لماذا يعتبر العزف على الكمان صعباً؟

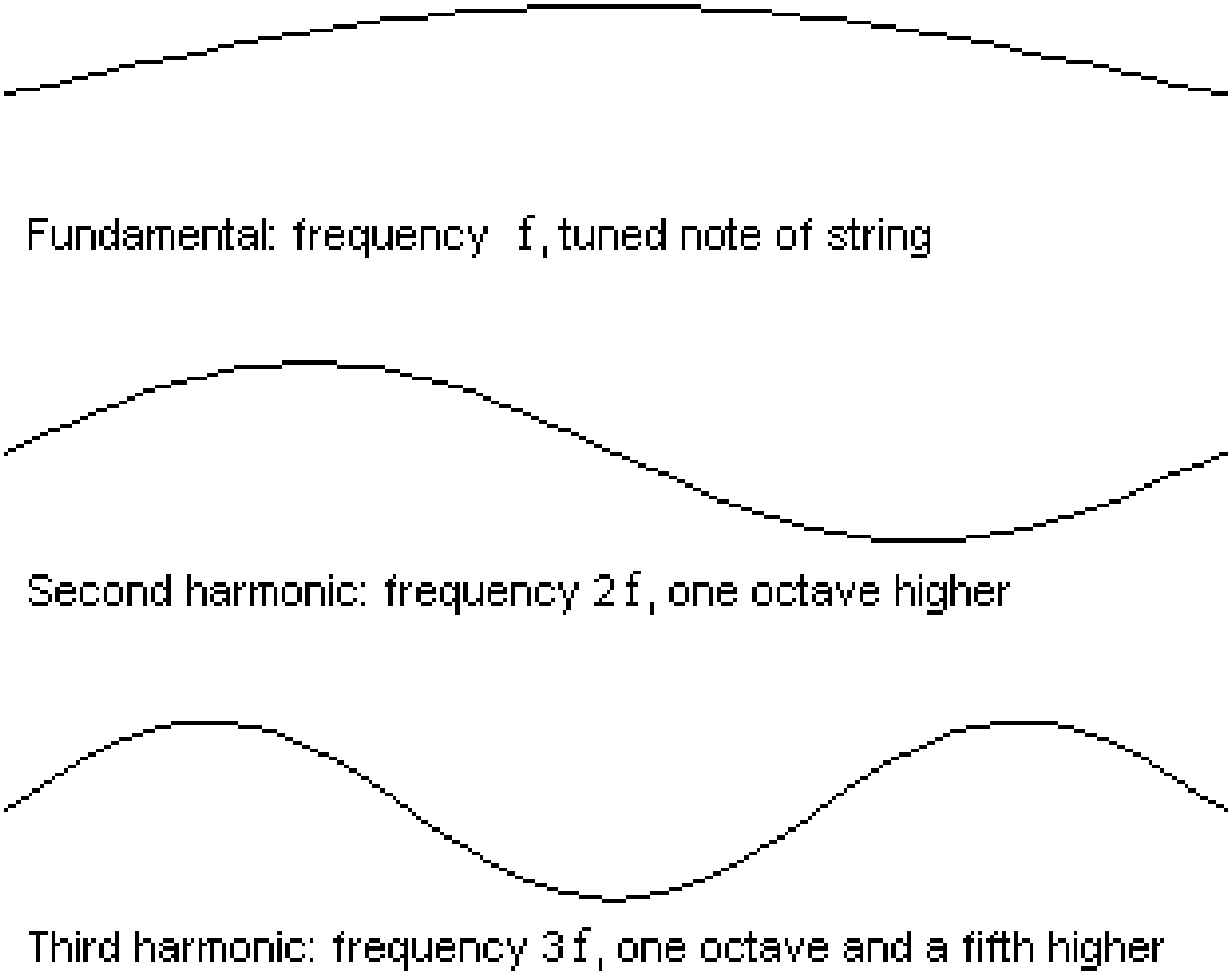
www.nasainarabic.net
@NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic

عندما تعزف نغمة على وتر الغيتار، فلا يوجد مجال كبير للخطأ. بالطبع قد لا تعزف النغمة المناسبة في الوقت المناسب، لكنك حين تعزف نغمة معينة فسيصدر الصوت المتوقع، وسيبدو ذلك منطقيًا من الناحية الموسيقية. لكن عندما يحاول مبتدئ أن يعزف على الكمان فإن الأمور ستكون أكثر صعوبة. فعندما يتحرك القوس على وتر، قد تكون النتيجة نغمة موسيقية عند الدرجة المرغوبة، أو قد تكون النتيجة صفيرًا أو صياحًا غير مرغوب به. ينبع هذا الاختلاف من فرق أساسي بين فيزياء الأوتار الممدودة والأوتار المنحنية.

