.5	1.5 **73** **Ta** 180.9	1.7 **74** **W** 183.8	1.9 **75** **Re** 186.2	2.2 **76** **Os** 190.2	2.2 **77** **Ir** 192.2	2.2 **78** **Pt** 195.1	2.4 **79** **Au** 197.0	1.9 **80** **Hg** 200.6	1.8 **81** **Tl** 204.4	1.8 **82** **Pb** 207.2	1.9 **83** **Bi** 209.0	2.0 **84** **Po** [209]	2.2 **85** **At** [210]	**86** **Rn** [222]
7.	0.7 **87** **Fr** [223]	0.9 **88** **Ra** [226]	1.1 **89** **Ac** [227]	**104** **Rf** [261]	**105** **Db** [262]	**106** **Sg** [266]	**107** **Bh** [264]	**108** **Hs** [269]	**109** **Mt** [268]	**110** **Ds** [271]	**111** **Rg** [272]	**112** **Cn** [285]	**113** **Nh** [284]	**114** **Fl** [289]	**115** **Mc** [289]	**116** **Lv** [293]	**117** **Ts** [294]	**118** **Og** [294]

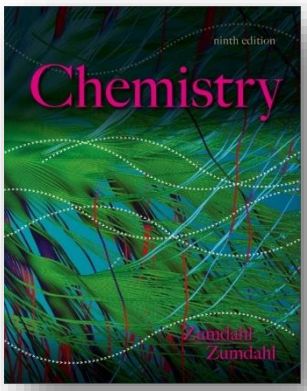
1.1 **58** **Ce** 140.1	1.1 **59** **Pr** 140.9	1.1 **60** **Nd** 144.2	1.1 **61** **Pm** [145]	1.2 **62** **Sm** 150.4	1.2 **63** **Eu** 152.0	1.2 **64** **Gd** 157.3	1.2 **65** **Tb** 158.9	1.2 **66** **Dy** 162.5	1.2 **67** **Ho** 164.9	1.2 **68** **Er** 167.3	1.2 **69** **Tm** 168.9	1.1 **70** **Yb** 173.0	1.2 **71** **Lu** 175.0
1.3 **90** **Th** 232.0	1.5 **91** **Pa** 231.0	1.4 **92** **U** 238.0	1.3 **93** **Np** [237]	1.3 **94** **Pu** [244]	1.3 **95** **Am** [243]	1.3 **96** **Cm** [247]	1.3 **97** **Bk** [247]	1.3 **98** **Cf** [251]	1.3 **99** **Es** [252]	1.3 **100** **Fm** [257]	1.3 **101** **Md** [258]	1.3 **102** **No** [259]	1.3 **103** **Lr** [262]

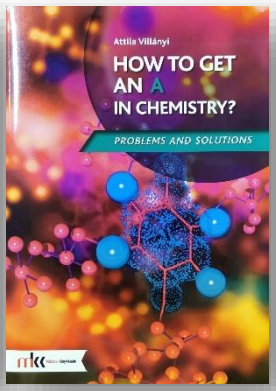
* EN: electronegativity

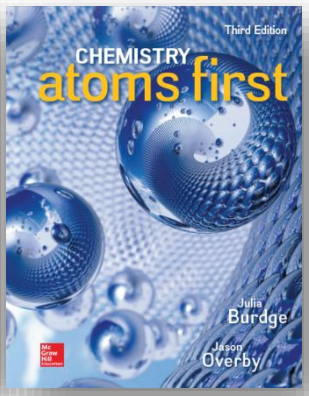
المصادر والمراجع العلمية

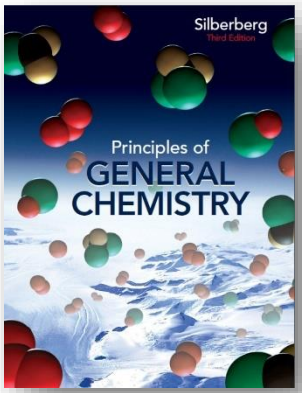
- وزارة التعليم . سلسلة مقررات الكيمياء في المرحلة الثانوية (نظام المسارات) ، المملكة العربية السعودية ، 2025 .

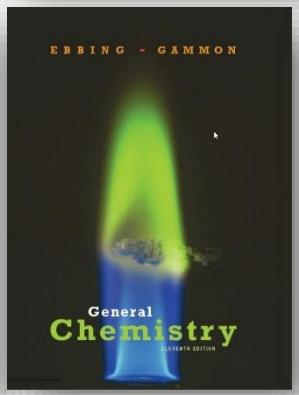
- Burdge , Julia and Jason Overby . Chemistry - atoms first , Third Edition . USA : McGraw-Hill , 2018 .
- Chang, Raymond. Chemistry, Tenth Edition. USA: McGraw-Hill, 2010.
- Ebbing , Darrell D and Steven D. Gammon . General Chemistry , Eleventh Edition . USA : Cengage Learning , 2015 .
- Rosenberg , Jerome L and Others . Schaum's Outline Theory and Problems of College Chemistry , Ninth Edition . USA : McGraw-Hill , 2007 .
- Silberberg , Martin S . Principles of General Chemistry , Third Edition . USA : McGraw-Hill , 2013 .
- Villanyi , Attila . How to Get an A in Chemistry ? , Budapest : Muszaki KonyvKiado , 2021 .
- Zumdahl , Steven S and Susan A. Zumdahl . Chemistry , Ninth Edition . USA : Brooks Cole , 2014 .

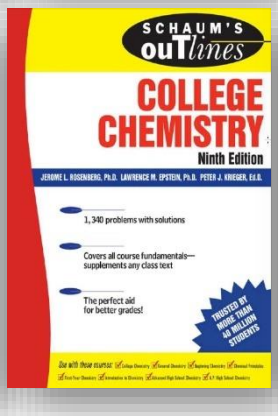


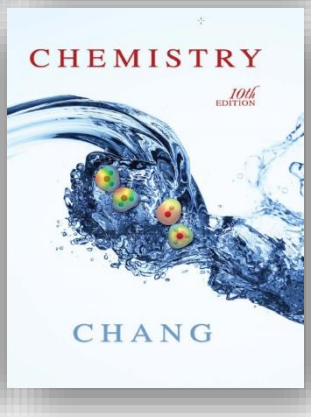












وزارة التعليم
Ministry of Education

موهبة
Mawhiba

نسمو
NSMO

Physics

أولمبياد العلوم والرياضيات الوطني

Contents

chaptre 1 WORK AND ENERGY 3

1.1 THE WORK 3

1.1.1 Work Done by A Constant Force 3

1.1.2 Work Done by the Kinetic Friction Force 5

1.1.3 Work Done by The Gravitational Force 8

1.1.4 Work Done by A Varying Force 10

1.1.5 Work Done by a Spring: 13

1.2 Energy 15

1.2.1 Kinetic Energy 15

1.2.2 Work- Kinetic Energy Theorem: 17

1.2.3 Potential Energy 19

1.2.4 Gravitational Potential Energy 19

1.2.5 Elastic Potential Energy 21

1.2.6 Conservation Of Mechanical Energy 23

1.3 Power 25

chaptre 2 Experiments 33

2.1 Physics as an Experimental Science 33

2.2 Precision, Accuracy and Errors in experiments 34

2.3 Data Recording 35

2.4 Data Analysis and Graphs 36

2.5 Some Simple Experiments 41

2.6 Simulation test 43

References 47

chaptre 1 WORK AND ENERGY

1.1 THE WORK

In everyday language, the term work can have several meanings, but in physics it carries a precise and specific definition. In physical terms, work describes what is accomplished when a force acts on an object and causes it to move through a displacement.

For clarity, we shall consider only translational motion, assuming that the object behaves as a rigid body without internal deformation and can thus be treated as a single particle. Under these assumptions,

1.1.1 Work Done by A Constant Force

The work done on an object by a constant force, that is, a force that remains constant in both magnitude and direction is defined as the product of the magnitude of the displacement and the component of the force that acts parallel to the displacement.

In mathematical form, this relationship is expressed as:

$$W=F_{\parallel}\, d$$

where $F_{\parallel}$ is the component of the constant force F that lies parallel to the displacement d.

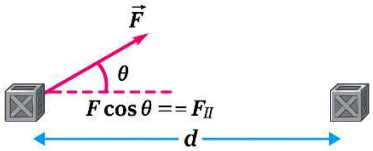
Alternatively, it may also be written as:

$$W = f\ d\cos\theta \qquad (1)$$

Here, F is the magnitude of the applied force, d is the magnitude of the displacement, and θ is the angle between the directions of the force and the displacement. The cosine factor ensures that only the portion of the force acting in the direction of motion contributes to the work done.

Work is a scalar quantity it possesses magnitude but no direction. It can, however, be positive or negative, depending on whether the force component acts in the same direction as the displacement or in the opposite direction.

When dealing with work and forces, it is crucial to specify which force is performing the work and on which object. In systems where multiple forces act, one must distinguish between the work done by each individual force and the net work performed by the total (resultant) force on the object



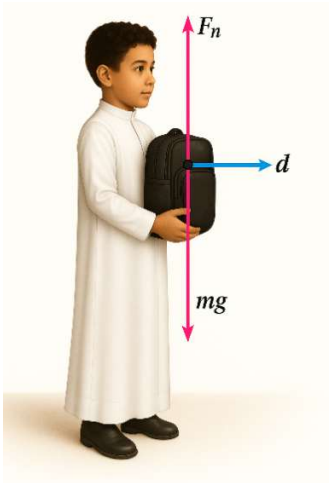
Concept Check

A student lifts a box of mass m vertically h with constant velocity and then walks horizontally $\vec{d}$.

