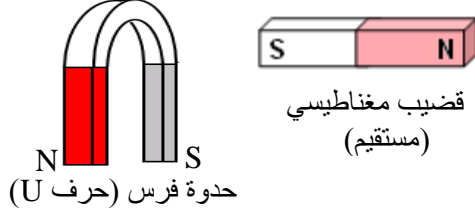


- **المجال : الظواهر الكهربائية**
- **الوحدة ① : مفهوم الحقل المغناطيسي**
- **الكفاءات المستهدفة:**
- يعرف الطابع الشعاعي للحقل المغناطيسي و مثله .
- يقدّر قيم بعض الحقول المغناطيسية .
- يوظف المغناطيسية في الحياة اليومية .

1

### 1- مشاهدات أولية : تذكير حول المغناط

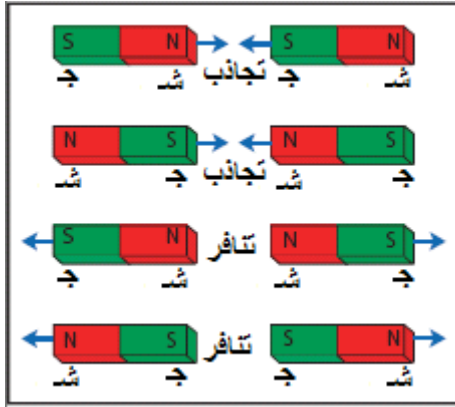
1-01 **تعريف المغناطيس :** المغناطيس هو كل جسم يمتاز بخاصية جذب برادة الحديد و الفولاذ و النيكل و الكوبالت ، و كل السبائك التي تحتوي هذه المعادن .  
 - يمتاز المغناطيس مهما كان شكله (لاحظ الشكل المرفق) بمنطقتين تتكثف فيهما برادة الحديد عند تقريبه منها ،  
 نسمي هاتين المنطقتين بـ : **قطبا المغناطيس .**



### 1-02 **المغناط الدائمة و المغناط المؤقتة :**

- المغناطيس الدائم : هو كل جسم يمتلك خاصية المغناطيس (جذب برادة الحديد) ، و يحافظ عليها باستمرار .  
 - المغناطيس المؤقت : هو كل جسم يمتلك خاصية المغناطيس في ظروف معينة أو تحت تأثير مغناطيس دائم ، و يفقد هذه الخاصية عند غياب هذه الظروف أو زوال التأثير .

### 1-03 **قطبا المغناطيس :**



● **نشاط :** للمغناطيس قطبان مختلفان

● **نتيجة :** استنتج بإكمال الفراغات

للمغناطيس قطبان يجذبان برادة الحديد والمواد الحديدية بنفس الكيفية ،  
 لكن نلاحظ أن أحد قطبي المغناطيس الأول يجذب أحد قطبي المغناطيس الثاني عند تقريبه منه وينفر القطب الآخر إذا قرب منه . و يحدث العكس عند قلب المغناطيس الأول .

نستنتج أن للمغناط قطبين من نوعين مختلفين ، حيث أن قطبين من نفس النوع يتنافران وأن قطبين من نوعين مختلفين يتجاذبان .

### 1-04 **تحديد قطبي المغناطيس :**

4- أ) **تذكير حول البوصلة :** البوصلة عبارة عن إبرة فولاذية ممغنطة يمكنها

الدوران حول محور شاقولي في مستوى أفقي ، تستعمل لتحديد الشمال (لاحظ الشكل المقابل) . عندما تكون البوصلة بعيدة عن التأثيرات المغناطيسية مثل مغناطيس بجوارها أو قطعة حديدية فإن الإبرة تأخذ وضعًا موازيًا تقريبًا للخط الجغرافي "شمال - جنوب" ، لذا أصطلح على تسمية قطبها الموجه نحو الشمال بالقطب الشمالي N ، و الآخر قطبها الجنوبي S .

نحو الشمال المغناطيسي



إبرة مغناطيسية

### 4- ب) **كيف نعين قطبي المغناطيس ؟**

- خذ قضيبًا مغناطيسيًا مستقيمًا و علقه بواسطة خيط مثبت في منتصفه بحيث يمكنه في وضع أفقي تقريبًا وأنتظر إلى أن يستقر كما في الشكل المقابل ... لاحظ الوضع الذي يستقر فيه القضيب .

- أظفر بوصلة و قارن وضعها مع وضع القضيب . ماذا تستنتج ؟

● **نتيجة :** نستنتج أن المغناطيس عمومًا له قطبان مغناطيسيان متقابلان هما :

- **القطب الشمالي N :** و هو القطب الموجه نحو الشمال المغناطيسي بجوار القطب الشمالي الجغرافي للأرض .

- **القطب الجنوبي S :** و هو القطب الموجه نحو الجنوب المغناطيسي بجوار القطب الجنوبي الجغرافي للأرض .

### 1-02 **مفهوم الحقل المغناطيسي :**

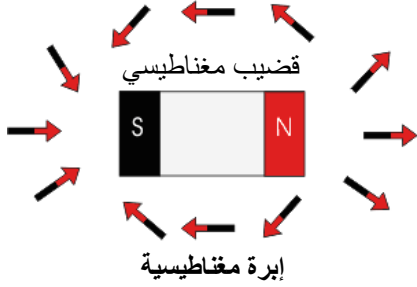
1

1-02 **تعريف الحقل المغناطيسي :** الحقل المغناطيسي هو مجموعة الخصائص المغناطيسية التي تمتاز بها كل نقطة من نقاط الفضاء الذي يخيم فيه هذا الحقل ، بحيث تتجلى هذه الخصائص في تأثير ميكانيكي على إبرة بوصلة موضوعة في نقطة ما منه .

● **نشاط :** ضع ثلاث أو أربع بوصلات متباعدة عن بعضها في أماكن مختلفة و كيفية بعيدة عن كل تأثير مغناطيسي خارجي

(قطع حديدية ، مغناط ، ... ) . لماذا ؟ ..... (كي لا تخضع هذه البوصلات لأي تأثير مغناطيسي خارجي)  
 - لاحظ أوضاع هذه البوصلات . ماذا تستنتج ؟ ..... (كلها تأخذ أوضاعاً متوازية وفق الإتجاه الجغرافي : شمال - جنوب للأرض تقريباً) .

- أخطر قضيباً مغناطيسياً وضعه بجوارها . ماذا تلاحظ ؟ غير أوضاع البوصلات حول المغناطيس . لاحظ الأوضاع التي تستقر فيها ، و مثل برسم وضعية القضيب و البوصلات في عدة نقاط من حوله .  
 - أقلب القضيب المغناطيسي . ماذا يحدث ؟ غير أوضاع المغناطيس بإبعاده و تقريبه من البوصلات . ماذا تلاحظ ؟



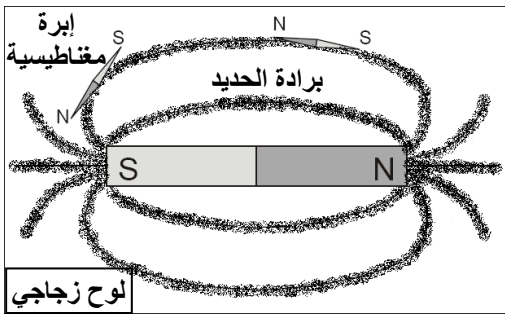
- أعد التجارب السابقة بإستعمال مغناط مختلفة (على شكل حرف U ، دائري ، ... ) (كما هو موضح بالرسم في الشكل المقابل فإن البوصلات تتأثر جميعها بالمغناطيس الموضوع بجوارها ، إلا أن هذا التأثير يتعلق بوضعية البوصلة بالنسبة للمغناطيس و كذا بطبيعة القطب المغناطيسي المقابل لها ، و عند قلب القضيب المغناطيسي نلاحظ دوران الإبرة بحيث يتوجه قطبها الآخر نحوه عكس ما كانت عليه في الوضع السابق) .

### ● **نتيجة** : إستنتج بإكمال الفراغات

يحدث المغناطيتن بُراً في خصائص الفضاء حيث تظهر في كل نقاطه خصائص مغناطيسية جديدة . نكشف عن هذه الخصائص في نقطة من الفضاء بوضع بوصلة فيها وملاحظة التأثير الذي تخضع له . نقول أن القضيب يولد حقلاً مغناطيسياً في الفضاء.