الخطي مقابل اللاخطي: الممدودة مقابل المنحنية

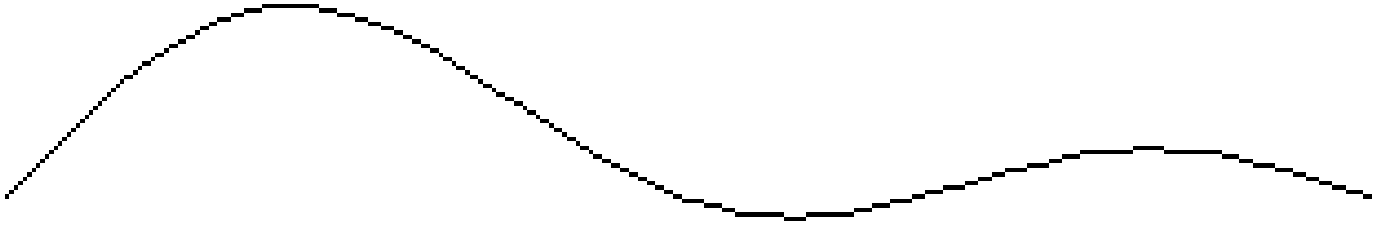
يُمكن وصف الأوتار الممدودة، مثل تلك الموجودة على الغيتار، باستخدام نظرية الأنظمة الخطية. والميزة الأساسية للأنظمة الخطية هي:

إذا كان بإمكانك العثور على حلين مختلفين للمعادلات التي تتحكم بالنظام، فإن جمع هذين الحلين هو أيضًا حلٌ للمعادلات. وعند الحديث في سياق الاهتزاز، فإن لهذه الفكرة تطبيقًا ماديًا مباشرًا.



أوضاع الاهتزاز القليلة الأولى لوتر مهتز.

يمتلك أي جسم مُهتز، كالوتر الممدود مثلًا، ترددات رنين معينة، يرتبط كلٌ منها مع نمط اهتزاز معين يُسمى بوضع الاهتزاز. إن ترددات الرنين الموافقة هي الترددات "الأساسية" (**fundamental**) والترددات "المتوافقة" (**harmonics**) للنغمة التي تم ضبط الوتر عليها. إذا تم إحداث الاهتزاز في الوتر وفق شكل أحد هذين الوضعين فإن الوتر سيستمر بالاهتزاز على شكل تردد الرنين الموافق، وذلك مع تخامُد سعة الاهتزاز تدريجيًا أثناء انتشار الطاقة بشكل صوت وحرارة.



Sum of fundamental, second and third harmonics

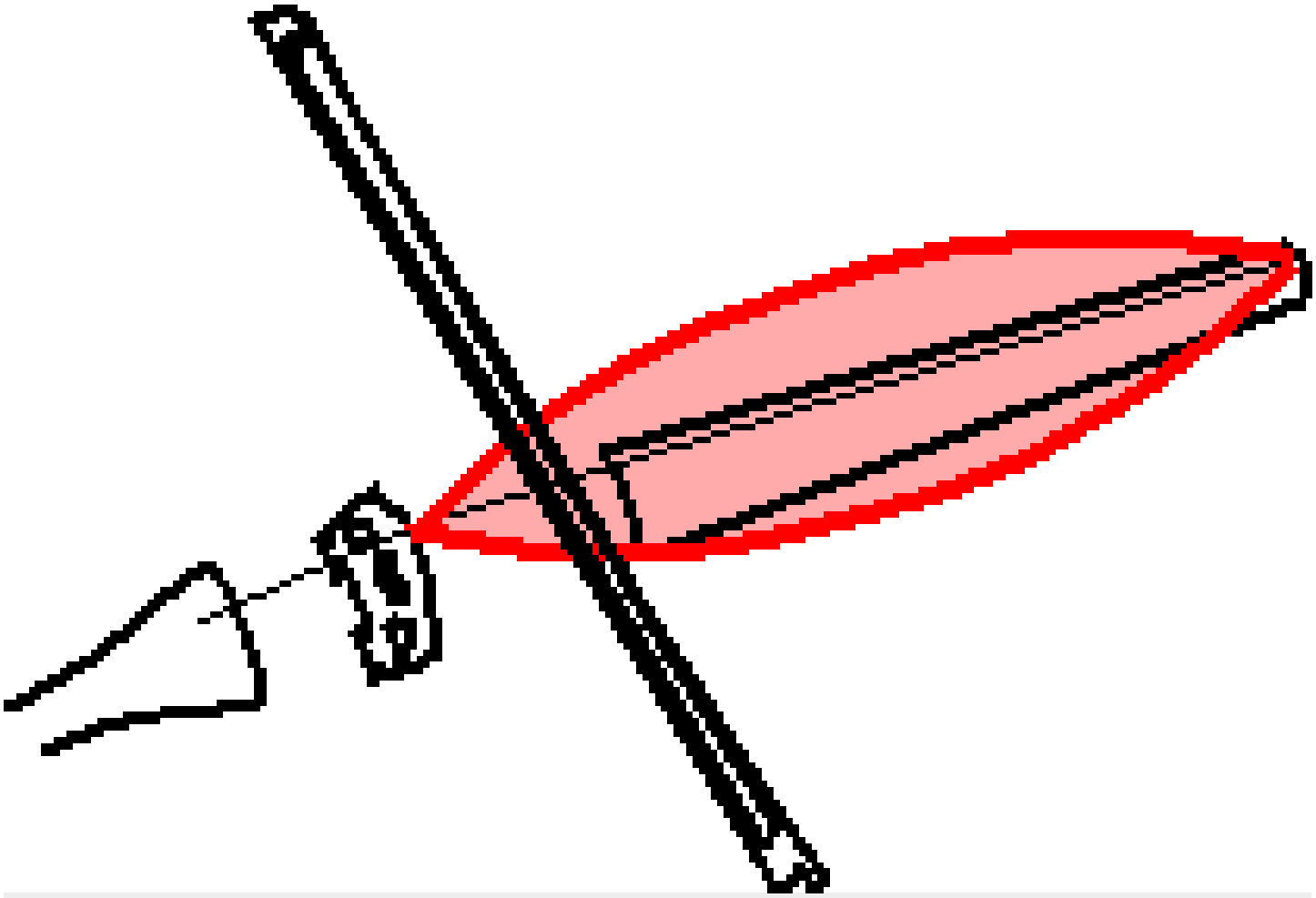
وتر يهتز بالأوضاع الثلاثة في الوقت نفسه.

