



الجيوفيزياء العامة

General Geophysics



السنة الثانية

قسم الجيولوجيا

منشورات جامعة دمشق

كلية العلوم

الجيوفيزياء العامة

(الجزء النظري)

الدكتور نضال شقير

الدكتور المهندس نديم أحمد

أستاذ مساعد في قسم الجيولوجيا

أستاذ في قسم الجيولوجيا

1438 - 1439 هـ

جامعة دمشق

2016-2017 م



الفهرس

مفردات منهاج مقرر الجيوفيزياء العامة
لطلاب السنة الثانية - فصل ثان - قسم الجيولوجيا
ساعتان نظريتان أسبوعياً

7	• مقدمة عامة:
9	- ماهية الجيوفيزياء العامة، وعلاقتها بالعلوم الأخرى.
13	- مجالات الجيوفيزياء، والفرق بين الجيوفيزياء العامة و الجيوفيزياء التطبيقية.
17	• الفصل الأول: الكون والمجموعة الشمسية.
18	1-1- مقدمة.
18	1-2- المجرات.
36	1-3- النجوم.
50	1-4- الشمس والمجموعة الشمسية.
61	• الفصل الثاني: الحقل الجاذبي الأرضي وشكل الأرض.
62	1-2- مقدمة.
62	2-2- قوانين كيبلر ونيوتن للحركة والجاذبية.
65	2-3- الجاذبية الأرضية.
67	2-4- شكل الأرض.
71	2-5- الجاذبية ومبادئ توازن القشرة الأرضية.
75	2-6- القمر ودوره بالنسبة إلى الأرض.
82	2-7- شروط الحياة على الكرة الأرضية.

89	• الفصل الثالث: الخواص الفيزيائية للأرض وظواهرها.
90	3-1- مقدمة.
92	3-2- حركة الأرض وديمومتها.
93	3-3- الخواص المرنة للصخور (نظرية المرونة).
106	3-4- سيسمولوجية الأرض-الزلازل.
120	3-5- الأحزمة الزلزالية - الخلفية التكتونية.
124	3-6- نظرية انزياح القارات.
138	3-7- حركية الصفائح أو تكتونيك الصفائح.
151	3-8- البركنة.
161	• الفصل الرابع: الحقل المغنطيسي الأرضي.
162	4-1- مقدمة.
165	4-2- الحقل المغنطيسي الرئيسي وأصله.
179	4-3- الحقل المغنطيسي المتبقي.
185	4-4- الخواص المغنطيسية.
185	4-5- المغنطيسية القديمة وعلاقتها بانزياح القارات.
190	4-6- الحقل المغنطيسي وأهميته.
195	• الفصل الخامس: الحقل الحراري الأرضي.
196	5-1- مقدمة.
196	5-2- الحقل الحراري الأرضي-المركبات والعوامل المؤثرة.
198	5-3- الخواص الحرارية - المبادئ الفيزيائية لتوزيع درجة الحرارة.
206	5-4- الطاقة الحرارية - ظاهرة التدرج الحراري.

213	5-5- أهمية الحقل الحراري الأرضي.
221	الفصل السادس: الحقل الكهربائي الأرضي.
222	6-1- مقدمة.
222	6-2- علاقة الحقل الكهربائي بالحقل المغنطيسي الأرضي.
224	6-3- الغلاف الجوي للأرض والظواهر غير العادية.
235	6-4- التيارات الكهربائية الأرضية.
239	6-5- آلية تشكل الحقل الكهربائي الأرضي.
241	دليل الأشكال والموضوعات.
249	قائمة الإصطلاحات العلمية.
260	قائمة المراجع.

مقدمة عامة:

يُعد هذا الكتاب "الجيوفيزياء العامة" General Geophysics مقررًا قاعدياً - تمهيدياً، يُعطى لطلاب السنة الثانية، قبل الشروع في التخصص المتبع في السنوات القادمة.

تتناول موضوعات هذا الكتاب فيزياء كوكب الأرض بشكل عام، إذ تهتم بدراسة نشأة الكرة الأرضية، والمجموعة الشمسية، وترصد الحقول الطبيعية للأرض، مثل: الحقل الجاذبي، والحقل المغنطيسي، والحقل الحراري، والنشاط الزلزالي للأرض، وكذلك تفجر البراكين. بالإضافة إلى فيزياء الشمس، وظاهرتي الخسوف والكسوف، وحركة النجوم، والمجرات، المحيطة بالمجموعة الشمسية، وغير ذلك من الظواهر الفيزيائية الأخرى للأرض.

يمكن تقسيم الجيوفيزياء العامة إلى:

- فيزياء الغلاف الغازي، وما له علاقة بالأرصاد الجوية للطبقات السفلى، والطبقات العليا من الغلاف الجوي.
- فيزياء الغلاف المائي، وما له علاقة بالأحوال الفيزيائية على سطح البحر، وما تحته.
- فيزياء الغلاف الصخري، وما له علاقة بالتركيب الداخلي للأرض، من القشرة وحتى النواة.

وهكذا يبدو الارتباط العضوي الوثيق بين علم الجيوفيزياء والعلوم الأخرى، بحيث تؤثر في غيرها، وتتأثر بها، كالجولوجيا والجغرافيا والفيزياء والكيمياء والرياضيات والمعلوماتية، وعلم الفلك، وغيرها من العلوم الأخرى، التي تتكامل فيما بينها، لتشكل، فيما بعد، أرضية مناسبة لمعالجة الطرائق الجيوفيزيائية التطبيقية Applied Geophysics، إذ إن من الأهمية بمكان، ما سنتناوله في السنوات اللاحقة من موضوعات استثمار الخواص الفيزيائية للغلاف الصخري واستخدامها، لاستكشاف

الثروات الطبيعية، والكنوز الدفينة في طبقات القشرة الأرضية، من نفط وغاز ومياه وفلزات اقتصادية مختلفة.

لقد حاولنا في هذا الكتاب تسليط الضوء على بعض الموضوعات، التي تشكل جوهر الجيوفيزياء العامة، بأسلوب علمي، مبسط، دون أن نبتعد عن المنهجية العلمية، المتبعة في التعاطي مع مفردات المنهاج المعتمد لهذا المقرر.

وكلنا أمل في أن نصل إلى الأهداف المنشودة من هذا الكتاب، راجين من الله العزيز الجليل أن يجعل فيه الخير والفائدة لكل من يطلع عليه، ونكون شاكرين جزيل الشكر، لكل من يفيدنا بملاحظاته البناءة، وتوجيهاته حول مادة الكتاب، وأسلوبه ومنهجيته. راجين من المقيمين الأكارم أن يستروا العثرات، ويسدوا بسداد فضلهم الخلل، ويصلحوا ما طغى به العلم، وزاغ عنه البصر، وقصر عنه الفهم، وغفل عنه الخاطر، فالإنسان محلّ النسيان، وعلى الله الاتكال.

المؤلفان

أ.م.د. نضال شقير

أ.د. نديم أحمد

دمشق في تشرين الثاني 2016

- ماهية الجيوفيزياء العامة وعلاقتها بالعلوم الأخرى:

شهدت السنوات الماضية تطوراً كبيراً وملموساً في مجال العلوم الجيوفيزيائية، إذ أضحت استخدامها في مجالات أرحب من ذي قبل، فهناك الجيوفيزياء العامة، و الجيوفيزياء التطبيقية، و الجيوفيزياء الفضائية، و الجيوفيزياء البيئية، و الجيوفيزياء الهندسية.....إلخ.

كما يسعى العلماء فعلاً لاستخدام الجيوفيزياء ليس فقط في مجال استكشاف الثروات الطبيعية، وإنما كذلك في مجال البحث والتنقيب عن المعالم الأثرية، وفي مجال تحديد المواقع المناسبة للتخلص من النفايات المختلفة....إلخ.

يشير ما تقدم إلى أن علوم الجيوفيزياء وتطبيقاتها المختلفة، والمتنوعة، تتطوي على جوانب إبداعية، فهي ليست علوماً ساكنة، راكدة، أي أنها ليست محددة في الزمان والمكان، ولا منغلقة على نفسها، بل إن التطور العلمي والتقدم التقني سيتجلى انعكاسهما بديمومة زمانية ومكانية، أي أن إبداع علم الجيوفيزياء إبداع حركي، يفتح على كافة العلوم الأساسية الأخرى، وتطبيقاتها، كالرياضيات والفيزياء والجيولوجيا..... وغيرها من العلوم الأخرى.

لقد ولدت من هذا التفاعل حركة التزاوج بين علم الجيوفيزياء وتلك العلوم الأخرى، ومثال ذلك الجيوفيزياء البيئية، والجيوفيزياء الفضائية. إذ تتصف هذه الحركة بطابع تفاعلي، بمعنى أن علم الجيوفيزياء يقدم للقطاعات التطبيقية، والمجالات العلمية الأساسية الحلول الناجعة لمشاكلها النوعية، التخصصية، ومن ثم يتلقى طلبات جديدة لحل مشاكل بحثية، أو استكشافية، تنقيبية أخرى.

لقد عززت هذه الحركة التفاعلية مع العلوم الأخرى الإسهام الملموس في إيجاد الحلول للعديد من المسائل التنموية، وخلقت قيمة مضافة على صعيد الاستخدام المجدي، وأعطت مردوداً مادياً من المنظور الاقتصادي، تجلّى ذلك في المزيد من الاكتشافات للثروات الطبيعية، الدفينة في طبقات القشرة الأرضية.

لقد اتصف القرن العشرون - وفقاً لتحليل التطور التاريخي للعلوم الجيوفيزيائية - بأنه قرن الاكتشافات والتطبيقات في مجال النفط والغاز والثروات المعدنية الأخرى.....

وأما القرن الحادي و العشرون فسيكون بامتياز قرن الذرة، والفضاء، والمعلوماتية، و التقانات الحيوية، والبيولوجيا الجزيئية، والهندسية الوراثية...إلخ.

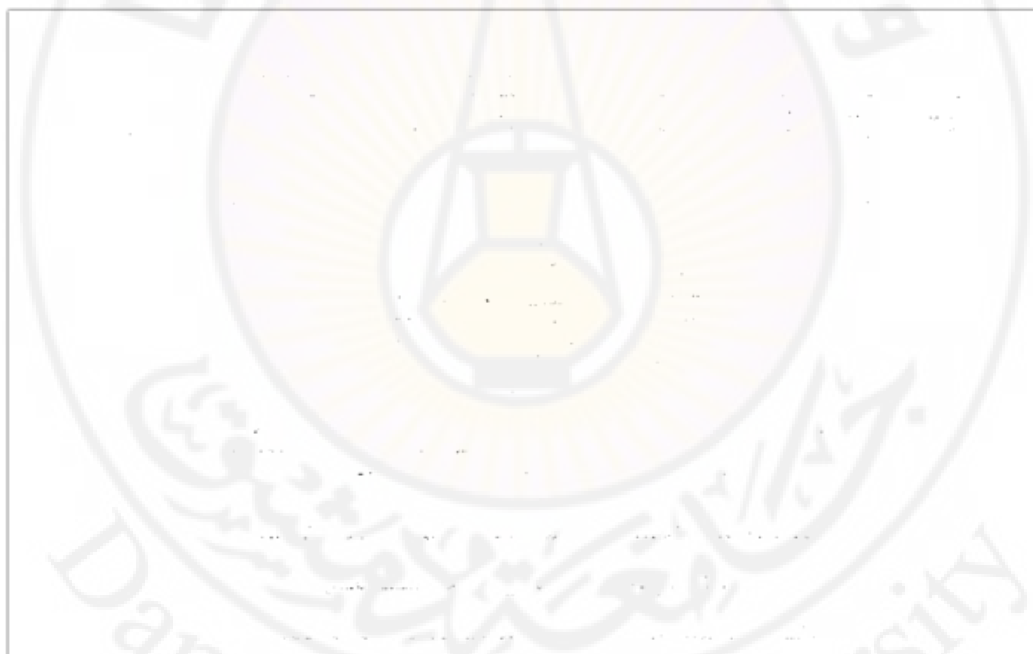
تضمنت قواعد البيانات الجيوفيزيائية وأنظمة المعلومات الراهنة كماً هائلاً من المعلومات Informations، التي يستدعي تحويلها إلى معطيات Data، ومن ثم تحويلها إلى شبكات عناصر معرفة Knowledge Networks في مجال الجيوفيزياء وتطبيقاتها، وأسهمت تقنية مناجم المعطيات Data Mining في صياغة الخوارزميات المطلوبة، التي تتيح تنفيذ هذه التحولات. وقد أدى ذلك كله إلى ظهور فرعين علميين جديدين، فتحا الآفاق بصورة عريضة للبحوث العلمية والتقنية، كمنظومة اكتشاف المعرفة الجيوفيزيائية الحديثة Geophysical Knowledge Discovery Systems وهذان الفرعان هما: الجيوفيزياء البيئية، والجيوفيزياء الأثرية.

إن الرواد في كل المجالات لا يكتفون برسم الآفاق فقط ومقتضيات مساراتها، ولكنهم أيضاً وبآن معاً، يوسعون الآفاق ويعمقونها، ويحوّلون الإمكانيات الكامنة إلى تحقيقات فعلية، وهنا تكمن رسالة الجامعات وأساتذتها، ومراكز بحوثها في مجالات علم الجيوفيزياء وتطبيقاتها.

إن التطور العلمي في مجال العلوم التطبيقية بشكل عام أظهر اختصاصات جديدة، لم تكن معهودة سابقاً، الأمر الذي أفرز قضايا ومشكلات لها انعكاسات، لا تقف عند حدود ممارسة العمل، واتقان المعالجة الناجمة، بل تتجاوزها لقضايا أشمل وأعمق، وتفرض علينا إيلاء العناية والاهتمام وإلتماس الحلول المناسبة للقضايا الإنسانية، مما يسهم في تسهيل إجراءاتها وإنجاحها. والجيوفيزياء Geophysics هي العلم الذي يدرس الظواهر الأرضية، من حيث نشأتها وتغيراتها الزمانية والمكانية..... وعلاقتها بالظواهر الكونية، ولاسيما الشمس والقمر. من الظواهر الجيوفيزيائية الأرضية ما يدمّر، مثل الهزات الأرضية، و الانفجارات البركانية، والأمواج البحرية الهائلة، التي يصطلح تسميتها في اليابان (تسونامي) Tsunami، ومنها ما هو جميل، كالشفق القطبي، والسراب وغيرها من الظواهر الأخرى.

تؤثر هذه الظواهر في الحياة، وبأشكال عدة، مما يجعلها موضع بحث واهتمام، إذ قدم أرسطو قبل ما يزيد على 2200 سنة أول عرض لهذه الظواهر في كتابه "علم الظواهر الجوية أو الطقس"، "Meteorology"، كما التفت الرياضيون والفيزيائيون إلى الأبحاث الجيوفيزيائية الأرضية، وأحدث أول قسم خاص بالجيوفيزياء في جامعة جوتنغن Goettingen، بألمانيا قبل أكثر من مئة عام.

يعتمد علم الجيوفيزياء على العلوم الفيزيائية والرياضية، وعلى الالكترونيات والحواسيب، ومعالجة المعطيات، وعلى الجيولوجيا والجيوكيمياء والجغرافيا وعلم الفلك وغيرها من العلوم، كما هو موضح في المخطط الآتي:



وهكذا أولت الجامعات ومراكز البحوث العلمية اهتماماً متزايداً بالظواهر الجيوفيزيائية المختلفة، عبر الرصد المستمر لجميع حقول الأرض الفيزيائية، وبشكلٍ يغطي كامل سطح الأرض، اليابسة والمحيطات، وغلافها الجوي، بهدف التعرف على بنية الأرض وتركيبها، والإفادة المثلى من ثرواتها، والحفاظ على الحياة فوقها. تعتمد الجيوفيزياء في ذلك على العلوم الفيزيائية والرياضية، وعلى الالكترونيات، والحوسبة،

ومعاملة المعطيات إحصائياً، وعلى الجيولوجيا والجيوكيمياء والجغرافيا وعلم الفلك (يبين المخطط آنفاً علاقة الجيوفيزياء بهذه العلوم).

وبهذا كانت الجيوفيزياء ولا تزال، تقدم خدمات عملية مهمة، بل حياتية، لبني البشر، أهمها:

- درء المخاطر الطبيعية أو تخفيفها: كالطوفانات البحرية، والأعاصير، والزلازل، والبراكين، ويتخصص في ذلك علم الجيوفيزياء العامة أو الكونية، والذي يدرس فيزياء كوكب الأرض وأغلفتها، ولا يتناول القضايا الاستكشافية.

- استكشاف الموارد والثروات الأرضية الباطنية، كالنفط والغاز، والمياه الجوفية، والمعادن، والأحجار الثمينة، ومواد البناء، ومصادر الحرارة الجوفية، والآثار الإنسانية المطمورة، وهي من اختصاص علم الجيوفيزياء التتقبيية، أو الجيوفيزياء التطبيقية.

- تقديم البيانات اللازمة لتحقيق السلامة في النسيج العمراني للمدن والحوضر السكنية، وشبكات الطرق، والسكك الحديدية، وشبكات نقل الطاقة الكهربائية وأنابيب الغاز والمياه، ونقوم بذلك الجيوفيزياء الهندسية.

- تقديم البيانات والمسوحات اللازمة للحفاظ على سلامة البيئة، من حيث ترشيد استخدامات التربة والمياه وحسن التعامل مع النفايات الصناعية والبشرية، ونقوم بذلك الجيوفيزياء البيئية.

- النجوم والمجرات المحيطة بالمجموعة الشمسية.

مجالات الجيوفيزياء والفرق بين الجيوفيزياء العامة والجيوفيزياء التطبيقية، وما

تعنى به كل منهما:

يشمل النشاط الجيوفيزيائي مجالين مهمين، وهما: أغلفة الكرة الأرضية الثلاثة، الغلاف الغازي، والمائي، والصخري، والظواهر الفيزيائية الفلكية، المرتبطة بالمجموعة الشمسية، والكون، (أنظر المخطط السابق - نصف العلوي). ويعتمد تحقيق ذلك على تعاون علمي دولي واسع، نظراً إلى شمولية هذه الظواهر وارتباطها الوثيق فيما بينها.

فيما يتعلق بالغلاف الغازي، تبحث الجيوفيزياء في طبقات الجو المختلفة، وتدرس أسباب تشكلها وفوائدها، والمخاطر الناجمة من الإخلال بتوازنها، مثلاً: طبقة الأوزون، والغلاف المتأين (الإيونوسفير)، أو الغلاف المتطبق (الستراتوسفير) المؤثرة في علم الظواهر الحيوية.

وتبحث الجيوفيزياء العامة من الغلاف المائي ما له علاقة بعلم المحيطات Oceanography، وعلم المياه العذبة Limnology والجليديات Glaciology، كما تعالج الغلاف الصخري Lithosphere، وكل ما له علاقة بالصخور، وتركيبها العام، بعد تبردها وتحولها إلى طبقات متحدة المركز، بفعل الحملان الحراري (الغليان)، والتماييز الكثافي، مكونة القشرة الخارجية والمعطف، أو وشاح الأرض Earth Mantle، والنواة الخارجية والداخلية Outer and Inner Core للأرض.

وتتوجه الجيوفيزياء العامة نحو دراسة نشأة الكرة الأرضية وعلاقتها بالقمر، وبالمجموعة الشمسية، وترصد الحقول الفيزيائية للأرض، ذات المنشأ الطبيعي، مثل:

- الجاذبية وتغيراتها الزمانية الناجمة عن جذب الشمس والقمر والكواكب الأخرى، والشذوذات المكانية الرئيسية فيها، التي تكشف الانزياحات والانقطاعات البنيوية الكبيرة (تكتونية الصفائح) Plate Tectonics.

- الحقل المغنطيسي الأرضي: من حيث النشأة والظواهر المرتبطة به، والتغيرات اليومية والسنوية، وعلاقتها بالبقع الشمسية (تغيرات شمسية) والمد والجزر (تغيرات قمرية).

- النشاط الزلزالي للأرض وطريقة بناء الكرة الأرضية، ومناطق انتشار البراكين، والخطوط البنيوية العامة للأرض، وإمكانية التنبؤ بحدوث الزلازل وانفجار البراكين.
- الميزانية الحرارية للكرة الأرضية: وتشمل تغيرات الحقل الحراري الأرضي، وتأثيرها بتركيب الأرض العام، إضافة إلى دراسة التيارات الكهربائية الأرضية Telluric Currents، وعلاقتها بكمية طبقات الجو الدنيا Atmospheric Electricity.
- أما في إطار دراستها للظواهر الفيزيائية الفلكية المرتبطة بالمجموعة الشمسية والكون، فتعتمد الجيوفيزياء العامة بما يأتي:
 - فيزياء الشمس: وهي تعالج تفاعلات مختلفة (البقع الشمسية، والإشعاعات متعددة الطيف، والمقذوفات المتفرقة)، وأثارها على كوكب الأرض، وغلافها الجوي بخاصة، وعلى حقوله الفيزيائية بوجه عام.
 - فيزياء القمر وحركته وأثر ذلك في حقل الأرض الجاذبي والمغناطيسي (مد وجزر) واستقرار مدار الأرض حول الشمس، والحفاظ على البيئة الملائمة للحياة على وجه الأرض.
 - ظاهرتي الخسوف والكسوف وغيرها من الظواهر المرتبطة بارتصاف الكواكب، في أثناء حركتها في مداراتها حول الشمس.
 - اقتراب المذنبات والكويكبات من كوكب الأرض، وسقوط النيازك والشهب عليه.
 - النجوم والمجرات المحيطة بالمجموعة الشمسية.
- وتعتمد الجيوفيزياء العامة في كل ذلك على الفيزياء الفلكية Astro-Physics وعلى معطيات المراصد الفلكية، والجيوفيزيائية، الوطنية والدولية.

موضوعات الجيوفيزياء التطبيقية أو التنقيبية:

تهتم الجيوفيزياء التطبيقية باستعمال التقانات الجيوفيزيائية المختلفة بغرض البحث عن التراكيب أو البنى الجيولوجية، وعن الثروات الباطنية (نفط وغاز - فلزات - مياه جوفية) المرتبطة بها. ترصد الجيوفيزياء التطبيقية الشذوذات Anomalies المحلية الناجمة عن عدم تجانس البنية الأرضية، المرتبط عادة بوجود مكن معدني أو مائي، أو بنية جيولوجية معينة، قد تحتوي على النفط أو الغاز. ويمكن أن تتم المسوحات الجيوفيزيائية اللازمة للاستكشاف من الجو، فتسمى آنذاك بالجيوفيزياء الجوية Aero Geophysics أو من على سطح الأرض فتسمى بالجيوفيزياء السطحية Surface Geophysics أو في المناجم والآبار، وتسمى آنذاك بالجيوفيزياء تحت السطحية Subsurface Geophysics أو الجيوفيزياء البئرية Well Logging Geophysics. وقد تبلورت مع الزمن الطرائق الجيوفيزيائية المختلفة (وفق المخطط آنفاً)، التي نستخدمها، منفردة أو مشتركة، بحسب المسألة المطروحة من قبل، شركات المسح الجيوفيزيائي المتخصصة.

ومن أهم تلك الطرائق الجيوفيزيائية ما يلي:

- الجاذبية الأرضية Gravimetric أو Gravimetry.
- المغنطيسية الأرضية Geomagnetism أو Geomagnetism.
- الكهربائية الأرضية Geoelectrics.
- الزلزالية Seismics أو السيزمية، وهي الأكثر استخداماً.
- الحرارة الأرضية Geothermics أو Geothermometry.
- طريقة الطاقة الإشعاعية Radiometric.

الفصل الأول

الكون والمجموعة الشمسية

1-1 - مقدمة:

الكون:

إن لفظة الكون تعبر عن مجموع الموجودات الكائنة من مختلف صور المادة والطاقة والزمان والمكان، وما تتشكل عليه من كافة الجمادات والأحياء (إذاً الكون كل ما هو موجود من المجرات والكواكب والنجوم، وحتى الفراغات التي تفصل بينها، والأحياء والجماد وغيرها).

1-2 - المجرات:

المجرة: هي عبارة عن تجمع لعدد هائل من النجوم وتوابعها، ومن الغبار والغازات المنتشرة بين أرجاء النجوم. وقد تم تقسيم المجرات وتصنيفها إلى عدة أنواع تبعاً للشكل الذي تتخذه المجرة وهي:

المجرات الإهليلجية (بيضاوية).

المجرات الحلزونية (لولبية).

المجرات العدسية.

المجرات غير المنتظمة (الشاذة).

المجرات القزمة الصغيرة.

ويحتوي الكون على ملايين المجرات توجد في شكل تجمعات أو حشود (Clusters)، أطلق العلماء أسماء على تلك التجمعات مثل تجمع العذراء (Virgo Cluster)، وقد كان الاعتقاد السائد بأن حركة المجرات هي حركة عشوائية مثلما الحال في حركة الغازات، ولكن في عام 1929 اكتشف أدوين هابل أن المجرات في تباعد مستمر عن بعضها البعض بسرعات هائلة قد تقترب في بعض الأحيان من سرعة الضوء، وقد حسبت نسبة تباعد المجرات وتبين أنها تبتعد بسرعات متناسبة مع المسافة التي تفصل بينها، وهذا يعني أن الكون في توسع وتمدد مستمر.

وتفسر هذه الظاهرة (حسب دوبلر) حيث إن ابتعاد المجرات يتمثل في حالة كان المصدر الضوئي القادم من الفضاء الخارجي يبتعد عنا، فإن تردد الأمواج الضوئية ينخفض، وبالتالي ينزاح نحو اللون الأحمر. أما إذا كان المصدر الضوئي يقترب منا فإن الانزياح

سيكون نحو اللون الأزرق. ويكون الانزياح الطيفي ملموساً عندما تكون سرعات المصدر الضوئي مقترنة بالنسبة إلى سرعة الضوء، بينما لا يمكن مشاهدته بالنسبة إلى للمصادر الضوئية العادية ذات السرعات الضئيلة مقارنة مع سرعة الضوء، وقد وضع هابل قانونه لتباعد المجرات وهو: $V_0 = H_0 d$

حيث إن V_0 = سرعة التباعد للمجرة، و H_0 = ثابت هابل، و d = المسافة التي تفصلنا عن المجرة.

ويلاحظ من القانون أنه كلما بُعدت المسافة (زاد المقدار d) و زادت سرعة التباعد V_0 ، بمعنى أن المجرة الأكثر بعداً عنا هي المجرة الأعلى سرعة في التباعد، وهذا ما أكدته العالم الفيزيائي دوپلر Doppler.

وقد كان العلماء يعتقدون أن المجرات تشكلت في وقت حديث نسبياً من تاريخ الكون، إلا أن بعض العلماء البريطانيين أعلنوا أنهم اكتشفوا عدداً من المجرات الشديدة الحرارة وهذا يعني أن تلك المجرات كانت موجودة بالفعل منذ نحو عشرة مليارات عاماً، عندما كان الكون أصغر بست مرات مما هو عليه الآن.

تجمعات المجرات Galax Clusters

توجد المجرات في حشود تتألف من مجموعة من عشرات المجرات أو مئات وقد تصل إلى آلاف المجرات في المجموعة الواحدة التي تجمعهم عناصر الجذب بينهم ليمثلوا هذا التجمع، وقد قسم العلماء المجرات إلى المجموعات طبقاً لقربها من بعضها البعض.

1-2-1. المجرات الإهليلجية:

وهي تتخذ شكلاً إهليلجياً بيضاوياً، وهي بطيئة الدوران وأن توازنها مرتبط بالحركة العشوائية للنجوم، الذي يولد الضغط. ولكن على عكس الضغط الغازي الذي يكون موزعاً بشكل متجانس دائماً، فإن ضغط النجوم يمكن أن يكون أقوى في اتجاه معين، ومن هنا يتكون الشكل الإهليلجي، ومن الممكن أن تكون مفلطحة أو بشكل طولي أو عدسية غير متناظرة الدوران بحيث يكون لها ثلاثة محاور مختلفة الشكل (1-2). إن الأشكال المتنوعة جداً للمجرات بات يسمح لنا بتتبع تطورها عبر سلسلة هابل. ويكون هذا التطور

أسرع عندما تكون المجرات أعظم كتلة وتقع في محيط غني بالمجرات. وقد بات من الثابت الآن أن تناسبات مختلف الأنماط الشكلية قد تطورت خلال الأزمنة الكونية، كما ازداد العدد الإجمالي للمجرات.



الشكل (1-1): المجرات الإهليلجية (البيضاوية)، تستمد اسمها من شكلها فهي كتل بيضاوية.

2-2-1 - المجرات الحلزونية:

وهي المجرة التي لها أذرع تلتف بشكل لولبي نحو الخارج انطلاقاً من انتفاخ مركزي، وتعدّ المجرات الحلزونية أكثر المجرات انتشاراً في الكون حيث تصل نسبتها إلى الثلثين، ويفسر الشكل الحلزوني بأن دوران قرص مجرة حلزونية حول محوره يؤدي إلى قوة مركزية توازن الجذب الثقالي، حيث إن مركز المجرة يدور بسرعة أكبر من طرفها، وهذا يؤدي إلى تحول البنية الدائرية إلى بنية حلزونية. الأشكال (2-1) و (3-1) ومجرتنا درب التبانة تعتبر من المجرات الحلزونية.



الشكل (1-2): مجرة حلزونية تقع ضمن تجمع مجري المسمى M 106 وتبعد عنا حوالي 25 مليون سنة.



الشكل (1-3): الشكل العام للمجرات الحلزونية.

1-2-3- المجرات العدسية:

وهي مجرات تأخذ شكل المجرة الحلزونية ولكن بدون أذرع، وتأخذ شكل قرص بدون أي تركيب واضح، كما في الشكل (1-4). ويرجع سبب هذا إلى حالتين :

1- إما أن تكون تلك المجرات قد استهلكت أغلب المادة المنتشرة بين النجوم بمعنى أنها تحتوي على نجوم قديمة فقط ووجدت في توزيع متساوٍ في قرص المجرة خلال الوقت.

2- أو لأن المجرة لم تصادف أي مجرة مجاورة قد تؤثر فيها، وذلك خلال مئة المليون سنة القليلة الماضية .

- من خلال أشكال تلك المجرات وأيضاً محتواها تُعدّ مجرات إهليلجية بدلاً عن كونها مجرات ذات أصل حلزوني، وقد سبب هذا في أغلب الأحيان اختلاط في التصنيف، وسوف يكون تصنيفها هنا ضمن المجرات الإهليلجية، وهو المعتمد الآن.



الشكل (1-4) : مجرة عدسية.

1-2-4- المجرات القزمة:

وهي أصغر من المجرات العادية، وهي واسعة الانتشار في الكون، وبسبب كتلتها الصغيرة تتخفف فيها الجاذبية وتستطيع المادة أن تهرب أو تتسرب منها بسهولة مقارنة بالمجرات الكبيرة، تمتاز بكونها مملوءة بمادة سوداء غامضة من حيث تكوينها المادي ولامعة، وتقول النظريات إنها تشكلت حين كان عمر الكون واحداً على عشرة آلاف من عمره الحالي، وقد لاحظ العلماء من خلال مراقبتهم لمجرة NGC 1569 أن تلك المجرات تثبت الأكسجين وعناصر ثقيلة أخرى في الفراغ بين المجرات وهذا يؤكد ذلك فكرة أنها قد تكون مسؤولة عن غالبية العناصر الثقيلة التي توجد بين المجرات، كما وجد هؤلاء العلماء إن كميات كبيرة من الأكسجين وعناصر ثقيلة أخرى تهرب من المجرة في شكل فقاعات من الغازات درجة حرارتها ملايين الدرجات المئوية، وقطرها آلاف السنوات الضوئية، وهذا يجعل هذه المجرات مهمة للغاية في فهم كيفية توزيع العناصر في الكون. وتوقع العلماء أن العناصر الثقيلة المتسربة من المجرات الأقزام في الكون القديم يمكن أن تؤدي دوراً مهماً في إثراء الغاز الواقع بين المجرات والذي تتكون منه مجرات أخرى، كما في الشكل (1-5).

تحتوي المجرات القزمة على بضعة بلايين فقط من النجوم، وغالباً ما تكون مرتبطة بالمجرات الكبيرة القريبة منها وتكون تابعة لها، كما هو الحال في مجرتنا درب التبانة التي يوجد حوالي 14 مجرة صغيرة تتبعها. وللمجرات القزمة تقسيمات طبقاً لشكلها:-

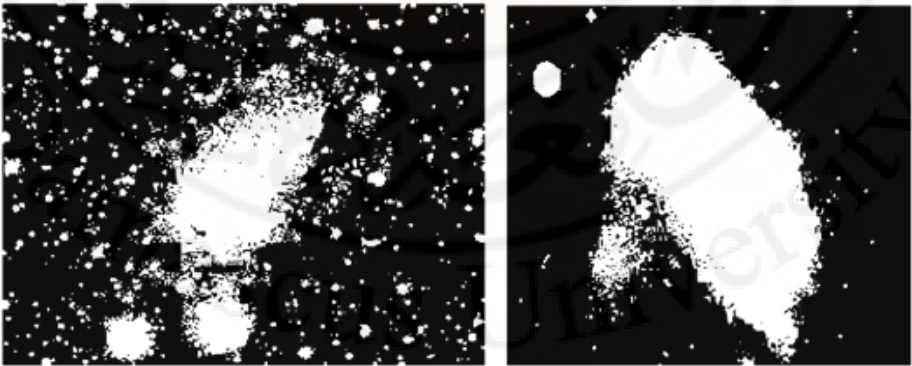
- مجرة قزمة إهليلجية ويرمز لها بالرمز d E، مجرة قزمة كروية ويرمز لها بالرمز dSph.
- مجرة قزمة حلزونية ويرمز لها بالرمز dSA، ومجرة قزمة حلزونية بأذرع ويرمز لها بالرمز dSB.
- مجرة قزمة شاذة ويرمز لها بالرمز dl.



الشكل (1-5): المجرة القزمة DDO 63 ويظهر الجزء الأزرق منطقة نجوم قتيّة والأحمر على نجوم قديمة.

1-2-5- المجرات الشاذة:

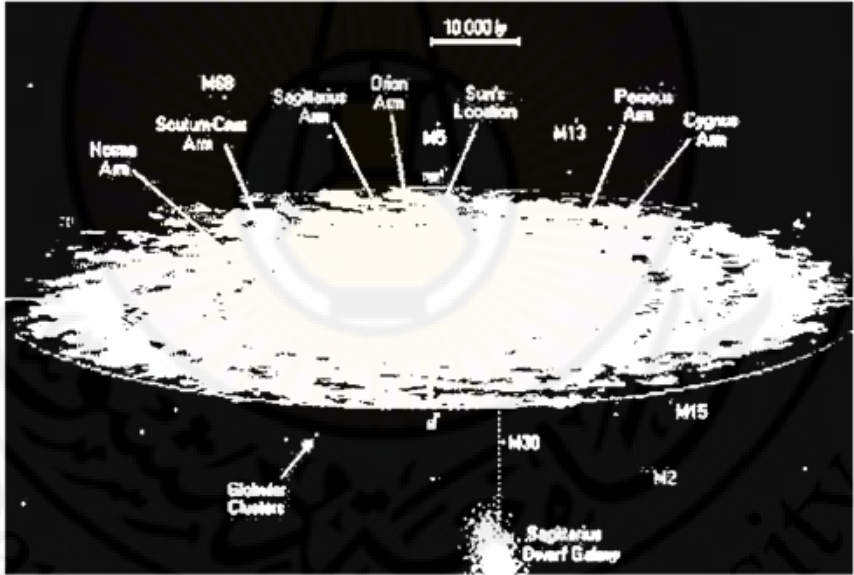
المجرة الشاذة هي مجرة تظهر بشكل عشوائي غير منتظم، وليس لها شكل معين مثل المجرات الإهليلجية والحلزونية، ويعتقد العلماء أن المجرات الشاذة تتشكل حوالي ربع مجرات الكون المنظور، وأكثر المجرات الشاذة كانت إما حلزونية أو إهليلجية لكن عوامل الجذب شوه المجرة لتظهر بهذا الشكل كما في الشكل (1-6).



الشكل (1-6): إلى اليمين مجرة غير منتظمة وإلى اليسار مجرة شاذة صغيرة يبلغ حجمها حوالي 21000 سنة ضوئية تبعد عنا حوالي 4.2 مليون سنة ضوئية.

1-3- مجرة درب التبانة:

المجرة عبارة عن تجمع هائل ومركز للشموس، ويوجد لها نوعان رئيسيان: البيضوي والحلزوني. هذه الأنواع جرى اكتشافها في العشرينات من القرن الماضي من قبل عالم الفلك المشهور Edwin Hubble. الملاحظات الكونية أظهرت وجود العديد من المجرات، وأغلبها تصنف في قسم المجرات القزمة. التقديرات الرياضية تشير إلى أن هناك حوالي 1000 بليون مجرة. ولكن إذا ظهر أن الكون لانهاية له فإن عدد المجرات أيضا لانهاية له. مجرتنا تسمى درب التبانة، Milky Way وهي ثاني أكبر مجرة في منطقتها. تقع المجموعة الشمسية في أحد أذرع المجرة التي نعيش فيها و نراه على صفحة السماء على هيئة الطريق اللبني المعروف (Milky Way) و أطلق عليه العرب قديما سكة التبانة كما في الشكل (1-7).



الشكل (1-7): صورة عامة تمثل درب التبانة.

تملك مجموعتنا الشمسية حوالي 200 مليار نجمة، وقطر المجرة يصل إلى حوالي 100 ألف سنة ضوئية، ووزنها يعادل 1000 مليار وزن الشمس، وأقرب جار إليها هو مجرة Sagittarius والسحابة الكونية Magellanska. تعد مجرتنا من أكبر المجرات في المنطقة ولا يتجاوزها في الحجم إلا مجرة واحدة. تتألف مجرة درب التبانة،

حسب ما نعلمه عنها، من أربعة أجزاء، المنطقة المركزية الكثيفة، الصفيحة المجرية التي تحوي الأذرع الحلزونية ، القبة البالونية المحيطة بالصفيحة والتي تبدو مظلمة بالرغم من أنها تحوي على أقدم النجوم، وأخيراً الامتدادات ما بعد القبة المجرية، كما في الأشكال (8-1) و (9-1).

يبلغ قطر المنطقة المركزية حوالي 20 ألف سنة ضوئية وهي منطقة من الصعب رؤيتها لكونها مختبئة في غيوم كثيفة من الغاز والغبار الكوني. ولكن نعلم إن أغلب النجوم في هذه المنطقة من النجوم القديمة، ولهم من العمر حوالي 10 مليار سنة أو أكثر، كما أن المنطقة كثيفة النجوم للغاية. في منتصف المنطقة المركزية يوجد ثقب أسود كبير تبلغ كثافته 2.5 مليون مرة كثافة شمسنا.

تقع مجموعتنا الشمسية في الصفيحة المجرية وتبعد حوالي 27 ألف سنة ضوئية عن المركز. نجد في الصفيحة أيضاً خمسة أذرع هائلة للمجرة، هناك حيث تولد النجوم الجديدة باستمرار. تُعدّ شمسنا التي تبلغ من العمر 4.5 مليار سنة، وهي واحدة من بين النجوم المتوسطة العمر.

غالباً ينظر المرء إلى مجرة درب التبانة على أنها صفيحة كبيرة تدور حول مركزها. نحن لا ننتبه إلى قبة هائلة تُعدّ أيضاً جزءاً منها، وهي تظهر وكأنها مساحة فارغة على الرغم من أنها تحتوي على العديد من النجوم المظلمة والقديمة من كل الجهات.

بعد القبة المجرية المظلمة تبدأ منطقة أخرى لها كثافة أكبر من كثافة مجرة التبانة بأكملها. لا أحد يعلم من ماذا تتألف هذه المنطقة حتى الآن إذ لم يتمكن أحد من رؤيتها. وبسبب عدم وجود مصادر أخرى للمعلومات قام العلماء بوضع استنتاجات عن طبيعة هذا الوجود من خلال قوة تأثير جاذبيته على المجرة.

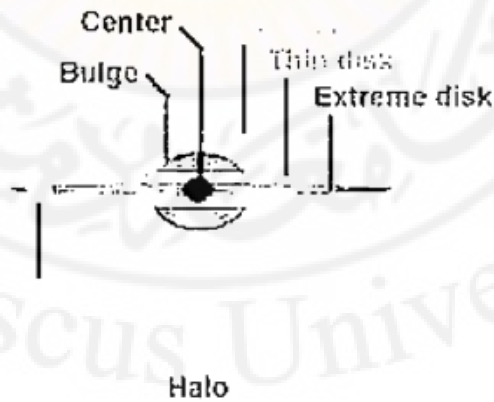
تملك المنطقة الرابعة مفتاح توضيح سبب نشوء مجرة درب التبانة وكيفيته، ولكشف هذه الخفايا يحتاج المرء إلى القيام بأبحاث وتحقيقات دقيقة جداً.



الشكل (1-8): الأعلى صورة لدرب التبانة والأسفل صورة جانبية.

Milky Way Galaxy

Seen edge-on



Source: Science

العلماء في جامعة دمشق

الشكل (1-9): مخطط يبين أقسام مجرة درب التبانة.

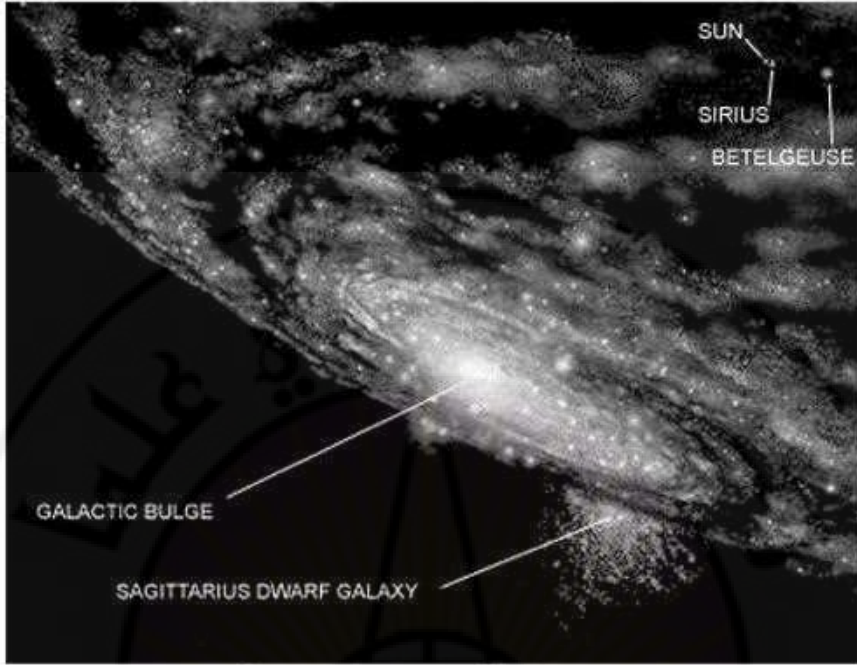
سنستعرض أربعة أدلة تساهم في معرفة تاريخ نشوء مجرة درب التبانة وهي:

الدليل الأول المستخدم لمعرفة تاريخ نشوء مجرة درب التبانة هو عمر النجوم، إذ إن أقدم النجوم يصل عمرها إلى حوالي 13 مليار سنة. هذا يعني أن مجرتنا نشأت بعد فترة قصيرة من الانفجار العظيم الذي جرى قبل حوالي 14 مليار سنة. في ذلك الوقت كان الكون أصغر مما هو عليه اليوم، وهذا يعني حدوث العديد من الاصطدامات بين ما يسمى protogalaxy التي تُعدّ الشكل السابق للمجرات الحالية. هذا وحده يكفي لاستنتاج أن الاصطدامات أدت دوراً رئيسياً في ولادة مجرة الشتاء

الدليل الثاني المستخدم إن النجوم القديمة والنجوم الياقة موجودة في مناطق منفصلة عن بعضها البعض كثيراً. أكثر النجوم القديمة نجدها في المنطقة المركزية، في حين أن النجوم الياقة تتركز في الصفيحة. من هنا نستنتج أن المركز والقبة البالونية نشؤوا أولاً، في حين نشأت الصفيحة فيما بعد.

مع هذا الاستنتاج سيكون من الغريبة أن نعلم إن ليس جميع نجوم القبة البالونية هم نجوم قديمة. ونحن نعلم أن كثافة الغاز في هذه المنطقة لا يكفي لنشوء نجوم يافعة. من هنا الاعتقاد أن أغلب النجوم الياقة في القبة البالونية هي من بقايا المجرات القزمية الأخرى التي ابتلعتها مجرتنا وضممتها إليها. لذلك وعلى الرغم من أن القبة قديمة إلا أن طور النشوء والتطور امتد لفترة طويلة.

ابتلاع مجرتنا لمجرات أخرى ظاهرة ليست نادرة إنها تحدث الآن بالضبط. مجرة درب التبانة تقوم الآن بابتلاع مجرة قريبة تسمى Sagittarius galaxy. غير أن هذا الأمر يحدث في الطرف الآخر من المجرة ويبعد عنا حوالي 80 ألف سنة ضوئية، ولهذا السبب لم يتمكن الفلكيون من اكتشاف هذا الحدث إلا في عام 1994. تشير حسابات الفلكيين إلى أن الأمر سيستغرق 100 مليون سنة أخرى حتى تزول آثار المجرة المبلوعة، وتضيع نجومها في داخل مجرة درب التبانة.



الشكل (1-10): صورة لدرب التبانة يبين عليها موقع الشمس أعلى يمين الصورة.

كما هو الحال مع جميع المجرات الكبيرة توجد مجرات صغيرة تحيط بالمجرات الكبيرة. عندما تقترب المجرة الصغيرة من مجال جاذبية المجرة الكبيرة يصبح مصيرها لاشك فيه. تملك المجرات القزمة بضعة ملايين من النجوم، ولذلك ينقصها الجاذبية الكافية لتحمي نفسها، لذلك فإن ابتلاعها من قبل المجرات الأكبر أمر سهل. بالرغم من ذوبانها في المجرات الأكبر إلا أنها تترك أثراً يمكن أن تدل على هذا الحدث. نجوم المجرة يلاحق بعضها في مسار مشترك يسمى بمجرى النجوم، star stream. أظهرت الصور القادمة من القمر الاصطناعي الأوروبي Hipparchos العديد من مجاري النجوم وهذا يكفي للاعتقاد بأن مجرة التبانة قد التهمت ما لا يقل عن خمس مجرات قزمة، وربما كان العدد الكلي يصل إلى خمسة عشر عبر حياتها الطويلة.

الدليل الثالث المستخدم هو حركة النجوم. في المنطقة المركزية والقبة البالونية تدور النجوم ببطء، في حين النجوم في الصفيحة تدور بسرعة كبيرة حول المركز تصل إلى 200-300 كيلومتر في الثانية. من هنا نرى إن ما يسمى اللحظة النبضية عالي الصفيحة بالنسبة إلى المنطقة المركزية والقبة البالونية. (الدورة النبضية هي المدة التي

تستغرقها الذبذبة لقطع المسافة من سطح النجم إلى أعماق باطنه والرجوع ثانية، ولهذا فإن النجوم الكبيرة الشديدة التألق تكون دوراتها أطول من النجوم الأصغر والأضعف).

هذا الأمر من الصعب توضيحه من خلال نظرية ابتلاع مجرتنا مجرات أخرى، لكون المجرات التي ضُمَّت وكونت مجرة الشتاء لابد أنها فقدت القسم الأكبر من اللحظة النبضية. وعلى العكس يجب أن يكون الغاز الذي تتكون منه الصفيحة التي نشأت عنها النجوم حافظت على لحظتها النبضية العالية بطريقة من الطرق، بعد اصطياذ مجرة الشتاء لها.

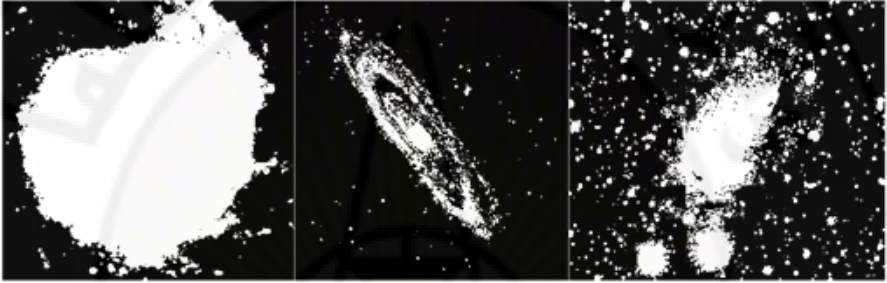
في سعي الفلكيين لتفسير هذا الأمر يقترح البعض أن المجرات القديمة proto galaxy، ببساطة فقدت قسماً كبيراً من غازها نتيجة انفجار سوبرنوفاء. في هذه الحالة تكون قد قذفت إلى الخارج غازاً حاراً غنياً بالمواد المشعة الثقيلة ، وكان من الحرارة إلى درجة لم يكن بإمكان جاذبية المجرة أن تبقيه داخلها، وبهذا الشكل حافظت على مستوى سرعة دورانها. ولا يزال الفلكيون يعلمون القليل عن هذا الأمر.

الدليل الرابع نجده في المستقبل البعيد للمجرة. كافة القياسات تشير إلى أن مجرة درب التبانة ستفقد بعض أذرعها الحلزونية، ويتغير شكلها بعد بضعة مليارات من السنين. هذا الأمر سيحدث عندما تصطدم مجرة جارة هائلة Andromeda galaxy، مع مجرتنا بعد ستة مليارات سنة. تبعد أندرو ميذا عنا مسافة 2.7 مليار سنة ضوئية، ولكون هذه المجرة بنفس حجم مجرتنا فلن يكون الأمر على شكل ابتلاع بسيط كما يحدث الآن، بل اصطدام بكامل أبعاده.

لقد أظهرت دراسة مجموعة مجرية بعيدة كيف كان شكل الكون قبل 3-4 مليار سنة. في ذلك الوقت كان 30% من المجرات حلزونية تماماً مثل مجرتنا اليوم. أما بقية المجرات كان لها الشكل البيضاوي أي مجموعة كبيرة من النجوم بدون أذرع أو غيمة كونية.

في مجموعات مجرية قريبة، حيث الضوء انطلق في المليار سنة الماضية ، تُشكل المجرات الحلزونية ما لا يزيد عن 5%. هذا الأمر يشير إلى أن المجرات الحلزونية ليست لديها القدرة على تحمل مثل هذه الاصطدامات، إذ من الواضح أنها تتحول إلى مجرة بيضوية بعد الاصطدام.

الاصطدام ذاته بين المجرتين سيحدث على امتداد بضعة ملايين من السنين كون النجوم في المجرتين منتشرة على منطقة واسعة في حين أن الذي سيصطدم بالمعنى الفعلي للكلمة هو الغيمة الغازية والمنطقة الوسطى. هذا الاصطدام سيكون من العنف بحيث سيؤدي إلى نشوء كمية هائلة من النجوم الجديدة ستملأ فضاء المجرة الجديدة. المجرة الجديدة من نوع starbust galaxy، وستحتوي على حوالي نصف بلون نجمة. كما في الأشكال (11-1) و (12-1) تبين مجموعة من المجرات للمقارنة بينها.



الشكل (11-1): إلى اليمين مجرة شاذة صغيرة يبلغ حجمها حوالي 21000 سنة ضوئية تبعد عنا حوالي 4.2 مليون سنة ضوئية، وفي الوسط مجرة أندورميديا وهي تبعد عن المجموعة الشمسية 2.5 مليون سنة ضوئية، وإلى اليسار مجرة حلزونية تقع ضمن تجمع مجري المسمى M 106، وتبعد عنا حوالي 25 مليون سنة ضوئية.



الشكل (12-1): إلى اليمين إحدى أبرز المجرات التي ترى واضحة في الليل ، تبعد حوالي 7 ملايين سنة ضوئية، في الوسط مجرة شاذة يبلغ حجمها حوالي 40000 سنة ضوئية وتبعد عنا حوالي 1800000 سنة ضوئية، إلى اليسار المجرات الإهليلجية (البيضاوية) ، تستمد اسمها من شكلها، فهي كتل بيضاوية.

1-4-4- قياس الأبعاد في الكون:

1-4-4-1- السنة الضوئية:

السنة الضوئية وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة كاملة. وتعد السنة الضوئية من أكثر وحدات القياس المعتمدة في تحديد المسافات التي تفصلنا عن النجوم.

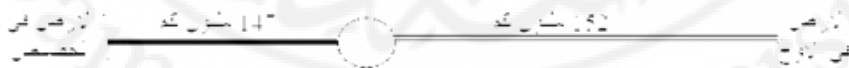
السنة ضوئية = 300000 كم / ثا $\times$ 24 ساعة $\times$ 3600 ثانية $\times$ 365.25 يوم = 9.46 تريلون كم أي (9.46×10^{12} كم).

(9.46×10^{12} كم $\div$ (1.5×10^8 كم) = 63204 وحدة فلكية.

إذا السنة الضوئية تساوي 63204 وحدة فلكية .

1-4-4-2- الوحدة الفلكية:

الوحدة الفلكية وتُعرف بأنها متوسط بعد مركز الأرض عن مركز الشمس، إذ تقدر أبعد نقطه للأرض عن الشمس بمقدار 152 مليون كم، وتسمى نقطة الأوج، وأقرب نقطة للأرض من الشمس هي نقطة الحضيض، وتبعد مقدار 147 مليون كم كما في الشكل (1-13). أما المسافة الوسطية بين الأرض والشمس هي 150 مليون كم ويطلق عليها الوحدة الفلكية. إذا الوحدة الفلكية الواحدة هي متوسط المسافة بين الأرض والشمس، وتساوي حوالي 150 مليون كم ، أي 1.5×10^8 كم .



الشكل (1-13): يبين تغير مدار الأرض حول الشمس.

كما يبين الجدول الآتي أبعاد الكواكب عن الشمس بالكيلومتر وبالوحدة الفلكية.
الجدول (1-1) يبين أبعاد كواكب المجموعة الشمسية بالكيلومتر والوحدة الفلكية.

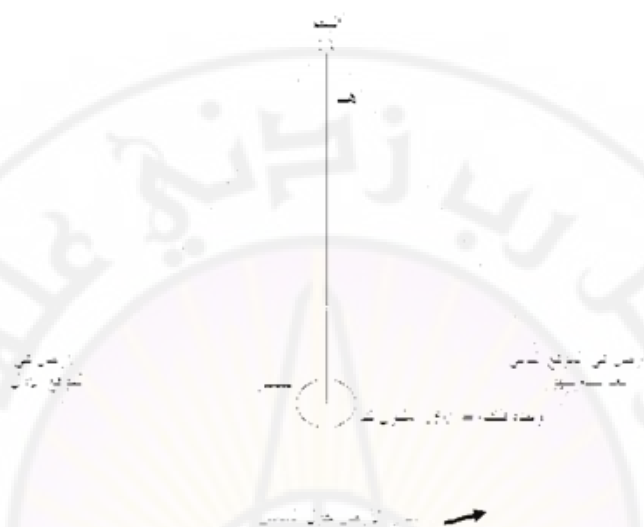
1-4-3- الفرسخ الفلكي (النجمي) (Parsec) :

البارسك أو الفرسخ الفلكي: يعرف الفرسخ الفلكي بأنه وحدة قياس فلكية للأجرام السماوية البعيدة جداً ، ويمثل المسافة التي تبعد عند تشكيل الجرم السماوي زاوية قدرها ثانية قوسية واحدة ، وقيمتها 3.26 سنة ضوئية، كما في الشكل (1-14):

إذا الفرسخ يعادل المسافة التي منها نستطيع رؤية نصف قطر مدار الأرض حول الشمس ضمن زاوية قدرها ثانية واحدة. حيث تساوي تلك المسافة إلى 30.84×10^{12} كم، أي لو قسمنا هذه المسافة على بعد الأرض عن الشمس (الوحدة الفلكية الواحدة) نحصل على الآتي: $30.84 \times 10^{12} \text{ كم} \div 1.5 \times 10^8 = 206265$ وحدة فلكية.

وبنقسيم عدد الوحدات الفلكية على قيمتها من السنوات الضوئية نجد:

206265 وحدة فلكية $\div 63204 = 3.26$ سنة ضوئية. أي أن البارسك الواحد حوالي 3.26 سنة ضوئية .



الشكل (14-1): يبين مفهوم قياس الفرسخ الفلكي.

تُرصَد جرم سماوي والأرض في الموقع الأول ، وبعد ستة أشهر عندما تتحرك الأرض إلى الموقع المقابل لها تُرصَد النجم مرة ثانية، ويمكن ملاحظة تغيّر منظر النجوم الظاهرة كخلفية للجرم المرصود. وبمعرفة الزاوية (هـ) يمكن حساب بعد النجم وذلك باستخدام قوانين المثلثات، حيث جيب هـ = الضلع المقابل / الوتر، وبمعرفة الضلع المقابل والذي هو هنا نصف قطر مدار الأرض حول الشمس = 150 مليون كيلومتر ، وبمعرفة جيب الزاوية هـ (زاوية اختلاف المنظر) يمكننا حساب طول الوتر الذي يمثل بعد النجم عنا. وإذا كان مقدار زاوية اختلاف المنظر ثانية قوسية واحدة، فإن بعد النجم عنا يكون فرسخاً فلكياً واحداً = 3.26 سنة ضوئية.

الفرسخ الفلكي = 3.26 سنة ضوئية ويساوي 3.1×10^{13} كم = 3.1×10^{16} متر.

ويمكن استخدام وحدة الدقيقة الضوئية أو الثانية الضوئية للحساب مثال:

تبعد الأرض عن الشمس 8 دقائق و 20 ثانية ضوئية. يبعد القمر عن الأرض ثانية وثلاث الثانية الضوئية.

1-4-4-4- بعض التطبيقات

1-4-4-1- قياس قطر المجرة:

$$d = \frac{2\pi AX}{360}$$

يقيس الفلكيون قطر المجرة باستخدام العلاقة التالية:

حيث :

d - قطر المجرة.

A - القطر الزاوي للجرم أو للمجرة.

X - المسافة إلى الجرم أو المجرة، أي بعد المجرة المطلوب حساب بعدها عنا بوحدة السنين الضوئية أو بوحدة الفرسخ الفلكي .

مثال حساب قطر مجرة المرأة المسلسلة (M.31)، باعتبارها مجرة حلزونية. فإن قياس قطرها يعني قطر قرصها. حيث يقارب القطر الزاوي للمجرة (M.31) (A = 5 درجات)، وبعدها عنا بحدود 670000 فرسخاً فلكياً، وبتطبيق العلاقة السابقة نجد قطر المجرة (M.31) هو :

$$d = \frac{2 \times 3.14 \times 5 \times 670000}{360} \approx 58500 \text{ فرسخ فلكي}$$

1-4-4-2- قياس كتلة المجرة:

يمكن قياس كتلة المجرة باستخدام قانون كيبلر التوافقي المعدل عن قانون نيوتن للتجاذب الكتلّي، وذلك على الشكل الآتي:

$$M_1 + M_2 = \frac{r^3}{T^2}$$

حيث :

M₁ و M₂ - هي كتلة الجرمين الأصغر و الأكبر مقاسه بوحدة الكتل الشمسية.

r - نصف القطر المداري بالوحدة الفلكية .