What is:

-The total work done by the student,

- the work done by force$\vec{F}_P$?



Important Notes

-Work is a scalar quantity, it has no direction, but only magnitude, which can be positive or negative.

-Work is a means of transferring energy to and from a particle.

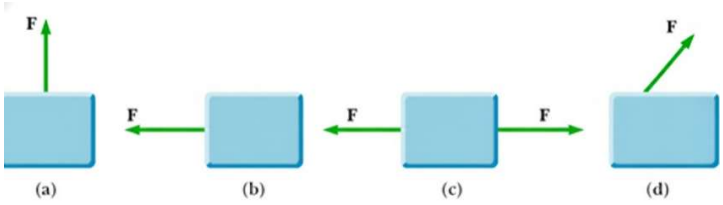
Work is positive: if the force has a component in the direction of motion, and it increases particle's velocity (its kinetic energy), and an Energy is transmitted to the particle.

Work is negative: if the force has a component in opposite direction of motion, and it decrease particle's velocity (its kinetic energy), and an Energy is transmitted from the particle

Think:

Figure shows four situations in which a force is applied to an object. In all four cases, the force has the same magnitude, and the displacement of the object is to the right and of the same magnitude. Rank the situations in order of the work done by the force on the object, from most positive to most negative.

Note that positive work means energy is transferred to the object and vice versa

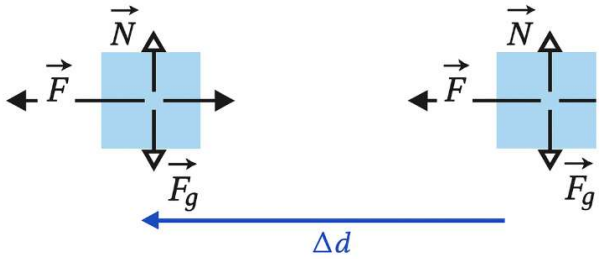


1.1.2 Work Done by the Kinetic Friction Force

The work done by the kinetic friction force is negative always, because its direction is opposite to the direction of displacement. We calculate it by the equation

$$W_k = -f_k d \qquad (2)$$

Where d is the length of the friction path, regardless of its shape (straight or otherwise)



.

Problem – Solving Hints

1. Draw a free-body diagram showing all the forces acting on the object you choose to study.
2. Choose an xy coordinate system. If the object is in motion, it may be convenient to choose one of the coordinate directions as the direction of one of the forces, or as the direction of motion. [Thus, for an object on an incline, you might choose one coordinate axis to be parallel to the incline.]

3. Apply Newton's laws to determine unknown forces.

4. Find the work done by a specific force on the object by using $W = Fd\cos\ \theta$ for a constant force. The work done is negative when a force opposes the displacement.

5. To find the net work done on the object, either:

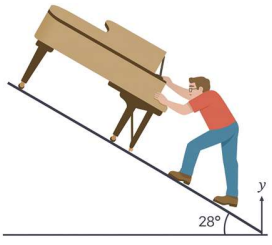
(a) find the work done by each force and add the results algebraically; or

(b) find the net force on the object F_{net}, and then use it to find the net work done, which for constant net force is: $W = Fd\cos\ \theta$

Example 1.1

A piano with a mass of 330 kg slides 3.6 m *down* a frictional incline at an angle of 28°, moving without acceleration, as a parallel force pushes it along the incline, as shown in the figure. If the coefficient of kinetic friction is 0.40, calculate each of the following:

a. The force exerted on the piano.
b. The work done on the piano.
c. The work done by the friction force.
d. The work done by the gravitational force.
e. The net work done on the piano.



Solution:

The piano moves at a constant speed down the inclined plane. The force F_p represents the force exerted by the man on the piano.

a. Newton's second law for each direction of the piano, with acceleration equal to zero.

In the direction parallel to the incline, the sum of the forces is:

The component of the weight parallel to the incline is

$$F_{g\parallel} = mg\sin\,\theta$$

The friction force opposes the motion and is given by

$$F_f = \mu_k\, mg\cos\,\theta$$

Since the object is not accelerating, the man's force balances the difference between these two forces: therefore,

$$F_p = mg(\sin\,\theta - \mu_k\cos\,\theta)$$

Using the numerical values:

$$F_p = (330\,\text{kg})(9.80\,\text{m/s}^2)(\sin\,28° - 0.40\cos\,28°) \approx 3.8\times10^2\,\text{N}$$

b. The work done by the man is the work associated with the force F_p, and the angle between this force and the direction of motion is $180°$:

$$W_p = F_p d\cos\,180° = -(380\,\text{N})(3.6\,\text{m}) \approx -1.4\times10^3\,\text{J}$$

c. The angle between the friction force and the direction of motion is $180°$, so:

$$W_f = F_f d\cos\,180° = -\mu_k mgd\cos\,\theta$$
$$W_f = -(0.40)(330\,\text{kg})(9.8\,\text{m/s}^2)(3.6\,\text{m})\cos\,28° \approx -4.1\times10^3\,\text{J}$$

d. The angle between the gravitational force and the direction of motion is $62°$. Therefore, the work done by gravity is:

$$W_g = mgd\cos\,62°$$
$$W_g = (330\,\text{kg})(9.8\,\text{m/s}^2)(3.6\,\text{m})\cos\,62° \approx 5.5\times10^3\,\text{J}$$

Exercise1.1

A body of mass $m = 20.0\,\text{kg}$ moves on a rough horizontal surface with a constant velocity under the action of a constant force $\vec{F}$that makes an angle of $\theta = 37.0°$above the horizontal.

If the coefficient of kinetic friction between the body and the surface is $\mu_k = 0.40$,

calculate the work done by the force when the body undergoes a displacement of $d = 8.50\,\text{m}$

Exercise1.2

During a windstorm, a smooth box slides over an oily patch such that its displacement is given by:

$$\vec{d} = (-3.0\,\text{m})\,\hat{\imath}$$

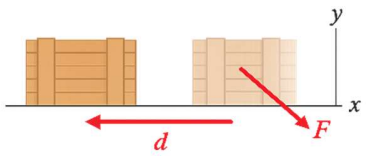
A constant wind force acts on it, given by:

$$\vec{F} = (2.0\,\text{N})\,\hat{\imath} + (-6.0\,\text{N})\,\hat{\jmath}$$

Calculate the following:

The magnitude of the force, The magnitude of the displacement, The angle between the force and displacement vectors.

The work done by the force on the box during the displacement.



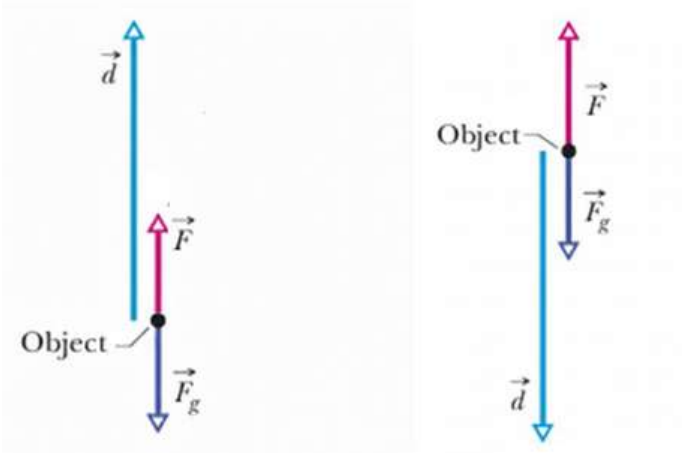
1.1.3 Work Done by The Gravitational Force

The figure shows two cases of particle motion:

a) An applied force lifts the object. The object's displacement makes an angle of $180°$ with the gravitational force.

b) An applied force acts on the object; The displacement of the object makes an angle $0°$ with the gravitational force.

Explain the positive and negative signs of work done by the applied force $\vec{F}$ and the gravitational force $\vec{F}_g$.



An object of mass m $m$oves perpendicular to the earth's surface

If the object is rising: the work done by the gravitational force:

$$W_g = -mgd \qquad (3)$$

If the object falling down: the work done by the gravitational force:

$$W_g = mgd \qquad (4)$$

Example1.2

Find the magnitude of the force required to lift a helicopter of mass M with an upward acceleration of 0.10g, then calculate the work done by this force when the helicopter rises a vertical distance h upward.

Solution:

Newton's second law in the vertical direction, taking upward as positive:

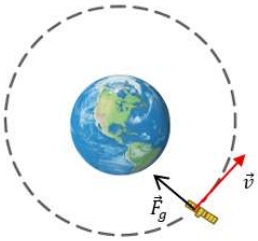
$$\sum F_y = F_L - Mg = Ma = M(0.10g) \Rightarrow F_L = 1.10\,Mg$$

The lift force and the displacement are in the same direction; therefore, the work done by the lift force when the helicopter rises a vertical distance h is:

$$W_L = F_L\, h\cos\, 0° = 1.10\,Mgh$$

Concept Check

What is the work done by the gravitational force that the Earth exerts on the satellite, keeping the satellite in its circular path?