## 2-° (2) تعريف الحقل المغناطيسي و خطوط الحقل :

- ضع قضيباً مغناطيسياً تحت لوح زجاجي أو ورق مقوى ، ثم ذر كمية من برادة الحديد حول وضع المغناطيس ، وأنقر بلطف على اللوح أو الورق . ماذا تلاحظ ؟ كيف تتوزع حبيبات البرادة حول المغناطيس ؟ مثل برسم توزيع البرادة على اللوح أو الورقة . هل تشكل أشكالاً مميزة ؟ ..... (نلاحظ إسطفاً و ترتيب البرادة وفق خطوط منحنية متوازية بين القطبين و متباعدة عندهما مشكلة أشكالاً مميزة كما في الشكل المرفق) .

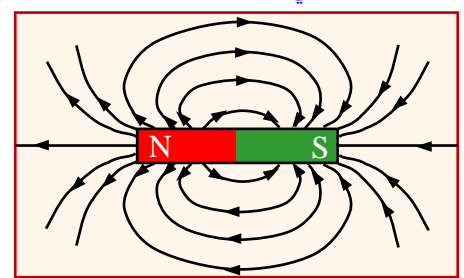
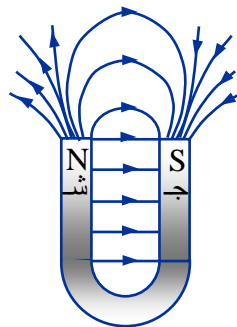
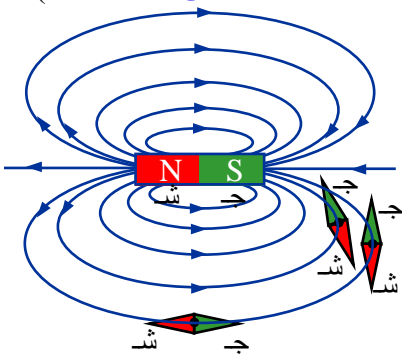


- خذ إبرة ممغنطة صغيرة و ضعها في مختلف نقاط الطيف و لاحظ الأوضاع التي تستقر فيها . حاول تحويلها وفق أحد الخطوط المشكلة ماذا تلاحظ ؟ قارن إتجاهها بالنسبة لقطبية المغناطيس مركزاً ملاحظتك على وضعها بالنسبة للخط و إتجاهها .

(كما هو موضح بالرسم فإن إبرة ممغنطة صغيرة تستقر دوماً في وضع تكون فيه مماسية لخط الطيف المغناطيسي الذي تشكله برادة الحديد ، و هي متجهة دوماً من قطبه الشمالي N نحو قطبه الجنوبي S) .

- أعد نفس خطوات التجربة بإستعمال مغناطيس على شكل حرف U و أجب على نفس الأسئلة . أعد التجربة بإستعمال مغناط أخرى مختلفة الشكل و الحجم . صف في فقرة قصيرة كل هذه الأشكال مستعيناً برسومات توضيحية .

(عند إعادة التجربة مع مغناط مختلفة الشكل و الحجم ، نلاحظ في كل مرة تشكل طيف مغناطيسي يختلف من مغناطيس الى آخر لكنه يتكون من مجموعة خطوط وهمية نستدل عليها فقط بذر برادة الحديد في الفضاء المحيط بالمغناطيس ، هذه الخطوط تخرج من أحد قطبي المغناطيس و تدخل من القطب الآخر بحيث تكون متوازية داخل المغناطيس و منحنية مغلقة على نفسها خارجه) .



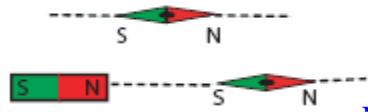
### بعض أشكال الأقطاب المغناطيسية

### ● **نتيجة** : إستنتج بإكمال الفراغات

عند بذر برادة الحديد على سطح يحتوي تحته مغناطيسا ، نلاحظ توزيع حبيبات البرادة وفق خطوط وهمية تربط بين القطبين مكونة ما نسميه : الطيف المغناطيسي كما نسمي الخطوط المشكلة في الطيف خطوط الحقل المغناطيسي . من مميزات هذه الخطوط إستقرار بوصلة صغيرة ، موضوعة في إحدى نقاطها ، في وضع مماسي للخط المار من تلك النقطة . عند تغيير موضع البوصلة على نفس الخط تبقى هذه الأخيرة دائماً مماسية له محافظة على نفس الإتجاه بحيث يبقى شمالها دائماً

موجه نحو جنوب المغناطيس المستعمل فنعبر عن ذلك بتوجيه هذه الخطوط اصطلاحاً وفق توجه البوصلة عليها أي من شمال المغناطيس المستعمل الى جنوبه .

نعبر عن ذلك عادة بالقول أن خطوط الحقل المغناطيسي تتوجه من القطب الشمالي نحو القطب الجنوبي خارج المغناطيس . يختلف الشكل العام للخطوط المغناطيسية المتشكل من مغناطيسين آخرين ، أي أن لكل مغناطيس طيفاً يميزه .



### ٢-3) الحقل المغناطيسي مقدار شعاعي :

- ضع بوصلة صغيرة بعيدة عن كل تأثير مغناطيسي و دعها تستقر ، قرب منها وفق محورها S-N القطب الشمالي لقضيب مغناطيسي كما في الشكل . ماذا يحدث ؟ (تتوجه الإبرة وفق محور المغناطيس بحيث يتجه قطبها الجنوبي S نحو القطب الشمالي N للمغناطيس كما في الشكل) .

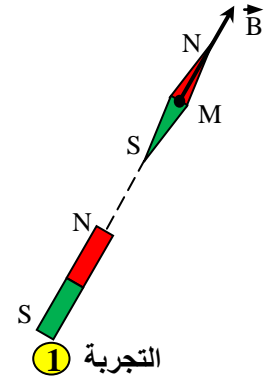
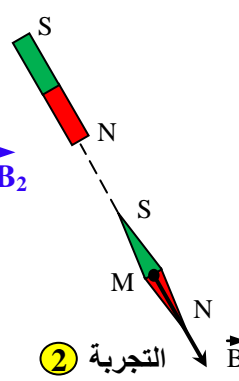
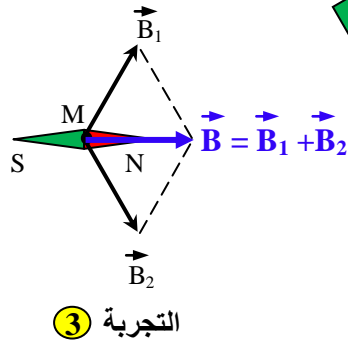
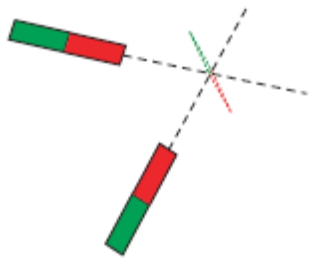
- قرب منها وفق محورها S-N القطب الجنوبي للقضيب . ماذا يحدث ؟ ..... (تدور الإبرة ليتجه قطبها الشمالي تجاه القطب الجنوبي للمغناطيس) .

- أبعد القضيب وأتركها تستقر ثم قرب منها القطب الشمالي للمغناطيس وفق خط يصنع زاوية كيفية مع محورها S-N . ماذا تلاحظ ؟ أوقف القضيب عندما ينطبق محور البوصلة على محوره . علم هذا الوضع ..... (تدور الإبرة بمقدار الزاوية الكائنة بين محورها و محور القضيب لتستقر في الوضع الذي ينطبق فيه محورها مع محور القضيب المغناطيسي) .

- أبعد القضيب الأول ثم أعد التجربة بتقريب القطب الشمالي لقضيب آخر وفق خط كيفية يختلف عن السابق . ماذا تلاحظ ؟ علم الوضع الذي عنده ينطبق محور البوصلة مع محوره .

- ضع القضيبين في الموضعين المحددين سابقاً ليؤثرا معاً على البوصلة (لاحظ الشكل) كيف يكون وضع البوصلة في هذه الحالة ؟ ..... (يكون وفق محصلة التأثيرين) .

