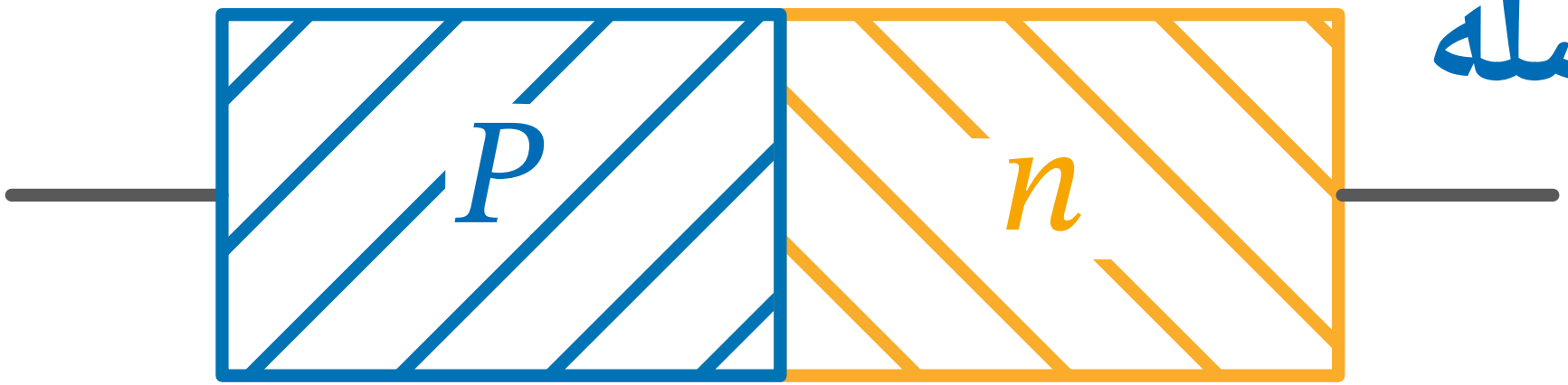
الدايودات شبه الموصلة



أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- وصف حركة الإلكترونات الحرة والفجوات عبْر الوصلة الثنائية
- تحديد منطقة النضوب في الوصلة الثنائية
- وصف تأثير تطبيق جهد خارجي على الوصلة الثنائية في الاتجاه الأمامي أو العكسي على حركة الإلكترونات الحرة والفجوات عبْر الوصلة

تعريف الدايودات شبه الموصلة

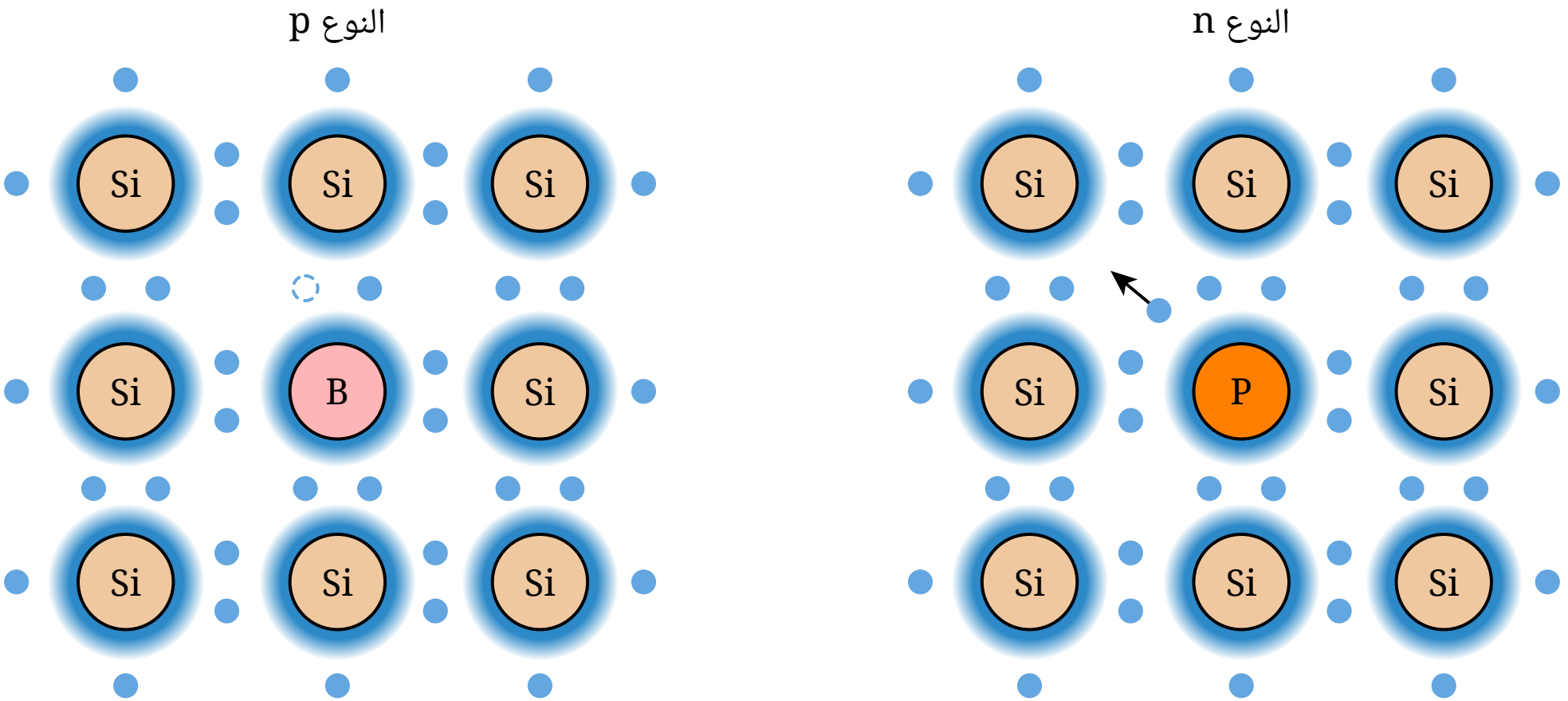
الدايود مكوِّن من مكوِّنات الدوائر الكهربية، وهو يتحكم في اتجاه التيار.

يسمح الدايود بمرور التيار من خلاله في اتجاه واحد، ويمنعه من المرور في الاتجاه المعاكس.

يستخدم الدايود شبه الموصل خواص أشباه الموصلات المُطعَّمة للتحكم في التيار المار عبر الدايود بهذه الطريقة.

مكونات الدايود شبه الموصل

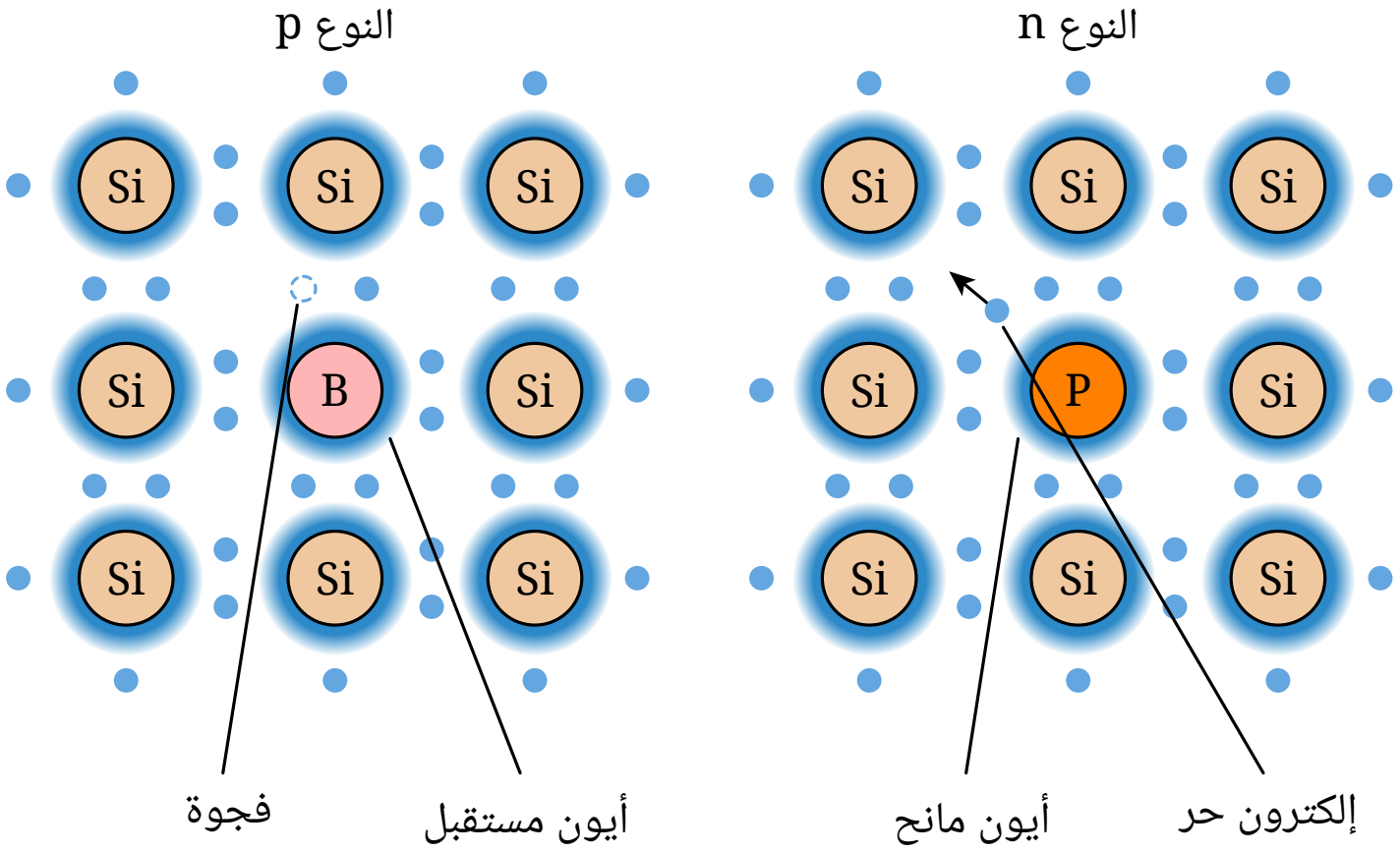
يتكوَّن الدايود من كلا نوعَي أشباه الموصِّلات؛ النوع p والنوع n. يوضِّح الشكل الآتي شبه موصل من النوع p وشبه موصل من النوع n.



مكوِّنات الدايود شبه الموصل (متابعة)

نلاحظ أن أشباه الموصلات من النوع p تحتوي على أيونات مستقبلة وأن أشباه الموصلات من النوع n تحتوي على أيونات مانحة. تذكر أن الأيونات المستقبلة سالبة الشحنة وأن الأيونات المانحة موجبة الشحنة.

نلاحظ أيضًا أن كلا نوعي أشباه الموصلات يحتويان على حاملات شحنة حرة؛ حيث تحتوي أشباه الموصلات من النوع p غالبًا على فجوات ناتجة عن الأيونات المستقبلة وتحتوي أشباه الموصلات من النوع n غالبًا على إلكترونات حرة ناتجة عن الأيونات المانحة.



توزيع الشحنات في مكوِّنات الدايود شبه الموصل

تذكر أن الفجوات موجبة الشحنة نسبيًا وأن الإلكترونات الحرة سالبة الشحنة.

بالإضافة إلى ذلك، تذكر أنه نظرًا إلى أن كل أيون شائب في شبه الموصل المُطعَّم يضيف شحنة حرة واحدة إلى شبه الموصل، التي لها إشارة معاكسة للأيون الشائب، فإن الشحنة الكلية لنوعي أشباه الموصلات النوع p والنوع n تساوي صفرًا. بالنسبة لنوعي أشباه الموصلات، العدد الكلي للإلكترونات يساوي العدد الكلي للبروتونات.

من المهم تذكر أن أزواج الإلكترونات الحرة والفجوات تَنتُج من شبكة ذرات السيليكون بواسطة الإثارة الحرارية، حتى بعد أن تُطعم الشبكة.

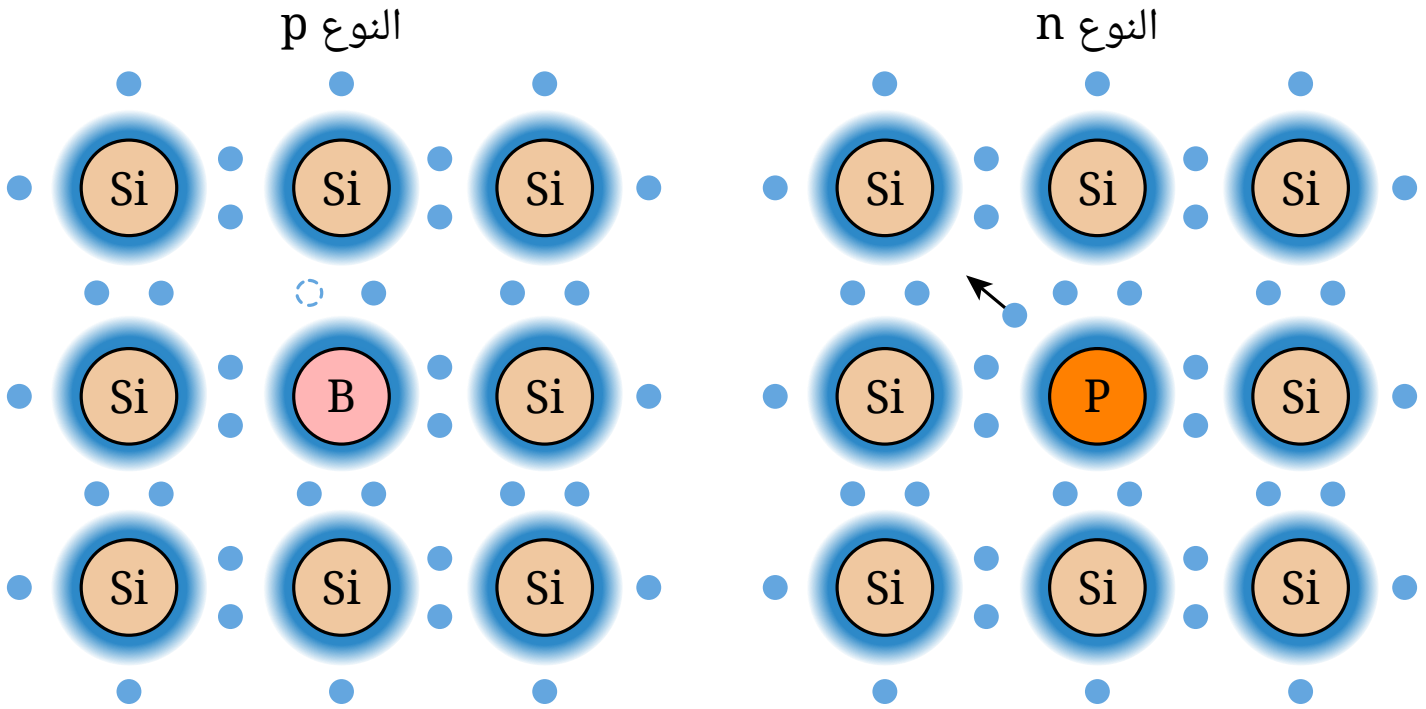
وهكذا، يحتوي شبه الموصل من النوع p على بعض الإلكترونات الحرة الناتجة عن الإثارة الحرارية لذرات شبه الموصل الأصيل الذي طُعِّم ليصبح شبه موصل من النوع p، لكنه يحتوي على فجوات أكثر بكثير من الإلكترونات الحرة.

بالمثل، يحتوي شبه الموصل من النوع n على بعض الفجوات الناتجة عن الإثارة الحرارية لذرات شبه الموصل الأصيل الذي طُعِّم ليصبح شبه موصل من النوع n، لكنه يحتوي على إلكترونات حرة أكثر بكثير من الفجوات الحرة.

تكوين الوصلة الثنائية

يُكوَّن الدايود شبه الموصل عندما يُوصل شبه موصل من النوع p بشبه موصل من النوع n. السطح الفاصل لأشباه الموصلات يُسمى الوصلة الثنائية.

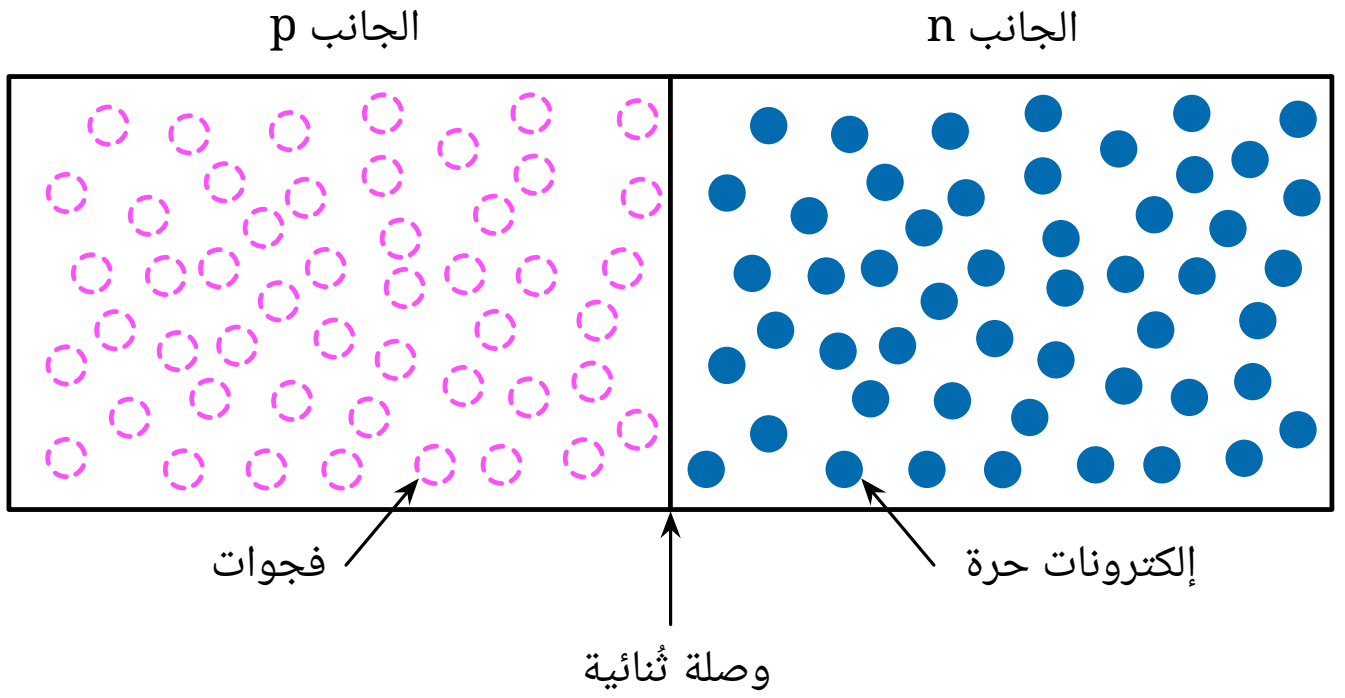
عادة ما يكون تركيز الأيونات الشائبة في أشباه الموصِّلات منخفضًا جدًا.



تمثيل الوصلة الثنائية

للتبسيط، نمثِّل الوصلة الثنائية بتوضيح حاملات الشحنة والإلكترونات الحرة والفجوات فقط. ونستبعد من الشكل ذرات السيليكون والأيونات الشائبة.

دعونا الآن نرَ تأثير تكوين وصلة ثنائية على أشباه الموصلات من النوع p ومن النوع n.