T - الدور بالسنوات الأرضية.

1-4-4-3- قياس بعد المجرة (المسافة إلى المجرة):

كما ورد أعلاه يمكن استخدام قانون هابل لحساب أبعاد المجرات، الذي يربط بين

سرعة تباعد المجرة وبعدها عنا $V_0 = H_0 D$

حيث إن V_0 = سرعة التباعد للمجرة (كم / ثا).

H_0 = ثابت هابل .

D = المسافة التي تفصلنا عن المجرة (فرسخ فلكي).

يمكن استخدام القيمة لثابت هابل (50 - 75) كم / ثا / فرسخ .

1-3- النجوم :

1-3-1- الخصائص العامة للنجوم :

ماهية النجم :

تُعدّ النجوم شمس ساطعة كشمسنا، التي تمدنا بالدفء والضياء، ويصعب علينا التحديق فيها لشدة بريقها، ونحن ومع أننا لا نرى في السماء أسطح من الشمس، لكن ذلك لا يعني أنها حقاً هكذا، لأن هناك في السماء من النجوم ما هو أشد سطوعاً من الشمس بمئات أو ألوف المرات، ولكننا لا نميز ذلك لشدة بُعد تلك النجوم عنا، ومنها ما هو أقل سطوعاً من الشمس، بسبب صغر كتلتها، وضعف عملية صنع الطاقة بداخلها. وقد تكون شمسنا النجم الوحيد في السماء التي يمكن للمرء رؤية قرصها بالعين المجردة.

فالنجوم إذا أجرام سماوية، تشكلت في داخلها أفران طاقة نووية هيدروجينية، وتتفاوت من حيث درجة بعدها عنا، وأحجامها وكتلتها، وألوانها، وتآلقها، وهي تتحرك بسرعات هائلة إلا أنها تبدو ثابتة في مواقعها.

عدد النجوم :

يمكن في سماء ليلة خالية من الغيوم وغير مغمرة، رؤية أكثر من 2000 نجم بالعين المجردة، غير أن هذا العدد ليس ثابتاً، إذ تظهر فنجوم جديدة كل يوم، وتغيب أخرى ليصل إجمالي عدد النجوم التي يمكن رؤيتها مباشرة على مدار السنة في السماء

كلها إلى حوالي 6000 نجم أما إذا نظرنا إلى السماء عبر عدسة مقراب قطرها أربع بوصات، فسنرى أكثر من مليوني نجم، وسيصل عدد النجوم المرئية في السماء إلى ما يزيد عن المليار نجم إذا نظرنا إلى السماء عبر عدسة مقراب قطرها 200 بوصة.

و لكن هذا الكون الذي يحتوي على مليارات النجوم يعد فارغاً نسبياً، فهو كون غير محدود الأبعاد والشكل، وفيه ملايين المجرات، وفي كل مجرة مليارات النجوم- فمجرتنا (درب التبانة) تضم، على سبيل المثال، ما يقارب مئة مليار من النجوم.

أبعاد النجوم :

اهتم الفلكيون منذ القدم بقياس المسافات إلى النجوم، وذلك اعتماداً على الاختلاف الزاوي الظاهري للنجوم Parallax، مثلما يحدث فيما لو نظرنا إلى شيء ثابت بكل عين من عينينا على حدة، ومن المكان نفسه، أو بعين واحدة من موقعين مختلفين، فإذا رُصدَ موقع نجم من موقعين على مدار الأرض خلال مدة ستة أشهر من السنة فإن هذا النجم لا يشاهد في مكانه الأول، بل في مكان آخر، يبعد مسافة عن المكان الذي رصد فيه سابقاً ، وبالاعتماد على زاوية الاختلاف الظاهري للنجم، واستناداً إلى علاقات معروفة في علم المثلثات، يمكن حساب بعد النجوم عن المجموعة الشمسية. إذ تبلغ زاوية الاختلاف الظاهري Parallaxes لأقرب نجم إلينا، وهو نجم الفا قنطورس (قنطورس الأقرب) أقل من ثانية واحدة من القوس (0.76 ثانية قوسية). وكل اختلاف ظاهري مقداره ثانية قوسية واحدة يعرف بالبارسك، كما تم ذكره سابقاً.

فالشمس هي اقرب نجم إلينا، وهي تبعد عنا مسافة 149,598,000 كم، أي ما يعادل حوالي 8.3 دقيقة ضوئية. في حين يبعد عنا النجم الذي يليها قريباً منا (قنطورس الفا)، بحدود 4.1 سنة ضوئية (حوالي 300000 مرة بعد الشمس عنا). أما نجم الشعرى اليمانية، ذلك النجم الأكثر سطوعاً وتألقاً في ليلنا المظلمة فيبعد عنا مقدار 8.7 سنة ضوئية، وهناك من النجوم ما يبعد عنا مئات، بل ألوف، وحتى ملايين السنين الضوئية، فنجم ذنب الدجاجة - في كوكبة الدجاجة - يبعد عنا 1600 سنة ضوئية، وتتفاوت في الكوكبة الواحدة تباعدات نجومها تفاوتاً كبيراً، يصل إلى عشرات بل

ومئات السنين الضوئية، رغم أننا نراها متقاربة، ولكنها في الحقيقة بعيدة جداً عن بعضها، وخطوط النظر إليها هي المتقاربة.

سطوع النجوم :

تشع كافة النجوم ضوءاً ذاتياً، ينتج عن التفاعلات النووية، التي تحدث بداخلها، وهي تشابه تلك التي تحدث في القنبلة الهيدروجينية، فعند اندماج عنصر الهيدروجين إلى هيليوم - وهذا ما يحدث في الغالبية العظمى من النجوم، يتحول حوالي 1% من كتلة النجوم إلى طاقة، ترتفع درجة الحرارة الداخلية للنجوم إلى ملايين الدرجات في حين تتراوح درجات الحرارة السطحية بين 3000 درجة وأكثر من 30,000 درجة مئوية حسب نوع النجم وكتلته، وتزيد الطاقة المتحررة عن اندماج كيلوغرام واحد من الهيدروجين إلى هيليوم عن تلك التي تنطلق جراء احتراق 20 ألف طن من الفحم الحجري.

وكم هي أعداد النجوم كبيرة، وكم كتلتها ضخمة وبالتالي كم من ملايين الأطنان من الوقود الهيدروجيني في الثانية الواحدة يتحول في النجوم إلى طاقة تنطلق في الفضاء الشاسع ليصل إلينا بعضها مباشرة - كما هو الحال في الشمس، وليتراءى لنا بعضها من خلال تألق النجوم في السماء، ذلك التألق الذي يمثل الطاقة المنبعثة منها بعد اجتيازها المسافات الطويلة لتصل إلينا، ونراها بهذه الصورة المتواضعة ، بعد أن مضى على انبعاثها من النجم العديد من السنوات الضوئية.

وكثيراً ما يستخدم لمعان النجوم (بريقها، سطوعها، تألقها، تألؤها) للدلالة على مظهر واحد، هو وضوح النجم من خلال شدة الضوء التي تصل إلينا، ولا تتعلق درجة لمعان النجم بكمية الطاقة، التي يشعها النجم قدر تعلقها بدرجة قربه وبعده عن الراصد. فهناك من النجوم ما تفوق الشمس بآلاف المرات في مقدار ما تطلقه من الطاقة، إلا أنها ولبعدها الشديد تبدو خافته قياساً بالشمس القريبة منا، وهناك منها ما يقل عن الشمس بحوالي 1/50000 مرة. وهكذا يتراوح سطوع الغالبية العظمى من النجوم بين 10000- 1/10000 مرة من سطوع الشمس.

و يعرف مقياس لمعان النجوم بالقدر، أو المقدار Magnitude ، ونرمز له بالحرف m . و يجب التمييز بين لمعان النجم الحقيقي، ولمعانه الظاهري.

وهكذا يدعى سطوع النجم، كما يبدو لنا حين النظر إليه من سطح الأرض، بالقدر الظاهري. أما سطوعه الفعلي فنعبّر عنه بالقدر المطلق. والقدر المطلق يخبرنا كيف تبدو النجوم، فيما لو وُضعت كلها على نسق بعدي واحد عنها. وقد اعتمدت المسافة 10 بارسك 32.6 سنة ضوئية مسافة معيارية لتقدير السطوع الحقيقي للنجوم، وكان "هيبارخوس" (في القرن الثاني قبل الميلاد) وبطليموس من بعده (القرن الثاني بعد الميلاد) قسما النجوم، حسب أقدارها الظاهرية، إلى ست مجموعات تقسماً عرفياً، فالنجوم التي جعلوها من القدر السادس هي أضعف النجوم نوراً في رؤى العين. أما النجوم التي كانت عندهم من القدر الأول فكانت نحو عشرين نجماً من أشد النجوم لمعاناً في السماء.

أسماء النجوم:

إذا نظرنا إلى السماء في ليلة صافية فنشاهد آلاف النجوم التي تتلألأ هنا وهناك. وسيكون بعض هذه النجوم ساطعاً، وبعضها الآخر لا يكاد يرى. لقد اهتم الفلكيون منذ الأزل بإطلاق اسم على كل نجم من هذه النجوم في السماء. وفي الوقت الراهن تمتلك قلة من النجوم اسماً شائعاً، ولكن جميع النجوم في السماء تمتلك اسماً علمياً يمكن من خلاله الإشارة إلى هذا النجم أو ذاك عند الحديث عن أي شيء متعلق بهذا النجم.

- **الأسماء الشائعة:** لقد أطلق اليونان والعرب أسماء على معظم النجوم الساطعة في السماء ، وهي لا تزال مستخدمة حتى اليوم. وتأتي أسماء هذه النجوم من الأشكال التخيلية التي رسمها القدماء لتجمعات هذه النجوم. بعض النجوم تمتلك نفس الاسم باللغتين العربية والإنكليزية، مثل نجم النسر الطائر الذي يدعى Altair، ونجم رجل الجبار الذي يدعى Rigel، وتختلف أسماء البعض الآخر بين اللغتين ، مثل نجم الشَّعْرَى اليمانية الذي يدعى باللغة اللاتينية Serius أي اللامع، وذلك لأن هذا النجم هو أسطع نجوم السماء.

جدول (1-2) يبين أسماء بعض النجوم الأكثر أسماء لمعاناً والأقدار الظاهرية والمطلقة والمسافات التي تفصلها عنا.

اسم النجم	الكوكبة	القدر الظاهري	البعد (سنة ضوئية)	القدر المطلق
الشَّعْرِي اليمانية	الكلب الأكبر	1.6 -	8.7	1.3+
سُهَيْل	الجُؤجُؤ	0.9-	300	5.5-
الفا قنطورس	قنطورس	0.1	4.3	4.7+
النسر الواقع	الشلياق	0.1	26.5	0.5+
العيوق	ممسك الأعنة	0.2	45	0.5-
السَّمَك الرَامح	العواء	0.2	36	0.0
الرجل	الجبار	0.3	650	6.2-
الشَّعْرِي العبور	الكلب الأصغر	0.5	11.3	2.8
آخر النهر	النهر	0.6	140	2.6-
بيتا قنطورس	قنطورس	0.9	300	4.3-
النسر الطائر	العقاب	0.9	16.5	2.4+
منكب الجوزاء	الجبار	0.9	650	5.6-
نعيم	الصليب الجنوبي	1.1	220	2.7-
الدبران	الثور	1.2	68	0.5-
رأس التوام المؤخر	الجوزاء	1.2	35	1.0+
السَّمَك الأعزل	العذراء	1.2	220	3.2-
قلب العقرب	العقرب	1.2	400	4.5-
فم الحوت	الحوت الجنوبي	1.3	23	2.1
الذئب	الدجاجة	1.3	150	0.7-
قلب الأسد	الأسد	1.3	84	0.1-

- الأسماء العلمية: تصنف جميع النجوم في السماء حسب المجموعة النجمية (الكوكبة) التي تنتمي إليها، إذ يمثل النجم بحرف لاتيني يتلو اسم المجموعة النجمية. ترتيب النجوم في المجموعة الواحدة من الأشد سطوعاً إلى الأقل سطوعاً، تعطى أسماء بالأحرف اللاتينية ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \zeta, \dots$) حسب تسلسلها. مثلاً يشير اسم α -scorpii إلى النجم الأسطع في مجموعة العقرب (scorpion)، والاسم الشائع لهذا النجم هو قلب العقرب باللغة العربية و Antares باللغة اللاتينية. أما نجم رجل الجبار (Rigel) فاسمه العلمي هو β -Ori لأنه ثاني أسطع نجم في مجموعة الجبار (Orion) بعد نجم إبط الجوزاء. الذي يصبح اسمه بالتالي (α -Ori) كما في الشكل (1-15).

الشكل (1-15): النجوم الرئيسية في مجموعة الجبار حيث تظهر أسماؤها العلمية. إن النجم الساطع في الأعلى والأيسر هو إبط الجوزاء. أما النجم الساطع في الأسفل واليمين هو نجم رجل الجبار.

حركة النجوم:

إن النجوم ليست ثابتة بالنسبة إلى بعضها البعض، وإنما تتبعثر في المجرة في جميع الاتجاهات مقترية من بعضها البعض أو مبتعدة عن بعضها. وتتجلى هذه الحركة للراصد على الأرض بتبدل طفيف وبطيء للغاية في مواقع النجوم على الكرة السماوية. وينبغي أن نميز بين حركة النجوم بالنسبة إلى بعضها، وبين حركة النجوم اليومية والسنوية. فالنجوم مثلها مثل الشمس تشرق في كل يوم من الشرق وتغرب من الغرب. وتتحرك في الليلة الواحدة كما تتحرك الشمس في النهار. أما الحركة التي نتحدث عنها فهي حركة النجوم بالنسبة إلى بعضها البعض، وتبدل مواقعها نسبة لبعضها البعض. وسنصف حركة النجوم كما يراها الراصد من الأرض، حركة الشمس في الفضاء وحركة النجوم في الكوكبة، كما في الشكل (1-16).



الشكل (1 - 16): إذا نظرنا باتجاه كوكبة هرقل وراقبنا النجوم بالنسبة لبعضها البعض خلال السنين فسنكتشف بان هذه النجوم تبدو وكأنها تتباعد عن بعضها البعض. إن سبب ذلك في الواقع هو أن الشمس تتقدم بهذا الاتجاه . ولذلك يبدو الأمر وكأننا ندخل بين النجوم.

1- الحركة القطرية : وهي حركة النجم باتجاه الشمس أو بعكس اتجاه الشمس، أي أن النجم إما أن يقترب من الشمس أو يبتعد عنها، وهي المركبة العمودية على الكرة السماوية بالنسبة إلى المراقب الأرضي. يمكن تحديد هذه الحركة من خلال دراسة طيف النجم.

2- الحركة الظاهرية: وهي حركة النجم كما تبدو لنا على خلفية النجوم، أي أن النجم يمكن أن يتحرك بأي اتجاه على سطح الكرة السماوية. وهي المركبة التي تنطبق على الكرة السماوية بالنسبة إلى المراقب الأرضي.

3- الحركة الحقيقية: هي الحركة الواقعية للنجم في الفراغ ثلاثي الأبعاد التي تنتج عن دمج المركبتين السابقتين.

حركة الشمس: لمعرفة اتجاه حركة الشمس لنفترض أن الشمس تسير في خط مستقيم، وأن النجوم الواقعة في اتجاه حركة الشمس سوف تبدو متباعدة عن بعضها بالنسبة للناظر كلما اقترب منها. أما النجوم الواقعة بعكس اتجاه حركة الشمس فسوف تبدو متقاربة من بعضها بالنسبة إلى الناظر كلما ابتعد عنها. وبذلك اكتشف وليم هرشل في عام 1783 أن الشمس تتحرك باتجاه كوكبة هرقل الجاثي (Hercules) كما في الشكل (1-16).

حركة النجوم في الكوكبة: المجموعات النجمية أو الكوكبات هي عبارة عن مجموعات اصطلاحية تضم النجوم المتجاورة التي نراها على القبة السماوية ضمن نماذج مسطحة ثنائية الأبعاد. وتحتوي كل كوكبة على عدد يزيد أو ينقص من النجوم، مثل كوكبة الجبار وكوكبة الدب الأكبر وكوكبة الميزان. وبذلك يفترض هذا التصنيف بأن النجوم تتوضع على سطح واحد دون أن يأخذ بعين الاعتبار أن بعض هذه النجوم قريب منا والبعض الآخر بعيد جداً، وبالتالي لا علاقة لها ببعضها البعض. وبما أن النجوم تتبعثر في اتجاهات مختلفة، فمن المنطقي أن تتبدل الكوكبات بشكل بطيء مع مرور الزمن نظراً إلى أن النجوم المؤلفة لها ليس لها علاقة ببعضها البعض. ولكن هذا التبدل يحتاج إلى وقت طويل يصل إلى آلاف السنين حتى يصبح مرئياً، الشكل (1-17).

الشكل (1-17):تغير مواقع النجوم بالنسبة إلى بعضها البعض خلال فترات زمنية طويلة جداً. فمثلاً يظهر الشكل في الأعلى كيف كانت كوكبة الدب الأكبر منذ حوالي 100000 سنة. وتظهر كوكبة الدب الأكبر في الوسط كما هي الآن. أما في الأسفل فنشاهد هذه الكوكبة كما ستكون بعد حوالي 100000 سنة من اليوم. إن سبب هذا التغير هو عدم وجود علاقة أصلاً بين هذه النجوم. فكل منها يتحرك بسرعة مختلفة عن الآخر وباتجاه مختلف عن الآخر مقترباً أو مبتعداً عن الشمس. تظهر الصور أيضاً تسمية النجوم في مجموعة الدب الأكبر حسب الأسماء الشائعة وحسب الأسماء العلمية. لاحظ أن جميع هذه الأسماء الشائعة مشتقة من اللغة العربية.

أقدار النجوم:

تختلف النجوم في درجة سطوعها، فبعضها يظهر لعين الإنسان بمجرد غياب الشمس تحت الأفق بسبب لمعانه ووضوحه. وبعضها الآخر بالكاد نستطيع تمييزه في ليلة صافية بعيداً عن أضواء المدينة. وقدّر النجم (Magnitude) هو مقدار سطوع هذا النجم مشاراً إليه برقم يعبر عن هذا المقدار.

القدر الظاهر: هو قوة إضاءة النجم كما يرى من الأرض. ومن خلاله يمكننا أن نقارن بين شدة إضاءة النجوم بالنسبة إلى المراقب ارضي. وأول من وضع مقياس القدر الظاهر هو هيباركوس (Hipparcus) الذي قسم نجوم السماء بشكل تقديري بالعين

المجردة إلى ست مجموعات من 1 إلى 6 . بحيث تكون النجوم من القدر الأول هي أشد النجوم إضاءة.

وبالكاد يمكن رؤية نجوم المجموعة السادسة بالعين المجردة. إن الأجرام السماوية التي تفوق إضاءتها أشد النجوم سطوعا يمكن أن تأخذ أرقاما سلبية. إذ يصل القدر الظاهري للزهرة في أشد سطوع لها إلى قيمة -4. وباستخدام منظار عادي نشاهد النجوم التي يبلغ قدرها الظاهري 10. أما بالتلسكوبات الأرضية الكبيرة فيمكن مشاهدة نجوم يصل قدرها إلى 24.

القدر المطلق: إن مشكلة القدر الظاهري أنه يعتمد على كيفية رؤيتنا للنجم. فقد يكون قدر النجم الأول ٤ وقدر النجم الثاني 6 كما نراهما من الأرض لأن النجم الأول أقرب من النجم الثاني إلينا. ولكن إذا وضعنا النجمين على نفس المسافة منا فسيصبح قدر النجم الأول أقل من قدر النجم الثاني. ومن هنا جاء القدر المطلق وهو شدة إضاءة النجم حين يوضع افتراضيا على مسافة 10 بارسك من الأرض ، وهو يعكس السطوع الحقيقي للنجم حين توضع جميع النجوم على مسافة واحدة ويمكن عندئذ مقارنتها مع بعضها البعض بشكل صحيح.

سطوع النجم (luminosity): هي الكمية الإجمالية من الطاقة التي يشعها النجم في وحدة الزمن، وهي لانتشير فقط إلى الأشعة المرئية، وإنما إلى كافة أطوال أمواج الطيف الكهرطيسي.

أطياف النجوم:

النجوم هي مصنع للطاقة نتج كميات هائلة من الأشعة الكهرطيسية على كامل طيفها . لقد أتاحت دراسة أطياف النجوم خلال القرن الماضي كشف الكثير من الأسرار التي لم يكن الإنسان يحلم بالحصول عليها في يوم من الأيام نظراً إلى الأبعاد الهائلة لهذه الأجرام عنا. سنتطرق إلى قوانين كيرشوف الضرورية لفهم كيف تفسر طيف النجم، تصنف النجوم حسب أطيافها.

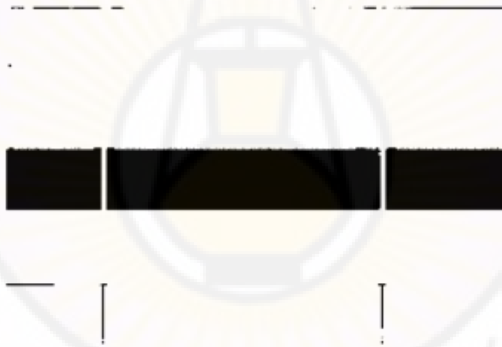
قوانين كيرشوف:

وضع كيرشوف ثلاثة قوانين تصف الأطياف الصادرة عن الأجسام إلى طيف مستمر، طيف إصدار، طيف امتصاص:

1- إن الجسم الصلب السائل أو الغازي الكثيف الساخن يصدر طيفاً مستمراً يحتوي على جميع أطوال الأمواج.

2- إن الغاز الساخن منخفض الكثافة يصدر عنه طيف إصدار يحتوي على خطوط ملونة رفيعة ذات أطوال أمواج معينة تفصل بينها مناطق عريضة سوداء.

3- إذا مررنا طيفاً مستمراً عبر غاز بارد نحصل على طيف امتصاص يتألف من طيف مستمر يحتوي على خطوط قائمة رفيعة ذات أطوال موجيه معينة كما في الشكل(1-18).



الشكل(1-18): إذا قمنا بتحليل الضوء الصادر عن مصباح كهربائي بواسطة مقياس الطيف فسنشاهد طيفاً مستمراً يشمل على جميع أطوال الأمواج كما في الشكل العلوي. إذا قمنا بتحليل الضوء الصادر عن نوع خاص من المصابيح يحتوي على غاز الهيدروجين (غاز ساخن منخفض الكثافة) فسنشاهد خطوط الإصدار التي تصدرها ذرات الهيدروجين فقط. ولن تكون بقية أطوال الأمواج موجودة كما نشاهد في الشكل المتوسط. وأخيراً إذا كان غاز الهيدروجين موجوداً بين المصباح المضئ العادي وبين المنظار فإن الغاز سيمتص أطوال أمواج معينة مودياً إلى ظهور طيف الامتصاص كما في الأسفل.

التصنيف الطيفي للنجوم:

تمكن العلماء من خلال دراسة أطياف النجوم بواسطة المقياس الطيفي من تحديد العناصر الكيميائية الموجودة في هذه النجوم من خلال مقارنة الأطياف التي حصل عليها مع أطوال لأمواف المعروفة لإصدار العناصر الكيميائية الشائعة على كوكب الأرض أو امتصاص، كما تمكن العلماء من تحديد درجة حرارة النجم من خلال بعض التبدلات التي تطرأ على هذه الخطوط مع تبدل حرارة النجم.

وقد وجد أن هناك علاقة بين درجة حرارة النجم، لون النجم ، خصائص طيف النجم، والطاقة الصادرة عن النجم. وبذلك أمكن تصنيف النجوم من الناحية الطيفية إلى 7 أنماط يرمز لكل منها بحرف أجنبي. وتنقسم كل مجموعة إلى تحت أنماط ترقم من 0 إلى 9 . وبذلك فإن الشمس تُعدّ من النمط G2 . إذ يمثل الجدول الآتي الأنماط الطيفية السبعة للنجوم وخصائصها.

الجدول (1-3) بين الأنماط الطيفية السبعة للنجوم وخصائصها.

نوع النجم	اللون	الدرجة الحرارية	الدرجة اللونية
النجوم الباردة جداً	أحمر	3000 ك	0
النجوم الباردة	أحمر	4000 ك	1
النجوم المعتدلة	أصفر	5000 ك	2
النجوم المعتدلة	أصفر	6000 ك	3
النجوم المعتدلة	أصفر	7000 ك	4
النجوم المعتدلة	أصفر	8000 ك	5
النجوم المعتدلة	أصفر	9000 ك	6
النجوم المعتدلة	أصفر	10000 ك	7
النجوم المعتدلة	أصفر	11000 ك	8
النجوم المعتدلة	أصفر	12000 ك	9

تصنيف النجوم حسب مخطط هرتز - روسيل:

وُضعَ هذا المخطط بشكل مستقل من قبل الفلكي الدانمركي هرتزل (Einar Hertzsprung) في عام 1905 والفلكي الأمريكي روسيل (Henry Russell) في عام 1913. يُعدّ هذا المخطط مفيداً للغاية في فهم طبيعة النجوم وتطورها. يُحصل على مخطط هرتز - روسيل بتمثيل النجوم على خط بياني. يمثل المحور الأفقي النمط الطيفي

للنجم أو درجة حرارة النجم من الأسخن إلى الأبرد، أما المحور العمودي فهو يمثل سطوع النجم أو القدر المطلق للنجم.

تُوصَّلُ إلى هذا المخطط حين فكر هذان الفلكيان بالصدفة بتمثيل النجوم على مخطط بياني حسب درجة حرارتها و سطوعها، وقد وجدنا أن هناك علاقة واضحة بين درجة الحرارة وبين القدر المطلق. كلما زادت درجة حرارة النجم ازداد القدر المطلق له، إذا كان لدينا نجم ساخن ونجم بارد ووضعنا كلا النجمين على نفس المسافة منا فنجد أن النجم الأسخن أكثر سطوعاً من النجم الأبرد، أي أن القدر المطلق له أكبر. أي أن النجوم الساخنة هي إجمالاً أشد سطوعاً.

حين درس هذا المخطط بشكل جيد وجد أن النجوم تتجمع في ثلاث مناطق كما في الشكل (1-19):

1- نجوم التسلسل الرئيسي: توجد معظم النجوم في هذه المنطقة، حيث وجد أن النجوم الواقعة في هذه المنطقة تتميز بأنه كلما كانت حرارتها أعلى كان سطوعها أشد. فهناك علاقة تناسب نظامية ومتوقعة بين درجة الحرارة وسطوع النجم. علماً أن الشمس تقع في هذه المجموعة.



الشكل (1-19): مخطط هرتز - روسيل يعتد تمثيلاً بسيطاً للنجوم على خط بياني بحيث يشكل المحور الأفقي درجة حرارة النمط (النجوم الباردة في الأيمن والساخنة في الأيسر)، ويشكل المحور العمودي القدر المطلق أو سطوع النجم (النجوم الساطعة في الأعلى والنجوم الخافتة في الأسفل).

2-الاقزام البيضاء: لقد وجد عند دراسة هذا المخطط أن هنالك مجموعة من النجوم ذات درجة حرارة مرتفعة مع أن سطوعها منخفض جداً، أي أن السطوع غير متناسب مع درجة الحرارة العالية. توجد هذه المجموعة من النجوم في أسفل التسلسل الرئيسي وأيسره، وهي تحتوي على نسبة صغيرة من النجوم. وقد اطلقت تسمية الأقزام البيضاء

على هذه المجموعة نظراً إلى أنها ذات درجة حرارة مرتفعة جداً فتظهر بلون أبيض، ولكنها أيضاً صغيرة للغاية (أقزام)، ولذلك فإن سطوعها منخفض جداً، وهذا النوع من النجوم يشكل المرحلة النهائية في حياة النجوم ذات الحجم الصغير والمتوسط.

3- العمالقة الحمراء: أظهرت دراسة هذا المخطط أيضاً أن هناك مجموعة أخرى من النجوم غير الطبيعية ذات درجة الحرارة المنخفضة مع أن سطوعها مرتفع جداً، أي أن السطوع غير متناسب على الإطلاق مع درجة الحرارة المنخفضة. توجد هذه النجوم في أعلى مخطط التسلسل الرئيسي وأمينه. وهي تحوي نسبة صغيرة من النجوم كذلك، وقد أطلقت تسمية العمالقة الحمراء على هذه المجموعة نظراً إلى أنها ذات درجة حرارة منخفضة جداً فتظهر بلون أحمر. ولكنها أيضاً كبيرة للغاية (عمالقة)، ولذلك فإن سطوعها مرتفع جداً. وإن هذا النوع من النجوم يشكل إحدى المراحل التي يمر بها النجم في طريقه إلى نهايته المحتومة.

1-4- الشمس والمجموعة الشمسية:

1-4-1- مقدمة:

تتنتمي الشمس إلى تجمع نجمي كبير يضم أكثر من مئتي ألف مليون نجم يعرف باسم مجرة درب التبانة، تكونت قبل ما يقارب 4.5 مليار سنة، وتقع المجموعة الشمسية في إحدى أذرع مجرة درب التبانة على بعد 30000 سنة ضوئية تقريباً من مركز المجرة، و 20000 سنة ضوئية من أقرب أطرافه، وتدور الشمس حول مركز المجرة بسرعة 220 كم/ثانية، وتتم دورة كاملة مع مجموعتها حول مركز المجرة في مدة تصل إلى 225 مليون سنة، وهذا يعني أن الشمس ومعها مجموعتها قد دارت حول مركز المجرة 20 دورة منذ نشأة المجموعة الشمسية.

تتكون المجموعة الشمسية من نجم متوسط الحجم هو الشمس، وتوجد على هيئة كرة ضخمة من غاز الهيدروجين الذي تكثف على ذاته، وتهيمن الشمس بقوة جاذبيتها على حركة كافة أجرام المجموعة الشمسية من كواكب وتوابع وكويكبات ومذنبات ونيازك، وهي مصدر كل من الحرارة والنور على أسطح تلك الأجرام بما تشعه من طاقة.

وتوجد ثمانية كواكب تدور حول الشمس، مكونة ما يسمى المجموعة الشمسية، وهذه الكواكب تترتب في مدارات حول الشمس من الداخل إلى الخارج كما يأتي: عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زحل، أورانوس، نبتون، والكواكب الأربعة الأولى عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ تسمى بالكواكب الداخلية أو الكواكب الصخرية بينما تسمى الكواكب الأربعة الأخرى (المشتري، زحل، أورانوس، نبتون) بالكواكب الخارجية أو الغازية لتكون أغلبها من الغازات.

وبالإضافة إلى كواكب المجموعة الشمسية وأقمارها فإن بداخل تلك المجموعة أعداداً هائلة من الكويكبات والمذنبات، فهناك حزام من أجرام صغيرة نسبياً تدور حول الشمس خارج مدار المريخ، ويطلق عليها اسم حزام الكويكبات التي يبلغ قطر أكبرها حوالي 920 كم، وأصغرها في حجم ذرات الغبار.

يتكون من الشمس وما يدور حولها من كواكب وأقمار وكويكبات ومذنبات ونيازك وشهب، وكذلك المادة ما بين الكواكب، ما يعرف بالوسط الكوكبي. ويعتقد أن المجموعة الشمسية تكونت من سحابة غازية منذ 4600 مليون سنة، إذ أخذت السحابة في الانكماش، فارتفعت درجة الحرارة في أجزائها الداخلية وتكونت الشمس، التي أخذت تقذف حولها حلقات من الغاز، تكتفت في النهاية على هيئة كواكب وأقمار، وما تبقى من السحابة نراه على هيئة ركام عند أطراف المجموعة الشمسية، ويعرف بسحابة أورث Oort التي تنطلق منها المذنبات .

إذاً: الشمس أقرب نجم إلى الأرض وينتمي إلى فصيلة النجوم القزمة الصفراء، والشمس تمثل 99 % من كتلة المجموعة الشمسية كلها، ويقدر العلماء عمرها بنحو أربعة مليارات ونصف عام، عندما وجد سديم من الغاز المكون في معظمه من الهيدروجين اخذ في التمرکز والدوران حول نفسه مولداً الطاقة والضغط الكافيين لاندماج ذرات الهيدروجين معلنة بدء ولادة النجم، ويقدر العلماء وبحسب كمية الهيدروجين المتبقية أن المتبقي من حياة الشمس حوالي خمسة مليارات عام فقط، تتمدد بعدها لتصبح عملاق أحمر يبتلع مدارات الكواكب التي تدور حوله، ثم تبدأ في الاضمحلال و الإنكماش إلى

أن تصل إلى قزم أبيض أصغر بكثير من حجمها الحالي ثم إلى قزم أسود بعد ذلك. الشكل (1-20) يمثل صورة الشمس.



الشكل (1-20): شكل الشمس.

1-4-2. موقع الشمس:

توجد الشمس في إحدى أذرع مجرة درب التبانة، وتبعد عن مركز المجرة حوالي 30 ألف سنة ضوئية. تنتمي الشمس إلى حشد نجوم صغير ومفتوح مكون من 140 نجماً تقريباً، تدور الشمس حول مركز المجرة كل 225 مليون سنة تقريباً، كما تقوم الشمس بحركة أخرى معامدة لمدارها حول مركز المجرة، وتتجز هزة واحدة كل 28 مليون سنة.

1-4-3. وصف الشمس:

وتقدر كتلة الشمس بنحو 1990 تريليون تريليون طن - التريليون يساوي مليون مليون - أي تمثل 330000 مرة كتلة الأرض، وهي قوة كافية لخلق جاذبية كافية للحفاظ على النظام الشمسي بالكامل، وتبعد عن الأرض مسافة 14960000 كيلو متر (93 مليون ميل)، وتبعد عن أقرب نجم لها مسافة 4.3 سنة ضوئية.

تبلغ درجة حرارة الشمس في مركزها 14 مليون درجة مئوية، وعلى سطحها حوالي 5500 درجة مئوية، أما البقع الشمسية فهي أقل حرارة إذ تبلغ 4000 درجة مئوية، وتبلغ سرعة الرياح الشمسية 3 مليون كيلومتر في الساعة، ويقدر إشعاع الشمس أو الطاقة

الشمسية المتولدة بنحو 390 مليار مليار ميغاواط، وتفقد الشمس بالإشعاع حوالي عشرة ملايين طن كل ثانية من مادتها، كما تفقد 600 مليون طن كل ثانية من مادتها بالتفاعلات النووية في قلبها.

1-4-4- مكونات الشمس:

تتكون الشمس مثل باقي النجوم من الهيدروجين مكوناً أساسياً يمثل 92 % من حجمها، وخلال عملية إنتاج الطاقة تتحول ذرة الهيدروجين إلى الهيليوم الذي يمثل 7.8% من مكونات الشمس، والباقي عناصر أخرى مثل الأوكسجين الذي يمثل 0.06% والكربون والكبريت والنيتروجين.

1-4-5- طبقات الشمس:

تتكون الشمس من عدة طبقات: 1- النواة 2- منطقة الإشعاع 3- منطقة النقل 4- الفوتوسفير 5- الغلاف الجوي الشمسي الذي يتألف من :
1-الكروموسفير 2- الإكليل الشمسي 3- الأشواك الشمسية 4- الرياح الشمسية 5- الحلقات الشمسية 6- فجوات في الإكليل، كما في الشكل (1-21).
- النواة أو مركز الشمس: والمكون من الغاز المضغوط - يعادل الضغط داخل المركز 340 مليار مرة الضغط الجوي على سطح البحر في الأرض - وفي حالة تسمى حالة بلازما (الحالات الأخرى للمادة صلبة، سائلة، غازية) - وحالة البلازما ببساطة هي الحالة التي يكون فيها جزيء المادة قد تعرض لحرارة وضغط كبيرين ويبدأ الإلكترون في الإفلات من نواته عندها تكون حالة البلازما- وهذا المكان (النواة) هو مصدر إنتاج الطاقة التي تأخذ طريقها نحو الخارج، وتمر عبر طبقات للشمس حيث تحمل جزيئات الضوء (الفوتون) بالطاقة، وتتسرب إلى الطبقات العليا، وفي الحقيقة إن عملية تحميل الفوتون للطاقة واندفاعه للخارج تستغرق حوالي مليون سنة، وهناك وخلال العملية التي تشبه الغليان تخرج الطاقة.

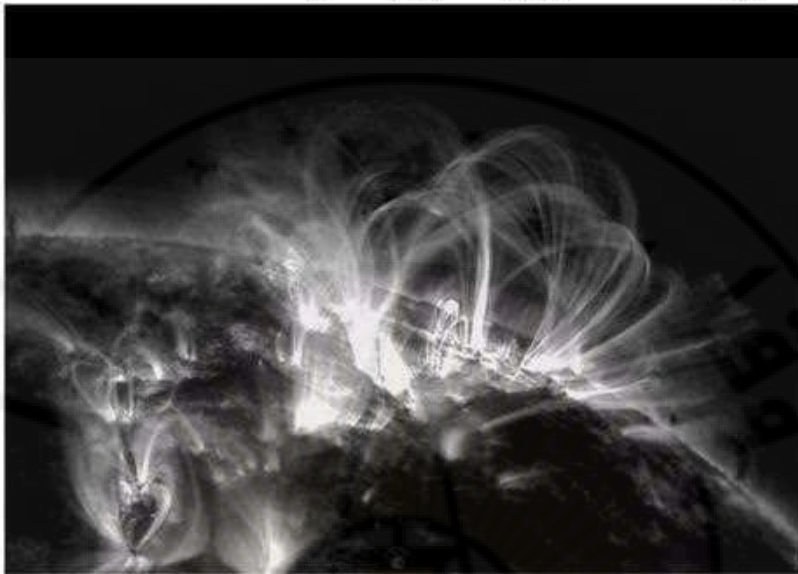


الشكل (1-21): بنية الشمس. تتألف من الداخل إلى الخارج من الطبقات الآتية: النواة، منطقة النقل، الفوتوسفير الذي يحتوي على الكلف (البقع) الشمسية. وفوق الفوتوسفير يتوضع الغلاف الجوي للشمس بدءاً من الكروموسفير وأشواكه الشمسية، الإكليل الشمسي والفجوات الموجودة فيه، ثم الرياح الشمسية التي تمتد بعيداً عن الشمس.

- الانفجارات الشمسية :

وهي ظاهرة تتكرر باستمرار خلال دورة نشاط تتكرر كل 11 سنة، وتحدث عندما تزيد الطاقة المغناطيسية وتتحرك فجأة، فينبعث ضوء أبيض شديد التوهج نتيجة لذلك، وقد لوحظ أول مرة في سبتمبر عام 1859 من قبل الفلكي البريطاني ريتشارد كارنجتون عندما كان يتابع البقع الشمسية، ولاحظ ظهور ضوء أبيض باهر ظهر فجأة، والانفجار الشمسي يطلق الغازات المشحونة كهربائياً بسرعة ثلاثة ملايين كيلومتر في الساعة باتجاه الأرض، وإن بعضها يخترق الغلاف المغناطيسي، وتؤثر في إحدى طبقات الغلاف الجوي وهي طبقة (الأيونوسفير)، هذه الجسيمات عالية الطاقة تحدث اضطراباً في الحالة الأيونية في طبقة الأيونوسفير التي تعمل على تغيير المجال المغناطيسي للأرض وهذا

يؤثر في الاتصالات اللاسلكية على الأرض، خاصة أنها تعتمد على الموجات الكهرومغناطيسية، لاحظ الشكلين (22-1) و(23-1).



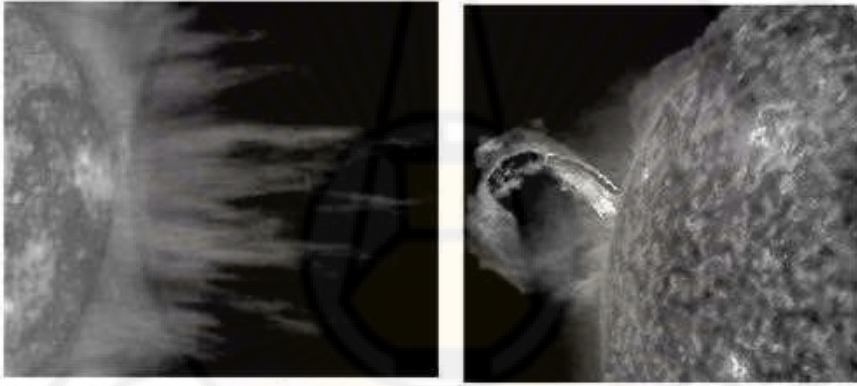
الشكل (22-1): الطاقة المغناطيسية على سطح الشمس .



الشكل (23-1): الانفجارات الشمسية.

- الرياح الشمسية :

وهي من أكبر العوامل التي تؤثر في طبقة (المغنيتوسفير) المغنطيسية للأرض في طبقات الجو العليا، بما تحمله من إلكترونات حرة سالبة، ونوى ذرات الهيدروجين والهيليوم التي تحتوي على البروتونات الموجبة، وتتدفق الرياح الشمسية عادة بسرعة 320 كيلومتراً في الثانية، ولكنها قد ترتفع إلى أكثر من 800 كيلومتر في الثانية عند ذروة النشاط الشمسي، وخاصة عند حدوث الانفجارات، كما في الشكل (1-24)، وتقوم الشمس بهدم مجالها المغنطيسي كل ألف عام، والأرض غيرت مجالها المغنطيسي 176 مرة منذ نشأتها منذ 4550 مليون سنة حتى الآن، ولا أحد يعرف كيف يحدث ذلك.



الشكل (1-24): الرياح الشمسية.

-البقع الشمسية:

هي مناطق اضطراب ومساحات قائمة توجد على سطح الشمس تنجم عن تركيز مجالات مغنطيسية غير مستوية. وتكون أبرد من المناطق التي حولها وهذا يجعلها أقل خفوتاً من المناطق المحيطة بها، وتظهر على شكل بقعة مستديرة أو بيضاوية مركزها مظلم نسبياً، وتكون مملوءة بطاقة مغنطيسية يمكن أن تتطلق كبركان، وتنمو البقع وتتسع وتستغرق في ذلك من أسبوع إلى أسبوعين وتستغرق حوالي أسبوعين آخرين لتتلاشى، كما في الشكل (1-25).



الشكل (1-25): البقع الشمسية.

- الشمس و الإكليل الشمسي :

يسمى قرص الشمس المرئي بالعين المجردة: الغلاف الضوئي photosphere، و هو يمثل الحدود الخارجية لتفاعل الفوتونات مع المادة الشمسية، وتبلغ درجة حرارتها بحدود 5800 كيلفن (5527°C) .

تُعدّ الشمس (و هي النجم الأقرب إلى الأرض) مخبراً خارقاً بالنسبة إلى علماء الفلك، يتألف الجزء الخارجي من غلافها الجوي (الإكليل الشمسي SUN CORONA) من كميات هائلة من المادة، تمتد ملايين الكيلومترات، و تحتضن العديد من الظواهر الفيزيائية فائقة الأهمية، إذ :

- تفوق درجة حرارة الإكليل الشمسي حرارة سطح الشمس، وتنتشر بذلك حرارة الشمس عبر الإشعاع والحملان الحراري .

- يحتجب قرص الشمس جزئياً عن الأرض، خلال ظاهرة الكسوف التي فسرها الإغريق عملياً (أميدوكل Empedocle عام 450 قبل الميلاد)، بعد أن كان الصينيون قد عللوها

بالتهام قرص الشمس (من قبل التنين "دراغون" بلسانه الناري!) و كان العالم هيل Hale أول من كشف بوضوح وجود حقل مغنطيسي شمسي (عام 1908م)، معللاً بذلك التوزيع القنواتي channel distribution عند تحليله للكسوف الشمسي لعام 1878.

- يُعدّ الحقل المغنطيسي الشمسي، الذي ينشأ عن التفاعل المتبادل بين الدوران التفاضلي (بطيء في القطب و سريع عند الاستواء) و الحركة الحملانية في الشمس، دوراً أساسياً في نشوء هذه الظواهر و استمرارها، و ذلك عبر تفاعله المتبادل مع المادة المتأينة.

- كما فتحت الأرصاد الفلكية الجارية حديثاً عبر الأشعة السينية، آفاقاً جديدة في دراسة الإكليل الشمسي، أهمها الكشف عن أن الإكليل ليس متجانساً (سكاي لاب 1973)، ويتضمن مساحات ساطعة بالأشعة السينية، ناجمة عن تسخين غير عادي، يعود لتفاعل المادة الإكليلية مع الحقل المغنطيسي الشمسي، إذ تأخذ هذه المساحات المضيئة أشكالاً قوسية و تدوم لفترة ساعات و حتى أيام ، تقذف خلالها المادة الإكليلية بأحجام هائلة نحو الفضاء ! و بهذا يكون الحقل المغنطيسي المحرك الرئيس لهذه الاندفاعات التي تبدأ باندفاع قوس مغنطيسي تقع جذوره تحت الجزء المرئي من الشمس، و يفجر "فقاعة مغنطيسية" تترافق بإفراغ هائل للطاقة (و بخاصة الطاقة الحرارية).

تتجم حلقات الهالة الشمسية عن تراصف الجزئيات الساخنة الموجودة في الهالة الشمسية على طول خطوط الحقل المغنطيسي الشمسي الشكل (1-26).



الشكل (1-26): حلقات الهالة الشمسية وخطوط الحقل المغنطيسي الشمسي.





الفصل الثاني

الحقل الجاذبي الأرضي وشكل الأرض

2-1-1 مقدمة:

إن سبب قوة الجذب بين الأجسام هو كتلتها، أي كمية المادة المكونة لها. وبسبب هذه القوة فإن الأجسام التي على الأرض أو بالقرب منها تتجذب إليها. وتسبب قوة الجذب الخاصة بالشمس والقمر إحداث المد والجزر لمياه المحيطات والبحار على الأرض. وقد درس الفلكيون القدامى حركة القمر والكواكب، ولكن هذه الحركة لم تفسر بشكل صحيح إلا في أواخر القرن السابع عشر، عندما أوضح العالم الإنجليزي إسحق نيوتن (1642-1727م)، أن هناك ارتباطاً بين القوى الجاذبة للأجسام نحو الأرض وأسلوب حركة الكواكب.

بنى نيوتن دراسته على الدراسة الدقيقة لحركة الكواكب التي قام بها إثنان من الفلكيين في أواخر القرن السادس عشر الميلادي، وهما تيوخو براهي الدنماركي ويوهان كيبلر الألماني. ومن القوانين الثلاثة التي اكتشفها كيبلر أوضح نيوتن كيف أن قوة الجذب للشمس لابد أن تقل بزيادة المسافة، وافترض أن جذب الأرض لابد أن تسلك ذات السلوك، فتمكن من حساب القوة التي تجذب القمر إلى الأرض عند سطحها. أما عالم الطبيعة الإيطالي غاليليو غاليلي (1564-1642 م) فقد قدم إسهامات جيدة في مراقبة الأجسام الساقطة تجاه الأرض، واستنتج أن معدل تسارع الجاذبية الأرضية ثابتة بالنسبة إلى كل الأجسام، وأن سرعة الجسم الساقط تساوي في الثانية الأولى نصف قيمة تسارع الجاذبية في مكان سقوطه إلى سطح الأرض.

2-2-1 قوانين كيبلر ونيوتن للحركة والجاذبية:

2-2-1-1 قوانين كيبلر:

تمكن أحد علماء الفيزياء والفلك يوهان كيبلر خلال دراسة طويلة لحركة الكواكب حول الشمس، وبدعم من ملاحظات أستاذه تيوخو براهي (1546-1601)، ومعتداً على قياساته التي أجراها بنفسه، من وضع قوانين تصف حركة الكواكب السيارة حول الشمس وذلك في الفترة (1609-1619م).

القانون الأول: ينص هذا القانون على أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات بيضاوية (إهليلجية)، بحيث تكون الشمس في إحدى بؤرتي المدار كما هو موضح في

الشكل (1-2). وتعرف نقطة الحضيض بأنها أقرب نقطة في المدار إلى مركز الشمس، ونقطة الأوج بأبعد نقطة في المدار عن مركز الشمس .



الشكل (1-2): المدار الإهليلجي للكوكب.

القانون الثاني: عند دوران الكوكب حول الشمس يغطي الخط الذي يصل الكوكب بالشمس مساحات متساوية في أوقات متساوية كما هو موضح في الشكل (2-2).



الشكل (2-2): قانون كيبلر الثاني.

بمعنى أن السرعة تزداد إذا اقترب الكوكب من الشمس حتى تصل إلى أعلاها عند ما يسمى بنقطة الحضيض، ثم تقل إذا ابتعد عنها حتى تصل إلى أقل قيمة لها عند نقطة الأوج.

القانون الثالث: اكتشف كيبلر قانونه الثالث بعد مضي عشر سنوات تقريباً من طرحه القانونين الأول والثاني، فقد تبين له أن مربع زمن دورة الكوكب حول الشمس تتناسب تناسباً طردياً مع مكعب نصف المحور الكبير (أو متوسط المسافة بين الكوكب والشمس).

2-2-2- قوانين نيوتن:

استعان إسحق نيوتن (1642-1727م) بقوانين كيبلر وخصوصاً القانون الثالث بوصفها أساسيات في طرحه لنظرية الجاذبية الأرضية. لقد عبر نيوتن بقانونه عن قوى الجذب الموجودة بين جسمين M و m المسافة بينهما r الشكل (2-3)، بأن قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما وطردياً مع كتلة كل منهما، وكانت الصيغة الرياضية كما يأتي:

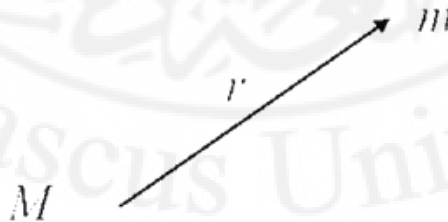
$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

حيث G ثابت الجاذبية العالمي ويساوي:

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ نيوتن} \cdot \text{متر}^2 / \text{كغم}^2 = \text{م}^3 / \text{كغم} \cdot \text{ثا}^2$$

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \equiv (\text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2)$$

تصف قوانين نيوتن للحركة العلاقة بين حركة الجسم والقوى المؤثرة فيه .



الشكل (2-3): الجذب بين جسمين مختلفي الكتلة المسافة بينهما r .

القانون الأول (قانون الاستمرارية): إن الجسم المتحرك في خط مستقيم أو الثابت سوف يبقى على حالته إذا لم يؤثر فيه بقوة، بمعنى أن السرعة (في حالة الجسم المتحرك) سوف تكون ثابتة إذا لم يكن هناك قوى مؤثرة .

القانون الثاني: إذا كان هناك قوة مؤثرة في جسم ما، فإنه سوف يتسارع بقيمة تتناسب مع القوة المؤثرة وفي نفس الاتجاه، وبصيغة رياضية :

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

متجه القوة = الكتلة × متجه التسارع

أما القانون الثالث: فبالإمكان صياغته على النحو الآتي :
" لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه".

2-3- الجاذبية الأرضية:

إن القوة المطبقة على جسم واقع على سطح الأرض نتيجة الجاذبية، بغض النظر عن القوة النابذة عن دوران الأرض وتأثير عدم التجانس في مركبات الأرض هي :

$$F = G \frac{M_E \cdot m}{R^2}$$

حيث :

m - هي كتلة الجسم الواقع على سطح الأرض

M_E - هي كتلة الأرض.

R - هي نصف القطر الوسطي للأرض.

حيث إن كتلة الأرض = 5.974×10^{24} كغ.

وحسب قانون نيوتن الثاني تكون القوة التي يخضع لها جسم كتلته m يسقط سقوطاً حراً تحت تأثير الجاذبية هي :

$$F = m \cdot g$$

ومن المعادلتين السابقتين نجد :

$$F = m \cdot g = G \frac{M_E \cdot m}{R^2}$$

$$g = G \frac{M_E}{R^2}$$

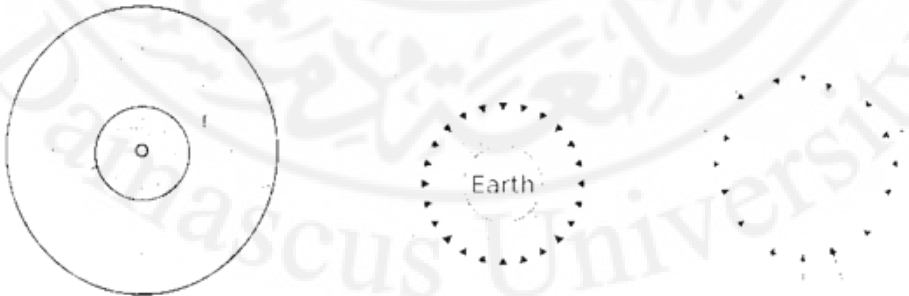
يعبر عن (g) في جملة cgs بالسم/ثا²، ويطلق الجيوفيزيائيون على هذه الوحدة اسم الغال (gal) نسبة إلى غاليلو وقيمة (g) الوسطية هي بحدود 980 غال أو 9.8 م/ثا² في جملة SI.

يظهر من المعادلة السابقة إن تحديد قيمة (g) و (G) يؤدي لمعرفة كتلة الأرض، وبمعرفة حجم الأرض الوسطي يمكن معرفة الكثافة الوسطية للأرض، التي حددت بـ 5.52 غ/سم³.

يلاحظ أن هذه القيمة أعلى من الكثافة الوسطية لصخور القشرة الأرضية، وهذا دعا للاعتقاد بوجود ازدياد للكثافة طردا مع العمق.

- الكمون الجاذبي :

الحقل الجاذبي حول كتلة m هو حقل شعاعي أشعته متجهة نحو الكتلة الجاذبة m ، وهذه الأشعة متعامدة مع سطوح تساوي الكمون equipotential surface .



الشكل (2-4): سطوح تساوي الكمون.

2-4- شكل الأرض:

لم يعد هناك أي مجال للشك في كروية الأرض، خاصة بعد حصول الإنسان على صور لمنطقة من الأقمار الصناعية ومن سطح القمر تبين كروية الأرض. لكن شكل الأرض في الواقع ليس كرة هندسية بل كرة مفلطحة في هيئتها العامة وغير منتظمة في تفاصيلها. إذ يبلغ متوسط طول نصف القطر المتوسط للكرة 6371.220 كم، ويتناقص كل قرن من 4 إلى 5 سم. أما متوسط طول القطر الاستوائي 6378.104 كم ومتوسط طول نصف القطر القطبي 6356.725 كم، فيكون مقدار التفلطح يساوي 1/298.25 و 1/298.335.

إن السطح الطبيعي للأرض عبارة عن شكل غير منتظم يحتوي على الكثير من المرتفعات والمنخفضات (انظر الشكل 2-5) ومعظم هذه المنخفضات مشكلة للمحيطات والبحار والبحيرات والأنهار. وتبلغ جملة المساحة المغطاة بالمياه من سطح الأرض حوالي 71% من المساحة الكلية لها.

ونظراً إلى صعوبة تمثيل شكل الأرض الحقيقي فقد اتفق العلماء على اعتبار شكل الأرض هو الذي يأخذه سطح المياه المتصلة والساكنة بدون مد أو جزر، وأطلق على هذه السطح الجيوييد (Geoids) الشكل (2-5)، ويكون الاتجاه العمودي على هذا السطح عند أي نقطة واقعة عليه هو اتجاه الجاذبية الأرضية عند هذه النقطة.

سطح الجيوييد غير منتظم نظراً إلى اختلاف توزيع الكتل والكثافات على سطح الأرض وفي باطنها. وقد مثل سطح الجيوييد في الشكل (2-5) بالخط المتصل وهو في نفس الوقت سطح المياه في المحيطات. وسطح الجيوييد أكثر انتظاماً من سطح الأرض الطبيعية إلا أنه لا يخضع لأي قانون هندسي.



الشكل (5-2): شكل الأرض و الجيوئيد و السفيروئيد.

ولحساب القياسات وتعيين الإحداثيات الجيوديزية للنقط الثابتة على سطح الأرض التي تتطلبها العديد من الدراسات الفلكية، [على سبيل الأمثلة تعيين المدارات Orbit determination، زاوية اختلاف المنظر - Parallax، الخسوف أو الكسوف Eclipse - الأستتارة - Occultation] يجب فرض سطح آخر غير الجيوئيد له صفات هندسية حتى يمكن ربط هذه العناصر به رياضياً.

أقرب سطح من الوجهة الهندسية لشكل الجيوئيد هو سطح دوراني ناتج من دوران قطع ناقص مستوى دورانه حول المحور الأصغر للأرض دورة كاملة، ويعرف بالسفيروئيد (Spheroid) وقد أخذ هذا القطع الناقص بحيث يقع مركزه في مركز الأرض، والمحور الرأسى ينطبق على محور دوران الأرض. وقد يطلق عليه أيضاً الشكل الناقص الدوراني (Ellipsoid). والاتجاه العمودي على سطح السفيروئيد عند أي نقطة يصنع مع الاتجاه العمودي على الجيوئيد (الاتجاه الرأسى) زاوية يطلق عليه الانحراف الرأسى (Deflection of the vertical). الشكل (6-2) يبين ربع زوال للسطح السفيروئيدي للأرض، حيث P نهاية المحور الأصغر، و Q نهاية المحور الأكبر. وقد بين على نفس الشكل سطح الجيوئيد بالخط المتقطع GLG' بالإضافة إلى سطح الأرض الطبيعية.

ونتيجة لاختلاف توزيع الكتل فإن الفرق بين الجيوئيد والسفيروئيد لايزيد عن $\pm 50 \text{ m}$ وشكل (5-2) ويعرف هذا باسم تعرجات الجيوئيد (Geoids undulation) ويمكن

حساب هذه القيمة بالأرصاد الجيوديزية والفلكية وقياسات الجاذبية وأخيرا من الأقمار الصناعية.



الشكل (2-6): ربع زوال للسطح السفيروئيدي للأرض.

2-4-1- الاهليلج المرجع (Reference spheroid):

يعرف سطح الأرض بأنه سطح تساوي الكمون وله شكل رياضي معطى بقيم الجاذبية في كل نقاط السطح. يطلق على هذا الشكل الرياضي اسم الاهليلج المرجع Reference spheroid، ويتوافق هذا السطح مع المستوي الوسطي لسطح الأرض. لقد اعتمد الاتحاد الدولي للجيوديزياء والجيوفيزياء في عام 1930 الصيغة الآتية للتعبير عن الجاذبية على هذا السطح:

$$g = g_0 (1 + \alpha \sin^2 \phi + \beta \sin^2 2\phi)$$

Φ - قيمة خط العرض الذي يجري فيه القياس.

g_0 - الجاذبية في خط الاستواء.