- صف في فقرة قصيرة ملاحظاتك في التجارب الثلاث موضعاً كل حالة برسم .



### نتيجة : إستنتاج بإكمال الفراغات

يتعلق أثر الحقل المغناطيسي المتولد عن قضيب على بوصلة بالمسافة بين القضيب وموضع البوصلة وبالوضعية النسبية لمحوري القضيب والبوصلة ، أي أن للحقل المغناطيسي شدة وحامل وجهة ومنه يمكن نمذجته في نقطة من نقاط الفضاء بشعاع نرمز له بالرمز  $\vec{B}$  .

هذا ما تبينه نتائج التجربة الأخيرة حيث لا يمكن تفسير الوضع التي تأخذها البوصلة تحت تأثير حقلين مغناطيسيين إلا باعتبار أنها خاضعة لحقل واحد ناتج عن المجموع الشعاعي لحقلي القضيبين .

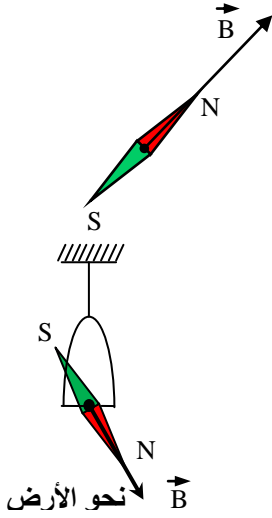
### ٢-4) خصائص شعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ : توصلنا الى أن الحقل المغناطيسي مقدار شعاعي محلي ، أي معرف في كل نقطة بصفة فريدة ، له الخواص التالية :

- نقطة تطبيقه : هي النقطة المعتبرة  $M$  .
- حامله : منطبق على محور البوصلة الموضوعة في النقطة المعتبرة (المحور S-N للبوصلة) .
- جهته : من الجنوب المغناطيسي S الى الشمال المغناطيسي N ( $S \rightarrow N$ ) .
- شدته : له قيمة معينة تقاس في ج . و . د (S.I) بوحدة : التسلا (T) Tesla (يتم تحديدها لاحقاً) .

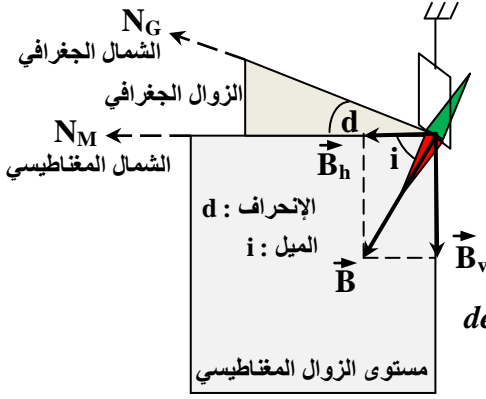
### 1-3) الحقل المغناطيسي الأرضي :

نعلم أن وجود بوصلة في نقطة من الفضاء في أي مكان من الأرض بعيداً عن التأثيرات المغناطيسية تأخذ وضعاً مميزاً تستقر فيه بحيث يكون حاملها تقريباً وفق خط S-N الجغرافي ، و لا يمكن إزاحتها عنه إلا بتأثير مغناطيسي إضافي . نستنتج من هذا أن البوصلة خاضعة لحقل مغناطيسي خارجي ندعوه : الحقل المغناطيسي الأرضي ، فالأرض كما أثبتت الدراسات و التجارب المختلفة مصدر لحقل مغناطيسي يمكن نمذجته بحقل يشبه تماماً حقل قضيب مغناطيسي كبير .

إن تعليق بوصلة قابلة للحركة في نقطة من فضاء الحقل المغناطيسي الأرضي يجعلها تستقر في وضع تتجه فيه نحو سطح الأرض بشكل مائل عن الشاقول كما هو موضح في الشكل المقابل ، لذلك يتميز شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في كل نقطة من الأرض بشدة  $B$  ، زاوية الإنحراف  $d$  و زاوية الميل  $i$  .



شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي  $\vec{B}$

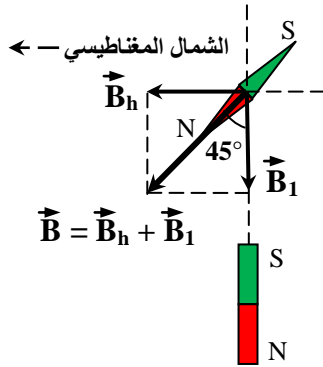


- **زاوية الانحراف** : هي الزاوية  $d$  الكائنة بين المستوي الشاقولي الحامل لخط « شمال - جنوب » الجغرافي المسمى بـ : **مستوى الزوال الجغرافي** والمستوى الشاقولي الحامل لمحور البوصلة (خط  $S - N$  المغناطيسي) المسمى بـ : **مستوى الزوال المغناطيسي** (أنظر الشكل المرفق)
- **زاوية الميل** : هي الزاوية  $i$  بين شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي  $\vec{B}$  ومركبته الأفقية  $\vec{B}_h$  التي تخضع لها إبرة بوصلة محمولة على حامل شاقولي والتي تحدد دوماً الإتجاه « شمال - جنوب » المغناطيسي  $S - N$
- **اصطلاحات** : - المركبة الأفقية لشعاع الحقل المغناطيسي الأرضي  $\vec{B}_h$  - المركبة الشاقولية لشعاع الحقل المغناطيسي الأرضي  $\vec{B}_v$  - زاوية الانحراف المغناطيسي  $d$  : *déclinaison magnétique* - زاوية الميل المغناطيسي  $i$  : *inclinaison magnétique* - مستوى الزوال المغناطيسي : *Mérédien magnétique* - مستوى الزوال الجغرافي : *Mérédien géographique*

من الشكل لدينا :  $\cos i = B_h/B$  ؛  $\sin i = B_v/B$  ؛  $\text{tg } i = B_v/B_h$  حيث :  $B_h \approx 2,2 \times 10^{-5} \text{ T}$

- **قياس شدة الحقل المغناطيسي لقضيب بدلالة  $B_h$**

يمكن إستعمال خاصية تراكب أشعة الحقل المغناطيسي لقياس شدة حقل مغناطيسي متولد في نقطة من الفضاء عن قضيب مغناطيسي بدلالة المركبة الأفقية  $B_h$  للحقل المغناطيسي الأرضي في تلك النقطة كالتالي :



**نشاط** : - ضع في نقطة من الفضاء بوصلة واطررها تستقر بعيداً عن كل تأثير مغناطيسي

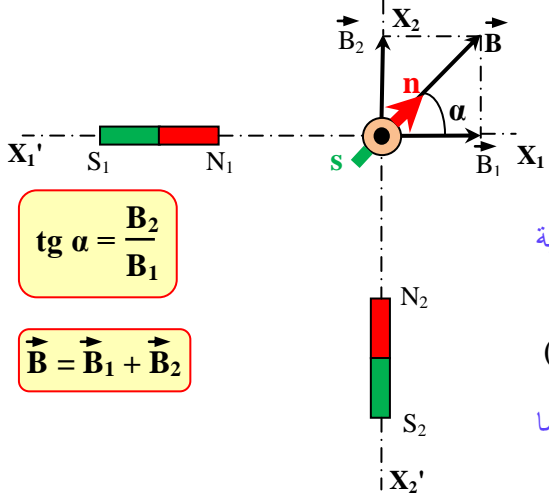
- مثل شعاع المركبة الأفقية  $\vec{B}_h$  في تلك النقطة بإستعمال سلم رسم كفي .
- قرب من البوصلة قضيباً مغناطيسياً عمودياً على محورها و في نفس المستوى .
- في أي وضع لمحور البوصلة تكون فيه شدة المركبة الأفقية  $B_h$  تساوي شدة الحقل المتولد عن القضيب المغناطيسي في تلك النقطة ؟

- أطر رسماً هندسياً يسمح لك بتحديد شدة حقل القضيب المغناطيسي في النقطة

المعتبرة بدلالة المركبة الأفقية  $B_h$  ؟ ..... (عندما تكون الزاوية المحصورة بين محور المغناطيس و محور البوصلة مساوية  $45^\circ$  فإن شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن القضيب  $B_1$  تعادل شدة المركبة الأفقية  $B_h$  للحقل المغناطيسي الأرضي في المكان ، و كما هو موضح

