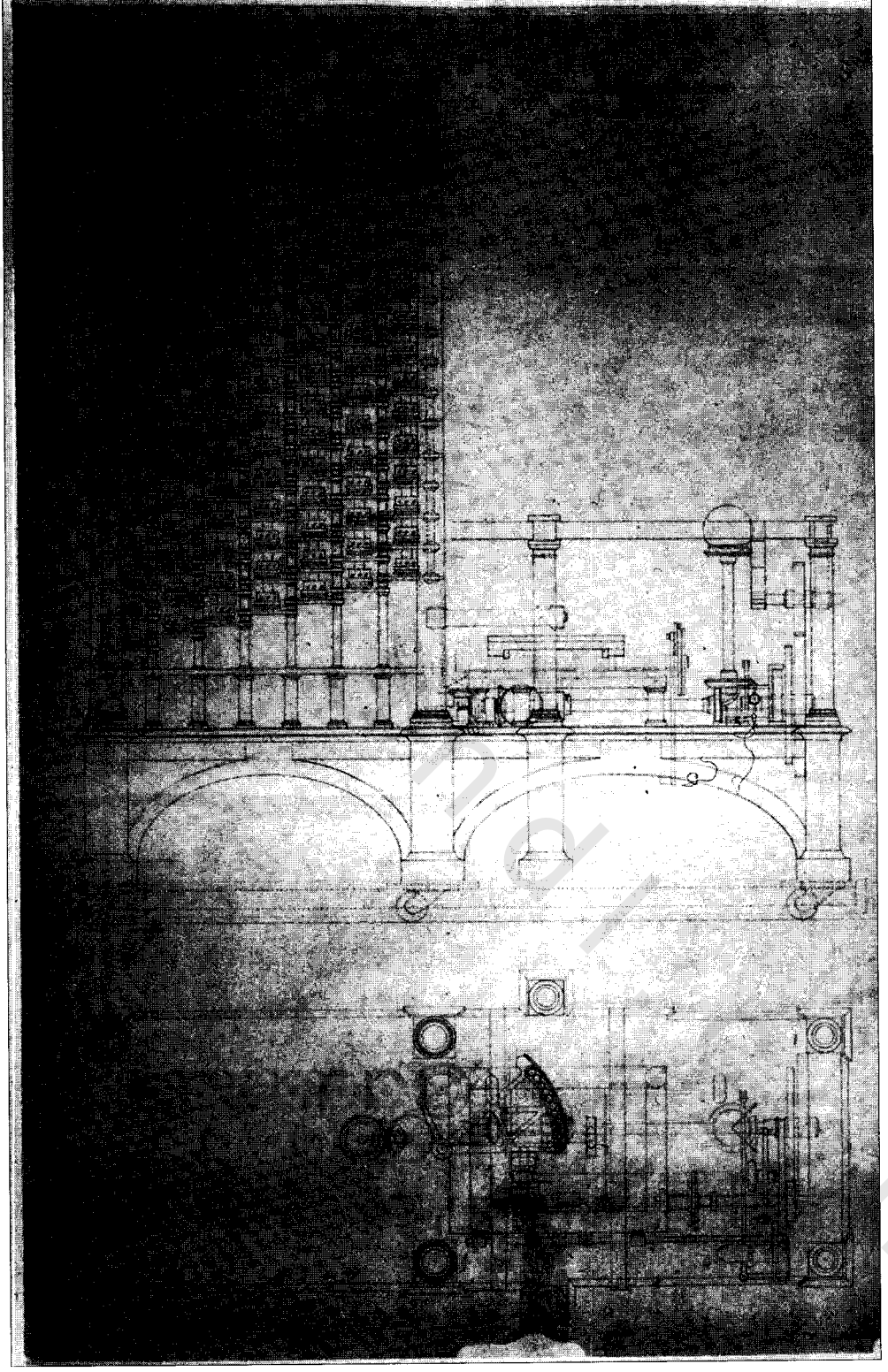
الفصل

3

اختراع «محرك الفارق»

حينما زار تشارلز بابيج وجون هيرشل باريس سنة 1819، عاينا عملاً رياضياً عظيماً. ففي تسعينيات القرن الثامن عشر، كان البارون غاسبار دي بروني قد أشرف على إنتاج 17 مجلداً من اللوغارتمات والدالات المثلثية للزوايا. وعلى الرغم من أنها لم تنشر قط، إلا أن صانعي الجداول الآخرين كانوا غالباً ما يعودون إلى تلك المخطوطات. فعمل عظيم كهذا لا يمكن إنجازه بطرق الحساب العادية. ولقد فوجئ الرجلان الإنكليزيان حين علما أن دي بروني استنبط طريقته الفريدة بعد أن أتيحت له الفرصة لقراءة كتاب آدم سميث «ثروة الأمم» الذي صدر في لندن سنة 1776 وكان يتحدث عن مبادئ الاقتصاد الصناعي منذ ذلك الوقت المبكر، علماً أن سميث هذا كان أستاذاً في جامعة غلاسغو في



المخطط والمسقط الرأسي لمحرك بابيج «محرك الفارق رقم 1» قياسات هذا المحرك تصل إلى 8 أقدام في الارتفاع، 7 أقدام في العرض و3 أقدام في العمق.