Note:

This is why the Moon, as well as artificial satellites, can stay in orbit without expenditure of fuel: no work needs to be done against the force of gravity

1.1.4 Work Done by A Varying Force

The work done on an object can be calculated using the force-dependent formula: $W = F\ d\ cos\theta$. However, the basic idea of work remains valid even when the force is changing in quantity or direction.

However, in many cases, it does not remain for long, but rather degrades as the object moves, either in its consumption or in its direction. For example:

• The gravitational force acting on a rocket decreases the further it moves away from Earth, because it is inversely proportional to the square of the distance from the center of the Earth.

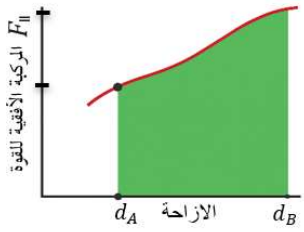
• The force of spring increases the more elongated it is.

• The force also changes when a cart or box is pushed down a slope.

All of these cases are called variable forces, meaning the force changes with displacement. Therefore, we cannot directly use the work equation for constant force.

Graphing for Calculating Variable Work

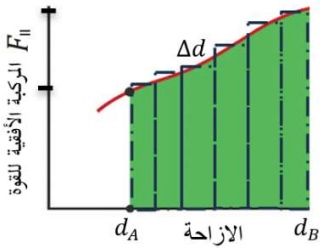
We assume that the force acting on an object is not constant, but rather varies with the displacement d. The component of the force parallel to the displacement can be represented by a graph showing the relationship between $Fcos\theta$ and d, as shown in the figure.



To approximate the work calculation, we divide the total distance into very small segments, each with a magnitude of Δd. We assume that the magnitude of the force in each segment is equal to an average value F_i and the approximate work for that segment is $\Delta w = F_i \, \Delta d$

This is represented geometrically by the area of a small rectangle with a base of Δd and a height of F_i. By adding the partial works for all the sections, we get the total work, that is:

$$W = \sum F_i \, \Delta d \qquad (5)$$



Result

The work calculation graphically equals the area enclosed between the curve (the force component in the direction of motion - position) and the position axis.

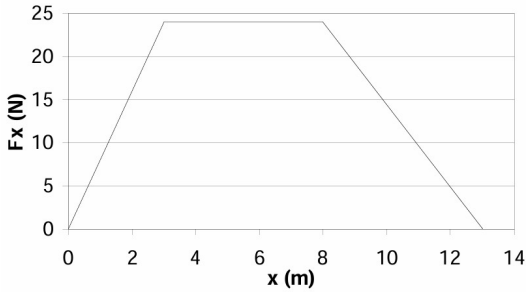
Example 1.3

The net force acting on an object is directed along the positive x-axis. Its magnitude increases linearly from zero at $x = 0$ to 24.0 N at $x = 3.0$ m, then remains constant at 24.0 N from $x = 3.0$ m to $x = 8.0$ m.

After that, it begins to decrease linearly until it reaches zero at $x = 13.0$ m.

Calculate the work required to move the object from $x = 0$ mto $x = 13.0$ musing the graph and by computing the area under the curve of the force $F_x$versus the x-axis.

Solution:

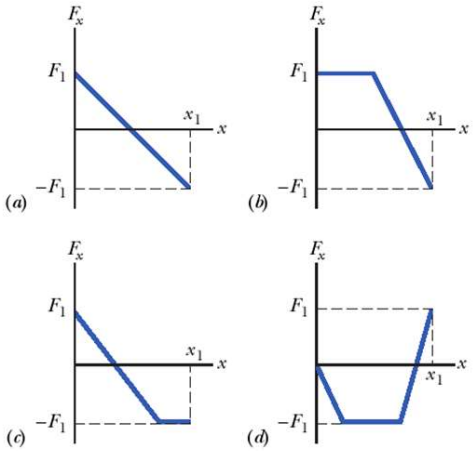


The work done represents the area under the curve. It can be found using the formula for the area of a trapezoid:

$$W = \frac{1}{2}(13.0\,\text{m} + 5.0\,\text{m})(24.0\,\text{N}) = 216\,\text{J}$$

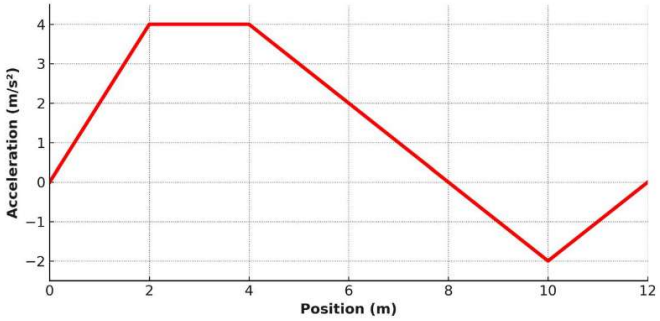
Concept Check

Four graphs (drawn to the same scale) of the x component Fx of a variable force (directed along an x axis) versus the position x of a particle on which the force acts. Rank the graphs according to the work done by the force on the particle from $x = 0$ to $x = x1$, from most positive work first to most negative work last



Exercise 1.3

A mass $2.25kg$ move with the acceleration shown by the graph. find the work done on this mass by the net force?

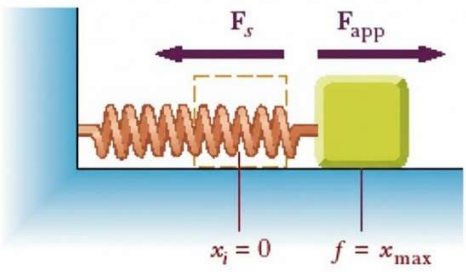


1.1.5 Work Done by a Spring:

Block-Spring System is a common physical system for which the force varies with position is shown in Figure block on a horizontal, frictionless surface is connected to a spring. If the spring is either stretched or compressed a small distance from it unstretched (equilibrium) configuration by applied force F_{app}, the spring exerts on the block a force that can be expressed as:

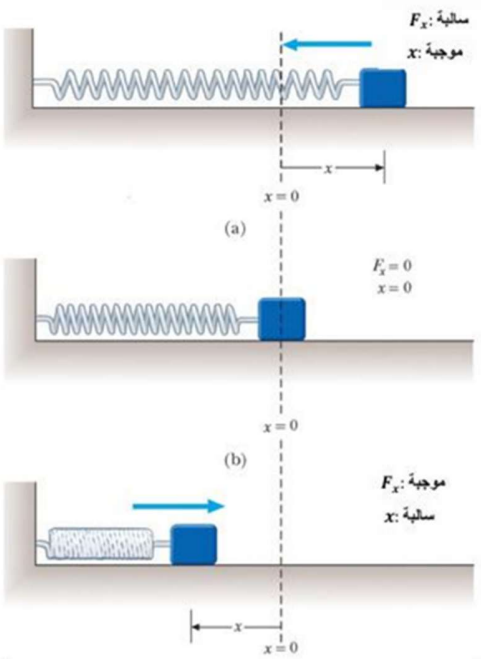
$$F_S = -kx \qquad (6)$$

where x is the position of the block relative to its equilibrium ($x = 0$) position and k is a positive constant called the force constant or the spring constant of the spring, notice that the applied force F_{app} is equal in magnitude and opposite in direction to the spring force F_S at all times.

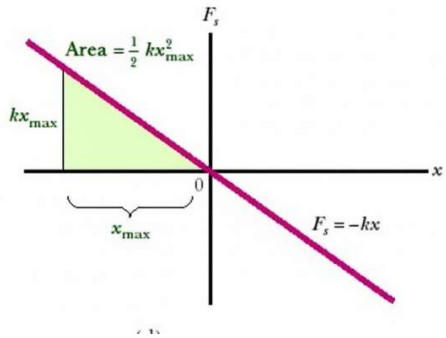


In other words, the force required to stretch or compress a spring is proportional to the amount of stretch or compression X. This force law for springs is known as Hooke's law. The value of k is a measure of the stiffness of the spring. Stiff springs have large k values, and soft springs have small k values. As can be seen from Equation, the units of k are N/m.

The negative sign in Equation signifies that the force exerted by the spring $F_S$is always directed opposite to the displacement from equilibrium$x$.



$$W_{0\to x} = \frac{kx^2}{2}$$



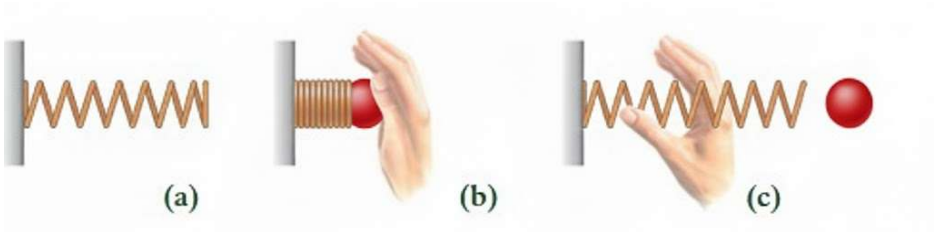
Work is equal to the shaded area between the curve and the x-axis

1.2 ENERGY

The concept of energy is one of the most important topics in science and engineering. In everyday life, we think of energy in terms of fuel for transportation and heating, electricity for lights and appliances, and foods for consumption. However, these ideas do not really define energy. They merely tell us that fuel is needed to do a job and that those fuels provide us with something we call energy.