بالشكل المقابل فإن :  $\text{tg } 45^\circ = 1 = B_h/B_1 \Rightarrow B_1 = B_h$

- صف خطوات تجربة تسمح لك بمقارنة شدة الحقل المتولد في نقطة من الفضاء عن مغناطيسين مختلفين ...



$$\text{tg } \alpha = \frac{B_2}{B_1}$$

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

- ( كما هو مبين في التجربة السابقة يمكن مقارنة شدتي حقلين مغناطيسيين متولدين عن مغناطيسين مختلفين في نقطة من الفضاء بوضع بوصلة في تلك النقطة و إخضاعها في المرة الأولى لتأثير أحد المغناطيسين لوحده و تحديد الوضع الذي تستقر فيه ثم تخضع مرة ثانية لتأثير الآخر و تحديد الوضع الذي تستقر فيه من جديد ، ثم يؤثر على البوصلة بالمغناطيسين معاً و تحديد الوضع النهائي المحصل لإستقرارها ، و من ثم قياس الزاوية الكائنة بين الوضع المحصل و أحد وضعي إستقرار البوصلة قبله و حساب ظل الزاوية الذي يعادل النسبة بين شدتي الحقلين :

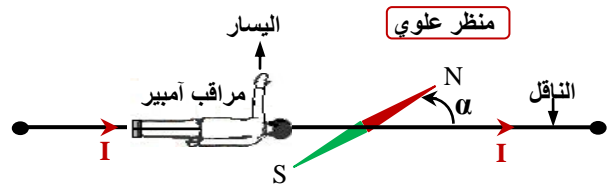
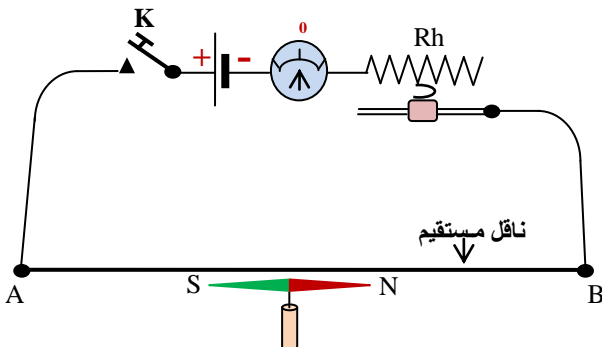
$$\text{tg } (\vec{B}_1, \vec{B}_2) = B_1/B_2 \text{ أو العكس : } \text{tg } (\vec{B}_1, \vec{B}_2) = B_2/B_1$$

- هل تسمح لك هذه التجربة الحكم أن المغناطيسين المتشابهين خارجياً (شكلاً) مختلفين أو متماثلين مغناطيسياً . ناقش

(إن تشابه مغناطيسين خارجياً من حيث الشكل أو الأبعاد لا يعني بالضرورة أنهما متماثلين مغناطيسياً إلا إذا كانت شدتي حقليهما المغناطيسيين في نفس النقطة من الفضاء متساوية أي نسبتها تعادل الواحد الصحيح).

## 1- (4) الكهرمغناطيسية : ( الوشائع - المغناط الكهربية )

### 1- °4 تجربة أورستد : *L'expérience d'Ersted*



أول من إكتشف تجريبياً أثر التيار الكهربائي على مغناطيس « الأثر المغناطيسي للتيار » هو الفيزيائي الدنماركي : **أورستد** **ERSTED** عام 1820 ، الذي لاحظ إنحراف إبرة ممغنطة كانت موضوعة بجوار سلك ناقل إثر مرور تيار كهربائي فيه . و بعد إعادته للتجربة و التأكد من أن سبب إنحراف الإبرة يعود فقط لمرور التيار ، إستنتج أن للتيار الكهربائي أثر **مغناطيسي** .

● **التجربة** : - حقق التركيبية الموضحة بالشكل السابق ، و ذلك بوضع إبرة ممغنطة على طاولة بعيدة عن كل تأثير مغناطيسي و اتركها تستقر ثم إجعل سلكاً مستقيماً فوقها في وضع يوازي المحور S-N للإبرة .

- وصل أحد طرفي السلك الناقل بالقطب السالب للمولد . هل يؤثر السلك على الإبرة ؟ ..... (لأيؤثر السلك على الإبرة) .

- أغلق الدارة (وصل قصير للقاطعة K) . ماذا تلاحظ ؟ ..... (لاحظ إنحراف الإبرة و عودتها إلى وضع إستقرارها) .

- دع القاطعة مفتوحة و لاحظ تصرف الإبرة ..... (تبقى الإبرة مستقرة باتجاه المركبة الأفقية  $\vec{B}_H$  للحقل المغناطيسي الأرضي)

- في رأيك ماهو سبب إنحراف الإبرة عن وضعها عند غلق الدارة ؟ علل ..... (سبب إنحراف الإبرة عن وضعها هو مرور التيار الكهربائي في السلك بدليل إستقرارها في وضع جديد عند غلق القاطعة و مرور تيار في السلك و عودتها إلى وضعها الإبتدائي أثناء قطع التيار) .

- كيف تقسر إنحراف الإبرة عن وضعها إثر مرور التيار و رجوعها إلى وضعها الإبتدائي بعد فتح الدارة ؟ ..... (إنحراف الإبرة عن وضعها إثر مرور التيار يرجع إلى نشوء حقل مغناطيسي جديد إضافة إلى الحقل المغناطيسي الأرضي لذلك تتصرف الإبرة لتأخذ الوضع المحصل الناجم عن مجموع الحقلين (المركبة الأفقية للحقل الأرضي + حقل التيار) أما عودة الإبرة إلى وضعها الإبتدائي بعد فتح الدارة فهو بسبب إنعدام حقل التيار و خضوع الإبرة فقط لتأثير المركبة الأفقية للحقل الأرضي) .

- لماذا وضعنا السلك فوق الإبرة ؟ ..... (لكي لا تصطدم بالسلك أثناء إنحرافها) .

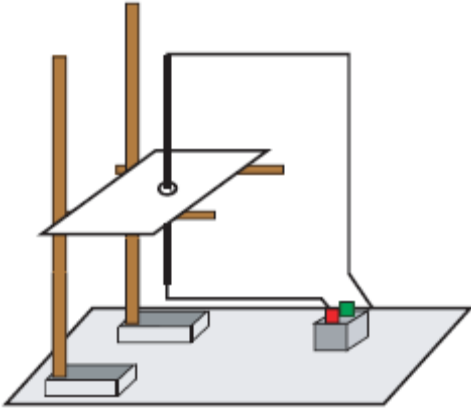
- أعد التجربة بتغيير وضعه بالنسبة للإبرة (مواز لها و من تحتها ، مواز لها و في نفس المستوى الأفقي ، السلك عمودي على المحور S-N للإبرة ، ... ) . ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ في جميع الحالات تأثير الإبرة بمرور التيار في السلك مما يدل على نشوء حقل مغناطيسي في الفضاء المحيط بالسلك أثناء مرور التيار فيه ندعوه : **حقل التيار** و نميزه في كل نقطة من الفضاء ب : **شعاع الحقل  $\vec{B}_C$** ) .

- أعد التجربة بسلك مغني بعازل ثم بآخر لا يغطيه عازل ؟ ..... (لا يتعلق حقل التيار بالعازل) .

- إستبدل السلك النحاسي بسلك من الألمنيوم . ماذا تلاحظ ؟ ..... (تتأثر الإبرة بسبب نشوء حقل التيار المار في السلك لأن الألمنيوم معدن غير ممغنط مثل النحاس) .

- هل يمكن إستعمال سلك من حديد ؟ علل ..... (لا يمكن إستعمال سلك من حديد أو فولاذ أو كوبالت ... لأن هذه المواد تمتاز بخصائص مغناطيسية « مواد ممغنطة » أصلاً) .

- صف في فقرة ملاحظاتك في كل حالة . ماذا تستنتج ؟ ..... (في كل الحالات يتولد حقل مغناطيسي إثر مرور تيار كهربائي في النواقل غير الممغنطة و تصبح بذلك هذه المواد **مغانط مؤقتة** حيث تتعلق خصائص حقل التيار الناشئ بشكل الدارة التي يجتازها و كذا بشدة و جهة مرور التيار فيها كما سنرى ذلك لاحقاً) .



#### 4-2) **الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار مستقيم :**

- خذ سلكاً نحاسياً مستقيماً و ثبته في الموضع الشاقولي (أنظر الشكل المرفق) حيث يخترق ورق مقوى أفقي . أربط أحد طرفي السلك بالقطب السالب للبطارية وأمسك الطرف الآخر بيدك . ذر كمية من برادة الحديد على الورق حول السلك ثم أغلق الدارة بلمس السلك بالقطب الموجب للبطارية وانقر بلطف على الورقة ماذا تلاحظ ؟ ..... (نلاحظ ترتيب دقات البرادة و إسطفافها وفق دوائر

متمركزة في السلك بشكل منظم مشكلة لطيف مغناطيسي مميز) .

- إفتح الدارة مباشرة بعد تشكيل الطيف . أرسم شكل الطيف المتكون

- ماهو شكل خطوط الحقل الناتج عن مرور التيار الكهربائي ؟

- ضع بوصلة صغيرة في نقطة من هذا الطيف بعد غلق الدارة ثانية . ماذا تلاحظ ؟

- إعتماً على وضعها إستنتج حامل و جهة الحقل في تلك النقطة .

- أرسم بعض أشعة الحقل في نقاط تختارها ..... (للإجابة عن

الأسئلة السابقة لاحظ الشكل المرفق جانبه) .

- غير جهة سريان التيار في السلك بقلب توصيل البطارية . ماذا تلاحظ ؟

ماذا يحدث للبوصلية ؟

- هل يتعلق شكل الخطوط بجهة التيار ؟

- هل تتعلق جهة الحقل بجهة التيار ؟ علل ..... (عند تغيير جهة

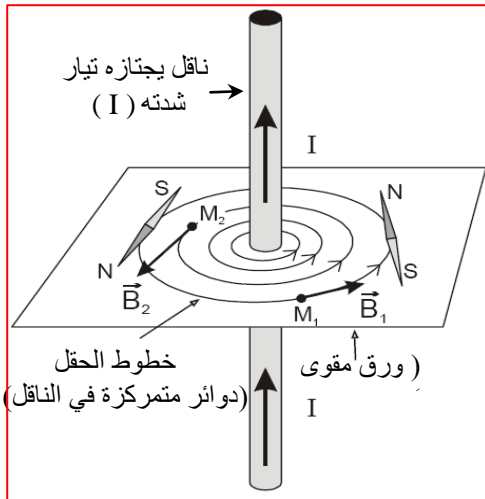
سريان التيار في السلك ينقلب توجيه البوصلة بحيث تبقى مماسية لخط

الحقل بينما تبقى خطوطه ثابتة دون تغيير بشكل دوائر متمركزة في

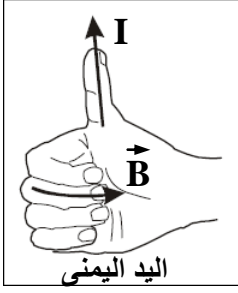
السلك ما لم تتغير شدة التيار لأن الحقل يتعلق بشدة التيار) .

- إقتراح تركيبياً يسمح لك بتغيير شدة التيار المار في السلك .

- ماذا يحدث لخطوط الحقل إذا زادت شدة التيار ؟ ..... (يمكن تغيير



شدة التيار المار في السلك بإدراج معدلة (مجزئة توتر) في الدارة حيث تزداد الشدة بإنقاص مقاومة المعدلة ، و عندها تقترب خطوط الحقل من السلك) .



● **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات .

- عندما يعبر تيار كهربائي شدته **I** سلكاً مستقيماً وطويلاً يتولد حوله حقل مغناطيسي خطوطه دائرية مركزها على السلك ومحمولة في مستويات عمودية على السلك حيث يكون لشعاع الحقل المغناطيسي في كل نقطة الخصائص التالية :
- **حامله** : مماسي لخط الحقل المار من تلك النقطة .
- **جهته** : تتعلق بجهة التيار و تتحدد بقواعد مختلفة ... (قاعدة اليد اليمنى - لاحظ الشكل جانبه ، قاعدة مراقب أمبير ، قاعدة ماكسويل (البزال : ساحبة الفلين) ... إلخ .
- **شدته** : تتعلق بشدة التيار و يبعد النقطة عن السلك .

شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار شدته **I** يعبر سلكاً مستقيماً و طويلاً ، في نقطة من الفضاء المحيط بالسلك تبعد عنه مسافة **d** تعطى بالعلاقة التالية :

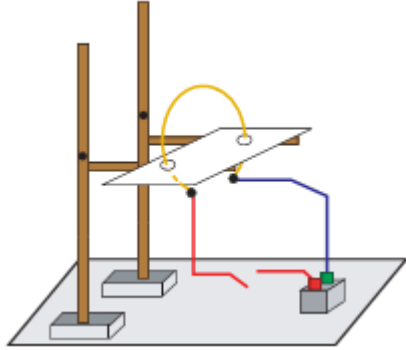
$$B = \mu_0 \cdot I / 2\pi d = 2 \times 10^{-7} I/d$$

حيث :  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$  النفاذية المغناطيسية للفراغ مقدرة في (S.I)

$$B (T) \leftarrow d (m) ; I (A)$$

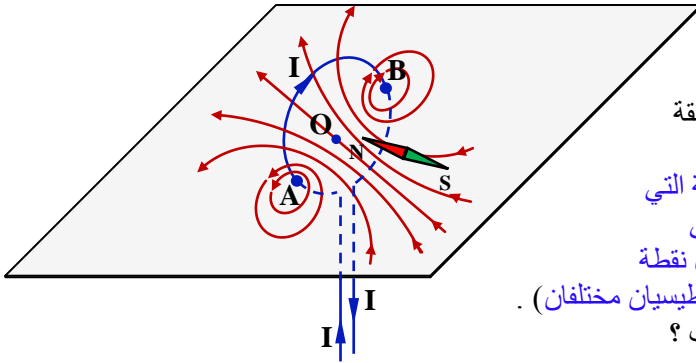
**3- 04 الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار حلقي :**

- قم بلف سلك ناقل (من النحاس مثلاً) ليشكل حلقة تخترق ورق مقوى و حلق الدارة المبينة في الشكل المقابل . ذر كمية من برادة الحديد على الورق . أغلق الدارة مع نقر طفيف على الورق .
- هل تتشكل خطوط الحقل ؟ ..... (نعم ، تصطف برادة الحديد على الورق مشكلة خطوط الطيف المغناطيسي بجوار السلك) .



- أرسم شكل الطيف الذي يتكون على الورقة . ..... (لاحظ الشكل) .
- ما هو شكل الخطوط في جوار السلك ؟ و ما هو شكلها في المنطقة وسط الحلقة ؟

(خطوط دائرية منحنية بشكل قطوع ناقصة متمركزة في النقطتين **A** و **B** و متناظرة بالنسبة لمحور الحلقة المار من مركزها **O**)



- قرب بوصلة (إبرة مغناطيسية صغيرة) من أحد وجهي الحلقة ثم قربها من الوجه الآخر ، ماذا تلاحظ ؟ ماذا تستنتج ؟

(عند تقريب بوصلة من أحد وجهي الحلقة تتوجه عكس الجهة التي تأخذها عند تقريبها من الوجه الآخر بحيث تكون عمودية على مستوى سطح الحلقة و مماسة لخط الحقل المغناطيسي في كل نقطة من الحقل المغناطيسي المتولد . نستنتج أن للحلقة وجهان مغناطيسيان مختلفان) .

- غرّ وجه سريان التيار في الحلقة . ماذا يحدث لشكل الطيف ؟ (يبقى شكل الطيف كما في الحالة الأولى) .

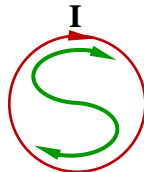
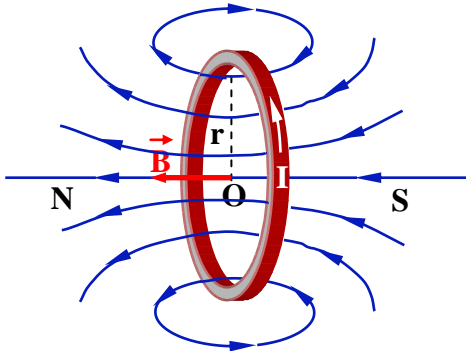
- أعد تقريب البوصلة من الوجهين على التوالي . ماذا تلاحظ ؟

**الحقل المغناطيسي لتيار حلقي**

- (عند تغيير جهة سريان التيار في الحلقة و تقريب بوصلة من وجهيها على التوالي تأخذ البوصلة وجهة معاكسة لوجهتها السابقة) .
- ماذا تستنتج ؟ ..... (تتعلق جهة خطوط الطيف المغناطيسي لحقل التيار المتولد بجهة سريان التيار في الحلقة حيث يكون لهذه الخطوط جهة ثابتة دوماً من الوجه المغناطيسي الجنوبي للحلقة نحو وجهها المغناطيسي الشمالي) .

- قارن هذا الطيف مع طيف قضيب مغناطيسي و طيف تيار يجتاز ناقل مستقيم طويل . أين يكمن التشابه و أين يكمن الاختلاف ؟

(للطيف المغناطيسي أشكال مختلفة بحسب طبيعة الجملة المغناطيسية التي يتولد عنها الحقل المغناطيسي الموافق إلا أن خطوطها لها جهة ثابتة دوماً (جنوب - شمال) المغناطيسيين ، كما أن أشعة الحقل دوماً مماسة لخطوط الطيف في جميع نقاط الحقل) .



وجه جنوبي (S)



وجه شمالي (N)

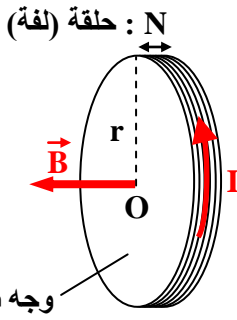
الحقل المتولد عن تيار حلقي :

حالة حلقة واحدة : شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار شدته  $I$  يعبر ناقلاً على شكل حلقة نصف قطرها  $r$  في مركزها  $O$  (لاحظ الشكل أعلاه) يعطى بالعلاقة التالية :

$$B = \mu_0 \cdot I / 2r = 2\pi \times 10^{-7} I / r$$

حيث :  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$  النفاذية المغناطيسية للفراغ مقدرة في (S.I)

$$B \text{ (T)} \leftarrow r \text{ (m)} ; I \text{ (A)}$$



حالة وشيعة مسطحة : الوشيعة المسطحة هي وشيعة تحتوي على عدد  $N$  من الحلقات (اللفات) المتماثلة و المتراسة بحيث يكون نصف القطر المتوسط  $r$  للوشيعة أكبر من طولها  $l$  (الشكل) فالحقل المتولد فيها ناتج عن تراكم حقول لفاتها (حلقاتها) ، شدته في مركزها  $O$  تعطى بالعلاقة :

$$B = N \cdot \mu_0 \cdot I / 2r = 2\pi N \times 10^{-7} I / r$$

#### 4-٤) الحقل المغناطيسي المتولد عن وشيعة :

أ) إبراز الخصائص المغناطيسية لوشيعة يعبرها تيار :

• **نشاط** : حقق الدارة الموضحة بالشكل المقابل ثم ذر برادة

الحديد داخل و خارج الوشيعة مع نقر طفيف على الورقة .

– أرسم شكل الطيف المتشكل ..... (لاحظ الشكل أدناه) .

– قرب بوصلة (إبرة مغناطيسية صغيرة) من أحد وجهي الوشيعة

ثم قربها من الوجه الآخر ، حولها داخل و خارج الوشيعة . ماذا تلاحظ ؟

(عند تقريب بوصلة من أحد وجهي الوشيعة تتوجه عكس الجهة التي

تأخذها عند تقربها من الوجه الآخر بحيث تكون عمودية على

مستوى سطح حلقات الوشيعة و محورها مماسي لخطوط الحقل في

كل نقطة منه خارج الوشيعة . بينما تتوجه البوصلة وفق محور الوشيعة

في كل نقطة من الحقل داخل الوشيعة ، مما يعني أن خطوط الحقل

تكون متوازية و موازية لمحور الوشيعة في الداخل) .

– قرب من أحد أوجه الوشيعة قطعة حديدية صغيرة (مسمار مثلاً)

ماذا تلاحظ ؟ قربه من الوجه الآخر . ماذا يحدث ؟

(عند مرور التيار الكهربائي داخل الوشيعة ، تجذب إليها كل جسم

حديدي أو فولاذي يتم تقريبه من وجهها الأول أو الثاني) .

– قرب قضيباً مغناطيسياً معلقاً بحيث في مركزه من أحد وجهي

الوشيعة . ماذا يحدث ؟ ثم قربه من الوجه الثاني ، ماذا تلاحظ ؟

(تلعب الوشيعة دور مغناطيس كهربائي عندما يجتازها تيار كهربائي

بحيث تجذب كل جسم يتأثر بالمغناطيس عند تقريبه من وجهها الأول

أو الثاني) .

1

– لاحظ جيداً شكل خطوط الحقل داخل الوشيعة و خارجها . ماذا تستنتج ؟ هل تلاحظ تواصل بين خطوط الحقل داخل و خارج

الوشيعة ؟ ..... (تكون خطوط الحقل داخل الوشيعة متوازية و موازية لمحورها لتتحني هذه الخطوط مشكلة منحنيات متناظرة

بالنسبة لمحور الوشيعة و نغلقه على نفسها) .

– هل يمكنك تقديم نتيجة عامة حول شكل خطوط الحقل المغناطيسي ؟ ..... (عموماً و من خلال المشاهدات التجريبية السابقة

يمكننا أن نتصور شكلين مختلفين لخطوط الحقل المغناطيسي ، حيث تكون هذه الخطوط متوازية و بجهة واحدة وفق الاتجاه :

« جنوب – شمال » المغناطيسيين إذا كان الحقل منتظماً كما هو الحال بالنسبة للحقل المغناطيسي المتولد بين فكي مغناطيس بشكل

حدوة فرس « حرف U » أو حقل التيار المتولد داخل وشيعة حلزونية طويلة عندما يجتازها تيار كهربائي بينما تشكل هذه الخطوط

منحنيات مغلقة على نفسها تكون أشعة الحقل مماسة لها و موجهة باتجاهها وفق الاتجاه « جنوب – شمال » المغناطيسيين إذا كان

الحقل المغناطيسي غير منتظم كما هو الحال خارج

الوشيعة الحلزونية أثناء مرور تيار كهربائي فيها) .

– أرسم شكل خطوط الحقل داخل و خارج

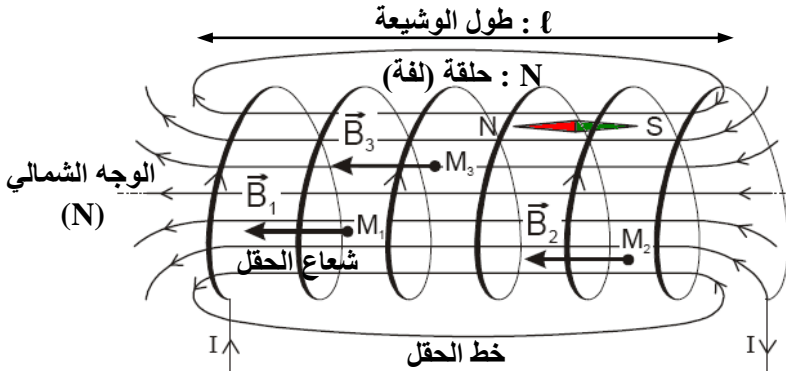
الوشيعة مع توجيهها و تمثيل بعض أشعة

الحقل داخل و خارج الوشيعة باعتماد سلم

كفي .

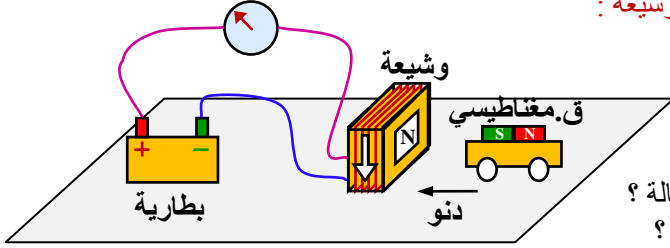
..... (لاحظ الشكل المرفق جانبه) .

(S)



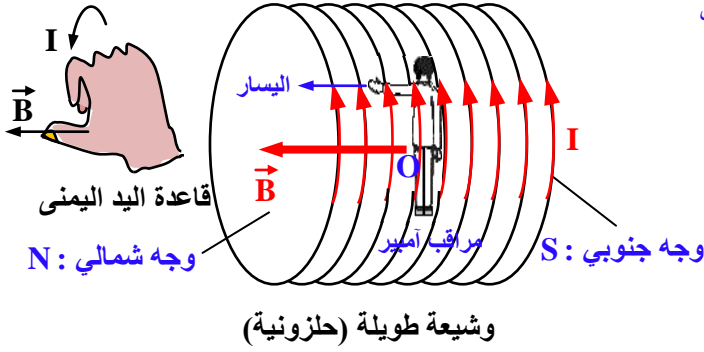
## • نتيجة : استنتج باكمال الفراغات .

عندما يعبر تيار وشيعة يتولد عنه حقلًا مغناطيسيًا طيفه خارج الوشيعة يشبه تماما طيف قضيب مغناطيسي وداخل الوشيعة عبارة عن خطوط متوازية . تكتسب الوشيعة الخصائص المغناطيسية التي يمتاز بها القضيب المغناطيسي . نستنتج من ذلك أن الوشيعة التي يعبرها تيار تكافئ قضيبًا مغناطيسيًا وكافئ وجهها الوشيعة قطبا المغناطيس فيكون لها وجه شمالي وآخر جنوبي .  
(ب) العوامل المؤثرة على خصائص الحقل المغناطيسي في الوشيعة :



### • نشاط ① : دور جهة التيار .

ضع قضيبًا مغناطيسيًا يمكنه التحرك بحرية (تقليل الاحتكاكات بوضع القضيب فوق عربة صغيرة أو مجموعة أقلام) أمام وجه وشيعة وحقق الدارة المبينة في الشكل المقابل .  
- أغلق الدارة . ماذا تلاحظ ؟ ما هو نوع وجه الوشيعة في هذه الحالة ؟  
أعد التجربة بعد تغيير جهة سريان التيار في الوشيعة . ماذا تلاحظ ؟ هل تغير نوع وجه الوشيعة ؟



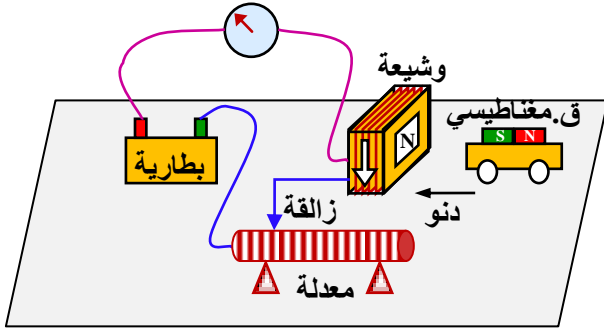
(عند غلق الدارة تجذب الوشيعة القضيب المغناطيسي فيتحرك مقتربًا منها إذا كان وجهها من نوع مختلف عن نوع القطب المغناطيسي للقضيب بينما ينتقل مبتعدًا عنها إذا كان وجهها المغناطيسي و قطب القضيب من نوع واحد . يحدث العكس في حالة تغيير جهة سريان التيار في الوشيعة) .

- هل معرفة قطب البطارية (المولد) تكفي لمعرفة جهة سريان التيار في الوشيعة ؟ ..... (لا تكفي) .

- تفحص هذه الوشيعة واكتشف جهة لف السلك فيها لمعرفة جهة سريان التيار فيها . طبق قاعدة مراقب أمبير لتحديد جهة الحقل داخل الوشيعة و ع ين وجهيها المغناطيسيين الشمالي و الجنوبي .

### • نشاط ② : دور شدة التيار .

**الأدوات المستعملة :** وشيعة تحتوي على 1000 أو 500 لفة معدلة (10 Ω) ، مولد أو بطارية (12 V) ، أسلاك توصيل قاطعة و أمبير - متر .  
- حقق الدارة المبينة في الشكل المقابل و ضع على أقلام ملساء (أو عربة صغيرة) قضيبًا مغناطيسيًا بالقرب من أحد وجهي الوشيعة و علم موضعه .



- اضبط المعدلة في الوضع (1) « مقاومتها مستعملة كليًا » .  
أغلق الدارة و لاحظ ما يحدث للقضيب سبب ل قيمة شدة التيار الموافقة ثم افتح الدارة . ..... (حركة بطيئة جدًا للقضيب ، شدة ضعيفة للتيار) .

- اضبط المعدلة في الوضع (2) « انقص من مقاومة المعدلة » أعد القضيب إلى موضعه الابتدائي السابق ثم أغلق الدارة و لاحظ حركة القضيب و قارنها مع الحالة السابقة سبب ل قيمة شدة التيار الموافقة . (حركة أسرع للقضيب ، شدة التيار أكبر) .

- أعد نفس خطوات التجربة بعد ضبط المعدلة في الوضع (3) « الاستمرار في انقاص مقاومة المعدلة مع مراقبة معيار مقياس الأمبير » . كيف تكون حركة القضيب في هذه الحالة ؟ (زيادة سرعة حركة القضيب بالتوافق مع زيادة شدة التيار) .

- ماذا يمكنك استنتاجه بخصوص شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن مرور التيار الكهربائي في الوشيعة عند مقارنة حركة القضيب في الحالات الثلاث ؟ (تزايد سرعة حركة القضيب دليل على تزايد شدة الحقل المغناطيسي المتولد في الوشيعة بفعل تزايد شدة التيار المار فيها أي أن قيمة حقل التيار تتناسب طرْدًا مع شدته) .

### • نشاط ③ : دور النواة الحديدية .

- ثبت في التركيب السابق شدة التيار الكهربائي المار في الوشيعة ثم ادخل فيها نواة حديدية . ماذا تلاحظ ؟ ..... (تزداد حركة القضيب بإيلاج النواة الحديدية داخل الوشيعة) .

- أعد التجربة بعد نزع النواة الحديدية ، قارن تأثير الوشيعة على القضيب في كلا الحالتين . ..... (حركة القضيب تكون أسرع في وجود النواة الحديدية) .

- ما هو دور النواة الحديدية . ماذا تستنتج ؟ ..... (دور النواة الحديدية هو زيادة الفعل المغناطيسي للوشيعة على القضيب . نستنتج أن حقل التيار يتعلق بأبعاد و مكونات الوشيعة) .

- هل يمكن استعمال نواة من معدن آخر لتحقيق هذا الأثر ؟ (يمكن استعمال نواة غير حديدية من الكوبالت أو النيكل أو من بعض السبائك المعدنية كالفولاذ و التي لها خاصية التمغنط) .



• **نتيجة** : استنتج بإكمال الفراغات .

- عندما يعبر تيار وشيعة ينشأ حقل مغناطيسي:
- تتعلق جهته بجهة سريان التيار وتحدد بتطبيق قاعدة رجل أمبير أو قاعدة اليد اليمنى.
- تتعلق شدته في نقطة من الفضاء بشدة التيار، فكلما زادت شدة التيار زادت شدة الحقل. تزداد شدته عند إدخال نواة حديدية لينة في الوشيعة.

☒ **ملاحظة** : تعتبر الوشيعة طويلة إذا كان طولها  $\ell$  كبير كفاية أمام نصف قطرها  $r$  .

**الحقل داخل الوشيعة منتظم و تعطى شدته بالعلاقة** :  $B = \mu_0 \cdot N \cdot I / \ell = \mu_0 \cdot n \cdot I = 4\pi \times 10^{-7} n \cdot I$

حيث :  $N$  عدد اللفات (عدد حلقات الوشيعة) ،  $I$  شدة التيار المار في الوشيعة ،  $\ell$  طولها .  
 $n = N/\ell$  عدد اللفات في واحدة الطول (المتر الواحد) .