α و β - ثوابت . وبأخذ $a = 6378.388 \text{ m}$ و $c = 6356,909 \text{ m}$ و $\epsilon = 1/297$

والثوابت $g = 978.049$ و $\alpha = 0.0052884$ و $\beta = -0.0000059$

وعدل الاتحاد الدولي للجيوڤيزياء والجيوفيزياء هذه المعادلة نتيجة قياسات الأقمار الصناعية واعتبار $\varepsilon = 1/298.25$ فأصبحت المعادل السابقة كما يأتي:

$$g_{\phi} = 978.0318(1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi) \text{ gal}$$

2-4-2- المجسم الأرضي : (الجيوئيد Geoid):

المعادلة السابقة لا تعبر تماماً عن شكل الأرض مهما كانت الدقة في تعيين قيم الثوابت، لأنها لا تعطي شكلاً منتظماً لسطح الأرض، وتهمل تموج سطح الأرض الحقيقي الذي يطلق عليه اسم المجسم الأرضي (الجيوئيد Geoid) الذي يمكن اعتباره: سطح تساوي الكمون الحقيقي وهو ما يشير له ميزان التسوية الحقيقي ويكون فادن البناء (الشاقول) متعامداً معه، انظر الشكل (2-5) والشكل (2-7).

ينتج هذا الاختلاف عن عدم التجانس في توزيع الكتل ضمن الأرض وهذا اللاتجانس يؤدي إلى تغير قيمة الجاذبية في المعادلة الأخيرة. ولهذا يستخدم التغير في قيمة g_{ϕ} لحساب قيمة الاختلاف بين الإهليلج المرجع والمجسم الأرضي. يبين الشكل (2-8) خريطة العالم الجيوئيدية بناء على الإهليلج المرجع ومقدار التسطح $\varepsilon = 1/298.257$



الشكل (2-7): يبين شكل الجيوئيد وشكل الأرض الناتج عنه.



الشكل (2-8): خريطة العالم الجيويديّة بناء على الإهليلج المرجع ومقدار التسطح $\varepsilon=1/298.257$

2-5- الجاذبية ومبادئ توازن القشرة الأرضية (مكونات الأرض الداخلية وتأثيرها):

أكدت أبحاث جيوفيزياء الأرض الحديثة عدم الانتظام في أكثر من موقع من الكرة الأرضية، و بينت مقادير الانحراف السلبي والإيجابي للجيويّد أو الكرة شبه النموذجية في خرائط العالم كتلك التي وضعها د.ل.توركوت 1976. والجيويّد هو شكل كروي أقرب ما يكون من الكرة الهندسية دون أن يكونها، وهو عبارة عن السطح الذي تتعامد معه وفي كل نقطة منه محاور الثقالة الأرضية، ولما كانت جاذبية الكتل الأرضية في الأحواض الواقعة تحت سطح مياه البحر تسبب حيداناً للقشرة كما هو الحال بالنسبة إلى الكتل الجبلية على اليابسة أيضاً، فإننا لا نحصل على سطح كروي الشكل تماماً بل شبه كروي هو الجيويّد، الذي يبلغ الفرق المتوسط بينه وبين الكرة الأرضية الفعلية 150م، انظر الشكل (2-7)، والجيويّد هو سطح وهمي يمكن أن تصل إليه الكرة الأرضية عندما تقوم الأعمال الجيومرفولوجية الخارجية بتسوية وتعرية وحت القارات واليابسة تماماً مع مستوى البحر.

و لهذا السبب فإن للجيوئيد أهمية جيومورفولوجية مهمة لأنه يعدّ مستوى الأساس الذي تتوقف عنده مياه الأنهار عن الجريان، ولأنه هو نفسه المستوى المتوسط لمياه البحار والمحيطات، والمعروف بمستوى الأساس المطلق الذي أثار ولا يزال يثير جدلاً كبيراً حوله، إذ يطلق عليه بالمستوى القاعدي الأدنى في دورات التعرية، كما أنه يشكل المستوى الحقيقي لسواحل المحيطات فيما بين المد والجزر .

2-5-1 - ظاهرة التوازن الأرضي:

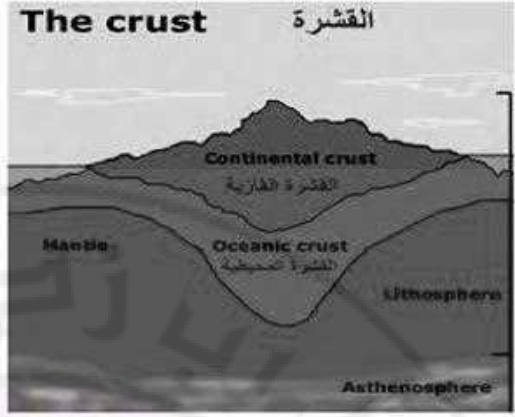
ظاهرة التوازن الأرضي Isostasy، لم تعد مجرد نظرية قد يشك في صحتها، بل انتقلت من حيز المسائل النظرية إلى حيز الظواهر الحقيقية التي تشاهد بالحس، واستطاع العلماء أن يسجلوها في كثير من جهات العالم، وأن يعتقدوا فيها اعتقاداً راسخاً. ويمكن إيجاز هذه النظرية في أن ارتفاع الكتل القارية بالنسبة للأحواض المحيطية إنما يرجع إلى أن الصخور التي تتكون منها كتل القارات صخور قليلة الكثافة خفيفة الوزن وهي صخور السيل الجرانيتية، التي لا مفر من طفوها فوق صخور السيلما الثقيلة الوزن والمرتبعة الكثافة، التي تتكون منها قيعان الأحواض المحيطية، ولذلك تبدو تلك الكتل كالسفن الطافية فوق سطح الماء. ويمكن القول كذلك إن السلاسل الجبلية ترتفع هي الأخرى فوق سطح القارات لأنها تتكون من صخور قليلة الكثافة لها جذور تمتد إلى أعماق بعيدة عن سطح الأرض.

ولكي تحتفظ كتل السيل الجرانيتية - التي تكون القارات - بتوازنها فوق طبقة السيلما البازلتية التي تكون قيعان الأحواض الميحيطية، ولكي تحتفظ السلاسل الجبلية المرتفعة أيضاً بتوازنها فوق كتل القارات، لا بد أن يغطس ويتعمق جزء كبير منها في طبقة السيلما يبلغ في المتوسط حوالي ثمانية أمثال الجزء الظاهر من هذه الكتل فوق سطح الأرض. وهي في هذا تشبه الجبال الثلجية التي يساعد على حفظ توازنها فوق سطح الماء أن أجزاءها الغائصة تبلغ في المعتاد تسعة أمثال الأجزاء الظاهرة منها فوق سطح البحر،

فالأجزاء الغاطسة من كتل السيلال في طبقة السيمما عبارة عن أعمدة تحفظ توازن الأجزاء الظاهرة فوق طبقة السيمما أو الطافية فوقها بمعنى آخر. فكأن كتل القارات إن ما يساعد على حفظ توازنها أنها تتألف من مواد جرانيتية خفيفة تتعمق في مادة السيمما البازلتيية الثقيلة، وبذا تشغل في هذه المادة الأخيرة فراغاً لولاه لشغلته المواد البازلتيية، ولأصبحت الجبال والقارات مواد زائدة عن حاجة الأرض، ولكانت عرضة لأن تتطاير مع دوران الكرة الأرضية الشكل (2-9) والشكل (2-10).

ويؤدي الأخذ بنظرية التوازن إلى الاعتقاد بأن طبقة السيمما التي تمثل الطبقة السفلية من الغلاف الصخري، لابد أن تكون في حالة سائلة كي تتمكن كتل السيلال من أن تتعمق فيها بسهولة. أما اذا كانت طبقة السيمما في حالة تامة من الصلابة فلا يمكن بأي حال لجذور كتل السيلال من أن تتعمق فيها. ولكننا إذا تذكرنا ما قيل من قبل من أن طبقة السيمما في حالة مرنة، فإن هذا يفسر لنا توازن كتل السيلال فوق طبقة السيمما المرنة المطاطة التي تتكون منها في أغلب الحالات قيعان الأحواض المحيطية.





الشكل (2-10): توزع القشرات الأرضية القارية والمحيطية والتوازنية.

2-5-2- اختلاف التوازن الأرضي:

من المؤكد الآن أن حالة التوازن الأرضي حالة نظرية نادراً ما تتم، وذلك بسبب العمليات الجيولوجية التي تؤثر في منطقة ما، ويتسبب عنها إزالة بعض التكوينات من قمم الجبال وترسبها في المناطق المنخفضة، كما أن تراكم الرواسب بشتى أنواعها، وتكون الغطاءات الجليدية إلى غير ذلك، مما ينجم عن العمليات الجيولوجية المختلفة التي تشكل سطح الأرض، لا بد أن يؤدي إلى الإخلال بحالة التوازن الأرضي التي ذكرناها. فإذا ما عملت عوامل النحت مثلاً على تقطيع سلسلة جبلية متصلة إلى مجموعة من القمم الجبلية تفصل بينها أودية عميقة، أو إذا أزلت هذه العوامل بعض التكوينات من تلك القمم، فإن معنى هذا أن كتلة عمود السيل الذي يتعمق في مادة السيم تحت السلسلة الجبلية المذكورة لا بد أن تتناقص، ولا بد أن يزيد في نفس الوقت الضغط الواقع على عمود مجاور يقع تحت منطقة دلتاوية نتيجة تراكم الرواسب الدلتاوية فوقه، ولهذا لا بد أن تحدث حركة ما في طبقة السيم بحيث تعمل على استعادة توازن هذين العمودين إلى ما كانا عليه قبل تعرضهما لعوامل الحت والترسيب، فيهيئ العمود الذي زادت كتلته، ويرتفع العمود الذي اقتطعت منه بعض التكوينات، ونظراً إلى مرونة الطبقات السفلى من الغلاف الصخري، وعدم سيولتها، فإن مثل هذا الارتفاع والهبوط في الكتل اليابسة لا بد

أن يستغرق وقتاً طويلاً لكي يتم، وتسمى مثل هذه الحركات البطيئة التي تتعرض لها قشرة الأرض بالحركات التوازنية isostatic movements.

2-6- القمر ودوره بالنسبة إلى الأرض:

2-6-1- مقدمة:

الأرض ثالث كواكب النظام الشمسي في دورانها حول الشمس، وحسب العلوم الحديثة فالأرض هي الكوكب الوحيد الذي يتميز بالحياة في الكون بأسره. وهذا راجع لعدة شروط، ومركز الأرض مكون من الصخور والمعادن، وتغطي المياه 70 بالمائة منها. ولقد كان من الضروري أن تكون مادة الأرض عند بداية تكونها على شكل سائل أو شبه سائل، وذلك لكي تأخذ الشكل الكروي الذي هي عليه الآن، فالشكل الوحيد الذي تتخذه كتلة من المادة السائلة في الفضاء الكوني هو الشكل الكروي. وعند وجود هذه الكتلة السائلة في مجال جاذبية جسم ما كالشمس، فإن تبعاً سيحدث في شكل هذه الكرة باتجاه قوة الجذب، ويمكن إزالة مثل هذا التبعج من خلال تدوير هذه الكرة بسرعة مناسبة حول محور متعامد مع اتجاه القوة الجاذبة، وهذا بالضبط ما حصل مع الأرض عند بداية تكونها. ولقد استمرت الكرة الأرضية على هذه الحال إلى أن بدأت القشرة الأرضية الصلبة بالتكون، بعد أن برد سطحها نتيجة لإشعاع حرارتها إلى الفضاء الخارجي، ولا تزال مادة الأرض باستثناء قشرتها الرقيقة في حالة الانصهار كما نشاهد ذلك عند خروج هذه المادة من شقوق هذه القشرة عند حدوث البراكين.

2-6-2 - حركات الأرض:

إن محور دوران الأرض ليس ثابتاً على الإطلاق، وذلك بسبب إن قوة الجاذبية المطلقة على الأرض من قبل أقرب جرمين سماويين لها (القمر والشمس) سوف تسبب أرجحة في حركة الأرض، لأن مستوى الاستواء للأرض سوف يتحرك باتجاه الجرم المسبب للاضطراب، وينشأ عن هذا الاضطراب في الحركة دوران محور الأرض حول النجم القطبي، وهذه الحركة تسبب:

أولاً- حركة الترنح (precession):

حدوث دوران مستمر باتجاه تراجمي (تقهقري)، وهي تعبير عن حقيقة كون الجرمين يتحركان بمستويين مختلفين وتسمى هذه الحركة المنتظمة الترنح *precession* كما في الشكل (2-11)، وهي حركة مخروطية بطيئة تحصل لمحور دوران الأرض في أثناء دوران الأرض حول الشمس، وسببها هو أن الأرض ليست كاملة التكور بل تمتاز ببعض التفلطح عند خط الاستواء، وهو ناتج من دوران الأرض حول محورها، إضافة إلى تأثير الجاذبية المتفاوتة الناتجة من الشمس والقمر وبعض الكواكب القريبة. حيث إن الشمس تقع دائماً بمستوى دائرة البروج، أما القمر فهو ليس بعيداً عن مستوى هذه الدائرة، فلهذا نلاحظ إن قوى الجاذبية ستؤثر في الأرض وتحاول جعل محورها عمودياً على مستوى دائرة البروج، أي أن محصلة قوى الجاذبية وقوة الدوران للأرض حول محورها تولد قوة عمودية على هذه التأثيرات، أي إن القوة هي المسببة للترنح، وأن الحركة المخروطية البطيئة لمحور الأرض تؤدي إلى تغير بطيء لاتجاه المحور الدوراني بمرور الزمن، لذلك فإن القطب الشمالي يتحرك على القبة السماوية بحركة دائرية تمثل قاعدة المخروط، ومركز هذه الدائرة هو مركز دائرة البروج، وإن مدة الترنح اللازمة لإكمال دورة هي تقريباً 25800 سنة، وحالياً يبعد القطب الشمالي عن النجم القطبي (الذي يقع في نهاية ذراع كوكبة الدب الأصغر) بحوالي درجة واحدة.

الشكل (2-11): حركة ترنح الأرض.

ثانياً - حركة التمايد (nutation motion):

هي حركة معقدة ناتجة عن الجاذبية الصادرة عن القمر نتيجة ميله البسيط (5)° عن مستوى المدار الذي يؤثر في التفلطح الأرضي المائل، الذي يحاول إطباق مستواه على مستوى دائرة البروج، الشكل (2-12).

ونتيجة لهذا التصارع بين جاذبية القمر ورد فعل الأرض المقاوم له، يحدث تذبذب بسيط في مسار محور الأرض مدته 19 سنة، بحيث يحيد به عن دائرته المستقيمة التي رسمها، ليرسم ضمنها منحنيات موجية تتعكس أولاً على سرعة دوران المحور الذي يكف عن الحركة المنتظمة لانضمام عدد من الحركات الدورية إلى حركته، يترتب عليه ما يسمى ترنحاً في الطول .

كذلك فإن الحركة الترنحية تتعكس على ميل دائرة البروج الذي يتغير بصورة دورية، وتسمى هذه التغيرات ترنحاً في الميل.



الشكل (2- 12): حركة تمايد الأرض

2-6-3- حركة القمر :

إن الجزء المنار من القمر هو نصفه المواجه للشمس، فإذا اجتمع القمر والشمس على خط واحد أصبح القمر بين الأرض والشمس، فإذا كان على خط مستقيم كلاً من مراكز الأرض والقمر والشمس تحدث ظاهرة الكسوف للشمس، أما إذا كان خط مسار القمر قريباً من خط مسار الشمس فسوف لا تحدث هذه الظاهرة، لكن لن نرى شيئاً من القمر، وبهذا يكون القمر بوضع المحاق، ويحدث عادة بين اليوم 28 و 29 من الشهر القمري، ويكمل القمر دورة كاملة (360 درجة) على دائرة البروج خلال مدة تقريباً 27 يوماً ونصف اليوم، أي بمعدل درجة واحدة كل ساعتين، أي 12 درجة باليوم. فإذا بعد القمر عن الشمس من المغرب 12 درجة تقريباً، مال إلينا بعض من نصفه المضيء، فنرى جزءاً ضئيلاً منه بعد غروب الشمس وهو الهلال، وكلما زاد بعده عن الشمس ازداد ميل نصفه المضيء إلينا حتى الليلة الرابعة فيكون قوس النور قد تضخم، فيسمى القمر ليلة 14 واللييلة التي يليها بدرًا، ويطلع البدر من الشرق بعد غروب الشمس مباشرة، وفي ليلة 16 إلى ليلة 26 يسمى قمراً، ومن ليلة 27 إلى وقت دخوله تحت شعاع أشعة الشمس يسمى

هلالاً، ويكون طلوعه من جهة الشرق قبل طلوع الشمس، فإذا دخل تحت شعاع الشمس وكان بينهما أقل من 12 درجة سمي محاقاً لاحتجابه بنور الشمس، وإذا اجتمع مع الشمس، فإذا خرج من شعاعها وابتعد عنها لجهة المشرق بمقدار 12 درجة تقريباً سمي هلالاً.

عقدتي القمر :

إن مدار القمر غير منتظم بسبب التأثيرات الجاذبية فيه من الأرض والشمس بصورة أساسية، ويتقاطع مدار الأرض ومدار القمر بنقطتين تسميان بالعقدتين الصاعدة والنازلة نسبة لحركة القمر شمالاً أو جنوباً بالنسبة إلى مدار الأرض، وإن الخط الواصل بين العقدتين يدعى خط العقدتين وتؤثران في ظاهرتي الكسوف والخسوف.

كسوف الشمس Solar Eclipse :

يحدث الكسوف الشمسي عندما يتوسط القمر بين الأرض والشمس، حاجباً بذلك نورها عنا، عندما يغطي ظل القمر جزءاً من الأرض فإنه يحجبها تماماً، إذ إن المشاهد الأرضي يلاحظ تطابقاً بين القمر والشمس، أي أن لهما نفس القطر، والواقع أن الشمس أكبر بـ 400 مرة من القمر إلا أن بعدها عنا الذي يبلغ 400 مرة مثل بعد القمر يجعلهما يبدوان متقايسين، وهذا الكسوف التام، ونادراً ما يحدث، وتتميز بمنطقتين واحدة معتمدة جداً (الظل التام) ومنطقة أقل ظلاماً (شبه الظل)، أما الكسوف الحلقي فيحدث عندما يكون القمر في الأوج، فلا يحجب القمر قرص الشمس كلياً بل يترك حلقة رفيعة مضيئة حوله، وشروط حدوث الكسوف هي أن يكون القمر محاقاً، ويكون قريباً من إحدى العقدتين، وتستمر مدة الكسوف الكلي في أقصى قيمها 7.5 دقيقة فقط ولا يشاهد إلا من مناطق محددة.

خسوف القمر Lunar Eclipse :

يحدث عندما تكون الأرض على خط مستقيم بين الشمس والقمر: فيقع القمر في منطقة ظل الأرض، ويكون كلياً إذا كان البدر في إحدى العقدتين تماماً، أي يقع في مركز الظل التام للأرض، أما إذا كان القمر في منطقة شبه الظل فيحدث

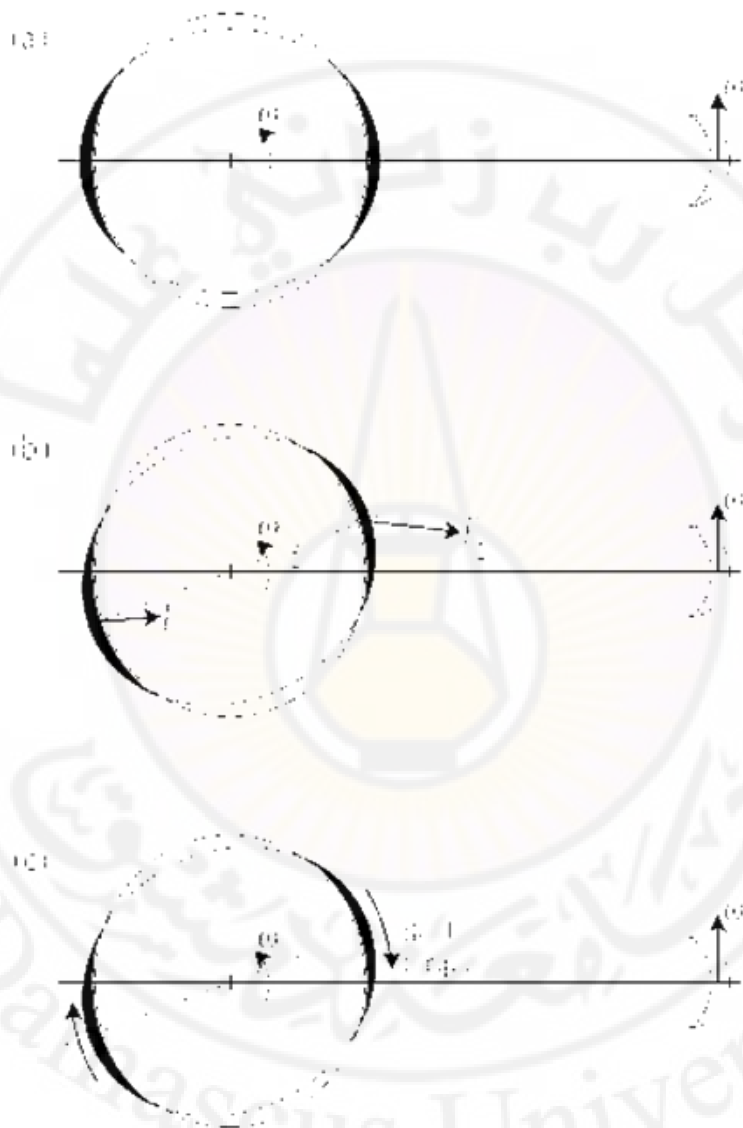
الخسوف الجزئي، وإن القمر لا يختفي كلياً في حالة الخسوف الكلي، بل يبقى سطحه باهتاً بلون برتقالي بسبب الانكسارات الحاصلة لأشعة الشمس عند مرورها بالجسيمات الترابية العالقة في الغلاف الجوي، وشروط حدوث الخسوف هي أن يكون القمر بدياً وقريباً من إحدى العقدتين، وهذا لا يحدث إلا مرتين بالسنة تقريباً، وإن مدة الخسوف الكلي قد تتجاوز الساعتين، ويشاهد من مناطق واسعة من الأرض تقريباً لنصف الأرض المواجه للقمر.

القمر moon:

إن القمر هو التابع الوحيد للأرض، يدور حولها بمدار قطع ناقص كتلته تعادل $81.3/1$ من كتلة الأرض، ولا يحتوي على الماء، ويميل مداره عن مدار الأرض بـ 5.9° $\pm$ ، ومجاله المغنطيسي ضعيف جداً، ومداره غير منتظم بسبب التأثيرات الجاذبية فيه من الأرض والشمس بصورة أساسية.

2-6-4- تأثير احتكاك المد والجزر على شكل الأرض:

إن لاحتكاك المد والجزر تأثيراً كبيراً في شكل الأرض، وهو ناتج عن جذب القمر والشمس للأرض، ولكن قوة جذب الشمس للقمر أكبر بأربع مرات من قوة جذب الأرض للقمر، ومع هذا نلاحظ تأثير جذب القمر للأرض واضحاً كما في الشكل (2-13). ونظراً إلى نقص مرونة الأرض وعدم تجانسها يحدث تباطؤ في استجابة قوى الجذب، أي يتباطأ الانتفاخ في الظهور كما في الشكل (2-13)، وهذا يؤدي إلى حدوث تباطؤ في دوران الأرض حول مدارها، وتسارع في دوران القمر المداري، وبالتالي ابتعاده عن الأرض، أي أن مدار القمر يتسع باستمرار مع الزمن، وهذه حالة القمر منذ 370 مليون سنة على الأقل منذ الديفونيان. بينما يؤدي تباطؤ دوران الأرض حول محورها لاقتربها من الشمس، وبالتالي لنقصان مدارها حول الشمس ونقصان عدد أيام السنة. وقد أيدت دراسة نمو الحلقات اليومية لمرجانيات الديفونيان هذه الفكرة، إذ تبين أن عدد أيام السنة خلال الديفونيان كان 397 ± 7 يوم.



الشكل (12-2): تأثير حركة القمر على الأرض

2-7- شروط الحياة على الكرة الأرضية:

توجد عدة شروط توفرت للحياة على الكرة الأرضية دون غيرها من كواكب المجموعة الشمسية وهي:

الشرط الأول : ضرورة وجودها بالقرب من مصدر لإنتاج الطاقة، الذي يمدّها بالطاقة اللازمة لحفظ درجة حرارة سطحها، ضمن حدود معينة تضمن ظهور الحياة عليها. وقد اختيرت الشمس مصدراً يمد الأرض بالطاقة اللازمة لها، من خلال إشعاع الأمواج الكهرومغناطيسية التي تسقط على سطح الأرض فيمتص طاقتها وترفع درجة حرارتها. وإن هذه الطاقة تعطي طيف إشعاع يتركز حول الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، والذي يتوافق تماماً مع متطلبات الكائنات الحية من الإشعاع الشمسي، الذي يستخدم في عملية التمثيل الضوئي، وكذلك في نظام الإبصار المستخدم في كثير من أنواع الكائنات الحية. ولضمان بقاء الأرض على بعد ثابت من الشمس لكي، تمدها بمقدار ثابت من الطاقة، فإن الأرض تدور حول الشمس في مدار شبه دائري، يبلغ متوسط نصف قطره مائة وخمسين مليون كيلومتر. ومن الجدير بالذكر أن دوران الأجرام حول بعضها البعض في هذا الكون هي الوسيلة الوحيدة لمنع هذه الأجرام من أن تنهار على بعضها بسبب قوة الجاذبية بينها، فالقمر يدور حول الأرض والأرض تدور حول الشمس والشمس تدور حول مركز المجرة وهكذا.

الشرط الثاني : هو ضرورة دوران الأرض حول محور متعامد تقريباً مع الخط الواصل بين الشمس والأرض، وذلك لكي يتم تعريض جميع سطحها لضوء الشمس من خلال تعاقب الليل والنهار عليها. فلو توقفت الأرض عن الدوران، أو كان محور دورانها موازياً لهذا الخط كما هو في بعض الكواكب، لكان أحد نصفي الأرض معرضاً للشمس باستمرار، بينما لن يصل ضوء الشمس للنصف الآخر، وبذلك يكون أحد نصفيها نهراً دائماً شديد الحرارة، والنصف الآخر ليلاً دائماً شديد البرودة.

الشرط الثالث: ضرورة إمالة اتجاه محور دوران الأرض عن الاتجاه العمودي بزاوية كافية، وبشكل متواصل في أثناء دورانها حول الشمس، وذلك لأسباب تلزم لاستمرار الحياة على الأرض. وقد وجد العلماء أن هذا المحور يميل بزاوية 23.45° عن

المستوى الرأسى، وهو يتحرك حركة مخروطية بطيئة تؤدي إلى تغير بطيء لاتجاه المحور، بحيث يميل النصف الشمالى للأرض نحو الشمس في فصل الصيف، ويبعد عنها في فصل الشتاء. إن هذه الإمالة ضرورية لتعريض قطبي الأرض الشمالى والجنوبى لضوء الشمس، الذي لا يمكنه الوصول إليهما فيما لو بقي محور الدوران ثابتاً على الاتجاه العمودي. إن وصول ضوء الشمس للقطبين ضروري جداً لإذابة بعض الجليد الموجود عليهما، وإلا فإن المطر الذي يسقط عليهما سيتجمد، ولن يعود مرة ثانية إلى المحيطات، وبذلك ستتضب المحيطات من مياهها في نهاية المطاف. ويعمل هذه التآرجح كذلك على نشوء ظاهرة الفصول الأربعة الضرورية لضبط دورة حياة كثير من النباتات.

الشرط الرابع: ضرورة حماية الحياة على الأرض من الإشعاعات الضارة التي تنطلق من الشمس ومن بقية النجوم في هذا الكون، إذ إن هذه النجوم تنتج طاقتها من خلال عملية الاندماج النووي الذي ينتج جميع أنواع الإشعاعات النافعة منها والضارة. أن موقع المجموعة الشمسية في مجرة درب التبانة، في مكان في غاية التقدير فلا هو في قلب هذه المجرة اللولبية، ولا هو في داخل الذراعين الممتدين منها حيث تكون كثافة النجوم والشهب والغبار الكوني عالية جداً. بل جاء مكانها فيما بين هذين الذراعين، حيث تكون كثافة النجوم أقل ما يمكن، وبذلك لا يصل من إشعاعات نجوم المجرة إلى الأرض إلا القدر اليسير. ويبقى بعد ذلك حماية سطح الأرض من إشعاعات الشمس الضارة، وقد تم هذا بطريقة بالغة الذكاء إذ وجد العلماء أن الأرض تتفرد بوجود مجال مغنطيسي تفوق شدته مائة مرة شدة أقوى المجالات المغنطيسية في بقية الكواكب، رغم أن الأرض ليست أكبرها حجماً. وقد تبين للعلماء أن هذا المجال المغنطيسي العالى قد نتج عن وجود قلب كبير من الحديد والنيكل في باطن الأرض، والذي لا يوجد ما يشبهه في بقية الكواكب ولذلك كانت الأرض أكثرها كثافة. وقد تبين للعلماء أن هذا المجال المغنطيسي الشديد هو الدرع الذي يحمي سطح الأرض من وصول إشعاعات الشمس الضارة إليها، حيث يقوم هذا المجال الذي يحيط بها بصد هذه الإشعاعات، وتغيير مسارها نحو قطبي الأرض الشمالى والجنوبى حيث، ينذر وجود كائنات حية عندها.

وبما أن المجال المغنطيسي للأرض لا يتفاعل إلا مع الإشعاعات التي تحمل شحنات كهربائية فهو غير قادر على صد الجسيمات المتعادلة كهربائية القادمة من الشمس، ولذلك لا بد من وجود وسيلة أخرى لمنع وصولها إلى سطح الأرض، فكان من لطف الله أن أحاط الأرض بدرع ثانٍ لحمايتها من هذه الإشعاعات، وهو طبقة الأوزون الموجود في أعالي الغلاف الجوي، حيث يقوم الأوزون بامتصاص طاقة هذه الإشعاعات ويمنع وصولها إلى سطح الأرض.

الشرط الخامس: حماية الأرض من النيازك التي تقذف بها النجوم المنفجرة في داخل مجرتنا أو المجرات المجاورة، إذ يصل إلى المجموعة الشمسية آلاف الشهب والنيازك في الساعة الواحدة. وهذه النيازك قد تسبب دماراً هائلاً على سطح الأرض على الرغم من صغر حجمها، وذلك بسبب سرعتها الهائلة. وقد يتسبب نيزك بكتلة لا تتجاوز عدة مئات من الكيلوغرامات دماراً لا يقل عن الدمار الذي يسببه تفجير قنبلة نووية. ومن لطف الله بالبشر أنه حمى الأرض من هذه النيازك بعدة آليات أهمها وجود عدد كافٍ من الكواكب الخارجية، التي تقوم بجذب النيازك لها قبل أن تصل إلى الأرض، كما يفعل ذلك كوكب المشتري الذي يفوق حجمه حجم الأرض بألف وثلاثمائة مرة. ولذلك فقد أطلق العلماء اسم صياد الشهب على كوكب المشتري. أما ما تبقى من النيازك الصغيرة التي تفلت من جاذبية الشمس والكواكب الخارجية والداخلية وتصل إلى الأرض فإن الغلاف الجوي يتكفل بحرق معظم كتلتها قبل وصولها إلى سطح الأرض بسبب الاحتكاك الشديد بينها وبين الهواء.

الشرط السادس: ضرورة أن تكون قشرة الأرض رقيقة نسبياً إذ يبلغ متوسط سماكة القشرة تحت القارات خمساً وثلاثين كيلومتراً، وتحت المحيطات سبعة كيلومترات، ومع مقارنة سماكة هذه القشرة مع نصف قطر الكرة الأرضية، يتبين مدى رقة هذه القشرة. إن هذه القشرة رقيقة بحيث من المحتمل أن تتشقق فتخرج منها البراكين، أو تتخسف بسبب تآكل باطنها، بسبب الحرارة العالية لباطن الأرض، وقد سهلت حركة هذه القشرة تكوين القارات والمحيطات، وسمحت بحدوث البراكين التي شكلت هذه التضاريس الأرضية من جبال وتلال وسهول وهضاب وصحارى وأودية وأغوار وقيعان.

إن هذه التضاريس لم تخلق فقط للنواحي الجمالية، بل لتؤدي دوراً مهماً في ظهور الحياة على الأرض، فالجبال تحتفظ بمياه الأمطار على شكل ثلوج تمتد الأنهار بالماء في أثناء ذوبانها في الصيف، والقيعان تحتفظ بمياه الأمطار على شكل بحيرات، والتعرجات في الطبقات الصخرية للاحتفاظ بالمياه الجوفية، وقد أدى تفاوت ارتفاع هذه التضاريس إلى تفاوت في درجات حرارة سطح الأرض، وهذا أدى إلى توفير بيئات مختلفة لمختلف الكائنات الحية.

الشرط السابع: ضرورة توفر عدد كبير من العناصر اللازمة لبناء الكائنات الحية، ومما يثير دهشة العلماء أن الأرض تحتوي على اثنين وتسعين عنصراً طبيعياً من بين ما يزيد عن مائة عنصر يمكن أن تكون موجودة في هذا الكون. ولا يزال العلماء في حيرة من أمرهم حول كيفية وصول هذا العدد الكبير من العناصر إلى الأرض وبكميات تتناسب والحاجة إليها، فشمسنا التي تحرق نووياً أربعة ملايين طن من الهيدروجين في الثانية الواحدة، لا يمكنها أن تصنع إلا عنصراً واحداً وهو الهيليوم. ولذلك فقد استدل العلماء على وجود نجوم في هذا الكون لها أحجام تفوق حجم الشمس بملايين المرات، لكي تتمكن من تصنيع هذا العدد الكبير من العناصر الثقيلة.

عند انفجار هذه النجوم تطاير منها هذه العناصر المختلفة في أرجاء الفضاء المحيط بها ليقع قسماً من هذه الكتل المتطايرة في أسر جاذبية الأرض عند أول نشأتها. وتشكل ثمانية من هذه العناصر ثمانية وتسعين بالمائة من وزن القشرة الأرضية، وهي الأوكسجين والسيليكون والألمنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم، وتحتاج الكائنات الحية لبناء أجسامها ما يزيد عن عشرين عنصراً من العناصر الطبيعية التي يحويها تراب هذه الأرض، والبالغ عددها اثنين وتسعين عنصراً، وتشكل أربعة من هذه العناصر وهي: الكربون والأوكسجين والهيدروجين والنيتروجين ما يزيد عن خمس وتسعين بالمائة من وزن الكائن الحي، بينما تشكل بقية العناصر التي أهمها الفوسفور والكبريت والصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والكلور والحديد الخمسة بالمائة المتبقية.

الشرط الثامن : ضرورة توفر الماء بكميات كافية على سطح الأرض مع وجود آليات محددة لتوزيعه على سطح اليابسة. وقد تفرد كوكب الأرض من بين جميع كواكب المجموعة الشمسية بوجود هذه الكميات الضخمة من الماء، الذي يغطي ما يقرب من سبعين بالمائة من سطح الأرض. وقد اكتشف العلماء أن معظم الماء الموجود على سطح الأرض قد خرج من باطنها من خلال تفجر البراكين (وخلقنا من الماء كل شيء حي).

الشرط التاسع: توفر الغلاف الجوي الذي يحيط بهذه الأرض قد قدرت محتوياته بشكل بالغ الدقة، بحيث لو اختلفت نسب هذه المحتويات ولو بمقدار بسيط لما ظهرت الحياة على الأرض. ويتكون الغلاف الجوي من خليط من أربعة غازات وهي النيتروجين الذي تبلغ نسبته ثمانية وسبعين بالمائة، والأكسجين الذي تبلغ نسبته واحداً وعشرين بالمائة، والأرغون الذي تبلغ نسبته ما يقرب من واحد بالمائة، وثاني أكسيد الكربون الذي تبلغ نسبته ثلاثة من مائة بالمائة. وقد صمّم الغلاف الجوي بشكل دقيق بحيث يقوم بمهام متعددة تساعد على ظهور الحياة على الأرض وبقيائها. فأول هذه المهام هو عزل سطح الأرض عن الفضاء الخارجي الذي يحيط بها، والذي تقترب درجة حرارته من الصفر المطلق، حيث يسمح الغلاف الجوي بمرور الطاقة الشمسية إلى سطح الأرض في أثناء النهار، بينما يمنع بشكل جزئي مرور الإشعاع الحراري الذي ينبعث من سطح الأرض الساخن إلى الفضاء الخارجي. ولكي تبقى الأرض في حالة اتزان حراري فإنه يلزم أن تكون كمية الطاقة المستلمة من الشمس تساوي كمية الطاقة المنبعثة من الأرض إلى الفضاء الخارجي، وقد وجد العلماء أن هذا الاتزان الحراري يتم عند درجة حرارة متوسطة لسطح الأرض تبلغ خمس عشرة درجة مئوية. ويعمل الغلاف الجوي على أن تبقى درجة حرارة سطح الأرض في الليل والنهار ضمن الحدود المسموح بها لبقاء الحياة على الأرض إذ لا يتجاوز الفرق بين أعلى وأقل درجة في أقسى الظروف الأرضية الخمسين درجة مئوية، وعند مقارنة ذلك بدرجة حرارة سطح القمر الذي يفتقر لغلاف جوي نجد أن درجة حرارة سطحه تبلغ مائة وثلاثين درجة مئوية في النهار، ومائة وسبعين درجة مئوية تحت الصفر في الليل، أي بفارق ثلاثمائة درجة مئوية. وقد تبين للعلماء أن غاز ثاني

أكسيد الكربون على قلة نسبته في الغلاف الجوي يؤدي دوراً كبيراً في تحديد درجة حرارة الاتزان هذه هنالك تخوف كبير من أن تؤدي الزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون، الناتجة عن حرق هذه الكميات الكبيرة من أنواع الوقود المختلفة إلى زيادة درجة حرارة سطح الأرض بما يسمى بظاهرة الانحباس الحراري، التي قد تؤدي إلى اختلال كبير في مناخ الأرض ونظامها البيئي. أما المهمة الثانية للغلاف الجوي فهي حماية الكائنات الحية من الإشعاعات الضارة التي تصل إلى الأرض من الشمس، ومن الشهب والنيازك القادمة من الفضاء الخارجي، إذ تعمل طبقة الأوزون الموجودة في أعالي الغلاف الجوي على امتصاص هذه الإشعاعات الضارة بينما تحرق كتل الشهب والنيازك في أثناء مرورها عبر الغلاف الجوي. أما المهمة الثالثة للغلاف الجوي فهي توفير الغذاء اللازم لجميع الكائنات الحية، إذ يحتوي على ثلاثة عناصر من أهم أربعة عناصر تحتاجها الكائنات الحية وهي الكربون والأوكسجين والنيتروجين، أما العنصر الرابع وهو الهيدروجين فتأخذه النباتات من الماء الذي تمتصه من خلال جذورها.

الشرط العاشر: وجود قمر بحجم كبير يدور حول الأرض، إذ يبلغ قطر القمر ما يقرب من سبع وعشرين بالمائة من قطر الأرض، ويدور في مدار شبه دائري، وعلى بعد تقريباً 400000 كيلومتر كمعدل. ويقول العلماء إن استقرار سرعة دوران الأرض حول محورها وحول الشمس، وكذلك ثبات بعد مدارها عن الشمس يعود إلى وجود قمر بهذا الحجم حولها. ويعمل القمر كذلك على إحداث ظاهرة المد والجزر في البحار والمحيطات التي يعتقد العلماء أنها تؤدي أدواراً مهمة في تأرجح الأرض حول محورها، وتحديد طبيعة المناخ وتشكيل السواحل البحرية واستمرار الحياة البحرية. ومن عجائب التقدير أن ظاهرة المد والجزر تعمل على نقل جزء من الطاقة الحركية الناتجة عن دوران الأرض حول نفسها إلى القمر، فتزيد من سرعة دورانه حول الأرض، وبالتالي يزداد بعده عن الأرض بمعدل ثلاث سنتيمترات في السنة، بينما تتباطأ سرعة دوران الأرض بمقدار ضئيل جداً. ولولا هذا التقدير البالغ لكان من الممكن أن يسقط القمر على الأرض مع مرور بلايين السنين نتيجة لتباطؤ سرعته بسبب النيازك التي ترتطم بسطحه،

أو أن يقترب كثيراً من الأرض وهذا يزيد من شدة ظاهرة المد والجزر. وكذلك دور القمر في توفير الإضاءة لسطح الأرض في الليل، ودوره في تحديد الشهور والسنوات.



الفصل الثالث

الخواص الفيزيائية للأرض

وظواهرها الطبيعية

3-1- مقدمة :

- تكتسب صخور الأوساط الجيولوجية خواص مميزة، ومرتبطة بعدة عوامل، منها:
- التركيب الصخري.
- ظروف التشكل والتطور، والظروف الراهنة للتموضع الصخري.

تتميز الصخور المكونة لطبقات القشرة الأرضية بجملة من الخواص الفيزيائية المختلفة Petrophysics، منها: المسامية Porosity، النفاذية Permeability، الكثافة Density، درجة الإشباع Saturation، المرونة Elasticity، السرعة الموجية Wave Velocity، شدة المغنطة Magnetization، الناقلية، المقاومة الكهربائية Electrical Resistivity، الحرارة، الضغط،... إلخ.

تتطوي تلك الخواص على أهمية معتبرة، حين تحديد إمكانية استخدام الطرائق الجيوفيزيائية، في البحث والتنقيب عن الثروات الطبيعية، الدفينة في طبقات القشرة الأرضية.

إن دراسة بين الخواص الفيزيائية لمنطقة أرضية ما، والتركيب الجيولوجي لها ليست دائماً سهلة التحقيق، ذلك لأنه في بعض الحالات الخاصة قد نجد أن القيم المقاسة لخاصة فيزيائية معينة (الكثافة، المسامية، السرعة الموجية...)، تمثل عدة أنواع من الصخور أو التشكيلات الجيولوجية، المتباينة فيما بينها تماماً، وبالمقابل قد نجد أحياناً نوعاً واحداً من الصخر، أو التشكيلة الجيولوجية الواحدة تتصف بخواص فيزيائية شديدة الاختلاف (التباين). وهذا السبب الذي يجعل مشكلة وضع الأسس الجيولوجية للاستكشاف الجيوفيزيائي تتطلب تحليلاً معمقاً للنموذج المعني، الذي أفرزته خاصة عدم التجانس الجيولوجي في الخواص الفيزيائية لذات الصخر أو لمجموعة من الصخور المتجاورة فيما بينها، لما هو تحت سطح الأرض، وأيضاً بسبب وجود بعض الحالات التي تتصف بها الأجسام الجيولوجية بتغيرات في التركيب البتروغرافي، والذي قد لا ينعكس من خلال التباين في الخواص الفيزيائية.

وانطلاقاً من تلك الخواص الفيزيائية لكل نطاق من النطاقات الأرضية، وما قد تبديه من ظواهر فيزيائية معينة، يتجلى فيما يلي:

- ظاهرة الحقل المغنطيسي الأرضي.
- ظاهرة الحقل الجاذبي الأرضي.
- ظاهرة الحقل الحراري والإشعاعي الأرضي.
- ظاهرة الحقل الكهربائي.
- ظاهرة الحقل المروني.

وغير ذلك من ظواهر فيزيائية أخرى، وبالتالي فإنه يتوجب دراسة هذه الحقول الفيزيائية، بمفاهيمها ومكوناتها، وعلاقاتها مع بعضها البعض، إذ أن لكل خاصة من الخواص تداعيات مرتبطة بنشوء الظاهرة المقابلة لها. ومن الجدير ذكره بأن كل هذه الظواهر الموجودة حول الأرض وسطحها مبنية على التباين (الاختلاف)، والتباين بالأصل قائم على الثنائية، الموجودة في أساس كل شيء في الحياة، فهي ليست من اختراع الحاضر، بل موجودة في الطبيعة، وهي سمة من سماتها.

• كل خاصة يقابلها حقل -تتجسد بظهور حقل فيزيائي أرضي- فالخاصة الكهربائية مثلاً، تعطي حقلاً كهربائياً، والخاصة الإشعاعية تعطي بالمقابل حقلاً إشعاعياً.. وهكذا.

• تصنف تلك الحقول الفيزيائية إلى صنفين: فثمة حقول كمونية، أي ذات منشأ طبيعي، كالحقل الجاذبي، والحقل المغنطيسي، وثمة حقول أخرى، غير كمونية، أي يمكن توليدها، كالمصدر السيزمي والكهربائي.

• تتأثر الخواص الفيزيائية بمجموعة من العوامل:

- عمق التوضع الطبقي وعمره.
- حجم الجسم الذي يكتسب تلك الخاصة.
- شكل الجسم.

درجة العزل عن غيره من الأجسام.
المسافة الكامنة بينه وبين الجسم الآخر.

3-2- حركة الأرض وديمومتها:

يُعدُّ كوكب الأرض ثالث كواكب المجموعة الشمسية بعداً عن الشمس، بعد كوكبي عطارد والزهرة، ويعد المكان الوحيد المعروف بوجود حياة عليه ، ومسكناً لملايين الأنواع من الكائنات الحية ، بما فيها الإنسان.

كما تُعد الأرض مسكناً لملايين الأنواع من الكائنات الحية، بما فيها الإنسان، وهو المكان الوحيد المعروف بوجود حياة عليه في الكون.

لقد تكونت الأرض منذ حوالي 4.5 مليار سنة، وقد ظهرت الحياة على سطحها في المليار سنة الأخيرة، ومنذ ذلك الحين أدى الغلاف الحيوي للأرض إلى تغيير الغلاف الجوي، والظروف الموجودة على كوكب الأرض، مما يسمح بتكاثر الكائنات، التي تعيش فقط في ظل وجود الأوكسجين، وتكوين طبقة الأوزون، التي تعمل مع المجال المغنطيسي للأرض على حجب الإشعاعات الضارة، بما فيها الأشعة فوق البنفسجية، مما يسمح بوجود الحياة على سطح الأرض.

يُعد كوكب الأرض بيئة متكاملة، تتطلب إشراف الإنسان عليها لصيانتها من الأخطار، التي تهددها، وتهدد الإنسان ذاته في نهاية المطاف.

يتسم كوكب الأرض بحركة دائمة، لا تتحكم فيها الأغلفة الأرضية الثلاثة - الصخري والمائي والغازي، من صخور وماء وهواء، كل على حده، بل يأتي التحكم من خلال التأثير المتبادل المستمر (الدائم) للهواء والماء والصخور، فيما بينها.

ثمة أدلة كثيرة تؤكد على أن الأرض ليست كوكباً ساكناً، بل هي في حركة دائمة، ومستمرة، فقد ترتفع القشرة الأرضية في مكان ما، وقد تتخفض بشكل ملحوظ في مكان آخر. وهذه الحركات غالباً ما تصاحبها شقوق كبيرة وصدوع مختلفة. والتي تعرف بالفوالق -تمثل الفوالق والصدوع تشوهات تمزقية في الوسط الصخري- ويمكن تفسير معظم الحركات على امتداد الصدوع تفسيراً مرضياً باستعمال نظرية الصفائح التكتونية

.Tectonic Plates

ومما يدل على ديمومة الحركة الأرضية تلك التغيرات المستمرة، والعمليات الدائمة - من تعرية وتجوية- والتي تُغير باستمرار في معالم سطح الأرض، وبالمقابل فإن ثمة عمليات مساهمة في البناء المستمر أيضاً، كعمليات البركنة وبناء الجبال، والتي تعمل على رفع بعض المناطق في اتجاه معاكس للجاذبية، وهذا ماله علاقة بالحرارة الداخلية للأرض، كمصدر من مصادر الطاقة.

3-2-1- مكونات الغلاف الصخري وحركتها:

لقد شهدت العقود الماضية تطوراً علمياً ومعرفياً هائلاً، تجلّى بتقديم مجموعة من الفرضيات الفاعلة، والتي تجسدت بالنظرية الحركية لمكونات الأجزاء الصلبة للأرض، للغلاف الصخري Lithosphere.

لاقت تلك النظرية الحركية استجابة قوية لدى أغلب الباحثين، ودعماً من المختصين الجيولوجيين، الذين اعتبروا الغلاف الصخري مكوناً من مجموعة من القطع الكبيرة - الصفائح البنيوية Tectonic Plates، التي تتحرك باستمرار، ولكن ببطء، ويعتقدون أيضاً بارتباط تلك الحركة بمصادر الحرارة الداخلية، فعندما تصعد المواد المنصهرة - الساخنة- من أعماق الأرض إلى أعلى، وتتوزع جانبياً عن طريق تيارات الحملان، تبدأ تلك الصفائح الصخرية بالحركة، مسببة نشاطاً زلزالياً وبركانياً هائلاً. ولقد أثبتت كوارث الهزات الأرضية Earthquakes، وأجهزة الرصد الحديثة أن قشرة الأرض التي نعيش على سطحها ليست ثابتة، ولا راسخة، وهي في حالة اهتزاز دائم لا يتوقف.

3-3- الخواص المرنة للصخور (نظرية المرونة):

ينبغي التعرض هنا إلى بعض الخواص الفيزيائية للصخور المكونة للغلاف الصخري، والتي من شأنها المساهمة الفعالة في حركية تلك الصخور، والتي من أهمها الخواص الفيزيائية المرنة للصخور، وتكتسب خواص المرونة بحد ذاتها أهمية بالغة، لاعتبارها المساهم الرئيس في ذلك النشاط الدائم للصخور الأرضية.

3-3-1- نظرية المرونة: Elasticity Theory

لا بد بادئ ذي بدء من الإشارة باختصار شديد والتذكير بنظرية المرونة، وما يتمخض عنها من معاملات، وعلاقات، ونسب مختلفة.

يعتمد المفهوم الأساسي للمرونة على تغير شكل وحجم الجسم الصلب باستخدام قوى مؤثرة على السطح الخارجي للجسم، وهذه القوى تُعارض أو تُقاوم بواسطة قوى داخلية، والتي بدورها تُقاوم التغيرات في الشكل والحجم، وكنتيجة لذلك يحاول الجسم العودة إلى حالته الأصلية عندما تُزال هذه القوى الخارجية.

وخاصية مقاومة التغيرات في الشكل والحجم، والعودة إلى الحالة الأصلية (غير المشوهة) عند إزالة القوى الخارجية، تسمى خاصية المرونة، حيث تتأثر كل مادة بأي مؤثر خارجي يطبق عليها، فقد تنتشوه عند ضغطها وتتعرض لتغيرات. إلا أننا سنعتبر في هذا الفصل مرونة الأجسام، أي ما يحدث لها عند تعرضها لضغط أو مؤثر خارجي. فإذا سحبنا أو ضغطنا جسماً فإنه ينتشوه (كأن يزداد طوله أو يقلص حجمه) ولكن إذا عاد إلى شكله الأصلي بعد زوال الضغط فإننا نقول أنه مرّن، وإن لم يحدث ذلك، فالتشوه دائم، والجسم غير مرّن. ونسمي العامل المرتبط بالقوة التي تحاول تشويه الجسم الإجهاد (stress)، كما نسمي ما يحصل للجسم نتيجة ذلك الانفعال (strain). وبالطبع فإن الانفعال يتناسب طردياً مع الإجهاد ويعتمد هذا التناسب على طبيعة الجسم الخاضع للإجهاد. ويُعرف معامل المرونة (elastic modulus) لأي جسم بالعلاقة:

$$y = E = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}} = \text{معامل المرونة}$$

إذ ثمة علاقة تربط بين القوى المؤثرة على السطح الخارجي للجسم والتغيرات الناتجة في الشكل والحجم، فالعلاقة بين القوى المؤثرة stress والانفعالات strain الناتجة عن ذلك، يعبر عنها بالإجهاد، والانفعال (stress, strain)، وهي الذي يجسد قانون هوك.

3-3-2- معاملات المرونة: Elasticity Modulus

وتصنف مرونة الأجسام إلى ثلاثة أنواع:

1- مرونة الطول:

وتمثل مقدار الاستطالة

النسبية لجسم عند شده.

ويسمى معامل المرونة في

هذه الحالة معامل يانغ

(Young Modulus).

الشكل (3-1): يمثل استطالة الطول عند

تطبيق قوة على الجسم

فإذا طبقنا قوة F على طرفي جسم ما طوله L ومساحة مقطعه A فإن قوى الترابط بين

ذراته تحاول مجابهة هذه القوة فيستطيل الجسم بمقدار ΔL ، كما في الشكل (3-1)،

إلى أن تتساوى القوة الخارجية وقوى الترابط الذري. ويُعرف إجهاد الطول (tensile

stress) عندئذ بالعلاقة: إجهاد الطول = $\frac{F}{A}$

حيث أن الإجهاد stress هو القوة F على وحدة المساحة A

لأجب- $\frac{F}{A} = \frac{F}{m \cdot L} = \frac{F}{m \cdot L} = \frac{F}{m \cdot L}$ (نيوتن، داين وحدات دولية).

وحدة المساحة m^2 ، سم²

كما يُعرف انفعال الطول (tensile strain) بالزيادة النسبية في طول الجسم، أي:

انفعال الطول = $\frac{\Delta L}{L}$

ومن ثم يُعرف معامل يانغ للمرونة Y أو E الذي يدل على مدى صلابة الجسم تجاه الاستطالة الطولية بالعلاقة:

$$E = Y = \frac{F / A}{\Delta L / L}$$



الشكل (2-3): يوضح تغير الإجهاد مع الإنفعال

ونلاحظ من العلاقة السابقة أن وحدة Y هي نفس وحدة الضغط، كما سنرى بعد قليل، ويطلق عليها في نظام الوحدات الدولي اسم باسكال (Pascal) ويرمز لها بـ Pa ، أي أن $1Pa = 1N/m^2$ ويوضح الشكل (2-3) تغير الإجهاد مع الانفعال لجسم ونلاحظ منه أن هناك ثلاث مناطق متميزة هي:

منطقة المرونة: وهي الواقعة بين النقطتين O و A وتتميز أن استطالة الجسم تتناسب خطياً مع القوة بحيث يعود لحالته عندما يزول تأثيرها عنه، ونقول إن الجسم يتبع قانون هوك في المرونة فيها.

وتقع المنطقة الثانية بين A و B حيث نلاحظ أن استطالة الجسم تتناسب طردياً مع القوة المؤثرة عليه إلا أنه لا يعود لطوله الأصلي إذا زال تأثيرها عنه، بل يستطيل بشكل دائم، ونقول إنه تشوه. وإذا صار الإجهاد كبيراً جداً بحيث يتجاوز نقطة التصدع C فإن الجسم ينشطر لقسمين أو أكثر.

2- مرونة السطح: وتمثل مقدار مقاومة الجسم لأي شد على سطحه، وممانعة مستوياته للانزلاق على بعضها. ويسمى معامل المرونة في هذه الحالة معامل القص السطحي (shear Modulus).

فإذا خضع جسم لقوة شد موازية لسطحه A ، كما في الشكل (3-3)، فإنه يتشوه، دون أن يتغير حجمه. عندئذ يُعرف إجهاد القص السطحي (shear stress) بالعلاقة:

$$\frac{F_t}{A} = \text{إجهاد القص السطحي}$$

وهو الإجهاد ، الذي يتم على المماس.

حيث:

F_t - القوة المماسية.

A - واحدة المساحة السطحية، التي تسحبها القوة F .

كما يُعرف انفعال القص السطحي (Shear Strain) بالعلاقة:

إنفعال القص السطحي =

$$\frac{\Delta x}{h}$$

حيث: Δx مقدار انسحاب

الوجه المشوه و h ارتفاع

الجسم، كما هو موضح بالشكل

(3-3)

ومن ثم يُعرف مقدار معامل القص السطحي (shear modulus) بالعلاقة:

$$\mu = \frac{F_t / A}{\Delta x / h}$$

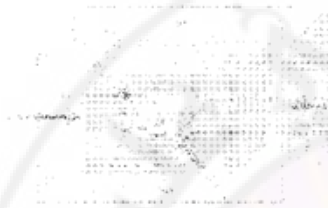
وكما هو الحال في الإجهاد الطولي فإن السوائل والغازات لا تتأثر بإجهاد القص السطحي. وإنما تتأثر فقط بالإجهاد الحجمي.

3- مرونة الحجم: وتمثل مقدار ممانعة الجسم لأي تغيير في حجمه. ويسمى معامل

المرونة في هذه الحالة معامل الحجم (Bulk Modulus). فإذا كانت القوة التي تضغط

على كل سطح من جسم مكعب مثلاً هي F ومساحة الوجه A ، كما بالشكل (4-3)،
عندئذ يُعرف إجهاد الحجم بالعلاقة:

$$\frac{F}{A} = \text{إجهاد الحجم}$$



كما يُعرف انفعال الحجم بمعدل
تغير حجم الجسم، أي:

$$\frac{\Delta V}{V} = \text{انفعال الحجم}$$

الشكل (4-3): يوضح إجهاد الحجم

ومن ثم يُعطى معامل الحجم
بالعلاقة:

$$K = \frac{F / A}{\Delta V / V}$$

ومن الطبيعي أن أكثر المواد القابلة للانضغاط هي الغازات، أما المواد الصلبة والسائلة
فضغطها في أغلب الحالات أصعب، إن لم يكن مستحيلاً.

كما أن هناك نسبة بواسون σ : Poisson's Ratio
والتي تُعطى بالعلاقة: معدل التغير بالعرض / معدل التغير بالطول.

$$\sigma = \frac{\text{معدل التغير بالعرض}}{\text{معدل التغير بالطول}} = \frac{\text{الانضغاط المستعرض النسبي}}{\text{الاستطالة النسبية}} = \frac{\Delta a / a}{\Delta L / L_0}$$

وهناك أيضاً ما يسمى بمعامل لامى λ : Lamé Parameter، والذي يُعطى
بالعلاقة:

$$\lambda = k - 2/3\mu$$

ومن الممكن إيجاز معاملات المرونة وفق الجدول رقم (1-3).

الجدول (1-3) يبين بعضاً من معاملات المرونة.

معاملات المرونة			
تعريف: معامل المرونة هو عبارة عن النسبة بين الإجهاد والانفعال المقابل له. وحيث أن لدينا ثلاثة أنواع من الإجهاد تقابلها ثلاثة أنواع من الانفعال فإنه لدينا ثلاثة أنواع من معاملات المرونة:			
وجه المقارنة	معامل المرونة الطولي (معامل يانغ)	معامل المرونة الحجمي	معامل المرونة القصي
التعريف	هو النسبة بين الإجهاد الطولي والانفعال الطولي	هو النسبة بين الإجهاد الحجمي والانفعال الحجمي	هو النسبة بين الإجهاد القصي والانفعال القصي
المعادلة الرياضية	$E = Y = \frac{F}{A} / \frac{\Delta L}{L}$	$K = \frac{F}{A} / \frac{\Delta V}{V}$	$\mu = \frac{F}{A} / \frac{\Delta \theta}{\theta}$
وحدة القياس	نيوتن/متر ² N/m^2	نيوتن/متر ² N/m^2	نيوتن/متر ² N/m^2

3-3-3- العلاقة بين معاملات المرونة من جهة، وبينها وبين سرعة
الأمواج الطولية V_p وسرعة الأمواج العرضية V_s من جهة أخرى، وتعطى هذه
العلاقات كما يلي:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\sigma}{(1-2\sigma)(1+\sigma)}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\sigma)}} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{k}{\mu} + \frac{4}{3}} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{\frac{1}{2}-\sigma}} = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}}$$

$$\frac{V_p}{V_s} \approx \sqrt{3}$$

حيث أن ρ هي كثافة الصخور.