Energy: One of the Ingredients of the natural world, it takes many forms and can be transformed from one form to another. It can be defined (it is valid for mechanical energy) as the ability to do work, or it is something that causes a change in its surroundings, and it is measured in joules

For example: A spring (a) can store energy (elastic PE) when compressed as in (b) and can-do work when released (c).

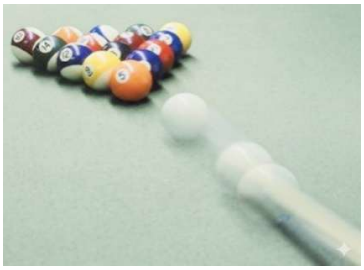


1.2.1 Kinetic Energy

Energy acquired by an object due to its motion

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \qquad 7$$

v $(\frac{m}{s})$:velocity



Concept Check

Rank the following velocities according to the kinetic energy a particle will have with each velocity, greatest first:

(a) $\vec{v} = -4\hat{\imath} + 4\hat{\jmath}$

(b) $\vec{v} = -3\hat{\imath} + 4\hat{\jmath}$

(c) $\vec{v} = \frac{5m}{s}.\ \theta = 30°$

Example1.4

The relationship between speed and kinetic energy is one of the most important relationships in physics, as the kinetic energy of an object is related to its speed in a non-linear way. When one of the two quantities (speed or kinetic energy) changes, the other does not change by the same factor, which requires a precise understanding of this relationship.

What is the factor by which the speed of an arrow increases when its kinetic energy is doubled, and by what factor does its kinetic energy increase when its speed is doubled?

Solution:

$$\text{Since} \quad KE = \frac{1}{2}mv^2,$$

$$\text{Then } v = \sqrt{\frac{2(KE)}{m}}.$$

$$\text{Therefore,} \quad v \propto \sqrt{KE},$$

and thus, if the kinetic energy is doubled, the speed increases by a factor of $\sqrt{2}$. and since

$$KE = \frac{1}{2}mv^2, \quad \text{we have} \quad KE \propto v^2.$$

Therefore, if the speed is doubled, the kinetic energy increases by a factor of 4.

1.2.2 Work- Kinetic Energy Theorem:

The laws of conservation of energy and linear momentum have attained broad significance due to the simplicity of their application when analyzing multi-body systems—particularly in situations where determining the force responsible for the motion is difficult or even impossible. It is also noteworthy that these two laws are applicable across various other branches of physics, including atomic physics in its different subfields, especially in cases where Newton's laws of motion lose their validity under such conditions.

According to Newton's second law, when a net force F_{net} (where $F_{net}\ constant\ force$)acts on a body of mass m, it produces an acceleration

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d} \tag{8}$$

By substitution, the work done on the body can be determined as follows:

$$W_{net} = F_{net}d = m(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2d}) \times d$$

$$W_{net} = F_{net}d = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) \tag{9}$$

$$W_{net} = KE_f - KE_i \tag{10}$$

The work–energy theorem states that:

The total work done by the net force acting on a particle is equal to the change in the particle's kinetic energy:

$$\sum \boldsymbol{W = KE_f - KE_i = \frac{1}{2}\, m(v_f^2 - v_i^2)} \tag{11}$$

Important Notes

-The Work- Kinetic Energy theory can be applied to both constant and variable forces.

-When we use the work-energy theory we must consider all forces that do work on a particle when calculating the total work done.

-The work– kinetic energy theorem indicates that the speed of a particle will increase if the net work done on it is positive, because the final kinetic energy will be greater than the initial kinetic energy.

-The speed will decrease if the net Work is negative, because the final kinetic energy will be less than the initial kinetic energy

Example1.5

A car of mass $m = 1.0 \times 10^3$ kg accelerates uniformly from an initial speed of $v_i = 15.0$ m/sto a final speed of $v_f = 25.0$ m/s. Determine the net work W_{net}required to cause this change in motion.

Solution:

The net work done on an object equals the change in its kinetic energy:

$$W_{net} = \Delta K = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

Substitution:

$$W_{net} = \frac{1}{2}(1.0 \times 10^3)[(25.0)^2 - (15.0)^2]$$
$$W_{net} = 2.0 \times 10^5\ J$$

Exercise1.3

A body is released from rest and falls freely through a vertical distance $d$under the action of gravity alone. Show, using appropriate equations, that the total work done on the body by the gravitational force is equal to the kinetic energy gained by the body during its fall.

Concept Check

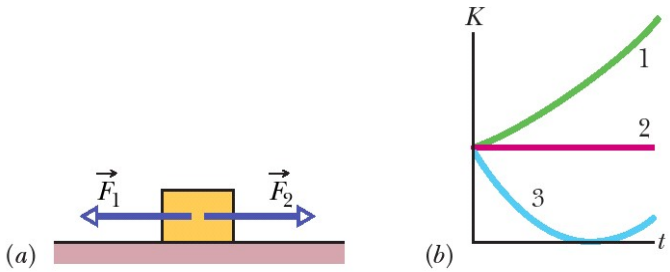
A block slides to the right on a smooth, frictionless horizontal surface while being acted upon by two horizontal forces, $F_1$and F_2.The figure displays three plots of the block's kinetic energy Kas a function of time t.

Based on the figure, determine which plot corresponds to each of the following cases:

(a) When the two forces are equal in magnitude $F_1 = F_2$.

(b) When the first force is greater than the second $F_1 > F_2$.

(c) When the first force is less than the second $F_1 < F_2$.



1.2.3 Potential Energy

Its energy is associated with the configuration of a system of objects that exert forces on each other, and associated with conservative forces, such as:

Gravitational Potential Energy: It accompanies a system consisting of the Earth and an object and is related to the force of Earth's gravity (a conservative force).

Elastic potential energy: It accompanies a system consisting of a spring and a block attached to it and is related to the spring force (conservative force).

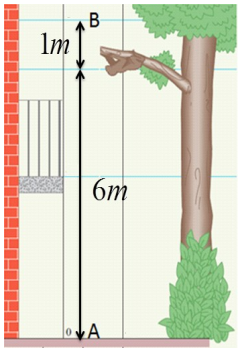
Potential energy can be considered as stored energy that can do work or be converted into kinetic energy.

1.2.4 Gravitational Potential Energy

Energy acquired by an object if it is higher or lower than a reference frame with a vertical displacement h

$$PE_g = \mp mgy \qquad 12$$

that Equation is valid only for objects near the surface of the Earth, where g is approximately constant.

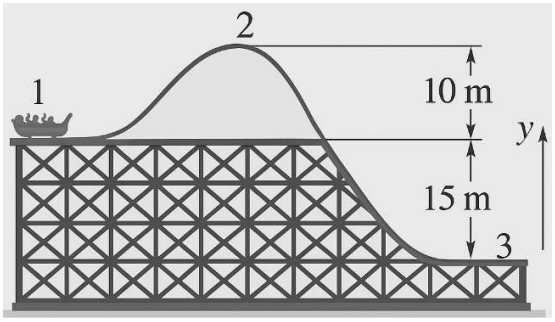


Example 1.6

A roller-coaster car of mass $m = 1.00 \times 10^3$ kg moves successively from point (1) to point (2) and then to point (3).

(a) Determine the gravitational potential energy of the car at points (2) and (3), taking the reference level $y = 0$at point (1).

(b) Find the change in potential energy as the car moves from point (2) to point (3).



(a) Calculating the Gravitational Potential Energy at Points (2) and (3):

The mass of the roller-coaster car is $m = 1.00 \times 10^3$ kg, and the acceleration due to gravity Is $g = 9.8m/s^2$.The reference level is taken at point (1), where $y_1 = 0$.

From the figure, the height of point (2) is $y_2 = 10.0$ m, while point (3) is below the reference level at $y_3 = -15.0$ m.

Thus:

$$PE_2 = mgy_2 = (1.00 \times 10^3)(9.80)(10.0) = 9.80 \times 10^4 \text{ J}$$
$$PE_3 = mgy_3 = (1.00 \times 10^3)(9.80)(-15.0) = -1.47 \times 10^5 \text{ J}$$

(b) Calculating the Change in Potential Energy:

$$\Delta PE = PE_3 - PE_2 = (-1.47 \times 10^5) - (9.80 \times 10^4) = -2.45 \times 10^5 \text{ J}$$

The negative sign indicates that the potential energy decreased by 2.45×10^5 J.

This means the car lost gravitational potential energy, which was converted into kinetic energy as it moved downward from point (2) to point (3).

Exercise 1.4

An athlete with a mass of **55 kg** begins climbing from an elevation of

1.6×10^3 mand reaches a summit that is

3.3×10^3 mhigh.

a. What is the change in his gravitational potential energy?

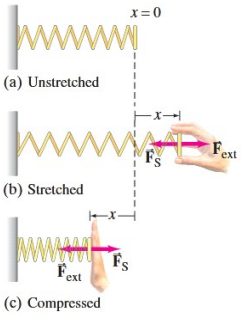
b. What is the minimum amount of work the athlete must do?

c. Can the actual work done be greater than this value? Explain why.

1.2.5 Elastic Potential Energy

Energy stored in a spring due to its compression or expansion from its equilibrium position with value x

$$PE_s = \frac{1}{2} kx^2 \qquad 13$$



Example 1.7

A spring with a force constant kis stretched by a force F, causing an extension x. Then, a new force 2Fis applied.

What is the ratio of the new elastic potential energy to the previous one? Explain the result you obtain.

Solution:

From the force relation:

When a force F is applied, the spring extends by x:

$$F_1 = kx$$

When a force 2F is applied, the extension becomes 2x:

$$F_2 = k(2x)$$

From the energy relation:

$$PE_1 = \frac{1}{2}kx^2, PE_2 = \frac{1}{2}k(2x)^2$$

Energy ratio:

$$\frac{PE_2}{PE_1} = 4$$

The force is directly proportional to the extension ($F \propto x$),

but the elastic potential energy is proportional to the square of the extension ($PE \propto x^2$).

Therefore, when the force doubles, the extension doubles, and the potential energy increases fourfold.

Conservative And not Conservative Forces:

Properties of Conservative Forces: Conservative forces have two important properties:

(a) The work done by a conservative force on an object moving between any two points does not depend on the motion's path.

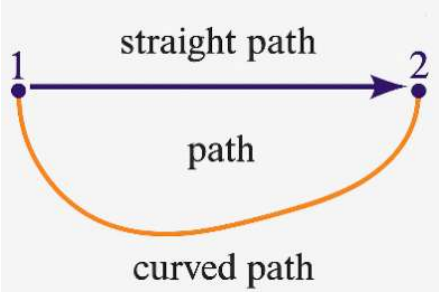
(b) The work done by a conservative force on an object in a closed path of motion is equal to zero

(a closed path is the path where the initial position applies to the final position).

For example: the gravitational force and the spring force are conservative forces. This is clear from the equations for calculating the work of the gravitational force and the force of the spring,

crate is pushed slowly at constant speed across a rough floor from position 1 to position 2 via two paths, one straight and one curved. traveled d is greater (as for the curved path), then work done by friction force is greater. The work done does not depend only on points 1 and 2; it also depends on the path taken.

Therefore: the frictional force is nonconservative force



1.2.6 Conservation Of Mechanical Energy

It can be easier to apply the Work- Kinetic Energy Theory by classifying the mechanical system into conservative or non-conservative.

NON-CONSERVATIVE SYSTEM	CONSERVATIVE SYSTEM
It is affected by non-conservative forces. Note: Forces (friction-external pull and push forces- air resistance) are examples of non-conservative forces. $\sum W_{app} - f_k d = E_f - E_i$ 16 The sum of the external work $\sum W_{app}$ (except the work of conservative forces such as weight and spring force). The work of the kinetic friction force $-f_k d$	It is not affected by non-conservative forces. Note: The (weight-spring) forces are conservative forces. $E_f = E_i$ 14 E_f The sum of the initial and final mechanical energies Mechanical energies mean: Kinetic, Gravitational Potential, Elastic Potential $\frac{1}{2} mv_f^2 + \frac{1}{2} kx_f^2 + mgy_f = \frac{1}{2} mv_i^2 + \frac{1}{2} kx_i^2 + mgy_i$ 15

the principle of conservation of mechanical energy:

If only conservative forces do work, the total mechanical energy of a system neither increases nor decreases in any process. It stays constant—it is conserved.

Problem – Solving Hints:

Conservation of Mechanical Energy

1. Draw a picture of the physical situation.

2. Determine the system for which you will apply energy conservation: the object or objects and the forces acting.

3. Ask yourself what quantity you are looking for and choose initial (point 1) and final (point 2) positions.

4. If the object under investigation changes its height during the problem, then choose a reference frame with a convenient Y=0 level for gravitational potential energy; the lowest point in the situation is often a good choice. If springs are involved, choose the unstretched spring position to be x = 0.

5.Apply conservation of energy. For other nonconservative forces use your intuition for the sign of its work is the total mechanical energy increased or decreased in the process.

6. Use the equation(s) you develop to solve for the unknown quantity

Example 1.8

If a rock is released from an initial height of $h = 3.0$ m, determine its speed when it has fallen to a height of 1.0 mabove the ground, applying the principle of conservation of mechanical energy

Solution:

We apply the principle of conservation of mechanical energy, where the sum of potential and kinetic energies remains constant (neglecting air resistance):

$$PE_1 + KE_1 = PE_2 + KE_2$$

At the moment of release from rest, the initial velocity is $v_1 = 0$, therefore:

$$mgh_1 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

By cancelling the mass from both sides:

$$gh_1 = gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2$$
$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

Substituting the values:

$$v_2 = \sqrt{2(9.8)(2.0)} = \sqrt{39.2} = 6.26 \text{ m/s}$$

Considering significant figures:

$$v_2 = 6.3 \text{ m/s}$$

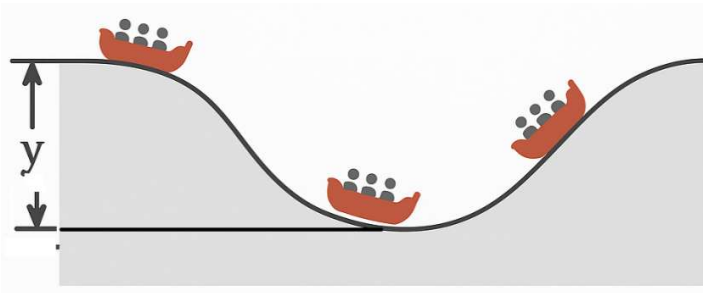
Exercise 1.4

If the height of the hill in the figure is $y = 40$ mand the roller-coaster car starts from rest at the top, determine:

(a) the car's speed at the bottom of the hill, and

(b) the height at which the car's speed is half of that value.

Assume $y = 0$at the bottom of the hill and neglect friction.



1.3 POWER

Power is defined as the rate at which work is done. The average power equals the work done divided by the time required to do it .Power can also be defined as the rate of energy transfer. It is a scalar quantity measured in watts (joules per second) in the International System of Units (SI). In practical applications, mechanical horsepower is sometimes used to measure the power of engines and machines, where one horsepower is approximately equal to 746 watts.

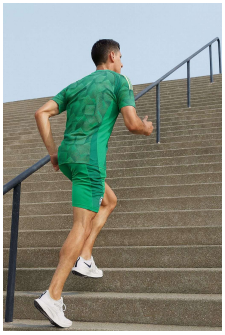
$1 \text{ hp} = 746 \text{ J/s}$

INSTANTANEOUS POWER	AVERAGE POWER
Rate of work done (or output) on an object or a machine per time unit If the force is constant in magnitude and direction, its instantaneous power can be calculated by the law:	Average work done (or output) on an object or a machine per time unit: $\bar{P} = \frac{W}{\Delta t}$ 17

$P = Fv$ If the velocity is constant, then: instantaneous power = average power.	18	

Example 1.9

A runner of mass 60 kgtakes 4.0 s to climb a long staircase whose vertical height is 4.5 m



The power is given by

$$P = \frac{mgh}{t}$$

Substitute the values

$$P = \frac{(60)(9.8)(4.5)}{4.0} = 661.5 \text{ W}$$
$$P = 6.6 \times 10^2 \text{ W} = 660 \text{ W}$$

Convert to horsepower

$$P = \frac{660}{746} = 0.88 \text{ hp}$$
$$P = 6.6 \times 10^2 \text{ W} = 0.88 \text{ hp}$$

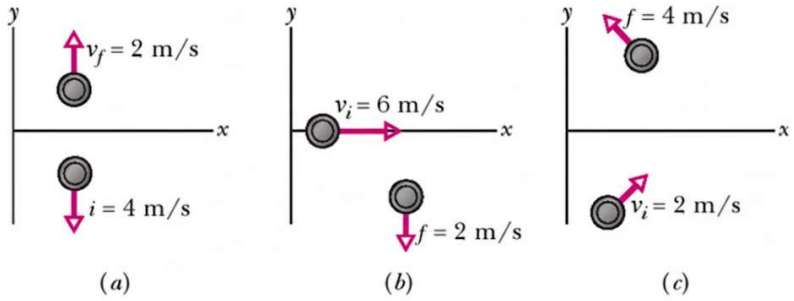
Exercise 1.5

A body of mass 10 kgstarts from rest and moves up a smooth inclined plane (friction neglected) under the action of a force of 96 Nparallel to the incline and directed upward. If the length of the incline is 25 mand its angle of inclination is $37°$, calculate the instantaneous power of the force Fat the end of the incline in watts (W).

Chapter (1) Questions: Work and Energy

Concept Check:

(1) In three situations, a briefly applied horizontal force changes the velocity of a hockey puck that slides over frictionless ice. The overhead views of Fig. ind0icate, for each situation, the puck's initial speed v_i, its final speed v_F, and the directions of the corresponding velocity vectors. Rank the situations according to the work done on the puck by the applied force, most positive first and most negative last



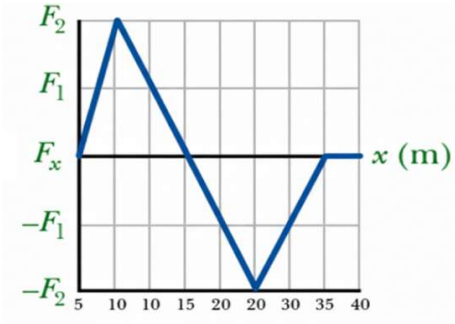
(2) The figure shows the horizontal component F_x of a force acting on a particle. If the particle starts from rest at $x = 0$:

(a) At what position does the particle have its greatest kinetic energy?

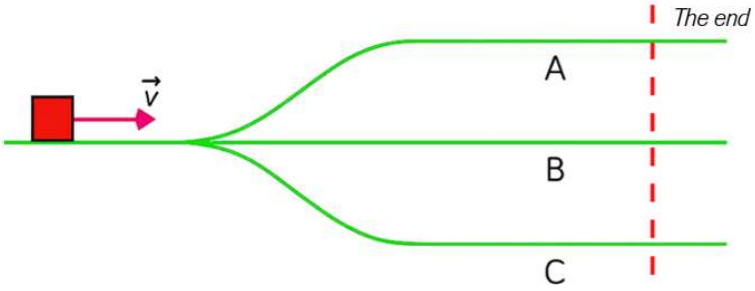
(b) At what position does it have its greatest speed?

(c) At what position is its speed equal to zero?

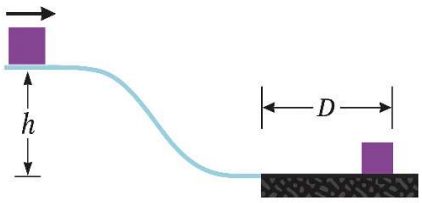
(d) What is the direction of the particle's motion after it reaches the position $x = 60$ m?



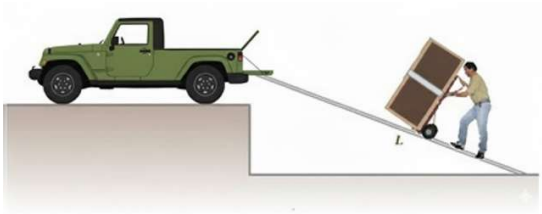
(3) In Figure, a horizontally moving block can take three frictionless routes, differing only in elevation, to reach the dashed finish line. Rank the routes according to (a) the speed of the block at the finish line and (b) the travel time of the block to the finish line, greatest first



(4) In Fig. a block slides along a track that descends through distance h. The track is frictionless except for the lower section. There the block slides to a stop in a certain distance D because of friction. (a) If we decrease h, will the block now slide to a stop in a distance that is greater than, less than, or equal to D? (b) If, instead, we increase the mass of the block, will the stopping distance now be greater than, less than, or equal to D?



(5) A man wishes to load a refrigerator onto a truck using a ramp, as shown in Figure. He claims that less work would be required to load the truck if the length L of the ramp were increased. Is his statement valid?



Problems and applications:

(1) A vehicle traveling at 60 km/h requires 20 m to come to a complete stop. What distance will the vehicle need to stop if it is moving at twice its initial speed, that is, at 120 km/h? Assume that the maximum braking force does not depend on the magnitude of the speed.

(2) A 6.0-kg block initially at rest is pulled to the right along a horizontal surface by a constant horizontal force of 12N. Find the speed of the block after it has moved 3.0 m if the surfaces in contact have a coefficient of kinetic friction of 0.15

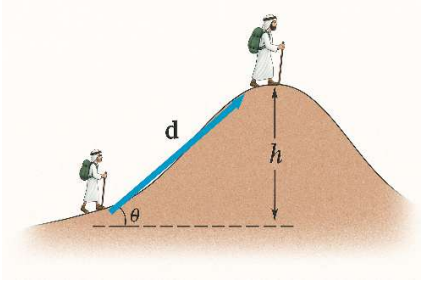
(3) Work on a Backpack Aman carries a backpack of mass $m = 15.0\,\text{kg}$ up a hill to a vertical height of $h = 10.0\,\text{m}$, as shown in the figure. Assume the motion is smooth and occurs at a constant velocity ($a = 0$). Calculate:

(a) the work done by the man on the backpack W_{man},

(b) the work done by the gravitational force W_g, and

(c) the net work done on the backpack W_{net}.

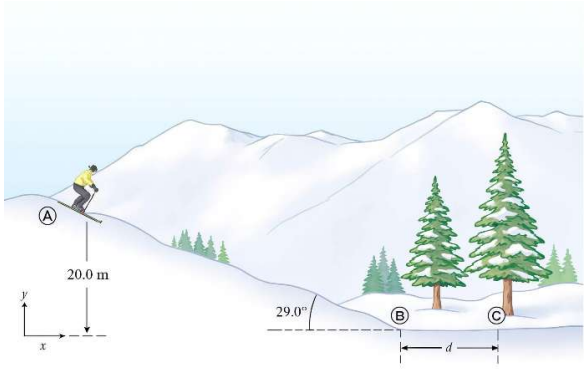
Use $g = 9.80\,\text{m/s}^2$, and express all numerical results with the correct number of significant figures



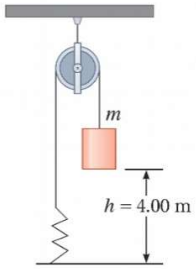
(4) A block of mass $m$is attached to the end of a spring (spring constant k). Write the equation of the total mechanical energy, neglecting friction and the mass

of the spring, in terms of x_0, the position x, and the speed v, when the block begins to oscillate back and forth after being displaced by an initial distance x_0.

(5) A skier starts from rest at the top of a frictionless incline of height 20.0 m, as shown in Figure. At the bottom of the incline, he encounters a horizontal surface where the coefficient of kinetic friction between the skis and the snow is 0.210. How far does he travel on the horizontal surface before coming to rest, if she simply coasts to a stop? Use the principle of energy conservation.

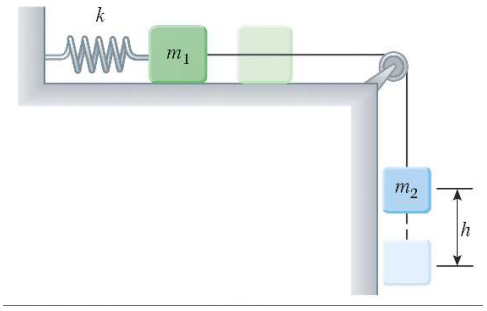


(6) A mass tied with a spring, it's in normal length, the mass falls a distance h before coming to rest, If the spring constant: 400N/m Calculate the value of the mass.

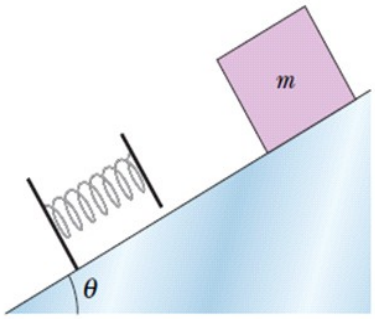


(7) Two blocks are connected by a light string that passes over a frictionless pulley, as shown in Figure. The block of mass m1 lies on a horizontal surface and is connected to a spring of force constant k. The system is released from rest when the spring is unstretched. If the hanging

block of mass m2 falls a distance h before coming to rest, calculate the coefficient of kinetic friction between the block of mass m1 and the surface



(8) a block of mass m=12 kg is released from rest on a frictionless incline of angle 30°. Below the block is a spring that can be compressed 2.0 cm by a force of 270 N. The block momentarily stops when it compresses the spring by 5.5 cm. (a) How far does the block move down the incline from its rest position to this stopping point? (b) What is the speed of the block just as it touches the spring?



(9) A body of mass 10 kg starts from rest and moves up a frictionless inclined plane under the action of a force of 96 N directed parallel to the incline and upward. If the length of the incline is 25 m and its angle of inclination is 37°, calculate the instantaneous power of the force F in watts at the end of the incline.

chaptre 2 EXPERIMENTS

The famous physicist Lord Kelvin has a well-known quote: "I often say that when you measure something and express it in numbers, you know something about it, but when you cannot measure it and express it in numbers, your knowledge of it is limited and unsatisfactory."

Think: Give an example to which Lord Kelvin's quote applies.

2.1 PHYSICS AS AN EXPERIMENTAL SCIENCE

Experimental Physics is the foundation of modern physics. It is the method by which we verify the correctness of theories and discover new phenomena. This is done through building experiments and taking measurements, where measurement is the comparison of an unknown quantity with a standard quantity.

Why do we need experiments?

- **Verifying theories:**

Physical theories explain scientific phenomena and therefore must be tested. For example, Einstein's General Theory of Relativity predicted that light bends under the influence of gravity in 1915, and this was verified in 1919. Note that the time period between theoretical predictions and practical confirmations can reach several years or decades.

- **Discovering new phenomena:**

Many scientific discoveries came from unexpected practical observations, such as the discovery of X-rays by scientist Röntgen in 1895.

- **Developing technologies:**

Experiments lead to the development of new technologies that benefit humanity, such as the LASER which began as a theoretical prediction and then became a fundamental technology in our lives.

Research: Give examples of important experiments throughout the history of physics. What are the physical quantities that were measured in these experiments?

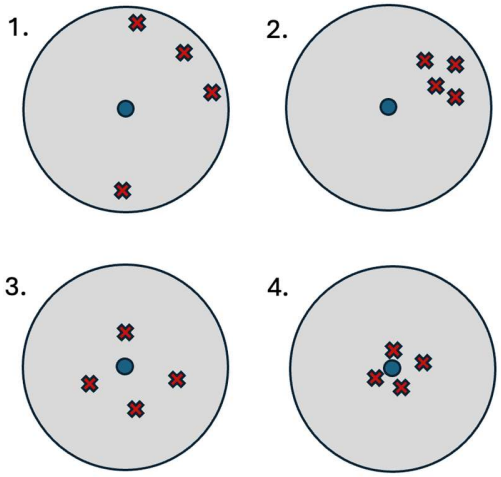
2.2 Precision, Accuracy and Errors in Experiments

There is a difference between two main concepts in experiments:

Precision: Refers to how close repeated measurements are to each other. Precise measurements give closely grouped results, even if they are far from the true or reference value.

Accuracy: Refers to how close a measurement is to the true or accepted value of the measured quantity.

Look at the figure below which illustrates the difference using the image of targeting the center of a circle with arrows. Case 1 is neither accurate nor precise. Case 2 is precise due to close results but not accurate due to distance from the target. Case 3 is somewhat accurate but not precise. Case 4 is both precise and accurate.



Exercise 2.1: Ahmed and Hussam measured the speed of light. Ahmed obtained $(3.001 \pm 0.001) \times 10^8$m/s, and Hussam obtained $(2.999 \pm 0.006) \times 10^8$m/s. Which is more precise and why? Which is more accurate, given that the standard value for the speed of light is 2.99792458×10⁸ m/s?

There are generally two types of errors we face when conducting experiments: **statistical errors** and **systematic errors**. Systematic errors stem from limitations in the precision of measurement instruments in the experiment and other factors that limit the precision and accuracy of measurements. Statistical errors come from variation in measurement results when repeating measurements many times, and can be reduced by taking additional data.

You will not estimate errors in your results at this stage, but you will work on strategies to reduce them, such as repeating measurements to avoid statistical errors and being careful to build and execute experiments properly to avoid systematic errors.

2.3 Data Recording

There are three basic stages for every experiment in the Physics Olympiad. The first is construction, the second is measurement, and the third is analysis.

In the construction stage, you will need to follow certain steps to build your experiment. For example, in electrical circuit experiments, you will need to connect measuring devices and other electrical circuit elements to the rest of the circuit. Sometimes, most steps for building the experiment will be given, but in some experiments, you will need to think about how to build the experiment yourself. In some experiments, it's easy to do this step, but in others, this stage may be the main challenge in the experiment.

In the measurement stage, you will start conducting the experiment, and during this time you will take various measurements that will help you find what is required.

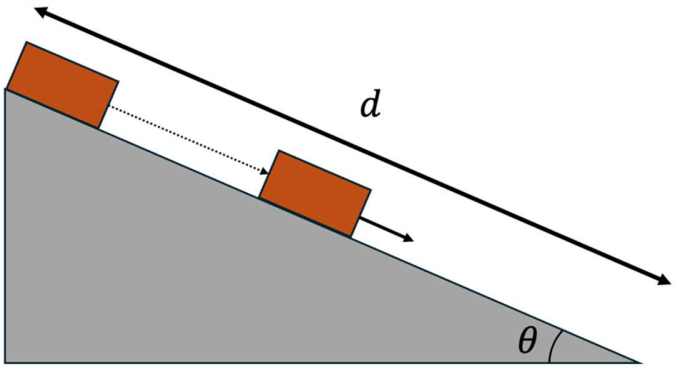
Note:

- You must review the rules of significant figures.
- Remember that the precision of a measuring instrument equals half the value of the smallest graduation on the instrument, so when writing your measurement results, make sure not to use significant figures that exceed the measurement precision of your instruments.

Example 2.1: Reema conducts an experiment sliding a cube on a smooth inclined plane to measure gravitational acceleration. She will use the known result from Newton's laws that acceleration is related to the distance covered d and time duration t as follows:

$$d = \frac{1}{2}at^2$$

In the case of a smooth inclined plane: $a = g\sin\theta$.



Let's assume she measured the angle θ and the length of the slope d. She will need to record these values in a table showing units and measurement precision.

θ [degree]	$d[cm]$	$t_1[s]$	$t_2[s]$	$t_3[s]$	$t_4[s]$	$t_5[s]$
10.	150.0	1.38	1.28	1.33	1.20	1.34

The question now is how do we use this data to obtain gravitational acceleration?

2.4 Data Analysis and Graphs

After you have tabulated your data, you will begin the third stage, which is the data analysis stage. In this stage, you must perform some calculations on the data you have collected. In case of repeated measurements, one of the simplest operations is taking the average.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_N}{N} = \frac{1}{N}\sum_i x_i \qquad (1)$$

Calculating the average helps you reduce the effect of statistical error.

Example 2.2: calculate the average length from the list $\{10,15,18,25\}$ given that they are all measured in cm.

Solution: The formula for the average is given by the sum of the values over their number:

$$\bar{L} = \frac{10 + 15 + 18 + 25}{4}\text{cm} = 17\text{cm}$$

Exercise 2.2: Calculate the average time in Reema's experiment, then calculate the gravitational acceleration based on this result.

Note: You don't always need to repeat measuring all data. For example, you will need to repeat measuring the cube's sliding time several times, but you don't need to repeat measuring the length of the inclined slope or the angle several times.

When conducting an experiment like the cube sliding on an inclined plane experiment, it's useful to repeat the experiment with different distances and angles so we can extract unknowns through graphing. Often you will need to plot your data on a graph to find the value of some unknown. In simple cases, the theoretical prediction for the relation between variable x and variable y is often given by a function like:

$$y = ax^n + b \qquad (2)$$

where n is given and the requirement is to find the two unknowns a and b. The easiest way to do this is to transform the equation into a linear equation by calculating and plotting x^n on the horizontal axis instead of x. For example, if $n = 2$, you will calculate the squares of x values from the data table, then plot them. Then the slope of the straight line will be a, and the y-intercept will be b.

Example 2.3: Sama conducts an experiment sliding a cube on a rough inclined plane to calculate the kinetic friction coefficient μ between the cube and the rough surface. She collected the following data, using an inclination angle $\theta = 30°$. Given that gravitational acceleration at the experiment location equals 9.8 m/s^2. Sama collected data on the cube's sliding time for different distances and put them in the table below.

$d\ [cm]$	$t_1[s]$	$t_2[s]$	$t_3[s]$	$t_4[s]$	$t_5[s]$	$t_{avg}[s]$	$t_{avg}^2[s^2]$
40.	1.09	1.16	1.07	1.13	1.11	1.11	1.24
50.	1.28	1.21	1.24	1.17	1.27	1.23	1.52
60.	1.36	1.34	1.28	1.37	1.42	1.35	1.83
70.	1.56	1.45	1.42	1.61	1.40	1.49	2.22
80.	1.58	1.57	1.62	1.57	1.56	1.58	2.50

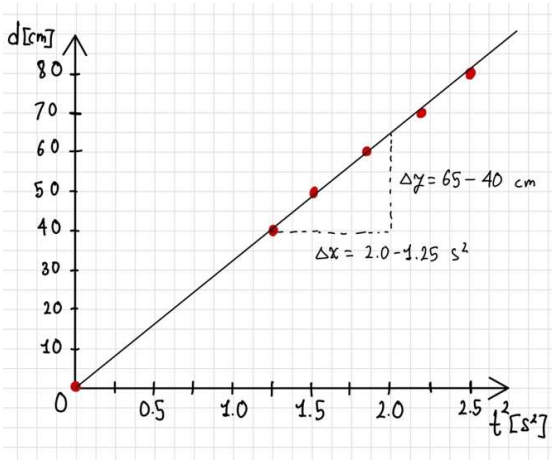
Note:

- Each column in the table starts with the measured or calculated quantity and its unit.
- The last two columns in the table were calculated using a calculator.

Sama will use her knowledge of Newton's laws to deduce that distance is related to time through:

$$d = \frac{1}{2}g(\sin\theta - \mu\cos\theta)t^2$$

So she plotted a graph of t_{avg}^2 versus d:



The slope will be

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.33\ \text{m/s}^2 = \frac{1}{2}g(\sin\theta - \mu\cos\theta)$$

And solving the equation for μ, we find that: $\mu = 0.50$.

Important notes:

- Note that the origin point was used in this analysis because it's obvious that the time duration will be zero when the displacement is zero, but using the origin point is not possible in all experiments and you must determine this.
- There are no points between $t = 0.0$ s and $t = 1.0$ s at the beginning of the graph, and this is appropriate because the precision of time measurement becomes worse when the distance covered is small because it becomes closer to reaction time.

Exercise 2.3 : In one experiment, there was an object moving with constant acceleration a in a straight line starting from rest. Saud conducted this experiment several times to measure the time the object needs to cover different distances. Saud recorded his measurements in the following table:

$d\ [m]$	$t_1[s]$	$t_2[s]$	$t_3[s]$	$t_4[s]$	$t_5[s]$	$t_{avg}[s]$	$t_{avg}^2[s^2]$
1.0	0.88	0.85	0.97	0.89	0.97		
2.0	1.32	1.23	1.24	1.21	1.24		
3.0	1.56	1.51	1.33	1.63	1.47		
4.0	1.80	1.84	1.70	1.84	1.75		
5.0	1.88	2.02	2.06	2.01	2.00		

Complete the table for the given data, then use what you know about motion with constant acceleration to find the value of acceleration a. Find the value of a by drawing an appropriate graph.

Exercise 2.4: Kayan analyzes data collected about a new star around which several planets orbit. The following table shows the semi-major axis of these planets' orbits around the star and the time period of their complete orbit.

$a[10^7\text{km}]$	$T[\text{years}]$
5.2	0.15
17.3	0.91
30.8	2.11
48.1	4.40
61.9	5.80
68.8	7.01
74.5	7.17

Draw an appropriate graph and use this data to calculate the star's mass. You can assume that the star's mass is much larger than the planets' masses.

Note: Notice that in this data, you cannot use the origin point $(a, T) = (0,0)$ in the analysis because it is not a case that can be obtained practically.