## حلول بعض التمارين (ص141)

### التمرين 1 : أتأكد من معارفي

- كيف نكشف عن وجود حقل مغناطيسي في منطقة من الفضاء؟ بوضع بوصلة في نقطة تلك المنطقة وملاحظة تصرفها .
- اذكر مصدرين للحقل المغناطيسي. تيار كهربائي يمر في ناقل، مغناطيس دائم، الكوكب الأرضي .
- كيف نمذج الحقل المغناطيسي في نقطة؟ نمذج الحقل المغناطيسي في نقطة بشعاع مبدأه النقطة ذاتها، جهته جهة الحقل ، حامله حامل الحقل وطولته تتناسب مع شدة الحقل وفق السلم المختار .
- ما هو اسم ورمز وحدة الحقل المغناطيسي؟ وحدة الحقل المغناطيسي هي التسلا (Tesla) ورمزها هو  $T$  .
- بأي جهاز تقاس شدة الحقل المغناطيسي؟ تقاس شدة الحقل المغناطيسي بالتسلا متر .
- كيف نجسد الطيف المغناطيسي للمغناطيس؟ نجسد الطيف المغناطيسي لمغناطيسي ببذر برادة الحديد من حوله .
- كيف نوجه خطوط الحقل المغناطيسي؟ نوجه خطوط الحقل المغناطيسي من القطب الشمالي نحو القطب الجنوبي لمغناطيس ومن الوجه الشمالي نحو الوجه الجنوبي خارج الوشيعة التي يعبرها تيار والعكس في داخلها .
- أعط تعريفا للحقل المغناطيسي المنتظم . هو الحقل الذي يتميز بخطوط حقل متوازية وبشدة وجهة ثابتتين في جميع نقاطه .
- بأي نوع من المغناطيس نحصل على حقل مغناطيسي منتظم في منطقة من الفضاء؟ يطلب تعيينها . المغناطيس على شكل حرف  $U$  يكون الحقل المتولد عنه بين فرعيه منتظما .
- مثل شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في نقطة مع ذكر المفاهيم والمقادير اللازمة لتعيينه . أنظر كتاب التلميذ .
- عرف الميل المغناطيسي اعتمادا على رسم توضيحي . أنظر كتاب التلميذ .

### التمرين 2 : اختر الجواب أو الأجوبة الصحيحة :

- القضيب الممغنط ينتج حقلًا منتظما . خطأ .
- في الحقل المغناطيسي المنتظم خطوط الحقل متوازية . صحيح .
- في غياب مغناطيس لا تخضع إبرة ممغنطة لتأثير ميكانيكي . خطأ (تخضع للحقل المغناطيسي الأرضي) .
- تقدر شدة الحقل المغناطيسي بـ : (أ) الأمبير (A) ، (ب) الفولط (V) ، (ج) التسلا (T) .
- قيمة المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي تساوي  $B_H = 22 \mu T$  في وضع يكون فيه الميل المغناطيسي  $60^\circ$  ، و الانحراف المغناطيسي  $5^\circ W$  (غرب) ، ما هي من بين هذه القيم شدة الحقل المغناطيسي الأرضي في هذا الوضع :  
 (أ)  $44 \mu T$  (ب)  $22,1 \mu T$  (ج)  $11 \mu T$  ؟

### التمرين 3 : صحح التصريحات الخاطئة

- في حقل مغناطيسي منتظم شعاع الحقل ثابت . صحيح .
- يمكن الحصول على طيف مغناطيسي باستعمال برادة النحاس . النحاس لا يتأثر بالحقل المغناطيسي بل نستعمل برادة الحديد .
- يمكن لخطين من حقل مغناطيسي أن يقاطعا . مستحيل : لا يمكن أن نحصل على حقلين في نفس النقطة (مبدأ التراكب) .
- حامل شعاع الحقل المغناطيسي عمودي على خطوط الحقل . خطأ ، بل مماسيا لها .
- تخرج خطوط الحقل المغناطيسي للقضيب من قطبه الشمالي لتتجه نحو قطبه الجنوبي . نعم صحيح .
- في الطيف المغناطيسي تكون خطوط الحقل أكثر تراصا كلما كان الحقل شديد . صحيح .
- قيمة الحقل المغناطيسي الأرضي من رتبة  $0,5 \times 10^5 T$  . خطأ .
- قيمة الحقل المغناطيسي الأرضي بجوار الأرض هي  $20mT$  أو  $20T$  . (  $20 \mu T$  )
- قيمة الحقل المغناطيسي بجوار قضيب مغناطيسي هي  $50\mu T$  أو  $50mT$  .
- قيمة الحقل المغناطيسي في نجم نتروني من رتبة  $10^8 T$  أو  $10 T$  .

**التمرين 4 : أجب بصحيح أو خطأ**

- في مركز وشيعة، قيمة الحقل المتولد يتناسب طردياً مع شدة التيار المار في الوشيعة . **صحيح** .
- داخل ناقل أسطواني ، خطوط الحقل موجهة من الوجه الشمالي نحو الوجه الجنوبي . **خطأ** .
- شدة الحقل المغناطيسي داخل وشيعة تنخفض إلى نصف قيمتها في حالة مضاعفة عدد حلقاتها . **خطأ** .
- قيمة الحقل المغناطيسي داخل ناقل أسطواني تعطى بالعلاقة  $\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{I}$  أين  $\mathbf{n}$  هو عدد الحلقات لوحدة الطول . **صحيح** .
- إذا تمكنت وشيعة يعبرها تيار من الحركة بحرية في المجال المغناطيسي الأرضي ، فإن وجهها الشمالي يتجه نحو القطب الشمالي الأرضي . **صحيح** .

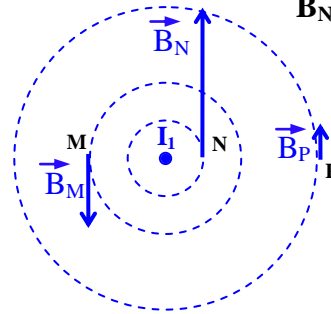
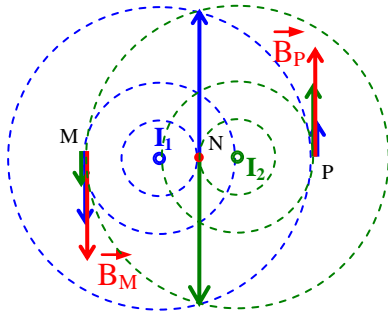
**التمرين 5 : ب**  $B = 53,6 \text{ mT}$  ؛  $\text{tg}\alpha = 1,34$  ؛  $\alpha = 53^\circ$

**التمرين 9 :**

الحقل الكلي  $\vec{B}$  ناتج عن تراكب الحقل  $\vec{B}_b$  المتولد عن التيار في الوشيعة والمركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي  $\vec{B}_h$

حيث :  $B_b = B_h \cdot \text{tg}\alpha$  و  $B_b = 11,55 \mu\text{T}$  و  $B = 23 \mu\text{T}$

**التمرين 10 :**  $B_N = 20 \mu\text{T}$



منظر علوي

	M	N	P
$B(I_1)$	$B_N / 2$	$B_N$	$B_N / 4$
$B(I_2)$	$B_N / 4$	$B_N$	$B_N / 2$
$B(t)$	$3 B_N / 4$	0	$3 B_N / 4$

	M	N	P
$B(I_1)$	$B_N / 2$	$B_N$	$B_N / 4$

	M	N	P
$B(I_1)$	$B/2$	$B$	$B/4$
$B(-2I_2)$	$B/2$	$2B$	$B$
$B(t)$	0	$3B$	$3B/4$

	M	N	P
$B(I_1)$	$B/2$	$B$	$B/4$
$B(2I_2)$	$B/2$	$2B$	$B$
$B(t)$	$B$	$B$	$5B/4$

	M	N	P
$B(I_1)$	$B/2$	$B$	$B/4$
$B(-I_2)$	$B/4$	$B$	$B/2$
$B(t)$	$B/4$	$2B$	$B/4$

**التمرين 11 :**

(1) نعتبر أن الوشيعة طويلة إذا كان طولها أكبر من قطرها:  $d \gg 2r$

(2)  $B = 7,5 \times 10^{-4} \text{ T}$

(3) نفس الحقل .

(4) تتعلق قيمة الحقل الكلي بجهة التيار في الوشيعتين أي بجهة لف السلك فيهما. فيكون الحقل الكلي إذن إما مضاعف

$B = 0$  أو معدوم  $B = 15 \times 10^{-4} \text{ T}$