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)} \quad \text{معامل القص}$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\sigma)} \quad \text{المعامل الحجمي}$$

$$\lambda = K - 2/3\mu \quad \text{معامل لامى}$$

3-3-4- لمحة موجزة عن التركيب الداخلي للأرض وتقسيمها إلى عدة أجزاء:

(يكتفى بما يخدم هذا المقرر):

أولاً- القشرة الأرضية: **Earth Crust**:

وتتكون القشرة الأرضية من ثلاثة أنواع من الصخور هي:

الصخور النارية (أو الاندفاعية)، وأغلبها من الغرانيت، وتشكل أكثر من (90%) من تركيب القشرة الأرضية، والصخور المتحولة، والتي تشكل أقل من 5% من تركيبها، والصخور الرسوبية، والتي تشكل أيضاً بحدود 5% من تركيب القشرة الأرضية، كما يبين الشكل (3-5).



الشكل (3-5): يبين نسبة الصخور المكونة للقشرة الأرضية.

وتتكون القشرة الأرضية من جهة أخرى أيضاً من قشرة قارية أغلب صخورها من الغرانيت.

وأخرى قشرة محيطية، وتتكون بشكل رئيسي من البازلت.

ثانياً - المعطف: Mantle:

وهي الطبقة التي تلي القشرة الأرضية، وتتكون من صخور نارية ثقيلة، وكذلك من البازلت. ويقسم المعطف إلى قسمين:

1- المعطف العلوي Upper Mantle:

ويقع تحت الجزء السفلي من القشرة الأرضية، وينفصل عنها بسطح عدم توافق، يُعرف باسم سطح موهو، (يتميز هذا السطح بالاختلاف الكبير في سرعة الأمواج الزلزالية عند انتقالها من القشرة إلى المعطف). يمتد المعطف العلوي حتى عمق ٧٠٠ كم تحت سطح الأرض تقريباً، ويتكون من مواد لدنة (مائعة). الشكل (٣-٦)، والشكل (٣-٧).

الشكل (3-6): يبين التركيب الداخلي للأرض والطبقات المكونة لها.

الشكل (3-7): يشمل القشرة الأرضية والجزء العلوي من المعطف العلوي من 35-36 صفحة تكتونية بما فيها الصفحة العربية.

1- المعطف السفلي Lower Mantle:

ويمتد هذا القسم حتى عمق 2885 كم (وبسماكة حوالي 2200 كم)، ويتكون من مواد صلبة متجانسة، وتصل سرعة الأمواج الزلزالية فيه إلى حوالي 12-14 كم/ثا. كما يشكل المعطف بجزأيه حوالي ثلثي كتلة الأرض كلها.

ثالثاً - النواة: Core:

وهي الجزء، الذي يقع أسفل المعطف السفلي، ويقع في قلب الأرض والسطح الذي يفصل بينهما هو انقطاع غوتنبيرغ.

وتتكون النواة بدورها من غلافين هما:

نواة داخلية (صلبة).

ونواة خارجية (سائلة).

- النواة الخارجية: وتصل إلى عمق 5100 كم تقريباً، وبسماكة حوالي 2200 كم.

- النواة الداخلية: وتصل إلى عمق 6371 كم تقريباً وبسماكة حوالي 1271 كم.

كما أن ثمة تصنيفاً آخر للأرض:

أ- الغلاف الصخري Lithosphere:

ويتكون من القشرة الأرضية والجزء العلوي من المعطف العلوي، وتختلف سماكة الغلاف الصخري من منطقة إلى أخرى، فهو قليل السماكة تحت المحيطات، حيث يصل عمقه إلى 10 كم تقريباً، أما تحت اليابسة فيصل عمقه إلى 100 كم.

ب- الغلاف الوهن (المائع) المعطف Asthenosphere:

وهو يلي الغلاف الصخري، ويقع في الجزء السفلي من المعطف العلوي، وقد يصل عمقه إلى 700 كم، ويتكون من مواد منصهرة جزئياً مائعة، وتسلك هذه الطبقة المائعة سلوك المواد اللدنة (البلاستيكية)، وليس سلوك المواد الصلبة، ودرجة حرارتها تكون قريبة من درجة الانصهار.

ويعتبر العلماء والباحثون هذه الطبقة مسؤولة عن تيارات الحملان، وهي الأساس لنظرية انزياح القارات.

كما أن هناك الغلاف الصلب (المعطف الصلب السفلي)، الذي قد تصل سماكته إلى حوالي 2200 كم.

3-3-5 أنواع الأمواج الزلزالية (السيسمولوجية): Types of Seismic Waves

يوجد نوعان أساسيان للأمواج الزلزالية، التي تنتشر على شكل أمواج مرونية Elastic Waves من بؤرة الزلزال وفي جميع الاتجاهات:

أ) في جسم الكرة الأرضية كأمواج جسمية body waves مؤلفة من:

-أمواج ضغطية P-Waves (طولية Longitudinal)، يخترق بعضها القشرة الأرضية والمعطف أو النواة الخارجية والداخلية. وتنعكس على السطوح الفاصلة بين الطبقات

المذكورة مرآت ومرآت، قبل أن تتخامد، وتصبح غير قابلة للقياس. تنظم القوانين الفيزيائية هذه الانعكاسات، التي يمكن رصدها وتسجيلها.

- وأمواج جزية، قصية Shear Waves (عرضية Transversal Waves)

(ب) أوهي تنتقل على سطح الأرض كأمواف سطحية Surface Waves، مركبة

(ضغطية وقصية) حيث يمكن التمييز بين:

- أمواف سطحية كروية Spherical، اشتهرت باسم مكتشفها Rayleigh Waves.

- وأمواف حلزونية toroidal، اشتهرت باسم مكتشفها Love Waves.

كما أشارت بعض التسجيلات الحية، التي استمرت لأكثر من ساعة لزلازل ضخمة، حيث تتمايز السرعات والسعات المسجلة، وتكون سرعة انتشار الموفة الطولية أكبر من الموفة القصية (الجزية)، على عكس الحال في المطالات (السعات) Amplitudes.

3-3-6- خواص الأمواف الزلزالية (السيسمولوجية):

- خواص الموفة الجسمية الطولية (P-Waves) هي أنها:
- موفة أولى P (P-Wave) Primary W.
- موفة انضغاطية، وهي التي تعمل على انضغاط الجزيئات Compresional
- موفة طولية لأن حركة جزيئات التربة في ذات اتجاه انتشار الموفة.
- موفة حجمية، لأن إجهاد الموفة يسبب انفعال حجمي.
- خواص الموفة الجسمية القصية (S-Wave) هي أنها:
- موفة ثانية Second Wave، لأنها تصل بعد الموفة الطولية P، وهي أبطأ منها.
- موفة قصية (Shear Wave)، لأن إجهاد الموفة يسبب انفعال قصي (Shear)، وهي لا تنتشر في السوائل والغازات، لأن تلك الأوساط تتأثر بالانفعال الحجمي ولا تتأثر بانفعال القص.

- موجة مستعرضة Transverse Wave، لأن حركة الجزيئات عمودية على اتجاه انتشار الموجة.

3-4- سيسمولوجية الأرض - الزلازل: Seismology:

أثبتت النتائج الحديثة للأبحاث العلمية أن الأرض كانت وما زالت نشطة وغير مستقرة، ويتكون غلافها الصخري من عدة صفائح تكتونية، تتحرك بجوار بعضها البعض بحركات نسبية، مختلفة، إلا أننا لا نشعر بحركتها، لأنها بطيئة نسبياً. الشكل (3-8) يبين الصفائح التكتونية، والأحزمة المتوضعة بينها، وفق معطيات النصف الثاني من القرن العشرين.



الشكل (3-8): يبين الصفائح التكتونية والأحزمة المتوضعة بينها وفق معطيات النصف الثاني من القرن العشرين.

ولقد استطاع العلماء والباحثون سبر أغوار الأرض، ومعرفة تركيبها، وعلى أي عمق من سطحها يقع مركزها، وذلك عن طريق الآبار والمناجم، بغية الحصول على الثروات الطبيعية، المدفونة في باطنها، كما لجأوا إلى استخدام الأمواج الزلزالية لتحقيق أهدافهم. كما درسوا البراكين والزلازل، واستفادوا منها في تحديد التركيب الداخلي للأرض.

3-4-1- الزلازل:

تعد الزلازل من أقدم الظواهر الطبيعية، التي عرفتھا الإنسانية، وعانت منها بدرجات متفاوتة على مر تاريخھا الطویل، وقد أبرز المؤرخون دور الزلازل في تهديم وإبادة الكثير من الحضارات، ودونوا الفواجع، التي ترتبت عنها. وحتى الآن لا يمر عام إلا وتسبب الزلازل الكوارث والمآسي هنا وهناك في شتى بقاع العالم، لهذا كان من الطبيعي أن تهتم أمم الأرض وشعوبها بهذه الظاهرة الطبيعية وتحاول رصدھا، والتنبؤ بحدوثھا، وإيجاد الوقاية من أضرارھا المدمرة، واتخاذ التدابير اللازمة للتخفيف من آثارھا البشرية والاقتصادية.

وقد دفعت النتائج المترتبة على حدوث الزلازل العالم إلى العمل الجاد على دعم وتطوير علم الزلازل، وإنشاء المعاهد الدولية وعقد المؤتمرات، والندوات العلمية، الهادفة إلى ربط العلماء المتخصصين، وترقية قدراتهم، على دراسة الزلازل، وتحديد نطاقات حدوثھا، وتصميم المنشآت المقاومة لها، والتقليل من مخاطرها. وقد حقق علم الزلازل وخصوصاً في المجالات التطبيقية تقدماً سريعاً على الرغم من حداثة نسبياً.

يعد الاهتمام بالبحوث والدراسات الزلزالية ضرورة حيوية واقتصادية، وخاصة عند إنشاء المدن، والطرق والجسور والمطارات والسدود ومحطات الطاقة وأنابيب النفط والغاز، وإنشاءات المشاريع الكبرى، والمعامل ومصافي النفط، ومحطات معالجة المياه وغيرها.

وبمعنى آخر تعتبر الاحتمالات الزلزالية أحد أهم المعايير في تخطيط التوزيع الإقليمي للسكان، ومواقع الانتاج. ويقع تأمين القاعدة العلمية والمعرفية لتحقيق ذلك على عاتق مراكز البحوث والدراسات الزلزالية.

كما أشار العلماء إلى أن ثمة عوامل داخلية تكمن وراء حدوث الزلازل على سطح الأرض، ترتبط بتكوين الأرض، والتي بدورها تتألف كما تمت الإشارة إلى ذلك من عدة طبقات:

1-القشرة Crust.

2-المعطف Mantle.

3-النواة Core.

وتتكون من نواة الأرض من كرة صلبة من الحديد والنيكل، قد تصل درجة الحرارة فيها إلى عدة آلاف (قاربة 6000م°)، وباعتبار طبقات الأرض غير متجانسة فإن ثمة عملية انتقال للحرارة من منطقة إلى أخرى قد تحدث، سواء بخاصية التوصيل في المناطق الصلبة، أو بخاصية الحمل (الحملان) في المناطق السائلة، أو بخاصية الإشعاع على سطح الأرض.

وعندما تتراكم الطاقة الكامنة (الحبيسة) في منطقة ما من طبقات الأرض يظهر دور الشمس والقمر من خلال أمواج الجذب، التي تؤثر بها على الأرض، وهذا ما يسمح بتحرير الحرارة (الطاقة) المختزنة داخل باطن الأرض على شكل زلازل وبراكين.

3-4-2- أسباب الزلازل والنشاط الزلزالي:

أكدت كوارث الهزات الأرضية أن القشرة الأرضية ليست ثابتة وغير مستقرة، وهي في حالة اهتزاز دائم، لا يتوقف. فمن أين يأتي الزلزال؟ ومتى يبدأ إحساس الإنسان به؟ وكيف تحدد أمكنة حدوثه؟

3-4-2-1- ما هو الزلزال؟

الزلزال هو تكسر أو تفلق مفاجئ في الطبقات الصخرية الأرضية، بسبب إجهادها إلى حدود تفوق قابلية تحملها للقوى التكتونية، داخل الغلاف الصخري، حيث تحرر إثر ذلك طاقة حركية ضخمة جداً، ينطلق معظمها على شكل اهتزازات، تنتشر بسرعات متفاوتة، في باطن الأرض، وعلى سطحها، مسببة الكوارث، والدمار، للبيئة والإنسان. أو يمكن القول بأن الزلزال ظاهرة طبيعية، تتجسد باهتزاز أرضي سريع، يتبعه ارتدادات موجية زلزالية. وهذا يعود إلى تكسر الصخور، وإزاحتها، بسبب تراكم الإجهادات الداخلية، كنتيجة للمؤثرات الجيولوجية، المرتبطة بحركة الصفائح الأرضية، المكونة للغلاف الصخري (الليتوسفير) Lithosphere. كما تؤدي الزلازل إلى تشقق الأرض، وحدوث ارتفاعات وانخفاضات في القشرة الأرضية، وأيضاً قد تحدث أمواج عالية تحت سطح البحر، وهذا ما يسمى تسونامي، فضلاً عن آثارها التخريبية للمباني، والمنشآت،

والمواصلات، وهي غالباً تنتج عن حركات الحمل الحراري في الغلاف الوهن Asthenosphere، والتي تحرك الصفائح الأرضية متسببة في حدوث هزات زلزالية.

3-4-2-2- ظاهرة التسونامي Tsunami:

هو عبارة عن اهتزازات ضخمة، تحدث في قاع البحار، بسبب الانزياحات الكتلية الأرضية، تؤدي إلى ارتفاع الأمواج عشرات الأمتار، تجتاح الشواطئ البحرية، محدثة طوفانات عنيفة، ومسببة كوارث طبيعية. ويعود السبب الرئيس في ذلك إلى الحركة التكتونية لقاع المحيط على امتداد الانهدام المعني.

وتجدر الإشارة هنا إلى المثال الحيوي، الذي لم يمض عليه بضعة سنوات، وهو طوفان تسونامي صومطرا - اندامان، الذي حدث بتاريخ 2004/12/26، والذي يعد من أعنف الطوفانات المحيطية، التي عرفها الإنسان، ورصدها على كامل الكرة الأرضية، وذلك حسب السيد إدي برنارد Eddy Bernard (المدير السابق لبرنامج تخفيف مخاطر تاتسونامي في الولايات المتحدة، رئيس لجنة تسونامي في الاتحاد الدولي للجيوديزياء والجيوفيزياء IUGG، والمدير الحالي للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي في مخبر البيئة البحرية للمحيط الهادئ)، الذي أعلن أنه تلقى تقارير عن تسجيل تسونامي في 2004/12/28 في بواية المد-جزر Tides في كامتشاتكا الروسية، وأنها أيضاً قابلة للتسجيل في المحيط الأطلسي، مما يشير إلى وصول التسونامي إلى هذه المسافات البعيدة، وبالتالي إلى ضخامة الطاقة المنفجرة عن الزلزال تحت البحري، والانزلاقات الصخرية، التي نجمت عنه في القشرة الأرضية، تحت قاع المحيط.

وهذا ما جعل "مجتمع التسونامي" يلجأ -وهو في دهشة عارمة من هذا الحدث- لتجنيد القوى العقلية والتقنية لدى جميع العاملين في علوم الأرض، من أجل استيعاب وتفهم هذا الاضطراب العنيف، الذي نشأ في قطاع الاندساس Subduction Zone بين الصفيحتين: الهندية-الأسترالية. والصفيحة البورمية، الواقع بالقرب من تخوم صومطرا في الساعة الواحدة تقريباً (58 دقيقة و 47 ثانية) بعد منتصف الليل، بتوقيت غرينتش في بداية يوم 26/كانون الأول 2004، واستمر الاهتزاز بحدود 7 دقائق، منتشراً نحو

الشمال الغربي على طول انهدام سوندا Sonda Trench بحدود 1200 كم حتى جزر أندامان Andaman.

وتسببت الانزلاقات الكتلية، التي حدثت تحت قاع المحيط بنشوء تسونامي ضخم، زحف باتجاه الشاطئ على شكل طوفان، ارتفاعه بحدود عشرة أمتار، في شمال صومطرا، وانتشر عبر المحيط الهندي، وبحر أندامان، ليضرب سيريلانكا خلال ساعتين من الانفجار، متسبباً ب وفاة ما يقرب من 300/ ألف من السكان، على طول شواطئ إحدى عشرة (11) دولة في المحيط الهندي، في إحدى أعنف الكوارث الطبيعية، التي أصابت البشرية منذ بدء التاريخ.

3-4-3- آلية حدوث الزلزال:

من المفيد التوقف عند أهم أنواع الزلازل وأخطرها، وهي الزلازل التكتونية (البنوية)، تلك التي تنشأ نتيجة الحركة النسبية للصفائح التكتونية، Plates Tectonic، التي تتكون منها القشرة الأرضية، والتي تتحرك بشدة على مسار الصدوع، حيث يبدأ مع مرور الزمن تراكم الإجهادات الداخلية، في الصخور الواقعة على حدود -أطراف- الصفائح المتحركة، وتسهم التشوهات الناتجة عن عمليات الشد والضغط، والحرارة العالية، وقوة الاحتكاك، عبر السطوح الفاصلة بين الصفائح إلى زيادة كبيرة في الإجهادات المتراكمة، وعندما تصبح قيمة تلك الإجهادات أكبر من تحمل الصخور في منطقة تراكم الإجهادات، فإن الشقوق والفوالق ستتشكل عبر السطح الضعيف، بهدف إعادة التوازن إلى طبقات الأرض في المنطقة، بعد أن تحرر كمية هائلة من الطاقة المتراكمة داخلياً، وبشكل فجائي، محدثة الزلزال في المنطقة، وعادة يحدث التشقق في منطقة عميقة من الصخور تسمى مركز الزلزال الجوفي (بؤرة الزلزال)، وكنتيجة لذلك التشقق تنشأ الأمواج الزلزالية، التي تنتشر عادة بسرعة 3 كم/ثا، ويدعى المسقط على سطح الأرض بمركز الزلزال السطحي.

وفي الواقع فإن إحساس الإنسان بالزلازل لا يبدأ إلا عندما تصل شدة الهزات الأرضية إلى أربع درجات على مقياس ريختر، وتصبح كبيرة حقاً، ومسببة لأكبر النكبات عندما تزيد درجتها على سبع درجات على هذا المقياس.

3-4-4- العوامل المسببة للزلازل:

تحدث الزلازل تحت تأثير عوامل خارجية وأخرى داخلية، منها:

أ- الحركات التكتونية:

حيث درس العالم الجيولوجي (سيوس) في عام 1875 الزلازل في إيطاليا والنمسا، وتبين من النتائج بأن الزلازل مرتبطة بالحركات التكتونية، حيث أن الزلازل تحدث في مناطق زلزالية معروفة، تُعرف بالأحزمة الزلزالية (ستشرح لاحقاً)، لاسيما على طول حدود الصفائح التكتونية Tectonic Plate للغلاف الصخري، حيث يوجد العديد من الصدوع النشطة، مما يسمح بحدوث حركات مفاجئة، على طول التشققات أو الصدوع، مما يؤدي إلى تحرير الطاقة الكامنة (الداخلية) على شكل أمواج مرنة سيزمية، والتي قد تسفر عن خسائر في الأرواح، وأضرار في المنشآت.

إن معظم هذه الأضرار تنشأ من الهزات الأرضية المتمركزة بشكل أساسي على حواف الصفائح التكتونية.

ب- اختلال التوازن في مناطق القشرة الأرضية:

قام بعض الباحثين (نوبرالاف، موشكيت، رومانوف، بيثل وآخرون) بدراسات، أكدوا من خلالها على أن الزلازل مرتبطة باختلال التوازن في مناطق القشرة الأرضية، التي تتعرض لظاهرة التقاص (التصادم) للكتل والتراكيب الجيولوجية بعضها مع بعض، أو بالعكس، عن طريق ظاهرة التمدد، وذلك بابتعاد تلك الكتل الجيولوجية عن بعضها البعض، مؤدية إلى اختلال في التوازن في كلتا الحالتين وحدوث الزلازل.

ج- الحركات العمودية للقشرة الأرضية:

يرتبط النشاط الزلزالي بالحركات العمودية للقشرة الأرضية، الناجمة من حركة الماغما في أعماق الأرض. كما ترتبط مواقع الزلازل (فالق البحر الميت، فوالق طوروس، زغروس وغيرها). يعد تحديد الفوالق (العميقة) من الأدلة الرئيسة في الأبحاث الزلزالية عند دراسة أية منطقة معينة.

د- حدوث البراكين والتباين الحراري في باطن الأرض:

تُعد حرارة باطن الأرض من أهم الأسباب المؤدية إلى تكوين تيارات الحملان (تحت القشرة الأرضية) والتي تتراوح سماكتها ما بين ٣٠-٣٥ كم في اليابسة (القشرة القارية)، وحوالي ٥-٨ كم في المحيطات... كما تُعد صخور القشرة القارية صلبة نسبياً، بالمقارنة مع صخور الطبقة، التي تحتها، المؤلفة من مواد منصهرة. لذا فإن حدوث التغيرات في التدفق الحراري الداخلي للأرض يسبب حدوث تيارات الحملان داخل الأرض، وينتج عنه استحضار المواد المنصهرة في باطن الأرض وقذفها - كحمم بركانية - وتسبب اهتزاز الأرض (زلازل). كما أن التباين الحراري كنتيجة لتصادم الصخور الباطنية العميقة أو من خلال حركة المياه الساخنة على امتداد الفوالق العميقة، لصخور القاعدة، أو لمكونات طبقة المعطف الواقعة تحت صخور القشرة الأرضية. كما أن تذبذب درجة الحرارة قد يعطي مؤشراً على تحديد مواقع الطاقة الحرارية، والتي تتلائم أحياناً مع الهزات الأرضية.

هـ - النشاط البشري:

يؤدي النشاط البشري في مجال إنشاء المشاريع الكبيرة، والسدود الضخمة، في بعض المناطق (الصين، تركيا، مصر وغيرها) إلى تنشيط الزلازل، كنتيجة لحجم المياه، وكميتها، والمساحة التي تغطيها، تلك المياه، وبخاصة في المواقع التي يزيد عمقها عن 50 م.

كما أن الاستخراج المفرط للمياه والنفط والغاز من تحت سطح الأرض قد يؤدي إلى خلق أجواء مناسبة لتنشيط الزلازل (حوض منطقة الخليج، بحر قزوين، وغيرها).

و - دور الشمس والقمر:

كما تؤدي أمواج الجذب للشمس والقمر على الأرض، إلى تحرير الحرارة المختزنة داخل باطن الأرض على شكل زلازل وبراكين.

3-4-5- مقاييس شدة الزلازل:

ما عاد الاهتمام بظاهرة الزلازل في العالم شأنًا محصوراً على المتخصصين في الزلازل ومخاطرها، بل أضحت منذ وقتٍ غير قصير شأنًا إنسانياً، ومصيرياً، يهم المفكرين والباحثين والمسؤولين. لذلك اجتهد هؤلاء في اختراع المقاييس لوصف الزلازل وقياس شدتها.

وقد ظهر إلى حيز الوجود مقياسان هامين:

-المقياس الأول: يقيس الشدة الزلزالية Intensity، ويُعرف بأنه مقياس وصفي، لما يحدثه الزلزال من تأثير على الإنسان، وممتلكاته، من جراء الأضرار الميدانية، والإنشائية، الحاصلة تبعاً لذلك، ويسمى هذا المقياس بمقياس ميركالي، (وذلك في عام 1902)، والذي يشتمل على 12 درجة، فمثلاً الزلزال ذو الشدة "12" فإنه زلزال مدمر لا يبقى شيئاً، ويتسبب في خروج الحمم الملتهبة من باطن الأرض واندلاع البراكين، واهتزاز الأرض ككل، (الجدول 3-2).

-المقياس الثاني: يقيس قوة الزلزال Magnitude، وضعه الجيولوجي تشارلز ريختر Richter أواخر عام 1930. وهذا المؤشر يعبر عن كمية الطاقة الزلزالية (طاقة الإجهاد)، التي تسبب الزلزال.. وهذا مقياس علمي، تُحسب قيمته من الأمواج الزلزالية التي تسجلها المحطات المختلفة للرصد الزلزالي. وعليه فلا يوجد اختلاف يذكر بين قوة زلزال يُحسب بواسطة مرصد حلوان بمصر مثلاً، أو مرصد "أبسالا" بالسويد (الجدول 3-3).

الجدول (2-3): يبين العلاقة بين قوة الزلزال والأضرار الناجمة عنه.

المصدر: [غير معروف]

الجدول (3-3): يبين العلاقة بين مقياس ريختر ومقياس ميركالي

مقياس ميركالي	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
مقياس ريختر	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5

وتتدرج درجات مقياس ريختر لوغاريتمياً (أي أن الشدة تعبر عن اللوغاريتم العشري) لمطال (السعة) الهزة الأرضية، والمقدرة بالميكرون (10^{-6} m). وعليه فإن كل رقم على مقياس ريختر يمثل هزة أرضية أكبر بعشرات مرات من القيمة الأدنى منها مباشرة على المقياس ذاته فالزلازل الذي يسجل سبع درجات يكون أشد بألف مرة من ذلك الذي يسجل أربع درجات على ذات المقياس. ويقاس مقياس ريختر مقدار الطاقة المرنة، التي تنطلق من بؤرة الزلازل، عندما تتحرك الصخور، التي تسببه، والتي تتزايد مع قوة هذه الحركة، والخلخلة، التي تحدثها في قشرة الأرض.

يشير الجدول (2-3) والجدول (3-3) إلى العلاقة بين مقياس ريختر وميركالي، وإلى الأضرار التي تتراوح بين هزات خفيفة وحتى الضحايا بمئات الآلاف واستواء جبال مع الأرض، ودمار مدن بأكملها.

وفي الحقيقة لا توجد علاقة مباشرة بين مقياس ريختر ومقياس ميركالي، فمثلاً إن زلزال بشدة 6 درجات على مقياس ريختر في منطقتين مختلفتين يعطي أضراراً بدرجة مختلفة في كل منطقة، حسب مقياس ميركالي. ويمكن تفسير ذلك بالنظر لارتباط الأضرار الناجمة عن الزلازل بعوامل عدة، وهي:

أولاً- شدة الزلزال.

ثانياً- درجة مقاومة المباني في منطقة الزلزال.

ثالثاً- طبيعة التربة في تلك المنطقة.

رابعاً- الكثافة السكانية وتخطيط المدينة.

على الرغم من صعوبة تعميم العلاقة بين المقياسين (ريختر وميركالي) إلا أن بعض الباحثين وضعوا علاقات وجداول، بين هذين المقياسين كالجدول (3-3).

3-4-6- الأمواج الزلزالية وتحديد مصدر الزلزال:

لقد تم التنويه سابقاً إلى أن بؤرة الزلزال هي المكان الذي ينشأ فيه الزلزال على عمق معين، تحت سطح الأرض، أما الموقع السطحي الذي يتوضع فوق البؤرة مباشرة فيسمى بالمركز السطحي للزلزال.. وتمت الإشارة أيضاً إلى أن انتشار الأمواج الطولية يتضمن تغيراً في الشكل والحجم، بشكل عام، للمواد التي تتخللها، بينما يتضمن انتشار الأمواج

العرضية تغيراً في الشكل فقط (أي أنها تغيّر، فقط من شكل المادة المنتقلة خلالها)، وبما أن السوائل والغازات تتأثر فقط بالتغير في الحجم، لذا فإن الأمواج العرضية لا تظهر في مثل هذه الأوساط. ناهيك عن التباين في سرعة انتشار تلك الأمواج المختلفة. فثمة قاعدة تنص على أن:

$$V_p \approx (1.5 - 2) V_s$$

$$V_R \approx 0.9 V_s$$

حيث أن:

V_p - سرعة الموجة الطولية.

V_s - سرعة الموجة العرضية.

V_R - سرعة الموجة رايلي.

تتوقف سرعة انتشار هذه الأمواج على الخواص المرنة للأوساط، التي تنتشر فيها. ففي الماء مثلاً تبلغ $V_p = 1.5 \text{ Km/S}$ بينما تبلغ $V_s = 0 \text{ Km/S}$ ، أما في المواد الصلبة فإن: $V_p = 1.7 V_s$

يمكن الاستعانة بالفرق بين زمني الوصول الأولي لكل من الموجة الطولية (P) والموجة العرضية (S)، لتحديد المركز السطحي للزلزال، يبين الشكل (3-9) أن الفارق الزمني بين الوصول الأولي لكل من الموجة الطولية والموجة العرضية يساوي ٤,٥ دقيقة، وبالتالي سيكون بعد المركز السطحي 3200 كم تقريباً.

الشكل (3-9): يبين كيفية استخدام زمن وصول الأمواج لتحديد بعد المركز السطحي للزلازل، والفرق بين زماني الوصول لأول موجة طولية أولية وأول موجة عرضية ثانية.

ومن المفيد تشبيه هذا المبدأ بسباق سيارتين، إحداهما أسرع من الأخرى، فكلما زادت مسافة السباق زاد الفرق في زمن الوصول عند نهاية السباق، ولذلك فكلما كان الفرق كبيراً بين زماني وصول الموجة الأولية P والموجة الثانية S كلما زادت المسافة بين المركز السطحي للزلازل وموقع البؤرة الزلزالية.

3-4-7- أعماق الزلازل:

أوضحت الدراسات السيسمولوجية أن أغلب الزلازل تنشأ عند أعماق تتراوح بين 5 و100 كيلومتر، وقام الباحثون بتصنيفها ضمن ثلاثة أنواع:
3-4-7-1- أنواع الزلازل حسب أعماق البؤر الزلزالية:

النوع الأول: تنشأ الزلازل عند أعماق لا تزيد عن 60 كيلو متراً، وتسمى بالزلازل الضحلة.

النوع الثاني: تنشأ الزلازل عند أعماق ما بين 60-100 كيلو متراً، وتسمى بالزلازل المتوسطة.

النوع الثالث: تنشأ الزلازل عند أعماق ما بين 100-700 كيلو متراً وتسمى بالزلازل العميقة.

كما أشارت الدراسات أيضاً إلى أن أغلب الزلازل وقعت عند أعماق دون 100 كيلو متر، (أي أنها شملت الزلازل الضحلة والمتوسطة)، وأكدت الدراسات ذاتها أن جميع الزلازل القوية نشأت عند أعماق ضحلة. مثال: زلزال مدينة سان فرانسيسكو عام 1906 على عمق 15 كيلو متر تحت سطح الأرض، وبقوة مقدارها 8.6 درجة على مقياس ريختر. وزلزال آلاسكا عام 1964 على عمق 33 كيلو متر تحت سطح الأرض، وبقوة مقدارها 7.5 درجة على مقياس ريختر.

أما الزلازل ذات البؤر العميقة فلم تتجاوز قوتها 6.9 درجة على مقياس ريختر.

3-4-7-2- أنواع الزلازل حسب الموقع الجغرافي:

لقد بينت الدراسات العلمية أيضاً أن حدوث الزلازل وتوزعها ليس عشوائياً، بل يخضع لنمط معين من الناحية الجغرافية، فلقد اتضح بأن الزلازل ، التي تقع على امتداد نظام مرتفعات وسط المحيطات لها بؤر ضحلة دائماً، وهي زلازل ضعيفة بشكل عام. كما لوحظ أيضاً أن كل الزلازل ذات البؤر العميقة، تتواجد في نطاق حزام المحيط الهادئ، وعلى الأخص في المناطق، التي تقع في اتجاه اليابسة من الخنادق العميقة للمحيط.

3-4-7-4- أنواع الزلازل حسب المنشأ أو القوى المسببة لها:

كما أن الزلازل يمكن أن تقسم إلى أربعة أقسام من حيث سبب المنشأ أو القوى المسببة لها:

زلازل تكتونية: وتشكل الغالبية العظمى من الزلازل، حيث يكون السبب الرئيسي فيها حركات تكتونية، وأرضية، ويدخل في هذا النوع جميع الزلازل التي تحدث نتيجة حركة الصفائح الحركية.

أ- زلازل بركانية: وتكون مصاحبة للأنشطة البركانية في مكان معين، إذ أن الحمم البركانية تصطدم بالصخور، وتعمل على تكسيرها، وبالتالي خروج طاقة زلزالية.

ب- زلازل انهدامية: ويقصد بها الزلازل الناتجة عن انهيارات، وانزلاقات أرضية ضخمة.

ت- زلازل تقع داخل الصفيحة التكتونية: وهي قليلة جداً، إلا أنها قد تكون مدمرة أكثر من غيرها لأنها قد تقع في إحدى القارات، حيث الكثافة السكانية العالية، وبالتالي التدمير الأكبر.

3-4-8- التنبؤ بحدوث الزلازل:

بناءً على المعطيات المتوفرة حول نشأة الزلازل فإن التنبؤ يتم على ثلاثة مستويات:

المستوى الأول: وهو مرتبط بتحديد المواقع الزلزالية بشكل عام، ويتناول مناطق واسعة من العالم، وهي مصنفة كأماكن نشطة زلزالياً، وتقع في نطاق الأحزمة الزلزالية.

المستوى الثاني: وهو مرتبط بتحديد القوة الزلزالية المتوقعة في المناطق المشار إليها آنفاً. ويُعد هذا المستوى أصعب بكثير من المستوى الأول، إذ ليس بالإمكان تحديد حجم الطاقة المتحررة، الكامنة في أعماق الأرض، قبل تحررها مع حدوث الزلازل.

المستوى الثالث: وهو مرتبط بعملية التنبؤ بتوقيت حدوث الزلازل، وهذا يُعد بحكم المستحيل حالياً، ولا توجد وسيلة حتى الآن تستطيع القيام بذلك.

يزداد اهتمام الباحثين يوماً بعد يوم بظاهرة الزلازل، ويسعون إلى إيجاد آلية معينة، لتسعفهم في تحديد موعد حدوث الزلازل.

يقول البعض بأن الاعتماد على سلوك بعض الحيوانات قد يساعد في التنبؤ بالزلازل، إذ تمتلك الطيور، والزواحف، والقطط، والكلاب، حواس مرهفة، تستشعر الزلازل

قبل وقوع الكارثة. فقديمًا شاهد الناس الفئران تهرب مذعورة قبل حدوث الزلزال بخمسة أيام. ويقول بعض العلماء بأن التغيرات في المغنطيسية الأرضية، وفي الكهربائية الجوية تشعر بها بعض الحيوانات، وهي بحد ذاتها خارجة عن المستوى المحدد لشعور الإنسان، وإن ثمة بوصلة موجودة في رأس الحمام، يستطيع بواسطتها تحسس التغيرات المغنطيسية، ما بين 10-30 جاما، والتي يسبق حدوثها عادة وقوع الزلزال.

وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أن قدرة الإنسان السمعية محدودة، فهو لا يستطيع سماع الموجة الصوتية، التي تقل تردداتها عن 1000 هرتز، ولا التي تزيد عن 20000 هرتز، وبالتالي يعجز الإنسان عن سماع الأصوات عالية التردد، المتولدة عن تصادم الكتل الصخرية، والتي تحصل قبل الزلزال الرئيسي، إلا أن القطط والكلاب تمتلك القدرة على سماع تلك الترددات العالية، وحتى التي تتجاوز منها 20000 هرتز، وصولاً إلى 60000 هرتز. وإن للحمام قدرة سماع الأمواج ذات الترددات المنخفضة جداً، وحتى دون 3 هرتز.

3-5- الأحزمة الزلزالية والخلفية التكتونية:

تمت الإشارة سابقاً إلى تكون الغلاف الصخري (الليتوسفير) من مجموعة من الصفائح التكتونية (القارية والمحيطية)، والتي تفصل (تتوضع) فيما بينها أحزمة تكتونية نشطة.

تتكون تلك الأحزمة التكتونية من مناطق ضعيفة، نشأت في القشرة الأرضية، والتي تُعد مراكز للنشاط الزلزالي، أو مخارج، تتنفس من خلالها الأرض، عما يعتمل في داخلها من طاقة كبيرة، قلقة، تحتاج للتحرر، والانطلاق: ويُطلق عليها علمياً الأحزمة الزلزالية والتي تنقسم بما يلي:

- تُعد الأحزمة الزلزالية أحزمة تكتونية المنشأ، تتوضع بين الصفائح التكتونية المكونة للغلاف الصخري.

- تُعد الأحزمة الزلزالية أماكن مفضلة، أو مرشحة لحدوث الزلازل. إلا أن الزلازل قد تحدث في أي مكان، وفي أي زمان، تتوفر فيه الشروط، المولدة -كتصدع جيولوجي

مثلاً- وفي التاريخ الجيولوجي حدثت زلازل، وهزات أرضية كثيرة، وكان من الصعب تحديد موقع هذه الزلازل وزمانها، إلا من خلال مؤشرات حركية أو بنيوية، تقدمها بعض الدراسات المعنية، مدعومة بالصور الفضائية.

• لا يُعد حدوث زلازل صغيرة في منطقة ما مؤشراً لحدوث زلزال مدمر، بل بالعكس، قد يكون عامل استقرار للمنطقة المعنية، لأن الطاقة المخزنة عبر زمن طويل قد تتفريغ في هذه الزلازل الصغيرة، وبالتالي قد تستقر تلك المنطقة، وقد يبتعد الخطر عنها، وقد لا تكون بالضرورة قريبة من تلك الأحزمة الزلزالية.

تجدر الإشارة إلى أن أرضنا مستقرة لحسن الحظ، وحركتها نسبياً أقل من حركة بلدان مجاورة حولنا... فهذا الكون متوازن (ويقوم على التوازن)، واختلال هذا التوازن يولد حركات مفتوحة لاحتمالات عديدة، تستوجب الدراسات الإقليمية والزلزالية. إلا أن منطقتنا ليست منطقة خطرة بالمقارنة مع الوضع الإقليمي.

بعض السمات المرتبطة بالأحزمة الزلزالية، أهمها:

أ- ثمة ارتباط وثيق بين حدود الصفائح التكتونية من جهة ومناطق النشاط الزلزالي من جهة أخرى، وعلى هذا الأساس تم تحديد ما يسمى بالأحزمة الزلزالية.

ب- قد نتواجد الزلازل في مناطق ليست لها علاقة بالأحزمة الزلزالية، حيث تتمركز في داخل الصفيحة، ويطلق على هذا النوع من الزلازل Intraplate Earthquakes، وهذا النوع قد يكون مدمراً، بسبب عدم توقعه، كما حدث في زلزال القاهرة في تشرين الأول من عام 1993.

ت- تعد الأحزمة الزلزالية مخازن كبيرة للطاقة، إذ يتركز بها 95% من الطاقة المحررة بواسطة الزلازل، وذلك في تلك النطاقات المحددة، التي تطوق الكرة الأرضية، والتي ينطلق منها أكبر مقدار من الطاقة عبر مجموعة من الأحزمة التكتونية، الكبيرة

منها والصغيرة، (الشكل 3-8) والتي تتوضع بين الصفائح القارية والمحيطية المكونة للقشرة الأرضية.

ث- ثمة ارتباط بين براكين القشرة الأرضية والضغط الواقعة عليها في المناطق المختلفة، قد تؤدي إلى حدوث نشاط زلزالي، وقد لا يمكن الربط بينه وبين حدوث نشاط زلزالي في منطقة أخرى.

يحدد خبراء الزلازل ستة أحزمة مما يعرف بـ أحزمة الزلازل الرئيسية التي تطوق الكرة الأرضية، في كل اتجاه، وكل حزام من هذه الأحزمة الزلزالية يضم في نطاقه، مجموعة من الدول، أو المناطق النشطة زلزالياً، وعلى سبيل المثال: فإن إيطاليا واليونان وتركيا ويوغوسلافيا والجزائر تقع في نطاق حزام واحد للزلازل. لكن هناك زلازل شديدة تقع على فترات متباعدة، كالزلازل، الذي حدث في البحر الأحمر عام 1969 وعام 1974 وعام 1981.

ويعتبر البحر الأحمر مصدراً رئيسياً لحدوث الزلازل، فمنذ مولده قبل 30 مليون عام، وهو يشكل المصدر الرئيس لتغيرات جيولوجية هائلة، شهدتها الكرة الأرضية، ولم يقتصر على حدود منطقته فقط، فمن خلال الأبحاث والدراسات، التي أجراها العديد من العلماء، اتضح بشكل علمي قاطع أن البحر الأحمر يزداد اتساعاً بمعدل يتراوح بين سنتيمتر واحد وسنتيمترين كل عام: وفي الوقت الذي تتزلق فيه شبه الجزيرة العربية باتجاه الشمال الشرقي لتصطدم بالهضبة الإيرانية، الأمر الذي سبب في الماضي طيات وتصدعات هائلة في جنوب إيران، حيث برزت إلى الوجود طيات من الجبال الشاهقة، وهذا الانزلاق يعد الآن في رأي العلماء السبب الأساسي وراء معظم الزلازل التي اجتاحت المنطقة.

أما في غرب البحر الأحمر فيحدث انزلاق قاري، مماثل، حيث تقترب القارة الإفريقية من أوروبا تدريجياً. وهذه الحركة سببت انحناء القشرة الأرضية، في الماضي، وبروز جبال الألب الشاهقة. أما اليوم فإن تأثيرها يلمس في الزلازل، التي تعرض لها جنوب أوروبا في العصر الحديث، وهي الدول التي تقع في نطاق حزام الزلازل، الذي سبق الإشارة إليها.

وتشير تلك الدراسات العلمية إلى أن شبه الجزيرة العربية قد انفصلت عن القارة الإفريقية منذ حوالي 30 مليون عام نتيجة الصدع العظيم، الذي امتد من شرق إفريقيا إلى اتجاه الشمال الشرقي. وقد نتج عن هذا الصدع تكوين الانهدام (الأخدود) الإفريقي الكبير، والبحر الأحمر، وخليج العقبة، والبحر الميت، وغور الأردن.

أهم الأحزمة الزلزالية المعروفة حتى الآن هي:

1-حزام المحيط الهادئ Pacific Belt: الذي يمتد من جنوب شرق آسيا إلى الشمال، بمحاذاة المحيط ذاته، والذي يتشكل منه حوالي 70% من زلازل العالم، ويشمل اليابان والفلبين، وأستراليا، وتمثل تلك الزلازل أعتى أنواع الزلازل.

2-حزام غرب الأمريكيتين الشمالية والجنوبية، ويشمل فنزويلا وتشيلي والأرجنتين.

3-حزام وسط المحيط الأطلسي، ويشمل غرب المغرب.

4-حزام منطقة جبال زاغروس بين العراق وإيران.

5-حزام جبال هيمالايا.

6-حزام الألب Alpide Belt: ويشمل جبال الألب في جنوب أوروبا، ويتشكل فيه حوالي 21% من زلازل العالم، ويمثل هذا الحزام 10% من الطاقة.

7-حزام شمال الصين، والذي يمتد عرضاً من شمال الصين إلى غربها، ويلتقي مع صدع منطقة القوقاز، وكذلك مع صدع المحيط الهادئ غرباً.

وشمة أحزمة زلزالية أخرى، كثيرة، تُعد أضعف من غيرها كالحزام الممتد شمالاً من جنوب صدع الأناضول، ووصولاً إلى البحر الميت، وحتى خليج السويس (جنوب سيناء)، ثم وسط البحر الأحمر، والانهدام (الفالق) الإفريقي الكبير، والذي يؤثر بدوره على مناطق اليمن وأثيوبيا، والذي يتطابق إلى حد كبير مع الانهدام العربي - الإفريقي الكبير.

وفي هذا السياق تجدر الإشارة إلى أن لكل حزام زلزالي طبيعة خاصة، تختلف عن الأخرى، من حيث الطبيعة الأرضية، والتراكيب الجيولوجية، تحت السطحية، والتي يمكن

معها القول: إن نشاطها الزلزالي يرتبط خاصة بهذه المنطقة، ولا يعني تقارب زمن حدوث النشاط الزلزالي على الأحزمة الزلزالية الأخرى، المختلفة.

وإن ثمة توافقاً في زمن حدوثها بعضها مع بعض، الأمر الذي قد يعود إلى عوامل كثيرة، داخل باطن الأرض، مما يستدعي إجراء المزيد من الدراسات المتخصصة في هذا المجال.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن الكرة الأرضية وحدة واحدة متكاملة، تتحرك باستمرار، مجسدة أشكال ومظاهر مختلفة، كتغير وضع القارات، بما فيها المحيطات، إذ أنه من الثابت علمياً وجود قارة واحدة عملاقة، هي البانجي، والتي ابتعدت مكوناتها تدريجياً، عن بعضها البعض، إلى أن وصلت إلى وضعها الراهن، وهذا ما تمخضت عنه فيما بعد فكرة انزياح القارات، ومن ثم اكتملت لاحقاً بنظرية حركية الصفائح الأرضية، التكتونية.

3-6- نظرية انزياح القارات :Continental Drift theory

يبحث علم التاريخ الجيولوجي لكوكب الأرض في الأحداث الجيولوجية، والتعاقبات الزمنية، التي تعرض لها هذا الكوكب.

ثمة عوامل داخلية أدت دورها في نشوء تلك الأحداث، فلو أمعنا النظر ببعض الحقائق الجيولوجية، كتكوين جبال هيمالايا، وجبال الألب، وكذلك الأخاديد البحرية العميقة، عبر العصور القديمة لتعذر فهم تلك الحقائق، إلا إذا اعتمدنا على مفهوم حركة انزياح القارات، الذي ظهر عام 1912 .

• عملية انزياح القارات: ظاهرة جيولوجية، أحدثت تغييراً شاملاً، وكاملاً على سطح الكرة الأرضية، إذ أنها قامت على افتراض أن اليابسة الكرة الأرضية مكونة من قارة واحدة -أطلق عليها اسم قارة بانجي، ثم انقسمت فيما بعد إلى كتلتين من اليابسة هما:

1- غوندوانا في الجنوب.

2- لوراسيا في الشمال.

وكان يفصل بينهما مسطح بحري قديم، يسمى بحر تيتس، ثم تحولت بعد ذلك إلى ست قارات، وخمسة محيطات رئيسية، وأصبحت مساحة المياه 72% ومساحة اليابسة 28% على الكوكب.

3-6-1- لمحة تاريخية:

اعتقد بعض العلماء والباحثين حتى بداية القرن العشرين بأن هذا الكون ثابت لا يتغير، وأن القارات وجدت هكذا، وستستمر إلى ما لا نهاية على ما هي عليه، إلا أن التقدم العلمي والتقني، الذي حدث خلال العقود الماضية أثبتت بأن القارات مرت بسلسلة من الحركات المتتالية عبر العصور الجيولوجية المختلفة، كنتيجة لحركة الصفائح التكتونية المكونة لها. وهذه الحركة مستمرة، سواء في الماضي أو الحاضر أو في المستقبل.

ومن خلال الرصد التاريخي لهذه الحركة، وتحديدًا منذ بداية الحياة، الظاهرة، أي منذ حوالي 600 مليون سنة مضت تجلى بما يلي:

أولاً: حركة القارات خلال الباليوزويك المبكر (Early:400-600.Y.ago): (Palezoic):

يتألف الباليوزويك المبكر من ثلاثة عصور هي (Cambrian, Ordovician, Silurian). في بداية الباليوزويك كانت الأرض تتألف من ست قارات كبيرة هي:

(1)- قارة غوندوانا (Gondwana)، والتي تتكون اليوم من القارات (أفريقيا وأمريكا الجنوبية والهند وأستراليا والقارة القطبية الجنوبية).

(2)- البلطيق (Baltiq)، والتي تكون اليوم اسكندنافيا.

(3)- لوراسيا (Laurasia)، والتي تكون اليوم أمريكا الشمالية.

(4)- سيبيريا (Siberia).

(5)- الصين (China).

(6)- كازاخستان (Kazakhstan).

قبل حوالي (540-555) مليون سنة مضت كانت هذه الكتل القارية الستة واقعة على طول خط الاستواء بحيث لم تكن هناك يابسة فوق دائرة عرض (60) درجة شمالاً أو أسفل دائرة عرض (60) درجة جنوباً. كما أن قارتي كوندوانا والبلطيق انحرفتا نحو الشرق والجنوب قبل (475-490) مليون سنة مضت، بينما بقيت القارات في مكانها تقريباً. في الفترة ما بين (430-435) مليون سنة مضت احتلت قارة كوندوانا منطقة القطب الجنوبي، وتحديداً كانت المنطقة الإفريقية هي التي تشغل موقع القطب الجنوبي، ولذلك فليس من المستغرب وجود الترسبات الجليدية في كوندوانا خلال معظم الباليوزويك الأسفل، خصوصاً في شمال أفريقيا. أما القارات الخمسة المتبقية فأخذت بالاقتراب من بعضها، متحركة جميعها باتجاه القطب الجنوبي. وفي نهاية الباليوزويك الأسفل أي في العصر السيلوري وتحديداً في الفترة بين (405-410) مليون سنة مضت، اتحدت قارة لوراسيا مع البلطيق، وتقاربت بقية القارات من بعضها أكثر. أما كوندوانا فالتزمت مكانها في القطب الجنوبي، وفي جميع المراحل السابقة لم تتجاوز القارات دائرة عرض (60) درجة شمالاً، أي أن القطب الشمالي كان مغطى بمياه المحيط الهادئ القديم.

ثانياً: حركة القارات خلال الباليوزويك المتأخر (-400 late Paleozoic: 225M.Y.ago):

يتألف الباليوزويك المتأخر من ثلاثة عصور هي: (Devonian, Carboniferous, Permian). في الباليوزيك الأعلى وتحديداً بين (340-360) مليون سنة مضت تحركت سيبيريا باتجاه القطب الشمالي متجاوزة دائرة عرض (60) درجة شمالاً لتكون أول قارة تقوم بهذا العمل، وقد حاولت كل من قارتي كازاخستان والصين اللحاق بها وقد تجاوزتا دائرة عرض (30) درجة شمالاً. في الفترة ما بين (300-310) مليون سنة مضت اتحدت قارة كوندوانا مع كل من لوراسيا والبلطيق اللتان اتحدتا في فترة سابقة مع بعضهما. أما كازاخستان فقد استطاعت أخيراً من اللحاق بسيبيريا والالتحام معها. أما الصين فقد أثرت التحرك باتجاه الشرق. بعد ذلك وفي الفترة ما بين (250-260) مليون سنة مضت التحمت القارات مع بعضها ما عدا الصين التي بقيت قريبة من كازاخستان وسيبيريا دون أن تلتحم معهما.

يلاحظ في نهاية الباليوزويك أن القارات اتخذت شكلاً طويلاً يمتد من الشمال إلى الجنوب بعد أن كانت بشكل مستعرض، يمتد من الشرق إلى الغرب. كما أن جميع هذه القارات تقريباً التحمت مع بعضها تمهيداً لتكوين قارة واحدة عظيمة تدعى قارة بانجيا (Pangaea)، والتي تعني (كل اليابسة) // يحيط بها محيط واسع يدعى بانثالاسا (Panthalassa)، والذي يعني (كل البحار). ويمكن القول أن قارة بانجيا تكونت قبل (250) مليون سنة مضت، بسبب سلسلة من التصادمات بين الكتل الأرضية، والتي أدت بدورها إلى تكوين أحزمة جبلية عظيمة، يمكن التحري عن بقايا بعضها في الوقت الحالي.

ثالثاً: حركة القارات خلال الميزوزويك (Mesozoic : 225-65 M.Y. ago):
يتألف الميزوزويك من ثلاثة عصور هي (Triassic, Juassic, Cretaceous)، تميزت بداية الميزوزويك بالتحام وتجميع القارات مع بعضها على شكل قارتين عظيمتين هما: قارة غوندوانا (Gondwana) وقارة لوراسيا (Laurasia)، واللذان بدورهما اتحدتا مع بعضهما ليكونا قارة بانجيا (Pangaea)، أما نهاية الحقبة فقد تميزت بانفصال وتباعد القارات عن بعضها مرة أخرى.

وبالنتيجة فإن حركة القارات خلال الميزوزويك تتمثل بأن قارة بانجيا بدأت بالتكسر إلى أجزاء، قبل حوالي (200) مليون سنة مضت. إذ أن لوراسيا التي تتكون من أمريكا الشمالية ويوراسيا، تحركت بعيداً عن غوندوانا. وقبل حوالي (180) مليون سنة مضت انفصلت الهند عن القارة القطبية الجنوبية، وتحركت نحو الشمال. استمرت القارة الهندية بالحركة نحو الشمال حتى تجاوزت خط (30) درجة جنوباً قبل حوالي (135) مليون سنة، ووصلت إلى خط الاستواء قبل حوالي (65) مليون سنة. وقبل (135) مليون سنة أخذت المياه تتوغل في الأجزاء الوسطية من غوندوانا بين أفريقيا وأمريكا الجنوبية، نتيجة لتباعد القارتين عن بعضهما وتكوين منخفض يمثل المرحلة الأولى لتكوين المحيط الأطلسي الجنوبي. وفي نهاية الكريتاسي كانت كل من أمريكا الشمالية وأوروبا متصلتان مع بعضهما بواسطة غرينلاند. أما أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية فإنهما انفصلتا عن بعضهما بواسطة خليج المكسيك، وبنشوء ممر ضيق أو سلسلة من الجزر بينهما.

رابعاً: حركة القارات خلال السينوزويك (Cenozoic Era: 65-0 M.Y. ago):

يتألف السينوزويك من عصرين هما (Tertiary and Quaternary).

خلال السينوزويك أخذت القارات مواقعها الحالية ويمكن تلخيص أبرز أحداث هذه

المرحلة بالنقاط الآتية:

(1)- انفصال غرينلاند عن أوربا وأمريكا الشمالية: أي أن غرينلاند، التي كانت الجسر بين أوروبا وأمريكا الشمالية في نهاية الكريتاسي، أخذت بالانفصال عن أوروبا في منطقة النرويج، في بداية السينوزويك، وبالتالي فتحت اتصالاً بين المحيط الأطلسي والمحيط المتجمد الشمالي. ومع مرور الزمن انفصلت غرينلاند عن أمريكا الشمالية مكونة المحيط الأطلسي الشمالي.

(2)- توسع المحيط الأطلسي الجنوبي: استمرار التباعد بين أفريقيا وأمريكا الجنوبية، وبالتالي توسع المحيط الأطلسي الجنوبي.

(3)- تكوين البحر الأحمر: في بداية الميوسين أخذت قارة أفريقيا بالتصدع إذ انفصلت الصفيحة العربية عن الصفيحة الأفريقية، وذلك بسبب تكون بقعة ساخنة (Spot Hot)، أدت إلى انتفاخ الأرض مكونة قبة سميت القبة الإثيوبية (Dome Ethiopian) في شمال شرق أفريقيا. مما أدى إلى ظهور براكين، وصدوع في القشرة الأرضية. وقد أدى ظهور تلك القبة الإثيوبية إلى نشوء صدع ذي ثلاثة أذرع، الذي فصل الجزيرة العربية عن بقية أفريقيا، وسمح بتكوين البحر الأحمر وخليج عدن.

وخلاصة القول: أن الجزيرة العربية قبل (20) مليون سنة مضت تحركت بعيداً

عن أفريقيا مما أدى لتكوين خليج عدن والبحر الأحمر.

(4)- تكوين انفصال استراليا عن القارة القطبية الجنوبية: خلال الإيوسين اتجهت استراليا إلى الشمال باتجاه خط الاستواء مبتعدة عن القارة القطبية الجنوبية.

(5)- تصادم القارة الهندية مع آسيا: مما أدى إلى تكوين جبال هيمالايا.

يمثل الشكل (3-10) تجمع القارات والتحامها مع بعضها، على شكل قارتين، عظيمتين، هما قارة كوندوانا (Gondwana) وقارة لوراسيا (Laurasia)، واللتان بدورهما اتحدتا مع بعضهما ليكونا قارة بانجيا (Pangaea) فيما بعد.

الشكل (3-10): يمثل تجمع القارات والتحامها مع بعضها على شكل قارتين.
الشكل (3-11): يمثل لوراسيا التي تتكون من أمريكا الشمالية وأوراسيا، التي تحركت بعيداً عن غوندوانا وانفصال الهند عن القارة القطبية الجنوبية وتحركها نحو الشمال.

الشكل (3-11): يمثل لوراسيا المكونة من أمريكا الشمالية وأوراسيا.

الشكل (3-12):
الهند
الهند
الهند

الشكل (3-12): يمثل استمرار القارة الهندية بالحركة نحو الشمال.

الشكل (3-13): يمثل انفصال قارة أمريكا الجنوبية عن قارة أفريقيا، وتشكل جزيرة مدغشقر مع استمرار حركة قارة الهند نحو الشمال.



الشكل (3-13): يمثل انفصال قارة أمريكا الجنوبية عن قارة أفريقيا و....

الشكل (3-14): يمثل توضع القارات في مواقعها الحالية.

- الشكل (3-15) يمثل: 1- انفصال غرينلاند عن أوروبا وأمريكا الشمالية.
2- توسع المحيط الأطلسي الجنوبي. 3- تكون البحر الأحمر. 4- انفصال استراليا
عن القارة القطبية الجنوبية. 5- تصادم القارة الهندية مع آسيا.

3-6-2- النظريات التي تبحث حركة القارات:

ظهر منذ نشوء علم الأرض عدد من النظريات التي تبحث في حركة القارات، لذلك سنكتفي بعرض.. (نظرية الانجراف القاري ونظرية حركة الصفائح).

1-نظرية الانزياح القاري أو الزحف القاري(continental Drift):

إن نظرية الانزياح القاري للعالم الألماني الفرد فيجنر (Alfred Wegner)، التي ظهرت عام 1915م، هي أول نظرية هامة تبحث في عدم ثبات مواقع القارات، والدليل على ذلك، أنها لو اقتربت القارات من بعضها لتلاحمت بانسجام مكونة قطعة أرض واحدة، وتفترض هذه النظرية أنه نظراً لاختلاف الكثافة بين مادة القشرة الأرضية ومادة المعطف، فإن القارات تطفو على المعطف، وتكون عرضة للإزاحة عن أمكنتها، وعلى هذا الأساس فإن الأمريكيتين الشمالية والجنوبية انفصلتا عن أوربا وإفريقيا، وابتعدتا غرباً خلال المئتي مليون سنة الماضية.