سكوتلاندا. إن الفصل الذي أثر أشد التأثير في دي بروني إنما يصف تقسيم العمل، حيث يمكن لعمليات التصنيع أن تجزأ إلى مراحل صغيرة، كل منها تنفذ على نحو متكرر من قبل عمال متخصصين.

لقد طبق البارون دي بروني تقسيم العمل هذا على إنتاج جداوله الرياضية. ففي البداية قرر بضعة خبراء في الرياضيات الصيغ الأكثر ملاءمة للاستعمال في الحسابات. ثانياً، قام حوالي ثمانية حاسبين يعرفون الجبر باستخدام الصيغ تلك لوضع حسابات مفصلة للقيم الخاصة بالجدول بفواصل منتظمة. ثالثاً، قامت مجموعة أخرى بحساب كل القيم الأخرى بطريقة التفاضل، مستخدمة عمليات الجمع البسيطة فقط أو الطرح، طبقاً لتعليمات المجموعة الثانية من الحاسبين. وقد وصف بابيج عمل المجموعة الثالثة في رسالته المفتوحة إلى همفري ديفي سنة 1822 على النحو التالي:

> «أما القسم الثالث، الذي يؤول إليه الجزء الأشد عناء وجهداً من العمليات، فيتألف من 60 إلى 80 شخصاً، بعضهم لديه معرفة بأكثر من قواعد الحساب الأولية: وهؤلاء يتلقون من الصف الثاني أرقاماً وتفاضلات معينة يستطيعون بها، عن طريق عمليات الجمع والطرح حسب نظام محدد من قبل أن يكملوا كامل الجداول المذكورة آنفاً».

ولتوضيح هذا الأسلوب سنورد مثالاً بسيطاً. افترض أنك تريد أن تنشئ جدولاً لمربعات الأعداد الصحيحة حتى الـ1000 أو أكثر. سترى أن ذلك العمل ثقيل ممل،

لذلك تقنع اثنين من معلمي المدرسة الابتدائية بأن يؤديا لك ذلك العمل. الحساب الوحيد الذي يعرفانه هو الجمع لكنهما بارعان فيه. تطلب إليهما أن يجمعا عدداً ما مع عدد آخر ثم يجمعاه ثانية إلى الناتج لديهما ويكررا هذا المرة تلو المرة، ولسوف يكون من الأفضل أن تجد شيئاً جيداً تكافئهما به على عملهما.

يبدأ كل من بوب وآن بالعدد 1. منه فصاعداً ستقوم آن بإضافة 2 عليه المرة تلو المرة. ممررة النتائج إلى بوب، الذي سيجمع بدوره، الرقم 1 مع الرقم الذي تعطيه إياه آن كل مرة، وأيضاً المرة تلو المرة، كما هو مبين في الجدول التالي:

العدد المرحلي	مهمة آن	نتيجة آن	مهمة بوب	نتيجة بوب
1	1	1	1	1
2	1 +2	3	1 +3	4
3	2 +3	5	4 +5	9
4	2 +5	7	9 +7	16
5	2 +7	9	16 +9	25
6	2 +9	11	11 +25	36
7	2 +11	13	13 +36	49
8	2 +13	15	15 +49	64
9	2 +15	17	17 +64	81
10	2 +17	19	19 +81	100
11	2 +19	21	21 +100	121
12	2 +21	23	23 +121	144
13	2 +23	25	25 +144	169
الخ	الخ	الخ	الخ	الخ

obeikandl.com

إن الأعداد في العمود الأخير هي مربعات الأعداد في العمود الأول، وكل ما احتاجه بوب وآن لاستخراج تلك المربعات إنما هي عملية جمع بسيطة للغاية.

على أن الصيغ الخاصة باللوغارتمات والدالات الأخرى أكثر تعقيداً من هذا بكثير، خاصة وأنك، بدلاً من حاسبين اثنين كبوب وآن فقط، تحتاج إلى عدد أكبر بكثير. إنه ذلك النوع من العمل الذي قام به للبارون دي بروني ثانية حاسبين.

الفكرة العظيمة التي خطرت ببال تشارلز بابيج سنة 1821 هي أن العمل الذي كان موكلاً به إلى القسم الثالث يمكن أن تقوم به الآلة، وكل ما عليه أن يفعله هو استنباط الآلية التي يمكن بها جمع فوارق ثابتة إلى قيم ابتدائية محددة. وهذا هو السبب في تسمية آلته «محرك الفارق».

لقد كان بابيج مقتنعاً أن الآلة ممكنة نظرياً، رغم أنه لم يكن لديه أية تفاصيل تصميمية. توصل بابيج إلى وضع التنظيم الأساسي ثم شرع بإجراء التجارب على الآليات. فكانت تصاميمه ونماذج عمله الأولى كلها صنع اليد، بيد أن فكرته أن يقوم محرك بخاري بإجراء الحسابات كانت ملحة عليه إلى درجة أنه دعا اختراعه باسم «محرك الفارق». وهكذا، كان هاجس بابيج وشغله الشاغل طوال العقد التالي هو تطوير التصميم الكامل لذلك المحرك وصنعه.

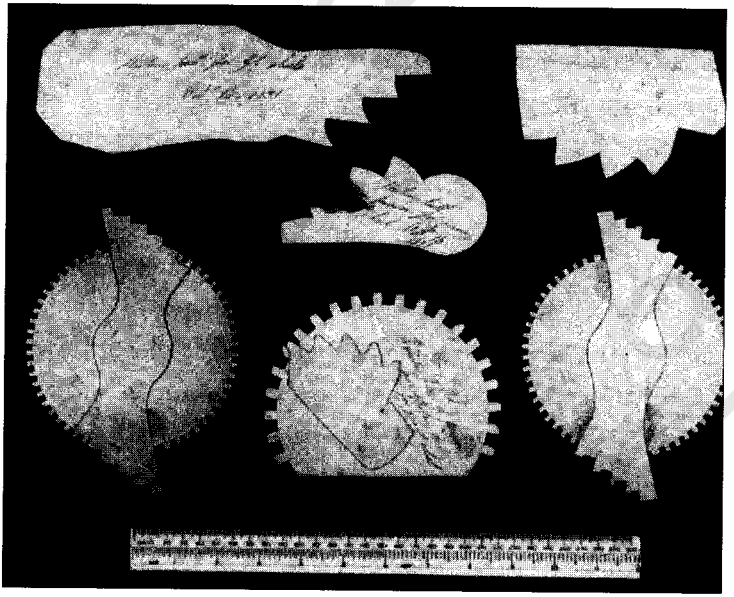
لقد عرف بابيج أن مشاهير الناس والعباقرة على مدى قرنين تقريباً كانوا قد عملوا في صنع آلات حاسبة، بعضها كان صالحاً عملياً! إلى هذا الحد أو ذاك. لذا، لم تكن فكرة وضع جداول حاسبة بواسطة الآلة أمراً خارقاً للعادة كثيراً، لكن تلك الآلات التي تعمل - باليد كانت بطيئة جداً بالنسبة إلى العمل الذي كان بابيج يتصوره. وما من آلة جمع نجحت تجارياً حتى وقت متأخر كثيراً من القرن التاسع عشر نظراً لأن «محرك الفارق» لم ينجز بنجاح قط على هذا الأساس. يمكنك أن تستنتج أن بابيج كان حالماً وغير عملي، خاصة وأنه لم يكن لديه أية خبرة سابقة في تصميم الآلات المعقدة وصنعها. كذلك يمكنك أن تستخلص أنه كان من الحمق بمكان لينفق الكثير الكثير من وقته وماله على حلمه الخيالي ذاك.

لكن، من الخطأ أن تنظر إلى المسألة بتلك الطريقة. فقد كان بابيج غنياً إلى حد لم يكن يحتاج معه لأي مكسب مالي من وراء عمله. كما أنه لم يكن يعلم ما إذا كان محركه سينجح أم لا قبل أن يصنعه. وعلى الرغم من أنه كان يأمل في أن يسهم في حركة تقدم العلم في إنكلترا. إلا أن دافعه الرئيسي كان ينبع من داخله. مكافأته كانت تتجسد في إنجاز ذلك الاختراع الذكي نفسه. إذ لم يكن باستطاعته أن يخترع آلة حاسبة بغير عدة تصميم، آليات ضبط، ومحركات قوة. ولم يكن مهماً ما إذا كانت أدوات الآلات في ذلك العصر قادرة على أن تنتج عملياً تلك القطع بنوعية عالية إلى حد كافٍ

وكلفة منخفضة من أجل صنع محرك العمل أم لا.

لقد أبدع بابيج تصاميم مجردة، آلات موجودة على الورق وفي ذهنه، بدلاً من آلات من نحاس وفولاذ. على أن تشارلز بابيج، بمراقبته للآلات عن كثب وتفكيره بها بعمق جعل من نفسه واحداً من أفضل المستشارين الهندسيين في عصره.

إن افتقاره الأولي للخبرة في الهندسة العملية كان بالحقيقة مصدر قوة لمهمته الأساسية. ذلك أنه كان يتمتع بعبقرية لا نظير لها في التصميم الميكانيكي المجرد. فآلاته الحاسبة كانت أكثر الآلات التي اخترعت حتى مطلع القرن العشرين تعقيداً. إن قدرته على وضع تصميم مجرد مع القليل من الاعتبار لمشكلات التنفيذ الصغيرة



استخدم بابيج مقطّعات الكرتون كمكوّنات مختلفة وهو يطور تصاميمه. فيما كثير من الحواشي بخط يده. وتعطي المفاتيح الدالة على الإسهامات التي قدمها مهندسه جوزيف كليمنت، لعملية التصميم.

الفوارق في سلاسل الأعداد

بغية جعل محرك الفارق يعمل، على العامل أن يحدد الفوارق الأولية التي ينبغي إدخالها إلى الآلة. إذ، من أجل عملية آلية، يجب أن يكون الفارق المطبق على دولاب الانطلاق ثابتاً وكما ترى في الجدول التالي، في سلسلة مربعات الأعداد الصحيحة، فإن الفارق الثاني ثابت: 2، وفي سلسلة المكعبات، فإن الفارق الثالث 7 هو ثابت. كذلك لاحظ كتدقيق أخير أن الفارق الذي يلي الثابت هو صفر.

المربعات

السلسلة	الفارق الأول	الفارق الثاني	الفارق الثالث
1			
4	3		
9	5	2	
16	7	2	0
25	9	2	0
36	11	2	0
49	13	2	0

obeikandl.com

المكعبات

السلسلة	الفارق الأول	الفارق الثاني	الفارق الثالث	الفارق الرابع
1				
8	7			
27	19	12		
64	37	18	6	
125	61	24	6	0
216	91	30	6	0
343	127	36	6	0

obeikandl.com

أتاحت له أن يرى نتائج أفكاره الطويلة الأمد ودلالاتها بعمق أكثر ربما من أي شخص آخر في تاريخ التكنولوجيا والهندسة.

بهذا المعنى، لم يكن غزو بابيج لعالم الآلات الحاسبة نوعاً من التخلي عن عمله الأقدم في الرياضيات النظرية والميادين المتعلقة بها. إذ رغم افتقاده للموقع العلمي المناسب ولأي اعتراف رسمي أو مكافآت مالية، فقد أثار مشكلة علمية جديدة. مشكلة تناسب أسلوبه الذكائي الخاص، مشكلته الخاصة به وحده. إذ ما من أحد عيّنه عبقري حواسيب للقرن القادم. بل هو لم يكن يدرك أن ذلك سيحدث. غير أن طيف الحاسب الآلي. كما نعرفه اليوم، كان هو المهيمن عليه بقية حياته الإبداعية.

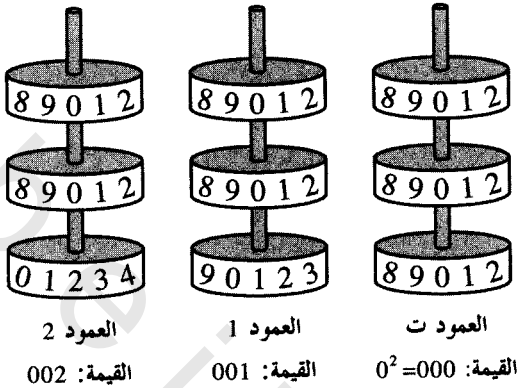
كان بابيج جريئاً في تفكيره إلى درجة استطاع معها أن يؤتمت عملية، كحساب جدول اللوغارتمات مثلاً. وكان مقداماً في افتراضه أن باستطاعته أن يصمم آلة تحسب عملياً أية مهمة رياضية: ليس فقط اللوغارتمات، بل الجيب، التجيب، جذور التربيع وكذلك جداول تحدد مواقع أقمار المشتري أو تضمن الإبحار بأمان في أعالي البحار. بسرعة كبيرة بت بابيج في أنه سيفعل ذلك من خلال تصميمه الآلة المتعلقة بطريقة الفوارق.

إن التصميم الأساسي للقسم الحاسب من «محرك الفارق» غيَّر القليل جداً من مفهومه. إذ رتبت عدة أعمدة

شاقولية عبر واجهة الآلة، كل منها يمسك بعدة دواليب أفقية دوارة تنقسم إلى عشرة أجزاء مرقمة من الصفر إلى التسعة، وكل عمود يتطابق مع رقم كامل واحد، بحيث يكون الرقم الأهم في الأعلى والرقم الأقل أهمية في الأسفل. وكان العمود الأيمن (أو المحور) يحتوي على رقم الجدول، العمود التالي يحتوي على الفارق الأول، وهكذا يساراً باتجاه الأنظمة الأخرى من الفوارق. كما سمحت آليات إضافية للرقم المسجل على أي دولاب معين بأن يضاف إلى الدولاب المرافق على المحور إلى يمينه. وبأن تتكاثر «المحمولات» صعوداً أو نزولاً على دولاب معين، حين ينتقل كل دولاب من رقم 9 إلى (أو العكس). بذلك، كانت المقدرة الأساسية هي جمع (أو طرح) الأرقام المفردة. وكانت الآلة تشتغل بسحب مقبض في أعلاها إلى الوراء والأمام، وهو المقبض الذي كان يتصل بمسننات داخلية. إن باستطاعتنا أن نرى كيف يترجم هذا إلى أكثر الأعمال تعقيداً بتأملنا لحالة بسيطة، نريد فيها أن نحسب جدول مربعات في «محرك فارق» ذي أعمدة ثلاثة. (جدول، فارق أول، وفارق ثانٍ) وحيث لكل عمود 3 دواليب أرقام فقط. إننا سنحسب قيم دالة لمتغير من المتغيرات. هذا المتغير سيتخذ القيم 0، 1، 2، 3. وهلم جراً وسنمثله بالحرف س. وسنعبر عن دالتنا البسيطة نوعاً ما بصورة رياضية على النحو التالي:

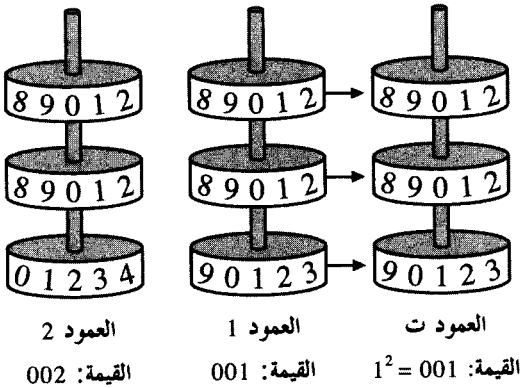
$$ف (س) = س^2$$

المرحلة الأولى



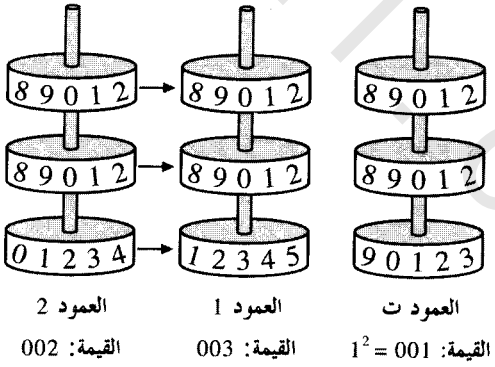
إن المجموعة الأولية ستكون تلك المبينة في المرحلة 1. هنا، القيمة 2 موضوعة على الدولاب الأسفل للعمود د2 (الذي لن يتغير)، والقيمة 1 (الفارق الابتدائي الأول) على الدولاب الأسفل لـ د1 والقيمة (التي هي مربع الصفر) في عمود من (الجدول) هنا س = 0 وف (س)= 0.

المرحلة الثانية



المرحلة الثانية: الآن نحن جاهزون لأن نحسب بسحب المقبض المحرك إلى الخلف والأمام في الانتقال إلى المرحلة 2، كل رقم دولاب في د1 يضاف إلى الدولاب المرافق له في العمود ت. أي أننا، في هذه الحالة، نجمع فقط 1 إلى الدولاب الأسفل، لنعطي ما يدعى المرحلة 2. وفي أكثر الحالات تعقيداً، قد يتعين علينا أن ننقل الأرقام صعوداً في العمود ت، في أي وقت ينتقل فيه أحد دواليبه من التسعة إلى الصفر.

المرحلة الثالثة: الآن، نحن لدينا جدول قيمة جديداً، وبإمكاننا أن نحصل على قيمة د، كما هو مبين في المرحلة الثالثة، بجمع القيم الموجودة في د2، مع تلك الموجودة في د1.

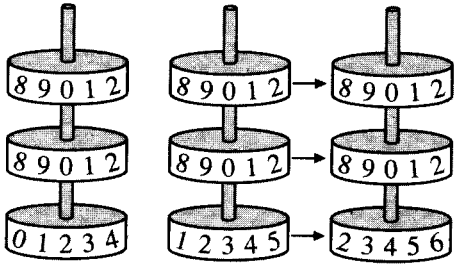


في هذه المرحلة لا تتغير قيم الجدول، بعدئذ نجمع أرقام الدواليب في د1 مع أرقام دواليب ت وهو ما يقضي بنا إلى المرحلة الرابعة، مع القيمة 2 مربع في عمود الجدول.

المرحلة 50: بالتقدم على هذا النحو، أي مرحلتين لكل مربع جديد (وكل قيمة جديدة لـ (س)، سرعان ما نصل إلى المرحلة 50، حيث يمثل عمود الجدول النتيجة وفيها س= 25 وف (س)= 625، وبإمكاننا المتابعة إلى أن يتعذر على الدواليب الإمساك بالنتائج. ونظراً لأن العمليات الأساسية هي الجمع والطرح، لا يتعدى الأمر أكثر من صنع آلة جمع ميكانيكية. إنها، بالطبع، أصعب مما توحي به تلك الرسوم، نظراً لأنها تتجاهل حمل الأرقام صعوداً، والشروط المعقدة الخاصة بطباعة النتائج الآلية، علاوة على تفاصيل أخرى مهمة. كذلك، صحيح أيضاً أن حساب جدول المربعات يدوياً ليس صعباً جداً وبالتالي لا يستحق الجهد الكبير لمكننته.

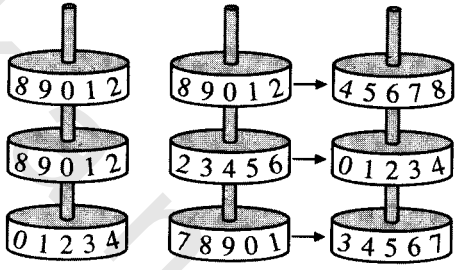
يحتاج المحرك، من أجل المربعات، ثلاثة أطقم من الدواليب، أما من أجل المكعبات فيحتاج إلى أربعة. لكن بابيج كان سيحتاج إلى أطقم أكثر من الدواليب في آلته لحساب السلاسل التي يمكن أن يأخذها حتى الفارق الرابع أو الخامس بغية إيجاد القيمة الثابتة. والواقع أن بابيج استخدم عبقريته الميكانيكية لتخفيض أعداد الأطقم من الدواليب إلى أدنى حد. ولقد وصف جزءاً من العملية في وقت لاحق من سنة 1822 قائلاً:

المرحلة الرابعة



العمود 2 — القيمة: 002
العمود 1 — القيمة: 003
العمود ت — القيمة: $2^2 = 004$

المرحلة خمسون



العمود 2 — القيمة: 002
العمود 1 — القيمة: 049
العمود ت — القيمة: $25^2 = 625$

«بالنسبة إلى المخطط الأصلي، فإن محركاً لحساب الجداول ـ فوارق الثانية ثابتة وله ستة أرقام في كل عدد وأربعة واثنان على التسلسل لفارقه الأول والثاني ـ يتطلب أن يكون له 96 دولاباً و24 كوراً. أما في المحرك المختزل فإن 18 دولاباً وعلى محاور تصبح بديلة لها. وفي ذلك الجزء من المحرك الذي تطبع بواسطته الأعداد، فإن تخفيضاً أكبر حتى يمكن إجراؤه: 10 نردات تقوم بمهمة الـ120.

الحاسبات الميكانيكية الأولى:

أول حاسبة ميكانيكية نعرف شيئاً عنها كانت من صنع ولهيلم شيكارد الذي كان أستاذ العبرية، اللغات الشرقية، الرياضيات، علم الفلك والجغرافية في المدينة الألمانية توبينجن إضافة إلى أنه كان كاهناً بروتستانتياً (يا له من اختصاصي متشدد!!) كما كان زميلاً لعالم الفلك الألماني يوهان كيبلر، كذلك نعلم أنه هو وكيبلر ناقشا اللوغارتمات في وقت يعود إلى 1617. تابع شيكارد العمل في طرائق الحساب وفي أيلول 1623 كتب لكيبلر قائلاً:

«لقد صنعت آلة تتألف من إحدى عشرة عجلة مسننة كاملة وست عجلات مسننة جزئية يمكنها أن تحسب. ولعلك كنت ستقهقه ضاحكاً لو كنت حاضراً لترى كيف تحمل الأرقام من تلقاء ذاتها، من عمود العشرات إلى العمود التالي أو تستعير منه خلال الطرح».

ومن الواضح أن كيبلر كان مهتماً نظراً لأنه مع مجيء الربيع التالي كان لدى شيكارد نسخة ثانية من الآلة التي صنعت خصيصاً كي ترسل إلى كيبلر. لكن لسوء الحظ، قضي على هذه النسخة حين شب حريق في المنزل الذي كانت فيه. لقد ظلت آلة شيكارد طويلاً طي النسيان فيما ضاعت تفاصيلها كلياً على ما يبدو بعدئذ، وفي وقت حديث تماماً، قام بعض الدارسين بدراسة الكتب القديمة في محفوظات الأكاديمية الروسية للعلوم في سان بطرسبورغ فوجدوا واحداً من نصوص كيبلر الخاصة مع قطعة من الورق كان يستخدمها كعلامة قراءة. ولقد تبين أن على هذه الورقة الرسوم الأصلية لآلة شيكارد.

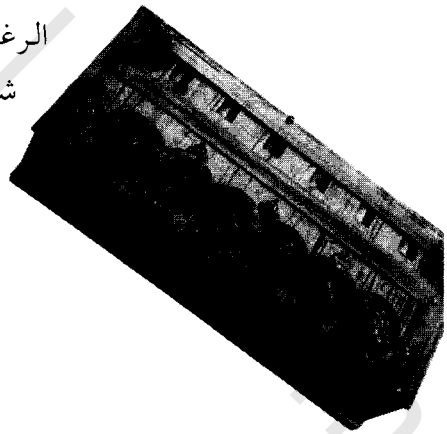
لقد كانت الآلة نفسها محدودة تماماً، إذ كانت تسمح بجمع أو طرح أعداد تصل إلى 6 أرقام. وكان إدخال الأرقام يتم واحداً واحداً كل مرة

وذلك باستخدام مرقّم لتدوير عجلات الإدخال عبر جزء ملائم من الدائرة. وكانت ثمة آلية بسيطة تحمل آلياً الأرقام إلى اليسار في الوقت المناسب أثناء الجمع أو تستعير من اليسار إلى اليمين أثناء الطرح. أما القسم الأعلى والأكبر من الآلة فقد كان فيه الأجزاء التي ستقوم بعرض جدول الضرب من أجل عدد خاص بحيث يمكن جمع النوابع الجزئية يدوياً في الأسفل.

غير أن آلية الحمل كانت تعمل بطريقة جعلت من الصعب تماماً توسيع الآلة إلى ما بعد الستة أرقام. بهذا الشكل، ما كان بالإمكان أن تكون الآلة مفيدة كثيراً في الحساب العملي، لكنها كتجلٍ لمفهوم الحساب الميكانيكي كانت رائعة تماماً.

فكر بليز باسكال بحاسبته الميكانيكية سنة 1642، عندما كان في التاسعة عشرة. أنتج حوالي 50 آلة في حياته وكلها تقوم أساساً على أفكاره الأولى، ومن المشكوك فيه: أن أي آلة من آلاته: كان بالإمكان الوثوق بها أو الاعتماد عليها.

صنعت الآلات الميكانيكية الأولى التي عرفت على نطاق واسع من قبل الفيلسوف الطبيعي الفرنسي العظيم بليز باسكال. وكانت البداية سنة 1642 حين كان في التاسعة عشرة من عمره. وعلى الرغم من أن باسكال ربما لم يكن يعرف شيئاً عن شيكارد، إلا أن آليته الأساسية كانت مشابهة تماماً وكانت تسمح بجمع أو طرح أعداد متعددة الأرقام وذلك بتدوير عجلات إدخال بواسطة مرقّم.



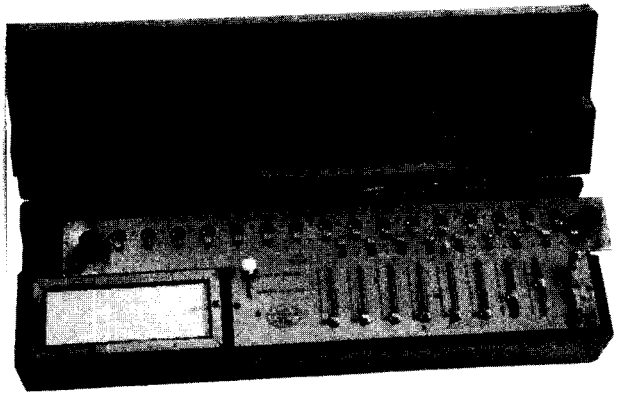
لكن كان لدى باسكال آلية عمل أكثر تعقيداً. وهي الآلية التي تسمح للآلة بحمل أرقام أكثر بكثير من آلة شيكارد. مع ذلك، لم يكن تصميمه يسمح للعجلات بالدوران إلى

الوراء، وبذلك كانت مقاربة باسكال للصراع أقل ملاءمة من شيكارد. كما أن باسكال لم يتناول الضرب على الإطلاق.

كان لدى باسكال بعض الآمال في صنع آلات بيع مفيدة كتلك الآلة. وقد أمضى وقتاً طويلاً وهو يجرب لإيجاد طرائق الصنع ومواده. والواقع أن عدة آلات صنعت خلال حياته لكن تلك الآلات لم تكن موثوقة أو يعتمد عليها كثيراً من جهة ولم تكن سريعة الاستجابة كثيراً من جهة ثانية. مع ذلك، ورغم أن المغامرة لم تفض إلى نجاح اقتصادي، إلا أنها جذبت اهتمام الناس وعلى نطاق واسع إلى فكرة الحساب بواسطة الآلة. وبالتالي سرعان ما وجدت محاولات باسكال من يحاكيها.

الخلف الأهم لباسكال إن كان الفيلسوف الألماني وعالم الرياضيات العظيم غوتفريد ويلهيلم ليبنتز. إننا نعلم أنه غدا مهتماً بالآلات الحاسبة بعد سماعه بآلة باسكال، لكن من غير الواضح إن كان ليبنتز عرف بتفاصيلها أم لا. على أية حال، كانت الآلة التي صممها أخيراً (وقام بصنعها صانع ساعة باريس سنة 1674) مغايرة تماماً وأكثر فائدة بكثير. إذ تخطت عملية الجمع البسيطة إلى الضرب المؤتمت بصورة كاملة تقريباً، وذلك باستخدام جهاز يدعى الأسطوانة المدرّجة. كما

أول حاسبة ناجحة تجارياً ويعتمد عليها، هي أرثيموميتر دي كولمار التي أنتجت حوالي سنة 1820 وظلت قيد الإنتاج حتى بداية الحرب العالمية الأولى.



كانت موثوقة يعتمد عليها من حيث الصناعة والشغل أكثر من آلة باسكال. ولم يتفوق على تصميمها أي تصميم حتى نهاية القرن التاسع عشر.

بيد أنه من غير الواضح تماماً إلى أي مدى كان تصميم ليبنتز مؤثراً. إذ أن الآلة بحد ذاتها فقدت. لكن في وقت ما من أواخر سبعينيات القرن السابع عشر وجدت الآلة محفوظة في علية مبنى جامعة غوتنجن حيث كانت منسية تماماً (من الجلي أن ليبنتز فقد اهتمامه بها لسبب من الأسباب). ولقد بقيت هناك، لا أحد يعرف شيئاً عنها حتى 1879، حين حدث وعثر بها فريق عمل في إحدى الزوايا فيما كان يحاول سد شق في السقف.

لكن، خلافاً لآلة شيكارد، فقد كانت آلة ليبنتز معروفة من خلال المنشورات كوجود وكقدرات عامة، إنما دون الكثير من التفصيل الميكانيكي. ذلك أن بعض المعلومات عن المبادىء الميكانيكية ظلت معروفة ـ فتصاميم الحاسبات الأكثر تقدماً في القرنين التاليين كانت تستخدم آلية الأسطوانة المدرجة لليبنتز.

في القرن الثامن عشر، صنعت عدة نماذج مثيرة أخرى، إنما دون أن تستطيع واحدة منها التفوق على مقدرات آلة ليبنتز. أما أول آلة ناجحة تجارياً فقد كانت «الأريثموميتر»، وهي الآلة التي صممها بالأصل، سنة 1820 الفرنسي شارل توماس دي كولمار. هذه الآلة كانت مشابهة تماماً لآلة ليبنتز. وعلى الرغم من أن بضع وحدات منها صارت جاهزة تحت الطلب في عشرينيات ذلك القرن، إلا أن الآلة كانت أبطأ بكثير من أن تفري بالاستعمال. ولم تصبح ناجحة فعلاً؛ إلا بعد أن عرضت في المعرض الصناعي في باريس سنة 1867 وحظيت بملاحظة الناس على نطاق واسع واستحسانهم لها.

خلال بضعة أسابيع من لمعان الفكرة في ذهنه، استنبط بابيج المبادئ الرئيسية للقسم الحاسب في الآلة، ثم شرع يفكر حول الكيفية التي يطبع بها النتائج. لقد كان مقتنعاً أن الطبع الآلي سيقلل من الأخطاء التي قد تقع لدى نسخ النتائج أو وضعها في الطباعة بواسطة آلة كاتبة.

في أيار 1822. جمَّع بابيج معاً نموذج القسم العامل في الآلة الحاسبة، بما في ذلك نظام الفارق، لكن دون آلية الطبع. لقد أفلح تماماً في حساب القيم الثلاثين الأولى من الصيغة $س^2 + س + 41$، وهي الصيغة، التي كانت مثاله المفضل، إذ يتولد عنها قدر كبير من الأعداد الأولية. كما أن الآلة قدمت نتائج صحيحة بمعدل 33 رقماً في الدقيقة.

وفي رسالته المفتوحة إلى السير همفري ديفي، كتب بابيج واصفاً:

> «بضع تجارب أجراها بعض رجال العلم الذين عرضت عليهم (الآلة) لكي يبتوا بالسرعة التي تحسب بها الآلة. أما الجدول المركب فيعرض أمام العين من جانبي الآلة المتقابلين، وقد تعهد أحد الأصدقاء بأن يدون الأعداد لدى ظهورها، فمضت صانعة جدولاً من الصيغة. في الأعداد الأولى كان صديقي، وهو يكتب بسرعة، يماشي المحرك أو يسبقه بالأحرى، لكن حالما صار المطلوب أربعة أرقام، فإن سرعة الآلة باتت مساوية على الأقل لسرعة الكاتب».

تلك كانت مرحلة من مراحل التطور التي بلغها بابيج عندما أعلن عن آلته للجمهور في منتصف 1822.