الآن إذا اهتز الوتر بطريقة تتضمن العديد من أشكال الأوضاع في الوقت نفسه، يأتي هنا دور المبدأ الخطي. يعمل كل وضع بطريقته ببساطة، مهتزًا على تردد الرنين الخاص به، وينتج الصوت الكلي عن مجموع مساهمات تلك الأوضاع المتفرقة.

بإمكان عازف الغيتار أن ينتج مزيجًا من السعات للأوضاع المختلفة، وذلك عبر ضرب الوتر عند نقاط مختلفة أو استعمال ريشة مختلفة، لكن مجموعات ترددات الرنين هي دائمًا نفسها. ومن الناحية الموسيقية، فإن درجة النغمة هي دائمًا نفسها، لكن يُمكن تعديل نوعية اللحن.

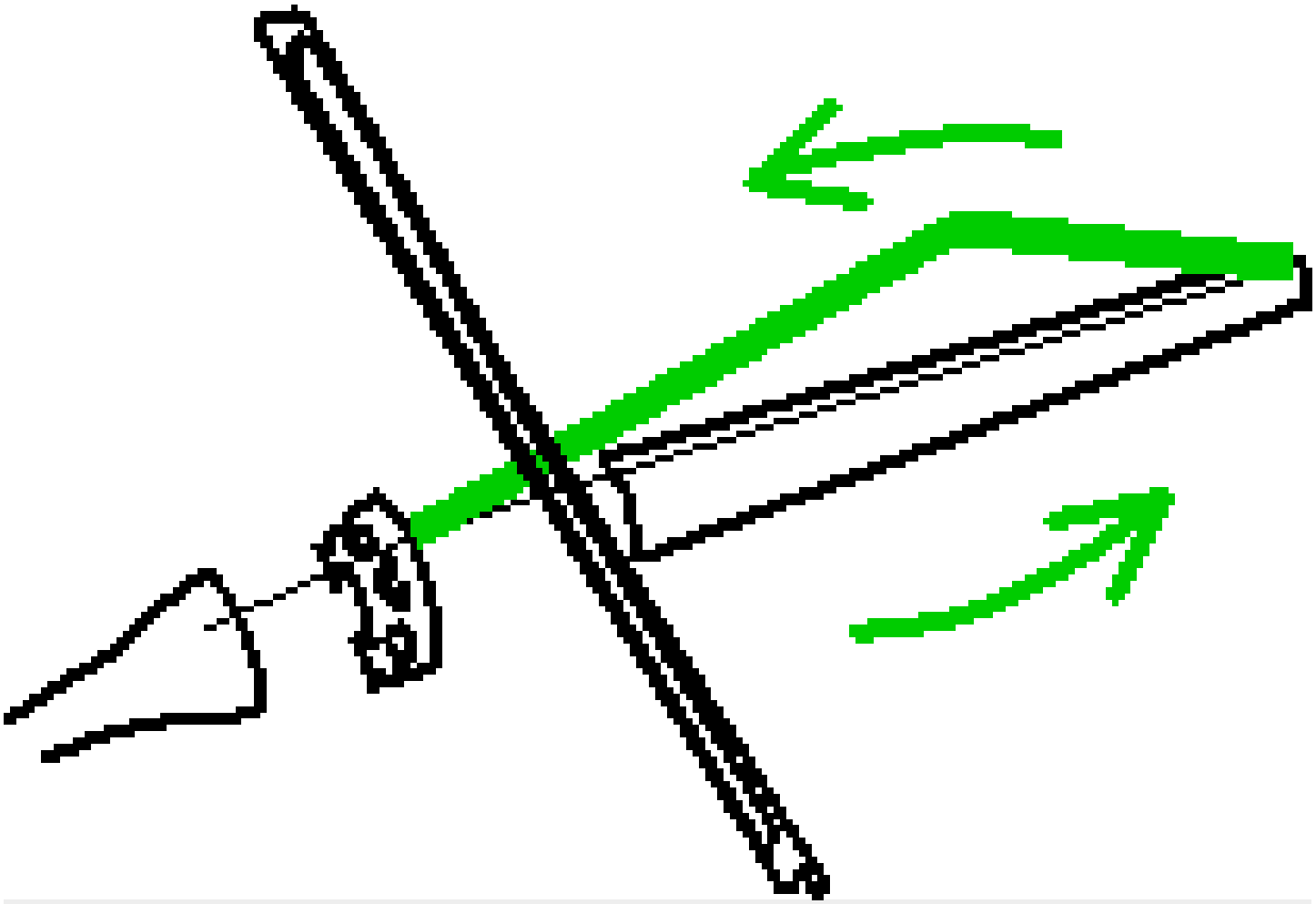
أما الوتر المنحني فهو مختلف، لأن من الممكن لنغمة الكمان أن تستمر طالما كان القوس لا يزال يضرب الوتر، وتبقى سعة الموجة ثابتة. وعلى الرغم من أن الطاقة تتبدد على شكل صوت وحرارة، إلا أن القوس يزود بطريقة ما طاقة إضافيةً بمعدل مساو تمامًا لتعويض الطاقة المفقودة. هذه إحدى علامات النظم غير الخطية، لأن فكرة إضافة مساهمات من عدة أوضاع اهتزاز لا يمكن تطبيقها ببساطة في هذا النظام الموصوف هنا. ونظرية هذه النظم هي دائمًا أكثر تعقيدًا، وهناك مجال لنتائج معقدة للغاية وسلوك فوضوي. ومجال الأصوات الجيدة والسيئة التي يمكن أن تنتج من الكمان هي من الأمثلة على هذه النتائج المعقدة. وتنطبق هذه الملاحظات العامة على آلات موسيقية أخرى قادرة على المحافظة على نغمة مستمرة مثل آلات النفخ الموسيقية.