بمعنى أن مكونات الأرض المتمثلة في جبالها وقاراتها، ليست جامدة في مكان واحد، ولكنها تتزاح باستمرار، وقد لاحظ الأقدمون ذلك التشابه العجيب بين حواف القارات على جانبي المحيط الأطلسي (Atlantic Ocean). فلو حاولنا تقريب خريطتي قارتي أفريقيا وأمريكا الشمالية لوجدنا تطابق حوافهما تطابقاً عجبياً، وكأنهما كانتا قطعة واحدة، وكذلك الحال بالنسبة لأفريقيا وشبه الجزيرة العربية، حيث لم يكن للبحر الأحمر أي وجود حين التحامهما.

وفي نهاية القرن الثامن عشر لاحظ الجيولوجي الاسترالي إدوارد سوس (Edward Suse) أن السجل الجيولوجي يكاد يكون متماثلاً في القارات الجنوبية في كل من أمريكا الجنوبية، وأفريقيا، والهند، وأستراليا. ومن هنا بدأ فكرة في أنهم كن متحدات في وقت ما من الزمن الماضي، وبالتالي تكونت قارة عملاقة، أسماها غوندوانا لاند (Gondwana land).

ولقد أشار ألفريد فاجنر Alfred Wegener (1880م-1930م) إلى وجود كتلة كبيرة جداً من اليابسة، كونت قارة عملاقة اسمها بانجيا (Pangea)، تكونت من التحام القارات القديمة، وذلك منذ قرابة 250 مليون سنة. وكانت تتكون من أسلاف قارات العالم

الحالية، ثم أخذت هذه القطعة تتقطع إلى عدة قطع، ثم أخذت أجزاؤها تتباعد تدريجياً حتى أخذت أشكالها ومواضعها الحالية.

ولربما قال البعض إن ذلك محض خيال وظن، حيث لم يكن أحد قد شهد خلق تلك القطع أو رآها وهي تتزاح، ولكن أليس من الظن ما يقرب إلى الحقيقة؟ فشواهد وحدة اليابسة عبر الزمن كثيرة، منها شواهد جغرافية، مثل تشابه حافات القارات التي أشرفها إليها من قبل، وشواهد هي توزع بقايا الكائنات القديمة المعروفة بالمستحاثات، مثل تواجد مستحاثات نبات الجلوسوبتيريز في صخور، عمرها واحد في قارات متباعدة اليوم، حيث يدل ذلك على أن تلك القارات كانت تشغل إقليماً مناخياً واحداً، وبالتالي فإن الانتقادات، التي وجهت لهذه الفرضية أثبتت أن القوى العكسية غير قادرة على تحريك القارات.

فقد كانت الصحراء الليبية والصحراء العربية في يوم ما، جنوب خط الاستواء في منطقة جليدية، ضمن قطعة هائلة من اليابسة، كونت قارة عملاقة سميت "بانجي" أو كل الأرض (Pangea). وقد لوحظ أن اتجاهات الزحف الجليدي كانت بعيدة عن خط الاستواء، ونحو الأقطاب، وهذا يشير إلى التحام القارات في أزمنة ماضية.

يقدر معدل سرعة حركة القارات الحالية ما بين 1-1.8 سم كل عام، إلا أن لهذه الفرضية عدة نقاط ضعف:

تتجلى نقاط الضعف في الآلية التي وضعها فاجنر ليفسر انفصال القارات، حيث أنه قد افترض أن هذه القارات قد انفصلت عن بعضها، من القطبين ناحية خط الاستواء بسبب قوى الجذب المركزية، ودوران الأرض حول نفسها.

اقترح الجيولوجي الكندي بول هوفمان (Paul Hoffman) حديثاً أن قارات العالم قد تجمعت ثلاث مرات في قارة عملاقة مثل قارة بانجيا (Pangea)، وذلك في أثناء الزمن الجيولوجي. وقدر هوفمان أن زمن الدورة يتراوح ما بين 300 إلى 550 مليون سنة، يتم فيه تجميع القارات في قارة واحدة، تأخذ شكل كتلة كبيرة من اليابسة، ثم تقطع هذه القارة إلى أجزاء، ثم يبدأ التحام القارات مرة أخرى.

ويفترض أنه من قبل، منذ 2000 مليون سنة كانت الأرض تتكون من سلاسل جزر وقارات صغيرة مشتتة، يفصل بينها أحواض محيطية، وفي خلال مائتي مليون سنة

أخذت هذه القارات تتجمع، ومنذ 1800 سنة نشأت قارة وحيدة سميت بانجيا (Pangea-1)، ثم تصافرت عدة عوامل لتقطيع هذه القارة تحت تأثير ثقل الغلاف الصخري، ونشاط البقع الساخنة في المعطف الأرضي. ولربما تأججت المناطق النشطة هذه (Mantle Plumes) من جراء ارتطام المذنبات الكبيرة بسطح الأرض آنذاك. وعموماً تحطمت بانجيا-1 منذ 1300 مليون سنة، ليعاد تجميع أجزائها مرة ثانية منذ 1000 مليون سنة، في حين القارات تتناقص كما قال هوفمان بأن قارة بانجيا-2 (Pangaea II)، قطعت ثانية وأعيد تجميع القطع مرة ثالثة في قارة بانجيا-3، منذ 250 مليون سنة والتي اكتشفها ألفريد فاجنر من قبل.

-أهم البراهين المرتبطة بنظرية انزياح القارات:

شمة مجموعة من الأدلة والأمثلة، التي تؤكد على أن القارات كانت ملتصقة مع بعضها:

أ- البرهان المورفولوجي (الخرائطي):

يتطابق الشكل الهندسي للساحل الغربي لإفريقيا والساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية، مما يدل على أن هاتين القارتين كانتا تشكلان كتلة واحدة.

ب- البرهان الصخري:

لاحظ العالم الألماني Wegener أنه وبعد تقريب الخريطتين الجيولوجيتين لإفريقيا وأمريكا الجنوبية أن الصخور القديمة التي يتجاوز عمرها مليارات سنة تتطابق فيما بينهما، من قارة لأخرى.

ت- البرهان المستحاثي:

تشابه وتمائل مستحاثات الحقب الأول، التي تم العثور عليها في قارتي إفريقيا وأمريكا الجنوبية. مثال: الميزوزور وهي من الزواحف الصغيرة، التي تنتمي إلى الحقب الأول، ومستحاثات نبات السرخس Glossop، التي تنتمي إلى الحقب الأول.

اعتماداً على الأدلة الخرائطية والصخرية والمستحاثية توصل العالم Wegener إلى صياغة نظرية انزياح القارات، التي تنص على أن القارات الحالية كانت ملتصقة من قبل،

منذ زمن بعيد، على شكل كتلة واحدة تسمى: La pangee، والتي تجزأت بعد ذلك إلى خمس قارات. الشكل (3-16)

الشكل (3-16): يبين تشكيل القارات الخمس.

1- الدراسات التي تدعم نظرية انزياح القارات:

أسهم التقدم السريع للتقنيات الحديثة في استكشاف المحيطات ابتداءً من عام 1950 إلى:

1- التعرف على طبوغرافية قعر المحيطات وتحديد عمر وطبيعة الصخور، التي يتشكل منها، وكمثال على ذلك :

قعر المحيط الأطلسي المكون من:

- الهضبة القارية المتكونة على شكل انحدار خفيف نسبياً حتى عمق 200م

تقريباً.

- وأما الحافة القارية، فيزداد العمق فيها بسرعة حتى 4000م، وذلك في المناطق

الشرقية للأمريكتين، والمناطق الغربية لأفريقيا وأوروبا.

- الأطلسي في المناطق الشرقية للأمريكتين والمناطق الغربية لأفريقيا وأوروبا.

2- التشابه المناخي حيث توجد بعض الرواسب من الفحم أو الشعاب المرجانية، التي

يرتبط تواجدها بالمناطق الحارة وذلك في المناطق الباردة شمال كندا وسيبيريا، مما

يدل على انزياح القارات.

3-تطابق الأقطاب المغنطيسية: حيث استنتج الباحثون اتجاه حركة القارات في مختلف العصور الجيولوجية وذلك من خلال دراسة صخور كل قارة على حدة، وتحديد مواقع الأقطاب المغنطيسية لكل منها خلال هذه العصور، ومن خلال عملية تجميع اتجاه حركة القارات مع بعضها البعض، لوحظ وجود تطابق يكاد يكون تاماً في مواقع الأقطاب المغنطيسية للقارات في بعض العصور، مما يدل على أن هذه القارات جميعها كانت كتلة قارية واحدة.

4-أخايد عظيمة في قيعان البحار والمحيطات: مما يدل على وجود سلاسل جبلية (أخايد): ومثال على ذلك، حدوث حركة انفراجية في القشرة الأرضية، (البحر الأحمر، مثلاً).

5-تفسير استمرار التكوينات الجيولوجية الموجودة في غرب أوروبا و... واستمرار وجودها في شمال أمريكا الشمالية، والتي تعرف باسم التكوينات الكاليدونية، مما يدل على امتداد تلك التكوينات بين القارتين التي يفصل بينها المحيط الأطلسي.

ثمة مجموعة من الأدلة، والأمثلة، التي تؤكد على أن القارات كانت ملتصقة مع بعضها:

1-تطابق الأقطاب المغنطيسية....

2-وجود سلاسل جبلية (أخايد)(العرف المحيطي) في قيعان البحار والمحيطات....

ومثال على ذلك البحر الأحمر.

3-الشواهد الجيولوجية، والتشابه بين السواحل.

تفسير الشواهد الجيولوجية:

1-التشابه بين سواحل بعض القارات:

لاحظ العالم فانجر تشابه شكل الساحل الغربي لأفريقيا والساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية، مما جعله يعتبر أن هذا التشابه دليل على أن القارات كانت ملتصقة مع بعضها.

2-دلائل المناخ القديم:

وجود بقايا لظواهر مناخية، حدثت في الأزمنة الجيولوجية القديمة، تشير إلى تغير مواقع القطبين، الشمالي والجنوبي، وكذلك خط الاستواء، عن مواقعهم القديمة، مثل وجود آثار جليدية في جنوب أفريقيا، وفي الهند، والبرازيل، كما أن الجهات في الوقت الحاضر أبعد ما تكون عن الجهات الباردة، ما يدل على سيادة مناخ حار في جهات معتدلة باردة في الوقت الحاضر، ويشغلها الآن تكوينات من الفحم المتواجد في نصف الكرة الشمالي، وفي وسط أوروبا، والصين، وشرقي الولايات المتحدة.

وجود رواسب جليدية قديمة في جنوب أفريقيا، وفي استراليا، وفي الهند، والبرازيل، مما يدل أن هذه الجهات كانت كلها منطقة واحدة، متجمعة حول القطب الجنوبي خلال تلك الفترة، ثم انزياحت عن مواضعها فيما بعد.

1-شواهد جيولوجية وبنوية:

ظهور تشابه بعض التكوينات الجيولوجية على جانبي المحيطات، والتكوينات الكاليدونية في غرب أوروبا، وامتدادها في شمال أمريكا الشمالية، وتشابه تعاقب الطبقات الرسوبية في جنوب أفريقيا، والبرازيل مع شبه القارة الهندية، وكذلك تساوي العمر الجيولوجي للسلاسل الجبلية في أوروبا وجرين لاند وشمال أفريقيا، مما يشير إلى أنها جميعاً كانت تشكل سلسلة جبلية واحدة ثم تجزأت فيما بعد بسبب تكسر وانزياح القارات.

أهم الاعتراضات الموجهة لنظرية انزياح القارات:

اعتمدت نظرية انزياح القارات على المعلومات والأبحاث الحديثة، والتي يُستدل منها على أن كتل القارات مكونة من مواد جرانيتية خفيفة، طافية على مواد بازلتية أكثر كثافة منها، وواجهت تلك النظرية بعض الاعتراضات، منها:

إن القوى، التي اعتبرها العالم فانجر سبباً في انزياح القارات، سواء منها التي تدفع الكتل نحو خط الاستواء أو نحو الغرب ليست من القوة بحيث أنها تستطيع أن تسبب هذا الانزياح.

إن انطباق الساحل الغربي لإفريقيا على الساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية أمر متعذر، إذ ثمة فرق بمقدار ١٥ درجة في الانفراج، الواقع بين ساحل غانا من جهة وساحل البرازيل من جهة أخرى.

إذا نجحت هذه النظرية في تعليل التواء جبال الألب، وجبال الهمالايا، فإنها لن تتجح في تعليل التواء جبال الأنديز في غرب أمريكا الجنوبية. إلا أنها تكتسب وعلى الرغم من الاعتراضات التي تواجهها هذه النظرية بعض الأهمية، لأنها أول نظرية حاولت تفسير نشأة المظاهر الأرضية، وتوزيع اليابسة والماء، في ضوء نتائج الدراسات، التي أجريت على طبعة باطن الأرض، وتقسيمها إلى ثلاث طبقات أساسية هي القشرة الأرضية والمعطف والنواة.

3-7- حركية الصفائح أو تكتونيك الصفائح: Plate tectonics:

3-7-1- مقدمة:

يشترك مفهوم التكتونيك من الكلمة اللاتينية القديمة Tectonicus، ذات الأصل اليوناني القديم، والتي تعني (بنيوية)، أو بمعنى الشخص الذي يبني ويقوض، وهي إحدى نظريات الجيولوجيا، التي استطاعت وصف الحركات الكبرى للغلاف الصخري، وقد ظهرت نظرية الصفائح التكتونية في عام 1960. وقد تطورت هذه النظرية لتشرح وتدعم نظرية ظاهرة انزياح القارات للعالم فانجر، التي تم التوصل إليها خلال العقود الأولى من القرن العشرين، وذلك في عام 1912، واقتنع بها المجتمع العلمي، بعدما طرح مفاهيم جيولوجية، مرتبطة بتمدد أرضية البحار في نهاية خمسينيات القرن العشرين، مما أسهم في ظهور نظرية تكتونيك الصفائح، في عام 1960.

تستند نظرية تكتونيك الصفائح إلى عدد من الحقائق العلمية، من أهمها:

أولاً- تتكون القشرة الأرضية من نوعين:

-قشرة قارية، تتراوح سماكتها ما بين 35-40 كم، ويتكون معظمها من صخور حامضية (الغرانيت)، وكثافتها حوالي 2.7 غ/سم³.

-قشرة محيطية، تتراوح سماكتها ما بين 7-10 كم، ويتكون معظمها من صخور قاعدية (البازلت)، وكثافتها حوالي 3 غ/سم³.

ثانياً- تتصل القشرة الأرضية بنطاق صخري، صلب، تصل سماكته إلى حوالي 150 كم في حال القشرة القارية، وحوالي 70 كم في حال القشرة المحيطية، يُعرف هذا النطاق (الغلاف) الصخري بالليثوسفير Lithosphere.

ثالثاً- يتواجد الغلاف الصخري على هيئة قطع منفصلة، تُعرف: بالصفائح Plates، وبالتالي ثمة صفائح للقشرة القارية، وصفائح للقشرة المحيطية. تتراوح مساحة تلك الصفائح ما بين المليون كم² وقد تصل إلى مئات الملايين من الكيلومترات المربعة. الشكل (3-17).

رابعاً- ينقسم الغلاف الصخري ووفق نظرية الصفائح إلى عدد من الصفائح التكتونية، فهناك سبع أو ثماني صفائح كبرى (يتوقف عددها على كيفية تعريف الصفيحة الكبرى) إضافة إلى العديد من الصفائح الصغرى، وعندما تلتقي تلك الصفائح يتحدد نوع الحركة النسبية وكذلك نوعية تلك الحدود: بناءة أو هدامة أو متحولة. (الشكل 3-17).

(الشكل 3-17): يوضح الصفائح الرئيسية والأحزمة الزلزالية المحيطة بها.

• يتكون القسم الأول من: سبع صفائح ضخمة، منها صفيحة واحدة تشكل قاع المحيط الهادئ، بينما تحمل كل صفيحة من الصفائح الست الباقية قارة، وجزءاً من قاع محيط من المحيطات، وأكبر هذه الصفائح هي الصفيحة الآسيوآوروبية، التي تحمل قارتي آسيا وأوروبا، علاوة على نصف قاع المحيط الأطلسي الشمالي، ونصف قاع المحيط الهندي.

وهناك أيضاً صفيحة أمريكا الشمالية، والصفيحة الأسترالية الهندية والصفيحة القطبية الجنوبية، والصفيحة الأفريقية، وصفيحة أمريكا الجنوبية.

• ويتكون القسم الثاني من خمس صفائح صغيرة، (يختلف عدد ومسمى الصفائح الصغيرة من مرجع إلى آخر)، وهذه الصفائح هي: الصفيحة الفلبينية، الصفيحة العربية، صفيحة الكاريبي، صفيحة نازاكا، الصفيحة الهندية.

خامساً- تتحرك تلك الصفائح، وتطفو على نطاق لدن، يُعرف باسم الغلاف الوهن Asthenosphere، غلاف لزج وفائق الحرارة، وتتراوح سماكته ما بين 200-300 كم، ويمثل الجزء السفلي من المعطف العلوي.

سادساً- تتوسط أحواض المحيطات سلاسل جبلية، مختلفة الارتفاعات، تُعرف باسم الأعراف المحيطية، والتي تتكون من صخور قاعدية، ناتجة عن خروج المواد المنصهرة من النطاق (الغلاف) الوهن، في هذه الأماكن.

3-7-2- آلية حركة الصفائح التكتونية وأنواعها:

تتميز الصفائح التكتونية (القارية منها والمحيطية)، المكونة للغلاف الصخري للأرض بحركتها الدائمة، غير المستقرة، إذ تنشط تحتها خلايا تيارات الحملان الدورانية، المرتبطة بصعود المغما الساخنة من الأعماق باتجاه السطح، حيث تبرد، وتعود مجدداً إلى النواة مرة أخرى (وهذا ما يسمى بظاهرة الحمل الحراري). وبما أن المادة المكونة لقيعان المحيطات بازلتية (ذات كثافة عالية) والمادة المكونة للقارات غرانيتية (ذات كثافة

أقل)، لذا فإن الصفائح البحرية تنزلق تحتها، والتي بدورها تفسر حركة القارات، ونموها، وتكوين ملامحها كأحواض ترسيبية، والأحزمة الجبلية والأخاديد العميقة.. إلخ. وطالما ان كوكب الأرض في حركة دائمة، غير مستقرة، فإن الصفائح المكونة لغلافه الصخري هي الأخرى في حركة دائمة، لا تتوقف. ثمة أنواع لهذه الحركة الشكل (3-18).

الشكل (3-18): يمثل أنواع حركة الصفائح التكتونية.

تُبنى نظرية حركة الصفائح على مجموعة من الآراء والأفكار، التي جاءت لتفسير الكثير من الظواهر الجيولوجية، السطحية وتحت السطحية. وهي الآن النظرية الأكثر قبولاً في الأوساط العلمية، فهي الأقدر على تفسير الظواهر الطبيعية، مثل توزع الجبال، والمحيطات، والزلازل، والبراكين، وغيرها.

وقد مهدت لظهور تلك النظرية مجموعة من النظريات والمكتشفات العلمية من أهمها:

1-نظرية انزياح القارات Continental Drift Theory.

2-نظرية تمدد قاع المحيط Sea Floor Spreading Theory.

3-نظرية تيارات الحملان الحراري Thermal Convection Currents.

4-أدلة مغناطيسية قديمة Paleomagnetism

5-تجوال القطب الظاهري Apparent polar wandering

6-الانقلابات المغناطيسية Magnetic Reversals

تتحرك الصفائح التكتونية بصورة دائمة على الحدود الفاصلة فيما بينها، بحيث تتحرك كل صفيحة كوحدة مستقلة، متماسكة، لذلك تكون الفواصل بين هذه الصفائح

معرضة، ومرشحة دوماً لعمليات الإجهاد والشد، مما ينتج عن ذلك الطيات والتصدعات بمختلف أنواعها.

وتحدث الزلازل والبراكين، نتيجة لحركة هذه الصفائح، التي تتحرك بثلاث طرائق مختلفة، حسب طبيعة القوى، التي تؤثر عليها، وهذه القوى يمكن أن تكون قوى شد - ينتج عنها حركة تباعدية- وقوى ضغط -ينتج عنها حركة تقاربية- أو قوى احتكاك أو قص -ينتج عنها حركة انزلاقية أو انتقالية. الشكل (3-18)

• الحركة التباعدية Divergent Movement

تنشأ هذه الحركة عن قوى شد، مما يؤدي إلى تباعد الصفيحتين تدريجياً. وفي هذه الحركة يتحرك الصهير الصخري (المagma) من الغلاف الوهن Asthenosphere إلى أعلى، دافعاً الصفائح التكتونية للتباعد عن بعضها البعض، ومكوناً صخوراً جديدة عند تلك الحواف. وتحدث هذه الحركة غالباً في قيعان البحار، والمحيطات، وثمة مثال على ذلك: التباعد بين الصفيحة الأفريقية والصفيحة العربية، والذي أدى إلى تكوين البحر الأحمر، الذي يمكن أن يصبح لاحقاً محيطاً بعد ملايين السنين. كما هو مبين في الشكل (3-19).

الشكل (3-19) يمثل الحركة التباعدية.

كما يبين الشكل (3-20) التباعد بين الصفيحتين الإفريقية والعربية، والذي أدى إلى تكوين البحر الأحمر...

الشكل (3-20): يبين التباعد بين الصفيحتين العربية والإفريقية

• الحركة التقاربية Convergent Movement

تنشأ هذه الحركة عن قوى ضغط، مما يؤدي إلى تقارب الصفيحتين تدريجياً. وتتوقف طبيعة حركة الصفائح المتقاربة (المتصادمة) على نوعها (قارية كانت أم محيطية)، حيث تنزلق الصفيحة المحيطية تحت الصفيحة القارية، وذلك لأن الوزن النوعي لصخور الصفائح المحيطية أكبر من الوزن النوعي لصخور الصفائح القارية الشكل (3-21)، ومثال على ذلك: إذا كانت الصفيحتان، إحداهما قارية والأخرى محيطية، تنزلق الصفيحة المحيطية تحت الصفيحة القارية، حيث تتصهر في المعطف لتذوب. ولذلك تُعرف هذه الحركة بالهدامة، مثال على ذلك: أخدود بيروشيلى، غرب أمريكا. وبعيداً عن منطقة التصادم يخرج هذا المعطف المنصهر في صورة براكين، مكونة جبالاً بركانية.

وإذا كانت الصفيحتان المتقاربتان قاريتين، يحدث تصادم بينهما وينشأ عن ذلك سلاسل جبلية، مثل: جبال الهيمالايا وجبال زاغروس.

وإذا كانت الصفيحتان المتقاربتان محيطيتين، تنزلق إحداهما (ذو الوزن النوعي الأكبر) تحت الأخرى (ذو الوزن النوعي الأصغر)، وينتج عن ذلك انبثاق البراكين ما يُعرف بحلقة النار - تلك الناتجة عن انزلاق المحيط الهادئ تحت القارات المحيطة به ، الشكل (3-22).

وتتميز تلك الحركة التقاربية بـ :

- تكوين الصدوع العكسية.
- تكوين الجبال والأخاديد عند التقاء الصفائح.



الشكل (3-21): يمثل الحركة التقاربية Convergent

الشكل (22-3): ما يعرف بحلقة النار داخل المحيط الهادئ.

• الحركة الإنتقالية (الإنزلاقية) Transform Movement

وتنشأ هذه الحركة عن قوى قص أو احتكاك عبر صدوع انزلاقية، ناقلة للحركة، كنتيجة لانزلاق الصفائح أفقياً، بمحاذاة بعضها البعض، الشكل (23-3)، ومن أشهر الصدوع الناقلة للحركة صدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية، وصدع البحر الميت شمال غرب الجزيرة العربية. الشكل (24-3).

الشكل (23-3) Transform يمثل الحركة الانزلاقية.

وتتميز هذه الحركة الانتقالية - الانزلاقية بـ:

- نشوء الزلازل الضحلة.

- تكوين خليج العقبة.

A

B

يبين الشكل (3-24): صدوع التحول القارية: (A) صدع سان اندرياس. (B) صدع البحر الميت، (موقع USGS على الانترنت).

وثمة تصنيف آخر لحركية الصفائح التكتونية، فقد تكون حركات أفقية، وقد تكون حركات عمودية، وهي تتم عادة في مناطق حدود الصفائح (حواف الصفائح). تتم حركية الصفائح في مناطق حدود الصفائح (على الحواف) وهنا يمكن تسجيل ثلاثة أنواع من الحدود تبعاً لطبيعة حركة تلك الصفائح فيما بينها:

أنواع الحدود: - الحدود التحويلية (الانزلاقية).

- الحدود التباعدية. - الحدود التقاربية.

الحدود التحويلية: تنزلق الصفائح مع بعضها البعض أفقياً، على مستوى فائق كبير، مثل فائق سان أندرياس- في كاليفورنيا، أو انزلاق صفيحة ما على أخرى، مما يسبب في إحداث شق أو صدع في القشرة الأرضية يدعى الفالق.

الحدود التباعدية: تتباعد الصفائح عن بعضها بسبب النشاط البركاني المستمر، والذي يتولد عنه طبقات جديدة تُضاف إلى القشرة المحيطية، ويتشكل ما يسمى انهدام أو غور (Rift)، وقد تتشكل أيضاً قشرة محيطية جديدة.

الحدود التقاربية أو التصادمية: تتقارب الصفائح، وقد تغوص إحداها تحت الأخرى تبعاً للكثافة (ظاهرة الغوص)، وقد تتشكل الخنادق عند حواف الصفائح:

خندق حواف أمريكا الجنوبية، عمقه 5000م،

خندق غرب المحيط الهادئ، عمقه 9000م.

3-7-3- أهمية نظرية الصفائح التكتونية:

يمكن تفسير العديد من الظواهر الجيولوجية في ضوء نظرية الصفائح التكتونية: تفسر هذه النظرية مواقع أحزمة الزلازل في العالم، وارتباطها بدرجة كبيرة بحواف الصفائح والتي تتعرض لقوى شد أو ضغط أو قص، مما يؤدي إلى إجهاد الصخور وحدوث الزلازل.

تفسر النظرية أيضاً النشاط البركاني الهائل على سطح الأرض، وما يُعرف بحلقة النار حول حواف المحيط الهادئ.

تفسر النظرية كذلك تكون الجزر البركانية على هيئة قوس أمام الأخاديد المحيطية، كنتيجة لانبثاق البراكين عندما تنزلق صفيحة محيطية تحت صفيحة محيطية أخرى.

فسرت هذه النظرية كيفية تكون سلاسل جبلية، عالية أمام الأخاديد المحيطية على أنها نتيجة اصطدام صفائح قارية بأخرى محيطية، (مثال: تكوين جبال الأنديز).

تفسر النظرية تكوين سلاسل جبلية دون تكوين الأخاديد، عند تصادم صفيحتين قاريتين، (مثال: جبال الهيمالايا).

تفسر النظرية تكون البحر الأحمر، كنتيجة تباعد الصفيحة العربية عن الصفيحة الإفريقية.

تفسر هذه النظرية تكوين الجزر البركانية، التي تقع في وسط الصفائح المحيطية، التي تعتبر مناطق خالية نسبياً من النشاط التكتوني، وذلك لأنها تقع فوق بقع ساخنة في المناطق العليا من نواة الأرض، وتعمل الحرارة الصاعدة من هذه النقطة خلال معطف الأرض والقشرة الأرضية على انصهار جزء من القشرة المحيطية، وبالتالي تتدفق المادة المنصهرة إلى السطح، مكونة جزراً بركانية، (مثال: جزر هاواي التي تقع في وسط المحيط الهادئ).

فسرت هذه النظرية ما سبقها من نظريات، وخصوصاً ما يتعلق بالدورة الصخرية، وتوازن القشرة الأرضية.

وتشمل تحركات وتفاعلات صفائح الغلاف الصخري، والعمليات التي تحدث في باطن الأرض، مسببة حركة الصفائح. تُحدد سرعة تحرك صفائح الغلاف الصخري بدقة كافية من دراسات المغنطيسية القديمة، والأعمار المطلقة في قشرة المحيطات. وعلى هذا يمكن التصور، بدهشة، أن جميع النقاط في صفيحة واحدة تتحرك بسرعة واحدة، أما في الواقع فإن هذا التصور غير صحيح، لأن الصفائح تؤلف بمجموعها غلاًفاً كروياً يتحرك فوق سطح كروي، فالنقاط الموجودة على سطح كروي يدور حول محور، تتحرك بسرعات تختلف باختلاف بعدها عن قطب دورانه، وبالتالي فإن تحرك الصفائح يجب أن يكون حول قطب دوراني، وهو ما يُعرف بقطب التوسع spreading pole. وكل نقطة من الصفيحة تتحرك بسرعة تختلف بحسب ابتعادها عن قطب التوسع. ولوحظ فعلاً ازدياد في معدل تجدد قشرة المحيطات، على امتداد الأعراف، بالابتعاد عن أقطاب التوسع، وعلى هذا يتطابق امتداد عرف المحيط مع خط الطول المار من قطب التوسع، كما تتطابق اتجاهات فوالق التحويل التي تقطعه عرضانياً مع خطوط العرض. ومن ذلك يمكن تحديد مواقع أقطاب التوسع.

ومهما تكن الأسباب التي تحرك الصفائح، فإن حركاتها مستمرة، وتسير سيراً نظامياً غير منقطع. ولا تتوافر في الوقت الحاضر وسائل أو معطيات تساعد على تحديد هذه الأسباب. وكل ما يمكن فعله هو التنبؤ بها، لا أكثر. فالغلاف الصخري مرتبط بالغلاف الوهن، فإذا تحرك أحدهما تحرك الآخر معه. ويعتقد بعض العلماء أن الغلاف الوهن

يمكن أن يتحرك بتيارات الحملان، التي تتكون في المعطف، وهو الذي يقوم بدور حزام ناقل للصفائح التي تعلوه. وتتمثل هذه التيارات بصعود تيار ساخن من صخر المعطف عند أعراف المحيطات، مما يؤدي إلى تحرك الصفائح، والتي تتبرد تدريجياً، مبتعدة عن الأعراف، ثم تهبط وتتغرز ثانية في المعطف عند خنادق المحيطات.

يصطدم هذا الافتراض بمشاكل عدة، أهمها: توضع خلايا الحمل في المعطف، وأسبابها، وكيفية تناسب حجوما مع حجوم الصفائح التي تحملها، ومع أشكالها أيضاً. ويعلل علماء آخرون تحرك الصفائح بالانزلاق النقي (الجاذبي) على جانبي تقبب أعراف المحيطات، إضافة إلى قوى الدفع الناجم من النمو المتزايد للصفائح، والشد الذي يحدثه هبوط الصفائح، وانغرازها في المعطف. وأهم ما يعترض هذا التعليل كون الغلاف الصخري صلباً مكسراً. وبالتالي يجب أن تحدث فيه قوى الثقالة والشد والدفع تشوهات واضحة، هي في الواقع غير موجودة. ولا يمكن بأي حال من الأحوال اختبار صحة الأسباب المحتملة، والتي قد تتشارك في تحريك الصفائح آليات مختلفة، وربما يكون التصور لكل ذلك أعقد بكثير.

3-7-4- مستقبل حركة الصفائح:

يتوقع العلماء حدوث مجموعة من التغيرات في المستقبل، وتحديدًا خلال الخمسين مليون سنة القادمة، من أهمها:

1- نشوء بحر جديد شرق أفريقيا يخترق الجزء اليابس من القارة. يتكون هذا البحر كنتيجة لانفصال الصفائح الثانوية الإفريقية الشرقية (East African Subplate) عن الصفائح الإفريقية الرئيسية، وهي تمتد بصورة موازية للبحر الأحمر. وينشأ عن ذلك فالق إزاحة (Strike slip Fault) بين البحر الإفريقي والبحر الأحمر، والذي قد يمثل حافة محايدة أو انتقالية (Transform Plate boundary)، لأنه يربط حافتين تباعديتين، متمثلتين بالبحرين الإفريقي والأحمر.

2- زيادة توسع البحر الأحمر الذي يتوقع له أن يكون محيط جديد. ونتيجة ذلك يتوسع عرض قناة السويس، التي هي بالأساس عبارة عن منخفض تكتوني ناتج من

تباعدها الصفائح العربية عن الصفائح الإفريقية، ولكنه لم يصل إلى مستوى يسمح بدخول المياه إليه، لأن منسوبه أعلى من منسوب سطح المياه المجاورة له، لذلك تدخل الإنسان في حفره، وتكوين ما يعرف بقناة السويس، ولكن القوى الطبيعية سوف تستمر في عملها، وبالتالي يزداد عرض هذه القناة، التي تمثل الممر الواصل بين البحر الأحمر والبحر الأبيض المتوسط.

3- اختفاء الخليج العربي كنتيجة لاستمرار التصادم بين الصفائح العربية والصفائح الإيرانية، هذا الاختفاء يكون تدريجياً، حيث يبدأ بانغلاق مضيق هرمز، الذي يمثل الممر الواصل بين الخليج العربي والمحيط الهندي. مما يؤدي إلى تكوين بحر داخلي، مع ازدياد الملوحة فيه مروراً مع الزمن، وتبدأ كمية المياه فيه بالنقصان، وكذلك تغير الطبيعة الحياتية له. إن ما سيحدث في الخليج العربي يشبه كثيراً ما يحدث اليوم للبحر الميت، الذي يعتقد بأنه نتيجة الانهدام الناتج عن تباعد شبه الجزيرة العربية عن أفريقيا، ولعل الفرق الوحيد بينهما: هو أن الخليج العربي سوف يستلم كميات من المياه العذبة، مصدرها شط العرب، المتكون من التقاء نهري دجلة والفرات، واللذان من المحتمل أن يختفيا مع مرور الزمن.

4- استمرار حركة الصفائح الأسترالية باتجاه الشمال، والتي تقع اليوم عند خط عرض (30 درجة) جنوباً لتصل إلى خط الاستواء مصطدمة بالصفائح الفلبينية.

5- إن استمرار الحركة على طول فالق سان أندرياس (San Andreas Fault) سوف يؤدي إلى تحرك شبه جزيرة الباجا (Baja Peninsula)، الواقعة إلى الغرب من هذا الصدع، باتجاه الشمال. وإذا ما تمت عملية الإزاحة هذه كما يتوقع لها فإن لوس أنجلوس وسان فرانسيسكو سوف يتجاوز كل منهما الآخر.

6- انفصال صفيحة أمريكا الشمالية بصورة كاملة عن صفيحة أمريكا الجنوبية في منطقة خليج المكسيك.

3-8- البركنة: Volcanism

3-8-1- مقدمة:

تعد البراكين من الظواهر الطبيعية التي عرفها الإنسان، واسترعت انتباهه منذ القدم. وإذ تؤدي البراكين دوراً كبيراً في العمليات الجيولوجية، المؤثرة على تشكل القشرة الأرضية وتطورها. وبالتالي فإن أغلب أجزاء القشرة الأرضية تتأثر بالعمليات الاندفاعية، وتخضع إلى مساهمتها.

أضحى علم البراكين Volcanology فرعاً من فروع الجيولوجيا، وأصبح قائماً بحد ذاته، إذ يقوم بدراسة تلك الظاهرة الطبيعية بإيجابياتها وسلبياتها، فهو يدرس المعادن والخامات الهامة جداً من الناحية الاقتصادية المرافقة لعملية البركنة من جهة، ويعالج أيضاً الأخطار الكارثية المدمرة، المترتبة عنها من جهة أخرى.

ترتبط البراكين والزلازل معاً في توزيعها الجغرافي عبر مناطق الأرض بجزأها اليابسة والماء، وتشترك أيضاً في تعبيرها عن قلق أرضنا، التي نعيش على سطحها، لكونها لا تتشكل عموماً سوى في المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية، غير أن الزلازل والبراكين يفترقان عن بعضها البعض من ناحية النتائج المترتبة عن كليهما.

فإذا كان للبراكين وجهان أحدهما كارثي مدمر، والآخر بنائي، أسهم في تكوين المظهر الحالي لمناطق شاسعة من سطح الأرض، فإن للزلازل وجه واحد، ألا وهو وجه التخريب والتدمير. ومع ذلك فإن الزلازل والبراكين تمثل في مناطق حدوثها، ولحظة حدوثها، كوارث بيئية، حيوية حقيقية، باتت تقلق الإنسان وتقض مضجعه في بقاع عدة من العالم. وهي كذلك منذ أن وجد الإنسان، ومنذ أقدم الأزمنة الجيولوجية. إنها بحق ثورات الأرض النابعة من داخلها، مفجرة غضبها بهيئة صخور لاهبة، وغازات حارقة، منبثقة من داخلها، مندفعة من تحت سطحها، مثيرة الخوف والهلع، ملحقة الخراب والدمار لكل ما يقع في طريقها. ولو وقف الأمر عند هذا الحد، لهدأت النفوس، واستقرت نسبياً في مواطن الأرض القلقة، ولكن ثمة صخور تتكسر، وتهتز، أيضاً بعنف تارة، وبلطف تارة أخرى، محدثة في عنفها خراباً ودماراً لا يوازيها فيه أية كارثة طبيعية أخرى.

الشكل (3-25)



الشكل (3-25): يبين مظهراً عاماً لأحد البراكين

3-8-2- تعريف البركان:

البركان هو ذلك المكان، الذي تخرج أو تتبعث منه المواد المنصهرة الحارة مع الأبخرة والغازات والحمم البازلتية السوداء المصاحبة لها، ويحدث ذلك من خلال فوهات أو شقوق، وتتركب تلك المواد المنصهرة، أو تتساقط حسب نوعها، لتظهر بأشكال أرضية مختلفة، منها التلال المخروطية، أو الجبال البركانية العالية.

ويقدر الجيولوجيون قوة الانفجار البركاني بما يعادل 2500 مرة لقوة الانفجار النووي (في بعض الحالات)، والذي دمر مدينة هيروشيما بأكملها.

إن البخار والغاز السام الناتج من حطام الصخور في فوهة البركان، والذي قد يمتد لمدة أسابيع، كما لا يستطيع أي كائن حي أن يحيا في حرارة تدفقات البازلت، التي تصدر عن براكين وسط المحيط، وإذا تعمقت التيارات الحارة إلى الأسفل، فإنها قد تغير السطح بشكل خفيف، وتبدأ شدة الأفران البركانية بالخمود، وغالباً ما يُنتج البركان الخامد تدفقات من المياه الساخنة والبخار وليس حمماً، وبعضاً من هذه المياه قد يكون موجوداً في المغما.

3-8-3- أجزاء البركان:

يتكون البركان من:

أ- جبل مخروطي الشكل: يتركب من حطام صخري، أو لافا متصلبة، مكونة من مواد منصهرة مقذوفة من فوهة البركان.

ب- فوهة البركان: وهي عبارة عن تجويف مستدير يقع في قمة المخروط، يتراوح اتساعه بين بضعة مئات من الأمتار، وتتبثق من الفوهة غازات، وكتل صخرية، وقذائف، وحمم، ومواد منصهرة (لاف)، على فترات زمنية متعاقبة. وقد يكون للبركان أكثر من فوهة ثانوية إلى جانب الفوهة الرئيسية، في قمته، كما هو في الشكل (3-26)

الشكل (3-26): يبين أجزاء البركان

ت- مدخنة أو قسبة البركان: وهي قناة، تمتد من قاع الفوهة إلى أسفل، حيث تتصل بفرن الصهير في جوف الأرض، وتتدفق خلالها المواد البركانية إلى الفوهة. وتُعرف أحياناً بعنق البركان. وبجانب المدخنة الرئيسية، وقد يكون للبركان عدة مداخن تتصل بالفوهات الثانوية.

3-8-4- أنواع المواد البركانية:

1-المواد البركانية الصلبة: وهي الأجزاء التي تتكون منها الصخور البركانية وهي:

- أ- المقذوفات البركانية: وهو تجمد الصهارة والحمم البركانية المقذوفة إلى السطح.
- ب- صخر الخفاف: عبارة عن رغوة سيليكاتية تتخللها الغازات.
- ت- غبار بركاني: ناتج من تفتت وتأثر قمة الصهارة المتجمدة في عنق البركان، تحت تأثير الضغط والبخار، وهي تتصلب بسرعة.
- 2- المواد البركانية سائلة الصهارة والحمم (اللافا): وهي كتل سائلة، تلفظها البراكين، وتبلغ درجة حرارتها ما بين 1000°C و 1200°C . وتتبقى اللافا من فوهة البركان، وقد تطفح من خلال الشقوق، والكسور في جوانب المخروط البركاني. وأما مدى سيولة الحمم فيخضع لعدة عوامل أهمها:
- أ- انحدار الأرض.
- ب- طبيعة الصهارة واللافا فقد تكون لزجة أو مائعة (وتعتمد نسبة اللزوجة على نسبة السيليكا).
- ت- قوة البركان.
- 3- المواد البركانية الغازية: ومن أهم الغازات المنبثقة من البركان:
- أ- بخار الماء.
- ب- مركبات الهيدروكربون.
- ت- ثاني أكسيد الكبريت.
- وهنا أيضاً صورة لغاز أحد البراكين.

الشكل (3-27): يبين ثورة البركان والغازات المنبثقة منه

3-8-5- أشكال البراكين:

- 1-براكين الحطام الصخري: ينبثق نتيجة الانفجارات البركانية حطام صخري صلب، مختلف الأنواع، والأحجام، ويشق هذا الحطام من القشرة المتصلبة، كنتيجة لدفع اللافا، والمواد الغازية، المنطلقة من الأعماق.
- 2-البراكين الهضبية: وتنشأ نتيجة لخروج اللافا، وتراكمها حول فوهة رئيسية، ولهذا تبدو قليلة الارتفاع بالنسبة للمساحة الكبيرة، التي تشغلها قواعدها.
- 3-البراكين الطباقية: وهي تعد الأخطر في العالم، بحيث تحدث بشكل مفاجئ في أماكن مختلفة، حسب ضغط الطبقة الأرضية.

3-8-6- أشهر البراكين ونطاقات توزيعها:

- تنتشر البراكين بشكل عام في مناطق متعددة على سطح الأرض، وهي تتبع في معظم الحالات خطوط معينة، تفصل بين الصفائح التكتونية، وأهمها:
- أ- النطاق الذي يحيط بسواحل المحيط الهادئ، ويمتد من السواحل الشرقية من ذلك المحيط، وفوق مرتفعات الأنديز، وإلى أمريكا الوسطى والمكسيك، وكذلك فوق مرتفعات غربي أمريكا الشمالية، ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا وإلى جزر اليابان والفلبين، ومن ثم إلى جزر أندونيسيا ونيوزيلاندا.

ب-النطاق الذي يمتد من جنوب أوربا، المطل على البحر الأبيض المتوسط والجزر المناخية له.

وأشهر البراكين النشطة -دائمة الثوران- تقع قرب نابولي بإيطاليا، وإتنا بجزيرة صقلية، وأسترومبولي، منارة البحر المتوسط في جزر الليباري قرب جزيرة صقلية.

ث-النطاق المحيط بمرتفعات غربي آسيا، وأشهر براكينها أرارات وكراكاتو. الشكل (28-3) والشكل (29-3).

أشهر البراكين....

الشكل (28-3): بركان إتنا في جزيرة صقلية.

الشكل (29-3): بركان كراكاتو في منطقة ضيقة بين جزيرتي جاوه وسومطرة.

3-8-7- أهمية البراكين:

تتجلى الأهمية من خلال:

- أ- معرفة التركيب الداخلي للغلاف الصخري والقشرة الأرضية، لأن الحمم تصدر من ذلك المستوى.
- ب- الاستدلال على مواقع الضغط في القشرة الأرضية، والبقع الساخنة.
- ت- دعم الرماد البركاني لخصوبة الأرض.
- ث- الاستفادة من صخور وأحجار متنوعة في عملية البناء.
- ج- مصدر لتشكيل بعض المعادن ذات القيمة الاقتصادية.
- ح- الاستفادة من حرارة البراكين لتوليد الطاقة الكهربائية.
- خ- ظهور الينابيع الحارة المعروفة بالحمامات.

قد يحدث زلزال، أو يثور بركان في أي زمانٍ وأي مكانٍ من العالم. أثناء الزلازل تهتز الأرض وتحرك، وأثناء البراكين ينفجر الصخر الأحمر الحار، والرماد من الأرض، ويوجد كثير من البراكين في مختلف أنحاء العالم، كما يوجد الكثير منها في أسفل المحيطات.

ولحسن الحظ فإن معظم هذه الزلازل والبراكين قد لا تسبب أذى للناس. فغالبية الزلازل صغيرة جداً، وقد نعلم بها عن طريق أجهزة الرصد الدقيقة، شديدة الحساسية؛ إذ تستطيع قياس أضعف الحركات الأرضية، وهناك انفجارات بركانية تحدث بشكل دائم فوق قيعان المحيطات، إلا أنها بعيدة في العمق، بحيث لا تؤثر على حياة الناس. ومع ذلك نجد أن خبراً يتعلق بزلزال أو انفجار يتصدر العناوين الرئيسية للأخبار. وقد تقع زلازل كبيرة أو انفجارات بركانية، بالقرب من الأماكن، التي تعيش فيها البشر، حيث يموت كثير منهم غالباً وتتحطم المباني، ففي عام مات نصف مليون شخص في الصين عند وقوع عدد من الزلازل الكبيرة، وفي عام 1883م انفجر بركان في أندونيسيا، أطلق عليه اسم

كراكاتوا، وقتل ما يزيد على ستة وثلاثين ألف شخص، وكان أعنف انفجار بركاني، عرفت البشرية.

3-8-8- تصنيف البراكين:

يصنف العلماء البراكين إلى حية، وأخرى ميتة، حيث أن البراكين الحية هي التي يُحتمل أن تنثور في المستقبل، والميتة هي التي لن تنثور مرة أخرى أبداً، وقد يكون البركان الحي نشطاً حينما ينثور وساكناً عندما لا ينثور.

3-8-9 - الانفجارات البركانية:

تحدث الانفجارات البركانية عند تدفق ما يسمى بالصخر الأحمر، من أعماق الأرض، وينسكب إلى قاع المحيط، أو على السطح، حيث يخرج هذا الصخر حاراً جداً إلى درجة السيولة، ويسمى آنذاك بالصخر المذاب. وإذا كان الصخر المذاب متدفقاً تحت سطح الأرض فإنه يسمى بالصهارة. وإذا كان متدفقاً خارجاً من البركان فيسمى الحمم (اللافا)، وعندما تبرد تلك الحمم تتحول إلى صخر صلب أسود (يسمى الحمم أيضاً). تحوي الصهارة كثيراً من الغازات، وقد تسبب الانفجارات عند ثورة البراكين.

3-8-10 - النشاط البركاني:

تتسرب الغازات من الأرض في بعض الأماكن طوال الوقت، وليس فقط أثناء انفجار البركان، وتخرج هذه الغازات من خلال ثقوب، تسمى المنافذ البركانية الصغيرة، وتوجد هذه المنافذ في المناطق المتاخمة للبراكين، ويقوم العلماء بدراسة الغازات الخارجة من هذه المنافذ، لمعرفة ما يجري تحت البركان، ويأملون باستخدام المعلومات التي يحصلون عليها للتنبؤ بموعد انفجار البركان لاحقاً.

تحتوي الغازات الآتية من المنافذ البركانية على الماء، وثنائي أوكسيد الكربون، وأملاحاً كثيرة، مختلفة، تتجمع هذه الأملاح حول المنافذ فتتكون الأرض، فالكبريت بلونه الأصفر، والكلوريد بلونه الأبيض، والنحاس مع النيكل بلونه الأخضر وهكذا....

كما يخرج الماء الحار من باطن الأرض، فهو يسخن أثناء تدفقه فوق الصخور الحارة، الموجودة تحت الأرض، ويحتوي على الغاز، وحيثما تكون كمية الغاز كبيرة يخرج

الماء على شكل ينابيع حارة، وقد تنطلق في بعض الأماكن على شكل نوافير، تسمى فوارات المياه الساخنة. ومن الأمثلة على ذلك ثمة ينابيع في هيوستن، بالولايات المتحدة الأمريكية، وفي نيوزيلندا أيضاً.

3-8-11- آلية صعود الصهارة إلى سطح الأرض:

تقع الصهارة تحت تأثير عدة عوامل، أهمها:

- الحرارة.
- ضغط صخور القشرة الأرضية.
- ضغط الكميات الهائلة من الغازات والأبخرة المحصورة.

فعندما تتكسر صخور القشرة الأرضية في مكان ما من أمكنة الضعف فيها، تندفع الصهارة عبر تلك الشقوق تحت تأثير ضغط الغازات المرتفع، وتتفجر حمماً على سطح الأرض، وعندما تبرد الحمم، وتتصلب، تكوّن ما يعرف بالصخور البركانية.



الفصل الرابع

الحقل المغنطيسي الأرضي

Geomagnetic Field

4-1-1- مقدمة:

ما عاد الاهتمام بظاهرة الحقل المغنطيسي الأرضي في العالم شأنًا محصوراً على المختصين، بل أضحي منذ وقتٍ غير قصير شأنًا إنسانياً ومصيرياً، يهم المفكرين والباحثين والمسؤولين، نظراً لأهمية الحقل المغنطيسي، وضرورة تواجده حول الأرض، التي نعيش على سطحها.

تناولت النظريات المختلفة موضوع المغنطيسية الأرضية، إلا أنها لم تكشف جميع جوانبه بعد، ولم تصل إلى المستوى، التي يؤهلها الإجابة على العديد من التساؤلات المرتبطة بهذه الظاهرة الطبيعية الهامة.

إلا أن أكثر النظريات قبولاً في هذا المجال هي النظرية الديناميكية Dynamo Theory، التي جاء بها إلساسر وبولارد (Elsasser and Poullard)، اللذان افترضا أن الديناميكية اللازمة لتوليد الجزء الأكبر من المجال المغنطيسي الأرضي، (ما يقرب من 95% منه)، يوجد في النواة الخارجية للأرض، التي تتكون بصورة رئيسية من الحديد والنيكل، مع كميات قليلة من العناصر الخفيفة كالكبريت، والسيليكون، وبعض العناصر المشعة، وتتواجد مواد هذه المنطقة حيث تشكل مائعاً وموصلاً للكهربائية.

4-1-1- بعض المبادئ المغنطيسية للصخور:

إن اكتشاف الصينيين للبوصلة، وذلك قبل الميلاد بعدة قرون دليل على وجود الحقل المغنطيسي الأرضي. وقد وصلت البوصلة إلى أوروبا في نهاية القرن الثاني عشر الميلادي، وعلى الرغم من ذلك لم تُعرف الخواص المغنطيسية للأرض إلا في عام 1600م، وذلك عندما كتب ويليام جلبرت William Gilbert كتابه "المغنطيس".

عندئذ بدأت تظهر مفاهيم، ومقاييس للشواذ المغنطيسية، المحلية للتنقيب عن الفلزات الحديدية. فهناك مفاهيم المغنطيسية المتبقية للصخور، والشدة المغنطيسية، والمغنطيسية القديمة، والمتأثرية المغنطيسية، وإلى ما هنالك من مفاهيم.

إن مفهوم ثنائية القطب Magnetic Dipole يساعد على فهم سلوك مغنطيسية المواد بشكل عام، فكل شيء في الوجود يقوم على الثنائية، المكونة من اثنين، متساويين

في الشدة، مختلفين بالاتجاه +P، -P، ويبعدان عن بعضهما مسافة مقدارها L، (طول ثنائي القطب).

فيكون العزم المغنطيسي:

$$M = P.L$$

ويُقاس بـ Am^2 (أمبير $\times$ م²).

بينما تكون الشدة المغنطيسية: Intensity of magnetization

$$I = P/A \quad \text{(قوة القطب P على مساحة السطح A).}$$

وإذا كان حجم المغنطيس V، حيث $V = A.L$ أو $A = V/L$

$$I = \frac{P.L}{V} = M/V \quad \text{فستكون الشدة المغنطيسية:}$$

وبالتالي فإن الشدة المغنطيسية هي العزم على الحجم.

المتأثرية المغنطيسية: Magnetic Susceptibility

تُقسم مغنطيسية الصخور إلى مركبتين هما:

أ- المغنطيسية المتحرضة Induced Magnetism: وهي تلك التي تكتسبها الصخور عند وجودها في مجال/ حقل مغنطيسي H، وتفقدتها بعد إزاحتها من المجال، أو بزوال الحقل عنها، وذلك خلال فترات متفاوتة.

ب- المغنطيسية المتبقية: Remanant Magnetism وهي تلك الدائمة في معظم صخور القشرة الأرضية، وبخاصة الصخور النارية، وتعتمد على كمية مواد الفيرومغنيتك، وطبيعتها، وعلى شدة الحقل المغنطيسي المسيطر، كما أن هناك بعض الصخور، التي تحتفظ بجزء من المغنطيسية (كالصخور البازلتية)، حتى بعد إبعادها عن الحقل المغنطيسي الخارجي. وتعود هذه المغنطيسية إلى المغنطيسية المتبقية أو الدائمة Ir. وتحمل هذا الجزء بعض المعادن الحديدية كالحديد والكوبالت والنيكل.

وبالتالي فإن المغنطيسية الكلية (Total) لأي جسم قابل للمغطة، كمحصلة للمغنطيسية المتحرضة والمغنطيسية المتبقية:

$$I_t = I_i + I_r$$

وتتناسب المغنطيسية المتحرضة $I_i = KH$ مع شدة الحقل الخارجي:
حيث:

H - شدة الحقل المغنطيسي الخارجي.

K - عامل التناسب، ويدعى بالمتأثرية المغنطيسية، الذي يُعد مميّزاً لأي جسم قابل للمغطة Magnetization، وهو عدد دون وحدة، لأن كلا من H و I_i مقاستين بنفس الوحدة

$$\frac{A}{M} \text{ أمبير / متر}$$

4-1-2- تصنيف المواد /العناصر المعدنية/ حسب المغنطيسية:

يتوقف حدوث المغطة على وجود الحقل المغنطيسي، الناتج عن دوران الإلكترون حول نفسه وحول النواة. ولكن هناك بعض العناصر، التي تحتوي على إلكترونات حرة، لها حقول مغنطيسية صغيرة، خاصة بها، ويمكن تصنيفها إلى:

1- مواد ديامغنييتيك Diamagnetic Substances: وهي التي تحتوي على الإلكترونات حرة، وعند تطبيق حقل مغنطيسي خارجي، تتوجه الحقول الصغيرة باتجاه معاكس للحقل الخارجي، ولكنها تعود إلى ما كانت عليه عند زوال الحقل الخارجي (كالقوارتز والملح الصخري...).

2- مواد بارامغنييتيك Paramagnetic Substances: وهي التي تحتوي على الإلكترونات حرة، وعند تطبيق حقل مغنطيسي خارجي، تصبح الحقول، الصغيرة مسيطرة للحقل الخارجي، ولكنها تعود إلى ما كانت عليه، عند زوال الحقل الخارجي (كالبيروكسين والأمفيبول...).

3- مواد فيرومغنيتيك Ferromagnetic Substances: وهي مواد تحتوي على الإلكترونات حرة، حيث تتفاعل حقولها الصغيرة مع بعضها، وتشكل مغنطيسية ذاتية/ تلقائية، ويؤدي حقل مغنطيسي خارجي إلى تحريض مغنطيسية قوية. ولا تزول هذه المغنطيسية بزوال الحقل المغنطيسي الخارجي. ولكن يمكن إزالة هذه المغنطيسية برفع درجة حرارة المادة إلى درجة حرارة كوري Curie Point. وبعدها تنصرف هذه المواد وكأنها بارامغنيتيك.

4- ثمة فلزات معدنية تحتوي عناصر مغنطيسية، ولكن لمعظمها ما يسمى بدرجة حرارة كوري (أخفض من الصفر المئوي)، فهي لا تُعد مغنطيسية في درجات الحرارة العادية... لكن ثمة بعض المواد الأخرى لها درجة حرارة كوري أعلى من الصفر المئوي (مركبات الحديد والتيتانيوم...) والتي أغلبها موجودة في معظم الصخور النارية والرسوبية.

4-2- الحقل المغنطيسي الرئيسي وأصله: Origin of Earth Magnetism

تفترض النظرية الديناميكية أن حركة دوران الأرض باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة، مع وجود تيارات الحمل (الحملات) الحرارية، Thermal Convection Currents عبارة عن انتقال تيارات ساخنة لمواد لزجة، ترتفع من الأسفل إلى الأعلى (من الوسط ذي الحرارة العالية إلى الوسط ذي الحرارة الأبرد)، ثم هبوط لهذه التيارات الساخنة إلى الأسفل. وهكذا تشكل دوران في غلاف النواة الخارجية (السائلة) ووجود نواة داخلية صلبة تؤدي إلى توليد تيارات كهربائية خفيفة (الشكل 4-1).



الشكل (4-1): يمثل الحقل المغنطيسي الأرضي.

كما تقوم تلك النظرية على التداخل والتفاعل بين التيارات الكهربائية من جهة، وحركة تيارات الحملان السائلة الحرارية من جهة أخرى، في غلاف النواة الخارجية، والتي تنقل شوارد مشحونة، وبالتالي لها تيار كهربائي ولها حقل مغنطيسي مرافق لها. هذا الحقل المغنطيسي الذي نقيسه على سطح الأرض على بعد 3000 Km من النواة، قيمته 0.5 غاوس.

كما تتأثر حركة تلك السوائل بحركة دوران الأرض، مما يكسب الحقل المغنطيسي الأرضي الخاصة الثنائية القطبية، حيث تلاحظ خطوط القوة المغنطيسية الأرضية متقاربة من بعضها البعض.

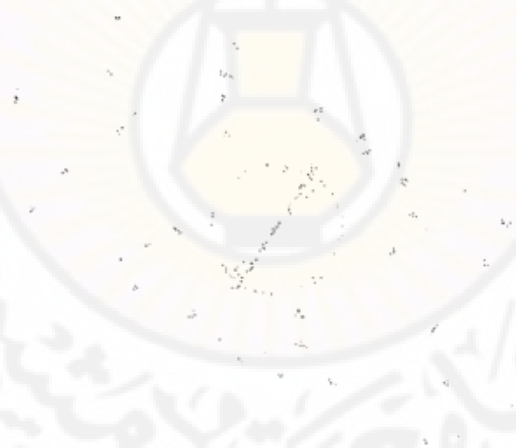
هناك نظريات عديدة، منها التي، تقول بأن الأرض تحتوي على رواسب كثيرة من خامات الحديد.

ففي العصور القديمة تمغنطت جميع هذه الرواسب الحديدية تدريجياً في اتجاه واحد، فكونت مغناطيس دائم، كبير جداً. هناك نظرية أخرى، تقول أن المغنطيسية الأرضية ناشئة من التيارات الكهربائية الشديدة، التي تسري حول الأرض، وليس في القشرة الأرضية فقط، بل وفي الهواء المحيط بها أيضاً، ويبدو بأن هناك علاقة بين هذه

التيارات الأرضية وبين دوران الأرض، كما أن هذا يتفق مع الحقيقة بأن الأرض ممغنطة في اتجاه يوازي تقريباً المحور القطبي للأرض. وأثناء تشكل الأرض قذفت بكميات هائلة من النيازك الحديدية، التي نزلت نزولاً إلى الأرض واستقرت في نواة الأرض عبر الملايين من السنين، وهذا ما أسهم بإعطاء الأرض هذه الميزة التي لا تتوافر في بقية الكواكب إلا بشكل ضئيل لا يكفي لحمايتها...