تأثير تكوين وصلة ثنائية على مكونات الدايود شبه الموصل

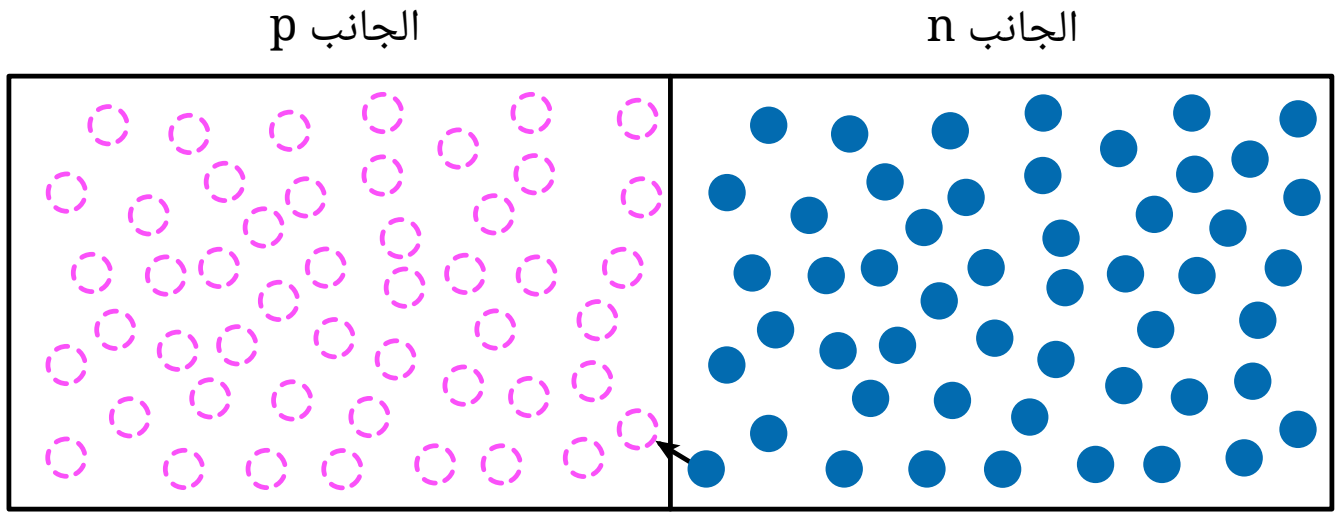
في شبه الموصل من النوع n، تمنح الأيونات الموجبة إلكترونات حرة إلى الشبكة. وتتحرك الإلكترونات الحرة في الفراغات بين أغلفة تكافؤ ذرات الشبكة. في شبه الموصل من النوع n، يكون تركيز الإلكترونات الحرة في هذه الفراغات أكبر من نظيره في شبه الموصل من النوع p. لذلك، تخضع الإلكترونات الحرة في شبه الموصل من النوع n إلى تنافر كُلي يوجه حركتها نحو شبه الموصل من النوع p.

في شبه الموصل من النوع p، تستقبل الأيونات السالبة إلكترونات حرة ومن ثمَّ تخلق فجوات. وتتحرَّك الفجوات فعليًّا من غلاف تكافؤ إحدى ذرات الشبكة إلى غلاف ذرة أخرى في الشبكة. وتحدث حركة فجوة ما عندما يشغل موضع الفجوة في غلاف التكافؤ أحد إلكترونات غلاف التكافؤ. عندما يشغل الإلكترون الموضع الابتدائي للفجوة، ينتج مجددًا فجوة في الموضع السابق لهذا الإلكترون.

تأثير تكوين وصلة ثنائية على مكونات الدايود شبه الموصل (متابعة)

الحركة الكلية للإلكترونات الحرة عبر الوصلة الثنائية والحركة الكلية للفجوات في الاتجاه المعاكس عبر الوصلة هُما مثالان على الحركة من مناطق ذات تركيز أكبر إلى مناطق ذات تركيز أقل. إنهما مثالان على الانتشار.

يوضِّح الشكل الآتي المنطقة القريبة من الوصلة الثنائية بعد توصيل شبه موصلين اثنين مطعمين مباشرة.

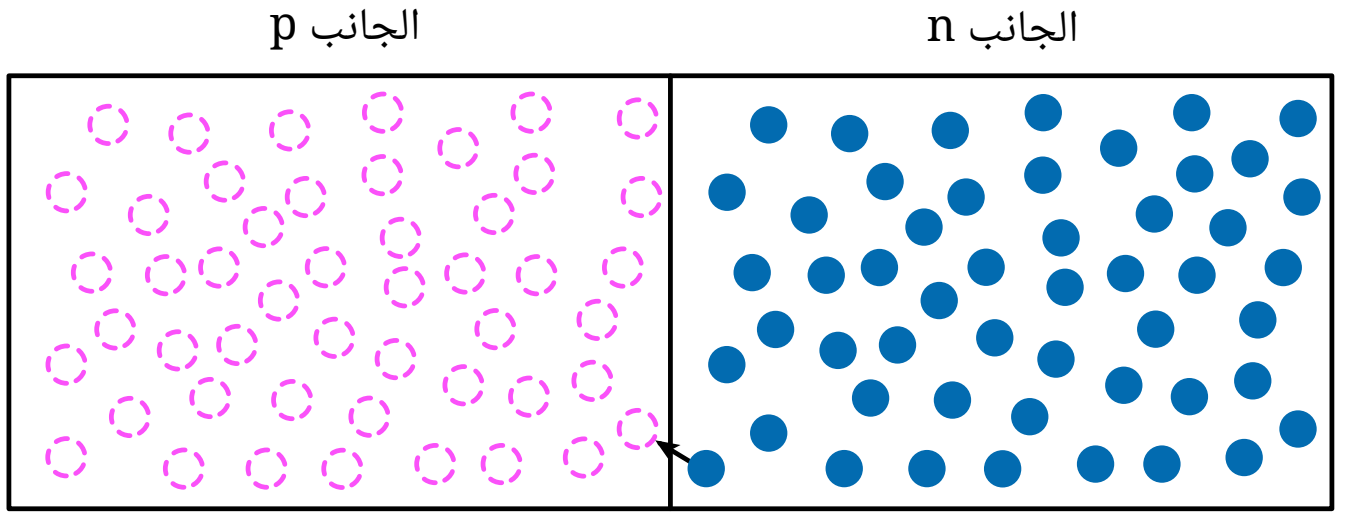


تأثير تكوين وصلة ثنائية على مكونات الدايود شبه الموصل (متابعة)

نلاحظ أن الإلكترونات الحرة تنتشر من شبه موصل النوع n إلى شبه موصل النوع p.

نلاحظ أيضًا أن الفجوات تنتشر من شبه موصل النوع p إلى شبه موصل النوع n.

فإذا اقترب إلكترون حر بالقدر الكافي من ذرة تحتوي على فجوة، فقد يملأ الإلكترون الحر هذه الفجوة؛ ما يؤدي إلى إلى حدوث التئام.



التئام الإلكترونات الحرة مع الفجوات في وصلة ثنائية

إن الفرق في التركيز بين المنطقة n والمنطقة p يؤدي إلى انتشار الإلكترونات إلى المنطقة p وانتشار الفجوات إلى المنطقة n.

يشكِّل نزوح الشحنات هذا تيارًا كهربيًّا، يسمى تيار الانتشار.

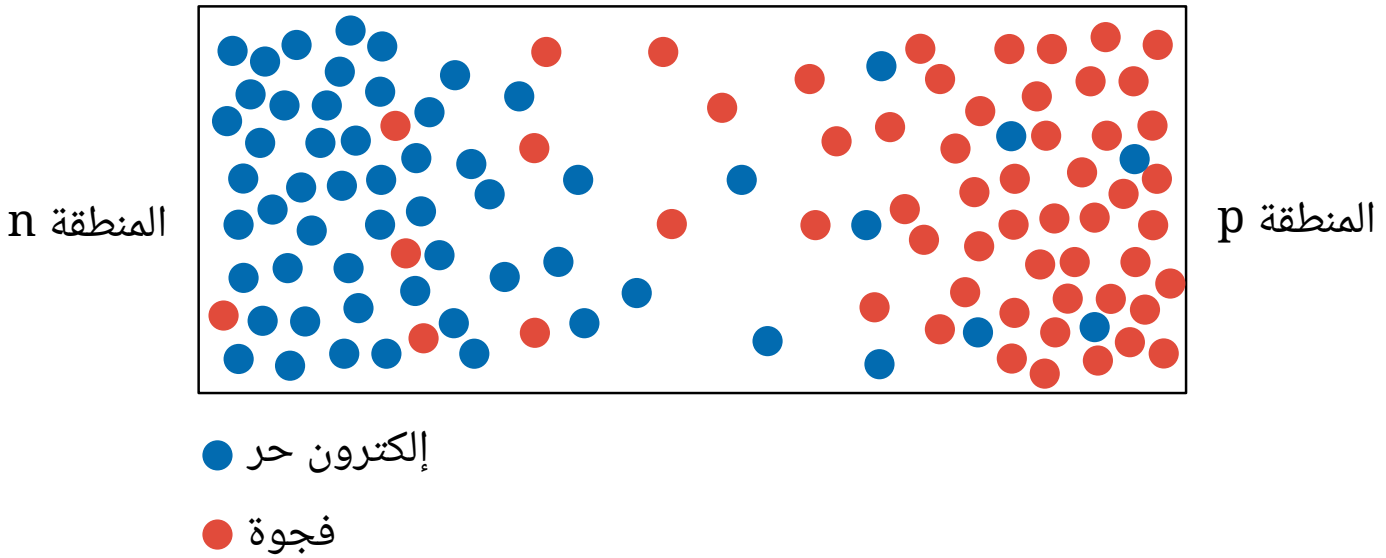
عندما تنتشر الإلكترونات إلى المنطقة p، تواجه الإلكترونات المزيد من الفجوات في المنطقة؛ ومن ثم، يلتئم العديد من الإلكترونات مع الفجوات المتاحة، لذلك يقل تركيز الفجوات بالقرب من الوصلة.

ينطبق الأمر نفسه على الفجوات المنتشرة إلى المنطقة n، إذ يلتئم العديد منها مع الإلكترونات المتاحة في المنطقة n، لذلك يقل تركيز الإلكترونات بالقرب من الوصلة.

إذن، يقل تركيز كل من n وp بالقرب من الوصلة.

مثال ١: فهْم الوصلات الثنائية

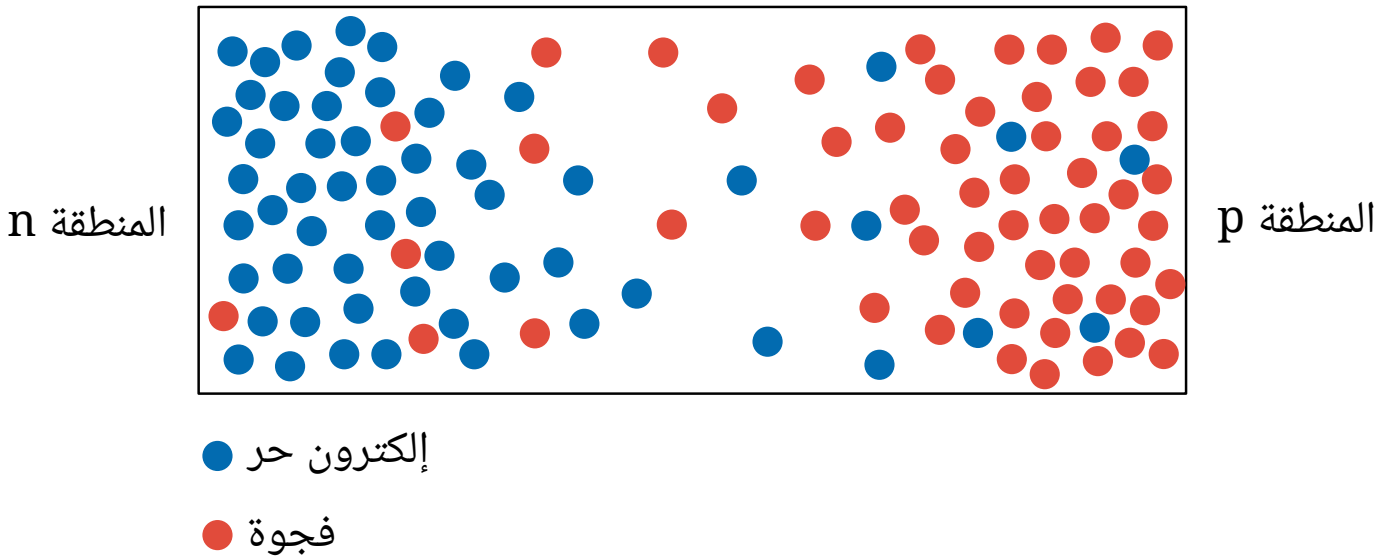
في الوصلة الثُّنائية، يمكن أن تنتشر كلٌّ من الإلكترونات الحرة والفجوات عبر الوصلة، كما هو موضَّح بالشكل.



مثال ١ (متابعة)

الجزء الأول

باتجاه أيٍّ جانب من جانبَي الوصلة يكون اتجاه محصِّلة تيار الانتشار؟

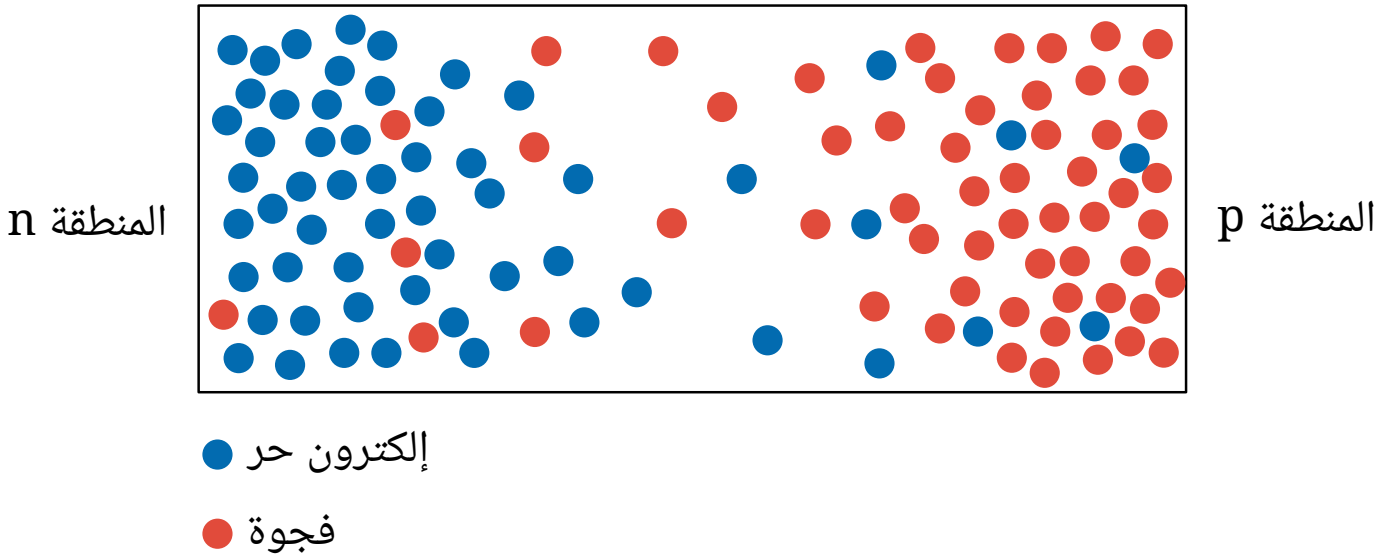


مثال ١ (متابعة)

الحل

في أي دايود شبه موصل، يحدث انتشار لكل من الإلكترونات الحرة والفجوات. وتنتشر الإلكترونات الحرة من حيث يكون تركيزها أكبر إلى حيث يكون تركيزها أقل، وينطبق الأمر نفسه على الفجوات.

عند تأمل الشكل، نلاحظ أن الإلكترونات الحرة ستنتشر تجاه المنطقة p وأن الفجوات ستنتشر تجاه المنطقة n.

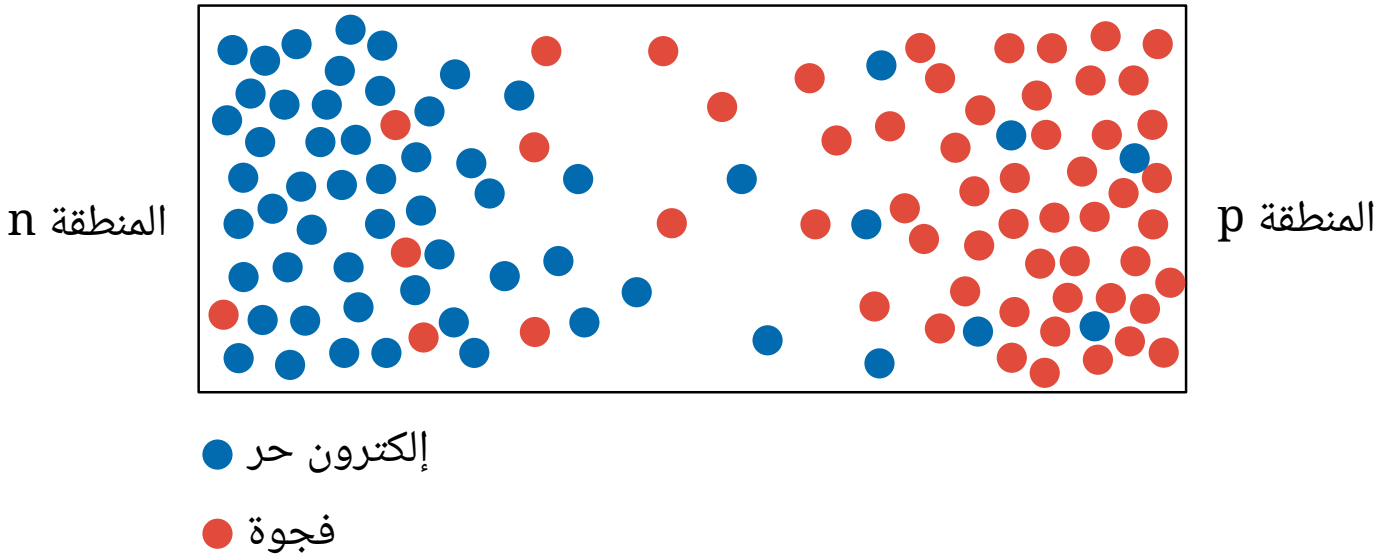


مثال ١ (متابعة)

تذكر أن التيار يُعرَّف بأنه التدفُّق الكلي للشحنة الموجبة.

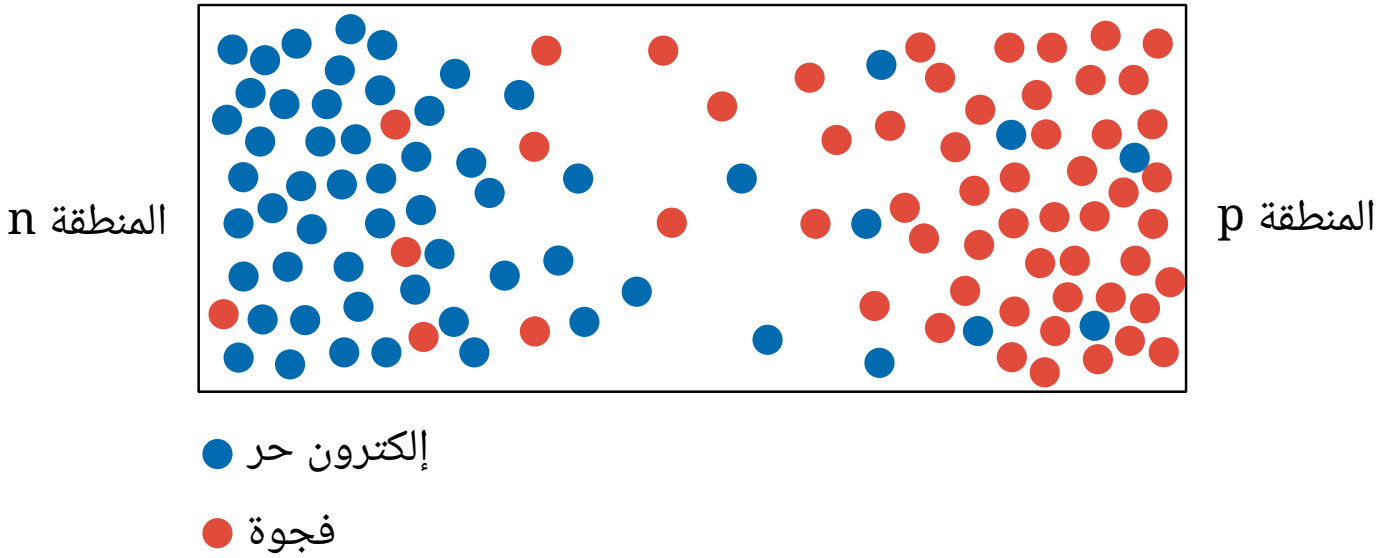
والفجوات موجبة الشحنة نسبيًّا وتنتشر تجاه المنطقة n.

أما الإلكترونات الحرة، السالبة الشحنة، فتنتشر بعيدًا عن المنطقة n. تدفق شحنة سالبة بعيدًا عن المنطقة n يكافئ تدفق شحنة موجبة تجاه المنطقة n.



مثال ١ (متابعة)

نلاحظ إذن أن انتشار الفجوات والإلكترونات الحرة يزيد الشحنة الموجبة في المنطقة n. لذلك، يكون الانتشار الكلي للتيار في اتجاه المنطقة n.