حركة الوتر المنحني



يظهر الوتر وهو يهتز بشكل مشابه للقطع المكافئ.

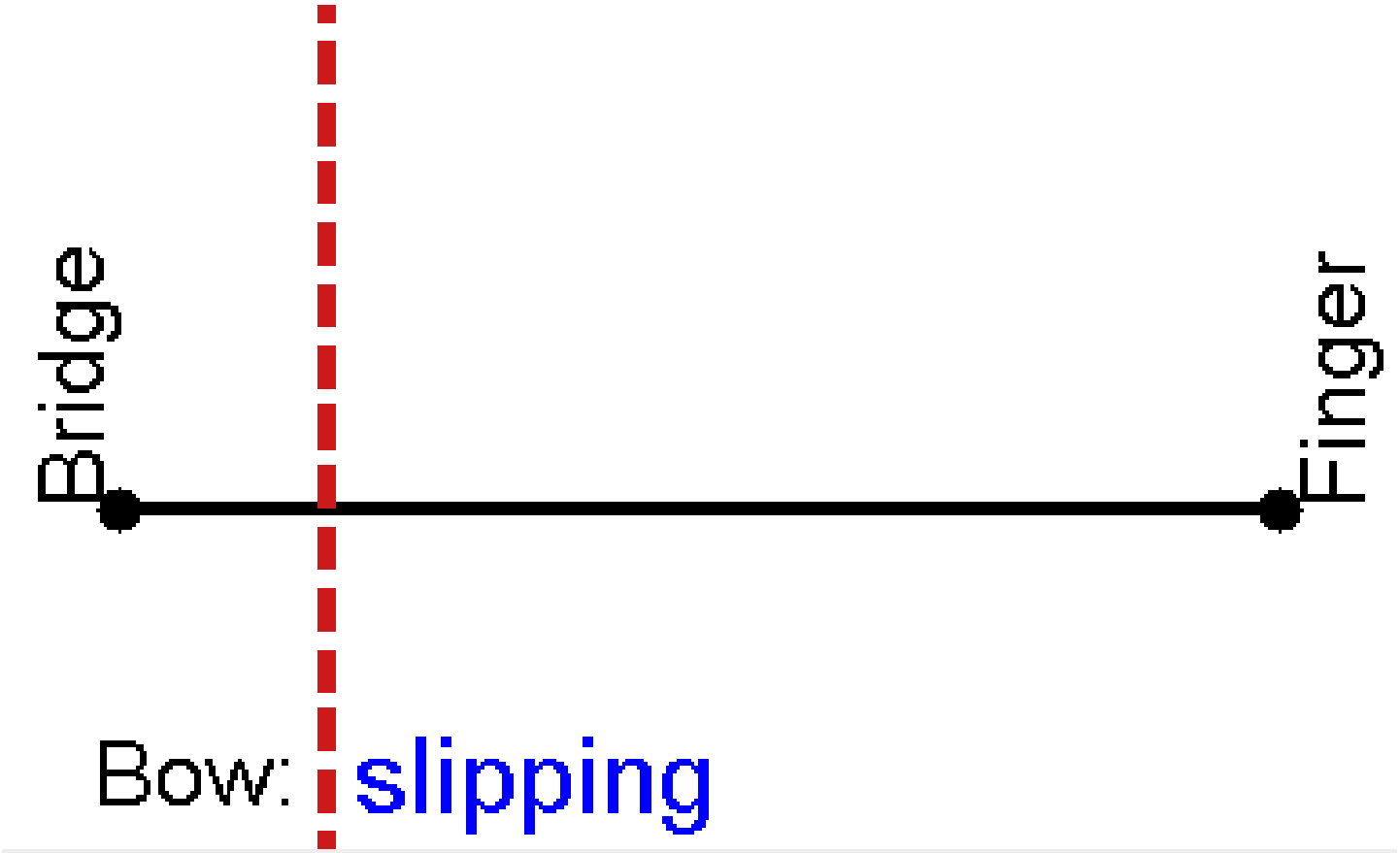
إذًا كيف يهتز وتر الكمان؟ أول من أجاب على هذا السؤال كان هيرمان فون هيلمهولتز **Hermann von Helmholtz** قبل 140 عامًا. عندما يُعزف الكمان بطريقة طبيعية لإنتاج أصوات مقبولة تقليديًا، فيمكن رؤية الوتر وهو يهتز. يظهر الوتر بالنسبة للعين المجردة وكأنه يتحرك ذهابًا وإيابًا بشكل يشبه القطع المكافئ، ويبدو مثل الوضع الأول للاهتزاز الحر لوتر مرن ممدود.