4-2-1- تعريف الحقل المغنطيسي الأرضي: Geomagnetic Field

يُعرف الحقل المغنطيسي بأنه المنطقة التي تؤثر فيها القوة المغنطيسية على الأجسام المغنطيسية. ويوجد الحقل المغنطيسي بثلاثة أبعاد حول المغنطيس، ولكنه يُمثل عادةً بخطوط قوة وهمية، تتجه من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، دون أن تتقاطع مع بعضها. لذا نرى الإبرة المغنطيسية تتجه بصورة موازية لاتجاه خطوط القوة المغنطيسية، (الشكل 2-4).



الشكل (2-4): خطوط القوة للمغنطيسية الأرضية مع القطبية النظامية (كما هي اليوم) (Montgomery, 1997).

لقد رسم جيلبيرت W.Gilbert بمساعدة مغناطيس صغير خطوط القوة المجاورة لكرة ممغنطة من الفولاذ، حيث قارن هذا الشكل مع صورة مشابهة لتأثير الأرض على البوصلة. وقد أشار إلى أن القضيب المغنطيسي تخفي مغنطته عندما يسخن حتى درجة الاحمرار. كما استنتج الباحث بيروماريكوت في أواسط القرن الثالث عشر -من خلال

أبحاثه العلمية حول البوصلة- بأنه في كل جزء من المغنطيس يوجد مغنطيس جديد كامل.. وتجدر الإشارة إلى أن هاتين الملاحظتين النوعيتين أصبحتا فيما بعد حقلاً علمياً واسعاً للدراسة من قبل مجموعة من الباحثين أمثال O.V.Guericke.

لقد شكلت الأبحاث المقدمة من قبل كولومب Colomb خلال أعوام (1736-1806) مرحلة متميزة، وقفزة متطورة في المغنطيسية، وذلك فيما يتعلق بالقوانين المشابهة إلى حد بعيد لقانون الجاذبية للعالم نيوتن.

$$F = C \frac{P_1 P_2}{d^2}$$

حيث:

P_1, P_2 - الشدة المغنطيسية للقطبين.

d - المسافة بين القطبين.

C - معامل متغير تبعاً للخواص المغنطيسية للوسط، الموجود بين القطبين المغنطيسيين، ولقد أنجز الباحثان المشهوران غوص وماكسويل (Maxwell, Causs) في عامي (1777-1855) أولى القياسات للعزم المغنطيسي الأرضي لقضيب من الفولاذ، بالعلاقة مع شدة الحقل المغنطيسي الأرضي، ووصف أول نظرية رياضية لهذا الحقل، حيث ترتبط شدة الحقل المغنطيسي كتابع للإحداثيات.

وقد تلى هذا البحث في عام (1835) أبحاث عديدة، مقدمة من قبل V.I.Afensiera وفي عام (1929) من قبل Erman, Pretresen من معهد المغنطيسية الأرضية في موسكو، وكذلك من E.H.Vestine ومساعديه من معهد Carnegie في واشنطن، وكلاهما خلال عام 1945.

إن أولى القياسات المعروفة في أوربا بالنسبة لعناصر الحقل المغنطيسي الأرضي هي تلك التي تمت في لندن عام 1540، واستمرت دون انقطاع في مركز القياسات لتوزيع عناصر الحقل المغنطيسي على سطح الأرض. لقد قادت هذه الإنجازات للقياسات المغنطيسية في عام 1700 لوضع أولى خرائط المغنطيسية العالمية...

يعد التنقيب المغنطيسي كفرع تطبيقي لمغنطيسية الأرض منذ عام 1879 عندما قام الباحث تالين Thalen ببحثه "حول فحص توضعات فلز الحديد بواسطة القياسات

المغناطيسية". إلا أن العالم Van Wrede في عام 1843 قد أوضح من قبل بأن التغيرات المحلية للحقل المغناطيسي الأرضي يمكن استخدامها في تعيين مكامن الفلزات الحديدية.

وخلال العقود القليلة الماضية تطور الاستكشاف المغناطيسي بشكل ملموس، بدءاً من النواحي النظرية، وانتهاءً باختراع الأجهزة، والتجهيزات اللازمة للقياسات، مروراً بالبوصلة المغناطيسية النووية (الكوانتية) في أيامنا هذه، وإمكانية توليد حقل مغناطيسي قوي، للاستخدام في المخابر، ومراسد المغناطيسية الأرضية، وقياسات التنقيب المغناطيسي وأبحاثه عند سطح الأرض، وفي الهواء، وفي البحر أيضاً.

4-2-2- خواص الحقل المغناطيسي الأرضي:

إن معرفة خواص الحقل المغناطيسي الأرضي في أية نقطة على سطح الأرض مرتبطة بمعرفة زاويتين مهمتين هما: زاوية الميل وزاوية الانحراف. وإن ميزات الحقل المغناطيسي ليست ثابتة بل تتغير بتغير المكان والزمان، فزاوية الانحراف مثلاً تتغير من مكان لآخر في نفس القطر، كما أنها تتغير في نفس المكان من زمن لآخر، وقد قُدرت في بعض الأماكن بنقصانها بزاوية قيمتها (4 دقائق) كل سنة. هذا في الأوقات العادية، لكن هناك ظروف استثنائية يظهر فيها تغير عام لميزات الحقل المغناطيسي الأرضي، وذلك أثناء العواصف المغناطيسية.

وإذا كان الانحراف يتغير كما رأينا سابقاً مع الزمان والمكان فإن قطبي الأرض المغناطيسية يتغيران أيضاً، حيث أن القطب الجنوبي يصبح شمالياً أو الشمالي يصبح جنوبياً، فالحقل يعكس اتجاهه، وكان أول من اكتشف ذلك الفيزيائي الإيطالي ماسيدو نيوميلوني Mecedo niomelloni في منتصف القرن التاسع عشر.

4-2-3- عناصر الحقل المغناطيسي الأرضي Elements of the earth's magnetic field

يتجلى وجود الحقل المغناطيسي الأرضي من خلال ظواهره المميزة في أي نقطة على الأرض، وعلى السطح، وفي الأعماق، وعلى ارتفاعات مختلفة من سطح البحر، وفي القارات والمحيطات.

واحدى هذه الظواهر هي التوجه الدائم وبذات الاتجاه للإبرة المغناطيسية، حيث تتجه الإبرة المغناطيسية المعلقة من مركز ثقلها باتجاه الشمال-الجنوب، وتصنع زاوية (D) مع خط الطول الجغرافي المار من موقع التجربة وتدعى زاوية الانحراف (D) declination angle، وتميل بزاوية (I) عن المستوي الأفقي، الذي يمر من مركز ثقلها وتدعى بزاوية الميل Inclination angle، فإذا تمت التجربة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية فإن الإبرة تميل بقطبها الشمالي تحت المستوي الأفقي، وبالعكس إذا كان موقع التجربة في النصف الجنوبي، فإن القطب الشمالي يرتفع فوق المستوي الأفقي. الشكل (3-4) يُحدد اتجاه الحقل المغناطيسي الأرضي من خلال قياس زاويتين هما:

(1) زاوية الميل المغناطيسي (Inclination): وتسمى أيضاً بالـ (Magnetic Dip)، وهي الزاوية المحصورة بين الشمال المغناطيسي والمستوي الأفقي : سطح الأرض. تتراوح قيمتها من (0°) عند خط الاستواء إلى (90°) عند القطب وتحدد الزاوية بواسطة العلاقة الرياضية الآتية:

$$\tan I = 2 \tan L$$

حيث أن:

I - هي زاوية الميل المغناطيسي،

L - هي قيمة دائرة خط العرض للأرض.

لا تتوافق الأقطاب المغناطيسية للكرة الأرضية مع الأقطاب الجغرافية، فالقطب المغناطيسي الجنوبي يوجد في النصف الشمالي، ويسمى بالقطب البوريلي، حيث يتوضع في نقطة ما في الألاسكا، بينما يوجد القطب الشمالي في منطقة المحيط، في موقع منه، ويدعى بالقطب الاسترالي المغناطيسي.

تخرج خطوط الحقل المغناطيسي الأرضي من القطب الاسترالي، وتدخل في القطب البوريلي... وتتلامس خطوط القوة في كل نقطة مع شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي. تعد متجهة الحقل T متجهة الحقل الكلي، ويتحدد اتجاهها وشدتها بشكل كامل بواسطة ثلاثة عناصر مغناطيسية أرضية x,y,z, ... حيث تحدد العلاقات المتبادلة بين عناصر الحقل المغناطيسي الأرضي:

$$T^2 = H^2 + Z^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

لقد تم تحليل الشعاع T إلى مركبات مغناطيسية أرضية قابلة للقياس. حيث يكون المحور OX متجهاً نحو الشمالي الجغرافي، والمحور OY يتجه نحو الشرق الجغرافي، وأما المحور OZ فنحو الاتجاه العمودي للمكان، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الإشارة الموجبة نحو الأسفل.

وإذا اعتبرنا أن O هو مركز الإحداثيات فإن الشعاع T له وضعية ما، وهو OT، والمستوى XOY هو أفقي مماس لسطح الأرض في نقطة القياس O. الشكل (3-4).



الشكل (3-4): يبين عناصر الحقل المغناطيسي الأرضي.

حيث:

- T - الشدة الإجمالية، للحقل المغناطيسي في النقطة O (القيمة المطلقة للمتجهة T).
- Z - الشدة الشاقولية (المركبة الشاقولية للمتجهة T، وهي موجبة نحو الأسفل).
- H - الشدة الأفقية (المركبة الأفقية للمتجهة T، باتجاه الشمال المغناطيسي).
- X - مركبة المتجهة T أو H باتجاه الشمال الجغرافي.
- Y - مركبة المتجهة T أو H باتجاه الشرق الجغرافي.

D - الانحراف المغنطيسي (الزاوية المحصورة بين الشمال المغنطيسي والشمال الجغرافي)، وتكون موجبة في حال الإزاحة نحو الشرق، وسالبة نحو الغرب.

I - الميل المغنطيسي الزاوية المحصورة بين المستوي الأفقي واتجاه T وتكون موجبة نحو الأسفل.

وبالتالي ستكون العلاقات بين الزوايا وعناصر الحقل المغنطيسي الأرضي على النحو التالي:

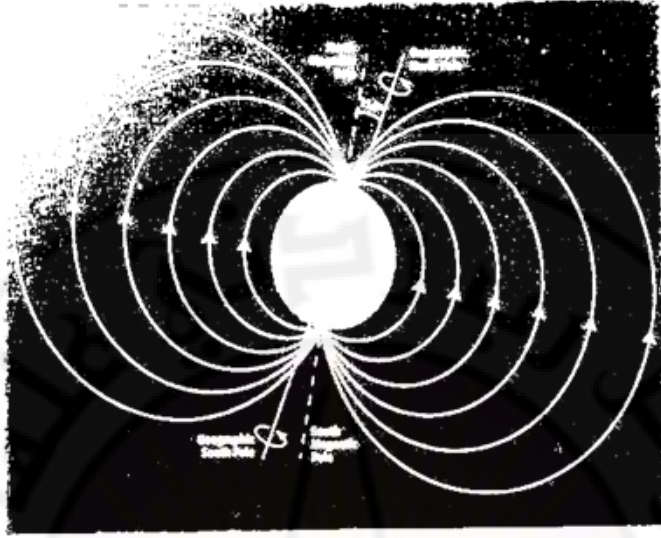
$$\cos I = \frac{H}{F} ; \sin I = \frac{Z}{F}$$

$$T = \frac{H}{\cos I} = \frac{Z}{\sin I}$$

$$\tan I = \frac{Z}{H}$$

$$\tan D = \frac{Y}{X}$$

ولقد سمحت المعطيات التجريبية المنفذة على كامل سطح الأرض بتشييه تقريبي لتوزيع الحقل المغنطيسي الأرضي مع توزيع حقل مغنطيسي ناتج عن ثنائي قطب، متوضع تقريباً في مركز الأرض، وموجه باتجاه، تتكون معه زاوية مقدارها 11.5 درجة مع محور دوران الأرض. (أي يميل بزاوية مقدارها 11.5° عن اتجاه الشمالي الجنوب الجغرافي). كما في الشكل (4-4).



الشكل (4-4): يبين انحراف الأقطاب المغناطيسية والجغرافية عن بعضها.

والحقل المغناطيسي عبارة عن قوة متجهة أي أنه يتحدد بقيمة واتجاه، وهي قوة أو كثافة الحقل المغناطيسي وباتجاه الحقل الذي يمثل المماس لخط القوة المغناطيسية في أي نقطة من نقاط الحقل، وتزداد قوة الحقل باتجاه قطبي المغناطيس نتيجة لزيادة كثافة خطوط القوة المغناطيسية في تلك المنطقة و تقل كلما ابتعدنا عنها، وهذا ما يمكن مشاهدته بسهولة عند تقريب مغناطيس من برادة الحديد، حيث نرى أن البرادة تتركز في منطقة القطبين وتقل وسط القضيب.

ومهما قصر القضيب المغناطيسي فإنه يبقى يحتفظ بقطبيه، الشمالي والجنوبي، فلو قطعنا القطب الشمالي لأي مغناطيس فإن قطبه الجنوبي سيولد قطباً شمالياً جديداً والعكس صحيح. ومن هذا يستدل على أن المغناطيسية هي صفة في التركيب الذري للمواد المكونة للمغناطيس، حيث تكون المادة مغناطيسية عندما تترتب مجموعات الذرات بصورة متوازية مع بعضهما، وتفقد المواد مغناطيسيتها عندما تسخن إلى درجة حرارة معينة لأن ذلك يسبب حركة الذرات بشكل عشوائي مما يجعلها تضعف مغناطيسية بعضها البعض.

وفي الحقيقة فإن التغيرات في الخواص المغناطيسية للصخور والتشكيلات الجيولوجية هي التي تعود إلى رصد الشواذ المغناطيسية، والتي من الصعب تفسيرها، لاعتبارها محصلة تأثير مجموعة من الكتل الصخرية، ذات التباينات في القابلية المغناطيسية، ومن الصعب معرفة أي من الشواذ هي التي نشأت عن التحريض الناتج عن تأثير الحقل، المغناطيسي الجديد، وأي منها ناتج عن تأثير المغناطيسية المتبقية (المتخلفة).

لذلك كله يجب أن يتضمن التفسير عدة فرضيات من أجل تجنب الحكم الخاطئ على المحتوى الفيزيائي-الجيولوجي، الذي يدل على الشواذ المدروسة.

4-2-3-1- الفرق بين الحقل المغناطيسي الأرضي والحقل الجاذبي الأرضي:

يمكن الفرق بينهما إلى أن الحقل المغناطيسي الأرضي يتصف بتركيب معقد، وبتغيرات مهمة مع الزمن، في حين يتميز الحقل الجاذبي بتركيب بسيط، يبقى ثابتاً مع الزمن، (ستشرح ميزات الحقل الجاذبي الأرضي في الفصل المخصص لها).

كما أن الحقل المغناطيسي الرئيسي يحتفظ بشدته الكاملة و يتغير ببطء مستمر مع الزمن، وإنه متماثل مع الحقل الناتج عن ثنائي قطب منتظم (يدعى بحقل غوص).

أما الحقل المغناطيسي الأرضي الثانوي فهو حقل متبقي (أو حقل مرتبط بالقشرة الأرضية)، ويدعى بحقل بور، وهو يتطور ببطء مع الزمن، وله نفس الاتجاه، وخلال مدة تقدر بمئات السنين، وتدعى التغيرات الناتجة عنه بالتغيرات القشرية.

4-2-3-2- صفات الحقل المغناطيسي الأرضي الثانوي:

- 1- عدم الانتظام، وهي صفة مرتبطة بالتوزيع الجغرافي لهذا الحقل.
- 2- يبدو كشذوذات مغناطيسية (مرتبطة بجيولوجية الطبقات تحت السطحية) ذات الأهمية التتقريبية، الموجودة عموماً في القشرة العلوية من الكرة الأرضية (مجال الاستكشاف المغناطيسي).

4-2-4- الحقل المغنطيسي الأرضي الرئيسي:

هو ذلك الجزء من الحقل، المرتبط بالتركيب الداخلي للأرض، وهو يشبه مغنطيس ثنائي القطب، بخواصه المختلفة.

وثمة عدة نظريات تفترض بأن المنشأ الداخلي للحقل المغنطيسي الرئيسي هي:

- 1- وجود ثنائي قطب مغنطيسي في مركز الأرض.
- 2- حقل المغنطيسية الناتج عن تركيب النواة وشكلها.
- 3- حقل المغنطيسية الناتج عن تركيب الكرة الأرضية وشكلها.
- 4- الحقل المغنطيسي الناتج عن منظومة نشوء تيار كهربائي، متدفق باتجاه شرق-غرب، مع تحريك قريباً من المعطف-النواة، وبكثافة تيار، متناسبة مع خطوط العرض.

ترتبط هذه الفرضيات المقترحة حول آلية نشوء الحقل المغنطيسي الرئيسي بالعديد من التصورات، التي ستشرح مستقبلاً في مقرر الطرائق المغنطيسية في الاستكشاف الجيوفيزيائي.

4-2-5- المغنطيسية الأرضية والنشاط الشمسي:

ترتبط أسباب تغير الحقل المغنطيسي الأرضي بـ:

- 1- تأثير الإشعاعات فوق البنفسجية، المرتبطة بالشمس، والتي بدورها تحدث كنتيجة لتأين الأغلفة العلوية للغلاف الجوي.
- 2- تأثير الانزياحات للأغلفة المتأينة، ذات الناقلية الكهربائية الجيدة، في الحقل المغنطيسي الرئيسي، وبالتالي نشوء بعض التيارات التحريضية، التي يشكل حقلها المغنطيسي القسم الرئيس للتغيرات اليومية الشمسية، والقمرية.
- 3- تأثير التغيرات المغنطيسية اليومية، المرتبطة بحد ذاتها بالنشاط الدوري للشمس.

يتعرض الحقل المغنطيسي الأرضي الحقيقي إلى تغيرات زمانية مختلفة، تسمى التغيرات المغنطيسية Variations، ويجرى رصدها في المراصد الجيومغناطيسية، المنتشرة في أنحاء الكرة الأرضية.

يمكن تقسيم الحقل المغنطيسي الأرضي إلى:

1- حقل رئيسي: حقل نظامي، حقل ثنائي القطب، يمثل الجزء المسيطر من الحقل، مع تغير طفيف، طويل الأجل (تغيرات حولية Secular Variations)، ومصدره داخل الأرض.

2- حقل خارجي: حقل متغير، لا تزيد شدته عن جزء عشري من قيمة الحقل، ويتغير بشكل سريع، نسبياً (تغير دوري أحياناً، وعرضي أحياناً أخرى)، مصدره خارج الأرض الصلبة.

3- حقل شواذ: (الحقل المتبقي)، الحقل غير النظامي، ويكون على الغالب أصغر بكثير من الحقل الرئيسي، وهو مستقر نسبياً تقريباً، مع الزمن، وتقع أسبابه في القشرة الأرضية.

تسمح القياسات المنفذة على اليابسة (المراصد) وفي البحار (بواسطة السفن)، والطائرات، بالحصول على توزيع الحقل المغنطيسي على الكرة الأرضية، وتقدم النتائج على شكل خرائط تساوي المغنطيسية، التي تُسند دائماً لفترة زمنية محددة، بسبب التغيرات الزمنية.

وثمة خرائط منحنيات تساوي قيم المغنطيسية Isomagnetic Lines، لكل عنصر من عناصر الحقل المغنطيسي الأرضي. ويمكن تمييز ما يلي:

- منحنيات متساوي قيم الانحراف Isogones.
- منحنيات متساوي قيم الميل Isoclines.
- منحنيات تساوي قيم Y, X, Z, T, H لكل عنصر من عناصر الحقل.
- منحنيات تساوي التغيرات الحولية لكل عنصر من عناصر الحقل.

4-2-6- الحقل المغنطيسي الأرضي، والنواة كمولدة له (الدينامو):

تشير القيم المقاسة للمغنطيسية في عدد من الصخور القديمة إلى أن حقلاً مغنطيسياً قد تولّد في النواة منذ 3.5 مليار سنة، بغض النظر عن آلية حدوث ذلك. يوصف الحقل المغنطيسي الأرضي عادةً بحقل ثنائي القطب، مشابه للحقل، الذي يولده مغنطيس افتراضي، على شكل عصا موجودة في مركز الأرض، وتتوجه باتجاه محور دوران الأرض. وعلى الرغم من أن خطوط الحقل تنتقل، كما هو في حال مغنطيس العصا، من القطب المغنطيسي الجنوبي إلى القطب الشمالي، لكن التشابه صحيح جزئياً فقط، لأن الحقل المغنطيسي الأرضي يشبهه فقط على سطح الأرض، أما في الأعالي وخارج الغلاف الجوي (في الغلاف المغنطيسي Magnetosphere)، فتتشوه خطوط الحقل المغنطيسي بشدة، بسبب الرياح الشمسية، إذ تتضغط بكثافة نحو الأرض في الجهة المقابلة منها للشمس (جهة النهار)، وتنتشر ممتدة في الكون في جهة الليل.

يلاحظ المرء مثل هذا التشوه لخطوط الحقل في جميع النماذج، التي تأخذ بنظرية نواة الأرض مكاناً لنشوء الحقل المغنطيسي، إذ أن 90% تقريباً من قيمة الحقل المقاس على سطح الأرض تحدّد بواسطة بنية ثنائية القطب، بينما تتميز الـ 10% المتبقية، بصورة معقدة، من خطوط القوة، والتي يمكن التعبير عنها بشكل أفضل، بأكثر من ثنائي القطب.

يمكن تحليل نشوء الحقل المغنطيسي الأرضي بعمليات هيدروديناميكية مغنطيسية في النواة الخارجية، السائلة للأرض -كما تم الإشارة إلى ذلك سابقاً-، والتي تتمثل من حيث المبدأ بتيارات نقل حرارية في سائل ناقل كهربائياً، وبالتالي تقوم النواة الخارجية بدور المولد (دينامو)، الذي يولد الحقل المغنطيسي باستمرار، وتحافظ على بقاءه.

لا يعرف المرء بدقة مسارات خطوط الحقل، ولا كيف تنشأ بالتفصيل، ولكن ثمة شيئاً مؤكداً فقط، ألا وهو: لولا "آلية المولدة" وجب أن يختفي الحقل المغنطيسي الأرضي بعد عشرة إلى ثلاثين ألف سنة. أي أن الحقل المغنطيسي الأرضي الحالي يجب أن يكون ناشئاً عن تيارات في النواة، ويتجدد فيها باستمرار..

وبغية فهم الحقل المغنطيسي في النواة يجب التعرض لتيارات الحملان فيها، وهذا يتعثر حتى الآن، لكون هذه التيارات لا تولد الحقل المغنطيسي الأرضي فقط، بل وتتأثر به أيضاً بشكل كبير.

4-2-7- الانقلابات المغنطيسية:

من خلال دراسة النماذج الصخرية في القيعان البحرية، تم اكتشاف (171) حالة انقلاب في القطبية المغنطيسية خلال الـ (76) مليون سنة الماضية، منها (9) انقلابات حدثت خلال الأربعة ملايين سنة الماضية. وكانت أطول فترة متواصلة للقطبية النظامية قد تجاوزت (3) مليون سنة، في حين سجلت أقصر فترة بـ (50) ألف سنة. أما بالنسبة للفترة الحالية، التي تمثل القطبية النظامية فهي مستمرة منذ ما يزيد عن (700) ألف سنة. ومن المعروف أن قيمة الحقل المغنطيسي تتخفض بصورة منتظمة بمعدل (6%) منذ عام (1835)، وإذا ما استمر الانخفاض بهذا المعدل فإن قيمة الحقل المغنطيسي ستصل إلى الصفر خلال الألفي سنة القادمة.

إن حركة المواد المائعة في منطقة النواة الخارجية للأرض هي السبب الرئيس لتوليد الحقل المغنطيسي الأرضي، لذلك فإن عدم انتظام حركة المواد السائلة فيها، يولد اختلافاً في قيمة واتجاه الحقل المغنطيسي، ويكون أحياناً من القوة بمكان بحيث يؤدي إلى عكس الحقل المغنطيسي، وجعل قطبه الشمالي يحل محل قطبه الجنوبي، وبالعكس. وليس هناك حتى الآن تفسير واضح لسبب تغير المواد المائعة في منطقة النواة الخارجية لاتجاه حركتها، والتي تؤدي بالتالي لتغير القطبية المغنطيسية، وتستغرق عملية تغير القطبية حوالي 2000 سنة، حيث تنخفض قيمة الميل المغنطيسي وقد تصل إلى الصفر، ثم ترتفع ثانية في الاتجاه الآخر حتى تصل إلى نفس قيمتها السابقة في الاتجاه الجديد (الشكل 4-5)، ويصبح اتجاه الحقل المغنطيسي مغايراً تماماً لاتجاهه في يومنا الحاضر، وتلاحظ هذه الانقلابات، ليس فقط على الأرض، وإنما أيضاً على الشمس، وعلى المولدات في المختبر، التي يُعتقد بأنها رد فعل للطبيعة العشوائية للعمليات الهيدورديناميكية-المغنطيسية.



الشكل (4-5): يمثل انقلاب خطوط القوى المغناطيسية.

وتؤدي هذه الانقلابات دوراً إيجابياً في الأبحاث الجيولوجية التطبيقية، إذ تؤدي هذه الانقلابات القطبية ذات الصفة العشوائية الظاهرية دورها كمقاييس أو سلاسل زمنية، مفيدة جداً في تحديد أعمار الصخور، وتتابع ترسيبها زمنياً. وقد قدّم هذا التقويم الزمني المغناطيسي القديم لأعمال الصخور المترسبة في قيعان المحيطات، البرهان الأكثر أهمية لصالح نظرية تكتونية الصفائح Plate Tectonics. يُعد الحقل المغناطيسي الأرضي ثنائي القطب بنسبة 90%، أما ما تبقى منه فهو عديد القطبية.

4-3- الحقل المغناطيسي المتبقي:

فيما يلي عرض مختصر لطبيعة المغناطيسية المتبقية في كل من أنواع الصخور الرئيسية الثلاث، الرسوبية والنارية والمتحولة.

(1) مغناطيسية الصخور الرسوبية: فيما يتعلق بالصخور الرسوبية والترسبات البحرية منها بصفة خاصة فإن الحبيبات المعدنية، والأصداف البحرية، وهياكل الكائنات الحية فيها، تستقر ببطء في القيعان البحرية. وتمتاز أغلب الحبيبات المعدنية، خصوصاً المتعرية من الصخور النارية، بكونها معادن مغناطيسية، يتصرف كل منها وكأنه مغناطيس صغير. وعندما توجد هذه الحبيبات بصورة عالقة قبل عملية الترسيب، فإنها تكون حرة الحركة في الماء، وتتأثر اتجاهاتها بالتيارات البحرية، أكثر من تأثرها بالحقل المغناطيسي الأرضي. ويحدث ذات الشيء عندما ترسو هذه

الحبيبات على سطح القاع. وبالنظر لكون ترسبات السطح لا تزال غير متماسكة فإن الحبيبات تكون لديها القدرة على تحريك نفسها باتجاه الحقل المغنطيسي للأرض وبذلك تحتفظ باتجاه الحقل الأرضي بذلك الوقت. وعندما تترسب مواد جديدة فوقها تبدأ الترسبات الأولى بالتماسك، محتفظة باتجاه الحقل المغنطيسي فيها.

(2) مغنطيسية الصخور النارية: بالنسبة للصخور النارية، فإن درجة حرارة اللافا العالية التي تفوق درجة حرارة كوري (Curie Point) تجعل حركة الذرات فيها عشوائية، مما يؤدي إلى انعدام المغنطيسية فيها. أما عند التبريد فإن حركة الذرات تقل، بسبب قلة الطاقة الحرارية، وعندئذ يظهر تأثير الحقل المغنطيسي الأرضي على الذرات، حيث تبدأ بترتيب ذاتها بصورة موازية للحقل المغنطيسي الأرضي. وعندما تنخفض درجة الحرارة أكثر يصبح من الصعب على الذرات أن تتحرك بصورة مخالفة لاتجاه الحقل الأرضي. وبذلك تُخزن أو تحفظ اتجاه المجال المغنطيسي في ذلك الوقت.

ملاحظة: درجة حرارة كوري : Curie point : هي الدرجة الحرارية ، التي تفقد عندها الفلزات مغنطيسيتها أو تكتسب مغنطيسيتها، ولما كانت أغلب أنواع الصخور تتكون من مجموعة من الفلزات المختلفة، فلا تمثل حرارة كوري في الصخور درجة حرارة محددة بل تمثل حداً حرارياً معيناً. وتعتمد درجة كوري على التركيب الكيميائي الأصلي للصخور، وعلى عمليات الأكسدة والاختزال التي تتعرض لها، حيث تؤثر عمليات الأكسدة عادة في زيادة هذه الدرجة، وعمليات الاختزال في إنقاصها.

(3) مغنطيسية الصخور المتحولة: تعد حالة وسطية بين مغنطيسية الصخور الرسوبية ومغنطيسية الصخور النارية.

الشدة المغنطيسية في الصخور الرسوبية والنارية: تحمل أغلب أنواع الترسبات كميات قليلة جداً من الحبيبات الفلزية، إضافة إلى أن تركيب الحبيبات يكون في الغالب

مبعثراً بحيث يقلل المحصلة النهائية للمغناطيسية في هذه الترسبات، لذا فإن شدة المغناطيسية في الصخور الرسوبية تكون في الغالب (1/100) عنها في الصخور النارية. إضافة إلى أن المغناطيسية تكون أقل استقراراً، وثباتاً، في الرسوبيات منها في الصخور النارية كنتيجة لكون الرسوبيات قبل تصلبها، وتحولها إلى صخور تحتاج إلى فترات طويلة، مما يعطي الفرصة الأكبر للعوامل الفيزيائية والكيميائية للتأثير عليها وتغيير مغناطيسيتها.

التجوال الظاهري للقطب (Apparent Polar Wandering):

من الممكن تحديد مكان أي صخرة نسبة إلى القطب المغناطيسي من خلال دراسة المغناطيسية المتبقية في تلك الصخرة. فعلى سبيل المثال لو أن صخرة عمرها (500) مليون سنة تظهر ميلاً مغناطيسياً متبقياً مقداره صفراً، فهذا يعني أن الصخرة، وبغض النظر عن موقعها الجغرافي الحالي، كانت في الفترة ما قبل (500) مليون سنة موجودة قرب دائرة عرض صفر، أي قرب خط الاستواء، إذ أنه يمكن الاستدلال من خلال قيمة الميل المحفوظ في الصخور، والذي ينحصر، كما ذكرنا سابقاً، بين (0°) عند خط الاستواء و(90°) عند الأقطاب، على موقع الصخرة بالنسبة لدوائر العرض الجغرافية في الفترة، التي تولدت فيها مغناطيسيتها. ومن ملاحظة ما سبق، يتضح لنا أن كل ما تدلنا عليه المغناطيسية المتبقية هو موقع الصخرة نسبة لخطوط العرض، أما موقعها نسبة لخطوط الطول فلا يمكن تحديده.

وهذه الطريقة المستخدمة في تحديد مواقع الصخور القديمة نسبة للقطب المغناطيسي تعتمد على افتراضيين رئيسيين هما: الأول: هو افتراض أن الصخرة لم تتعرض إلى ما يمكن أن يغير من قيمة واتجاه المغناطيسية المتولدة في وقت تكونها، نتيجة لعمليات تكتونية أو حرارية. والثاني: هو افتراض أن الحقل المغناطيسي القديم كان بذات الحالة، التي هو عليها الآن، ونعني تقارب القطبين المغناطيسي والجغرافي مع بعضهما.

إن استخدام هذه الطريقة أتاح الفرصة لتحديد مواقع الصخور القديمة، وبالتالي تحديد مواقع القارات واتجاهات حركتها، وبهذا فقد أضافت دراسة المغناطيسية القديمة، أو المتبقية في الصخور أدلة جديدة، ودائمة على أن المواقع الجغرافية، ومن ضمنها

القارات، لم تكن ثابتة، خلال الفترات الجيولوجية، المختلفة من عمر الأرض (الشكل 4-6).
(6).



الشكل (4-6): منحني التجوال القطبي يعكس حقيقة تجوال القارات. (A) عند تبلور الصخور فإن فلاتها المغنطيسية تصطف باتجاه الحقل المغنطيسي المعاصر لها. ولكن انزياح القارات يغير موقع القارات، نسبة للقطب المغنطيسي. (B) على افتراض أن القارات ثابتة فإن الانحراف نسبة للقطب المغنطيسي يعطي التجوال القطبي (Montgomery, 1997).

من الجدير بالذكر أن هذه الطريقة سميت بطريقة التجوال الظاهري للقُطب، وذلك لأن العينة الصخرية المدروسة والواقعة عند خط الاستواء في الوقت الحاضر مثلاً قد تعطي ميلاً مغنطيسياً مقداره (90°)، ويُفهم من هذا الرقم أن القُطب المغنطيسي في زمن تصلب الصخرة كان واقعاً عند خط الاستواء، ولكن الحقيقة هي أن موقع القُطب ثابت، ولكن الصخرة هي التي تشكلت عند القُطب، وتحركت بعد ذلك إلى خط الاستواء.

والدليل على صحة هذه الفكرة هو أنه لو كان منحني تجوال القُطب يعود إلى تغير موقع القُطب المغنطيسي ذاته كنتيجة لتغيرات الحقل المغنطيسي الأرضي فقط، وليس لتغير المواقع الجغرافية للقارات، فمن المتوقع أن تتطابق جميع خطوط منحنيات تجوال القُطب في جميع مناطق الكرة الأرضية، لكي تعطي منحنيًا واحدًا، ولكن الملاحظ هو وجود اختلاف في المنحنيات باختلاف المواقع الجغرافية (الشكل 4-7).



الشكل (4-7): التغير الظاهري في مواقع الأقطاب المغنطيسية في الماضي الجيولوجي مستنبط من دراسات المغنطيسية القديمة للصخور. (A) مسارات التجوال القطبي على افتراض أن القارات ثابتة. (B) مسارات التجوال القطبي على افتراض أن القارات متحركة (Hamblin and Christiansen, 1998).

4-3-1- أنواع المغنطيسية المتبقية:

تعود أسباب المغنطيسية المتبقية، وكذلك التحريضية إلى وجود الفلزات الحديدية الممغنطة، التي تحويها هذه الصخور. ويمكن للصخور أن تحتفظ بعدة طرائق بالمغنطيسية الدائمة (المتبقية)، وبالتالي يوجد عدة أنواع من المغنطيسية المتبقية.

1- المغنطيسية المتبقية الحرارية: ويخص هذا النوع الصخور الاندفاعية، حيث أن عملية المغنطة تأخذ دورها في زمن التبرد للمagma.

2- المغنطيسية المتبقية الحطامية: وتتشأ في بعض الرسوبيات، كنتيجة لتوجه الحبيبات، ذات الجزيئات الحديدية، والبارامغنطيسية في الحقل المغنطيسي، وخلال عملية الترسيب... تحتوي الرسوبيات الناعمة على هيماتيت ناعم، أو مبعثر، أو منتشر.

إن توجه جزيئات الهيماتيت ضمن الحقل المغنطيسي يتأثر بالقوى الحرارية، ولعمليات الجذب.. إلخ، والتي تعمل بدورها على تغير اتجاه الجزيئات، وفق الحقل المغنطيسي الأرضي.

3- المغنطيسية المتبقية الكيميائية: يمكن أن تتكون في الصخر، بعد تماسكها كنتيجة للتفاعلات الكيميائية، وتؤدي إلى تشكل فلزات مغنطيسية جديدة (ثانوية) ذات منشأ لاحق.

4- المغنطيسية المتبقية اللزجة: وهي مغنطيسية تجمعية أو تراكمية للمغنطيسية المتبقية، متساوية الحرارة، ويكتسبها الصخر نتيجة تعرضه لحقل مغنطيسي أرضي ولفترة زمنية طويلة.

تزداد شدة هذه المغنطيسية بشكل لوغاريتمي مع الزمن، وتزداد قساوتها (أي صعوبة إزالتها) طرذاً مع الزمن.

تعتبر الصخور القابلة لاكتساب هذه المغنطيسية غير صالحة للقياس، لأنها قد تكتسب مغنطيسية بحدود 20% من المغنطيسية الطبيعية، مما يؤدي إلى إعطاء اتجاه مغنطيسي مخالف للاتجاه الحقيقي للمغنطيسية.

4-4- الخواص المغناطيسية:

إن ظاهرة الانقلاب المغناطيسي (انقلاب الحقل المغناطيسي الأرضي) هي خاصة من خواص الحقل المغناطيسي أكثر مما هي مرتبطة بما يسمى بالمغناطيسية القديمة. تلك التي تُعد موجودة في معظم صخور القشرة الأرضية، بالإضافة إلى المغناطيسية المتحرضة بالحقل المغناطيسي الأرضي المسيطر، وهي التي ترتبط بكمية مواد الغيروماغنيتيك، وبشدة الحقل المغناطيسي المسيطر أثناء عملية اكتساب المغناطيسية (والتي تُعد عالية في الصخور النارية).

وتشير الدراسات إلى وجود احتمالين لتفسير هذه الظاهرة -ظاهرة المغناطيسية المعاكسة.

- الاحتمال الأول: هو أن الحقل المغناطيسي لم ينقلب، وإنما هنالك بعض الصخور، التي لديها القدرة على التماثل بالاتجاه المعاكس للحقل المسيطر.

- الاحتمال الثاني: هو أن لدى الحقل القدرة على الانقلاب بزاوية مقدارها 180° (أي يصبح القطب الشمالي مكان القطب الجنوبي وبالعكس)، خلال فترة زمنية قصيرة جداً، قد لا تزيد عن عدة آلاف من السنين.

ثمة دراسات لتحديد دور كل من الاحتمالين فوجد أن هنالك بعض الفلزات القادرة على اكتساب مغنطة معاكسة للحقل المسيطر، لكن نادراً ما نجد صخوراً طبيعياً قادراً على اكتساب مغنطة معاكسة، لكن نظراً لارتباط المغناطيسية ذاتية الانعكاس بفلزات محددة ومعينة، فمن الممكن معرفة سبب الانقلاب المغناطيسي بعد تحديد الفلزات الحاملة للمغناطيسية.

4-5- المغناطيسية القديمة Paleomagnetiz ، وعلاقتها بانزياح القارات:

تتجسد المغناطيسية القديمة بالفلزات التابعة للمغنطة، كالمغنيتيت بشكل رئيسي، وهي تحتفظ بشدة مغنطتها باتجاه الحقل، الذي كان سائداً أثناء تكوينها.

إن دراسة المغناطيسية القديمة للصخور، وعبر مختلف الأحقاب الجيولوجية تتم عادة من خلال جمع الصخور بصورة منظمة، بحيث نحصل على معلومات -عن عمرها-

قبل دراستها في المخابر. ومن حيث المبدأ فإن أكثر الصخور التي خضعت للدراسة هي الصخور الاندفاعية، والتي بحد ذاتها تحتوي على نسبة عالية من المواد حديدية المغنطيسية، التي تمت مغنطتها، خلال زمن تشكيلها، وقد اكتسبت مغنطيسية دائمة، ذات اتجاه مطابق مع اتجاه الحقل المغنطيسي الأرضي للفترة المعينة.

لقد لوحظ أن أكثر الصخور خصوصية لدراسة المغنطيسية القديمة هي الغضاريات الخطية، التي تظهر على شكل رقائق (باكيت)، متوضعة على شكل تعاقيات (متتاليات) من الغضاريات مع تداخلات رملية، ذات ثخانة ضئيلة جداً، وتتصف هنا التعاقيات بمزايا كثيرة. واستناداً إلى الدورات الترسيبية يمكن تعيين عمر وفترة الترسيب.

تهتم المغنطيسية القديمة بدراسة المغنطيسية المتبقية الطبيعية للصخور من أجل الحصول على معلومات موثوقة عن الحقل المغنطيسي الأرضي، خلال التاريخ الجيولوجي. تتركز تلك الدراسات على اعتبار أن الحقل المغنطيسي ثنائي القطب، ومتمركز في الأرض، وموازي لمحور دوران الأرض حول ذاتها.

ومن أهم الشروط التي يجب توفرها عند الدراسة هي أن تكون مغنطيسية الصخور أولية، أي أن تكون قد تشكلت في المراحل الأولى من تشكل الصخور. وهذا يقتضي بدوره التخلص من مركبات المغنطيسية الثانوية، التي تشكلت بعد تشكل الصخر، كنتيجة لعمليات فيزيائية وكيميائية، والتي أتت في مرحلة لاحقة لتبريد الصخور الاندفاعية، أو لتصلب الرسوبيات، وذلك من مصادر متعددة، منها:

-تأثير حقل مغنطيسي باتجاه جديد، مما يكسب بعض الفلزات مغنطيسية معينة

باتجاه الحقل المغنطيسي الجديد.

-تأثير الصواعق التي تضرب الصخور السطحية، وتكسيبها مغنطيسية جديدة.

-تأثير عوامل التجوية.

4-5-1- تطبيقات المغنطيسية القديمة Paleomagnetizm:

1- انقلاب الحقل المغنطيسي الأرضي: تمتلك العديد من الصخور صفة المغنطة بالاتجاه المعاكس للحقل المغنطيسي، وهذا يعود لقدرة بعض الفلزات على اكتساب مغنطة معاكسة للحقل المغنطيسي المسيطر.

ولقد ساعدت دراسة العلاقات بين الصخور الحاملة للمغنطيسية، المعاكسة على تحديد السبب الحقيقي لهذه المغنطيسية المعاكسة، حيث أثبت التوافق والتزامن في حدوث المغنطيسية المعاكسة في صخور مختلفة، رسوبية واندفاعية، من مختلف أنحاء العالم على حدوث انقلاب الحقل المغنطيسي الأرضي، في فترات زمنية متقطعة من التاريخ الجيولوجي.

ولقد أسهمت دراسة مغنطيسية صخور قاع المحيطات في وضع سلم زمني لانقلاب المغنطيسية، يستعمل حالياً لتقدير أعمار الصخور، ودراسة طبيعة الحقل المغنطيسي الأرضي.

2- تاريخ عمر الصخور: يمكن حساب عمر الصخور بثلاث طرائق مغنطيسية هي:

أ- استخدام دورة التغيرات (تغير الانحراف والميل)، القرنية (أي التي تحصل خلال فترة زمنية، قرابة قرن أو قرون من الزمن).

ب- استخدام سلم انقلاب المغنطيسية، ودراسة المرحلة الانتقالية للانقلاب.

ت- استخدام منحنى التجوال القطبي (سيتم شرحه لاحقاً).

3- كما أن دراسة ظاهرة الانقلاب المغنطيسي الأرضي المسجلة لبعض الصخور أدت دورها في بروز ونشوء نظرية حركية الصفائح، المكونة للغلاف الصخري

(الليتوسفير)، والتي تتراوح سماكته ما بين 60-120 كم- وتشمل القشرة المحيطية، وكذلك القشرة القارية مع الجزء العلوي من المعطف العلوي.

كما تشير بعض الدراسات إلى أن القشرة المحيطية قد تتشكل، وتُدمر باستمرار، بينما القشرة القارية قد تتزاح، وتتباعد جانبياً، ثم تلتقي، وتلتحم مع بعضها، مؤدية بذلك إلى تشكل الجبال في منطقة الالتحام (مثال: جبال هيمالايا).

وقد أصبح بالإمكان تسجيل أي حركة نسبية للصفائح، بواسطة الشواذ المغنطيسية، التي تكتسبها المواد الخارجة من بين صفيحتين، وبالإمكان أيضاً إجراء العملية المعاكسة، أي تصور التركيب القديم للصفائح بالنسبة لبعضها البعض، بمقابلة الشواذ المغنطيسية مع بعضها البعض.

كما دفع التشابه بين منحنى التجوال القطبي لكل من أوروبا وأمريكا الشمالية، لتجديد فكرة انزياح القارات، ودعمها بنتائج المغنطيسية القديمة، وذلك عندما وُجدَ أن المنحنى الأمريكي يشبه المنحنى الأوربي، لكنه ينزاح بحدود 30° نحو الغرب. وكان لا بد من أجل تفسير هذا الانزياح نحو الغرب من إغلاق المحيط الأطلسي، بإزاحة أمريكا الشمالية نحو أوروبا إلى وضع قريب من الوضع، الذي اقترحه العالم الألماني فاجنر Wegener في عام 1924.

وفي الواقع لم يطرأ أي جديد على فرضية فاجنر حول ما يسمى بالانزياح القاري (انزياح القارات). وحتى عام 1950 لم نكن نعلم الكثير عن طبيعة الأرض تحت مياه البحر، والتي تمثل بحد ذاتها أكثر من 70% من المساحة الكلية لسطح الأرض، مع أنها تمثل المفتاح الأساسي لفك أسرار كوكبنا الغامضة وسبر أغواره. وربما كانت مغنطيسية الصخور -وهي مجال جديد نسبياً- الدافع الذي حرك من جديد قضية انزياح القارات.

ولقد أسهمت من جديد دراسة التغيرات القديمة للحقل المغنطيسي الأرضي في تعميق المعرفة حول القطبين المغنطيسيين وأكدت أنهما يقعان بالقرب من نظائريهما الجغرافيين.

ولكن لا ينطبق أي منهما على الآخر. ويشبه الحقل المغنطيسي الأرضي ذلك الحقل، الذي يتكون حول قضيب ممغنط بسيط، حيث تمر خطوط القوة غير المرئية من خلال الكرة الأرضية، ممتدة من قطب لآخر..

ومن المفيد الإشارة هنا إلى أن أسلوب دراسة المغنطيسية القديمة يعتمد على حقيقة وجود بعض الفلزات، التي تعمل كما تعمل البوصلة. وعند تسخين هذه الفلزات الممغنطة إلى درجة حرارة معينة، تسمى نقطة كوري تفقد صفاتها المغنطيسية، ولكن عندما تنخفض درجة حرارتها عند نقطة كوري (حوالي 580 م° بالنسبة للماغنيتيت مثلاً) فإنها تتمغنط ثانية، في اتجاه مواز للحقل المغنطيسي في ذلك الوقت. وعندما تصبح المعادن صلبة (أي تتصلب) فإنها تتمغنط باتجاه مغنطيسيتها.

وهي في هذه الحالة تعمل كما تعمل أبرة البوصلة، في إشارتها إلى القطبين المغنطيسيين، وإذا ما تحرك الصخر فإن مغنطيسية ذلك الصخر ستحتفظ باتجاهها الأصلي. وبناءً عليه فإن الصخور التي تكونت عبر آلاف السنين تذكرنا بموقع القطبين المغنطيسيين زمن تكونها. ويقال أن بها مغنطيسية قديمة.

وهناك معلومة هامة وهي أن ترتيب اتجاه المعادن الغنية بالحديد يختلف اختلافاً كبيراً بناءً على اختلاف أعمارها.

كما تشير الدراسات إلى أن القطب المغنطيسي الشمالي قد تغير موقعه من منطقة إلى أخرى خلال 500 مليون سنة الماضية (ما يسمى بظاهرة التجوال القطبي) عبر الأزمنة الغابرة، أو أن القارات قد انزحت. وذلك تبعاً للأزمنة المختلفة، المتعلقة بأعمار الصخور.

وتدل الدراسات على أن معدل مواقع القطبين المغنطيسيين يقارب مواقع القطبين الجغرافيين، وإذا لم تتغير مواقع القطبين الجغرافيين، فإنه لا يمكن للقطبين المغنطيسيين أن يتحركا. وعليه فإن التفسير الأكثر احتمالاً لظاهرة الحركة القطبية يكمن في فرضية انحراف القارات.

فإذا ما بقي القطبان المغنطيسيان ثابتين في مكانهما فإن حركتهما الظاهرية ناجمة عن حركة القارات.

ونشير في هذا الصدد إلى الشبه الواضح بين المسار القطبي لأمريكا الشمالية وأوروبا، فيما عدا أنهما يفصل بينهما 30° على خطوط الطول. فعندما تصلبت تلك الصخور فهل من المعقول أنه كان للأرض قطبان مغنطيسيان، شماليان، تحركا في خطين متوازيين؟ هذا طبعاً احتمال بعيد، ولكن هذا الاختلاف في مساري هذه الهجرة القطبية يمكن تفسيره بإعادة تركيب القارتين بجانب بعضهما البعض، كما يُعتقد اليوم أنهما كانتا عليه، وذلك قبل انفتاح المحيط الأطلسي. وبالرغم من أن هذه المعلومات قد أعادت الروح إلى فكرة انزياح القارات، إلا أنها لم تكن كافية لإحداث تغيير ملحوظ في الرأي العام العلمي. فالتقنية التي استُعملت لاستخلاص معلومات المغنطيسية القديمة كانت حديثة العهد، وغير موثوق بها، إلى جانب أن مغنطيسية الصخور تُضعف بمرور الزمن. وللصخور قابلية أن تكتسب مغنطيسية ثانوية أيضاً. وبالرغم من هذه المعلومات، وغيرها من الأدلة المتضاربة فإن بعض الباحثين كانوا مقتنعين بحدوث الانجراف القاري...

4-6- الحقل المغنطيسي وأهميته:

يتبوأ الحقل المغنطيسي حول الأرض أهمية بالغة، إذ لولا وجوده لما وجدت الحياة على سطح الأرض. فهو يقوم بدور الدرع الواقي لكوكب الأرض من السيل الجارف من الجسيمات المشحونة، والتي تُدعى بالأشعة الكونية Cosmic Rays، الوافدة من الشمس، والفضاء الخارجي إلى الأرض، والتي تقضي على كل حياة الكائنات الحية على سطح الأرض في حال غياب الحقل المغنطيسي_الأرضي هي الكوكب الوحيد في المجموعة الشمسية، التي تمتلك مجالاً مغنطيسياً- والمتشكل أصلاً من المواد المنصهرة، المشحونة كهربائياً، المتواجدة في النواة الخارجية، والمكونة لتيارات الحملان، المولدة للحقل المغنطيسي الأرضي.

تسهم خطوط الحقل المغنطيسي في إزاحة تلك الجسيمات (الأشعة الكونية) باتجاه القطبين المغنطيسيين، مما يؤدي إلى تأين ذرات الجو والغلاف الجوي في منطقة القطبين، وهذا ما يُعرف بالشفق القطبي (الشكل 4-8).



الشكل (4-8): يبين حماية الحقل المغنطيسي لكوكب الأرض من الأشعة الكونية. وفي هذا الصدد تشير الأحداث التاريخية إلى اختفاء بعض الكائنات الحية كالديناصورات، والعديد من الأحياء الأخرى عن سطح الأرض. ويعزى ذلك إلى ضعف

الحقل المغنطيسي الأرضي في تلك الفترة الزمنية، مما سمح للأشعة الكونية بالوصول إلى الأرض بكميات كبيرة أدت إلى القضاء على تلك الكائنات.

ويعتقد العلماء أن انخفاض شدة الحقل المغنطيسي للأرض على المدى البعيد له تأثيرات سيئة في تطور الكائنات الحيوانية، فعندما ينعكس اتجاه هذا المجال تصبح الوقاية من الجسيمات المشحونة، القادمة من الخارج ضعيفة، وبالتالي فإن احتمالية ظهور طفرات جينية عند الإنسان تصبح قوية.

4-6-1- الحقل المغنطيسي وعلم الأحياء الدقيقة:

تعد البكتريا على سبيل المثال من الأحياء الدقيقة، وحيدة الخلية، تعيش في كل مكان، حتى في أجسامنا، والتي لا يمكن رؤيتها، ومعرفة تركيبها الداخلي إلا بالمجهر الالكتروني.

أهميته:

يعمل الغلاف المغنطيسي الأرضي على حماية الأرض من الرياح الشمسية (Solar Wind) أو البلازما الشمسية (Solar Plasma)، إذ يمنعها من الوصول إليها. تتكون الرياح الشمسية من مواد متأينة من إلكترونات ذات شحنات كهربائية سالبة، وبروتونات ذات شحنات كهربائية موجبة، وأشعة ألفا، وبيتا، وغاما، الكونية وهليوم وهيدروجين، تنطلق بسرعة كبيرة تتأهز 1000 كم/الساعة. ولو قدر لهذه الرياح الشمسية الوصول إلى سطح الأرض لاندمت الحياة عليها تماماً. الشكل (4-8).

خاتمة:

تؤكد الدراسات أن الحقل المغنطيسي للأرض هو نعمة عظمية إذ لولاه ما كان للحياة أن تنشأ أصلاً على هذا الكوكب، وعندما درس العلماء بقية الكواكب في النظام الشمسي وجدوا أن معظمها لا يملك مجالاً مغنطيسياً، فمثلاً كوكب المريخ ليس له مجال مغنطيسي، ولذلك ليس محمياً من الرياح الشمسية، القاتلة، فهي تقترب منه بسهولة، ولذلك ترتفع درجة الحرارة على سطحه عدة مئات من الدرجات.

ولقد أشارت الدراسات الحديثة إلى أن للبكتريا تركيب داخلي مميز، يتجلى بسلسلة من الجسيمات، ذات الكثافة الالكترونية العالية بقطر 0.05 ميكرومتر تقريباً، والتي تتكون من المغنيتيت، ذي المغنطة الكاملة، والمستقرة، والتي تعمل كمغنطيس، يوجه البكتريا باتجاه خطوط الحقل المغنطيسي الأرضي.

لقد حدث هذا الاكتشاف الهام في عام 1975 من قبل أحد الباحثين في جامعة ماساشوسيتس الأمريكية، ويدعى "جارد بلا كمور" عندما كان يدرس دور هذه البكتريا في الحياة، في المستنقعات، فشاهدها تتحرك تحت المجهر باتجاه واحد، فحاول معرفة السبب، ظناً منه بأنها تتوجه نحو النور، فقام بحجب النور عنها، فلم يتغير اتجاهها، التي كانت تتحرك باتجاه الشمال الجغرافي، ثم أدار المجهر، وغير مكانه، ونقله إلى غرفة أخرى، ولكن اتجاه البكتريا لم يتغير، وكان بجانبه مغنطيس قوي، فقام بتقريب أحد أطرافه نحو القطرة المحتوية على البكتريا فلم يتغير شيئاً، ولكنه عندما قام بتقريب الطرف الآخر، لاحظ أن البكتريا غيرت اتجاهها نحو الاتجاه المعاكس، مما أثبت أن البكتريا تتجذب نحو القطب المغنطيسي الشمالي (الشمال الجغرافي).

يُعد هذا الاكتشاف الفريد من نوعه، من الأفكار الراهنة، الغنية في تاريخ المغنطيسية وعلاقتها بعلم الأحياء، وهذا ما أكده العلماء، وأثبتوا أن بعض الكائنات الحية تستطيع إطلاق الأمواج فوق الصوتية، وتستشعرها، فطائر الخفاش يستطيع الطيران في الظلام، وكذلك تهتدي البكتريا إلى بيئتها، المعتادة عند تغيير بيئتها لسبب أو لآخر، خلال استشعار الحقل المغنطيسي الأرضي.. وهكذا.

وهنا يُطرح السؤال التالي: هل للأجناس الأخرى من الأحياء مغناط استشعار في أدمغتها؟ وهنا يعتقد العلماء بأن للطيور المهاجرة، ولبعض الأسماك، والحيتان، والنحل، مغناط استشعار في أدمغتها، تمكنها من تحديد اتجاه حركتها.

ولقد نُشر حديثاً بحث علمي، يتناول وجود جزيئات مغناطيسية في الدماغ البشري... أي أن الحقل المغناطيسي الأرضي يتدخل في كل تفاصيل حياتنا، وبدونه لا وجود للحياة على سطح الأرض، وإن وجدت فهي غير الحياة التي نراها، ونعرفها الآن.

لفصل الخامس

الحقل الحراري الأرضي

Geothermal Field

5-1- مقدمة:

تُعد دراسة الحرارة الأرضية إحدى مجالات الجيوفيزياء العامة، والتي تهتم بخواص الحقل الحراري ومركباته، والمبادئ الفيزيائية المتعلقة بالظواهر الناجمة عن تلك الخواص، التي تشكل دراستها واحدة من المسائل الأكثر صعوبة، إذا ما قورنت بدراسات التركيب الداخلي للأرض.

5-2- الحقل الحراري للأرض - المركبات والعوامل المؤثرة فيها:

يعتقد أغلب الباحثين بأن دراسة هذا الموضوع من الأهمية بمكان، من حيث تغيرات الحرارة داخل كوكب الأرض، وتعارض آلية انتشارها مع فيزياء داخلية الأرض، والذي قد يعود بحد ذاته إلى غياب وحدة الأفكار العلمية حول التاريخ الحراري للأرض، ومنهجية الطريقة الفيزيائية، الواجب اتباعها في ذلك، حين دراسة تلك الظواهر الطبيعية، ذات الطيف الواسع، المرتبط بكوكب الأرض.

تتعلق الظواهر الحرارية بتعريفين فيزيائيين أساسيين، هما: الحرارة ودرجة الحرارة. ترتبط ظاهرة الحرارة بمفهوم الحرارة، حيث تمثل كمية الطاقة الحرارية، التي نحتاجها عند الانتقال من درجة إلى أخرى.

الحرارة هي: الطاقة المصروفة، التي نحتاجها من أجل تعيين توازن حراري / حروري عند مستوى معين من درجة الحرارة.

مصادر حرارة التربة هي:

أ- الأشعة الشمسية.

ب- المصادر الحرارية المحلية للتشكيلات الجيولوجية.

ج- التدفق الحروري، الآتي من أعماق كوكب الأرض، والذي تسببه إشعاعية الطبقات العميقة، داخل الكرة الأرضية.

هذا بالإضافة إلى تأثير بعض العناصر المحلية، التي تؤدي دورها في زيادة درجة الحرارة -كمصادر ثانوية للحرارة- كوجود منطقة فالقية، مترافقة بحركة مياه جوفية، مثلاً.

5-2-1- مركبات الحقل الحراري الأرضي وعوامله المؤثرة

يشتمل الجزء العلوي من القشرة الأرضية على حقل حراري (T)، كنتيجة لثلاث مركبات أساسية هي:

- الحقل الحراري الطبيعي (T_n)

- الحقل الحراري المحلي (T_L)

- الحقل الحراري الصناعي (الصنعي) (T_s)

فيكون الحقل الحراري الأرضي الكلي: $T = T_n + T_L + T_s$

5-2-1-1- الحقل الحراري الطبيعي T_n :

يتكون هذا الحقل من الطاقة الحرارية الطبيعية للأرض، والتي تأتي من المصادر الجيوحرارية، التالية:

أ- الحرارة الأولية-الحرارة الذاتية للكواكب-والتي تنتشر من الداخل نحو الخارج، والتابعة للفرضية الكونية، المرتبطة بمنشأ النظام الشمسي، أي منشأ الغليان أو التبريد للكواكب.