Important Notes: we will mention here some general useful tips for Olympiad experiments:

- While conducting experiments, it's important to think with the mindset of an experimental physicist and not a theoretical physicist. Building your experiment and taking data does not require deep and clear theoretical understanding of what happens in the experiment. Therefore, avoid spending much time trying to understand theoretical derivations of given equations and the like.
- Before building your experiment, read the steps and match the experiment tools. You will lose a lot of time if you make an error in building your experiment.
- Don't forget significant figures.
- Don't forget units in graphs and data tables.
- Always write the quantities you measured or chose in the experiment clearly.
- When taking repeated measurements, build a data table that clearly shows the measured quantities and their units.
- Leave room for data analysis in the tables you create.
- Think about how to reduce errors in your experiment.
- When drawing a graph, make sure your drawing covers more than two-thirds of the graph area.

2.5 Some Simple Experiments

Experiment 1: Free Fall

In this experiment, you will calculate gravitational acceleration through free fall. You will drop small balls from different heights and calculate the fall time. This data will help you find the gravitational acceleration on Earth's surface.

Tools:

- Timer
- Length measuring tool
- Two balls with different masses

Calculate the gravitational acceleration for both balls and compare your results.

Experiment 2: Static Friction:

In this experiment, you will calculate the static friction coefficient between a rough surface and an object.

Tools:

- Rough inclined plane with adjustable inclination angle
- Protractor to measure angles
- Small cube or board

By changing the inclination angle, determine the static friction coefficient between the inclined plane and the object you chose.

Experiment 3: Measuring Cube Dimensions:

In this experiment, you will determine the dimensions of an unknown object using vernier calipers.

Tools:

- Small cuboid with unknown dimensions

- Vernier calipers

Learn how to use vernier calipers and record your measurements of the parallelepiped's dimensions.

2.6 SIMULATION TEST

Question 1: Calculating Spring Constant

Tools:

- Spring with unknown constant
- Length measuring tape
- Different known small weights for hanging
- Base for hanging the spring

Hang the spring vertically. Assuming that the spring's restoring force follows Hooke's law:

$$\vec{F}_s = -k\Delta\vec{y}$$

where $\Delta\vec{y}$ is the displacement from the equilibrium point.

Find the spring constant k, given that gravitational acceleration equals approximately 9.8 m/s^2.

Question 2: Simple Pendulum

Tools:

- Simple pendulum
- Measuring tape
- Timer

The oscillation of a simple pendulum has a periodic time T that relates to gravitational acceleration g and rope length L through:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

Calculate the period of the simple pendulum to determine the magnitude of gravitational acceleration.

Hint: To reduce error resulting from starting and stopping the timer, calculate the time for several periods.

Note: The mathematical formula above for the period of a simple pendulum is accurate when the oscillation angle is small.

Solutions:

Exercises:

(1) $W = 5.1 \times 10^2\ \text{J}$

(2) $|\vec{F}| = 6.3\ \text{N}, |\vec{d}| = 3.0\ \text{m}, \theta = 110°, W = -6.0\ \text{J}$

(3) $W_{\text{net}} = m \times A_{\text{total}} = 2.25 \times 16 = 36\ \text{J}$

(4) $W = \frac{1}{2}mv^2$

(5) $\Delta PE = PE'_3 - PE'_2 = 0 - 2.45 \times 10^5 = -2.45 \times 10^5\ \text{J}$

(6) $v = 28m/s \quad , \quad y = 30\ \text{m}$

(7) $P = 1.3 \times 10^3\ \text{W}$

End of chapter:

Concept Check:

(1) $W_c > W_a > W_b$

(2)

(a) its greatest kinetic energy	$at\ X = 10m$
(b) its greatest speed	$at\ X = 30m$
(c) zero speed	$at\ X = 60m$
the particle's direction $x = 60\ m$	$+x$

(3) (a) Order of final speeds: $v_C > v_B > v_A$

(b) Order of arrival (who reaches first): $C \rightarrow B \rightarrow A$

(4) (a) Decreasing the height h The car will stop before point D.

(b) Increasing the mass the car will stop at the same point D.

(5) It does not depend on the length of the route.

Problems and applications:

(1) 80 m

(2) 1.8 m/s

(3) (a) $W_{\text{man}} = 1.47 \times 10^3$ J

(b) $W_g = -1.47 \times 10^3$ J

(c) $W_{\text{net}} = (1.47 \times 10^3) + (-1.47 \times 10^3) = 0$

(4) $E_{\text{total}} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kx_0^2.$

(5) $d = 95.2$ m

(6) $k = 1.58 \times 10^3$ N/m

(7) $\mu_k = \frac{m_2 g - \frac{1}{2}kh}{m_1 g}$

(8) $h = 0.46$ m , $v = 3.0$ m/s

(9) $P = 1.3 \times 10^3$ W

Final answers to the fourth stage

Solutions to the first chapter exercises

Exercise 1.1: $F_{ES} \approx 3.53 \times 10^{22}$N, $F_{ME} \approx 2.00 \times 10^{20} N$, $F_{ME} \ll F_{ES}$

Exercise 1.2: $M_M \approx 7.4 \times 10^{22}$kg

Exercise 1.3: final answer is given

Exercise 1.4: $a = r$,$b = r$, $c = 0$. The foci merge at the center of the circle.

Exercise 1.5: $\Delta A/\Delta t = \sqrt{GMR}/2$

Exercise 1.6: $T^2 = 4\pi^2 r^3/GM$

Exercise 1.7: $E = -GMm/2r$

Exercise 1.8: final answer is given

Solutions to the first chapter additional questions

Question 1.1: $W_{Mars} = 75\ N$

Question 1.2: $h \approx 36000\ km$

Question 1.3: $x = 2d/3$. x is the distance away from $4m$ toward m.

Question 1.4: $d_{max} = 5.3 \times 10^{12}\ m$

Question 1.5: $v = \sqrt{2GM/R_o}$

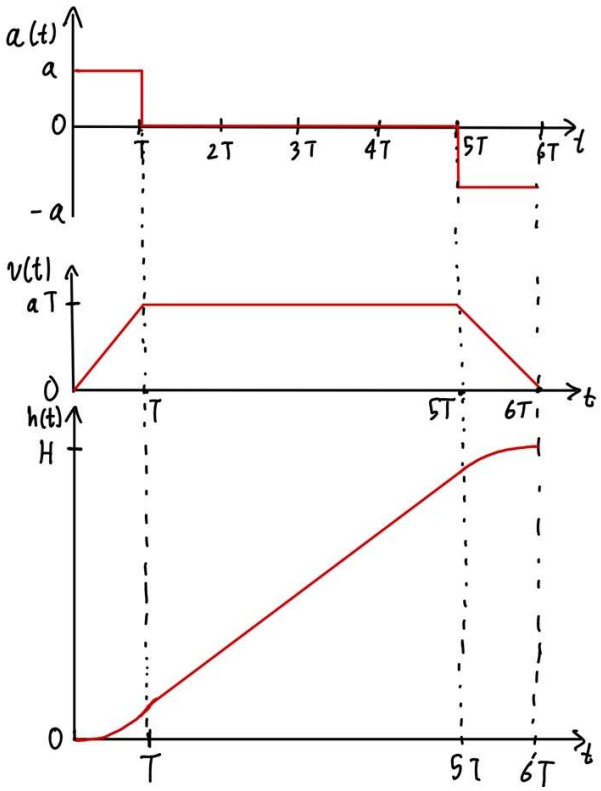
Question 1.6: $K_a/K_E = 10^{-4}, T_a = 2.8$ years

Question 1.7: $x_D = 4d/5, y_D = -3d/5$

Question 1.8: $r_f = 6.8 \times 10^6$m

Solutions to the first chapter simulation test

Question 1: $a = H/5T^2$



Question 2: $T_1 = mg\sin\theta, T_2 = mg\cos\theta$

Question 3: $v_{terminal} = mg/b$

Question 4: $v_o = \sqrt{5gR}$

Question 5: $v_{esc} = \sqrt{2Gm/a}$

Question 6: $V_A = \sqrt{4GM/3d}$

Question 7: $v = 2.0$ km/s ،$T = 96$ mins

Solutions to the second chapter exercises

Exercise 2.1: Ahmad is more precise while Hussam is more accurate

Exercise 2.2: $\bar{t} = 1.31$ s, $g = 10.1$ m/s^2

Exercise 2.3: $a \approx 2.5$ m/s^2

Exercise 2.4: $M \approx 4.0 \times 10^{30}$kg

References

Al-Oufi, T., & Al-Rashidi, T. (2025). *Introductory-level training packages for the Saudi Physics Olympiad Team*. King Abdulaziz and His Companions Foundation for Giftedness and Creativity (Mawhiba).

Giancoli, D. C. (2013). *Physics: Principles with applications* (7th ed.). Pearson Education.

Goldstein, H., Poole, C., & Safko, J. (2002). *Classical mechanics* (3rd ed.). Addison-Wesley.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Irodov, I. E. (1982). *Problems in general physics*. Mir Publishers.

Kleppner, D., & Kolenkow, R. (2014). *An introduction to mechanics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Serway, R. A., & Vuille, C. (2017). *College physics* (10th ed.). Cengage Learning.

نسمو
NSMO

National Science and
Mathematics Olympiad

وزارة التعليم
Ministry of Education

موهبة
Mawhiba