لكنه في الواقع يتحرك بشكل يشبه حرف V.

ولكن هيلمهولتز لاحظ عند إمعان النظر أن الوتر يتحرك بطريقة غير متوقعة أبدًا: يتحرك الوتر بشكل يشبه حرف V، أي أن الوتر ينقسم إلى قسمين مستقيمين يلتقيان بزاوية حادة. إن السبب في أننا نرى الشكل العام لحركة الوتر وكأنها منحنية بشكل يشبه شكل القطع المكافئ يكمن في أن هذه الزاوية الحادة تتحرك ذهابًا وإيابًا على طول المنحني. ولذلك فإن ما نراه في العادة هو "**الغلاف**"، أو "**الشكل العام**" لحركة الوتر.

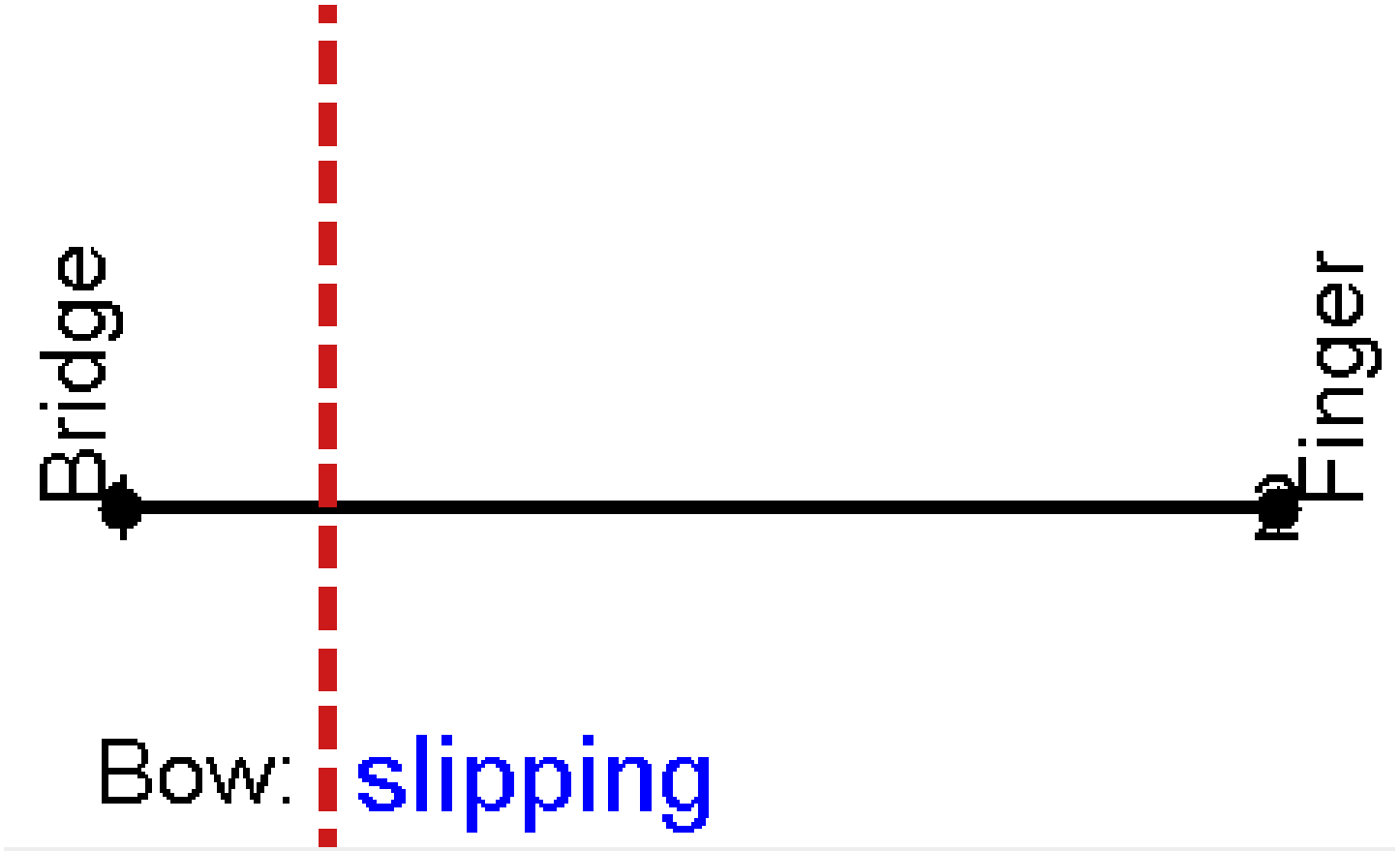
تُدعى هذه الحركة بحركة هيلمولتز وهي موضحة في هذا الرسم المتحرك:



حركة هيلمولتز.

تُسمى قمة رأس الحرف V بزاوية هيلمهولتز، وهي تتحرك ذهابًا وإيابًا على طول الوتر. وفي كل مرة يمر فيها القوس على زاوية هيلمهولتز فإنه يتسبب في الانتقال بين احتكاك الالتصاق واحتكاك الانزلاق، وفي حين أن الزاوية تتحرك من القوس إلى الإصبع وتعود، فإن الوتر يلتصق بالقوس ويُجر معه، وبعدها ينزلق الوتر عبر شعيرات القوس (**متحركةً في الاتجاه المعاكس للقوس**)، في حين تنتقل الزاوية إلى الجسر وتعود. يوفر الانتقال بين نوعي الاحتكاك العنصر غير الخطي للنظام.

إذا لم يضغط عازف الكمان بالقوس بقوة كافية، فقد يتحرك الوتر بطريقة أخرى مختلفة عن حركة هيلمهولتز، كما هو موضح في الصورة:



حركة انزلاق مزدوجة.

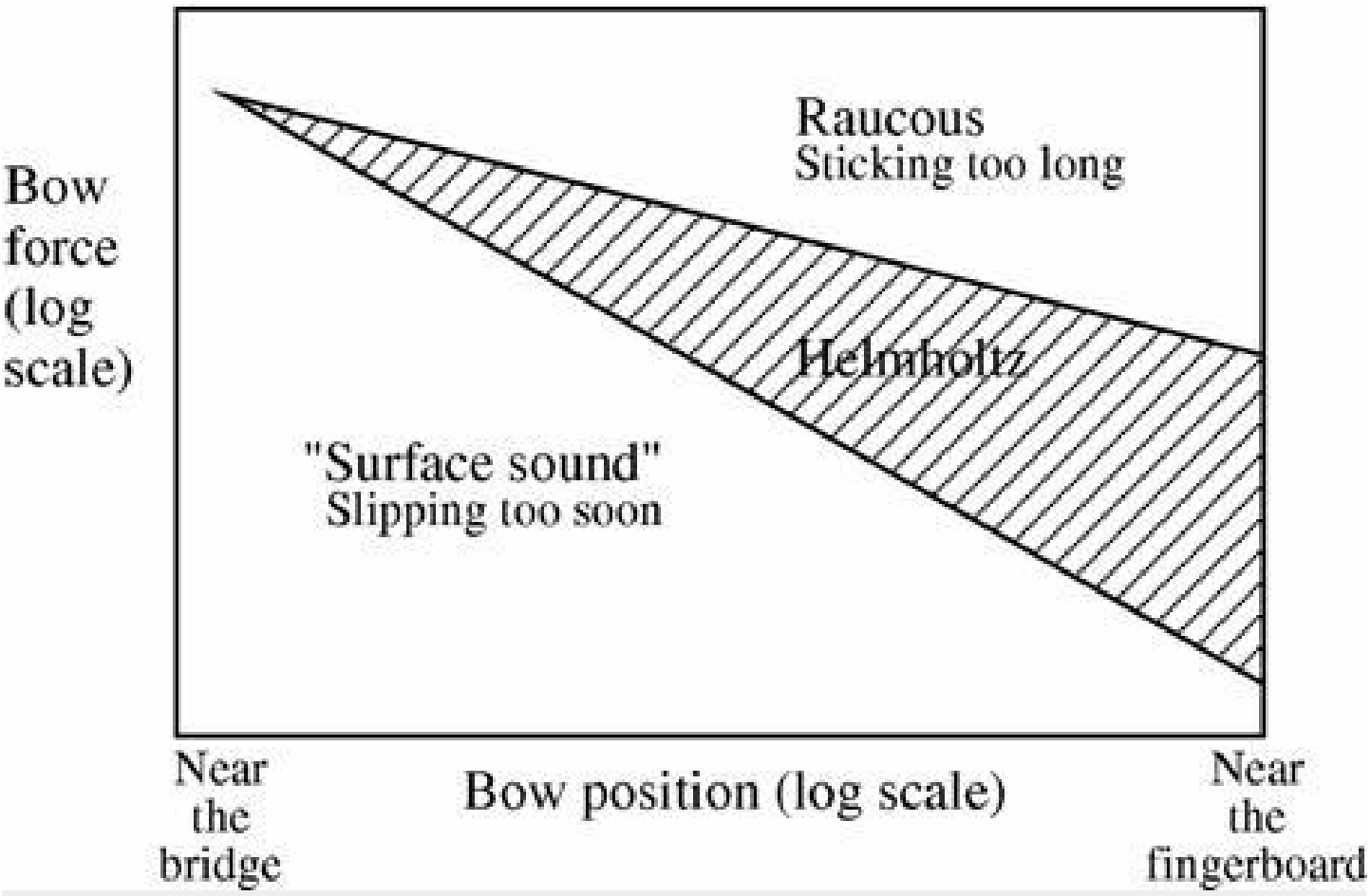
يوجد في هذه الصورة الآن زاويتان تتحركان على الوتر، ويحدث الانزلاق مرتين في كل دورة من الاهتزاز. والنتيجة هي نغمة عند نفس درجة النغمة الناتجة عن حركة هيلمهولتز، لكن بشكل موجي وصوت مختلفين. ولأسباب تاريخية فإن هذه الأصوات تعتبر غير مقبولة، على الأقل من قبل عازفي الكمان الغربيين الكلاسيكيين. أما مدرس العزف الخاص بك فمن المرجح أن يتغاضى عنها باعتبارها "**أصواتًا سطحية**"، ويخبرك بأن تتدرب أكثر حتى تتجنب هذه الأصوات. يحدد الانتقال من حركة هيلمهولتز لحركة الانزلاق المزدوج الحد الأدنى المقبول لقوة القوس، وهي القوة التي يضغط فيها القوس على الوتر.

وهناك أيضًا حدٌ أعلى مقبولٌ للقوة. إذا تم الضغط على القوس بقوة فقد يُصدر الكمان أصوات ضوضاء صاخبة بدلًا من نغمة موسيقية. ولا يعود اهتزاز الوتر اعتياديًا، بل ينتقل إلى نمط فوضوي. وطبعًا هذا الصوت مرفوض أيضًا من قبل مدرسي الكمان.

لكن قوة القوس ليست كافية!

تخبرنا شروط الحد الأدنى والأقصى لقوة القوس بشيء مثير للاهتمام حول صعوبة العزف على الكمان. فعند إجراء تحليل بسيط لهذين الشرطين، يتضح أن كليهما يعتمد على موقع القوس على الوتر. لنفترض أن طول الوتر يساوي **L**، وأن القوس وُضع على مسافة **L** من الجسر، حيث تكون في العادة رقمًا صغيرًا بالنسبة لعزف الكمان العادي. يمكن عندها إثبات أن قوة القوس القصوى تتناسب عكسيًا مع \(beta ^{-1}\).، وأن قوة القوس الدنيا تتناسب مع \(beta ^{-2}\). يمكن جمع هذين الشرطين على شكل رسم بياني تم اقتراحه لأول مرة من قبل جون شيلنغ **John Schelleng** في ستينيات القرن الماضي.

إن الطريقة الأفضل لرسم قوة القوس **N** وموقع القوس [؟] هي رسمها على مقاييس لوغارتمية، بحيث تصبح علاقات القوتين عبارة عن خطوط مستقيمة. وسيبدو الشكل بيانيًا كما يلي:



رسم شيلينغ البياني لقوة القوس مقابل موقعه عند استخدامه بشكل ثابت لمدة طويلة.

يظهر الشكل المظلل المنطقة التي يمكن خلالها تحقيق حركة هيلمهولتز. يقوم الوتر خارج هذه المنطقة بالأمور غير المرغوب بها التي تم ذكرها من قبل. من الواضح على الفور أن إنتاج حركة هيلمهولتز يكون أسهل إذا كان القوس بعيدًا عن الجسر، فإذا كان القوس قريبًا جدًا من الجسر، فإن نهايتي القوتين تتقاربان ويُصبح من غير الممكن تحقيق حركة هيلمهولتز على الإطلاق.

لكن الصورة تكشف عن شيء آخر متعلق بالمبتدئين على الكمان. فعند أول محاولة لك للعزف على الكمان، سيكون عليك التفكير بالكثير من الأشياء المختلفة، منها التحكم بالقوس ليلمس الوتر المناسب، وتعديل يدك اليسرى للحصول على النغمة الصحيحة، وغيرها الكثير. وبالتالي قد يحدث أن لا يولي المبتدئ اهتمامًا كبيرًا لموقع القوس على الوتر [؟]. وبعبارة أخرى قد يتحرك المبتدئ بشكل عشوائي على طول خط أفقي في رسم شيلينغ البياني. ويكشف شكل منطقة هيلمهولتز على الفور أن هذا قد يؤدي إلى الانخفاض تحت خط الحد الأدنى للقوة أو الارتفاع فوق الحد الأقصى للقوة، حتى بدون تغيير قوة القوس.

القابلية للعزف

بالطبع هذه ليست القصة الكاملة حول صعوبة تعلم العزف على الكمان. لأن مخطط شيلينغ فعليًا يخبرنا فقط حول إمكانية الحصول على حركة هيلمهولتز خلال حركة ثابتة وطويلة المدة للقوس على الوتر.