ب-الحرارة الناتجة عن عمليات التفكك الإشعاعي، تبعاً لتغيرات المواد المشعة وعمق توضعها.

ث- الفعل الناتج عن تأثير تباطؤ دوران الأرض.

5-2-1-2- الحقل الحراري المحلي T_L :

ينشأ هذا الحقل من التأثيرات الحرارية الطبيعية، المتعلقة بتوافر بعض العوامل، والتي تولد بعض الحقول الحرارية المحلية:

أ- احتجاز النفط والغاز .

ب- انحلال الصخور الهالوجينية (الصخور ذات المركبات الهالوجينية).

ج- أكسدة الكباريت .

د - أكسدة الطبقات الكربونائية...إلخ

هذا بالإضافة إلى ظواهر أخرى، قد تحدث أثناء حفر الآبار، كتماس سائل الحفر مع الطبقات المحفورة المخترقة.

5-2-1-3-الحقل الحراري الصناعي Ts:

يتشكل هذا الحقل عادة حين عملية حفر الآبار، ويتولد خلال تنفيذ بعض الأعمال التقنية، والتي من أهمها:

أ- تصلب الإسمنت، والذي قد يؤدي إلى تحرر طاقة حرارية معينة.

ب- عملية الحفر بسائل حفر معين، عند درجات حرارة عالية.

ج- المنابع الحرارية، التي يتم إدخالها حين حفر الآبار، والتي قد تكون لأهداف إنتاجية...إلخ

5-3- الخواص الحرارية-المبادئ الفيزيائية لتوزيع درجة الحرارة :

تُعد دراسة الخواص الفيزيائية الحرارية للصخور من الأهمية بمكان، إذ على الرغم من قلة المعلومات والمعطيات المتوافرة عن توزيع الحرارة، وآلية انتشارها، وبخاصة في الأعماق الكبيرة، التي تفوق الـ 100 Km ، وذلك يعود لارتباط هذا الموضوع بالفرضيات والتفسيرات النظرية، المتعلقة بأصل كوكب الأرض، الذي نعيش على سطحه، وبخاصة نظرية تيارات الحملان، وارتباطها بفرضية انزياح القارات، وتكتونيك الصفائح. كما ترتبط أهمية دراسة الخواص الحرارية، واستخدام الشواذ الحرارية في العمليات التطبيقية الاستكشافية، وبخاصة في البحث عن التراكيب الجيولوجية المختلفة، التكتونية منها وغير التكتونية بما فيها الطيات، والشقوق والفوالق..إلخ.

5-3-1- الخواص الحرارية، وبعض المبادئ الفيزيائية لتوزيع درجة الحرارة في القشرة الأرضية:

تزداد درجة الحرارة الطبيعية للكرة الأرضية بدءاً من السطح وباتجاه داخل الأرض، وتدعى زيادة الحرارة في واحدة الطول بظاهرة التدرج الجيوحراري. وتبعاً لقانون فورييه فإن كمية الحرارة، أو التدفق الحراري Q ، الذي يمر من خلال سطح S في زمن مقداره T يساوي إلى:

$$Q = K_{ts} \frac{T_o - T_1}{h}$$

حيث:

K_{ts} - الناقلية الحرارية للوسط المدروس.

T_o, T_1 - درجات حرارة السطوح، S_o, S_1 .

S_o, S_1, h - المسافة بين السطحين S_o, S_1 ، وينتج من ذلك أن التدرج الجيوحراري

$$C^o = T_o - T_1$$

إن القيمة الوسطية الطبيعية للتدرج الحراري هي: درجة مئوية واحدة لكل 30 م، عمقي. تتغير هذه القيمة حسب:

أ- طبيعة الصخور.

ب- درجة التطبيق.

ت- درجة التشقق أو التصدع.

ث- ميل الطبقات.

ج- المسافة عن المنبع (الرئيس أو الثانوي).

كما تجدر الإشارة إلى أن الحرارة قد ترتفع بشكل طبيعي، وتصبح درجة واحدة لعدة أمتار، وذلك في المناطق، ذات الكتل الاندفاعية، أو قد تنخفض، لتصبح درجة واحدة لكل 100m، وذلك في التشكيلات البريكامبرية. ومن المعلوم بأن الحرارة الأرضية تأتي

بشكل رئيسي من حرارة الشمس، والتي يظهر تأثيرها في المنطقة السطحية (الجزء العلوي من القشرة الأرضية)، وهو الجزء الذي لا يزيد عن 30m تحت سطح الأرض.

كما أن ظاهرة التدفق الحراري القادم من أعماق الأرض تُعد مصدراً رئيسياً للحرارة الأرضية، والذي يتجسد بالنشاط الإشعاعي للعناصر المشعة، وتتكون نواة الأرض من الحديد والنيكل، وتتميز بدرجة عالية من الحرارة، والتي قد تصل إلى قرابة 6000 م°.

تجدر الإشارة إلى أن أعماق بئر حفرة الإنسان لا يتجاوز 12 كم أي 0.02 (اثنان بالمئة) من عمق نواة الأرض، فكيف لنا أن نعرف حرارة الأرض في المستويات العميقة.

5-3-2- آلية توزع الحرارة في القشرة الأرضية:

لقد لوحظ أن درجة الحرارة الطبيعية للكرة الأرضية تزداد مع العمق، بدءاً من السطح وبتجاه داخل الأرض بمعدل ثلاث درجات مئوية لكل 100 متر، وثمة تفاوت في معدل هذه الزيادة من مكان إلى آخر، فهي تصل إلى 35 م° للكيلومتر الواحد في المناطق البركانية في الجزء العلوي من القشرة الأرضية. وتُعرف هذه الزيادة في درجة الحرارة بظاهرة التدرج الحراري الأرضي. وقد يتغير هذا المعدل حسب طبيعة الصخور، ودرجة التطبيق، وأيضاً درجة التشقق أو التصدع... إلخ. وقد ينخفض المعدل الحراري إلى عدة أمتار في المناطق ذات الكتل الاندفاعية الحديثة، أو قد يصل إلى 100 م في التشكيلات البريكاميرية، مثلاً.

وفي واقع الحال، فلو استمر التدرج الحراري كما هو معلوم، أي بمعدل 30 درجة لكل كيلو متر واحد، لأصبحت درجة الحرارة في نواة الأرض بحدود 200,000 م°، إلا أن بعض الباحثين قد أشاروا إلى أن التدرج الحراري يتناقص عن قيمته السابقة عند حدود القشرة الأرضية مع المعطف، وذلك يعود إلى أن جُلّ المواد المشعة متمركزة في القشرة، وتتناقص كميتها طردياً مع العمق، لذلك يُعتقد بأن درجة الحرارة عند حدود القشرة- المعطف بحدود 700 م°.....

5-3-3- تأثير الأشعة الشمسية على درجة حرارة التربة:

لقد أشارت دراسات الحرارة الأرضية إلى تأثير الإشعاع الشمسي على درجة حرارة التربة، وتجلي ذلك بوجود ثلاث مناطق مفروضة، تبعاً لسعة التغيرات في درجة الحرارة مع الوقت، وهي:

أ- منطقة سطحية جداً: وهي المنطقة، التي يتراوح عمقها ما بين 2 و 5 كم، والتي تتعرض مباشرة للعوامل المناخية، ففيها تتغير درجة الحرارة اليومية بمعدل لا يزيد عن درجة حرارة مئوية واحدة، والتي تتعلق بالإشعاع الشمسي، وذلك حتى نصف اليوم.

ب- منطقة متوسطة: وهي المنطقة الممتدة حتى عمق 15-40 م وتحدث التغيرات فيها، إما فصلية أو شهرية، وربما سنوية.

ج- منطقة عميقة: وهي المنطقة العميقة أكثر من سابقاتها، والتي تتغير فيها درجة الحرارة مع الزمن، وتعتمد على التدفق الحراري الداخلي، والذي يُعتبر ثابتاً بحد ذاته. كما تجدر الإشارة إلى أن تحديد الحرارة، وتغيراتها، ترتبط إلى حد كبير بتغير ليتولوجية الصخور وطبيعة تشكلها.

5-3-4- الخواص الحرارية لصخور التشكيلات الجيولوجية:

تتصف الخواص الحرارية بالمعايير الثلاثة التالية:

المعيار الأول: الناقلية (الموصلية) الحرارية Thermal Conductivity K:

وهي كمية الحرارة، التي تمر عبر واحدة المساحة خلال واحدة الزمن، وفي تدرج مساوٍ للواحد، ويُعبر عن هذا المعيار بـ حرارة/سم².ثا.⁰C. ولكن الواحدة العملية هي كيلو حرارة/م².ساعة.⁰C وذلك في الوحدة العالمية C.G.C.

المعيار الثاني: المقاومة الحرارية 1/K (عكس الناقلية الحرارية):

يصف هذا المعيار الخواص الحرارية للصخور. ويستخدم كمعيار فيزيائي مميز، وبخاصة في السبر البئر الحراري.

تعتمد المقاومة الحرارية على العوامل التالية:

1- طبيعة الفلزات ونسبتها من المجموع الكلي للصخر.

2- كثافة الصخور (تزداد المقاومة مع نقصان الكثافة وبالعكس).

- 3-رطوبة الصخور (تتخفض المقاومة مع زيادة الرطوبة وبالعكس).
- 4-طبيعة السوائل البينية (تكون المقاومة كبيرة إذا كان السائل بترولاً، وتكون المقاومة صغيرة في حالة الماء ..).
- 5-نفوذية الصخور المائية (تتخفض المقاومة عندما تتحرك المياه البحرية في الصخر، أي عندما يكون لها نفوذية عالية).
- 6-درجة حرارة الصخور (تزداد المقاومة مع زيادة درجة الحرارة).
- 7-تأثير التطبيق الصخري (تكون المقاومة عظمى عندما يمر التدفق عمودياً على التطبيق، وأصغرياً باتجاه التطبيق أو موازياً له).

المعيار الثالث: الحرارة النوعية C:

وتمثل كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الكتل درجة حرارة واحدة.

5-3-5- آلية انتقال (انتشار) الحرارة داخل الأرض:

تنتقل الحرارة عبر الطبقات الأرضية بثلاثة طرق:

الطريق الأول: النقل الحراري (خاصية التوصيل الحراري): Thermic Conviction في المناطق الصلبة:

وهو آلية انتقال الحرارة، وذلك عندما تخترق الحرارة (تعبّر) صخور القشرة الأرضية، وتصل إلى سطح الأرض، فإذا اعتبرنا بأن التدرج الحراري حوالي 30°C لكل الكم الواحد، فستكون الحرارة عند عمق 100 كم مساوية لـ 3000°C ، ويزداد هذا المعدل عادة، أو يتضاعف في أماكن النشاط البركاني، وهذا يعني بأن الحرارة ستقوم بصهر كامل للمادة، آخذين بالحسبان بأن حرارة الحمم البركانية تتراوح ما بين $900-1200^{\circ}\text{C}$ ، وبالتالي فإن معدل زيادة درجة حرارة باطن الأرض، مهما كان ضئيلاً، سوف يصل بالمواد الصخرية إلى درجة الانصهار على أعماق قليلة نسبياً، وتصبح درجة حرارتها في أعماق أكثر أعلى بكثير من درجة انصهارها.. إلا أن خضوعها لضغوط عالية يبقّيها في الحالة الصلبة، ولا يبدأ فيها الانصهار الجزئي إلا حين ينحسر عنها الضغط، بنتيجة اقترابها من سطح الأرض، أو حدوث فوالق عميقة.

وإذا كان انتقال الحرارة دون الـ 100 كم يأخذ دوره من خلال التوصيل الحراري من قبل الصخور، ذات الناقلية الحرارية، كما يُعتقد فإن 70 % من مصادر الحرارة تكون إشعاعية، ومتمركزة في المناطق القارية للقشرة الأرضية.

ويعتقد أيضاً بأن مواد المعطف بكاملها يجب أن تكون منصهرة، وذلك من المصادر الإشعاعية للحرارة، الناتجة عن تفكك العناصر المشعة، كاليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم، التي تتوزع في القشرة الأرضية وأعلى المعطف العلوي.

الطريق الثاني: النقل الحراري (وفق ظاهرة الإشعاع والإثارة) Thermic Radion and Excitement

عندما تزيد درجة الحرارة عن 800-1500 م° يتم انتقال كمية من الحرارة بواسطة الإشعاع، فعند الدرجة 750 م° يكون انتقال الحرارة بالإشعاع، وذلك في بلورات الأوليفين مساوياً تقريباً لحالة التوصيل الحراري الطبيعي.

ويُفترض أن يكون التأثير الإشعاعي أكبر عند درجات حرارة أعلى، كما يمكن أن يكون الانتقال الحراري بالإشعاع محدوداً بالسطوح البلورية. ولهذا السبب فإن أهمية انتقال الحرارة بالإشعاع في المعطف، يمكن أن ترتبط، أو تعتمد على حجوم البلورات أيضاً.

كما يمكن أن تنتقل الحرارة عند درجات حرارة عالية بواسطة الإثارة أو التهييج Excitation Conductivity، إذ أن الذرات الحيدانية يمكن أن تنهيج بالإشعاع، الذي ليس له طاقة كافية لتحرير الإلكترونات، ويمكن أن تنتقل طاقة ذرة مهيجة إلى ذرة مجاورة، بينما يمكن للحرارة أن تجري، أو تتدفق وفق هذه الآلية، كما يمكن أن تكون الناقلية الحرارية في المعطف تحت عمق 100 كم بالتهييج أكبر من الناقلية الحرارية بالإشعاع.

أما في المعطف العلوي، وعند أعماق تفوق الـ 100 كم فإن الناقلية الحرارية ستأخذ قيمة أكبر، بسبب العائد الناتج عن التوصيل الإشعاعي، والتهييج. وهذا يُعَلِّل نقصان قيم التدرج الحراري عند هذه الأعماق، تحت القشرة الأرضية.

وأما في الأقسام الأعظم من المعطف فإن ازدياد الناقلية الحرارية تكون معاقبة، بسبب الحالة الزجاجية للمادة، (حالة عدم التبلور-الامورفية).

الطريق الثالث: النقل الحراري بواسطة الحمل (الحملان) الحراري: Thermic

:Conduction

يمكن لهذه الطريق أن ينقل كميات كبيرة من الحرارة بالرغم من وجود تدرجات حرارية صغيرة نسبياً. ومن المحتمل أن يكون الحمل الحراري هو آلية الانتقال نحو الأعلى لحرارة النواة الخارجية.

ثمة مجموعة من الدلائل تشير إلى وجود مثل هذه التيارات الحملانية في القسم العلوي من المعطف السفلي، ومنها لزوجة ذلك القسم، التي توظف لذلك الافتراض، وبوجود تدرج حراري قليل نسبياً مقابل التدرج الحراري الثابت. وإن المضمون الجيوحراري الأكثر أهمية للحمل الحراري هو إمكانية الانتقال الحراري نحو السطح للحرارة الناتجة داخل الأرض، وبصورة أسرع من طريقة التوصيل الحراري، ويجب أن يكون التدرج في درجات الحرارة في خلية الحملان أكبر بعدة مرات من التدرج الثابت، وهو بحدود 0.3°C للكم.

ويمكن شرح فرضية الحملان في المعطف العلوي من أعماق 50-100 كم تحت مستوى سطح القشرة الأرضية، إذ أن التدرج الحراري يتناقص جوهرياً مع زيادة العمق عند هذا المستوى.

ثمة آلية أخرى لنقل الحرارة: وهي الحمل النفاذ (المخترق): وهي طريقة سريعة لنقل الحرارة نحو سطح الأرض، فهناك جريان سريع للحرارة المنقولة نحو الأعلى، بواسطة السوائل، ذات الكثافة القليلة، مثل الماغما أو المواد الهيدروترمالية، خلال الأوساط المسامية الكثيفة، حيث أن الماغما، أو المياه المغلية تتوضع عند أو بالقرب مباشرة من سطح الأرض. ومن المحتمل أن تكون هذه الآلية الرئيسية لانتقال الحرارة نحو الأعلى في المناطق الجيوحرارية، وضمناً تلك الموجودة على امتداد البروزات المحيطية.

5-3-6- التوازن الحراري: Thermic Isostasy (حالة توازن القشرة الأرضية، والكرة الأرضية بشكل عام):

تم اللجوء إلى دراسة العلاقة التبادلية بين السطح التضاريسي الطبوغرافي للأرض وتوزيع الكتل داخل القشرة الأرضية (علاقة البنيات السطحية بالبنيات الداخلية)، أي يجب أن يكون هناك تعويضاً ما قد حصل بتغيرات الكتل في الداخل بالشكل الذي يضمن في النهاية تحقيق التوازن العام لكامل القشرة الأرضية.

وفي إطار مفهوم نظرية التبريد الأرضي من الانصهار الأول (منشأ الغليان)، فإن أول قشرة أرضية متبلورة كانت عبارة عن غطاء غرائتي، إذا كان الغطاء الصلب أكثر بروتة وأكثر كثافة، حيث تم إزاحته نحو الأسفل.

وفي الوقت الحاضر فإن هذا السطح البارد الذي يحدد الحد السفلي للمادة الأرضية المبلورة، والمتوضع عند عمق 75-80 Km، والذي يليه مباشرة الغلاف الضعيف (الوهن) Asthenosphere، والذي يتصف بخواص ميكانيكية، وحرارية مختلفة بشكل واضح. وفي ذات الوقت، ومع تصلب القشرة المستمر فإن التبريد البطيء بسبب الطاقة الإشعاعية قد ينشئ نظاماً مستقراً متوازناً نسبياً. وما التغيرات المتباعدة في درجات الحرارة من سطح الأرض وحتى مركزها إلا كمحصلة تأثير لمجموعة من العوامل، من أهمها:

أ- سلوكية تغير كثافة الكتل العميقة.

ب- وجود الشروط الملائمة لعمليات التبلور تحت المحيطات من جهة، وتحت الكتل القارية، من جهة أخرى.

ج- مساهمة التيارات الحملانية تحت القشرة الأرضية.

د- مساهمة الحركات التكتونية في التبدلات والتغيرات في التوازن الأرضي.

5-4- الطاقة الحرارية-ظاهرة التدرج الحراري: Geothermal Power

:Geothermal Gradient

نظرة عامة: (ذات طابع اقتصادي وخدمي):

لا تتوفر الطاقة الحرارية بصورة مباشرة في الطبيعة إلا فيما يصل الأرض من حرارة الشمس ومن الحرارة الجوفية للأرض. وهذا ما يجعل الحرارة الجوفية سهلة الاستغلال، فهي طاقة مستدامة وواسعة الانتشار. ويُقدر احتياطي الطاقة الحرارية الأرضية في حزام عمقه 2000 متر تحت سطح الأرض ما يعادل ما ينتجه 250 مليار طن من الفحم من الطاقة.

تقسم مصادر الحصول على الطاقة الحرارية الأرضية إلى قسمين: المياه الحارة الجوفية والصخور الحارة التي توجد في المناطق النشطة بركانياً، أو في الأعماق البعيدة تحت سطح الأرض، ويمكن الاستفادة من المياه الجوفية الحارة والصخور الحارة في توليد الطاقة الكهربائية، وتسخين المياه، التي تُستخدم في التدفئة، بالإضافة إلى استعمالها في الكثير من ميادين الصناعة والزراعة الأخرى.

تستخدم الطاقة الحرارية الأرضية في تدفئة المنازل، عندما تكون الحرارة قريبة من سطح الأرض، أو على صورة ينابيع حارة، أو عندما تكون درجة حرارتها منخفضة (حوالي 65 م°)، حيث تكون تكلفة استخراجها، واستعمالها معقولة، ففي أيسلندا مثلاً تنتشر هذه الينابيع الحارة ويتم توظيفها لأغراض التدفئة والتسخين.

إن الطاقة الحرارية التي تصل إلى الأرض من الشمس تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة وكذلك تعمل على تبخير المياه وحركة الهواء أفقياً وعمودياً؛ وفي الوقت نفسه تفقد الأرض طاقتها الحرارية نتيجة الإشعاع الأرضي، الذي ينبعث على شكل إشعاعات طويلة "تحت الحمراء"، بحيث يكون معدل ما تكسبه الأرض من طاقة شمسية مساوياً لما تفقده بالإشعاع الأرضي، إلى الفضاء. وهذا التوازن الحراري يؤدي إلى ثبات معدل درجة حرارة سطح الأرض عند مقدار معين وهو 15 م°.

تؤدي الغازات الدفيئة دوراً حيوياً ومهماً في اعتدال درجة حرارة سطح الأرض "حيث:

-تمتص الأرض الطاقة المنبعثة من الإشعاعات الشمسية، وتعكس جزءاً من هذه الإشعاعات إلى الفضاء الخارجي، وجزءاً من هذه الطاقة أو الإشعاعات يُمتص من خلال بعض الغازات الدفيئة (بخار الماء، ثاني أكسيد الكربون، الأوزون، الميثان...)، الموجودة في الغلاف الجوي. وتؤدي تلك الغازات دوراً حيوياً ورئيسياً في تدفئة سطح الأرض، للمستوى الذي تجعل فيه الحياة ممكنة على سطح الأرض.

-حيث تقوم هذه الغازات الطبيعية على امتصاص جزء من الأشعة تحت الحمراء، المنبثقة من سطح الأرض، وتحتفظ بها في الغلاف الجوي، لتحافظ على درجة حرارة سطح الأرض ثابتة، وبمعدلها الطبيعي "أي بحدود 15 درجة مئوية. ولولا هذه الغازات لوصلت درجة حرارة سطح الأرض إلى 18 درجة مئوية تحت الصفر.

مما تقدم ونتيجة النشاطات الإنسانية المتزايدة، وخاصة الصناعية منها، أصبحنا نلاحظ زيادة الغازات الدفيئة لدرجة أصبح مقدارها يفوق ما يحتاجه الغلاف الجوي، للحفاظ على درجة حرارة سطح الأرض ثابتة، وعند مقدار معين. فوجود كميات إضافية من الغازات الدفيئة، وتراكم وجودها في الغلاف الجوي، يؤدي إلى الاحتفاظ بكمية أكبر من الطاقة الحرارية في الغلاف الجوي، وبالتالي تبدأ درجة حرارة سطح الأرض بالارتفاع.

تعتمد كفاءة استغلال الطاقة الحرارية الباطنية في توليد الطاقة الكهربائية على درجة الحرارة. ويسهل وجود الينابيع الحارة استغلالها وذلك بسعر زهيد. وإذا لم توجد الينابيع الحارة فيمكن الحفر بالأنابيب بحيث يضخ الماء من أعلى في أنابيب خاصة فيكتسب الماء الحرارة من الطبقات الأرضية الساخنة، وتقوم مضخات مركبة على أنابيب أخرى بسحب الماء الساخن، إلى أعلى، لاستغلاله، وتسمى تلك الطريقة المتبعة في بعض المناطق الأوروبية الطاقة الحرارية للصخور الجيولوجية الساخنة hot dry rock geothermal energy، أو تسمى في أمريكا الشمالية أنظمة حرارة الطبقات الجيولوجية المحفزة.

تُعد الطاقة الحرارية مصدراً بديلاً، ونظيفاً، ومتجدداً، وهي طاقة حرارية مرتفعة ذات منشأ طبيعي، مختزنة في صخور الماغما في باطن الأرض. حيث يُقدّر بأن أكثر من 99% من كتلة الكرة الأرضية عبارة عن صخور تتجاوز حرارتها 1000 درجة مئوية. ويستفاد من هذه الطاقة الحرارية بشكل أساسي في توليد الكهرباء. وفي بعض الأحيان تُستخدم للتدفئة، عندما تكون الحرارة قريبة من سطح الأرض أو على صورة ينابيع حارة. هذه الطاقة المتجددة، نظرياً، يمكن أن تكفي لتغطية حاجة العالم من الطاقة لمدة 100000 سنة قادمة، إلا أن تحويلها إلى طاقة كهربائية هي عملية باهظة التكاليف، وذلك رغم أن الطاقة الأساسية (المادة الأولية) مجانية، وهي متوفرة بكثرة لكن يستصعب الحصول عليها.

تشير المعطيات التي تم استنتاجها بصورة غير مباشرة من خلال علاقات رياضية وفيزيائية، تربط بين الظواهر الفيزيائية المدروسة على سطح الأرض، أو في داخلها، والخواص الفيزيائية للأرض (المرونة وسرعة الأمواج المرنة، والكثافة، والضغط، والحرارة..إلخ) وعلاقة كل ذلك بالعمق.

لقد لوحظ بأن منحنى تغير درجات الحرارة وفقاً لأعماق التشكيلات الجيولوجية مثيراً للجدل، لأنه من أكثر الموضوعات تعارضاً مع فيزياء الأرض، ووضع العديد من النماذج لتغيرات الحرارة، ونوقشت بإسهاب في دراسات عديدة، مع الأخذ بالحسبان سلوك مكونات المعطف، تحت ظروف الضغط والحرارة السائدة، ولم يستقر الرأي حول بعض الموضوعات المتعلقة بذلك، ولا تزال مثيرة للجدل حتى يومنا هذا.

وقد أسهمت قياسات درجات الحرارة في الآبار والمناجم في تعيين معدل زيادة درجة الحرارة (التدرج الحراري)، والذي يساوي درجة مئوية واحدة لمجال صخري يتراوح ما بين 30 و 35 م، وبالتالي فإذا حسبنا درجة الحرارة في مركز الأرض لكامل المقطع وباستخدام التدرج الحراري المذكور أعلاه فسنحصل على درجة حرارة تزيد على $200,000^{\circ}\text{C}$ ، وهذا لا يتوافق مع الحقيقة، التي تدل بدورها على أن درجة الحرارة في مركز الأرض لا تتجاوز 5000°C .

وتُقبل النتيجة بأن الحسابات المتفق عليها تدل على أن معدل زيادة الحرارة في القسم العلوي للأرض يتناقص بسرعة مع العمق. ويمكن شرح القيمة العالية للتدرج الحراري في القشرة الأرضية من خلال وجود فلزات مشعة في الصخور المكونة للقشرة الأرضية، ويمكن التذكير هنا ببعض العلاقات الرياضية لحساب درجة الحرارة، المبينة على التوقعات، والمستندة على تغير قيم سرعة الأمواج السيزمية وعلاقتها بأعماق الطبقات الجيولوجية.

$$T_m = C \left(\frac{1}{V_p^3} + \frac{1}{V_s^3} \right)^{-\frac{1}{3}}$$

حيث:

C - قيمة ثابتة تعتمد على الوزن الجزيئي.

V_p و V_s - سرعة الموجة الطولية والعرضية على التوالي.

يلاحظ أن انتقال الحرارة بالتوصيل يتم بدون تحرك أجزاء المادة، كما هو الحال في القشرة الأرضية والنواة، بينما تؤدي تيارات الحملان دوراً مهماً، في المعطف العلوي ويقود ذلك إلى التدرج الحراري العالي، الذي يفوق كثيراً التدرج الحراري في المعطف السفلي. وهنا يبرز دور المعطيات الجيوفيزيائية المتعلقة بتركيب القشرة الأرضية من خلال دراسة أهم المسائل المعقدة، نذكر منها:

- 1- دراسة العلاقة التبادلية بين التكتشفات السطحية (البنىات السطحية) والتشكيلات العميقة (البنىات العميقة) ووضع العديد من النماذج لتغيرات درجة الحرارة مع العمق.
- 2- دراسة ومعرفة تضاريس سطوح عدم التوافق (كسطح موهو وسطح كونراد). وتجدر الإشارة إلى أن عمق سطح موهو من 25-40 كم (تحت القارات) ومن 70-80 كم (تحت المناطق الجبلية)، بينما يكون عمقه قليلاً نسبياً تحت المحيطات ما بين 5-15 كم. بينما سطح كونراد، الذي يفصل بين الغطاء الغرانيتي والغطاء البازلتية والذي أوضحت الدراسات بأن قاع المحيطات يتوضع مباشرة فوق الغطاء البازلتية.

3- يظهر الغطاء الغرانيتي أحياناً على سطح الأرض، وذلك في المناطق الجبلية وفي الصفائح القديمة (البلاتفورمات القديمة). وفي مثل هذه الحالة فإن حدود الفصل بين الغطاء الغرانيتي والغطاء الرسوبي تكون سهلة التمييز.

4- دراسة الغطاء الرسوبي، وتعيين سماكاته في مختلف أقسام القشرة الأرضية. فقد وجد أن سماكة الغطاء الرسوبي قليل الثخانة في بعض المواقع، وذي ثخانات سمكية تصل حتى 15-20 كم (الأحواض الجيولوجية القديمة والأحواض الترسيبية، والمقعرات الجيولوجية). وسنقدم جدولاً بتغير الحرارة مع العمق.

الجدول (5-1): تغير درجة الحرارة تبعاً للأعماق

العمق (كم)	درجة الحرارة (درجة مئوية)
150	1000
500	1800
1000	2600
2000	3600
2800	4000
3000	4500
4000	5500
5000	5800
6000	6000

ويُقدّر العلماء، بناء على قياسات أجريت في أثناء التعمق بالحفر في باطن الأرض، تزايد درجة الحرارة مع العمق بنحو 3 درجات مئوية لكل 100 م، وهو ما يعرف بالتدرج الحراري الأرضي Geothermal Gradient. ويزداد هذا المعدل عادة أو يتضاعف في أماكن النشاط الناري الدئيس أو النشاط البركاني. وإذا استمر تزايد الحرارة وفق هذا المعدل، فيتوقع أن تصل درجة الحرارة في مركز الأرض، على عمق 6500 كم، إلى

200000 م°، وهي درجة أعلى من درجة حرارة سطح الشمس. لذلك يُعتقد أن معدل هذا التزايد الحراري، في معظم أعماق الأرض، أقل بكثير مما ذكر. ويحاول العلماء، اعتماداً على مختلف المعطيات المتوافرة، التوصل إلى وضع صورة مقبولة للتدرج الحراري الأرضي. ويمثل الشكل (1-5) التدرج الحراري الأرضي الذي يُعتقد وجوده في أعماق القارات وتحت المحيطات، إذ يلاحظ أن معدل هذا التدرج يزيد قليلاً تحت المحيطات على ما هو عليه في أعماق القارات. وبما أن حرارة الحمم البركانية تتراوح ما بين 900م°-1200م° درجة مئوية، فإن معدل ازدياد درجة حرارة باطن الأرض، مهما كان ضئيلاً، سوف يصل بالمواد الصخرية إلى درجة الانصهار على أعماق قليلة نسبياً، وتصبح درجات حرارتها، في أعماق أكثر، أعلى بكثير من درجات انصهارها. إلا أن خضوعها لضغوط عالية يبقيها في الحالة الصلبة، ولا يبدأ فيها الانصهار الجزئي إلا حين ينحسر عنها الضغط بنتيجة اقترانها من سطح الأرض أو حدوث فوالق عميقة.

الشكل (1-5): التدرج الحراري الأرضي تحت القارات والمحيطات، الذي تم التوصل إليه بالحسابات.

مصدر الحرارة الأرضية:

يعتقد كثير من العلماء أن الأرض قد استمدت سخونتها في أثناء تكونها في النظام الشمسي ومن تصادم الأجسام النيزكية وارتصاصها، يضاف إلى ذلك التسخين المستمر الناتج من الحرارة التي يطلقها تفكك العناصر المشعة كاليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم التي تنتوزع في القشرة الأرضية وأعلى المعطف، وكذلك من الحرارة الناجمة من احتكاك الكتل الصخرية الهائلة بالعمليات التكتونية والتفاعلات الكيميائية.

الطاقة الحرارية الأرضية:

تكن الحرارة الباطنة التي يمكن أن يفيد منها الإنسان باستخدامها طاقة بديلة في الأجزاء السطحية التي يمكن أن تصل إليها أعمال الحفر البئري الآلي. وقد قُدِّرَ هذه الطاقة، التي تسمى طاقة الحرارة الأرضية *geothermal energy* بما يقرب من 3×10^{26} حريرة. وبما أن مخزون هذه الطاقة مبعثر جداً، فإنه لا يمكن التوصل، في الوقت الحاضر، إلى تحديد إمكان استخدام هذا المخزون اقتصادياً. فمناطق التدفق الحراري العالي هي، التي تحوي أهم الخزانات الحرارية، وهي على العموم، مناطق تتركز أو بناء للجبال تنتوزع على هوامش صفائح الغلاف الصخري الرئيسية. وفي كلتا الحالتين تتولد المغما *magmas* وتحدث النشاطات النارية الدسيسة والبركانية.

ثمة ظواهر طبيعية تشير إلى سخونة باطن الأرض، أهمها النشاطات البركانية التي ترافقها انفجارات وأبخرة وغازات ومقذوفات بركانية وتدفق حمم (لابات) *lavas* منصهرة وينابيع معدنية حارة. ويتعرض الإنسان إلى حرارة باطن الأرض مباشرة حين يتعمق داخل الحفر المنجمية، مثل منجم وسترن ديب ليفل *Western Deep Level* لاستثمار الذهب في جنوب إفريقيا، الذي تصل أعماقه إلى نحو 3500 م، إذ تبلغ الحرارة في أعماقه ما يقرب من 40 درجة مئوية، على الرغم من استخدام أجهزة التهوية والتكييف. كما يلاحظ هذا التزايد الحراري بوضوح في عمليات الحفر البئري الآلي العميق في أثناء عمليات التنقيب عن النفط.

أخذت بعض البيانات من بعض بلدان العالم مثل اليابان وآيسلندا ونيوزيلندا والولايات المتحدة الأمريكية، وأصبحت تلك الطاقة تُستغل بوصفها طاقة بديلة، لتوليد الكهرباء،

والتدفئة المنزلية، وغيرها. وتتوسع استخدامات الطاقة الحرارية الأرضية بإطراد مع تطور تقانة المبادلات الحرارية، ومع أن الطاقة الحرارية الأرضية أقل كلفة من أي مصدر آخر للطاقة، إلا أنها قابلة للاستنفاد، وقد تظهر مشكلات بيئية. فهي حين تستنفد في منشأة ما تؤدي إلى ضياع المنشأة كلها. كما يصدر عن بعض المنشآت كميات كبيرة من الكبريت، يمكن أن تعادل ما تطلقه منشآت مماثلة في الحجم، تستخدم وقود الفحم الحجري، ذي المحتوى العالي من الكبريت. ومع أن تطبيقات الاستفادة من الطاقة الحرارية الأرضية سوف تتوسع في المستقبل، إلا أنه لا يتوقع منها أن تغطي أكثر من 5-10% من الاحتياجات العالمية للطاقة، ويمكن أن يعزى ذلك، في الدرجة الأولى، إلى عدم توافر أنظمة مائية ملائمة في كثير من بقاع العالم.

5-5- أهمية الحقل الحراري الأرضي:

ثمة ظواهر طبيعية تشير إلى سخونة الأرض، كالنشاطات البركانية، المترافقة بالانفجارات والغازات والأبخرة والحمم المنصهرة والينابيع المعدنية الحارة. وقد يتعرض الإنسان إلى حرارة باطن الأرض مباشرة حين يتوغل في أعماقها، من خلال حفر الآبار النفطية، والمنجمية، والتي وصلت في بعض الأحيان إلى 7 كم (أي حوالي 0.001 من أعماق مركز الأرض). وقد حفر منجم لاستثمار الذهب بعمق 3500 م في جنوب أفريقيا، وبلغت الحرارة فيه 40 م°، على الرغم من استخدام أجهزة التهوية والتكييف..

تبرز أهمية الحقل الحراري الأرضي من خلال استفادة الإنسان من حقول الطاقة الحرارية الجوفية، أو التي هي قيد الاستكشاف. وتقع حقول الطاقة الحرارية الأرضية المعروفة، أو التي هي قيد الاستكشاف، في ثلاثة تكوينات جيولوجية رئيسية:

- 1- على امتداد أعراف التوسع spreading ridges.
- 2- فوق نطاق الانغراز subduction zones.
- 3- في الحزام الجبلي الممتد من إيطاليا إلى تركيا، فالقوقاز، والذي تكوّن نتيجة لتصادم صفيحتي أوروبا وإفريقيا.

ويقوم الماء في الأنظمة الحرارية الأرضية بدور وسط حامل جيد للنقل للحرارة من الأعماق إلى السطح. وتوفر الفوالق العميقة وتشققات الصخور والفتحات المسامية المتصلة بها الممرات اللازمة لتسرب المياه السطحية، وتغلغلها في باطن الأرض، وصعودها نحو السطح حين تسخن وتقل كثافتها. ففي النظام الحراري الأرضي يدور الماء عند اقترابه من مصدر حراري (مثلاً تجمع مغماتي أو صخور نارية متبردة أو صخور عميقة تخضع لاستحالة شديدة)، إذ يمكن أن تصبح درجة حرارته بين 40° وأكثر من 380° درجة مئوية، فيتمدد ويصعد نحو الأعلى. وحين يصادف ممرات سهلة توصله إلى السطح يتفجر ينباع حارة من الماء أو من الماء مع البخار أو من البخار. أما حين تعترض سبيله طبقات صخرية كثيفة أو قليلة النفوذية فإنه يحتجز ضمن صخور خازنة.



الشكل (5-2): يمثل رسم تخطيطي لدوران الماء في نظام حراري أرضي.

وقد اعتقد عدد من العلماء في الماضي أن مياه الأنظمة الحرارية الأرضية تعود في أصلها إلى النشاطات النارية في الأعماق. إلا أن الدراسات الحديثة باستخدام نظائر الهيدروجين والأوكسجين فيها، أظهرت أن ما لا يقل عن 95% من هذه المياه مستمد من الغلاف الجوي.

بدأت إيطالية، منذ عام 1904 باستغلال البخار الطبيعي المتفجر في حقل لاردريلو Larderello. ومنذ ذلك الوقت أصبحت الطاقة الحرارية الأرضية موضع اهتمام، واستفادة في كثير من بلدان العالم مثل اليابان وآيسلندا ونيوزيلندا والولايات المتحدة الأمريكية، وأصبحت تُستغل بوصفها طاقة بديلة لتوليد الكهرباء والتدفئة المنزلية وغيرها. وتتوسع استخدامات الطاقة الحرارية الأرضية بإطراد مع تطور تقانة المبادلات الحرارية. ومع أن الطاقة الحرارية الأرضية أقل كلفة من أي مصدر آخر للطاقة، إلا أنها قابلة للاستفادة، وقد تنشأ مشكلات بيئية أيضاً.

5-5-1 استخدامات الطاقة الحرارية الأرضية:

لمحة تاريخية:

تُعد الطاقة الحرارية الأرضية، مصدراً طبيعياً، ونظيفاً، ومتجدداً، وهي مختزنة في باطن الأرض بكميات هائلة . يُستفاد من هذه الطاقة الحرارية بشكل أساسي في توليد الكهرباء، مما يتطلب حفر آبار كثيرة، وإلى أعماق سحيقة، قد تصل إلى 5 كم. وفي بعض الأحيان تُستخدم المياه الساخنة للتدفئة، عندما تكون الحرارة قريبة من سطح الأرض، وقد نجدها على عمق 150 م على شكل ينابيع حارة تصل إلى سطح الأرض، يمكن أن تكفي تلك الطاقة الطبيعية المتجددة حاجة العالم من الطاقة لمدة 100,000 سنة قادمة، إلا أن تحويلها إلى طاقة كهربائية هي عملية باهظة التكاليف، بسبب عمليات الحفر إلى أعماق سحيقة والحاجة إلى أنابيب كثيرة أيضاً لاستخراج المياه الساخنة بكميات وفيرة، على الرغم من أن الطاقة الأساسية مجانية، وهي متوفرة بكثرة، لكن صعب الحصول عليها..

تُعد الطاقة الحرارية الأرضية من مصادر الطاقة المتجددة، التي استخدمها الإنسان منذ فترة طويلة. وقد استخدم الهنود الحمر الينابيع الساخنة لطهي طعامهم منذ أكثر من 10,000 سنة، وقد استخدمها الرومان أيضاً للاستشفاء، وكما لجأ السوريون إلى استخدام المياه المعدنية الساخنة من نبع الحمة، الواقع على مفترق الحدود السورية الفلسطينية الأردنية وذلك في علاج بعض الأمراض المستعصية.

بدأت الاستخدامات العلمية المدروسة لهذه الطاقة الجديدة، المتجددة مع مطلع القرن العشرين في إيطاليا، ونيوزيلندا، والاتحاد السوفياتي، وأمريكا، حيث قامت ببناء العديد من المحطات البخارية لإنتاج الكهرباء من المياه الجوفية الحارة. وقد انعقد المؤتمر الدولي الأول في جينيف بهدف إقامة العديد من المشاريع المتعلقة بعلوم الجيوترميك.

5-5-2- استخدام الطاقة الحرارية الجوفية على المستوى العالمي:

تُستخدم الطاقة الحرارية على الأغلب في المناطق التي تكون فيها طبقة الماغما الحارة قريبة من سطح الأرض، حيث تكون الطبقات العلوية باردة وقليلة السماكة. ومن هنا فقد وجد أن أضخم منابع الطاقة الجوفية تتواجد على تخوم الطبقات التكتونية المتحركة (على طول جبال الألب-هيمالايا- مثلاً...)، حيث تكمن الاضطرابات الجيولوجية -براكين-زلازل، التي استجرت بدورها طبقة الماغما الحارة إلى طبقات قريبة من سطح الكرة الأرضية، حيث تسخن المياه الجوفية طبيعياً حتى درجة حرارة عالية، فتظهر على السطح على شكل مياه حارة جداً، أو بخار، وقد يكون الماء واقعاً تحت ضغط كافٍ، فيندفع نحو سطح القشرة الأرضية دون عملية الضخ، كما هو الحال في الينابيع الحارة، الموجودة، أو كما هو الحال في بعض الآبار، التي تم حفرها في البادية السورية، بغرض الحصول على المياه، لعملية الري فنتجت مياه ساخنة، واندفعت بضغط عالٍ، دون اللجوء إلى عملية الضخ. أما في حال عدم كفاية الضغط فلا بد عندها إلى اتخاذ إجراءات الضخ.

تجدر الإشارة إلى أن 80% من سطح الأرض يتموضع تحته صخور حارة حافة، وهذا ما شجع الباحثون إلى القيام بالدراسات العلمية لاستثمار هذه الطاقة الهائلة، المرتبطة بدورها بمساحة الحوض، وعمقه، كما هو الحال في المثالين التاليين:

-الحوض البلغاري: يستحوذ هذا الحوض على ما يزيد عن 92% من الأرض البلغارية، ويصله عمقه إلى 1 Km. وهذا ما جعل بلغاريا تتبوأ طليعة الدول المستثمرة للطاقة الحرارية الجوفية في مجالات التدفئة للبيوت الزجاجية، والشقق السكنية، وبما ينوف على 400,000 طابق، وهذا ما يوفر عليهم قرابة 800,000 طن من النفط.

-الحوض الباريسي: وهو حوض معاصر، ويمتد حتى حوالي 100 Km حول مدينة باريس، ويحتوي على العديد من الأحواض الجوفية، على أعماق ودرجات حرارة مختلفة، حيث تبلغ أعماق الأحواض المستثمرة ما بين (2-1.5 Km)، وتتراوح درجة حرارة الماء ($55-70^{\circ}\text{C}$)، وهذا يشير إلى أن التدرج الحراري الأرضي يعادل (35°C/Km). ومما ساعد فرنسا على استثمار هذه الأحواض وجود سببين: أولهما نقصان النفط، والفحم الحجري، وثانيهما القيام بحفر عدة آبار بحثاً عن المواد الهيدروكربونية. مما جعل فكرة استخدام الطاقة الحرارية الجوفية فكرة اقتصادية، ومنافسة جيدة لتكاليف استثمار المشاريع النفطية المعاصرة.

كما أن استعمال المياه الحارة الجوفية للاستخدامات المنزلية، أو كوسيلة للتدفئة من خلال تمريرها عبر مشعات مركبة داخل الأبنية والبيوت الزجاجية، قد أثبت جدواه الاقتصادية.

كما يمكن استخدام المياه الجوفية ذاتها كسائل للمبادل الحراري، أو استخدام السائل ثانية، بطريقة الحقن، التي تحتاج بدورها لحفرتين متباعدتين بما لا يقل عن 1Km، وذلك لكي تعود درجة حرارة السائل إلى درجة الحرارة الأرضية، مما يطيل أمد المنبع الحراري. ويمكن إعادة حقن السائل الحراري إلى الأرض من 2-4 مرات قبل أن يحصل هبوط ملحوظ في درجة الحرارة.

5-5-3- تصنيف الحقول الحرارية الجوفية:

إن دراسة التركيب الداخلي للأرض يقودنا إلى تصنيف الحقول الجوفية أو الخزانات الحرارية الأرضية إلى أربعة أنواع:

5-5-3-1- **مكامن الحرارة العالية:** وهي تلك الحقول التي تصل فيها المياه إلى حرارة عالية، وعلى أعماق منخفضة نسبياً (ارتفاع درجة الحرارة أكثر من 30°C/Km ؛ ومن ضمن هذه الحقول التي تعطي بخاراً جافاً (درجة حرارة تزيد عن 150°C). وهذه المكامن مؤهلة لتدوير المحركات التوربينية قليلة المردود بشكل مباشر (دون معالجات إضافية).

5-5-3-2- المكامن الجوفية المضغوطة: وهي عبارة عن أحواض جوفية عميقة، ذات ضغوط عالية، ودرجات حرارة مرتفعة، حيث تصل درجة الحرارة إلى 150°C - 180°C . وهنا قد ينحل غاز الميثان (غاز المناجم) في الماء، وبالتالي نحصل على نوعين من الطاقة (طاقة المياه+طاقة الميثان)؛ وهذا النوع من المكامن ذات الإنتاجية العالية، والتي تصل إلى آلاف الأمتار المكعبة يومياً. ويتوفر هذا النوع في القطر العربي السوري في العديد من الينابيع الحارة (الحمة، آبار البادية).

5-5-3-3- المكامن متدرجة الحرارة (المكامن الناقلة): حيث تمتاز بتدرج الحرارة بشكلٍ نظامي، متناقص باتجاه سطح الأرض، وذلك في المناطق التي تتوفر فيها صخور ناقلة. وهذه الأحواض الأكثر شيوعاً في العالم، وعليها تنطبق قاعدة ازدياد درجة الحرارة حوالي 30°C كلما نزلنا بعمق 1000m، واستخدام هذه النوع من الأحواض مكلف أكثر من غيره، بسبب حفر الآبار، والحاجة لتقنيات عالية الجودة، وباهظة التكاليف.

5-5-3-4- مكامن الصخور الجافة الحارة: وتتضمن تلك القواعد الصخرية العميقة دون مياه جوفية، والتي تترافق مع البراكين الفعالة، ولا تكون منصهرة، ولكن ذات حرارة، تصل إلى 650°C ، ويمكن تصنيف طبقة الماغما البازلتية، المنصهرة جزئياً (درجة حرارتها أعلى من 650°C) ضمن هذا النوع من المكامن.

يواجه استخدام هذا النوع من المكامن صعوبات تقنية عديدة، ولذا لا يتوقع استعمالها لتوليد الكهرباء في الوقت الراهن. مما يستوجب إجراء المزيد من الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية (شواذ الجاذبية والمغناطيسية والكهربائية).

5-5-4- إيجابيات هذه الطاقة:

يعتبر مصدر الطاقة الحرارية محط أنظار الكثير من الدول المتقدمة، ويترتب عليها وضع خطط، وبناء آمال مستقبلية، كبيرة.

ومن أهم إيجابيات هذه الطاقة:

-كونها طاقة متجددة، فهي من مصادر الطاقة، التي لا تنفد على الأقل للأجيال القادمة.

-كونها طاقة نظيفة، غير مضرّة بالبيئة، ولا تسبب أي تلوث سواء في استخراجها، أو في تحويلها، أو استعمالها.

-كونها متوفرة بكميات كبيرة جداً، وفي مساحات شاسعة ولأغلب بلدان العالم.

-كونها قليلة التكاليف، وبخاصة بعد التكاليف الأولية لإنتاج المحطة (والتي يمكن أن تكون باهظة).

-ذات مردود عالٍ للطاقة المستخرجة.

5-5-5-سليبيات ومعوقات:

رغم كل ميزات الطاقة الحرارية الأرضية، والتي جعلتها في طليعة مصادر الطاقة البديلة المستقبلية، إلا أن هناك بعض العوامل، التي تعرقل انتشارها على الأقل في وقتنا الحالي. ومن أهم هذه الأسباب ارتفاع تكلفة إقامة محطات توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية. ويرجع السبب في ذلك إلى صعوبة حفر آبار بأعماق سحيقة قد تصل إلى عمق 5 كيلومترات، ووسط درجات حرارة مرتفعة، وبأعداد كبيرة تتيح إنشاء محطة قوى متوسطة القدرة.

5-5-6- تأثير هذه الطاقة على البيئة:

تحتوي السوائل المستخرجة من باطن الأرض على خليط غازات، منها ثاني أكسيد الكربون، وسلفيد الكبريت (H_2S)، والميثان والأمونيا. وتشارك تلك الغازات في مشكلة الانحباس الحراري، والمطر الحمضي. وتبلغ مقدار ما ينطلق من محطات الحرارة الأرضية من غاز ثاني أكسيد الكربون نحو 122 كيلوجرام لكل 1 ميغاوات ساعي من الكهرباء، وهي نسبة صغيرة بالمقارنة بما تنتجه محطات الوقود الأحفوري.

لهذا تزود محطات القوى التي تتسم بإصدار كميات كبيرة من تلك الغازات التي تسبب المطر الحمضي بوحدات معينة لضبط وفصل تلك الغازات، لخفض تأثيراتها السلبية على البيئة.

وبالإضافة إلى الغازات الدائبة فقد يحتوي الماء الساخن المستخرج من أعماق الأرض على أملاح دائبة، ومواد سامة مثل الزئبق والزرنيخ واليورانيوم.... إلخ

وتترسب تلك الكيماويات عند تبريد الماء، وقد تتسبب في أضرار بالبيئة إذا أطلقت على الأرض. وتعمل سياسة إعادة استخدام الماء الساخن المستخرج، وضخه إلى أعماق الأرض ثانياً من العوامل التي تقلل من التأثير السيئ على البيئة عند استغلال تلك الطاقة.



الفصل السادس

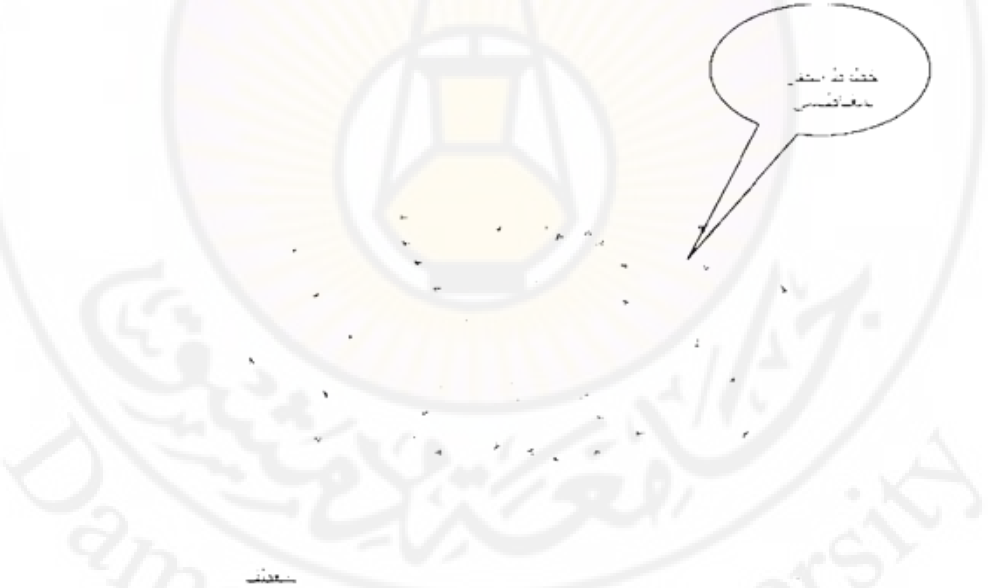
الحقل الكهربائي الأرضي

6-1- مقدمة

يستدعي فهم تطورات الحقل الكهربائي الأرضي معرفة امتداد الحقل المغنطيسي في الفضاء، والعلاقة بين هذا الحقل والرياح الشمسية والحقل الكهربائي الأرضي، كما يجب معرفة المؤثرات والتغيرات التي تطرأ على هذا الحقل لأن أي تغير في هذا الحقل يؤدي لتحريض تيار كهربائي في الأرض.

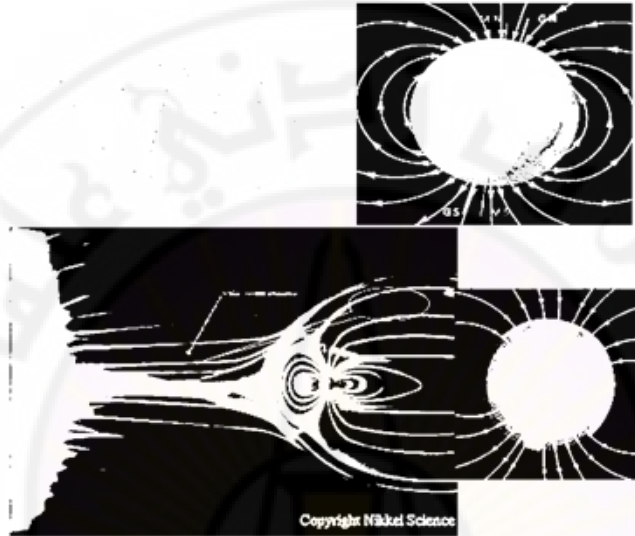
6-2- علاقة الحقل الكهربائي بالحقل المغنطيسي الأرضي

الفكرة القديمة التي كانت سائدة عن امتداد الحقل المغنطيسي في الفضاء يمثلها الشكل الآتي (6-1)، حيث شاقولية المحور المغنطيسي والمستوي الاستوائي المغنطيسي عمودي عليه، وخطوط الحقل المغنطيسي حرة الامتداد.



الشكل (6-1): التصور القديم عن الحقل المغنطيسي الأرضي.

أما الحقيقة والفكرة الحالية عن امتداد الحقل المغنطيسي في الفضاء يمثلها الشكل (2-6) حيث الأرض محاطة بغلاف مغنطيسي ومعرضة لسيل هائل من الجزيئات شديدة التأين، وهي عبارة عن بلازما الرياح الشمسية.



الشكل (2-6): امتداد الحقل المغنطيسي في الفضاء (التصور الحالي).

إن الحقل المغنطيسي يتحكم بالبلازما ويجبرها على الدوران معه ضمن الغلاف المغنطيسي. بينما لا تتأثر البلازما بالحقل، ولا تدور مع الأرض خارج الغلاف المغنطيسي. ويأخذ الغلاف المغنطيسي الشكل الآتي نتيجة التناثر بين بلازما الرياح الشمسية والحقل المغنطيسي الأرضي وهذا يؤدي إلى انضغاط جانب الغلاف المقابل للشمس واستطالة الغلاف على شكل ذيل يمر خلف الأرض، وانحراف البلازما حول الغلاف المغنطيسي. تبعد حدود الغلاف المغنطيسي الواقعة بين الشمس والأرض 60-70 ألف كم في الأيام الهادئة مغنطيسياً بينما يقترب من الأرض في فترة العواصف الشمسية ويغلق ذيل الغلاف على بعد 300-360 ألف كيلومتر.

الشكل (3-6): الحقل المغنطيسي الأرضي وتأثير بلازما الرياح الشمسية.

3-6- الغلاف الجوي للأرض والظواهر غير العادية

الغلاف الجوي للأرض مقسم إلى خمس طبقات الشكل (4-6) والشكل (5-6)، يكون أكثر سماكة قرب السطح، ويخف بالارتفاع حتى يندمج في النهاية بالفضاء الخارجي. والطبقات وهي:

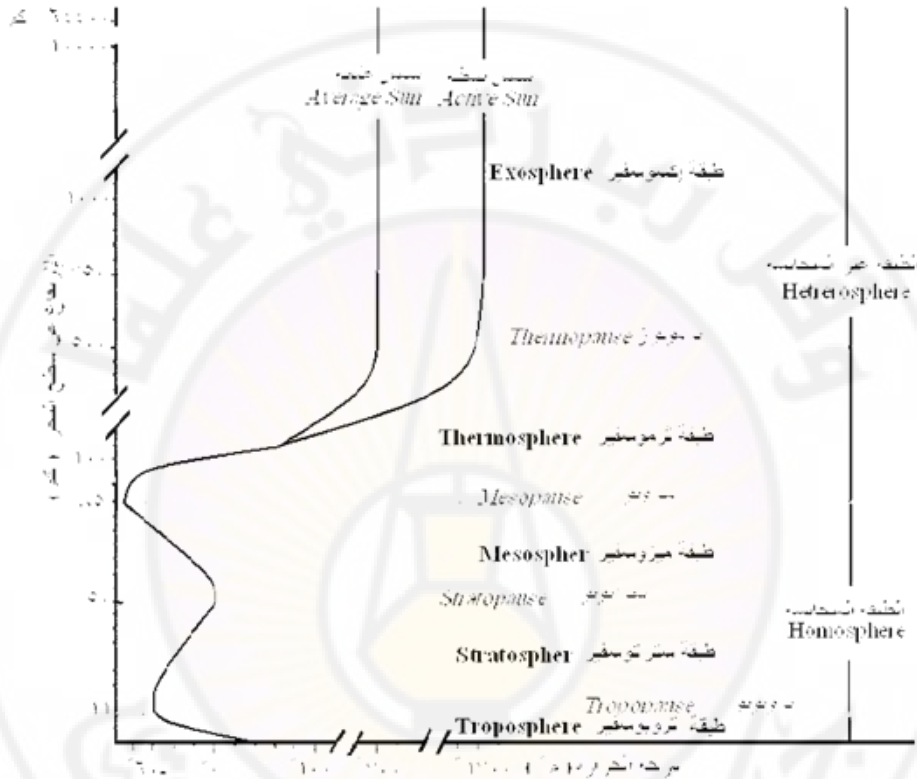
(1) طبقة تروبوسفير Troposphere: هي الطبقة الأولى فوق سطح الأرض، وتحتوي نصف جو الأرض، وفيها يحدث الطقس.

(2) طبقة ستراتوسفير Stratosphere: هذه الطبقة مستقرة جداً، لذا تستخدمها الطائرات في الطيران خلالها، وتحتوي أيضاً طبقة الأوزون التي تمنع الأشعة الضارة القادمة من الشمس.

(3) طبقة ميزوسفير: وفي هذه الطبقة يتم تدمير الشهب وأجزاء من النيازك التي تتساقط على الأرض.

(4) طبقة ثيرموسفير Thermosphere: هذه الطبقة التي نتج عنها ظاهرة الشفق القطبي، وهو أيضاً مكان المكوك الفضائي، والرحلات الفضائية التي تدور حول الأرض.

(5) طبقة إكسوسفير Exosphere: هي الطبقة الأخيرة في الغلاف الجوي وهي أرق وأنحف طبقة حيث يندمج الغلاف الجوي بالفضاء الخارجي.