مثال ١ (متابعة)

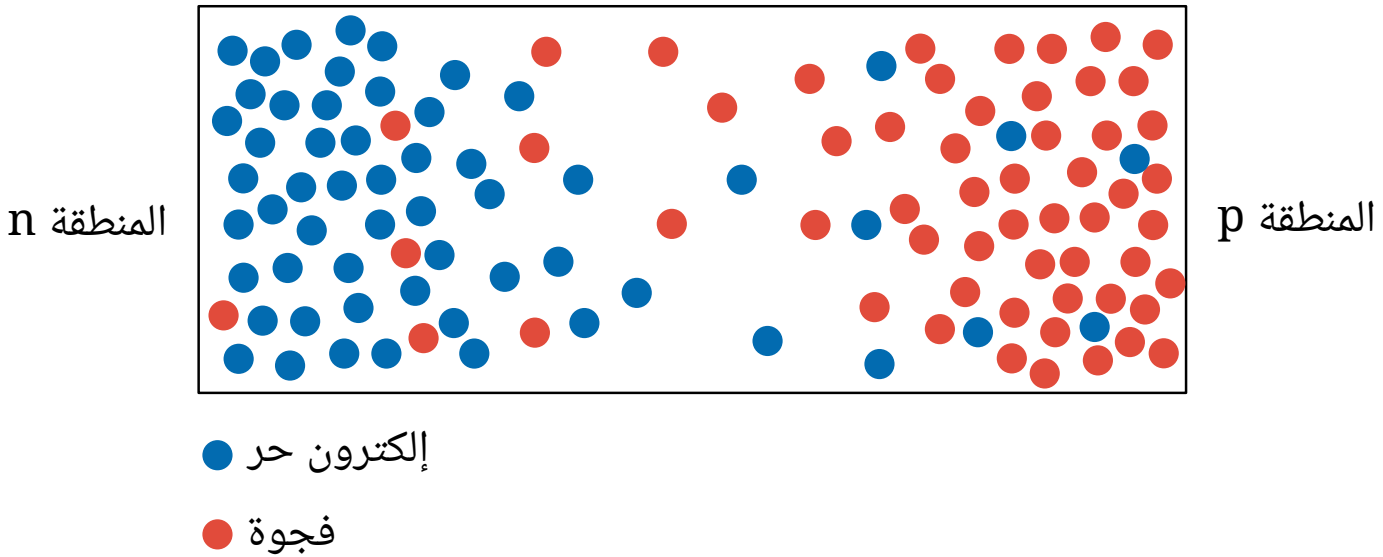
الجزء الثاني

أيُّ المناطق الآتية يكون فيها تركيز الإلكترونات الحرة أكبر ما يمكن؟

أ. الجانب p

ب. عند منتصف الوصلة

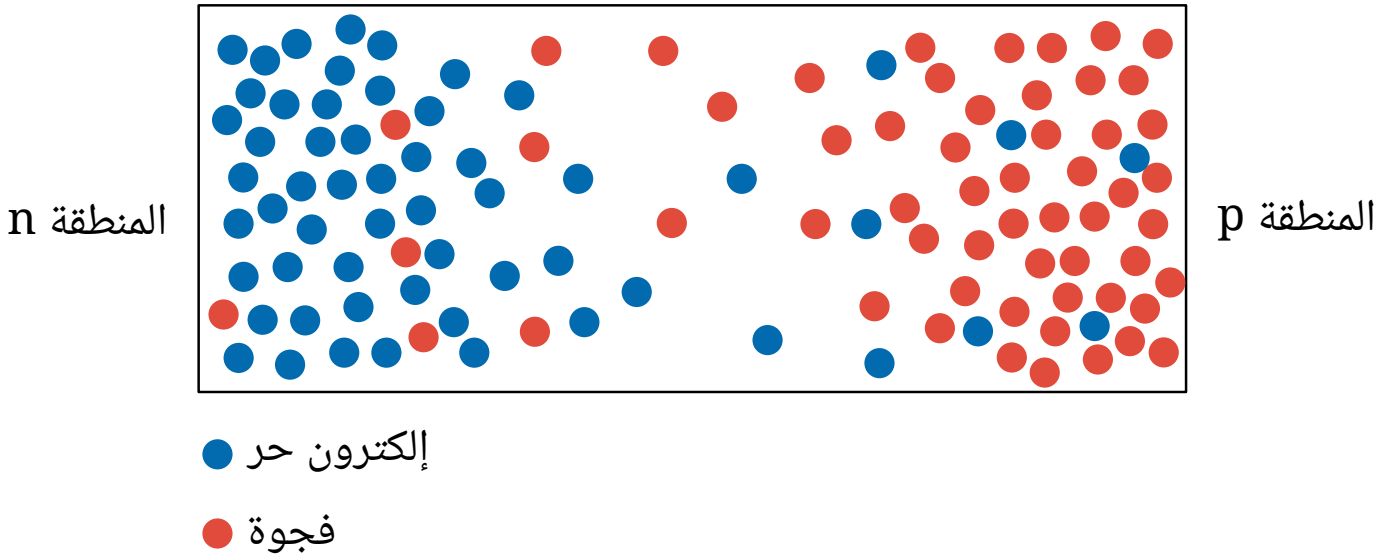
ج. الجانب n



مثال ١ (متابعة)

الحل

عند تأمل الشكل، نلاحظ أنه كلما اتجهنا إلى يسار الوصلة الثنائية، زاد وجود الإلكترونات الحرة. الجانب الأيسر من الوصلة الثنائية هو الجانب n. إذن، يوجد أكبر تركيز للإلكترونات الحرة في الجانب n. إذن، الإجابة الصحيحة هي الخيار ج.



مثال ١ (متابعة)

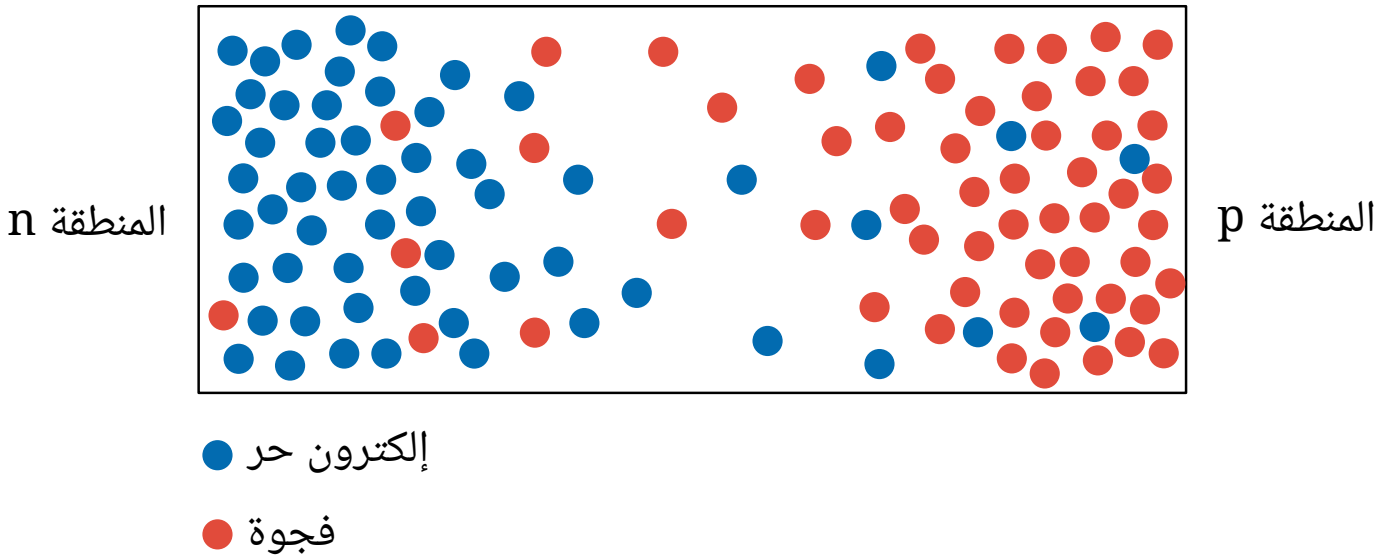
الجزء الثالث

أيُّ المناطق الآتية يكون فيها تركيز الفجوات أكبر ما يمكن؟

أ. الجانب p

ب. عند منتصف الوصلة

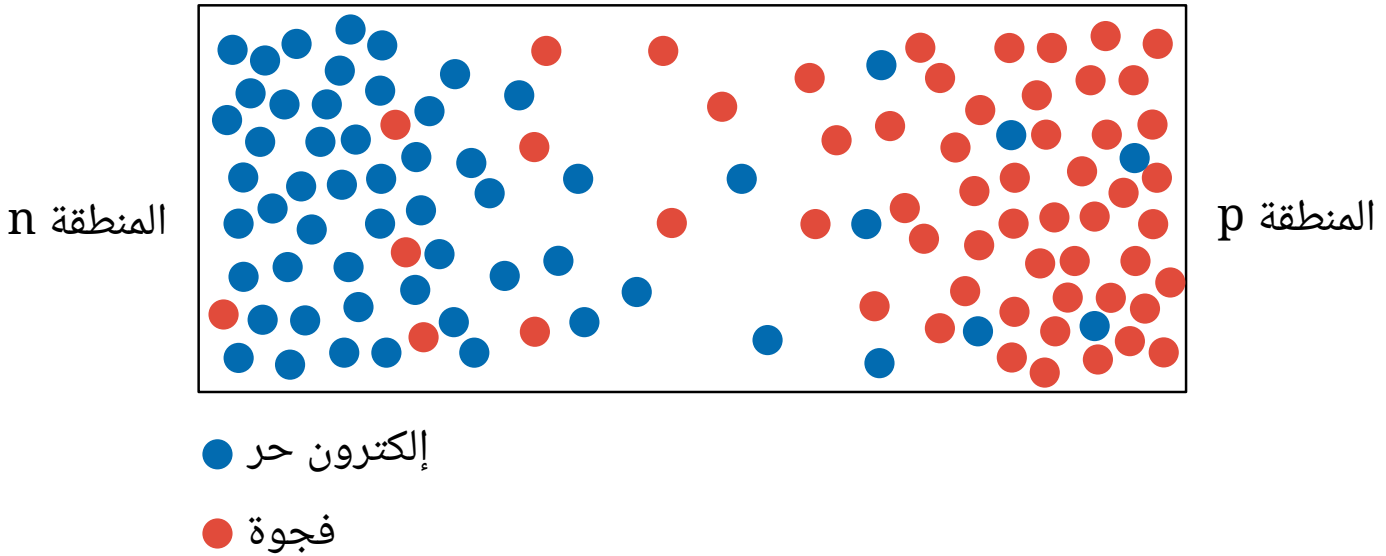
ج. الجانب n



مثال ١ (متابعة)

الحل

عند تأمل الشكل، نلاحظ أنه كلما اتجهنا إلى يمين الوصلة الثنائية، زاد وجود الفجوات. الجانب الأيمن من الوصلة الثنائية هو الجانب p. حينئذٍ يكون التركيز الأكبر للفجوات في الجانب p. إذن، الإجابة الصحيحة هي الخيار أ.



مثال ١ (متابعة)

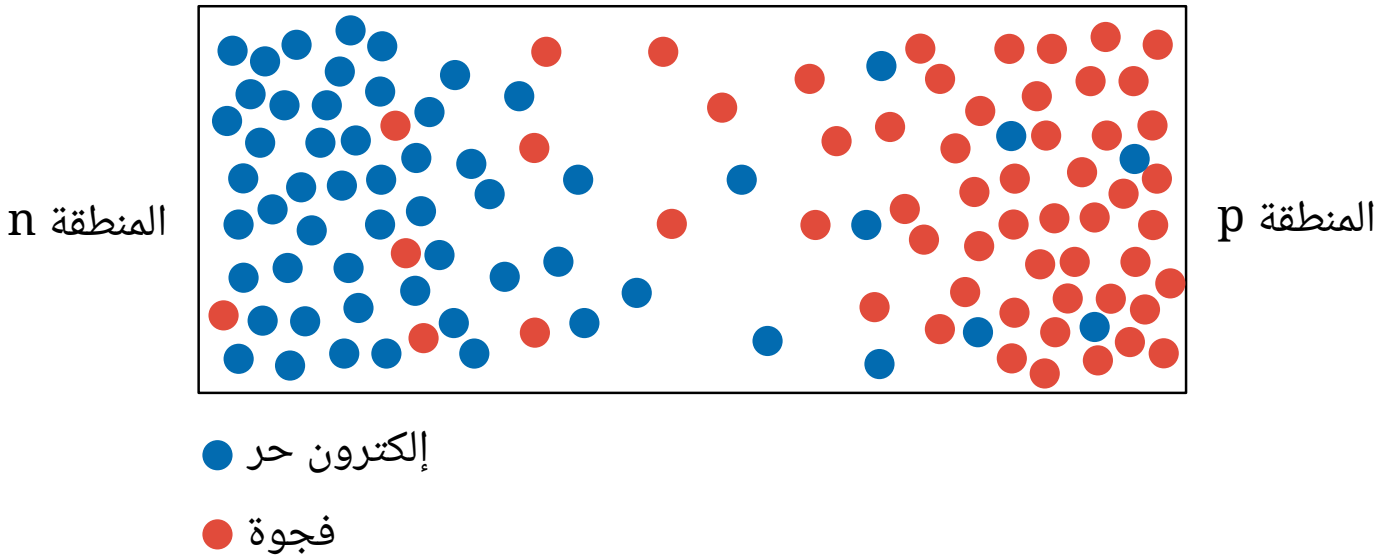
الجزء الرابع

أيُّ المناطق الآتية يكون فيها تركيز كلٍّ من الإلكترونات الحرة والفجوات أقل ما يمكن؟

أ. عند منتصف الوصلة

ب. الجانب p

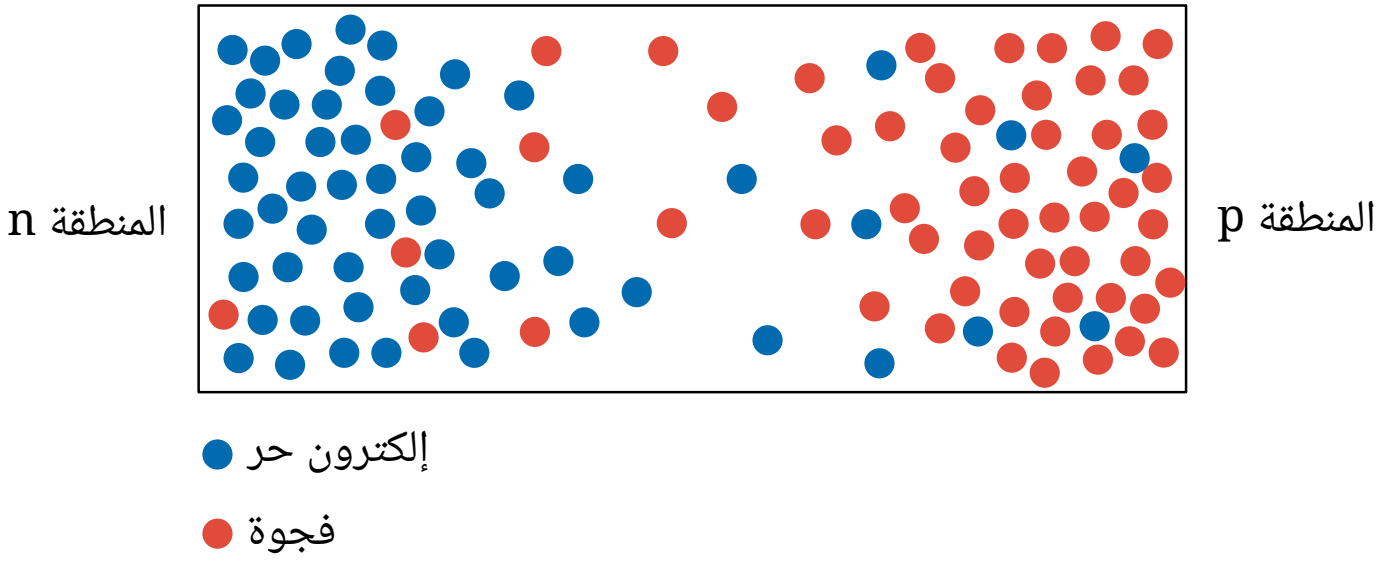
ج. الجانب n



مثال ١ (متابعة)

الحل

عند تأمل الشكل، نلاحظ أنه يوجد إلكترونات حرة أقل ما يمكن وفجوات أقل ما يمكن عند منتصف الوصلة. إذن، الخيار أ هو الخيار الصحيح.



تأثير تيار الانتشار على الوصلة الثنائية

بينما يواصل تيار الانتشار مروره عبر الوصلة الثنائية، تتوالى التئامات الإلكترونات الحرة والفجوات المنتشرة.

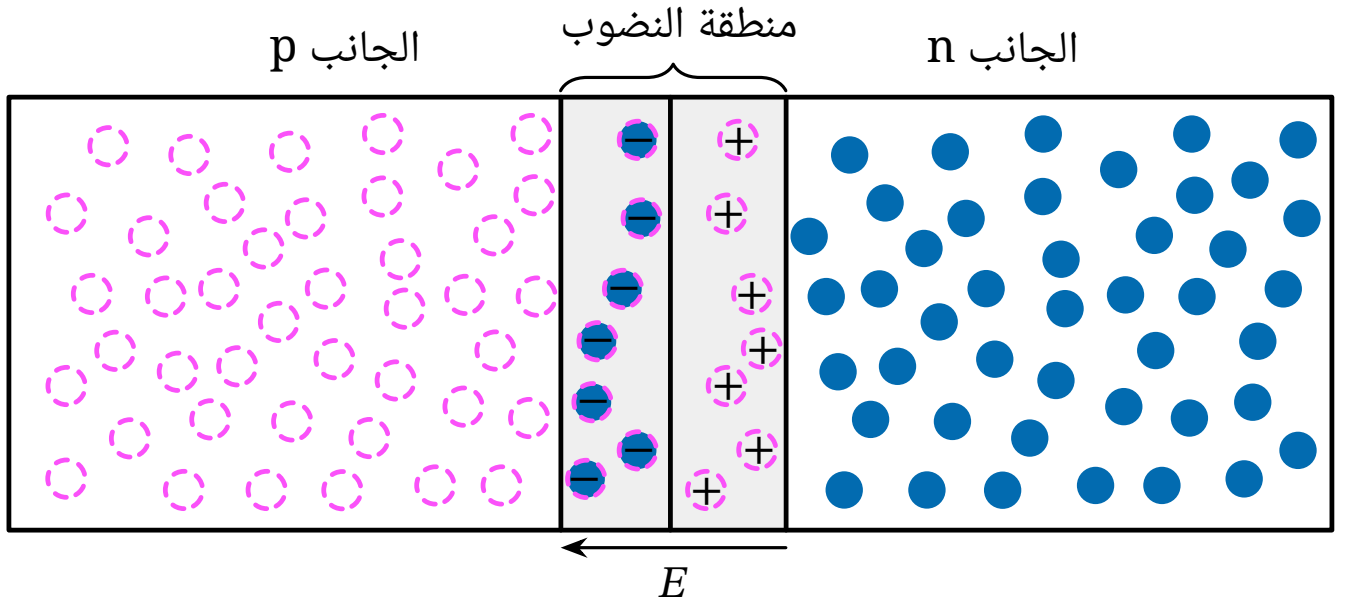
تميل الالتئامات الناتجة عن تيار الانتشار إلى إنتاج منطقة حول الوصلة الثنائية توجد بها باستمرار شحنات حرة أقل من بقية الدايود.

يطلق على هذه المنطقة منطقة النضوب.

يمثل الشكل الموضح في الشريحة الآتية منطقة نضوب موجودة حول وصلة ثنائية.

منطقة النضوب

في المنطقة الموضَّحة، انتشرت شحنات حرة من مواضعها الأصلية في الاتجاهين عبر الوصلة الثنائية. وقد حدثت التئامات في جانبي الوصلة الثنائية.



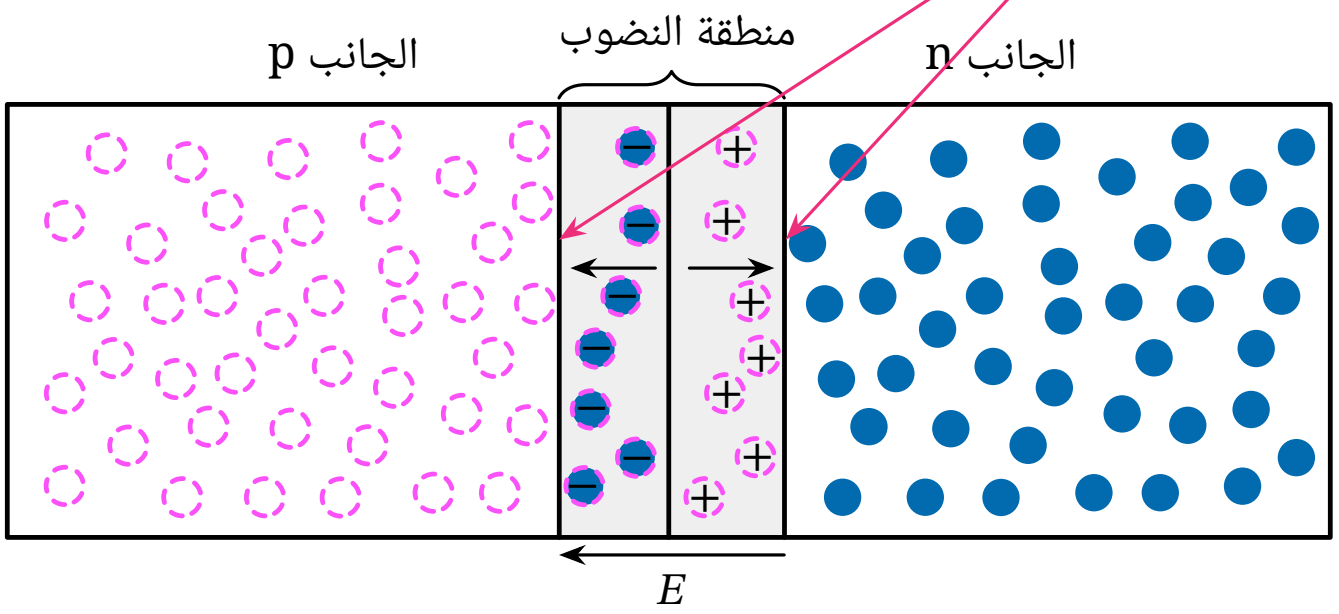
منطقة النضوب (متابعة)

نلاحظ بوضوح حدوث التئامات أكثر عند مركز منطقة النضوب مقارنة بحافتيها. يوجد مركز منطقة النضوب حيث يكون تركيزا الإلكترونات الحرة المنتشرة والفجوات المنتشرة أقرب ما يمكن لأن يكونا متساويين.

بعد أن تعبر شحنة حرة الوصلة الثنائية، كلما طالت المسافة التي تتحرَّكها الشحنة الحرة بعيدًا عن الوصلة، زاد تركيز الشحنات الحرة المعاكسة. هذا يعني أن الشحنة الحرة عاجلًا أو آجلًا ستلتئم مع شحنة حرة معاكسة، وكلما تحرَّكت الشحنة الحرة داخل شبه الموصل الذي يحتوي غالبًا على شحنات حرة ذات إشارة معاكسة، زادت احتمالية التئام الشحنة الحرة.

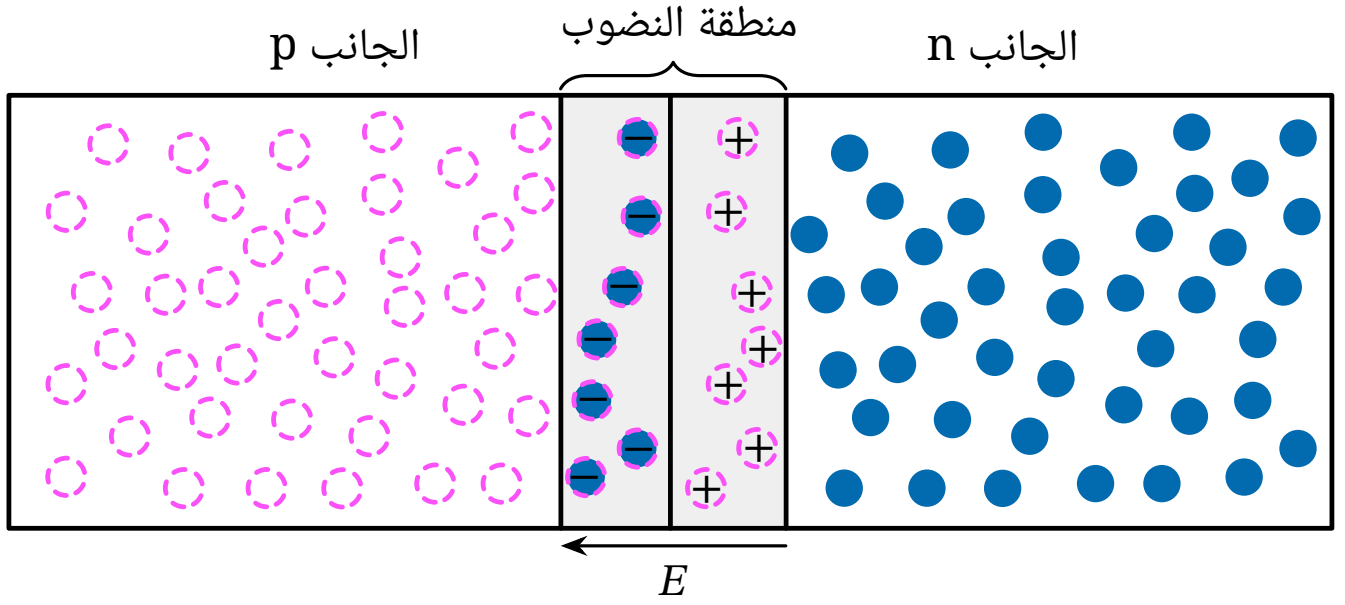
منطقة النضوب (متابعة)

في الشكل الموضح، هناك مسافة من الوصلة الثنائية لا تصل أية شحنة حرة إلى أبعد منها دون أن تلتئم مجددًا. هذه المسافة تمثل المسافة من مركز منطقة النضوب إلى حافة منطقة النضوب في الشكل.



منطقة النضوب (متابعة)

سنرى فيما بعد في هذا العرض التقديمي أن التعريف الأنسب لحافتي منطقة النضوب يعتمد على حركة الشحنات الحرة داخل منطقة النضوب أكثر منه على معدَّل الالتئام عند مسافة معيَّنة من الوصلة الثنائية.

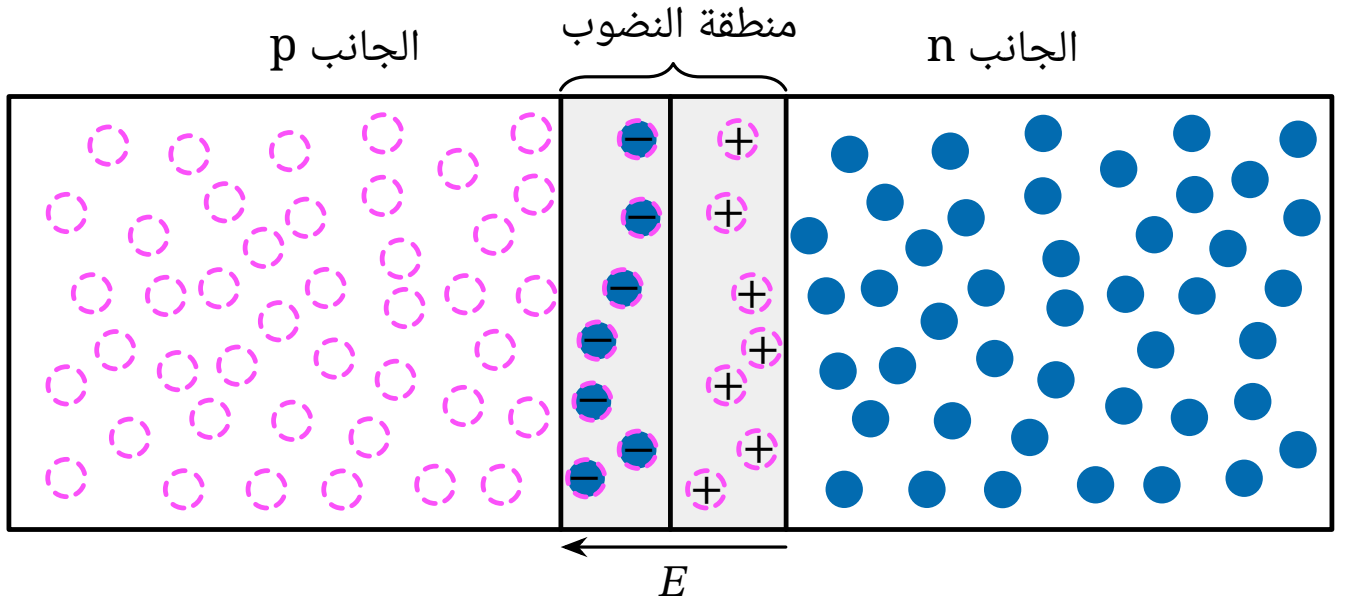


منطقة النضوب (متابعة)

ينتج عن التئام الإلكترونات مع الفجوات تأثير مثير آخر.

تترك الإلكترونات الملتئمة خلفها أيون موجب مانح غير محايد في الجانب n، وتترك الفجوات الملتئمة خلفها أيون سالب مستقبل غير محايد في الجانب p.

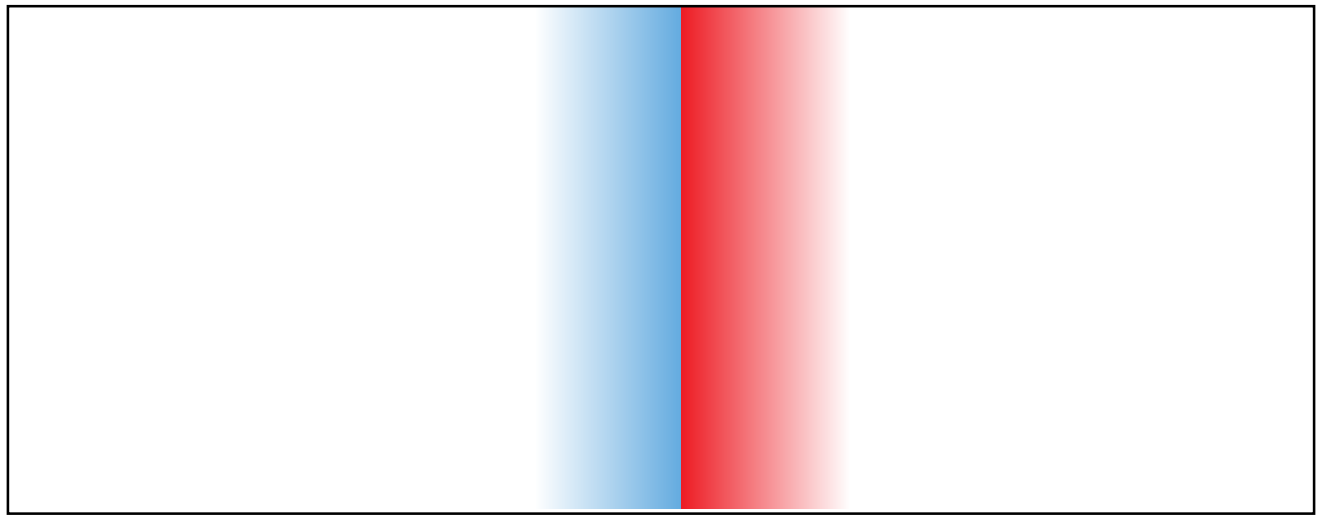
وهذا يؤدي إلى منطقة ناضبة من أية شحنات حرة وإلى وجود أيونات موجبة فقط في الجانب n وأيونات سالبة فقط في الجانب p، الأمر الذي يكوِّن منطقة النضوب.



تمثيل منطقة النضوب حول وصلة ثنائية

يمكن أن نلاحظ أن هناك تركيز للأيونات الموجبة الشحنة في يمين الوصلة الثنائية وتركيز للأيونات السالبة الشحنة في يسار الوصلة الثنائية. يمكن أن نلاحظ أيضًا أن تركيزي الأيونات على جانبي الوصلة الثنائية أكبر ما يمكن عند مركز الوصلة، ويقل كلٌ منهما كلما بعُدنا عن مركز الوصلة.

يمكن أن يُمثَّل توزيع الشحنات في المنطقة دون توضيح الأيونات المفردة، بدلًا من ذلك يُوضَّح تركيز الشحنة بواسطة شدة اللون الذي يُمثِّل الشحنة. ويوضِّح الشكل الآتي ذلك.

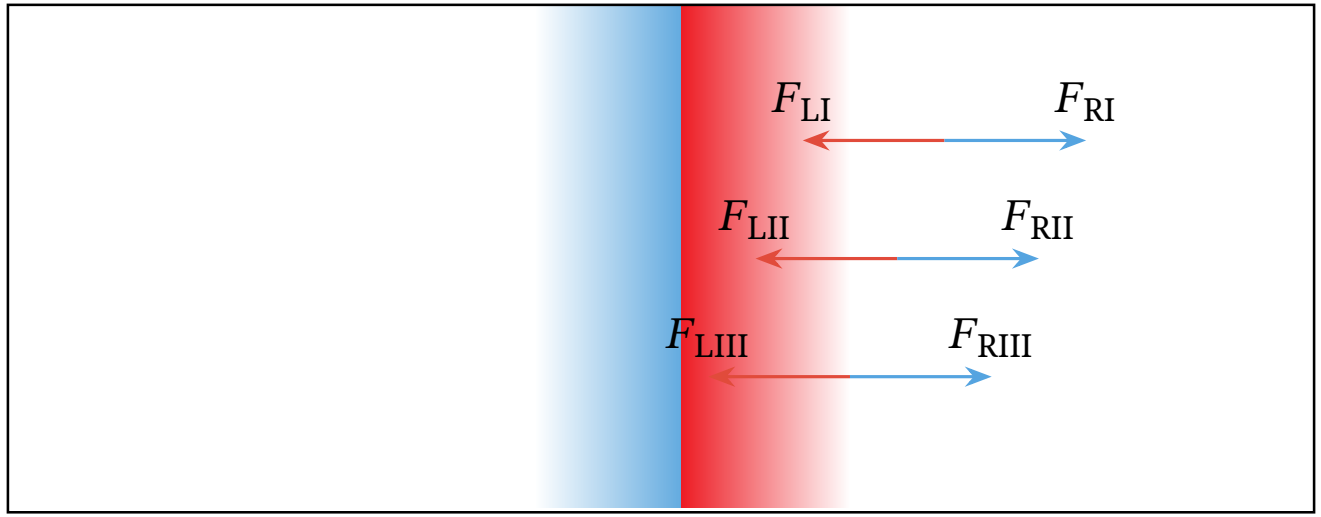


تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة

يمكن أن نفكر الآن في تأثير تركيزيْ الشحنة قُرب مركز الوصلة الثنائية على حركة الشحنات الحرة التي تقترب من مركز الوصلة الثنائية.

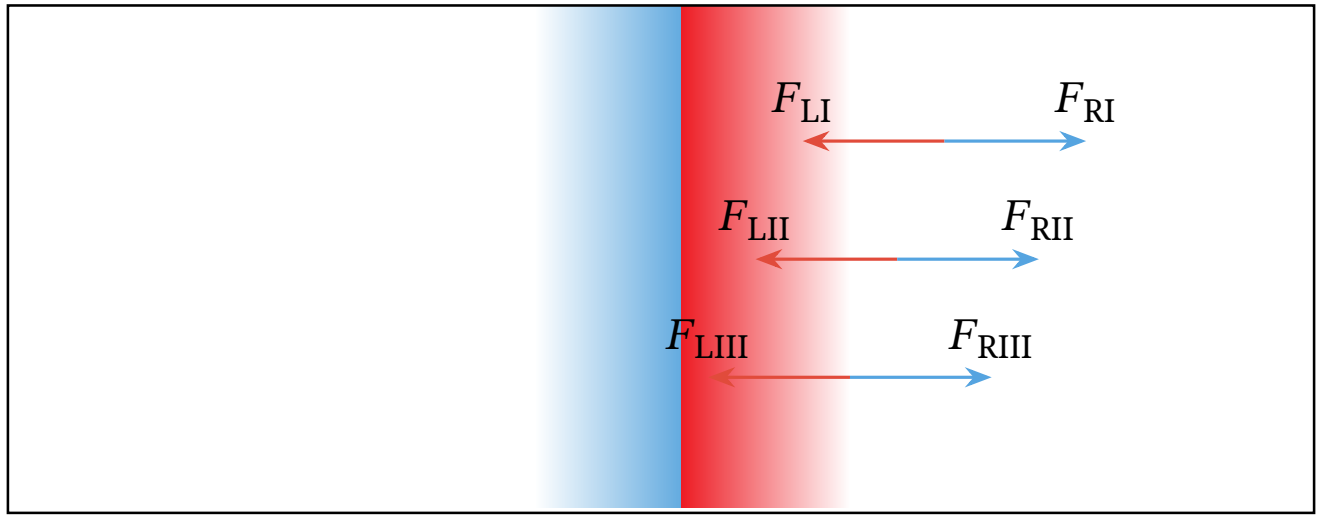
لنتناول شحنة حرة في شبه الموصِّل ذي النوع n وهي تقترب من الوصلة الثنائية.

يوضِّح الشكل الآتي إلكترونًا حرًّا عند المواضع I، II، III في دايود شبه موصل.



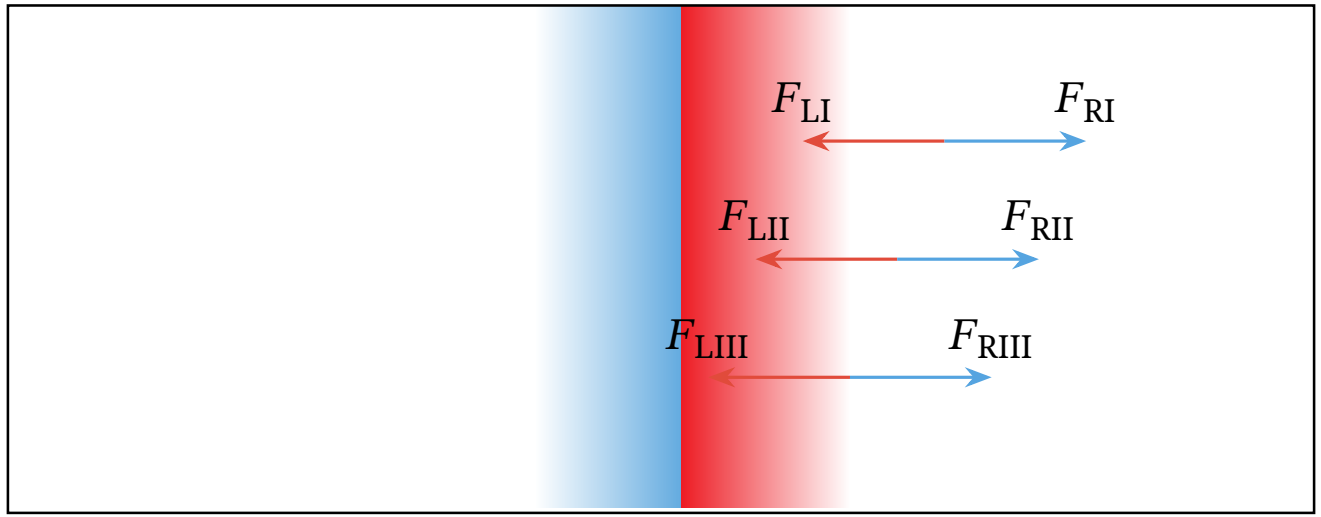
تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

عند كل موضع، تؤثر القوة F_L إلى اليسار والقوة F_R إلى اليمين. تنتج القوة F_L عن القوة الكهروسكونية الجاذبة التي تبذلها الأيونات الموجبة على الإلكترون الحر والموجودة على يساره. أما F_R، فهي تنتج جزئيًا عن القوة الكهروسكونية الطاردة التي تبذلها الأيونات السالبة على الإلكترون الحر، وتنتج جزئيًا عن القوة الكهروسكونية الجاذبة التي تبذلها الأيونات الموجبة على الإلكترون الحر والموجودة على يمينه.



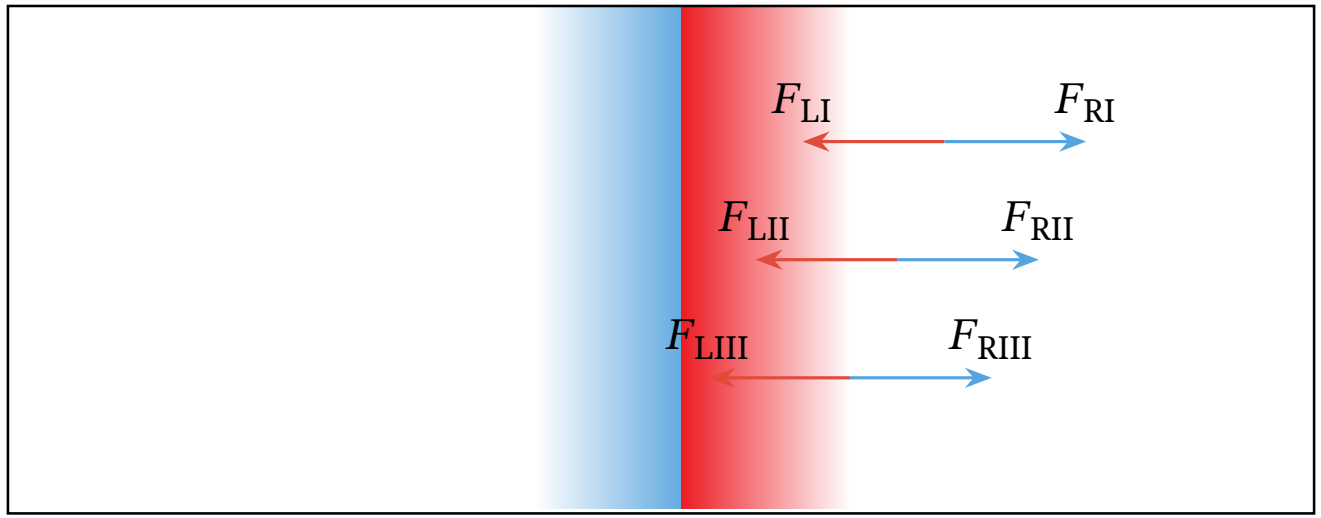
تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

عندما يقترب الإلكترون الحُر من مركز منطقة النضوب، يمر الإلكترون الحر خلال نقاط متتالية تزيد فيها القوتان F_L وF_R. يتحرك الإلكترون الحر دائمًا تجاه تركيز الأيونات الموجبة الأكبر ويبتعد عن تركيز الأيونات السالبة الأكبر.



تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

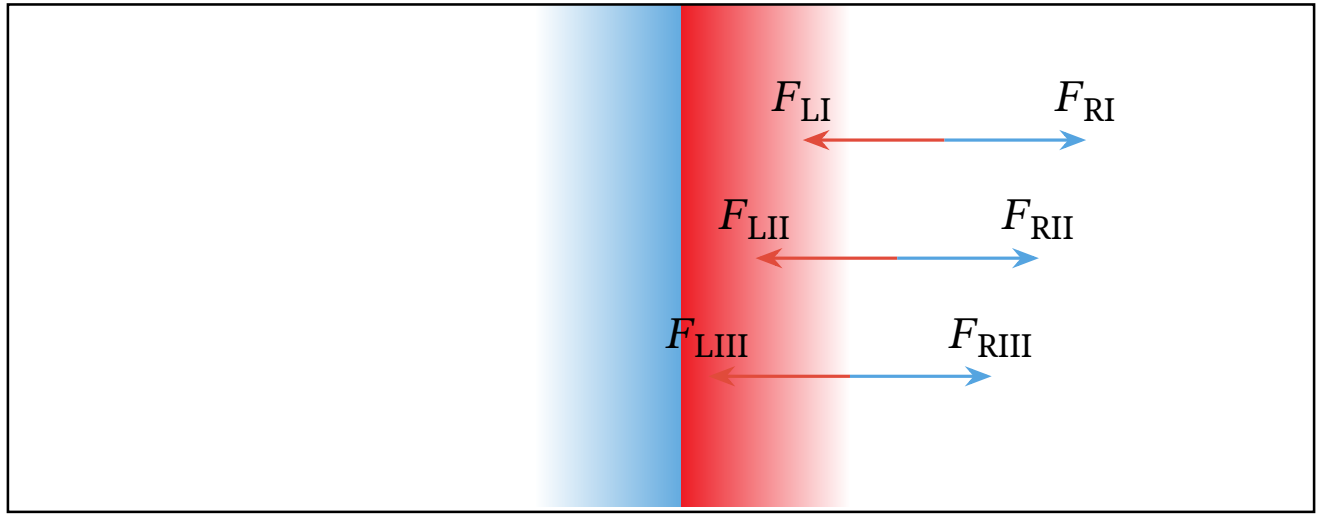
القوة الكهروسكونية الكلية المبذولة على الإلكترون الحر هي مجموع القوى التي تبذلها الأيونات الموجبة والقوى التي تبذلها الأيونات السالبة. تعتمد مقادير هذه القوى على كيفية تغيُّر كثافة الشحنات الناتجة عن الأيونات الموجبة والسالبة مع تغيُّر المسافة التي تبعُدها عن الإلكترون الحر. تولد كثافة الشحنة الأكبر على بُعد مسافة أصغر قوةً أكبر.



تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

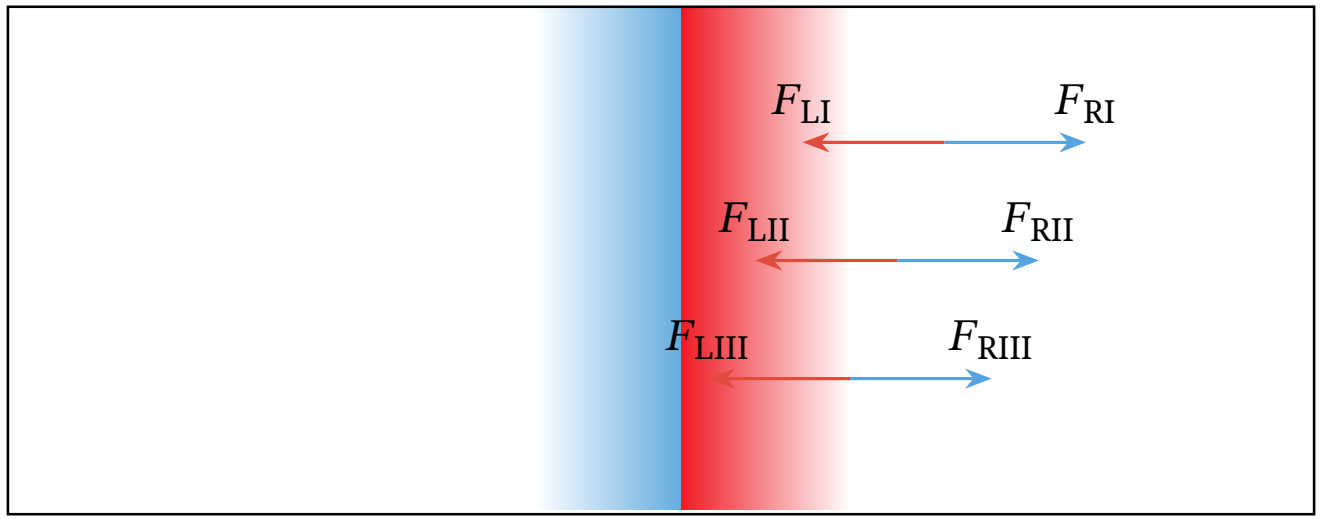
يمكن أن نلاحظ أن مقدر القوة المؤثرة على الإلكترون الحُر، والناتجة عن توزيع الشُحنة السالبة، سيكون أكبر عند الموضع III منه عند الموضع II، وسيكون أكبر عند الموضع II منه عند الموضع I. تؤثر كل هذه القوى في اتجاه اليمين لأن الإلكترون يوجد على يمين توزيع الشحنة السالبة عند كل هذه المواضع.

ولكن بينما يتحرَّك الإلكترون الحُر باتجاه مركز منطقة النضوب، فإن توزيع الشُحنة الموجبة حول الإلكترون الحُر يصبح أكثر تماثلًا.



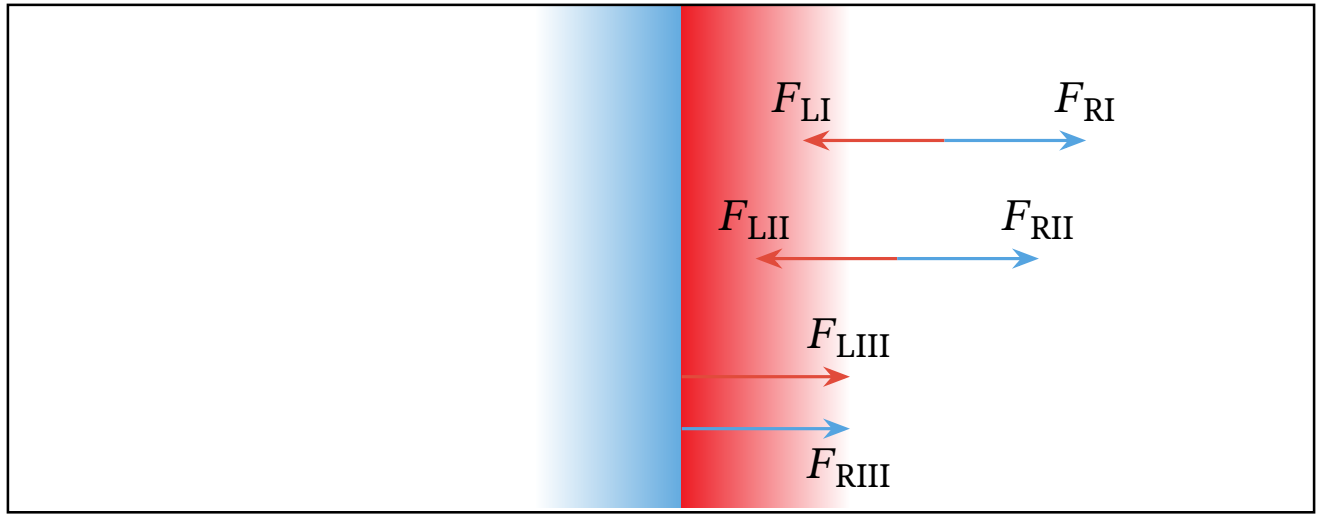
تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

في كل المواضع التي يشغلها الإلكترون الحر، تكون القوة التي تبذلها الشحنات الموجبة على الإلكترون الحر في اتجاه اليسار أكبر من القوة التي تبذلها الشحنات الموجبة على الإلكترون الحر في اتجاه اليمين. ولكن، كلما صار موضع الإلكترون الحر أبعد في اتجاه اليسار، صغر الفرق بين القوة المؤثرة على الإلكترون الحر في اتجاه اليسار وفي اتجاه اليمين والناتجة عن الشحنة الموجبة.



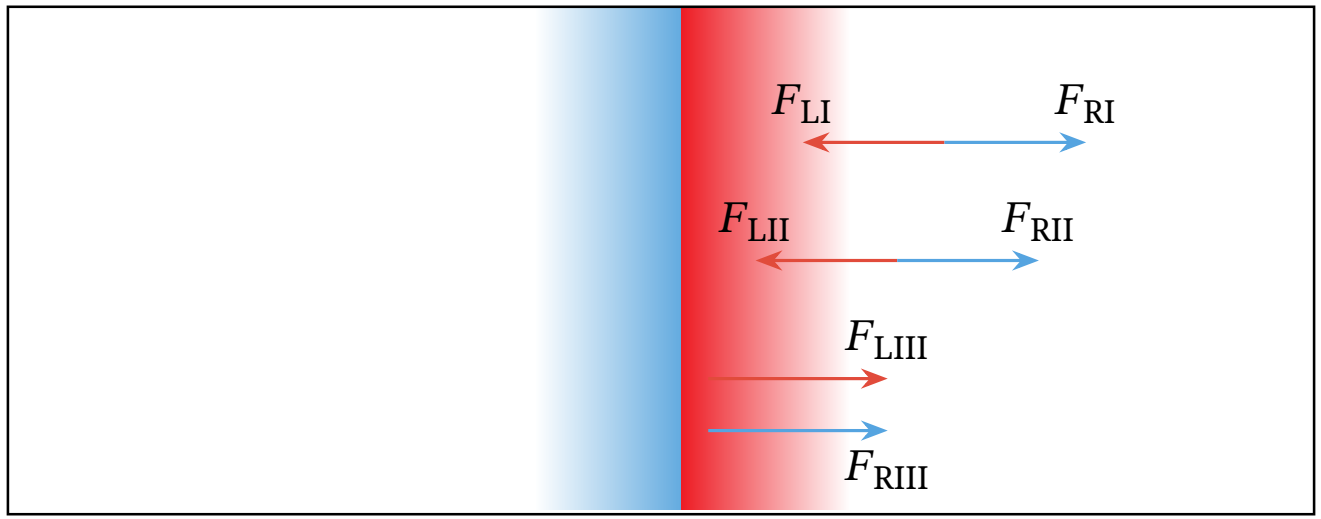
تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

إذا فكرنا في القوى التي تؤثر على الإلكترون الحر عند مركز منطقة النضوب، فسنلاحظ أنه عند مركز منطقة النضوب يكون تركيزا الأيونات الموجبة والأيونات السالبة متساويين على بُعد مسافات متساوية من الإلكترون الحر. عند مركز منطقة النضوب، تبذل الأيونات الموجبة قوة على الإلكترون الحر في اتجاه اليمين، في نفس اتجاه القوة التي تبذلها الأيونات السالبة على الإلكترون الحر. وتؤثر القوى المبذولة على الإلكترون الحُر حينما يقترب من مركز الوصلة الثنائية بحيث تجعل الإلكترون الحُر يتسارع بعيدًا عن مركز منطقة النضوب، وفي اتجاه شبه الموصِّل ذي النوع n.



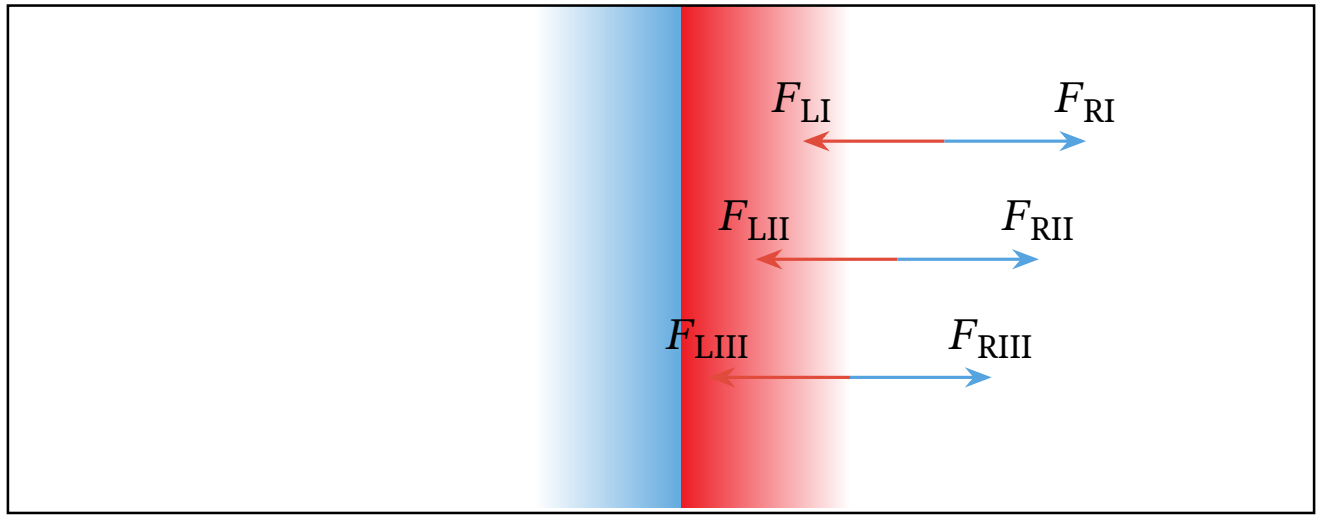
تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

لن يكون اتجاه القوة الكلية المؤثرة على الإلكترون الحُر بعيدًا عن مركز منطقة النضوب وفي اتجاه شبه الموصل ذي النوع n بالنسبة لإلكترون عند مركز منطقة النضوب فقط. بل إن هناك منطقة على يمين مركز منطقة النضوب يكون فيها أيضًا اتجاه القوة الكلية المؤثرة على الإلكترون الحر بعيدًا عن مركز منطقة النضوب وفي اتجاه شبه الموصل ذي النوع n.



تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

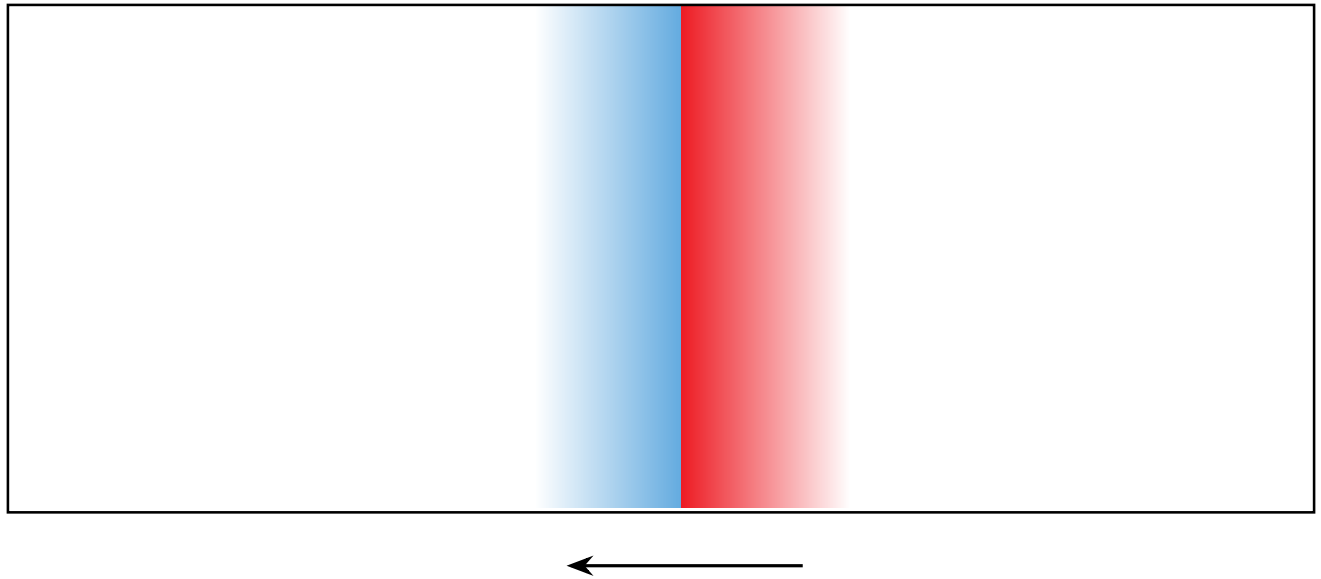
لنتذكر الآن أنه قد ذُكر أن التعريف الأنسب لحافة منطقة النضوب في دايود شبه موصل يعتمد على تأثير حركة الشحنات الحرة في منطقة النضوب.



تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

المجال الكهربي في أي مكان خارج منطقة النضوب يساوي صفرًا.

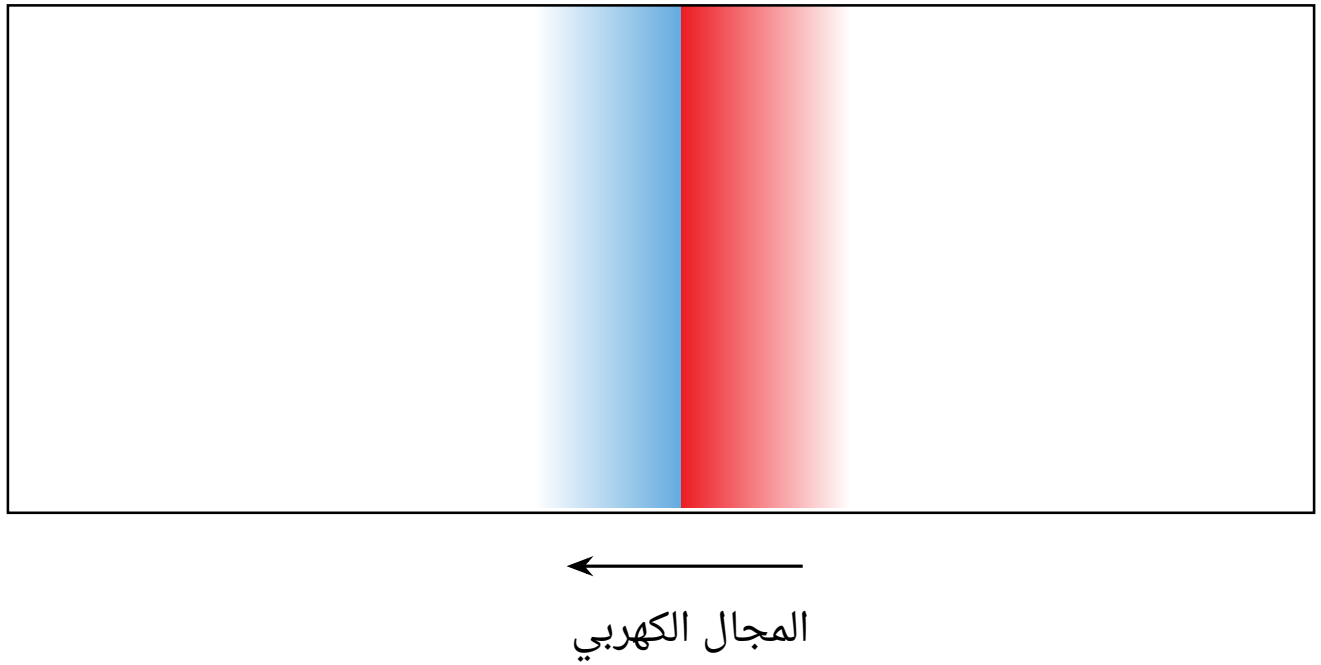
في منطقة النضوب، يؤثر المجال الكهربي في اتجاه اليسار. سوف ينتج هذا المجال الكهربي قوة في اتجاه اليسار على الشحنات الموجبة وقوة في اتجاه اليمين على الشحنات السالبة داخل المنطقة.



تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

لذلك يؤثر المجال الكهربي في منطقة نضوب دايود شبه موصل على الشحنات الحرة في المنطقة لكي:

- يمنع الشحنات الحرة السالبة من ترك شبه الموصل ذي النوع n ومن دخول شبه الموصل ذي النوع p
- يمنع الشحنات الحرة الموجبة من ترك شبه الموصل ذي النوع p ومن دخول شبه الموصل ذي النوع n



تأثير منطقة النضوب على حركة الشحنات الحرة (متابعة)

هذا يعني أن المجال الكهربي في منطقة النضوب يقلِّل تدفُّق الشحنات الحرة التي تولد تيار الانتشار. إذن يقلِّل المجال تيار الانتشار.

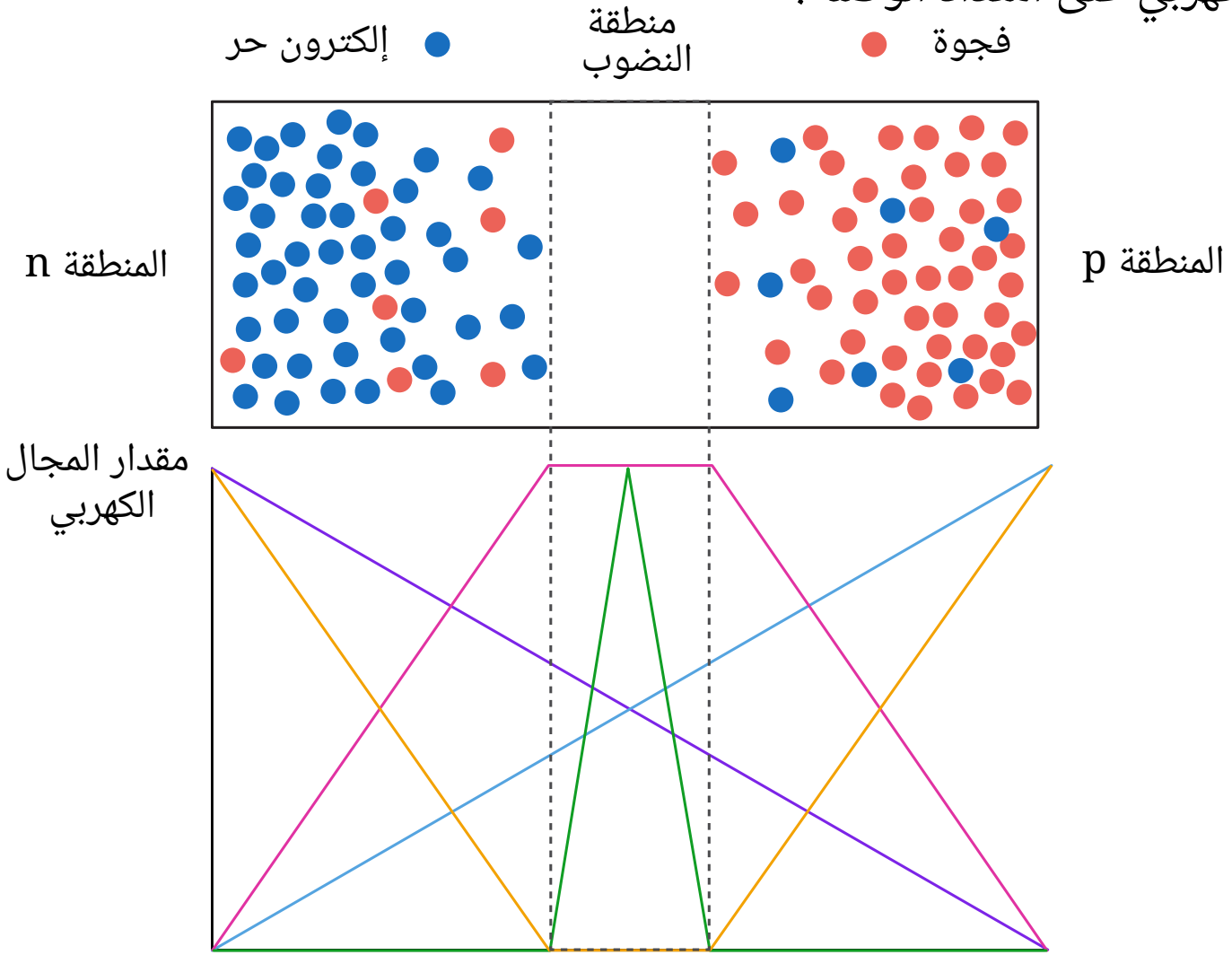
من المهم تذكر أن المجال الكهربي نفسه في منطقة النضوب نتج عن التئامات تحدث بسبب انتشار الشحنات الحرة في الدايود. لذلك، يزيد المجال الكهربي في منطقة النضوب عندما يزيد تيار الانتشار.

يزيد المجال الكهربي بواسطة تيار الانتشار حتى يصل المجال لقوة كافية يستطيع بواسطتها تقليل شدة تيار الانتشار حتى تصبح صفرًا.

عندما تصل شدة تيار الانتشار إلى الصفر، تتوقف قيمة المجال الكهربي عن الزيادة.

مثال ٢: المجال الكهربي في منطقة النضوب لوصلة ثنائية

في الوصلة الثنائية، تُوجَد كثافات مختلفة للأيونات المانحة والأيونات المُستقبِلة على كلا الجانبين من منطقة النضوب في الوصلة. أيُّ خط ملوَّن يمثِّل بشكل صحيح تغيُّر مقدار المجال الكهربي على امتداد الوصلة؟



أ. الخط الوردي

ب. الخط البرتقالي

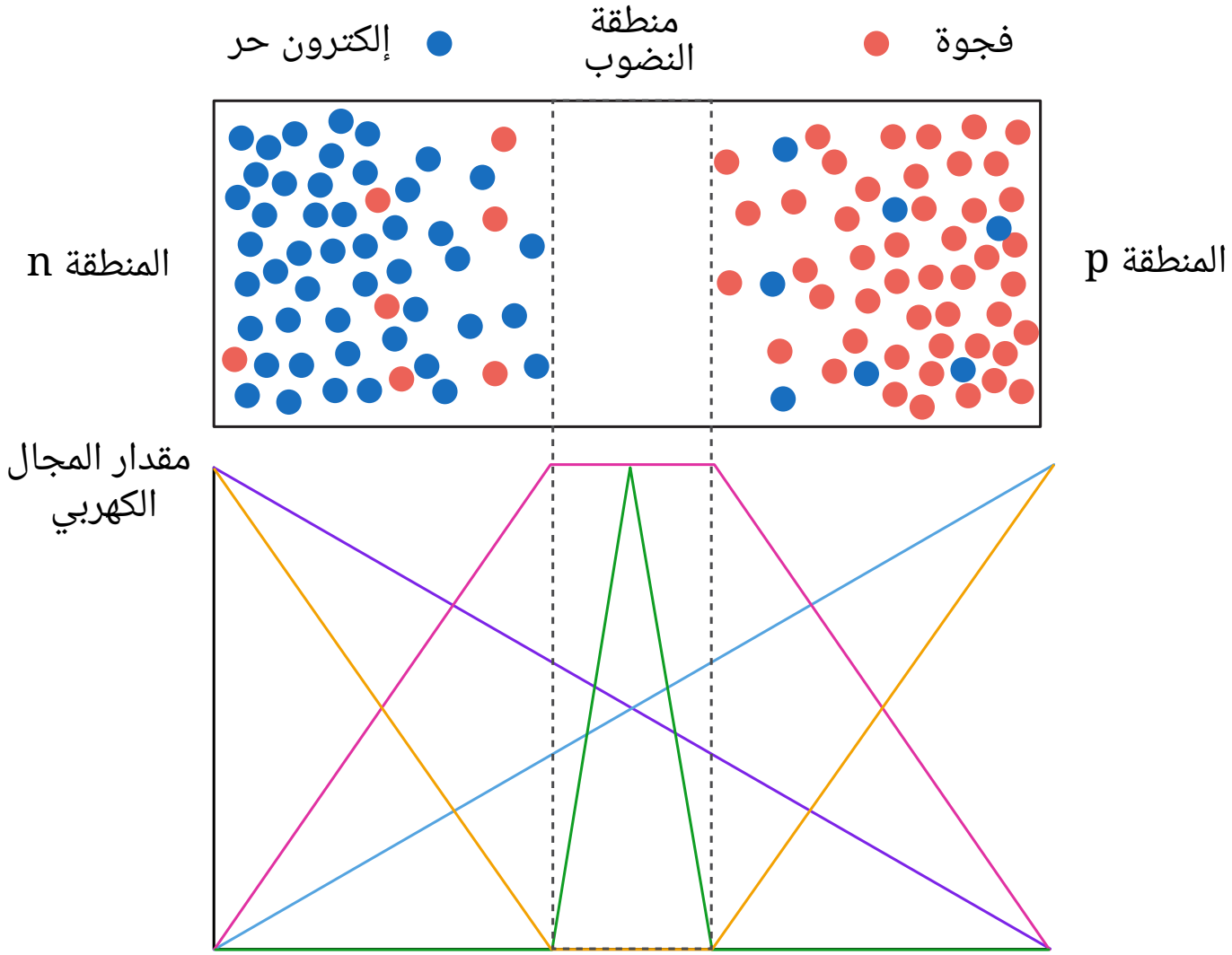
ج. الخط الأخضر

د. الخط الأزرق

هـ. الخط الأرجواني

مثال ٢ (متابعة)

الحل

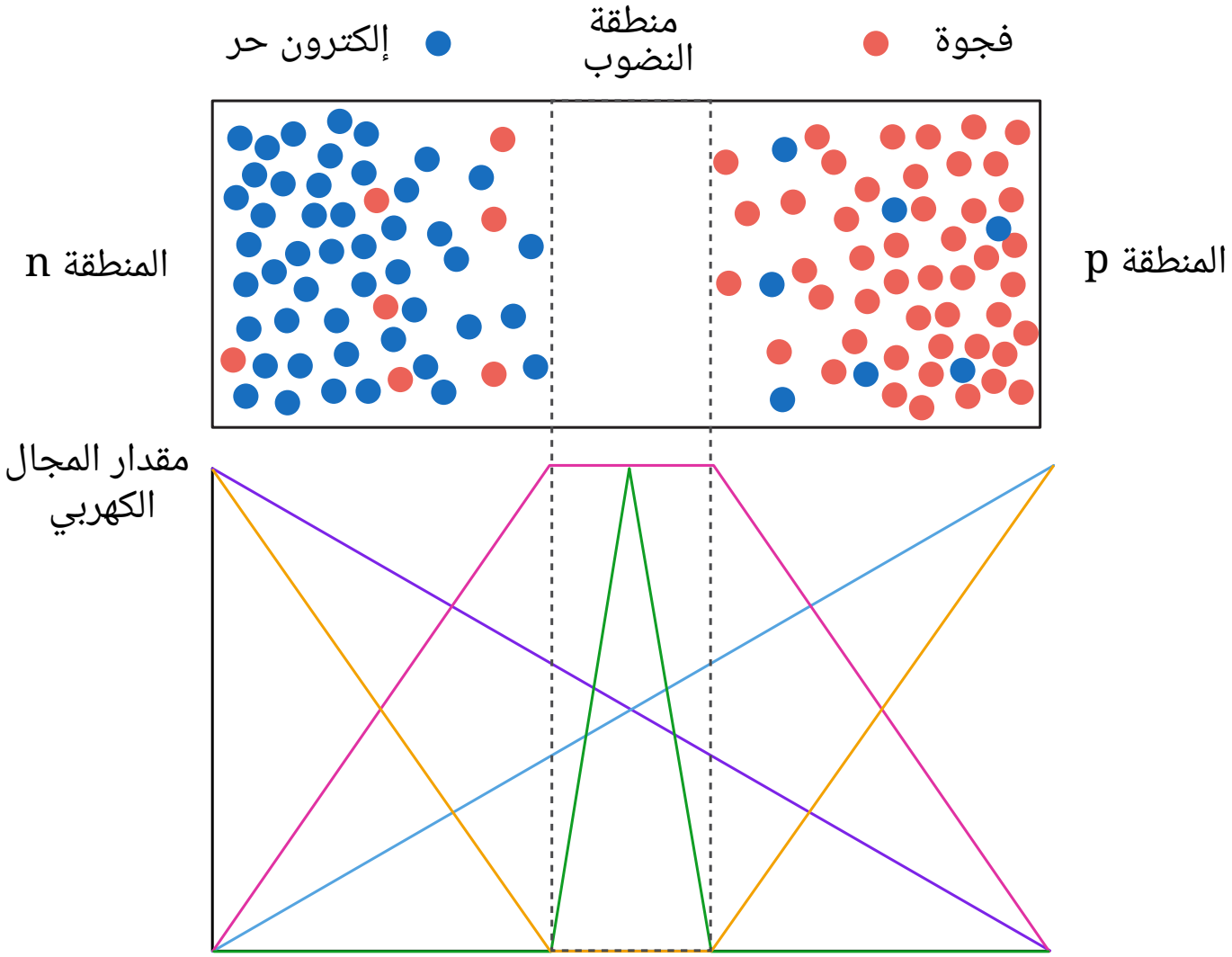


ينتج التئام الإلكترونات الحرة والفجوات في منطقة نضوب الوصلة الثنائية مجالًا كهربيًّا في منطقة النضوب يزيل تيار الانتشار في الوصلة عن طريق إنتاج قوى تؤثر على الشحنات الحرة في المنطقة؛ بحيث تمنعها القوى من عبور الوصلة.

نلاحظ أن الخط البرتقالي يوضح أن مقدار المجال الكهربي في منطقة النضوب يساوي صفرًا. لا يمكن لمجال كهربي مقداره صفر أن يمنع الشحنات الحرة من عبور الوصلة.

إذن، لا يمكن أن يكون الخيار ب صحيحًا.

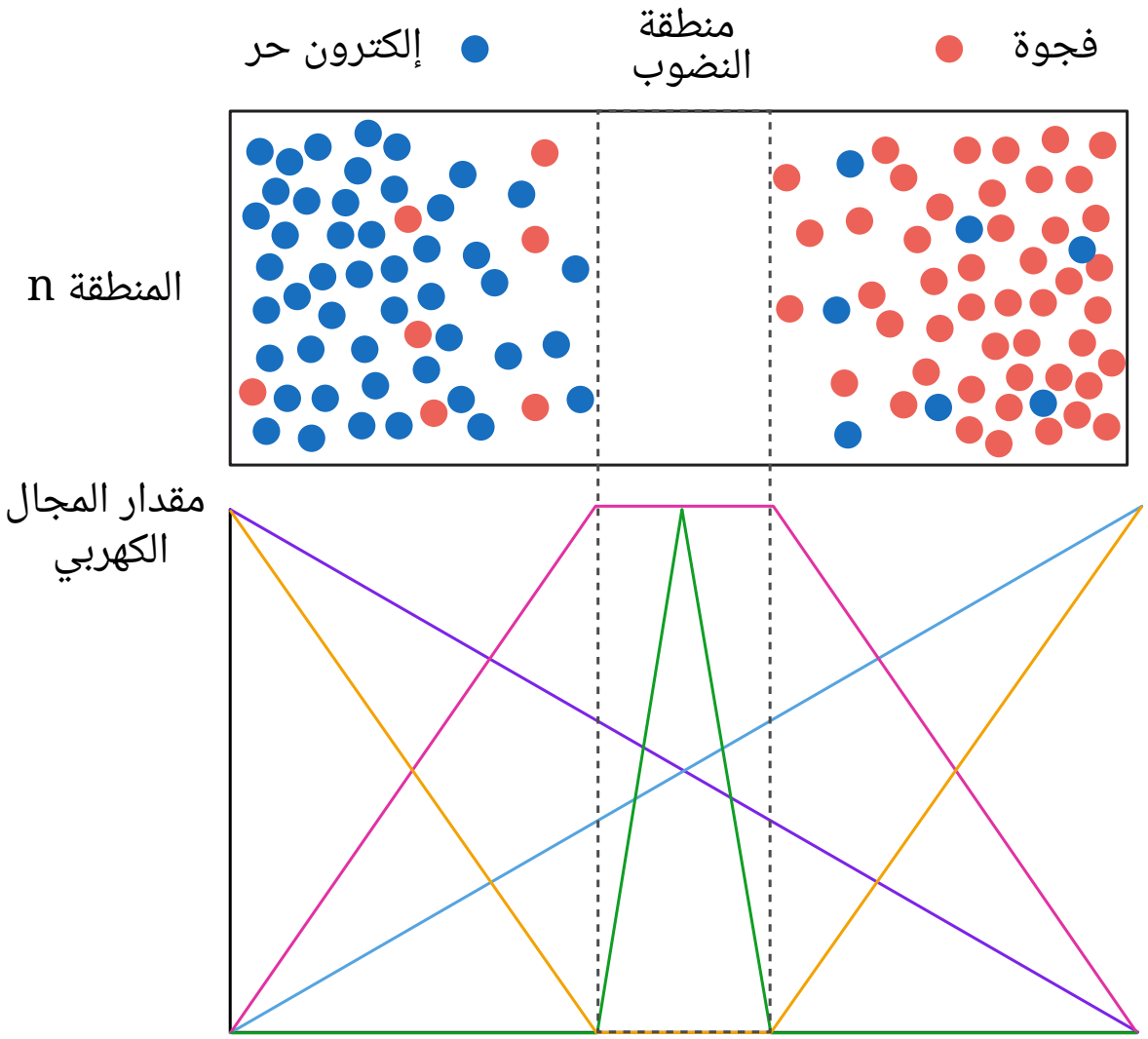
مثال ٢ (متابعة)



يوضح الخطان الأرجواني والأزرق مجالين كهربيَّين لهما مقداران أكبر خارج منطقة النضوب من مقداريهما داخل منطقة النضوب. لكن المجال الكهربي في الحقيقة له مقدار أكبر داخل منطقة النضوب من مقداره خارج منطقة النضوب.

إذن الخياران د، هـ غير صحيحين.

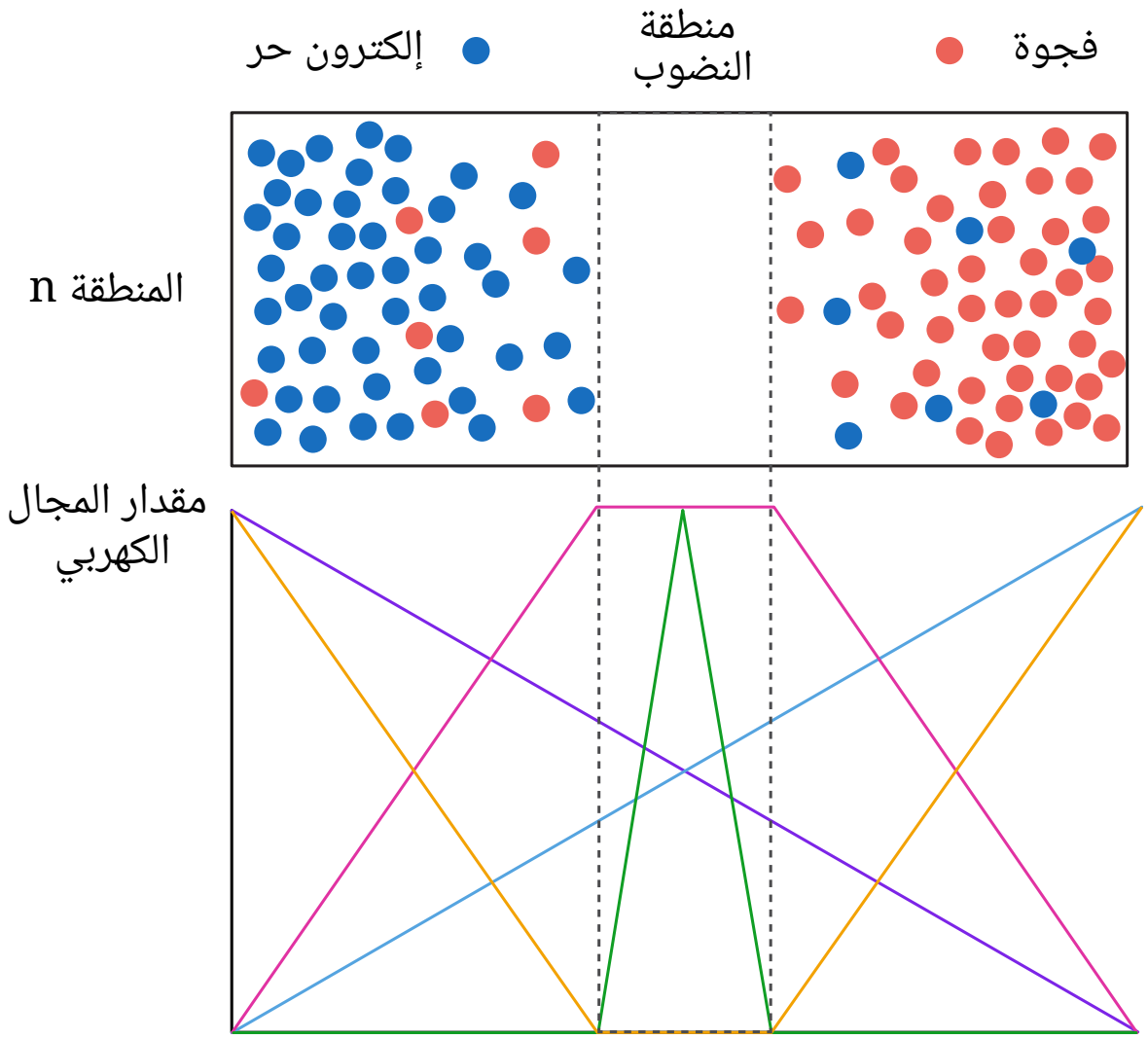
مثال ٢ (متابعة)



يوضح الخط الوردي أن مقدار المجال الكهربي يكون أكبر ما يكون داخل منطقة النضوب. ويوضِّح أن مقدار المجال يقل طرديًّا مع البُعد عن حافة منطقة النضوب. من الصحيح أن هناك مجالًا كهربيًّا لا يساوي صفرًا خارج منطقة النضوب، لكن هذا المجال سرعان ما يضعُف بشدة (وليس طرديًّا كما يوضح الخط الوردي) مع البُعد عن منطقة النضوب، حتى يصبح مقداره مُهملًا على بُعد مسافات لا يمكن إهمالها من منطقة النضوب.

إذن، لا يمكن أن يكون الخيار أ صحيحًا.

مثال ٢ (متابعة)



يوضح الخط الأخضر أن مقدار المجال الكهربي يساوي صفرًا عند حافتي منطقة النضوب ويبلغ أكبر مقدار له عند مركز منطقة النضوب. مع التركيز الأعلى للالتئامات التي تحدث عند مركز منطقة النضوب والتركيز الأدنى للالتئامات التي تحدث عند حافتي منطقة النضوب، وهو ما يحدث بالفعل بسبب انتشار الإلكترونات الحرة والفجوات. على الرغم من أن المجال الكهربي خارج منطقة النضوب لا يساوي صفرًا بالضبط، فإنه يمكن إهماله. يعتبر الخط الأخضر صحيحًا تقريبًا في تمثيل تغير المجال الكهربي في الوصلة الثنائية، ولذلك سيكون الخيار ج هو الأصح.

توصيل الدايود شبه الموصل

يتمثل تأثير تكوين وصلة ثنائية خاصة بتطبيقات الدايودات شبه الموصلة في المجال الكهربي الذي ينتجه تيار الانتشار حول الوصلة الثنائية.

عندما يتوقَّف المجال الكهربي حول الوصلة الثنائية للدايود شبه الموصل عن الزيادة، يُقال إن الدايود في «حالة اللاتوصيل».

ويعني كونه في حالة اللاتوصيل أنه ليس هناك تيار عبر الدايود وأيضًا أنه ليس هناك فرق جهد عبر الدايود.

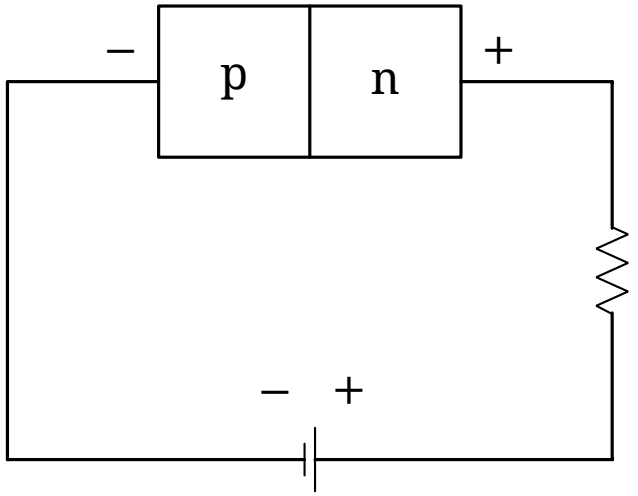
توصيل الدايود شبه الموصل (متابعة)

تذكر أن الهدف من الدايود هو منع التيار من المرور في اتجاه ما بينما يسمح له بالمرور في الاتجاه المعاكس. لكي يكون هناك تيار في دائرة كهربية، لا بد أن توصل الدائرة بمصدر فرق جهد.

فلنوضح أولًا كيف يمكن لدايود شبه موصِّل منع تيار في دائرة كهربية تحتوي على الدايود.

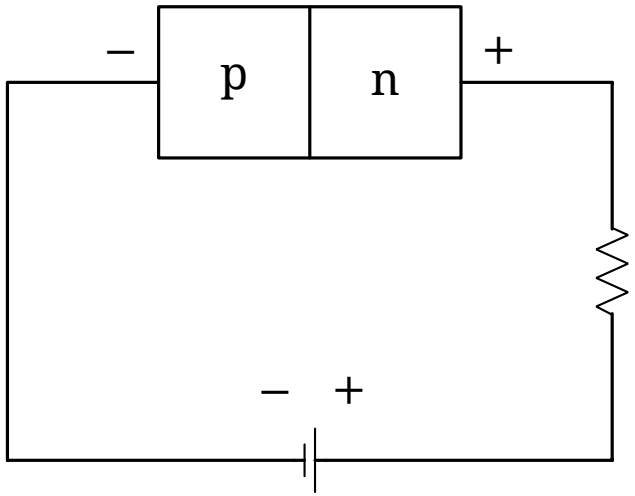
عندما يُركب دايود في دائرة كهربية، يُنْتِج مصدر فرق الجهد فرقَ جهدٍ عبر شبهي الموصِّل ذوي النوع p وn داخل الدايود شبه الموصِّل، كما هو موضح في الشكل الآتي.

سيكون جانب شبه موصِّل النوع n الموصَّل بالدائرة الكهربية ذا فرق جهد موجبٍ أكبر من جانب شبه موصِّل النوع p الموصَّل من النوع الموصل بالدائرة الكهربية.



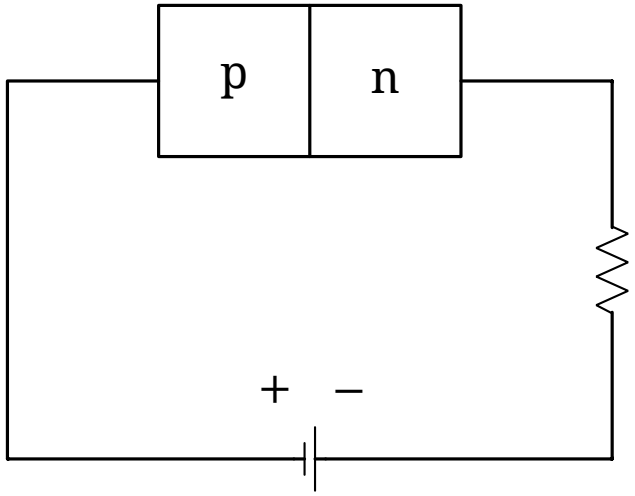
توصيل الدايود شبه الموصل (متابعة)

يؤدي توصيل دايود بهذه الطريقة إلى زيادة عرض منطقة النضوب ومن ثَمَّ وقف التيار. يُطلق على هذا الترتيب «التوصيل الخلفي».



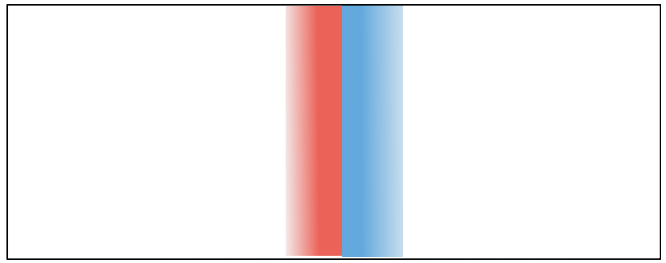
توصيل الدايود شبه الموصل (متابعة)

أما توصيل الدايود بالطريقة المعاكسة، فسوف يقلِّل عرض منطقة النضوب ومن ثم يسمح بمرور التيار دون مقاومة تقريبًا. يُطلق على هذا الترتيب «التوصيل الأمامي».

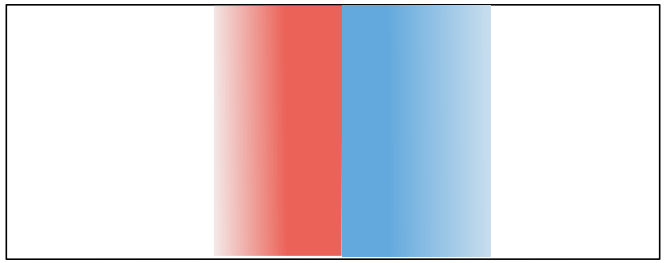


مثال ٣: مقارنة توصيلات الدايود شبه الموصل

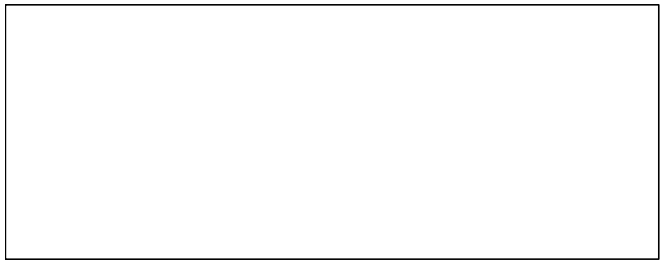
توضِّح الأشكال الآتية وصلة ثنائية. يوضَّح الجانبان المشحونان من منطقة النضوب للوصلة الثنائية باللونين الأحمر والأزرق. تُوضِّح الوصلة في حالة التوصيل الأمامي، والتوصيل العكسي، وحالة اللاتوصيل. أيُّ التوصيلات الموضَّحة تمثِّل بصورة صحيحة حالة اللاتوصيل؟



(أ)



(ب)



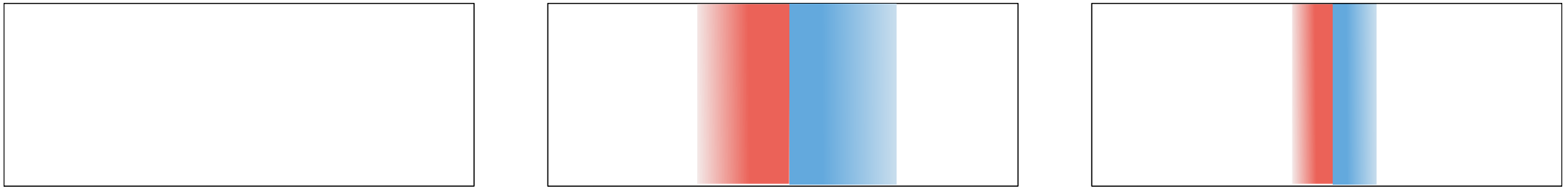
(ج)

مثال ٣ (متابعة)

الحل

توضح الأشكال منطقة النضوب، حيث يكوِّن شبهَا موصِّل من النوع p والنوع n وصلةً ثنائية. في كل شكل، يكون توصيل الدايود إما أمامي أو عكسي أو في حالة اللاتوصيل.

تذكر أن استخدام فرق جهد عبر طرفي الدايود يزيد عرض منطقة النضوب عندما يُوصل الدايود عكسيًّا ويُقلِّل عرض المنطقة عندما يُوصل الدايود أماميًّا.

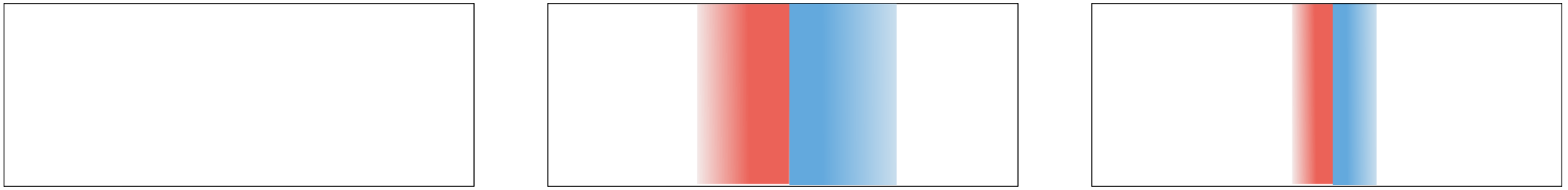


(أ) (ب) (ج)

مثال ٣ (متابعة)

يجب أن نكون حريصين عند إجابة هذا السؤال حتى لا نخطئ في فهم الدايود في حالة اللاتوصيل، وعندما لا يكون هناك مجال كهربي في الدايود.

تذكر أنه إذا لم يُستخدم فرق جهد عبر دايود شبه موصل، فسيوجد بالرغم من ذلك مجال كهربي في منطقة نضوب الدايود. وتوصيل الدايود يزيد أو يقلِّل عرض منطقة النضوب.

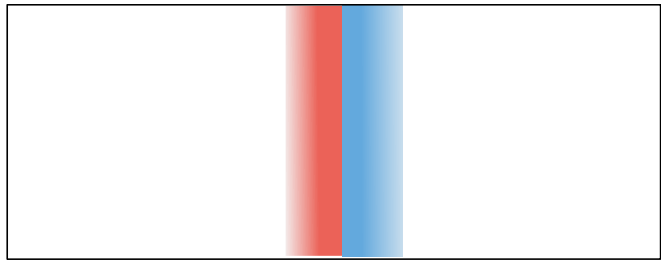


(أ) (ب) (ج)

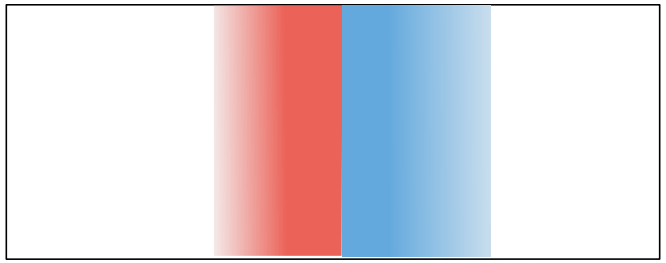
مثال ٣ (متابعة)

نلاحظ أن عدم توصيل الدايود يناظر منطقة نضوب عرضها لا يساوي صفرًا، ولها العرض الأقل من بين العرضيْن الموضَّحين في الشكلين اللذيْن لا يساوي العرض فيهما صفرًا. يوضح الخيار أ شكلًا يناسب هذا الوصف.

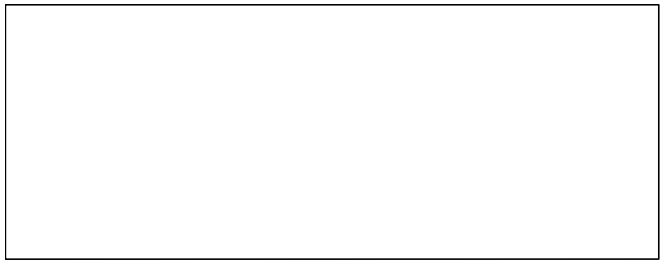
إذن، الخيار أ هو الخيار الصحيح.



(أ)



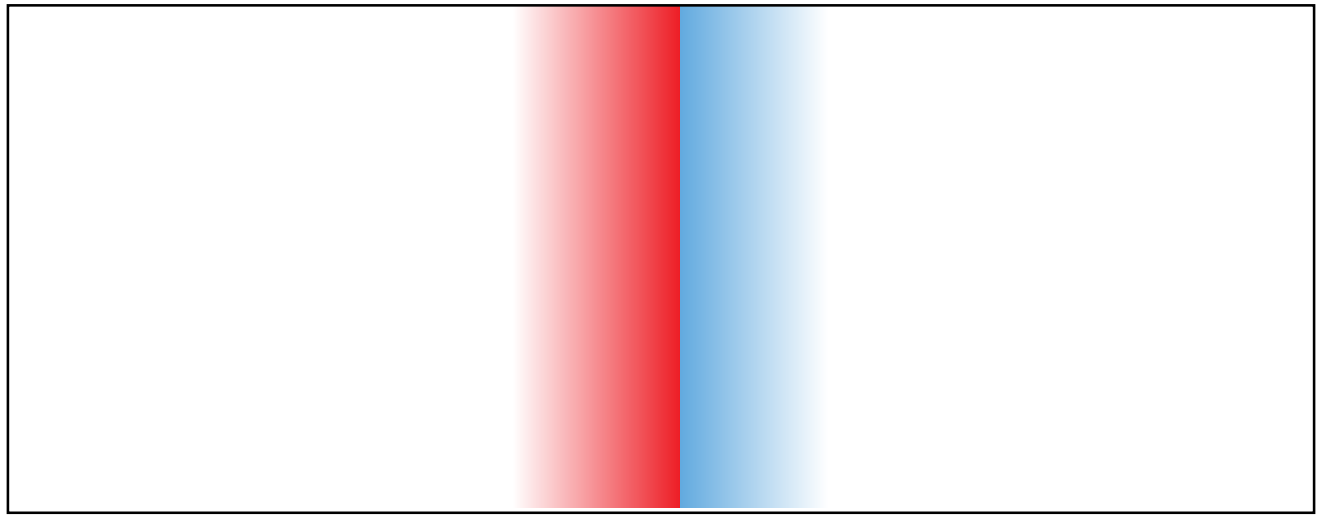
(ب)



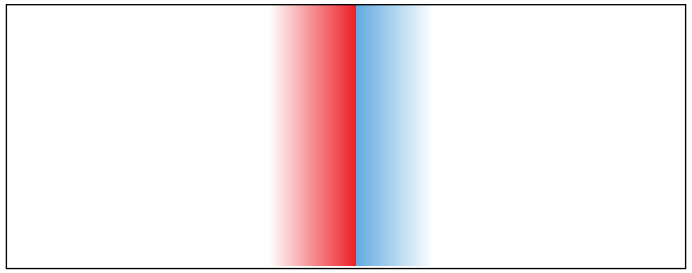
(ج)

مثال ٤: تمثيل التوصيل العكسي في دايود شبه موصل

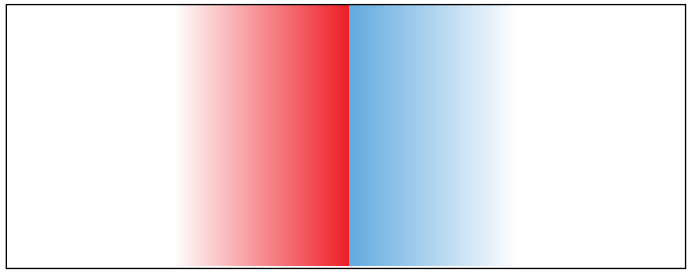
يوضِّح الشكل وصلة ثنائية. يوضَّح الجانبان المشحونان من منطقة النضوب للوصلة الثنائية باللونين الأحمر والأزرق. كانت الوصلة في البداية غير موصلة. أيٌّ من الأشكال الآتية يوضِّح بشكل صحيح كيفية تغيُّر توزيع الشحنات بمنطقة النضوب عندما تُوصَّل الوصلة توصيلًا عكسيًّا؟



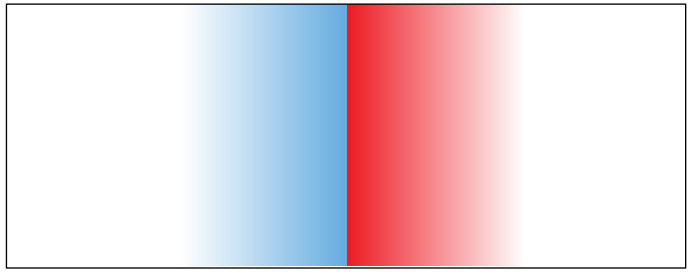
مثال ٤ (متابعة)



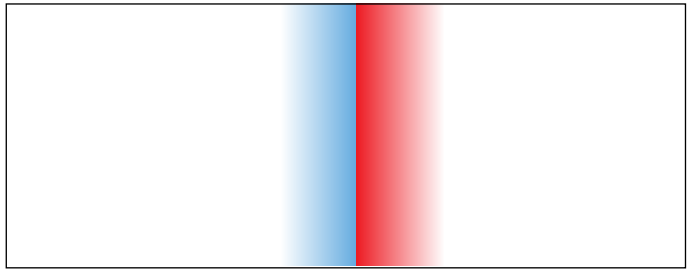
غير موصلة



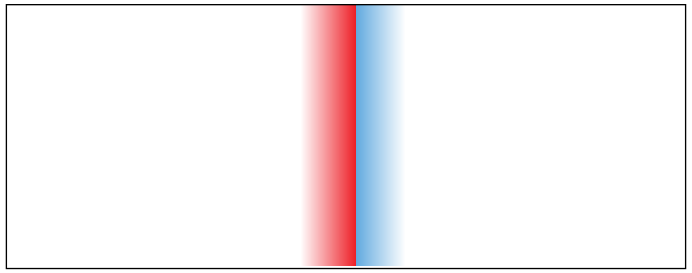
(أ)



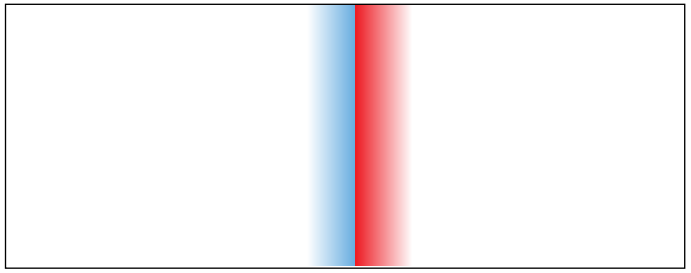
(ب)



(ج)



(د)



(هـ)

مثال ٤ (متابعة)

الحل

تعتمد إجابة هذا السؤال بشكل صحيح على الفهم الصحيح للتغيرات التي تحدث في الدايود شبه الموصل عندما يُوصَّل توصيلًا عكسيًّا.

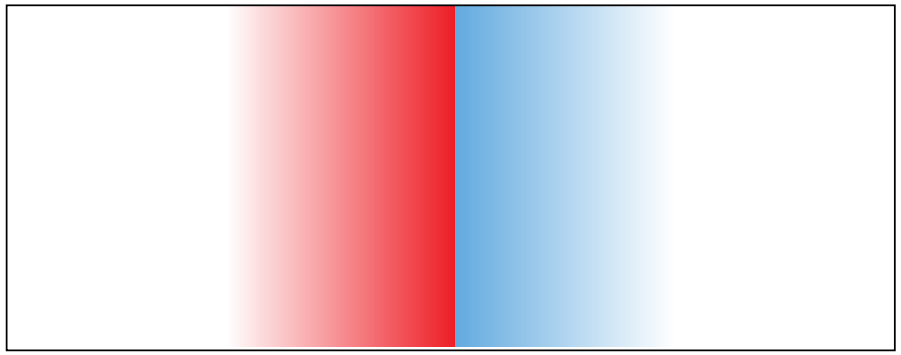
هناك سمتان تتغيران في الأشكال الموضحة في الخيارات، ألا وهما:

- أي جانبي الوصلة الثنائية موجب الشحنة وأيهما سالب الشحنة (القطبية)
- إذا ما كان عرض المنطقتين المشحونتين على جانبي الوصلة الثنائية قد زاد أم قلَّ

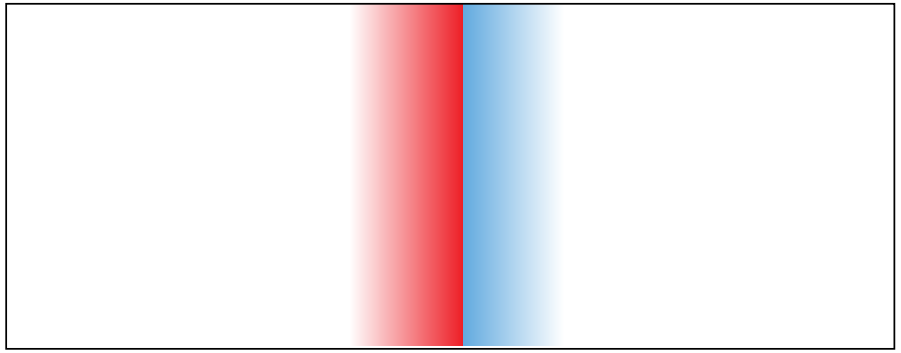
يمكن أن نقارن بين كيفية تغيُّر هاتين السمتين في كل خيار.

مثال ٤ (متابعة)

في الخيار أ، لم تتغيَّر القُطبية، وزاد عرض المنطقتين المشحونتين.



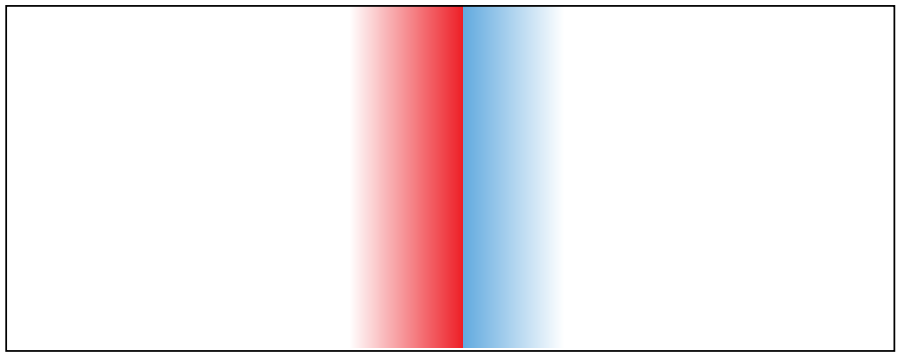
(أ)



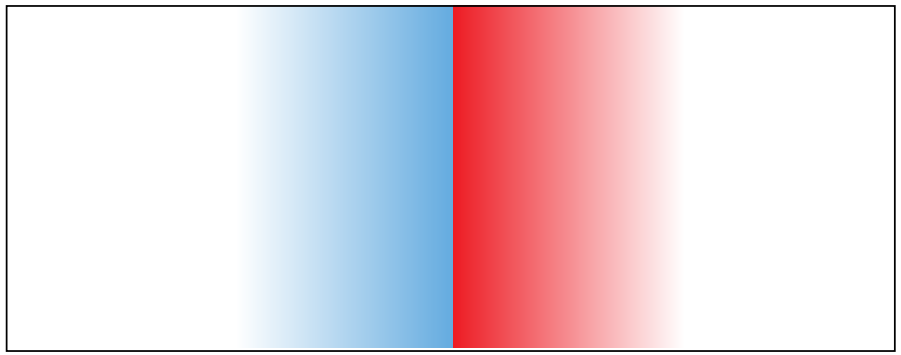
غير موصلة

مثال ٤ (متابعة)

في الخيار ب، انعكست القطبية، وزاد عرض المنطقتين المشحونتين.



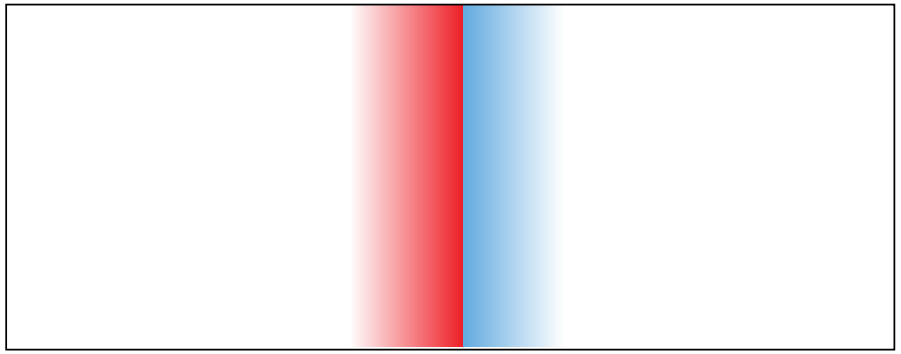
غير موصلة



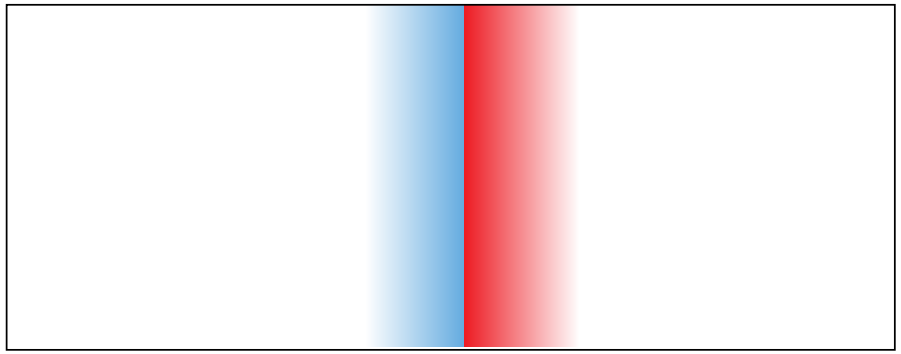
(ب)

مثال ٤ (متابعة)

في الخيار ج، انعكست القطبية ولم يتغيَّر عرض المنطقتين المشحونتين.



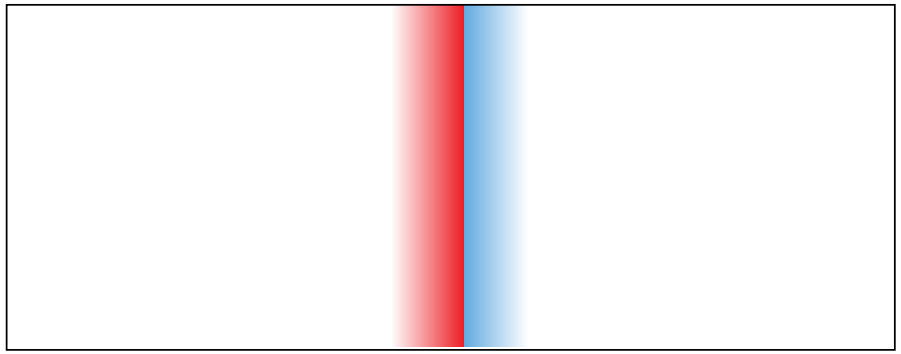
غير موصلة



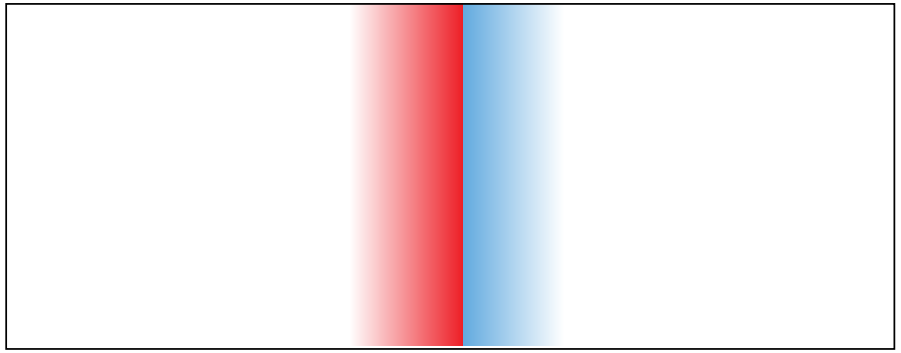
(ج)

مثال ٤ (متابعة)

في الخيار د، لم تتغيَّر القطبية وقلَّ عرض المنطقتين المشحونتين.



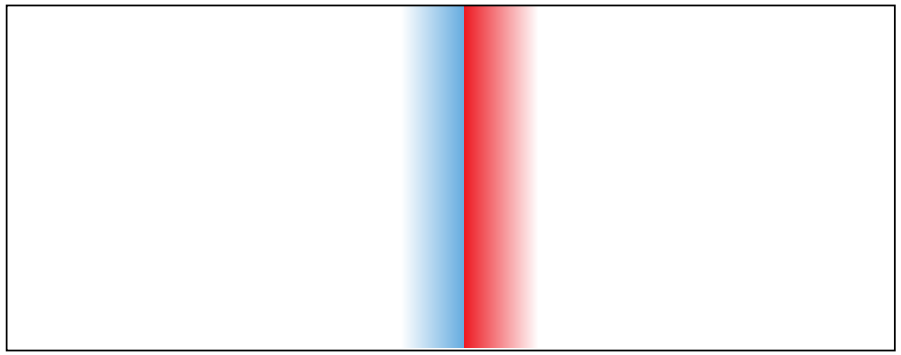
(د)



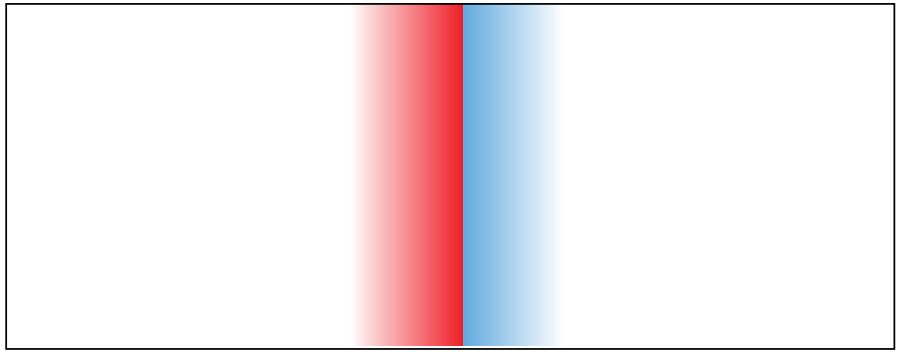
غير موصلة

مثال ٤ (متابعة)

في الخيار هـ، انعكست القطبية وقلَّ عرض المنطقتين المشحونتين.



(هـ)

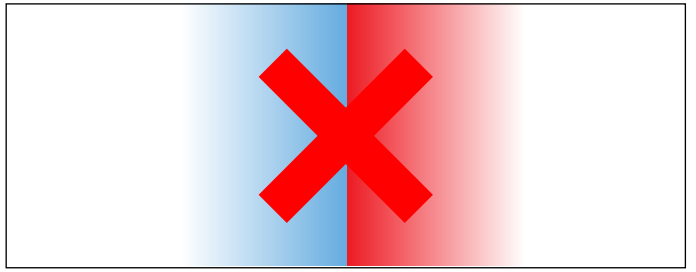


غير موصلة

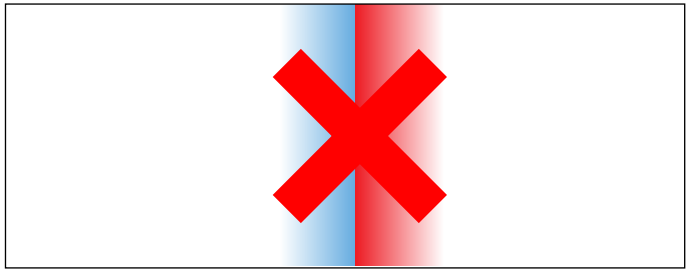
مثال ٤ (متابعة)

من المهم فهم أنه عندما يُوَصَّل دايود شبه موصل توصيلًا عكسيًّا، يغير ذلك عرض منطقة النضوب في الدايود، ولن يتغير اتجاه المجال الكهربي الناتج في منطقة النضوب. ولكي يبقى اتجاه المجال الكهربي كما هو عندما يوصل الدايود توصيلًا عكسيًّا، يجب ألا تتغير قطبية المنطقة المشحونة.

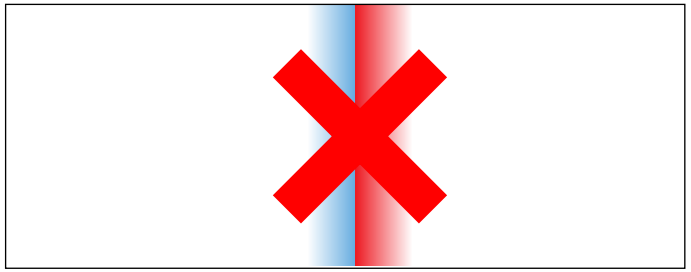
إذن، يمكن حينئذٍ استبعاد الخيارات ب وج وهـ.



(ب)



(ج)



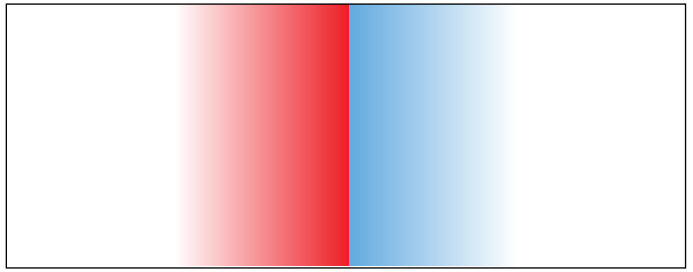
(هـ)

مثال ٤ (متابعة)

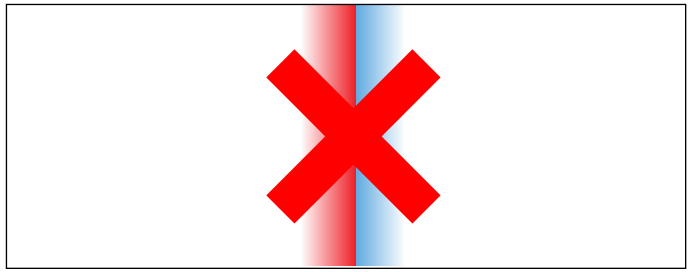
يعرض الخياران أ ود القطبية الصحيحة لكنهما يعرضان تغيرين معاكسين في عرض منطقة النضوب. والتغير الصحيح في عرض منطقة النضوب في حالة التوصيل العكسي هو أن يزيد العرض.

ويعرض الخيار أ شكلًا يوضح زيادة عرض منطقة النضوب.

إذن الخيار أ هو الإجابة الصحيحة.



(أ)



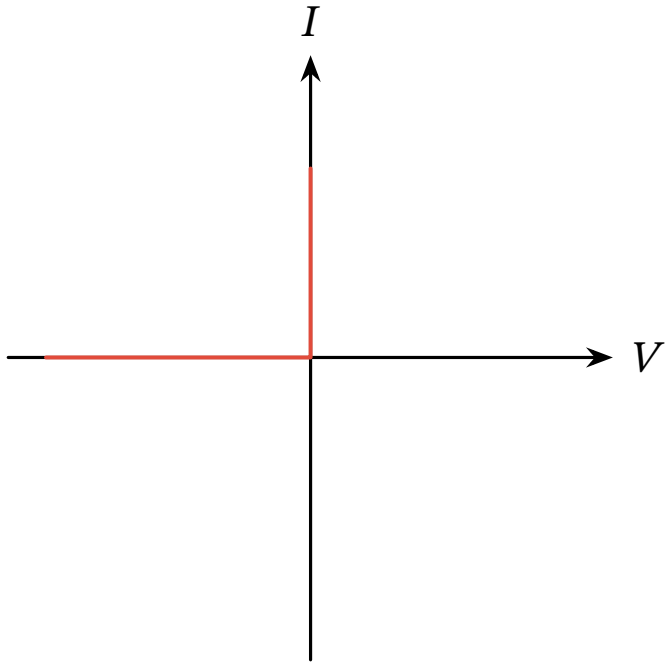
(د)

تأثير توصيل دايود شبه موصل في دائرة كهربية

يمكن أن يُقَارن التيار المار في دايود شبه موصل بفرق الجهد عبر الدايود.

إذا كان الدايود يعمل بالضبط كما سبق وصفه، فسيكون التمثيل البياني لتغير التيار مُقابل فرق الجهد كما هو موضح.

يناظر فرق الجهد الأكبر من صفر التوصيل الأمامي بينما يناظر فرق الجهد الأقل من صفر التوصيل العكسي.



النقاط الرئيسية

- يتركب الدايود من وصلة ثُنائية بين نوعين من أشباه الموصِّلات المطعَّمة؛ النوع p والنوع n.
- كلٌّ من أشباه الموصِّلات من النوع p والنوع n متعادل كهربيًّا.
- تحتوي المنطقة p على فجوات تنقل الشحنة، أما في المنطقة n، فتُحمَل الشحنة بواسطة الإلكترونات الحرة.
- في الوصلة الثُّنائية، تتحرك الإلكترونات الحرة من الجانب n إلى الجانب p لملء بعض الفجوات. وينتُج عن ذلك منطقة نضوب مجاورة للحد الفاصل.
- تعمل منطقة النضوب عمل حاجز يمنع أيَّ إلكترونات إضافية من عبور الوصلة.
- عندما تكون الوصلة الثُّنائية موصَّلة عكسيًّا، تملأ الإلكترونات الفجوات وتُقوِّي الحاجز في منطقة النضوب؛ فلا يُسمح بمرور التيار.
- عندما تكون الوصلة الثُّنائية موصَّلة أماميًّا، يصبح بإمكان الإلكترونات الحرة التغلُّب على الحاجز في منطقة النضوب؛ فيُسمح بمرور التيار.