ولكن هل سأستطيع الإتيان بحركة هيلمهولتز؟

لكن عازفي الكمان لا يريدون أن يعزفوا بضربات ثابتة لمدة طويلة على الوتر؛ فقد تستخدم العديد من الحركات باستخدام القوس لأغراض موسيقية، مثل ضربة **martelé** وهي استمرار وجود القوس على الوتر ثم تركه بشكل مفاجئ، و **spiccato** وهي نغمات منفصلة و سريعة وتنتج من قفز القوس على الأوتار. أما العازف الأكثر تمرسًا فسيكون مهتمًا بأسئلة مثل "إذا نفذت هذه الحركة بالقوس هل سأحصل على حركة هيلمهولتز؟ كم من الوقت ستحتاج الحركة حتى تنشأ؟".

السؤال الثاني له أهمية خاصة، وذلك بسبب وجود فترة انتقالية للحركة غير المنتظمة للوتر، والتي قد تبدأ النغمة بصوت صرير. وبإمكان الحركة الجيدة للقوس أن تقلل مدة الانتقال هذه، وتبدأ بحركة هيلمهولتز بسرعة وتعطي صوتًا رقيقًا للنغمة.

يؤدي هذا إلى فكرة "**قابلية العزف**" لأداة موسيقية. يعلم الجميع أن بعض آلات الكمان أكثر قيمة من غيرها. لماذا يحدث هذا في حين تبدو جميع آلات الكمان الطبيعية متماثلة؟ أحد جوانب الاختلاف هو "**جمال الصوت**" من الآلة، وهو جانب يصعب وصفه بمصطلحات علمية، لأنه يتوجب عليك أولًا معرفة ماذا يعني السامع بالصوت الجميل.

لكن إذا كنت تشاهد عازف كمان يجرب الآلات الموسيقية، فقد تسمع تعليقات مثل "لا أحب صوت هذه لكنه من السهل العزف عليها"، أو "هذه تبدو جيدة لكنها بطيئة التفاعل". ولا يهتم العازفون بنوعية الصوت فحسب –بغض النظر عما يعنيه ذلك بدقة– وإنما هم مهتمون

أيضًا بسهولة العزف، أو ما يعرف بقابلية للآلة العزف. إذا كانت إحدى آلات الكمان أكثر سرعة وأكثر ملائمة من غيرها من ناحية إنتاج حركة هيلمهولتز بشكل موثوق، فإذًا من المرجح أن يفضل العازف هذا الكمان بالذات.

كمانات افتراضية

على عكس خاصية جمال الصوت، يمكن إخضاع قضية قابلية الآلة للعزف للبحث العلمي باستخدام نماذج رياضية لوتر كمان منحنٍ. تم خلال السنوات الثلاثين الماضية تطوير نماذج جديدة باضطراد. وهذه النماذج معقدة إلى درجة لا يمكن حلها بالطرق الرياضية التي تعتمد على الورقة و القلم، لكن يمكن استخدام هذه الطرق لإنتاج محاكاة حاسوبية عن كيفية استجابة وتر كمان ما لحركة قوس معينة.

بإمكان هذه النماذج أن تُوضح الكثير من الأمور المعقدة التي يستطيع أن يفعلها وتر كمان، وبدأت تُصبح جيدة بما يكفي لاستكشاف أسئلة التصميم: كيف يمكن تعديل تصميم وتر أو قوس أو شكل هيكل الكمان بحيث تتحسن قابلية العزف؟

تُستخدم هذه النماذج النظرية أيضًا بطريقة دائرية مثيرة للفضول لإنتاج الموسيقى بشكل مباشر. فمع زيادة سرعة الحواسيب أصبح من الممكن تشغيل نماذج محاكاة متطورة في الوقت الحقيقي، لصنع "**آلات موسيقية افتراضية**"، حيث يُستخدم نموذج رياضي لآلة صوتية كأساس لآلة إلكترونية. وتستخدم بعض من أغلى أنظمة المزج الموسيقية هذه الطريقة، فيما يسمى بتركيب النموذج المادي.

إذا أخذنا بعين الاعتبار الطريقة المعقدة التي يهتز بها وتر الكمان المنحني، فمن غير المستغرب أن الكمان هو آلة صعبة التعلم؛ فهناك خط رفيع بين تحقيق حركة هيلمهولتز وإنتاج أصوات غير مقبولة، سواءً كنت مجرد مبتدئ أو تحاول تعلم تقنيات متقدمة لاستخدام القوس. لكن لا يزال الأمل قائمًا بالنسبة لأولئك الذين لم يعزفوا على الكمان الحقيقي، لأن النماذج الرياضية لفيزياء الوتر المنحني قد تسمح لك بالعزف على كمان افتراضي في النهاية.

- التاريخ: 2015-07-02
- التصنيف: أسئلة كُبرى

#الأنظمة الخطية #حركة هيلمولتز #الأوتار الممدودة #الأوتار المنحنية

المصادر

- plus.maths
- الصورة
- الصورة

المساهمون

- ترجمة
  - أسماء مساد

- مُراجعة
  - عبد الرحمن سوالمه
- تحرير
  - فراس الصفدي
- تصميم
  - نيكولا رحال
- نشر
  - مي الشاهد