الشكل (4-6): يبين طبقات الجو المختلفة.

1- طبقة تروبوسفير

هي الطبقة الأولى للغلاف الجوي للأرض، فيها الهواء مختلط بشكل جيد جداً ودرجة الحرارة تنقص بالارتفاع، الهواء في تروبوسفير يسخن بسرعة من ملامسته للأرض، وتنتشر الحرارة عبر تروبوسفير لأن الهواء غير مستقر قليلاً، يتشكل الطقس في تلك الطبقة، الغلاف الجوي يمكن أن يكون مستقراً أو غير مستقر، فإذا كان غير مستقر تتكون الغيوم، وإذا زاد عدم استقراره تزيد حدة عدم استقرار الطقس، تتشكل الغيوم والعواصف عندما تتحرك كتل الهواء للأعلى وتبرد، التكتلات الهوائية لا ترتفع أو

تتحرك مالم يبدأ تأثير جوي في تحريكها، لهذا يبدو الهواء غير مستقر، لكنه ما زال يبدو صافياً، فليس هناك آلية رفع لحمل الهواء على التحرك.

التروبوسفير Troposphere وتدعى طبقة الأعاصير: سماكتها بحدود 11 كم وهو حد فاصل بين طبقتين، 16 كم فوق سطح البحر بالقرب من خط الاستواء و 8 كم في المناطق القطبية.

- كما تسمى طبقة الحياة (وجود غازات O_2, N_2, CO_2) وجود كميات كبيرة من الغبار من المواد الفلزية والعضوية، وتشكل جزيئات لتكاثف بخار الماء والغيوم والضباب والصقيع.

2- طبقة الستراتوسفير Stratosphere :

طبقة الستراتوسفير تقع فوق طبقة تروبوسفير، في هذه الطبقة تزداد درجة الحرارة بالارتفاع، بسبب الأوزون الموجود فيها، يتركز الأوزون حول ارتفاع 25 كيلومتراً، وتمتص جزيئاته أنواع خطيرة من الإشعاع الشمسي التي تعمل على تسخين الهواء حولها. تغلف طبقة الأعاصير ارتفاعها بين 11-50 كم. الهواء على شكل طبقات حركته أفقية (نيتروجين وغازات خفيفة). وعلى ارتفاع 25 كم تبدأ درجة الحرارة بالتزايد بشكل نظامي لتصل إلى 10 درجات مئوية.

3-طبقة الميزوسفير Mesosphere:

طبقة الميزوسفير تعلو طبقة الستراتوسفير، وفيها يختلط الهواء نسبياً وتتناقص درجات الحرارة بالارتفاع، وتصل درجة حرارته الأبرد حوالي -90°، وهي الطبقة التي فيها تدمر الكثير من الشهب والنيازك التي تدخل جو الأرض، يمكن أن نرى تلك الطبقة إذا نظرنا إلى حافة الكوكب عند الأفق .

- تصل حتى 80 كم ، ينتهي ارتفاع درجة الحرارة عند 50-55 كم ، تهبط درجة الحرارة حتى - 76 درجة مئوية عند 80 كم ارتفاعاً.

طبقة الاوزون Ozone layer : (O_3)

توجد بين الستراتوسفير والميزوسفير، في الأجزاء الدنيا من الميزوسفير والعليا من الستراتوسفير، على ارتفاع بين 15-55 كم، لها أهمية في توزيع الحرارة. ذو امتصاصية جيدة للأشعة فوق البنفسجية القاتلة والقادمة من الشمس. كثافتها أقل من جزيء واحد بين أربعة ملايين من الجزيئات الأخرى. تركيز قليل ومرشح ضوئي فعال، لو ضغطنا هذه الذرات ضمن شروط نظامية لشكل طبقة سماكتها أقل من 2.5 سم.

4- طبقة ثيرموسفير Thermosphere :

هي الطبقة الرابعة من طبقات الغلاف الجوي للأرض، وتقع أعلى طبقة ميزوسفير، والهواء هنا رقيق جداً، مجرد تغير في الطاقة يمكن أن يسبب تغييراً كبيراً في درجات الحرارة. لهذا درجة الحرارة حساسة جداً للنشاط الشمسي، فعندما تكون الشمس نشطة يمكن أن تسخن هذه الطبقة إلى 1500 ° أو أعلى من ذلك. تتضمن ثيرموسفير منطقة من الغلاف الجوي التي تسمى أيونوسفير. الأيونوسفير هي منطقة من الغلاف الجوي تكون مملوءة بالجزيئات المشحونة، ودرجات الحرارة العالية في ثيرموسفير يمكن أن تسبب تأين الجزيئات، وهذا سبب تداخل الأيونوسفير والثيرموسفير.

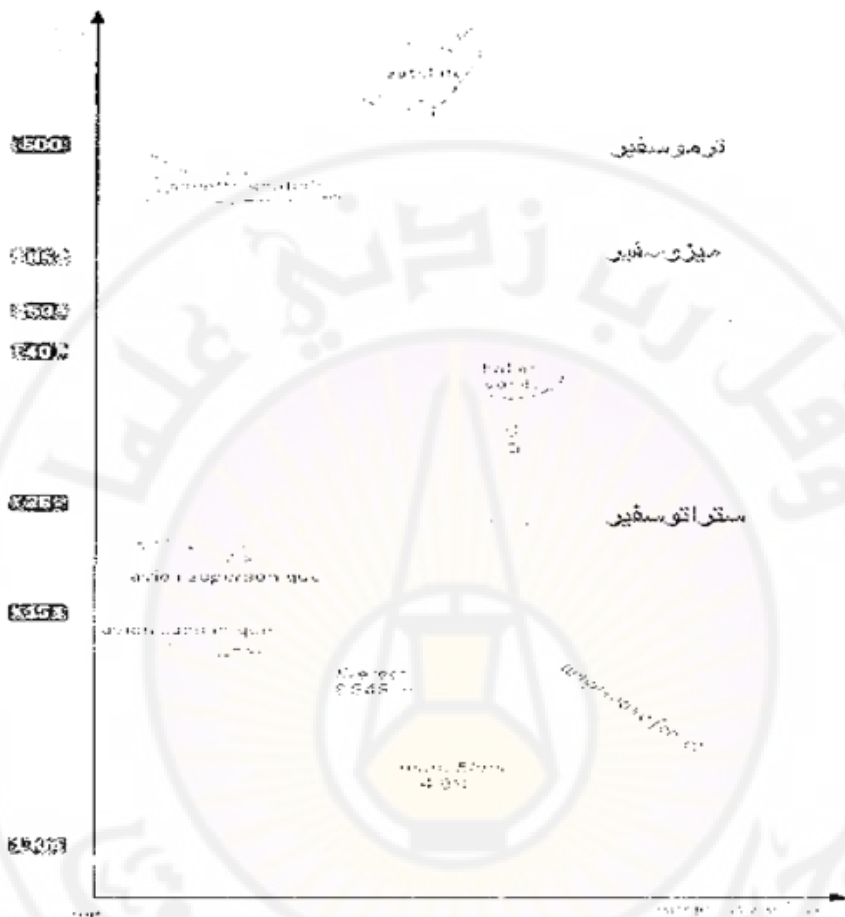
الثيرموسفير غازات متأينة أي مشحونة كهربائياً بفعل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية. بذلك يؤدي دور مرآة عاكسة للأمواج اللاسلكية.

حدد العلماء أربع طبقات ثانوية: 1-D ارتفاعها 70 كم 2-E ارتفاعها 100 كم

3-F₁ ارتفاعها 200 كم 4-F₂ ارتفاعها 300 كم

- ليلاً تختفي الطبقة 1 وتضعف الطبقة 2 وتندمج الطبقتان 3 و 4، تتميز هذه الطبقة بأن درجة الحرارة فيها تزداد بازدياد الارتفاع، وقد تصل إلى 1000 درجة. السبب هو الأشعة فوق البنفسجية.

تحترق في هذه الطبقة معظم الشهب التي تهوي إلى سطح الأرض.



الشكل (5-6): يبين طبقات الجو واستخداماتها.

الطبقة الأيونية **Ionosphere**: إن ارتفاع كثافة الأيونات في هذه الطبقة تجعلها ناقلاً كهربائياً أفضل من الأجزاء الخارجية للغلاف المغنطيسي كما في الشكل (6-6).



الشكل (6-6): الطبقة المتأينة وتشكل الحقل الكهريائي الأرضي.

5- طبقة اكسوسفير Exosphere :

أعلى طبقة من الغلاف الجوي، وتلي طبقة ثيرموسفير، وعندها يصبح الغلاف الجوي رقيقاً جداً حيث تهرب الذرات والجزيئات إلى الفضاء، فوق 800 كم، ندرة الهواء والجسيمات الغازية فيها، سرعة الهواء هائلة، تحتاج إلى دراسات أكثر.

6-3-1- أحزمة الإشعاع والغلاف المتأين للأرض :

اللهب الشمسي: وهي اندفاعات عنيفة، وتصدر بلازما سريعة جداً وتؤدي إلى زيادة في الأشعة فوق البنفسجية وإلى تعزيز التأين في الغلاف المتأين ويؤدي إلى ازدياد التيارات الكهربائية في الغلاف المتأين وازدياد مفاجئ في التسجيلات المغناطيسية. سرعة بلازما العواصف الشمسية 2000 كم/ ثا أسرع من بلازما الرياح الشمسية كما في الشكل (6-7).



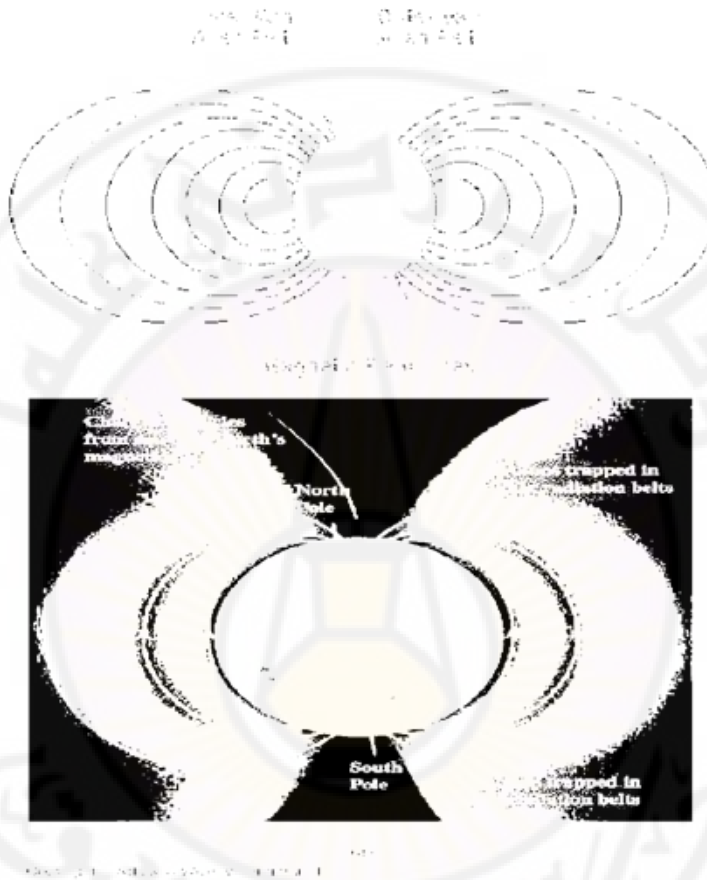
الشكل (6-7): الرياح الشمسية وتأثيرها على الحقل المغناطيسي الأرضي.

هذه الأحزمة هي جزء من الغلاف الغازي للأرض- إلكترونات وبروتونات عالية الطاقة أغلبها من الهيدروجين وحجزت بواسطة الحقل المغناطيسي الأرضي ضمن الغلاف المغناطيسي .

إلا أنها تتركز في حزامين، وتتحرك ضمنهما جيئةً وذهاباً من نصف الكرة إلى النصف الآخر، وتبقى ضمن خطوط القوة المغناطيسية التي تحصر الحزام. مدة حياة الجزيئات تمتد إلى شهور أو سنوات أثناء الهدوء.

وعند وصول الجسيمات المشحونة إلى الأرض فإنها تقع في أسر المجال المغناطيسي، فتبدأ بالتردد بحركة لولبية الشكل بين نقطتين قريبتين من القطبين المغناطيسيين عند خط عرض 70-75 درجة شمالاً وجنوباً، بسرعة كبيرة تتراوح بين (0.1-3.0) كم في ثانية، بحيث تتدفق الإلكترونات شرقاً والبروتونات غرباً حول الأرض، مشكلة أحزمة ذات مقطع هاللي تدعى أحزمة فان ألن الإشعاعية نسبة إلى الفيزيائي جيمس فان ألن (James Van Allen)، الذي كان أول من تنبأ بحساباته بشكل هذه الأحزمة، بعد النتائج التي جاءت بها مركبتا الفضاء (Explorer 1&3 سنة 1958). وهما حزامان، الأول صغير نسبياً وقريب، إذ يبعد ثلاثة آلاف كم فقط عن سطح الأرض، ويتكون بشكل رئيسي من

بروتونات ذات طاقات عالية، والثاني أبعد وأكبر (على بعد 20000 كم) ويتكون بشكل رئيسي من إلكترونات وبروتونات ذات طاقات منخفضة، كما في الشكل (6-8).

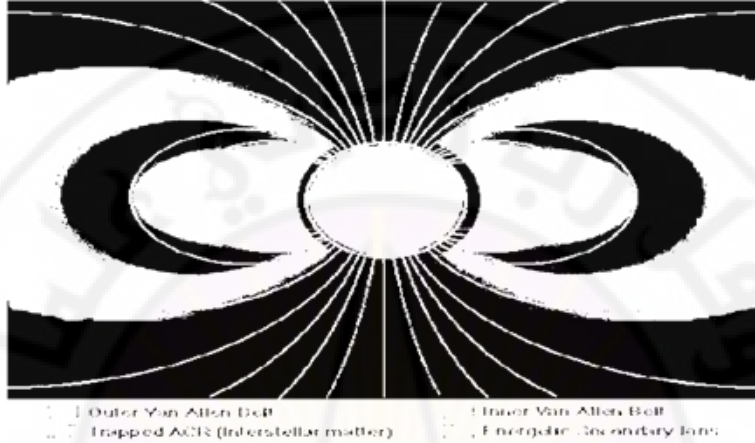


الأشكال (6-8): تبيين أحزمة فان آلن.

أحزمة الإشعاع والغلاف المتأين للأرض (أحزمة فان آلن - فيرنوف):

يبدأ الحزام الأول على ارتفاع حوالي 500 كم فوق النصف الغربي للكرة الأرضية وعلى ارتفاع 1500 كم فوق نصفها الشرقي. وأكبر تركيز للجسيمات في هذا الحزام هي في نواته، موجود على ارتفاع 2-3 آلاف كم، ويصل الحد العلوي لهذا الحزام إلى ارتفاع 3-4 آلاف كم فوق سطح الأرض، أما حزام الجسيمات الثاني فيمتد من 10-11 وحتى 40-60 ألف كيلو متر، مع تركيز أعظمي للجسيمات على ارتفاع 20 ألف كيلو متر، كما في الشكل (6-9).

و يبدأ الحزام الخارجي على ارتفاع 60-75 ألف كم. إن رسم الحدود الخارجية لهذه الأحزمة لايزال حتى الآن تقريباً وعلى ما يبدو فإن هذه الحدود تتغير ضمن مجال ما دورياً.



الشكل (6-9): أحزمة فان آلن وخطوط الحقل المغناطيسي الأرضي

6-3-2- الشفق القطبي:

يعتقد أن الشفق القطبي ناتج عن دخول الجزيئات المشحونة إلى أحزمة الإشعاع (فان آلن) ثم إلى الغلاف المتأين وعندما تصادف هذه الجزيئات الهواء الكثيف تتباطأ بالتدريج نتيجة الاصطدام بالجزيئات المحايدة حتى تمتص أخيراً، كما في الشكل (6-10). أثناء ذلك ينتقل جزء من طاقتها إلى الجزيئات المحايدة فيؤدي هذا إلى تهيج الإلكترونات إلى مستويات طاقة عالية، بحيث تطلق إشعاعاً عند عودتها إلى مستويات الطاقة الأصلية.

تنصب الإلكترونات والبروتونات أثناء ظهور الشفق القطبي في منطقة واسعة من الغلاف المتأين. تتراوح شحنات الإلكترونات المنصبة عدة عشرات إلى مئات من الكيلو إلكترون فولط. خط عرض مغناطيسي الشفق القطبي من 60-70 درجة إلى خط عرض مغناطيسي 30 درجة.

إن دراسة الشقوق القطبية على الأرض والكواكب الأخرى تساعد في دراسة بنية الحقل المغنطيسي للأرض وللکواكب، وتساعد كذلك بدراسة التركيب الكيميائي لجوها العلوي وآلية تسخينه، وانتقال الحرارة إلى الطبقات الدنيا، حيث يتشكل الطقس، الذي يعدّ التنبؤ الدقيق به مهمة على جانب كبير من الأهمية الاقتصادية.

وإن دراسة الشقوق القطبية على الأرض وعلى الكواكب الأخرى تعمق معارفنا في مجال الجيوفيزياء والفيزياء الفلكية وفيزياء البلازما والفيزياء الكونية، (بوغارتس).



الشكل (6-10): صورة للشقوق القطبي الأرضي

6-3-3-الهالات والتيجان وقوس قزح:

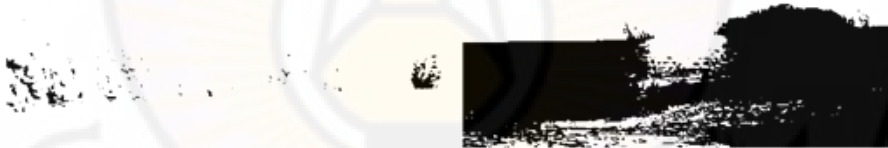
أحيانا تشاهد في السماء دائرة صفراء ضاربة للحمرة ساطعة من حول الشمس نهارا ومن حول القمر ليلاً. أما الدائرة الثانية التي تحيط بالأولى بقطر مضاعف فتندر رؤيتها أكثر. وفي الجزء العلوي من الدائرتين يتكون قوسان ساطعان يعرفان باسم قوسي التماس، بنهايات تتجه نحو الأعلى. وبالقرب من الدائرة الصغرى عن يمين النجم ويساره وعلى نفس علوه، فوق الأفق تظهر بقع ساطعة. وتبلغ في النهار درجة من السطوع يخيل إليك فيها أن ثمة ثلاث شمس في السماء. وهذا ما يعرف بعلم البصريّات بـ "الشمس المزيفة" كما في الشكل (6-11) أو "الأقمار المزيفة" كما في الشكل (6-12).

في بعض الأحيان يظهر في الطقس البارد لدى شروق الشمس أو غروبها عمود مشرق ساطع بشكل شاقولي. إذا ما لوحظت كل المعالم الأنفة الذكر دفعة واحدة، الدائرتان "

الشمس الكاذبة " والأقواس، فتشكل لوحة جميلة. ويطلق على هذه الظاهرة ككل أو على أجزائها وبخاصة الدوائر حول الشمس والقمر، اسم الهالة.

ويعود ظهور الهالة في السماء إلى انكسار أشعة الضوء في البلورات الجليدية، وبشكل خاص تلك التي تشكل الغيوم الريشية- المطبقة الجليدية العالية. وفي أغلب الأحيان تشاهد الهالة على شكل دائرة مشرقة بنصف قطر زاو 22 درجة، ترتسم من حول قرص الشمس أو القمر.

يُعدُّ قوس قزح من أكثر الظواهر البصرية الجوية شهرة وانتشاراً في الطبيعة. ويشاهد من تلك الجهة من الأفق المعاكسة للشمس على خلفية الغيوم. التي يهطل منها المطر، حين تنير أشعة الشمس ستارة المطر. وترتيب ألوان قوس قزح نفس ترتيب الطيف الشمسي.



الشكل (6-11):الهالات حول الشمس والشموس المزيفة.

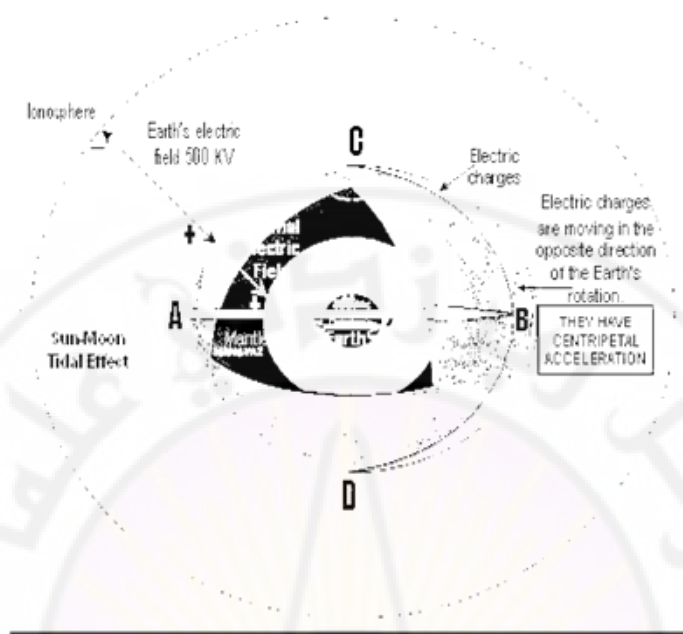


الشكل (6-12):الهالات حول القمر والقمر المزيف.

6-4- التيارات الكهربائية الأرضية:

6-4-1- علم الهيدروديناميكا المغناطيسية (Magneto-hydrodynamics):

الأهمية العملية للهيدروديناميكا المغناطيسية حالياً أنها تؤدي دوراً رئيسياً في الجهود القائمة من أجل التوليف والتحكم في الطاقة الهيدروجينية بغرض إنتاج الطاقة الكهربائية في المستقبل. وهذه الطريقة تُغني عن استخدام المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة. تتناول تطبيقات هذا العلم فروعاً كثيرة، ففي الفلك يساعد على فهم ما يحدث داخل الشمس من نشاطات تؤدي إلى ظهور البقع الشمسية الدورية مثلاً، وكذلك ما يحدث داخل النجوم الأخرى خلال دورة حياتها، وفي الجيولوجية، يُسلط الضوء على المحرك الأرضي في اللب، وما ينجم عنه من خواص مغناطيسية وميكانيكية، ويبحث هذا العلم أيضاً في توليد الطاقة الكهربائية مباشرة من الغازات الحارة المندفعة المتأينة في المولدات generators التي تعتمد هذه الحركية المغناطيسية. كما يبحث في تتبع ما يحدث في الاندماج النووي، وذلك عند تسليط طاقة كهرومغناطيسية عالية جداً على حبابية من الديتريوم والتريتيوم في المختبر، لتقليد ما يحدث داخل الشمس، وفي المفاعلات النووية التي تستعمل معدن الصوديوم المصهور مبرداً فيه، وقد يكون أبرز تطبيقاته في دراسة البلازما عند محاولة حصرها في منطقة بعيدة عن جدران الحاوية بواسطة الحقول المغناطيسية، ليتسنى رفع درجة حرارتها وضغطها إلى قيم تقارب القيم المقابلة لها داخل النجوم.



الشكل (6-13): مخطط يبين شكل الحقل الكهربائي الأرضي.

6-4-2- التيارات الكهربائية المتحرضة في الأرض:

يمكن استنتاج الموصلية الكهربائية في المعطف العلوي من تقدير ما تسهم به التيارات المتحرضة في باطن الأرض بالاضطرابات المغناطيسية. إذ أنه يمكن الفصل رياضياً بين الاضطرابات المغناطيسية الناتجة عن أسباب داخلية وتلك الناتجة عن أسباب خارجية. مثل الرياح الشمسية التي تؤثر في تيارات الغلاف المتأين، وتقوم هذه بدورها بتحريض التيارات الأرضية كما في الشكل (6-13)، حسب الآلية التالية:

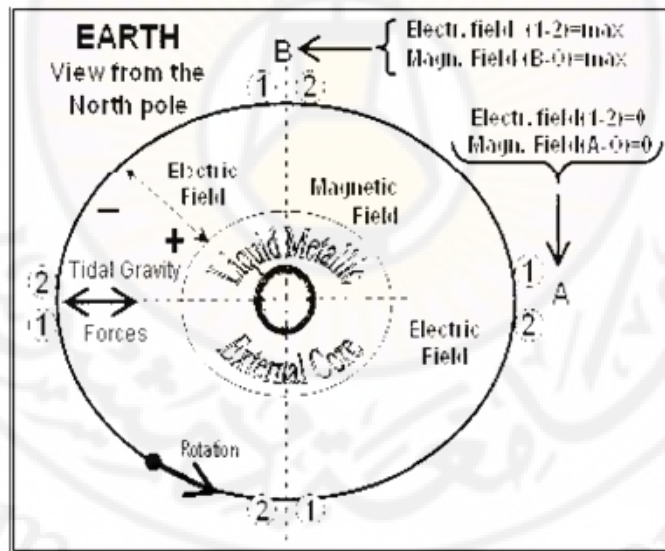
ينتج عن تيارات الغلاف المتأين حقل كهرومغناطيسي ينتشر في الفضاء بتخامد طفيف لمسافات كبيرة بين الغلاف المتأين وسطح الأرض، ويشبه بذلك موجة موجهة تنتشر بين صفيحتين ناقلتين متوازيتين وهذا يؤدي لتردد الموجة جيئةً وذهاباً بين الصفيحتين. نظراً إلى كبر المسافة بين الأرض والغلاف، يمكن اعتبار هذه الموجة مستوية ذات تردد متغير بين 10^{-5} هرتز والتردد المسموع (20-20000) هرتز. يمكن لهذا الحقل الكهرومغناطيسي اختراق سطح الأرض، وتوليد التيارات الأرضية (التلورية)، تكون شدة التيار

الكهربائي أكبر في النهار منها في الليل، وهي من مرتبة 10 mv/km ، وتكون الترددات أعلى، وأقل انتظاماً في النهار منها في الليل. يتراكب فوق هذا التيار تيارات متغيرة غير منتظمة تتغير شدتها مع الاضطرابات الكهربائية المفاجئة في الغلاف المتأين، وقد يبلغ تردد هذه التيارات المتغيرة 100 كيلو هرتز.

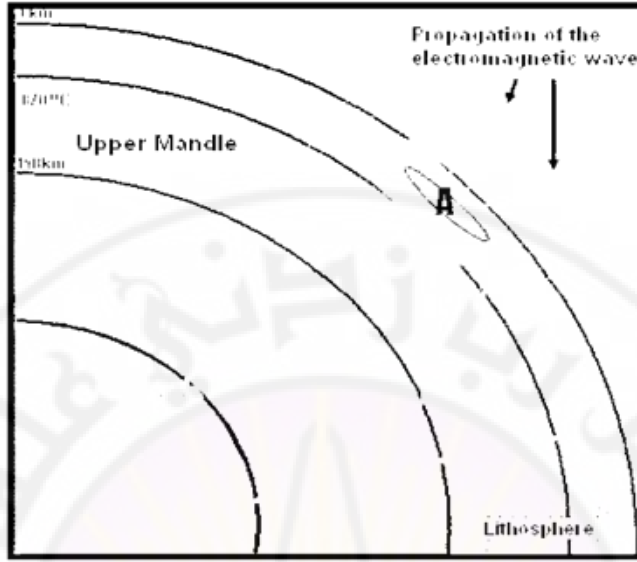
لقد أدى الاهتمام بتيارات الحمل والتكتونيك الصفحي إلى تجديد الاهتمام بتقدير الموصلية الكهربائية التي تكون ذات قيم عالية في المناطق عالية الحرارة وخاصة البقع الحارة في المعطف. لقد استُخدمت التغيرات المغنطيسية في حساب الموصلية الكهربائية. يمكن توضيح ذلك بالنظر إلى الشكل (6-14)، إذ يمكن اعتبار عدّ خطوط القوة لحقل اضطرابات أولي أفقية ومتوازية بغياب جسم موصل مثل الجسم الكروي المصمت في الشكل، وعند وجود جسم موصل تتعرض تيارات كهربائية دائرية في الجسم، ثم تدور هذه التيارات لتشكل حقلاً مغنطيسياً ثانوياً يعاكس الحقل الأولي الأفقي، وتنتشر خطوطه إلى ما وراء الجسم كما في خطوط الحقل الدائري. يصبح حقل الاضطرابات في أي نقطة هو الشعاع الناتج عن محصلة الحقلين الأولي، كما يبدو من الأسهم القصيرة على الخط الواقع في منتصف النصف الأعلى من الشكل.

لقد دلت الدراسات على أن موصلية المعطف العلوي أعلى فوق المحيط منها فوق القارة، وبذلك يمكن القول إن حرارة المعطف العلوي المحيطي أعلى من حرارة المعطف العلوي القاري.

الشكل (6-14): مبدأ تشكّل الحقل الكهربائي



الشكل (6-15 a): تصور كيفية تشكّل الحقل الكهربائي الأرضي



الشكل (6-15-b): تصور كيفية تشكل الحقل الكهربائي الأرضي.

6-5- آلية تشكل الحقل الكهربائي الأرضي:

6-5-1- النظرية الديناميكية:

على الرغم من أن موضوع المغنطيسية الأرضية لم تكشف جميع جوانبه بعد، فإن أكثر النظريات قبولاً في هذا المجال هي النظرية الديناميكية (Dynamo Theory)، وتعرف أيضاً بنظرية الكهربية المغنطيسية (Magnetic Field) التي جاء بها إلساسر و بولارد (Elsasser and Bullard) اللذان افترضا أن الديناميكية اللازمة لتوليد الجزء الأكبر من المجال المغناطيسي الأرضي (ما يقرب من ٩٤%) يوجد في النواة الخارجية للأرض، التي تتكون بصورة رئيسية من الحديد والنيكل مع كميات قليلة من العناصر الخفيفة كالكبريت والسيليكون وبعض العناصر المشعة، وتوجد مواد هذه المنطقة بشكل مائع وموصل للكهربائية.

وتفترض النظرية الديناميكية أن حركة دوران الأرض باتجاه عكس دوران عقرب الساعة مع وجود تيارات حمل حراري (Thermal Convection currents) في غلاف النواة الخارجية السائلة ووجود النواة الداخلية الصلبة للأرض تؤدي إلى توليد تيارات كهربية خفيفة كما في الشكل (6-15-a,b). ويؤدي التداخل بين التيارات الكهربية وحركة

تيارات الحمل الحراري في غلاف النواة الخارجية إلى توليد مجال مغنطيسي. وتتأثر حركة السوائل في منطقة غلاف النواة بحركة دوران الأرض وبالتالي تؤثر الأخيرة في المجال المغنطيسي للأرض، وتكسبه خاصية ثنائية الاستقطاب، إذ يلاحظ أن الأقطاب المغنطيس متقاربة مع بعضها أغلب الأوقات.

ومما تجدر الإشارة إليه أن نسبة ضئيلة من المجال الأرضي لا يعود مصدرها إلى باطن الأرض بل إلى حركة التيارات الكهربائية في منطقة الايونوسفير (Ionosphere) من الغلاف الجوي، حتى إن بعض العلماء ذهب إلى الاعتقاد إن حوالي (3%) من المجال المغنطيسي الأرضي لا يمكن احتسابه على نظرية الجهد. بل انه يعود إلى جريان تيارات كهربائية من الأرض إلى الغلاف الخارجي وبالعكس من خلال سطح الأرض. وهذه العملية تحتاج إلى تيارات كهربائية كثافتها (10^{-12} أمبير/سم³)، وهو ما لم تتم ملاحظته حتى الآن في التيارات الجوية.



الشكل (6-16): شكل الحقل الكهربائي الأرضي مأخوذ من سطح القمر.

دليل الأشكال والموضوعات

الفصل الأول	
الشكل (1-1)	المجرات الإهليلجية (البيضاوية)، تستمد اسمها من شكلها فهي كتل بيضاوية
الشكل (2-1)	مجرة حلزونية تقع ضمن تجمع مجري المسمى M 106 وتبعد عنا حوالي 25 مليون سنة
الشكل (3-1)	الشكل العام للمجرات الحلزونية
الشكل (4-1)	مجرة عدسية
الشكل (5-1)	المجرة القزمة DDO63 ويظهر الجزء الأزرق منطقة نجوم فتية والأحمر على نجوم قديمة
الشكل (6-1)	إلى اليمين مجرة غير منتظمة وإلى اليسار مجرة شاذة صغيرة يبلغ حجمها حوالي 21000 سنة ضوئية تبعد عنا حوالي 4.2 مليون سنة ضوئية.
الشكل (7-1)	صورة عامة تمثل درب التبانة
الشكل (8-1)	الأعلى صورة لدرب التبانة وأسفل الصورة جانبية
الشكل (9-1)	مخطط يبين أقسام مجرة درب التبانة
الشكل (10-1)	صورة لدرب التبانة يبين عليها موقع الشمس أعلى يمين الصورة
الشكل (11-1)	إلى اليمين مجرة شاذة صغيرة يبلغ حجمها حوالي 21000 سنة ضوئية تبعد عنا حوالي 4.2 مليون سنة ضوئية إلى الوسط مجرة أندورميديا وهي تبعد عن المجموعة الشمسية 2.5 مليون سنة ضوئية وإلى اليسار مجرة حلزونية تقع ضمن تجمع مجري المسمى M 106، وتبعد عنا حوالي 25 مليون سنة
الشكل (12-1)	إلى اليمين إحدى أبرز المجرات التي ترى واضحة في الليل ،

تبعد حوالي 7 ملايين سنة ضوئية في الوسط مجرة شاذة يبلغ حجمها حوالي 40000 سنة ضوئية وتبعد عنا حوالي 1800000 سنة ضوئية إلى اليسار المجرات الإهليلجية (البيضاوية) ،تستمد اسمها من شكلها، فهي كتل بيضاوية	
يبين تغير مدار الأرض حول الشمس	الشكل (13-1)
يبين مفهوم قياس الفرسخ الفلكي	الشكل (14-1)
النجوم الرئيسية في مجموعة الجبار حيث تظهر أسماؤها العلمية . إن النجم الساطع في الأعلى والأيسر هو إبط الجوزاء. أما النجم الساطع في الأسفل والأيمن هو نجم رجل الجبار	الشكل (15-1)
إذا نظرنا باتجاه كوكبة هرقل وراقبنا النجوم بالنسبة لبعضها البعض خلال السنين فسنكتشف بان هذه النجوم تبدو وكأنها تتباعد عن بعضها البعض. إن سبب ذلك في الواقع هو أن الشمس تتقدم بهذا الاتجاه . ولذلك يبدو الأمر وكأننا ندخل بين النجوم	الشكل (16-1)
تغير مواقع النجوم بالنسبة إلى بعضها البعض خلال فترات زمنية طويلة جداً. فمثلا يظهر الشكل في الأعلى كيف كانت كوكبة الدب الأكبر منذ حوالي 100000 سنة . وتظهر كوكبة الدب الأكبر في الوسط كما هي الآن. أما في الأسفل فنشاهد هذه الكوكبة كما ستكون بعد حوالي 100000 سنة من اليوم. إن سبب هذا التغير هو عدم وجود علاقة أصلا بين هذه النجوم. فكل منها يتحرك بسرعة مختلفة عن الآخر وباتجاه مختلف عن الآخر مقتربا أو مبتعدا عن الشمس. تظهر الصور أيضا تسمية النجوم في مجموعة الدب الأكبر حسب الأسماء الشائعة وحسب الأسماء العلمية. لاحظ أن جميع هذه الأسماء	الشكل (17-1)

الشائعة مشتقة من اللغة العربية.	
الشكل (18-1) إذا قمنا بتحليل الضوء الصادر عن مصباح كهربائي بواسطة مقياس الطيف فسنشاهد طيفا مستمرا يشمل على جميع أطوال الأمواج كما في الشكل العلوي. إذا قمنا بتحليل الضوء الصادر عن نوع خاص من المصابيح يحتوي على غاز الهيدروجين (غاز ساخن منخفض الكثافة) فسنشاهد خطوط الإصدار التي تصدرها ذرات الهيدروجين فقط. ولن تكون بقية أطوال الأمواج موجودة كما نشاهد في الشكل المتوسط. وأخيرا إذا كان غاز الهيدروجين موجودا بين المصباح المضيء العادي وبين المنظار فإن الغاز سيمتص أطوال أمواج معينة مؤديا إلى ظهور طيف الامتصاص كما في الأسفل.	
الشكل (19-1) مخطط هرتز - روسيل يعتد تمثيلا بسيطا للنجوم على خط بياني بحيث يشكل المحور الأفقي درجة حرارة النمط (النجوم الباردة في الأيمن والساخنة في الأيسر)، وبشكل المحور العمودي القدر المطلق أو سطوع النجم(النجوم الساطع في الأعلى والنجوم الخافتة في الأسفل).	
شكل الشمس	الشكل (20-1)
الشكل (21-1) بنية الشمس. تتألف من الداخل إلى الخارج من الطبقات الآتية: النواة، منطقة النقل، الفوتوسفيرالذي يحتوي على الكلف الشمسية. وفوق الفوتوسفير يتوضع الغلاف الجوي للشمس بدأ من الكروموسفير واشواكه الشمسية ، الإكليل الشمسي والفجوات الموجودة فيه، ثم الرياح الشمسية التي تمتد بعيدا عن الشمس.	
الطاقة المغناطيسية على سطح الشمس	الشكل (22-1)
الانفجارات الشمسية	الشكل (23-1)

الشكل (1-24)	الرياح الشمسية
الشكل (1-25)	البقع الشمسية
الشكل (1-26)	حلقات الهالة الشمسية وخطوط الحقل المغناطيسي الشمسي
الفصل الثاني	
الشكل (2-1)	المدار الاهليلجي للكوكب
الشكل (2-2)	قانون كيبلر الثاني
الشكل (2-3)	الجذب بين جسمين مختلفي الكتلة المسافة بينهما r
الشكل (2-4)	سطوح تساوي الكمون
الشكل (2-5)	شكل الأرض و الجيويدي و السفيرويدي
الشكل (2-6)	ربع زوال للسطح الأسفرويدي للأرض
الشكل (2-7)	يبين شكل الجيويدي وشكل الأرض الناتج عنه.
الشكل (2-8)	خريطة العالم الجيويديدية بناء على الإهليلج المرجع ومقدار التسطح $f=1/298.257$
الشكل (2-9)	فكرة التوازنية لتركيب الأرض
الشكل (2-10)	توزع القشرات الأرضية القارية والمحيطية والتوازنية.
الشكل (2-11)	حركة ترنح الأرض
الشكل (2-12)	حركة تمايد الأرض
الشكل (2-13)	تأثير حركة القمر في الأرض
الفصل الثالث	
الشكل (3-1)	يمثل استطالة الطول عند تطبيق قوة على الجسم
الشكل (3-2)	يوضح تغير الإجهاد مع الإنفعال
الشكل (3-3)	يوضح انفعال القص
الشكل (3-4)	يوضح إجهاد الحجم

الشكل (3-5)	يبين نسبة الصخور المكونة للقشرة الأرضية
الشكل (3-6)	يبين التركيب الداخلي للأرض والطبقات المكونة لها.
الشكل (3-7)	يشمل القشرة الأرضية والجزء العلوي من المعطف العلوي من 35-36 صفيحة تكتونية بما فيها الصفيحة العربية.
الشكل (3-8)	يبين الصفائح التكتونية والأحزمة المتوضعة بينها وفق معطيات النصف الثاني من القرن العشرين
الشكل (3-9)	يبين كيفية استخدام زمن وصول الأمواج لتحديد بعد المركز السطحي للزلازل، والفرق بين زماني الوصول لأول موجة طولية أولية وأول عرضية موجة ثانية
الشكل (3-10)	يمثل تجمع القارات والتحامها مع بعضها على شكل قارتين
الشكل (3-11)	يمثل لوراسيا التي تتكون من أمريكا الشمالية وأوراسيا، التي تحركت بعيداً عن كوندونا وانفصال الهند عن القارة القطبية الجنوبية وتحركها نحو الشمال
الشكل (3-12)	يمثل لوراسيا المكونة من أمريكا الشمالية وأوراسيا
الشكل (3-13)	يمثل انفصال قارة أمريكا الجنوبية عن قارة أفريقيا، وتشكل جزيرة مدغشقر مع استمرار حركة قارة الهند نحو الشمال
الشكل (3-14)	يمثل توضع القارات في مواقعها الحالية
الشكل (3-15)	يمثل: 1- انفصال غرينلاند عن أوربا وأمريكا الشمالية. 2- توسع المحيط الأطلسي الجنوبي. 3- تكون البحر الأحمر. 4- انفصال استراليا عن القارة القطبية الجنوبية. 5- تصادم القارة الهندية مع آسيا.

الشكل (3-16)	يبين تشكيل القارات الخمس
الشكل (3-17)	يوضح الصفائح الرئيسية والأحزمة الزلزالية المحيطة بها
الشكل (3-18)	يمثل أنواع حركة الصفائح التكتونية
الشكل (3-19)	يمثل الحركة التباعية
الشكل (3-20)	يبين التباعد بين الصفيحتين الإفريقية والعربية
الشكل (3-21)	يمثل الحركة التقاربية
الشكل (3-22)	ما يعرف بحلقة النار داخل المحيط الهادئ
الشكل (3-23)	يمثل الحركة الانزلاقية
الشكل (3-24)	يبين صدوع التحول القارية: (A) صدع سان اندرياس. (B) صدع البحر الميت، (موقع USGS على الانترنت)
الشكل (3-25)	يبين مظهراً عاماً لأحد البراكين
الشكل (3-26)	يبين أجزاء البركان
الشكل (3-27)	يبين ثورة البركان والغازات المنبثقة منه
الشكل (3-28)	بركان إتنا في جزيرة صقلية
الشكل (3-29)	بركان كراكاتو في منطقة ضيقة بين جزيرتي جاوه وسومطرة
الفصل الرابع	
الشكل (4-1)	يمثل الحقل المغنطيسي الأرضي
الشكل (4-2)	خطوط القوة للمغنطيسية الأرضية مع القطبية الاعتيادية (كما هي اليوم) (Montgomery, 1997)
الشكل (4-3)	يبين عناصر الحقل المغنطيسي الأرضي
الشكل (4-4)	يبين انحراف الأقطاب المغنطيسية والجغرافية عن بعضها
الشكل (4-5)	يمثل انقلاب خطوط القوى المغنطيسية
الشكل (4-٦)	منحني التجوال القطبي يعكس حقيقة تجوال القارات. (A) عند

تبلور الصخور فإن معادنها المغناطيسية تصطف باتجاه الحقل المغناطيسي المعاصر لها. ولكن زحزحة القارات تغير موقع القارات، نسبة للقطب المغناطيسي. (B) على افتراض أن القارات ثابتة فإن الانحراف نسبة للقطب المغناطيسي يعطي التجوال القطبي (Montgomery, 1997).	
التغير الظاهري في مواقع الأقطاب المغناطيسية في الماضي الجيولوجي مستنبط من دراسات المغناطيسية القديمة للصخور. (A) مسارات التجوال القطبي على افتراض أن القارات ثابتة. (B) مسارات التجوال القطبي على افتراض أن القارات متحركة. (Hamblin and Christiansen, 1998).	الشكل (4-7)
يبين حماية المجال المغناطيسي لكوكب الأرض من الأشعة الكونية	الشكل (4-8)

الفصل الخامس	
الشكل (5-1)	يبين التدرج الحراري الأرضي تحت القارات والمحيطات، الذي تم التوصل إليه بالحسابات.
الشكل (5-2)	يمثل رسم تخطيطي لدوران الماء في نظام حراري أرضي
الفصل السادس	
الشكل (6-1)	التصور القديم عن الحقل المغناطيسي الأرضي
الشكل (6-2)	امتداد الحقل المغناطيسي في الفضاء (التصور الحالي)
الشكل (6-3)	الحقل المغناطيسي الأرضي وتأثير بلازما الرياح الشمسية
الشكل (6-4)	يبين طبقات الجو المختلفة
الشكل (6-5)	يبين طبقات الجو واستخداماتها
الشكل (6-6)	الطبقة المتأينة وتشكل الحقل الكهربائي الأرضي.
الشكل (6-7)	الرياح الشمسية وتأثيرها على الحقل المغناطيسي الأرضي

الشكل (6-8)	تبيين احزمة فان آلن
الشكل (6-9)	أحزمة فان آلن وخطوط الحقل المغنطيسي الأرضي
الشكل (6-10)	صورة للشفق القطبي الأرضي
الشكل (6-11)	الهالات حول الشمس والشموس المزيفة
الشكل (6-12)	الهالات حول القمر والقمر المزيف
الشكل (6-13)	مخطط يبين تشكل الحقل الكهربائي الأرضي
الشكل (6-14)	مبدأ تشكل الحقل الكهربائي
الشكل (6-15)	تصور كيفية تشكل الحقل الكهربائي الأرضي
الشكل (6-16)	شكل الحقل الكهربائي الأرضي مأخوذ من سطح القمر

جدول الاصطلاحات العلمية
مرتبة وفق الأبجدية العربية
-آ-

Polarization	استقطاب
Saturation	إشباع
Declinaion	انحراف
Geoid	المجسم الأرضي
Spheroid	اهليلج
Reference Spheroid	الاهليلج المرجع

-ب-

Suprabasement	بروزات الركيزة
Sun spots	بقع شمسية
Plasma	بلازما

-ت-

Doppler effect	تأثير دوبلر
Magnetic induction	تحريض مغنطيسي
Vertical gradient	تدرج شاقولي
Magnetic noise	تشويش مغنطيسي
Elevation correction	تصحيح الارتفاع
Terrain correction	تصحيح الطبوغرافيا
Normal correction	تصحيات نظامية
Diurnal correction	تصحيات يومية
Secular variation	تغيرات قرنية

Diurnal variations	تغيرات يومية
Solar diurnal variations	تغيرات يومية شمسية
Lunar diurnal variations	تغيرات يومية قمرية
Magnetic data interpretation	تفسير المعطيات المغناطيسية
Quantitative interpretation	تفسير كمي
Qualitative interpretation	تفسير كيفي
Plate tectonics	تكتونيك الصفائح
Equipotential	تساوي الكمون
-ث-	
Dipole	ثنائي قطب
Magnetic dipole	ثنائي قطب مغناطيسي
Convolution	ثني
-ج-	
Gravitational Gravity	جاذبي جاذبية
-ح-	
Thermal	حراري
Dipole field	حقل ثنائي القطب
Total field	حقل كلي
Potential field	حقل كمون
Magnetic Field	حقل مغناطيسي

-خ-

Declination error	خطأ الاتجاه
Inclination error	خطأ الميل
Field lines	خطوط الحقل

-د-

Curie point	درجة حرارة كوري
Curie temperature	درجة حرارة كوري

-ر-

Basement	ركيزة
Solar wind	رياح شمسية

-س-

Well logging	تسجيلات بئر
Magnetic Susceptibility log	سجل المتأثرية المغنطيسية
Electrical resistivity log	سجل المقاومة الكهربائية
Seismic	سيزمي

-ش-

Intensity of magnetization	شدة المغنطة
Magnetic anomaly	شواذ مغنطيسية

-ص-

Basement rocks	صخور الركيزة
----------------	--------------

-ط-

Reduction to the pole
method

طريقة الإرجاع إلى القطب

Radioactivity method

الطريقة الإشعاعية

Continuation method

طريقة التتابع

Seismic method

الطريقة السيزمية

Electrical method

الطريقة الكهربائية

Electromagnetic method

الطريقة الكهرومغناطيسية

Chemical method

الطريقة الكيميائية

-ع-

Magnetic storm

عاصفة مغناطيسية

Wave number

عدد موجي

Poisson's relation

علاقة بواسون

Trace element

عنصر أثر

-غ-

Ionosphere

غلاف متأين

-ق-

Salt dome

قبة ملحية

Inertia

قصور ذاتي

Pole

قطب

Magnetic pole

قطب مغناطيسي

Magnetic force

قوة مغناطيسية

Borehole measurements

قياسات بئرية

-ك-

Electrical	كهربائي
Electromagnetic	كهرومغناطيسي
Chemical	كيميائي

-م-

Susceptibility	متأثرية
Magnetic observatory	مرصد مغناطيس
Epicenter	مركز سطحي
Noise level	مستوى التشويش
Zero level	مستوى الصفر
Magnetic survey	مسح مغناطيسي
Magnetic data	معطيات مغناطيسية
Primary magnetization	مغطة أولية
Secondary magnetization	مغطة ثانوية
Residual magnetization	مغطة متبقية
Natural remnant magnetization	مغطة متبقية طبيعية
Chemical remnant magnetization	مغطة متبقية كيميائية
Induced magnetization	مغطة متحرضة
Palaeomagnetism	مغناطيسية قديمة
Mercalli intensity scale	مقياس الشدة لميركالي
Magnetic gradiometer	مقياس تدرج مغناطيسي

Richer scale	مقياس ريختر
Magnetometer	مقياس مغناطيسية
Master curve	منحني نموذجي
Primary wave	موجة أولية
Secondary wave	موجة ثانوية
Surface wave	موجة سطحية
Long wave	موجة طويلة
Body wave	موجة جسمية
Medium wave	موجة متوسطة
Dip	ميل
Inclination	ميل
Magnetic inclinaion	ميل مغناطيسي
-ن-	
Permeability	نفوذية

جدول الاصطلاحات العلمية
مرتبة وفق الهجائية الإنجليزية

-A-

Aeromagnetic survey

مسح مغنطيسي جوي

-B-

Background

خلفية

Basement

ركيزة

-C-

Chemical

كيميائي

Chemical remnant

مغنطة متبقية كيميائية

magnetization

-G-

Geomagnetic field

حقل مغنطيسي أرضي

Gravitational

جاذبي

Gravitational method

الطريقة الجاذبية

Gravitational potential

كمون جاذبي

-H-

Horizontal

أفقي

Horizontal gradient

تدرج أفقي

Hyperbola

قطع زائد

-I-

Inclination	ميل
Induced magnetization	مغنة متحرضة

-L-

Laplace equation	معادلة لابلاس
Line of force	خط قوة
Locus	محل هندسي
Lunar diurnal variations	تغيرات يومية قمرية

-M-

Magnetic	مغناطيسي
Magnetic anomaly	شواذ مغناطيسية
Magnetic anomaly curves	منحنيات الشواذ المغناطيسية
Magnetic contour map	خريطة خطوط تساوي المغناطيسية
Magnetic data	معطيات مغناطيسية
Magnetic data interpretation	تفسير المعطيات المغناطيسية
Magnetic dipole	انحراف مغناطيسي
Magnetic field	حقل مغناطيسي
Magnetic force	قوة مغناطيسية
Magnetic gradiometer	مقياس تدرج مغناطيسي
Magnetic inclination	ميل مغناطيسي
Magnetic induction	تحريض مغناطيسي
Magnetic method	الطريقة المغناطيسية

Magnetic moment	عزم مغنطيسي
Magnetic noise	تشويش مغنطيسي
Magnetic permeability	نفوذية مغنطيسية
Magnetic survey	مسح مغنطيسي
Magnetic susceptibility	متأثرية مغنطيسية
Magnetic susceptibility log	سجل المتأثرية المغنطيسية

-N-

Natural remnant magnetization	مغنطة متبقية طبيعية
Noise level	مستوى التشويش
Non-dipole field	حقل لا ثنائي القطب
Normal level	مستوى نظامي

-P-

Palaeomagnetism	مغنطيسية قديمة
Permeability	نفوذية
Poisson's relation	علاقة بواسون
Polarization	استقطاب
Pole	قطب
Potential field	حقل كمون
Primary magnetization	مغنطة أولية

-Q-

Qualitative interpretation	تفسير كيفي
Quantitative interpretation	تفسير كمي

-R-

Radioactivity	إشعاعية
Radioactivity method	الطريقة الإشعاعية
Residual magnetization	مغطة متبقية

-S-

Salt dome	قبة ملحية
Saturation	إشباع
Scarp	منحدر شديد
Secondary magnetization	مغطة ثانوية
Secular variations	تغيرات قرنية
Seismic	سيسمي
Seismic method	الطريقة السيزمية
Sensor	حساس
Strike	اتجاه
Sun spots	بقع شمسية
Susceptibility	متأثرية

-T-

Terrain correction	تصحيح الطبوغرافيا
Thermal	حراري
Thermal method	الطريقة الحرارية
Thermo-remnant magnetization	مغطة متبقية حرارية
Total field	حقل كلي

Transverse magnetization

مغطة معترضة

-U-

Universal gravitational
constant

ثابت الجاذبية العالمي

-V-

Vector measurements

قياسات شعاعية

Vertical gradient

تدرج شاقولي

Very High Frequency

تردد عالي جداً

References

قائمة المراجع العلمية

1. Beden bender, J. and Kelly, G. (1973), "Development of a Unique High Force Vibrator as a Geophysical Energy Source, "43 rd SEG convention, Mexico City.
2. Bigoni, D. Nonlinear (2012), Solid Mechanics: Bifurcation Theory and Material Instability. Cambridge Univesity Press,.
3. Burg, K. And Gilles, B. (1966), "Non Dynamite sources in offshoure seismic Eploration, "36 th SEG Convention, Houston, TX.
4. Chesca, Gh, (1963) Metoda Punctelor conjugate in cazul Vitezelor Variable. Petrol si Gaze, 14. 10.
5. Dobrin, M.B. (1976). Introduction to Geophysical Prospecting, Mc Graw-Hill.
6. Dobrin, M. and Ward, S. (1962), Tools for Tomorrow's Geophysics, Geophysics, V.10, P. 433.
7. Evendem, B., Stone, D. (1971). "Seismic Prospecting Instruments," Vol.2, Instrument, Performance and Testing, Borntaeger, Berlin.
8. Farriol, R. Michon, D. Muniz, R. and Staron, P. (1970). "study and comparison of Marine seismic source signitures Recorded in a very wide Frequency Band-Application to a New seismic source: The vaporchoc, "SEG 40 th convention, New Orleans.
9. Frey,K. (1962), Fundamentals of Acoustics, Second Edition, John Wiley & sons, Inc. New York, NY.
10. Godfrey, L. and Johuston, R. (1971), Signal to Noise Spectrum, Acommon Denominator for Evaluating Marine Seisure Data-collection systems, SEG.
11. Grant, F., West, G. (1965). Inter pretation Theory in Applied Geophysics, Mc Graw-Hill.

12. Heiland, C. A. (1946). Geophysical Exploration, New York, Prentice Hall,.
13. Hubert, (1925), "Earth Tremors by Falling Weights, "Zeit Geophysik, V. 1, P.197.
14. Jacobs, J. R. Russell, and Tusio Wilson, J. (1959), Physics and Geology, Mc Graw-Hill.
15. Lindsay, R. B. (1960), Mechanical Radiation, Mc Graw-Hill.
16. Mallory, B.F. and Gargo, D.N. (1979). Physical Geology (Mc Graw-Hill).
17. Neitzel, E. (1958). "Seismic Reflection Records obtained by Dropping a weight, "Geophysics, V. 23, P.58.
18. Nettleton, L.L. (1946). Geophysical Exploration, New York, Prentice Hall.
19. Palmer, B. (1964). "A new Technique for the Measurement of Geophone Parameters Under Field conditions", Geophysical Prospecting, V.12, No.4, P.422.
20. Paleomagnetism and plate Tectonics, (1973), Cambridge Earth Science Series, M.W. McElhinny, Cambridge University Press, Cambridge.
21. Parr, J. and Harry Mayne, W. (1955), "A New Method of Pattern Shooting," Geophysics, V.20, P.539.
22. Peterson and Dobrin, M. (1966). A Pictorial Digital Atlas, 36 th SEG Convention, Houston, TX.
23. Physics of the Earth. (1969), Space Science Text Series., F.D. Stacey, John Wiley, New York.
24. Reynolds, J. 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons. 796 p.
25. Ricker, N. (1953). The forms and Law of propagation of Seismic Wavelet, Geophs., V.18, P.10.
26. Sadd, Martin H. (2005). Elasticity: Theory, Application, and Numerics. Oxford: Elsevier. P.70. ISBN 978-0-1237-4446-3.

27. Shulze-Gattermann R., (1972), "physical Aspects of the "Air-pulser" as a seismic Energy source, "Geophysical Prospecting.
28. Tegland, E. (1977). "3-D High resolution Data, collection, Processing and Display, "Mid west, 30 th 5 EG convention, Oklahoma City.
29. Tou, J. (1959), Digital and Sampled Data Control Systems, Mc Graw-Hill Co., New York, NY.
30. Treloar, L. R. G. (1975). The physics of Rubber Elasticity. Oxford: Clarendon Press. P.2. ISBN 978-0-1985-1355-1.
31. Walton, G. (1970). "3-D Seismic method, "SEG 40 th Convention, New Orleans.
32. Wardell, J. (1970), "Acompanison of Land Seismic Sources, "Geoexploration, 8, 205-229.
33. أ.د. جمال أبو ديب. 2012. الطرائق المغنطيسية. جامعة دمشق.
34. أ.د. جمال أبو ديب. 1995. الجيوفيزياء العامة. جامعة دمشق.
- 35- بوغارتش. أ. ف. وآخرون. 1996. السماء دون غرائب. وزارة الثقافة. دمشق. ترجمة هاشم حمادي.
- 36- اشرف موسى. 2008. إدارة تطوير وتقنية المساحة. جدة . السعودية .
- 37- كارل ساجان. 2000 . كوكب الأرض. ترجمة شهرت العالم. عالم المعرفة. الكويت.
- 38- سناء عبود. 2007. قياس الأبعاد في الفضاء. عمان. الأردن.
- 39- محمد فراس الصفدي. 2006. كل شيء عن الشمس . جمعية هواة الفلك. دمشق.
- 40- محمد فراس الصفدي. 2006. مقدمة عن خصائص النجوم. جمعية هواة الفلك. دمشق.

41- يوري افيديف. 1993. على عتبه العالم الأسطوري. وزارة الثقافة. دمشق.
ترجمة صفوان ربحاوي ومظفر شعبان.

بعض المواقع الالكترونية

1. www.Geology.com, a website for earth science news and information about rocks, minerals, geologic hazards, oil and gas, gemstones, meteorites, and many other topics.
 2. www.gsu.edu, the website of Georgia State University.
 3. www.phys4arab.net.
 4. Google-Star Times
- أهمية الصفائح التكتونية
5. Earth Science Picture of the Day.
- المصدر: علوم الأرض والمغناطيسية الأرضية
6. <http://www.wikipedia.org/wiki/Tsunami>
 7. <https://www.lebarney.gov.lb/news/19476>
 8. <https://www.TsunamiGenerationAnimation.com> Generated by a Subduction Zone Earthquake
 9. <https://www.youtube.com/watch?v=4xebwzb3Dde>

يمكن لمن يرغب بالاستزادة الدخول إلى المواقع الالكترونية المعنية

اللجنة العلمية:

الأستاذ الدكتور جمال أبو ديب
الأستاذ الدكتور سليمان رماح
الأستاذ المساعد الدكتور رفيق جبر

المدقق اللغوي:

الأستاذ الدكتور علي لكردي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات